



FACULTÉ DES SCIENCES
ET TECHNIQUES

Année Universitaire
1988 - 1989

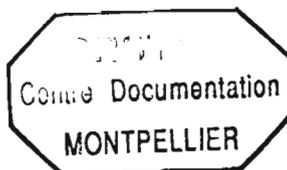
Mémoire présenté pour l'obtention du
**DIPLOME D'ETUDES APPROFONDIES DE BIOTECHNOLOGIE ET
AMELIORATION DES PRODUCTIONS VEGETALES**

(Option : Génétique et Amélioration des Espèces Végétales)

THEME :

**ANALYSE DE LA DIVERSITE GENETIQUE DES VARIETES
TRADITIONNELLES DE RIZ (*Oryza sativa* L. ET *O.
glaberrima* Steud.) du BURKINA FASO**

Présenté par
Moussa SIE



6 NOV. 1992

Stage effectué au Laboratoire de Génétique de l'Institut International de
Recherche Scientifique pour le Développement à Adiopodoumé (ex ORSTOM)

h2
F 31.529

AVANT - PROPOS

Ce mémoire fait suite à un stage effectué à l'IIRSDA grâce à un financement du PNUD / FAO dans le cadre du projet BKF / 87 / 001.

Nous tenons à adresser nos sincères remerciements à :

Monsieur le Professeur Bakary Touré, Recteur de l'Université Nationale de Côte d'Ivoire et Responsable du DEA de Génétique et d'Amélioration des Espèces Végétales pour nous avoir autorisé à suivre cette formation.

Monsieur André Charrier, sans l'appui du quel ce stage ne serait pas possible

Monsieur Bernard Boccas, Directeur Général de l'IIRSDA, pour nous avoir accueilli dans son Institut.

Monsieur Alain Ghesquière, Chargé de Recherche à l'ORSTOM sous l'encadrement duquel ce travail a été réalisé ; il a su par sa constante disponibilité, son esprit de patience, nous initier à la technique de l'électrophorèse.

Notre profonde gratitude va à l'endroit de Monsieur Alexandre de Kochko, Madame Fanza Mondeil et Monsieur Serge Hamon pour leurs encouragements et leurs conseils avisés.

Monsieur Mamoudou Ouédraogo qui a pris une part active dans la confection de ce mémoire mérite une mention spéciale. A tout le personnel du laboratoire de génétique (électrophorèse et ferme) et tous les collègues techniciens du Programme Riz au Burkina, nous tenons à leur témoigner ici toute notre reconnaissance.

SOMMAIRE

I INTRODUCTION	1
II LA DISTINCTION <i>indica</i> - <i>japonica</i> ET LA CLASSIFICATION VARIETALE AU SEIN DE L'ESPECE ASIATIQUE DE RIZ CULTIVEE <i>O. sativa</i> L.	6
A) Rappel systématique	
B) L'identification des types <i>indica</i> et <i>japonica</i> chez <i>O. sativa</i> .	
C) L'application du polymorphisme enzymatique à la classification variétale.	10
III MATERIEL ET METHODE	18
A) Le matériel végétal	
B) Méthodes	20
1) La réaction au phénol des glumelles	
2) La technique d'électrophorèse	
La préparation des gels	
Types d'échantillon et mise en place	22
La migration	
La révélation	
La conservation des gels	23
Le choix des locus	
3) L'analyse des données.	
IV RESULTATS	25
A) La variabilité globale	25
1) La richesse allélique	
2) La diversité génétique	28
B) La classification des variétés du Burkina Faso	29
C) La mise en évidence des formes intermédiaires	33

D) L'illustration de la situation particulière des variétés du Burkina	37
E) La répartition écogéographique et la distribution des variétés	43
V DISCUSSION ET CONCLUSION.	48
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	52
ANNEXES	

D) INTRODUCTION

Le riz et le maïs rivalisent d'importance avec le blé, mais le premier demeure toujours la première céréale des pays en "voie de développement" ou encore "Pays du Tiers Monde". Un déficit en céréales caractérise l'agriculture de ces pays et ceci malgré de nombreux programmes de "lutte contre la faim dans le monde"; le fossé se creuse de plus en plus entre nations "sur-alimentées" et celles du "Tiers Monde" et parmi ces dernières entre une minorité et une majorité. Les efforts de la recherche agronomique et les crédits sont souvent réservés aux cultures dites commerciales au détriment des cultures vivrières, de telle sorte que la famine, preuve manifeste de la dégradation de plus en plus grande des conditions de vie des populations, demeure le principal risque de ces pays.

La production mondiale de riz a atteint le niveau record de 467,4 millions de tonnes en 1984 tandis que les quantités commercialisées se situaient aux environs de 12,2 millions de tonnes (FAO, 1985). On trouve parmi les exportateurs outre les U.S.A., la Thaïlande, la Chine et le Pakistan alors que, selon la même source les plus gros acheteurs en 1984 sont devenus les pays à faibles revenus et à déficit alimentaire chronique. La figure 1 donne un aperçu des terres utilisées pour la riziculture dans le monde.

Le Burkina Faso, pays sahélien, n'échappe pas à cette règle; d'autre part, bien que la riziculture y soit connue de longue date, son développement est toujours resté réduit si nous la comparons aux autres céréales : de 1957 à 1979, la superficie totale consacrée au coton passait de 22 015 ha à 71 714 ha soit un accroissement de 225,75 % alors que celle consacrée aux céréales (mil, sorgho, maïs, riz) passait de 1 835 600 ha à 2 090 400 ha soit un accroissement de 13,88 % seulement ; sur cette dernière superficie, le riz n'occupe qu'une quarantaine de milliers d'hectares. Les tableaux 1 et 2 donnent des chiffres récents de la Direction de la Statistique et de la Démographie du Ministère du Plan.

Le développement de la riziculture et l'intérêt accru pour cette céréale sont récents au Burkina ; actuellement, le sorgho et le mil constituent encore la base essentielle de la ration alimentaire normale de la population burkinabé. Néanmoins, de préparation plus facile que les autres céréales et signe l'évolution sociale, la consommation de riz entre de plus en plus dans l'alimentation quotidienne d'un nombre croissant de familles urbaines. Au contraire, en milieu rural, cette céréale intervient pour très peu dans l'alimentation car elle est considérée comme un aliment de luxe dont la consommation a lieu uniquement lors des cérémonies : fêtes, mariages, réception d'étrangers etc..., c'est ce qui explique qu'en campagne, nous avons une consommation moyenne par habitant de 4 kg/an contre 58 kg pour la ville de Ouagadougou en 1982. L'accroissement de la demande en riz s'explique par une urbanisation rapide et par

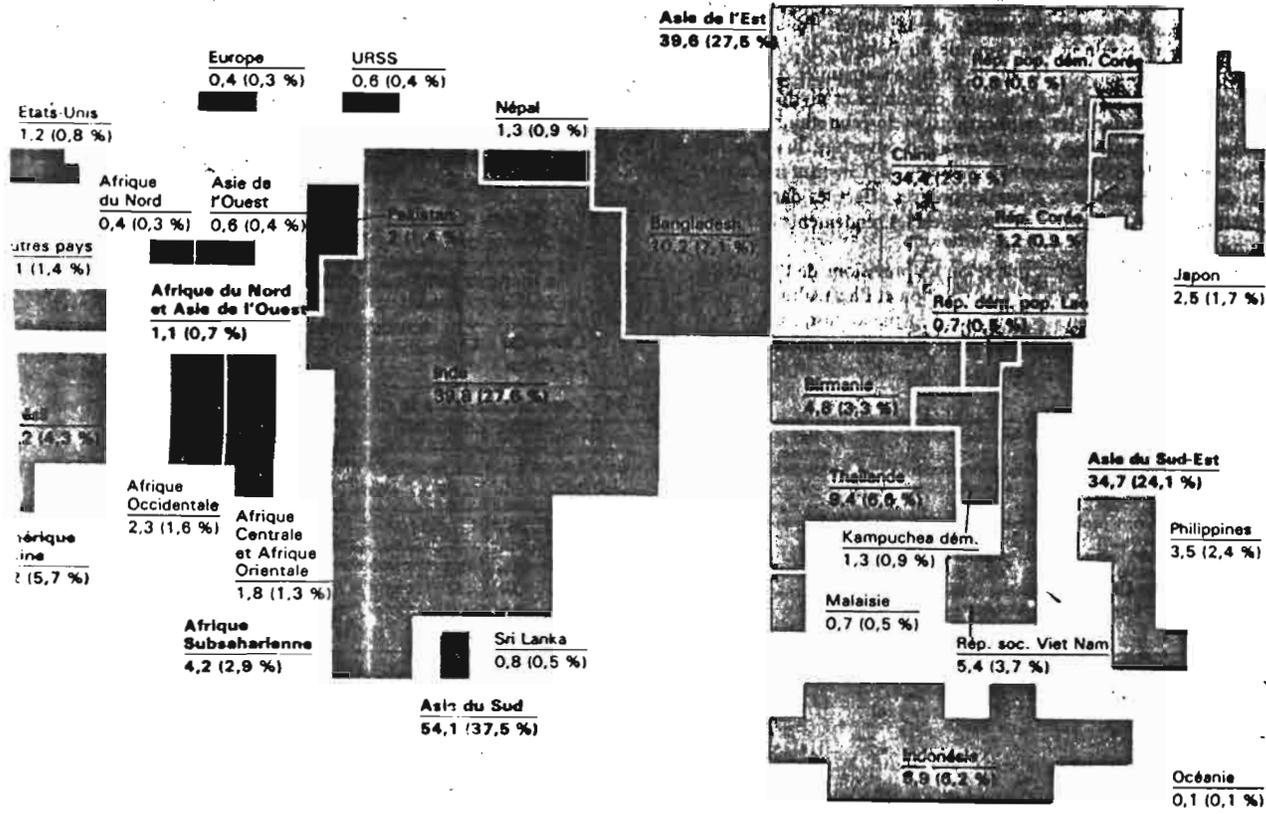


Figure 1 : Caractéristiques des terres utilisées pour la riziculture dans le monde. La dimension de chaque pays est à peu près proportionnelle à la superficie (en millions d'hectares) des terres où l'on cultive le riz. Pour chaque pays est indiqué entre parenthèse le pourcentage de rizière par rapport à la superficie mondiale consacrée à la culture du riz ; (d'après Swaminathan, 1984).

Tableau 1 : Principales cultures vivrières du Burkina Faso **.

ANNEE	SOUSSOU		MIL		MAIS		RIZ	
	Sup.	Prod.	Sup.	Prod.	Sup.	Prod.	Sup.	Prod.
1979 - 80	1160	653	768	378	110	99	31	137
1980 - 81	956	547	720	351	116	105	37	40
1981 - 82	1084	659	900	443	142	119	42	45
1982 - 83	1048	609	909	441	135	111	41	44
1983 - 84	1075	611	924	392	135	70	23	27
1984 - 85	*	594	*	382	*	77	*	41
1985 - 86	1330	1010	1171	679	165	155	23	38

Sup. : Superficie en 1000 ha
 Prod. : Production en 1000 tonnes
 * : Données non obtenues.

Tableau 2 : Evolution des superficies de la production et des importations de riz au Burkina Faso **.

ANNEES	SUPERFICIES (ha)	PRODUCTION (t) paddy	IMPORTATIONS	
			en tonnes	en milliards F. CFA
1979 - 80	31.000	37.000	25.500	2,167
1980 - 81	37.000	40.000	29.600	3,197
1981 - 82	42.000	45.800	15.100	1,752
1982 - 83	41.000	37.800	33.400	3,627
1983 - 84	23.000	29.000	37.700	4,604
1984 - 85	23.500	21.000	77.800	10,627
1985 - 86	23.000	38.000	104.000	14,855
1986 - 87	22.500	37.000	*	*

** : Direction de la Statistique et de la Démographie du Burkina Faso.

l'augmentation d'une couche sociale à revenu fixe causant une modification progressive des habitudes alimentaires des citadins (Sié, 1986).

La production nationale est loin de suivre cette évolution : le taux d'autosuffisance passait de 86,17 % en 1974 à 40,03 % en 1982. Pour la seule année 1982, il a été importé 33 425 tonnes de riz usiné pour une valeur de 3,6 milliards de F CFA et en 1985, près de 104 000 tonnes pour une valeur de 14,8 milliards de F CFA (tab. 2). On comprend la nécessité pour les pays importateurs de riz de réduire leur dépendance vis à vis de l'extérieur en raison d'une part du caractère stratégique que revêtent de plus en plus les denrées alimentaires et d'autre part de leur coût croissant en devises. La couverture des besoins nationaux passe par l'augmentation de la production qui nécessite non seulement l'accroissement des superficies rizicoles mais aussi l'augmentation de la productivité.

L'amélioration génétique du riz a pour objectif de mettre à la disposition du paysan des variétés permettant cet accroissement de la productivité pour satisfaire les besoins alimentaires. Les programmes d'amélioration font appel non seulement aux variétés introduites mais aussi aux cultivars traditionnels et amènent à faire l'inventaire du patrimoine génétique. Les ressources génétiques représentent un héritage précieux, irremplaçable pour la sélection d'aujourd'hui comme celle de demain. La disparition des variétés traditionnelles nécessite de les collecter pour les préserver et évaluer leur intérêt aussi bien du point de vue des potentialités agronomiques que du point de vue variabilité morpho-physiologique.

C'est dans le cadre du programme de l'INERA (Institut d'Etudes et de Recherches agricoles) portant sur la collecte et la conservation des ressources génétiques des différentes espèces cultivées au Burkina Faso, que nous avons effectué une mission de prospection des variétés traditionnelles de riz grâce à un financement de l'IBPGR (International Board of Plant Genetic Resources) (Sié, 1984) ; cette mission avait pour objectif :

- Etudier les caractéristiques de la riziculture traditionnelle afin de disposer de renseignements complets sur les variétés, les systèmes culturaux, les conditions éco-édaphiques et les coutumes socio-religieuses d'une région.

- Collecter des échantillons des cultivars traditionnels d'*O. sativa* et d'*O. glaberrima* et observer éventuellement les espèces sauvages de riz.

Cette mission a permis de collecter 475 échantillons d'*O. sativa* ainsi qu'une cinquantaine de numéros d'*O. glaberrima*. et a mis en évidence la répartition inégale de la riziculture au

Burkina Faso : 60 % des échantillons collectés provenaient du Sud-Ouest du pays (Sié, 1984). La riziculture traditionnelle au Burkina Faso est la riziculture de bas-fond et occupe la majorité des superficies rizicoles (38 000 ha) ; elle combine les caractéristiques du riz pluvial et du riz irrigué. Ce type de riziculture est caractérisé par la remontée brusque et temporaire de la nappe phréatique au milieu de la saison des pluies suivie d'un abaissement lent et régulier dès la fin des pluies. Cette nappe assure une alimentation en eau convenable ou optimale lorsqu'elle est très proche (subaffleurante) ou affleurante (10 cm ou plus au dessus de la surface du sol). La nature même du bas-fond fait que tous ses niveaux ne sont pas soumis au même régime hydrique.

Chez l'espèce asiatique de riz cultivé, *Oryza sativa*, l'organisation de la variabilité intraspécifique est tout à fait remarquable en raison de sa structuration en deux groupes analogues à des sous espèces (types *indica* et *japonica*) ; cette organisation doit obligatoirement être prise en compte dans les programmes d'amélioration variétale. La distinction *indica-japonica* est sans cesse affinée grâce à l'apparition de nouveaux moyens méthodologiques : c'est ainsi que les marqueurs moléculaires au sens large viennent progressivement compléter d'anciennes classifications basées sur des critères morphologiques et des phénomènes de stérilité hybride. En particulier, les marqueurs isozymiques se sont révélés d'un grand intérêt pour améliorer l'analyse et la compréhension de cette distinction *indica-japonica* au sein des variétés d'*O. sativa* (Second, 1982 ; Ghesquière et Miezán, 1982 ; Glaszmann, 1984, 1987a et 1988 ; de Kochko, 1987a et b et 1988).

Nous utiliserons la technique d'électrophorèse sur gel d'amidon qui a été développée au laboratoire de génétique de l'IIRSDA (Institut International de Recherche Scientifique pour le Développement à Adiopodoumé) pour évaluer le polymorphisme isozymique des variétés du Burkina Faso sur 17 locus. L'objectif de ce travail est d'une part d'estimer de manière comparative la variabilité globale d'*O. sativa* vis à vis d'échantillonnages plus vastes (ensemble de l'Afrique, Asie), et d'autre part de positionner ces variétés sur le continuum *indica-japonica*. Enfin, les informations relatives à la collecte des variétés, aux types de riziculture et aux données écogéographiques seront exploitées pour compléter les interprétations et essayer de mettre en évidence l'originalité des variétés d'*O. sativa* en Afrique vis à vis de la diversité présente sur le continent asiatique.

Tableau 3 : Les espèces du genre *Oryza* : répartition géographique, type biologique, système de reproduction, nombres chromosomiques et groupes génomiques ; (d'après Second, 1984).

	Répartition	types biol.*	systèmes de reproduction:	2 n	G
GROUPE SATIVA					
Espèces cultivées					
<i>O. sativa</i> (deux sous espèces, <i>indica</i> et <i>japonica</i>)	Origine asiatique	I	U (parfois I)	24	AA
<i>O. glaberrima</i>	Origine africaine	A	U	24	AA
Espèces sauvages					
<i>O. rufipogon</i> (espèce complexe)	Asie, Australasie, Amérique	A-I-P	U-I-L+V	24	AA
<i>O. longistaminata</i>	Afrique	P	L + V	24	AA
<i>O. breviligulata</i>	Afrique	A	U	24	AA
GROUPE LATIFOLIA					
<i>O. officinalis</i> (espèce complexe)	Asie du Sud et du Sud-Est, Chine du Sud, Nouvelle Guinée	P	U + V	24	CC+DD?
<i>O. latifolia</i> } <i>O. alta</i> } <i>O. grandiglumis</i> }	Espèces complexes Amérique du Centre et du Sud	P	U + V	48	CCDD
<i>O. eichingeri</i> (espèce complexe)	Afrique (+ Sri-Lanka?)	P	U	24	CC
<i>O. punctata</i> diploïde	Afrique	A	U	24	BB
<i>O. punctata</i> tétraploïde**	Afrique	P	U	48	BBCC
<i>O. minuta</i>	Asie du Sud-Est	P	U	48	BBCC
<i>O. australiensis</i>	Australie du Nord	P	U + V	24	EE
COMPLEXE RIDLEYI					
<i>O. ridleyi</i>	Asie du Sud-Est,	P	U ou I?	48	--
<i>O. longiglumis</i>	Nouvelle Guinée	P	U ou I?	48	--
COMPLEXE MEYERIANA					
<i>O. meyeriana</i> (espèce complexe)	Asie du Sud-Est, Chine du Sud	P	U	24	--
ESPECES ISOLEES					
<i>O. brachyantha</i>	Afrique	A	U	24	FF
<i>O. schelchteri</i>	Nouvelle Guinée	-	---	--	--
GENRES ISOLES					
<i>Rynchoryza subulata</i>	Amérique du Sud tempérée	P	U ou I?	24	--
<i>Porteresia coarctata</i>	Sous continent Indien	P	U ou I?	48	--

* Type biologique : A, Annuel. P, pérenne. I, Intermédiaire.
Systèmes de reproduction : U, autogame largement prédominant.
L, allogame largement prédominant.
I, Intermédiaire
V, végétatif.

2n : nombre diploïde de chromosomes

G : symboles des génomes

** Une forme tétraploïde proche d'*O. punctata* se rencontre en Inde et en Asie du Sud-Est. Son appellation *O. malampuzhaensis* n'a pas été retenue

II.) LA DISTINCTION *indica* - *japonica* ET LA CLASSIFICATION VARIETALE AU SEIN DE L'ESPECE ASIATIQUE DE RIZ CULTIVE, *O. sativa*.

Avant de présenter les résultats, il est nécessaire de décrire les principaux aspects de cette identification des deux groupes de variétés au sein d'*O. sativa* avec un accent particulier sur l'emploi du polymorphisme isozymique à des fins de classification variétale

A.) Rappel : La systématique du genre *Oryza*.

Le riz est une graminée annuelle d'origine tropicale. Il appartient à la famille des *Graminées*, à la tribu des *Oryzées* et au genre *Oryza*. Ce genre comprendrait 18 bonnes espèces (Second, 1984) et sur la base des caractères écologiques et génomiques on peut distinguer 4 groupes d'espèces : *Sativa*, *Latifolia*, *Meyeriana* et *Ridleyi* ainsi que 2 espèces isolées *O. brachyantha* et *O. schelchteri*. Le tableau 3 résume les principales caractéristiques des espèces du point de vue génome, type biologique, système de reproduction et répartition géographique. Le groupe *Sativa* est caractérisé par le génome A à l'état diploïde ($2n = 24$) et comporte les deux espèces de riz cultivés :

O. sativa : espèce de riz d'origine asiatique et très largement répandue dans les régions tropicales et tempérées du monde entier : de 50° de latitude Nord à 40° de latitude Sud, et à des altitudes inférieures au niveau de la mer ou supérieures à 2500 m (Swaminathan, 1984).

O. glaberrima : domestiquée en Afrique de l'Ouest, cette espèce est moins diversifiée (Swaminathan, 1984 ; Second, 1984 ; Miezán et Ghesquière, 1985). Bezançon *et al.*, 1978, notent 2 types chez cette espèce : un type dressé précoce avec peu d'entre-nœuds et cultivé de manière pluvial et un type flottant et tardif. *O. glaberrima* se distingue facilement d'*O. sativa* par une ligule courte et tronquée et par une panicule dressée, alors que le riz asiatique a une ligule longue et bifide ainsi qu'une panicule légèrement retombante à maturité.

B.) L'identification des types *indica* et *japonica* chez *O. sativa*.

Comme il a été dit plus haut, l'espèce asiatique de riz *O. sativa* est caractérisée par son adaptation à des climats et à des conditions d'alimentation en eau extrêmement variées. Empiriquement, les Chinois avaient déjà noté la présence de 2 types différents de riz depuis les temps anciens et les avaient classés comme "Sen" (*indica*) et "Keng" (*japonica*), mais ce sont

Tableau 4 : Classification des variétés d'*O. sativa* : caractères considérés, types de variation et caractéristiques des types variétaux ; (d'après Oka, 1958).

Caractères	Variation	Caractéristiques des types		
		continental	insulaire tropical	tempéré
Réaction colorée du grain au phénol	Discontinue	positif	négatif	
Résistance de la plantule à $KClO_3$	Discontinue	faible	forte	
Résistance de la plantule aux basses températures	Discontinue	faible	forte	
Résistance de la plantule à la sécheresse	Discontinue	forte	faible	
Longueur des barbes	Discontinue	faible	forte	
Rapport $\frac{\text{longueur}}{\text{largeur}}$ du grain	Continue	variable	forte	faible
Degré de destruction de l'albumen par KOH	Continue	variable	faible	forte
Longueur du 1er entrenoeud	Continue	variable	forte	faible
Durée de germination	Plutôt discontinue	variable	variable	variable
Degré d'égrenage	Plutôt discontinue	variable	variable	variable
Longueur des poils des glumelles	Continue	variable	variable	variable
Durée nécessaire au durcissement de l'albumen	Continue	variable	variable	variable

les travaux de Kato *et al* en 1930, (cités par Chandraratna, 1964 et Oka, 1983) qui ont permis de reconnaître l'existence de deux types variétaux à partir de l'étude des barrières reproductives et des caractéristiques morphologiques : *O. sativa japonica* et *O. sativa indica*. La distinction est basée essentiellement sur la stérilité hybride F1. Le taux moyen de fertilité à la génération F1 dans les croisements intra-groupes est de 81% alors que les hybrides *indica x japonica* ont une stérilité de 0 à 50 %. Cette identification est renforcée par des caractéristiques morphologiques et en particulier la forme des grains : la sous-espèce *japonica* Kato est caractérisée par un grain large, épais, à section transversale circulaire alors que la sous-espèce *indica* Kato est caractérisée par un grain étroit à section transversale aplatie.

Toujours sur la base de la stérilité hybride, d'autres auteurs, Terao et Mizushima (1939 et 1944, cités par Glaszmann, 1982) classent les variétés d'*O. sativa* en 3 groupes I, II et III : le groupe I correspond à la sous-espèce *japonica* Kato et les groupes II et III à la sous-espèce *indica* Kato. Les variétés du groupe I sont également réparties en 3 groupes :

- Ia : variétés japonaises de riz irrigué donnant des hybrides stériles avec les groupes II et III.
- Ib : variétés japonaises de riz pluvial et les variétés américaines donnant des hybrides fertiles avec les variétés du groupe II et stériles avec les variétés du groupe III.
- Ic : variétés "Bulu" d'Indonésie donnant des hybrides fertiles avec celles du groupe II et III.

Matsuo (1952) identifia sur les mêmes bases 3 groupes nommés A, B et C ; par la suite d'autres nomenclatures ont été aussi proposées (Oka, 1958; Chang et Bardenas, 1965) et mettaient en avant la répartition géographique avec la correspondance suivante :

- A : *japonica* tempéré ou insulaire tempéré.
- B: *japonica* tropical ou *javanica* ou encore insulaire tropical.
- C : *indica* ou continental.

Dans le cadre d'études sur la différenciation phylogénétique des riz cultivés (Oka, 1958 ; Oka, 1983 pour une revue ; Oka et Doida, 1962) contribuèrent largement à éclaircir les relations mutuelles entre les divers groupes géographiques. Sur 12 caractères examinés 7 sont l'objet de variation continue (tabl. 4). Les fréquences des différentes associations possibles entre les 5 premiers caractères du tableau montrent clairement l'existence de 2 ensembles étendus de variétés. La classification en trois types *indica*, *javanica* et *japonica* a servi longtemps de référence (fig. 2 et tab. 5), (Chang et Bardenas, 1965 ; Nayar, 1973.) D'autres classifications ont été faites dans un objectif d'utilisation en sélection pour orienter les croisements (Arraudeau, 1975) ; Jacquot et Arnaud (1979) se sont plus particulièrement intéressés aux riz pluviaux

Tableau 5 : Classification de la collection de riz à Madagascar en groupes et sous - groupes ; (d'après Arraudeau, 1975).

GROUPES ET SOUS-GROUPES

	JAPONICA		JAVANICA	INDICA	
	Vrais	Ponlai	—	Vrais	Semi-nains
Forme du grain	Court	Court	Très long	Long	Demi-long
Longueur du limbe de la deuxième feuille	Très faible	Faible	Très grande	Grande	Moyenne
Angle formé par la feuille paniculaire et le chaume	Semi-ouvert	Semi-ouvert	Ouvert	Semi-ouvert à ouvert	Fermé
Feuille paniculaire	Très courte et étroite	Courte et étroite	Longue et large	Longue et étroite	Courte et semi-large
Nombre de talles	Faible	Moyen	Faible	Élevé	Élevé
Port des talles	Érigé	Érigé	Érigé	Semi-étalé	Semi-étalé
Longueur de la panicule	Faible	Moyenne	Très grande	Moyenne	Moyenne
Densité paniculaire	Élevée	Élevée	Moyenne	Moyenne	Élevée
Hauteur de la plante	Faible	Moyenne	Très grande	Grande	Moyenne
Emergence de la panicule	Moyenne	Bonne	Moyenne	Bonne	Mauvaise
Diamètre du chaume	Petit	Petit	Fort	Moyen	Fort
Potential de rendement	Élevé	Très élevé	Moyen	Élevé	Élevé
Résistance à la verse	Très bonne	Bonne	Mauvaise	Mauvaise	Bonne
Résistance à l'égrenage	Très bonne	Bonne	Moyenne	Mauvaise	Bonne
Résistance à la pyriculariose	Mauvaise	Bonne	Moyenne	Variable	Mauvaise
Translucidité du grain	Bonne	Bonne	Moyenne	Bonne	Moyenne
Résistance à la cassure	Très bonne	Très bonne	Moyenne	Moyenne	Moyenne
Adaptabilité écologique	Mauvaise	Très bonne	Mauvaise	Moyenne	Moyenne
Reponse à l'azote	Très bonne	Très bonne	Moyenne	Moyenne	Moyenne

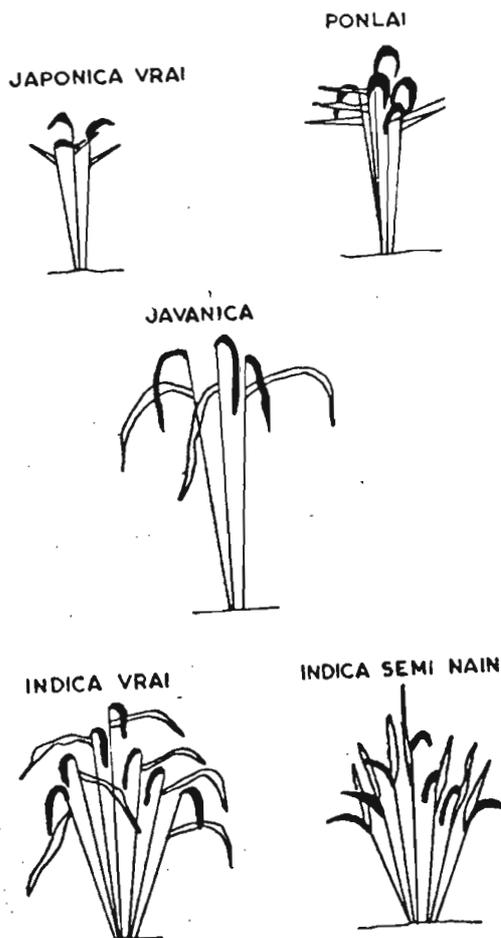


Figure 2 : Aspect schématique de la plante, de la feuille paniculaire et de la panicule ; (d'après Arraudeau, 1975).

d'Afrique et d'Amérique latine en prenant en compte 71 caractères morpho-physiologiques. Ils ont montré que ces riz forment un ensemble bien individualisé constitué de 2 groupes (appelés groupes G3 et G4) bien séparés des groupes qui représentent les types *indica* (G5) et *japonica* (G2).

Il y a une multitude de caractères qui permettent de classer les variétés d'*O. sativa* dans l'un des 2 types (Tab. 4, 5 et 6) mais, étant donné les nombreuses formes intermédiaires, les caractères pris isolément ne peuvent pas être utilisés avec une certitude absolue pour distinguer les variétés. Cette distinction inclue également des relations hôte - parasite différentes et Morishima (1969) mentionne l'existence de groupes de races de *Pyricularia oryzae* caractéristiques du type *indica* et un second groupe pour le type *japonica* sans observer de race pathogène simultanément pour toutes les variétés. Il a fallu donc rechercher des caractères simples qui permettent la classification d'*O. sativa* et on doit à Oka (1958) d'avoir mis au point plus d'une vingtaine de critères simples dont certains s'apparentent à des tests biochimiques : la résistance de la plantule à $KClO_3$, le degré de destruction de l'albumen par la potasse et la réaction colorée du grain au phénol (tab. 4). La réaction au phénol est considérée par de nombreux auteurs comme un bon critère de classification des variétés d'*O. sativa* : Il suffit pour ce faire de tremper les graines dans une solution de 2 % de phénol durant 48 heures ; Le changement de couleur des glumelles est comparé avec celui des graines trempées dans de l'eau distillée. Les variétés du type *japonica* ont dans leur large majorité une réaction négative au phénol contrairement au type *indica*. Les variétés de riz de type pluvial et de type irrigué en Afrique et à Madagascar montrent le même phénomène (Kochko 1987a et b ; 1988).

C) L'application du polymorphisme enzymatique à la classification variétale.

L'analyse de la diversité des variétés impliquant l'évaluation des caractères agronomiques et morpho-physiologiques est fortement dépendante de facteurs environnementaux (conditions de culture, conditions climatiques, maladies, ravageurs) qui entraînent des fluctuations parfois importantes dans l'expression de ces caractères (Brown, 1978). C'est pour remédier à ces inconvénients que l'on a recherché des marqueurs qui puissent être indépendants à la fois du milieu et de la sélection humaine et que l'on a fait appel aux marqueurs enzymatiques. Chez le riz en particulier, l'étude du polymorphisme isozymique a abouti à une meilleure compréhension de la structure génétique du genre *Oryza* (Second, 1982, 1984, 1986) et des espèces cultivées (Second, 1982; Ghesquière et Second, 1983 ; Glaszmann *et al*, 1984, Glaszmann, 1987a ; de Kochko, 1987a et b).

Les protéines enzymatiques sont des édifices macromoléculaires qui ont des propriétés

Tableau 6 : Différenciation des types *indica* et *japonica* chez *O. sativa* ; (d'après Second, 1984).

Caractères	Références originales ou synthèses
- Biochimiques	
. Réaction au phénol des glumelles	Oka 1958
. Proportion d'amylose dans les grains	Oka 1983, IRRI, 1974.
. Isozymes	Endo et Morishima 1983 Nakagahra 1978 Second 1982 Glaszmann 1982
- Génétiques	
. Stérilité des hybrides F1	Oka 1958 Second 1982
. Mauvaise aptitude à la recombinaison génétique	Oka 1983 Nombreuses observations de sélectionneurs
- Sérologiques	Kato 1930
- Cytogénétiques	
. Nombre de nucléoles	Oka et Kao 1955
. Différenciation chromosomique	Shastry 1964
- Morphophysiologiques	
. Dormance et longévité des graines	Oka et Tsai 1955
. Nombreux caractères	Portères 1956 Matsuo 1952 Oka 1958 Chang et Bardenas 1965 Jacquot et Arnaud 1979 Morishima et Oka 1981
- Pathologiques	
. Sensibilité différentielle aux différentes races de <u>Pyricularia oryzae</u>	Morishima 1969b
- Distribution géographique	Oka 1983

amphotères et qui présentent selon le pH du milieu une ionisation des groupements basiques ou acides (Lucotte, 1983). On appelle électrophorèse le déplacement de particules chargées dans un champ électrique formé par un courant électrique continu. Chaque protéine sera caractérisée par sa mobilité électrophorétique qui se fera vers l'anode si cette protéine est chargée positivement ou vers la cathode si elle est chargée négativement. Le support utilisé pour les électrophorèses est constitué par des gels d'amidon, d'agar ou d'acrylamide ; pour le riz, la technique sur amidon est la plus communément utilisée.

Le terme isozyme désigne toutes les enzymes présentant la même activité enzymatique et qui proviennent de différences génétiquement déterminées dans la structure primaire (Lucotte, 1983). Le zymogramme est la combinaison de bandes observées sur une plaque d'électrophorèse pour un individu avec un système de révélation spécifique d'une enzyme ou d'un groupe d'enzymes non spécifiques (Second et Trouslot, 1980).

Chez le riz, le polymorphisme isozymique a d'abord été étudié sur 13 systèmes (Second et Trouslot, 1980), puis il a été porté à plus de 20 enzymes différentes correspondant à près de 50 locus structuraux (Second, 1984 ; Glaszmann *et al*, 1988)

Des hypothèses simples permettent d'aborder le déterminisme génétique des zymogrammes observés:

- a) les bandes d'électrophorèse sont généralement codées par des allèles co-dominants.
- b) l'absence de bande à une position donnée (ou une coloration très faible) est généralement récessive par rapport à une coloration intense.
- c) un électromorphe peut coder plusieurs bandes d'électrophorèse.
- d) les bandes hybrides hétéromères sont plus ou moins régulièrement réparties entre les bandes homomères qui sont seules prises en compte dans l'interprétation génétique.
- e) les bandes dont la présence n'est pas systématiquement répétable ne sont pas prises en compte.

Les profils isozymiques obtenus sur un ensemble de locus polymorphes peuvent être utilisés pour réaliser des classifications variétales et en particulier, la classification de Glaszmann (1987a et b) retiendra notre attention car notre évaluation des variétés du Burkina Faso y fera très largement appel. A partir de l'étude d'une collection de 1688 cultivars d'Asie sur 15 systèmes enzymatiques, Glaszmann (1987a et b) base sa classification sur 5 locus et définit 6 groupes enzymatiques (fig. 3) : les groupes I et VI sont les plus importants et correspondent respectivement aux types *indica* et *japonica* car ils concordent remarquablement bien avec les classifications préalables basées sur la morphologie, la physiologie et la stérilité hybride. La

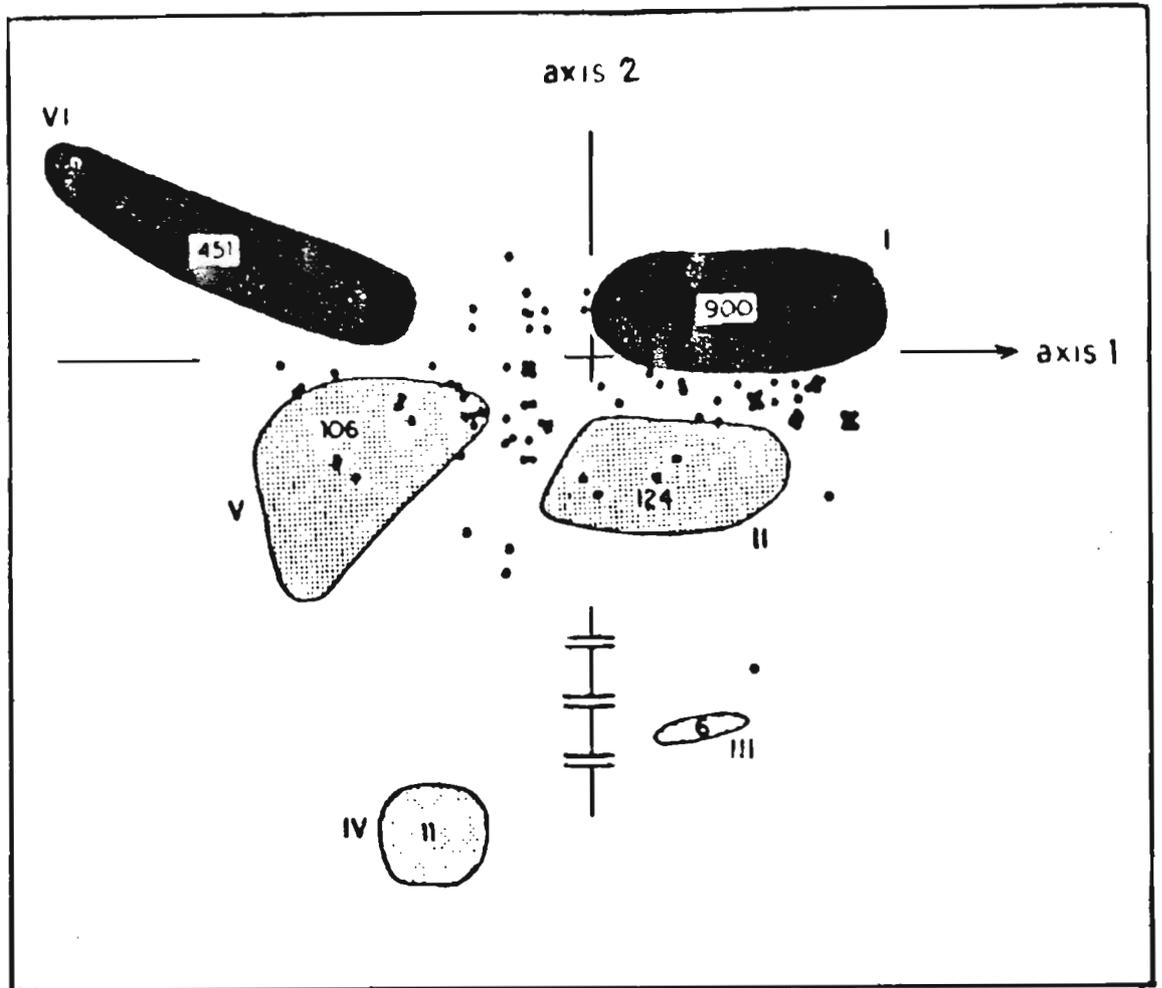


Figure 3 : Projection de 6 groupes variétaux sur le plan défini par les 2 premiers axes d'une Analyse Factorielle des Correspondances (AFC) réalisée à partir du polymorphisme isozymique de 1688 variétés de riz sur 15 locus. La taille des groupes est indiquée et les points isolés représentent 90 variétés ayant une position intermédiaire ou une classification instable (d'après Glaszmann, 1987a).

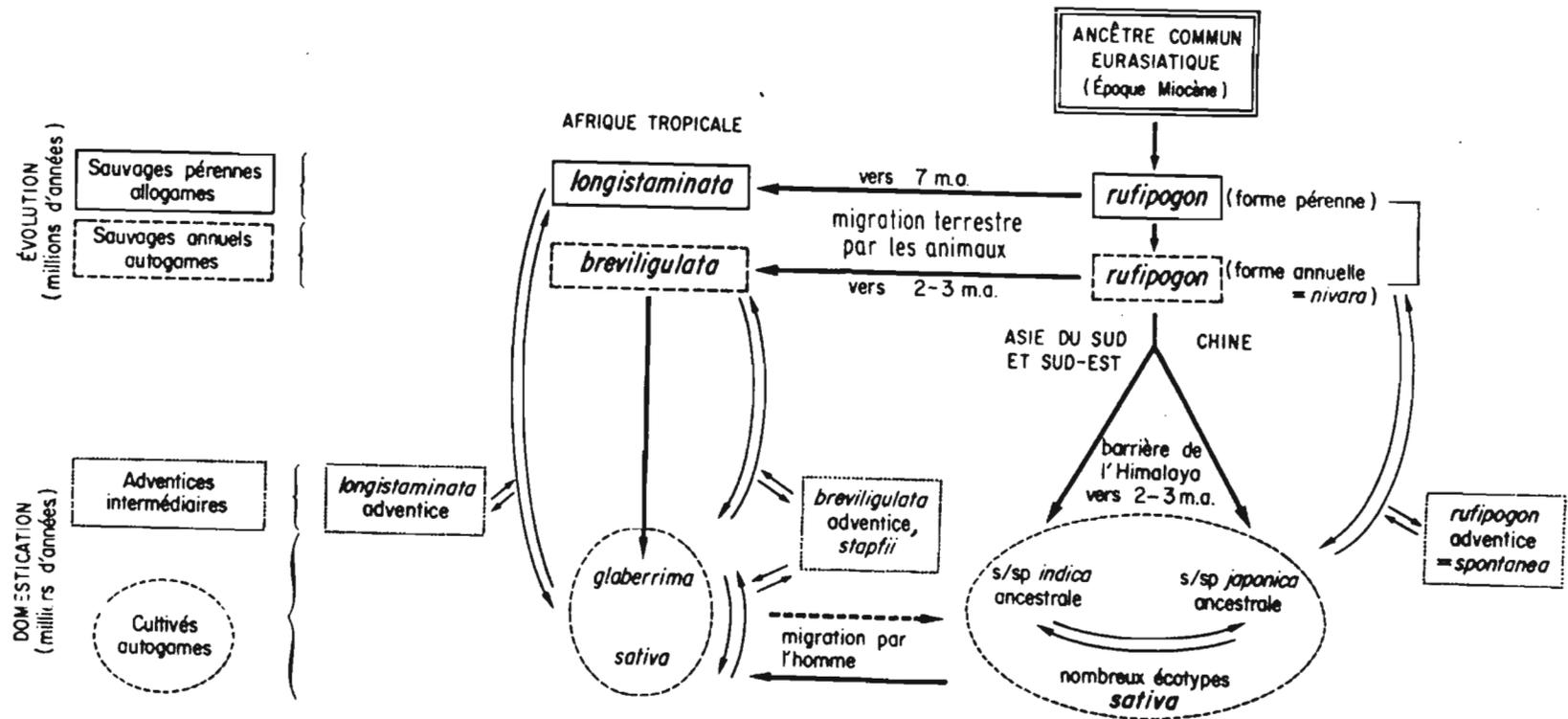


Figure 4: Relations phylogénétiques des deux espèces de riz cultivé. Les flèches simples indiquent une descendance directe. Les doubles flèches indiquent l'introgression par hybridation et rétrocroisements qui semble exister entre toutes les formes ou espèces sympatriques, sauf peut être entre *O. longistaminata* et *O. breviligulata* séparées par des barrières reproductives particulièrement développées. Les sous-espèces ancestrales *indica* et *japonica* d'*O. sativa* sont conceptuelles dans le sens où elles sont censées représenter le stade primitif de la domestication en Asie du Sud et Sud-Est et en Chine respectivement. Elles correspondent néanmoins à une dichotomie fondamentale dans l'espèce *O. sativa*.

structure géographique de la variabilité génétique des riz asiatiques est largement en rapport avec les six groupes et révèle des distributions dissemblables: la diversité des riz *indica* est répartie dans toute l'Asie tropicale (Inde, Sri Lanka, Taïwan et le Sud de la Chine) tandis que celle des riz *japonica* est maximale dans la partie continentale montagneuse d'Asie du Sud-Est (Glaszmann, 1988). Second (1984), constate également que les variétés dites "pluviales" ou de "montagne" sont fréquemment de type *japonica* ; ce dernier est cultivé soit à des latitudes élevées (Japon, Chine), soit en altitude, soit en condition pluviale (Asie, Afrique, Amérique). Enfin, le groupe "*javanica*" n'est pas validé par les marqueurs isozymiques et se rattache globalement au type *japonica* (Glaszmann et Arraudeau, 1986).

En Afrique la diversité génétique d'*O. sativa* est maintenue de manière remarquable et la répartition géographique des groupes variétaux est étroitement liée aux types de riziculture : formes *japonica* dans la zone forestière où est pratiquée la culture pluviale et variétés *indica* dans la zone Soudano - Sahélienne associées à une riziculture aquatique au sens large. (Ghesquière et Miezán, 1982 ; de Kochko, 1987a).

L'analyse du polymorphisme isozymique sur les collections mondiales des espèces de riz sauvages et cultivés ont permis également de préciser les relations phylogénétiques (Second, 1984, 1986) : il est confirmé que la domestication du riz ne concerne que le groupe *Sativa*, la forme asiatique d'*O. rufipogon* est l'ancêtre direct d'*O. sativa* alors qu'*O. glaberrima* provient directement de la domestication de l'espèce sauvage annuelle *O. breviligulata* (encore appelée *O. barthii* selon certains auteurs). On a donc une domestication indépendante d'*O. sativa* en Asie et d'*O. glaberrima* en Afrique. Selon le même auteur la domestication des 2 sous espèces *indica* et *japonica* s'est faite indépendamment à partir d'un ancêtre préalablement différencié en Chine du Nord d'une part et en Asie du Sud et du Sud-Est d'autre part (fig. 4) ; l'origine de la diversité génétique d'*O. sativa* proviendrait alors des introgressions intervenues entre les types ancestraux cultivés et également des introgressions avec les riz sauvages dans toute leur distribution géographique (Second, 1982). Glaszmann (1988) situe plutôt l'origine de la sous-espèce *japonica* (groupe VI) dans la partie continentale montagneuse d'Asie du Sud-Est car cette région est la plus diversifiée pour ce groupe ; en revanche les deux auteurs s'accordent pour considérer que le groupe *indica* a une origine géographique plus diffuse. La mise en évidence de groupes supplémentaires n'échappe pas à la distinction *indica* - *japonica* car ils sont liés à des situations intermédiaires sur le continuum entre les formes extrêmes : le groupe II de Glaszmann (1987a) qui rassemble les variétés "Aus" correspond à ce type de situation.

En Afrique, l'étude de la variabilité génétique des cultivars traditionnels montre que les hybridations *indica* - *japonica* permettent le maintien d'une diversité élevée (Ghesquière et

Miezan, 1982; Miezan et Ghesquière, 1985) et éventuellement la création d'une variabilité originale due à un effet mutagène de ces hybridations (de Kochko, 1987a). Les introgressions avec les espèces africaines peuvent être mises en évidence par l'observation en condition adventice d'hybrides interspécifiques naturels avec *O. glaberrima* et *O. breviligulata* et par la présence de marqueurs isozymiques dans certaines lignées (introgressions avec *O. longistaminata*), (Ghesquière, 1988).

Plus récemment, le développement de techniques de biologie moléculaire permettent d'accéder directement à l'ADN et d'étudier la variabilité au niveau cytoplasmique : ADN chloroplastique (Dally, 1988), ADN mitochondrial (Kadowaki *et al*, 1988). Au niveau nucléaire, l'étude du Polymorphisme de Longueur des Fragments de Restriction de l'ADN (RFLP) a permis d'établir une carte génétique et de disposer d'un plus grand nombre de marqueurs qui pourront être utilisés ultérieurement pour sonder la variabilité intraspécifique (Mc Couch *et al*, 1988). Ces nouvelles approches complètent bien les données relatives au polymorphisme isozymique et remettent chaque fois en lumière la distinction *indica - japonica* (Second, 1989) .

- Présence de *Glaberima*
- Prélèvement > à 10 Echantillons
- " de 5 à 10 "
- ★ " de 1 à 5 "
- " de 1 "

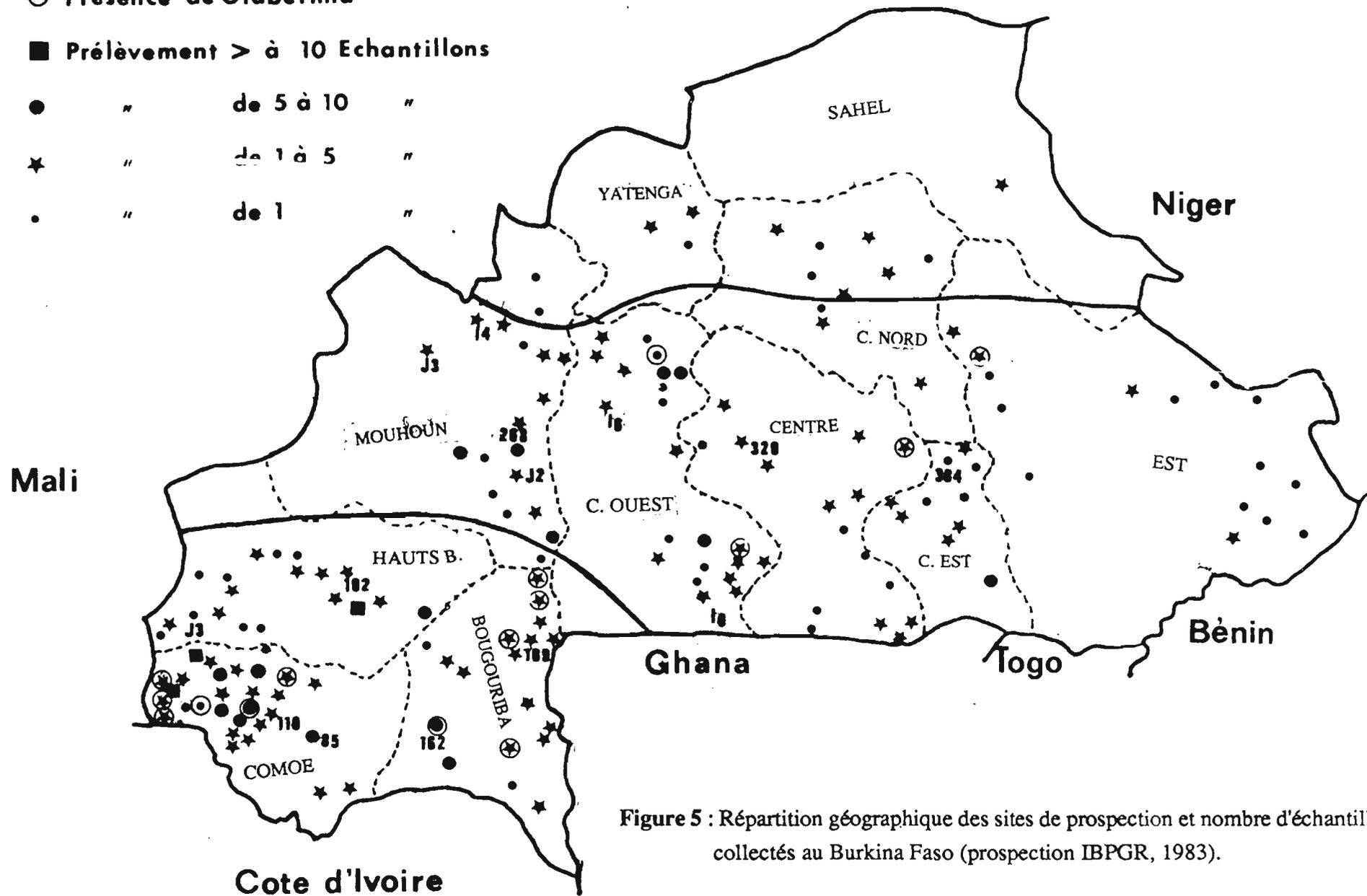


Figure 5 : Répartition géographique des sites de prospection et nombre d'échantillons collectés au Burkina Faso (prospection IBPGR, 1983).

III). MATERIEL ET METHODES.

A) Le matériel végétal.

Le matériel est constitué par les échantillons de variétés traditionnelles d'*O. sativa* et d'*O. glaberrima* collectées pendant la mission de prospection IBPGR. Les aires de prospection ont été découpées en fonction des territoires des divers organismes de développement (ORD) qui sont au nombre de 11 et correspondent aux anciens départements administratifs ; la figure 5 et le tableau 7 donnent une idée de la répartition des échantillons sur l'ensemble du Burkina Faso. La collection ainsi constituée a été cultivée sur 4 campagnes (saison humide 1984 et 1986, saison sèche 1988 et saison humide 1989) pour être évaluée sur le plan agro-morphologique ; au cours de ces cultures, les numéros d'origine qui renfermaient visiblement des mélanges variétaux ont été épurés ou subdivisés pour aboutir à des échantillons plus homogènes. D'autre part, une analyse préliminaire des données de collecte (formes des grains, durée du cycle, taille, nom vernaculaire) a été effectuée pour éliminer les échantillons redondants correspondant à des cultivars collectés à plusieurs reprises ; ce travail a permis de réduire le nombre d'échantillons de départ à 312 numéros correspondant néanmoins à une bonne représentation des types variétaux cultivés au Burkina Faso et se répartissant en 299 cultivars traditionnels dont 23 échantillons d'*O. glaberrima* et 13 variétés améliorées. La liste complète des échantillons d'*O. sativa* avec leurs caractéristiques principales (numéro d'accession, point de prélèvement, la réaction au phénol, groupes isozymiques) figure en annexe I.

La récolte 1989 a fourni les semences pour les études électrophorétiques ; les plantes sont semées en pots à raison de 3 graines par échantillon et sont ensuite démarrées à 1 plant par pot. Les pots sont ensuite placés dans des bacs en serre avec un apport d'engrais tous les 15 jours. Les prélèvements de feuilles pour les électrophorèses sont effectués du début du tallage jusqu'à la montaison. Par ailleurs, au moment de la floraison, une panicule par plante a été ensachée pour constituer une lignée de référence et fournir les semences pour des évaluations ultérieures.

Tableau 7 : Répartition géographique des variétés de riz prospectées au Burkina Faso

Organisme Régional de Développement (ORD)	nombre de sites prospectés	Nombre d'échantillons		Nombre de variétés retenues
		<i>O. sativa</i>	<i>O. glaberrima</i>	
Comoé	40	137	23	101
Bougouriba	30	73	10	51
Hauts-Bassins	30	35	4	42
Mouhoun	30	56	4	28
Centre-Ouest	34	83	3	41
Yatenga	10	6	3	2
Centre-Nord	10	14	1	8
Sahel	4	6	-	3
Centre	15	11	1	9
Centre-Est	30	32	2	12
Est	30	25	1	9
Total	263	475	52	306

B) Méthodes.

1) La réaction au phénol des glumelles.

Il s'agit là d'un test biochimique simple permettant de distinguer les deux types *indica-japonica* (Oka, 1958). En plus des 3 graines semées, 5 autres graines par échantillon sont placées dans un tube à essais contenant une solution de phénol à 2% pendant 48 à 72 heures. Les tubes sont ensuite vidés et les graines mises à sécher. la réaction est positive lorsque l'on observe un noircissement des glumelles en raison de la présence d'oxydases réagissant avec le phénol pour donner la coloration noire caractéristique du type *indica*. La réaction est négative lorsque l'on observe l'absence de coloration (caractéristique du type *japonica*). Lorsque la coloration n'était pas nette ou en contradiction avec les résultats attendus au vu du polymorphisme isozymique, le test a été effectué sur les graines récoltées directement à partir de la plante étudiée en électrophorèse : la réaction au phénol sur des graines fraîchement récoltées donnent des résultats plus rapides et sans ambiguïté.

2) La technique d'électrophorèse

Nous avons utilisé les techniques décrites par Second et Trouslot (1980) et Glaszmann *et al.*, 1988) que nous résumerons rapidement :

Préparation des gels

Les gels ont une concentration de 14% (gel histidine) ou 11% (gel borate) ; dans un ballon de 500ml, l'amidon est additionné de tampon histidine à pH 8 ou pH 6 (gel histidine) ou de tampon borate à pH 8,5 (gel borate) à partir de tampons préalablement préparés et dont la composition est donnée en annexe II. Le ballon est porté à ébullition à 80°C pendant 5 à 10 mn, tout en agitant le mélange qui devient translucide, il est dégazé ensuite à l'aide d'une pompe à vide et versé dans un moule de dimensions intérieurs 23 x 8 x 0,6 cm. Les gels sont préparés la veille de la migration et conservés en étant recouvert d'une feuille de parafilm. Avant la migration, une encoche est faite dans le gel pour permettre la mise en place des échantillons.

Tableau 8 : Enzymes, locus et systèmes de migration utilisés pour l'étude du polymorphisme isozymique des variétés traditionnelles de riz du Burkina Faso.

ENZYMES	Localisation chromosom. (Wu et al. 1988)	Correspondance des nomenclatures		Système de migration*	Organe échantillonné**			
		Second et Trouslot -1980	Glazmann -1988		F1b	F1v	F2	Fp
Catalase	3	Cat-A	Cat-1	B	x			
Estérasés	7	Est-Ca	Est-9	B	x			
	1	Est-B	Est-5	A		x	x	
	-	Est-D	Est-1	A		x		
	3	Est-E	Est-2	A			x	
	4	Pgi-A	Pgi-1	B			x	
Phosphogluco-isomérase	3	Pgi-B	Pgi-2	B			x	
	-	Pox-B	-	A	x			
Peroxydase	-	Pox-C	-	A	x			
	6	Pac-Amc	Acp-1	C				x
Phosphatase acide	6	Pac-Fa/sa	Acp-2	C				x
	6	Sdh-A	Sdh-1	A	x			
Shikimate déshydrogenase	6	Sdh-A	Sdh-1	A	x			
Endopeptidase	3	Ep-A	Enp-1	A	x			
Phospho-gluconate déshydrogenase	11	Pgd-A	-	B	x			
Leucyl Aminopeptidase	2	Lap-E	Amp-1	A	x			
Alanyl Aminopeptidase	3	-	Amp-3	A	x			
	8	-	Amp-2	B	x	x		
Arginine Aminopeptidase	8	-	Amp-4	A		x		

*A : Histidine/Citrate pH 6,0

B : Histidine/Citrate pH 8,0

C : Borate pH 8,0

**Stade : F1b : partie non chlorophyllienne d'une jeune feuille en croissance

F1v : partie chlorophyllienne d'une jeune feuille en croissance

F2v : Feuille entièrement développée

Fp : feuille paniculaire et gaine de feuille paniculaire

Types d'échantillon et mise en place

En fonction des enzymes que l'on veut étudier, il existe des stades et des systèmes de migration qui permettent une révélation optimum (tab. 8). Les organes végétaux utilisés sont soit des feuilles jeunes non entièrement sorties de la tige (partie blanche ou partie verte de feuille F1), soit des feuilles ou des gaines de feuilles entièrement développées (F2). Le broyage est effectué dans une plaque à godets de porcelaine ou au mortier pour les feuilles âgées. Suivant l'enzyme à révéler, une rondelle de papier Whattman n°1 ou n°3 est imbibée, essuyée et déposée dans l'encoche prévue à cet effet.

La migration

Elle est réalisée en chambre froide. Les plaques sont placées entre des cuves remplies avec un tampon de migration et reliées à un générateur de courant continu qui permet d'afficher une tension constante. Pour le système Histidine-Citrate à pH 6,0 le voltage affiché est de 200 V et l'intensité est de 15 à 20 mA par plaque ; pour le système Histidine-Citrate à pH 8,0, le voltage est de 200 V avec un ampérage de 20 à 25 mA par plaque. le système Borate permet des migrations avec une tension de 350 V et 15 à 20 mA par plaque. Dans ces conditions, le temps de migration est de 5 à 6 heures en fonction des enzymes révélées.

La révélation

Après la migration, les plaques sont démoulées et les gels sont découpés dans le sens de l'épaisseur en 2, 3 ou 4 tranches ce qui permet, à partir du même extrait, de révéler plusieurs systèmes enzymatiques différents. La révélation s'effectue en faisant incuber les tranches recouvertes par les solutions de révélation à l'étuve à 40°. Une solution de révélation renferme le substrat, le coenzymes et éventuellement les cofacteurs nécessaires à l'activité enzymatique ; la mise en évidence des bandes s'effectue soit par coloration directe des produits de la réaction enzymatique soit par l'intermédiaire des H⁺ libérés pendant la réaction (cas des déshydrogénases). Il est parfois nécessaire de réaliser une étape enzymatique supplémentaire ce qui nécessite d'ajouter dans le milieu de révélation une enzyme qui réagira avec le produit de la réaction (cas de la Phospho glucoisomérase). Dans la plupart des cas les révélations sont spécifiques (déshydrogénases) mais il existe aussi des révélations non spécifiques qui permettent en revanche d'observer de nombreuses bandes (estérases, peroxidases). Le détail des procédés de révélation pour chaque système enzymatique sont décrits par Second et Trouslot (1980) et par Glaszmann (1987a et 1988b).

La conservation des gels.

Après révélation les gels sont fixés dans de l'acide acétique à 7% pendant 24 h. Ils sont ensuite emballés dans de la gaine plastique et conservés à l'abri de la lumière. Ils peuvent être aussi conservés à plus long terme sous cellophane après fixation dans un mélange d'acide acétique et de glycérol dans les proportions 10: 1.

Choix des locus

Parmi le grand nombre de locus disponibles (près de 50), l'étude de la variabilité isozymique a porté sur les locus les plus variables et distinguant le mieux les types *indica* et *japonica*. 14 locus correspondant à 9 systèmes enzymatiques ont été choisis parce que leur polymorphisme dans les variétés africaines d'*O. sativa* est bien connu ; d'autre part, 3 autres locus, Amp-2, 3, 4 ont été ajoutés parce qu'ils sont utilisés dans des classifications variétales d'*O. sativa* (Glaszmann, 1987a ; Glaszmann *et al*, 1988) et qu'ils permettront ainsi des analyses comparatives. Le tableau 8 résume les caractéristiques des locus qui font l'objet de notre étude et la correspondance des nomenclatures utilisés par les différents auteurs ; dans la présentation des résultats, nous adopterons la terminologie originale de Second et Trouslot (1980) à l'exception des locus codant pour les aminopeptidases et les phosphatases acides.

3) Analyse des données.

L'analyse des résultats se fera essentiellement à partir de quelques paramètres simples d'utilisation courante dans les études de polymorphisme isozymique :

les fréquences alléliques sont estimées pour chaque locus à partir des fréquences des différentes formes électrophorétiques (électromorphes).

La diversité génétique définie par Nei (1975) est tel que :

$$H = 1 - \sum p_{ij}^2$$

où p_{ij} est la fréquence de l'allèle i au locus j .

L'indice de diversité génétique peut être calculé pour chaque locus ou être exprimé sous forme d'une moyenne sur l'ensemble des locus étudiés ; la diversité génétique est un paramètre fictif qui représente la fréquence théorique d'hétérozygotes en panmixie et qui sera d'autant plus grand que les locus seront polymorphes.

Egalement, le pourcentage de locus polymorphes et le nombre d'allèles par locus sont des paramètres fréquemment utilisés pour mesurer globalement l'étendue de la variabilité isozymique.

Le codage des différents électromorphes sous forme de variables qualitatives permet de présenter les données sous forme de tableau disjonctif complet que l'on peut soumettre à des analyses factorielles des correspondances (AFC) qui permettent d'obtenir une représentation synthétique de la variabilité et des relations entre différents groupes ; ces analyses ont été effectuées sur micro-ordinateur Goupil G4 à l'aide du logiciel NDMS. Une autre exploitation des données a consisté à attribuer des scores arbitraires aux différents types d'électromorphes suivant leur origine pour faire des analyses comparatives, ce type d'analyse plus spécifique sera développé dans les résultats.

IV) RESULTATS

A) La variabilité globale.

1) La richesse allélique.

Sur les 11 systèmes enzymatiques étudiés, nous avons retenu 17 locus parce qu'ils ne présentent pas d'ambiguïté quant à leur interprétation et qu'ils sont tous polymorphes chez *O. sativa* (tab. 9) ; la plupart de ces locus ont fait l'objet d'études de ségrégation et ont été positionnés sur leurs chromosomes respectifs (Ranjhan *et al.*, 1988 ; Wu *et al.*, 1988).

Les zymogrammes des aminopeptidases constituent un complexe sous plusieurs formes réagissant différemment suivant les substrats utilisés ; nous les décrivons de manière comparative vis à vis des travaux de Glaszmann, (1985, 1987a), Glaszmann *et al* (1988), puisque c'est la première fois que ces locus sont passés en revue sur des variétés africaines d'*O. sativa*.

Le gène Amp-1 n'est pas spécifique et peut être mis en évidence avec tous les substrats : L-leucyl-B-naphtylamide, L-arginyl-b-naphtylamide et L-alanyl-B-naphtylamide ; néanmoins certains électromorphes sont moins intenses avec les derniers substrats (Amp-1-4 et 5). Glaszmann *et al* (1988) identifie 5 électromorphes différents correspondant à 4 classes de migration et les 3 électromorphes les plus fréquents ont été observés dans le matériel du Burkina Faso (fig. 6).

Le locus Amp-2 est localisé sur le chromosome 8 et code pour des enzymes plus actives avec la L-alanyl-B-naphtylamide (fig. 6a). 4 zymogrammes correspondant à 4 allèles ainsi qu'un électromorphe nul ont été observés par Glaszmann *et al* (1988) dans les variétés asiatiques. Les deux électromorphes les plus fréquents Amp-2-1 et 2 sont présents parmi les variétés du Burkina Faso et Amp-1-3 apparaît spécifique de l'espèce *O. glaberrima*.

Le locus Amp-4 est également localisé sur le chromosome 8 mais ségrège indépendamment du locus Amp-2, il est spécifique de la L-arginyl-b-naphtylamide et comporte 3 allèles. Les allèles Amp-4-1 et 2 ont été observés dans des proportions analogues à celles des variétés asiatiques.

Le gène Amp-3 code pour des enzymes utilisant comme substrat la L-leucyl-B-naphtylamide. Les zymogrammes sont plus complexes avec 7 allèles dont un électromorphe nul ainsi que des électromorphes à activité réduite (Amp-3-4 et 5), (fig.6c). Nous avons observé les allèles Amp-3-1 et 2 qui sont de loin les plus fréquents. Le locus Amp-3 est étroitement lié au locus Est-E sur le chromosome 3 (Wu *et al.*, 1988).

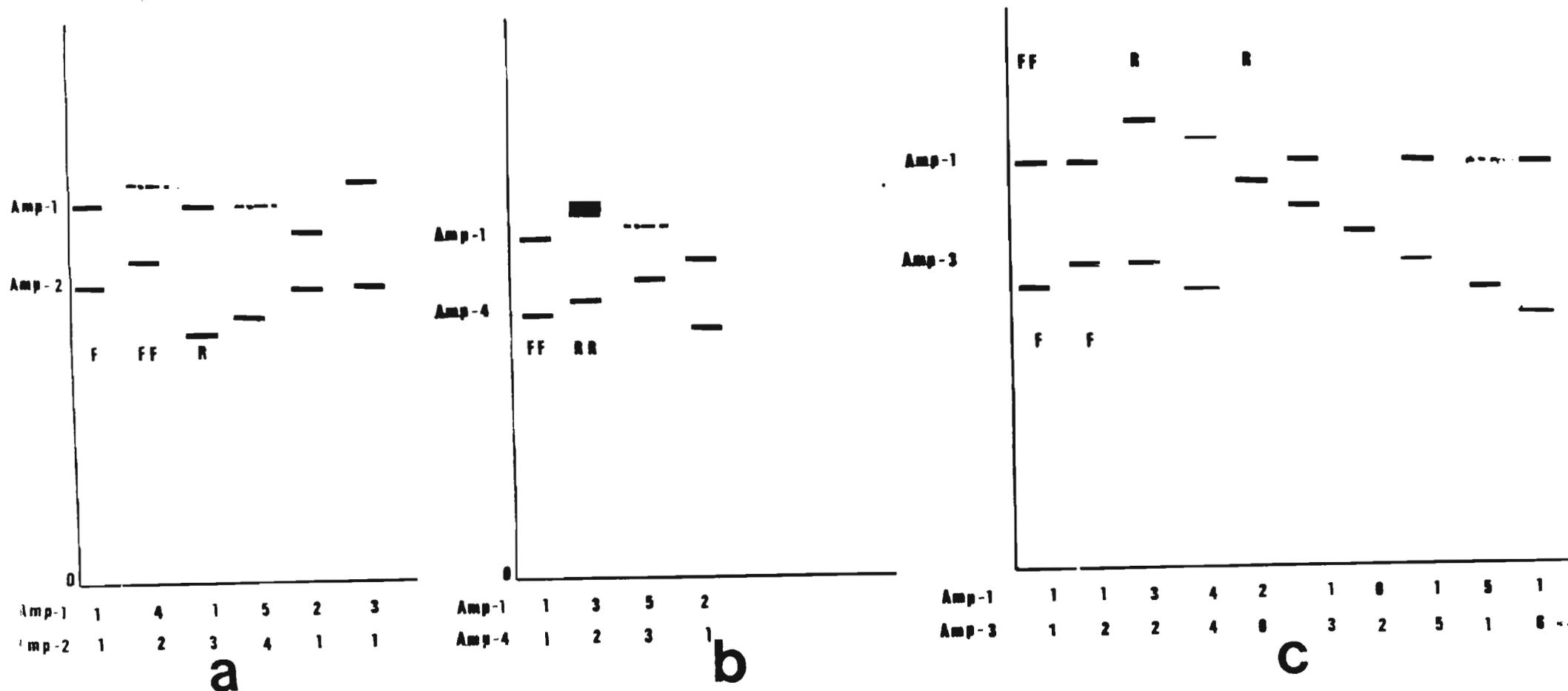


Figure 6 : Diagrammes d'interprétation des zymogrammes (Z) des Aminopeptidases.

Fig.6a : locus Amp-1 et Amp-2 avec comme substrat la DL-alanyl-B-naphtylamide (Ala-NAm).

Fig. 6b : locus Amp-1 et Amp-4 avec comme substrat la L-arginyl-B-naphtylamide (Arg-NAm).

Fig.6c : locus Amp-1 et Amp-3 avec comme substrat la L-leucyl-B-naphtylamide (Leu-NAm).

FF : très fréquent : $F > 0,95$
 F : fréquent : $0,05 < F < 0,95$
 R : rare : $0,01 < F < 0,05$
 RR : très rare : $F < 0,01$

Tableau 9 : Variation au niveau de 17 locus de variétés traditionnelles de riz du Burkina Faso et diversité génétique comparée avec des échantillonnages d'Afrique, d'Asie et du Monde entier.

Locus	allèles et diversité génétique	Burkina Faso 283 variétés	Autres estimations		
			Asie * 1688	Second** fct du locus	Afrique *** 150
Cat-A	1	0,99	0,71	-	-
	2	0,01	0,29	-	-
	H	0,02	0,41	0,5	0,2
Pgi-A	1	0,77	0,49	-	-
	2	0,23	0,51	-	-
	H	0,35	0,5	0,48	0,5
Pgi-B	1	0,9	0,6	-	-
	2	0,09	0,29	-	-
	3	0,01	0,08	-	-
	4	-	0,03	-	-
	H	0,01	0,55	0,45	0,39
Est-E	0	0,1	0,36	-	-
	1	0,27	0,42	-	-
	2	0,63	0,22	-	-
	H	0,52	0,65	0,62	0,63
Amp-2	1	0,05	0,39	-	-
	2	0,95	0,61	-	-
	3	-	tr	-	-
	4	-	tr	-	-
	H	0,1	0,48	-	-
Sdh-A	1	tr	0,37	-	-
	2	0,57	0,62	-	-
	3	0,41	0,01	-	-
	4	0,02	0,01	-	-
	H	0,51	0,48	-	-
Ep-A	0	0,42	-	-	-
	4	0,48	-	-	-
	7	tr	-	-	-
	H	0,49	-	-	-
Pgd-A	0	tr	-	-	-
	1	0,55	-	-	-
	2	0,18	-	-	-
	3	0,27	-	-	-
	H	0,59	-	0,36	0,52
Pox-B	3	0,53	-	-	-
	5	0,47	-	-	-
	H	0,5	-	0,41	0,66
Est-Ca	1	0,85	0,4	-	-
	2	0,15	0,6	-	-
	H	0,26	0,48	0,24	0,48
Est-B	0	0,3	tr	-	-
	1	0,7	0,99	-	-
	2	-	0,01	-	-
	H	0,42	0,02	0,56	0,21

Locus	allèles et diversité génétique	Burkina Faso 283 variétés	Autres estimations		
			Asie * 1688	Second** fct du locus	Afrique *** 150
Est-D	0	0,08	0,09	-	-
	1	0,92	0,91	-	-
	H	0,15	0,36	0,37	0,34
Amp-3	0	-	0,04	-	-
	1	0,73	0,48	-	-
	2	0,27	0,43	-	-
	3	-	0,01	-	-
	4	-	0,03	-	-
	5	-	tr	-	-
Amp-1	6	-	0,01	-	-
	H	0,39	0,58	-	-
	1	0,94	0,78	-	-
	2	0,04	0,13	-	-
	3	0,02	0,04	-	-
Amp-4	4	-	0,05	-	-
	5	-	tr	-	-
	H	0,11	0,37	-	-
	1	0,99	0,97	-	-
	2	0,01	0,03	-	-
Acp-1	3	-	tr	-	-
	H	0,02	0,05	-	-
	1	0,96	0,62	-	-
	2	0,04	0,37	-	-
Acp-2	3	-	0,01	-	-
	H	0,11	0,48	0,48	0,4
	0	0,04	-	-	-
	1	0,96	-	-	-
H	0,11	-	0,47	0,39	

Nombre de locus en commun	Diversité génétique moyenne			
	8	0,23	0,43	0,46
10	0,29	-	0,45	0,43
13	0,19	0,42	-	+

*Asie : Glaszmann (1988)

**Second (1982) : collection mondiale

***Afrique : Ghesquière et Miezán (1982)

tr : fréq. < 0,5 %

Au niveau des locus qui ont été déjà étudiés sur les variétés africaines d'*O. sativa*, tous les électromorphes connus sont rencontrés avec cependant des différences de fréquence relative qui peuvent être importantes (tab.9) ; certains électromorphes sont très faiblement représentés (Cat-A2, Acp-1-2, Acp-2-0, Amp-2-1), pour d'autres locus, certains électromorphes sont beaucoup plus fréquents au Burkina Faso : Pgd-A2 et A3 ainsi qu'un certain nombre d'allèles nuls (Est-B0, Est-D0, Ep-A0).

En ce qui concerne les électromorphes rares dont la fréquence est inférieure à 5%, beaucoup n'ont pas été observés : outre la situation des aminopeptidases déjà évoquée, on peut noter le cas des électromorphes Icd-A3, Est-B2, Pgi-B4, Acp-1-3, Adh-A3. En revanche, certaines particularités ont été observées dans les variétés du Burkina Faso : c'est le cas de l'électromorphe Sdh-A1 que l'on rencontre exceptionnellement parmi les variétés asiatiques, mais qui est très fréquent chez l'espèce sauvage africaine *O. longistaminata*. De même, pour le locus Ep-A qui est extrêmement variable chez *O. longistaminata*, un électromorphe original a été noté Ep-A7 ; enfin, une forme Pgd-A0 manifestant une activité réduite a été observée de manière répétable.

Des locus (Pgd-A, Sdh-A et Pgi-A) ont montré des formes hétérozygotes qui traduisent le fait que l'allofécondation peut ne pas être négligeable lorsque toutes les variétés sont cultivées simultanément. Ces hybrides spontanés ont été écartés des analyses ultérieures. La taille de notre échantillon passe par conséquent de 312 à 306 dont 23 pour l'espèce *O. glaberrima*.

2) La diversité génétique.

Le tableau 10 compare les deux espèces cultivées et montre la très faible variabilité d'*O. glaberrima* : la diversité génétique de l'espèce africaine de riz cultivé a une valeur 10 fois inférieure à celle de l'espèce asiatique et un seul locus polymorphe a été observé (Pgi-A). Pour l'ensemble des échantillons d'*O. sativa* nous avons rencontré 2 à 4 allèles par locus ce qui fait une moyenne de 2,5 pour les 17 locus étudiés (42 allèles observés).

Le polymorphisme observé sur l'ensemble des locus permet d'identifier 144 génotypes différents chez *O. sativa* contre 3 seulement pour *O. glaberrima*. La majorité des génotypes est représentée par 1 seul individu (100 génotypes) et les autres classes comportent 2 à 21 individus. Le grand nombre de génotypes observés permet donc d'analyser directement l'échantillon global sans introduire de biais dû au fait de variétés répétées dans l'échantillon.

Pour les locus où l'on observe soit deux électromorphes en fréquences sensiblement équivalentes, soit trois électromorphes, la diversité génétique est proche de 0,5 ; en revanche, pour les autres locus où il existe un électromorphe très fréquent, la diversité génétique est beaucoup plus faible. Les valeurs de diversité génétique étant fortement dépendante des locus considérés, une estimation globale de l'hétérozygotie doit être faite sur un ensemble de locus comportant à la fois des locus très polymorphes et des locus peu ou pas polymorphes ; d'autre part, pour les mêmes raisons, les comparaisons entre des échantillonnages différents doivent porter sur les mêmes locus. Le tableau 9 compare la diversité génétique moyenne sur les locus en commun des variétés du Burkina avec des échantillonnages plus importants du point de vue numérique et représentation géographique :

- un échantillonnage de variétés traditionnelles d'*O. sativa* en provenance de toute l'Afrique (Ghesquière et Miezán, 1982).
- le continent asiatique (Glaszmann, 1988).
- l'ensemble du monde concerné par la culture d'*O. sativa*. (Second, 1982).

Les échantillonnages très vastes sont peu sensibles aux différents choix de locus pour évaluer la diversité génétique moyenne et peuvent ainsi avoir une valeur comparative ; on constate que la variabilité des cultivars africains est élevée tout en étant légèrement plus faible par rapport au continent asiatique et que l'hétérozygotie des variétés du Burkina Faso est également plus faible vis à vis de l'ensemble de l'Afrique. La diversité de notre matériel est par ailleurs identique à celle estimée par de Kochko (1987a) sur les variétés de la région Niger - Mali - Burkina Faso.

La faible diversité génétique des variétés du Burkina Faso est due, en particulier, à des locus pour lesquels certains électromorphes sont très faiblement représentés comparativement aux variétés asiatiques (Cat-A2, Acp-1-2, Acp-2-0, Amp-2-1) ; Ces différents locus sont connus pour intervenir fortement dans la distinction des variétés *indica* et *japonica* et suggère de classer notre matériel de ce point de vue.

B) La classification des variétés du Burkina Faso.

Trois critères ou méthodes ont été choisis pour classer les variétés : la réaction au phénol, la variabilité sur le locus Acp-1 seul, et le polymorphisme sur un ensemble de 15 locus ; ces critères ont été utilisés d'abord indépendamment puis considérés simultanément pour montrer la similitude de ces différentes approches.

La réaction au phénol est un excellent critère défini car il résume tout un ensemble de tests

Tableau 10 : Variabilité isozymique comparée sur 17 locus entre *O. sativa* et *O. glaberrima*.

Espèce	Nbre d'échantillons	Nbre d'allèles par locus	% de locus polymorphes	diversité génétique
<i>O. sativa</i>	283	2,47	100%	0,29
<i>O. glaberrima</i>	23	1,12	5,88%	0,02

Tableau 11 : Classification des variétés du Burkina Faso dans les 6 groupes isozymiques définis par Glaszmann (1988) en relation avec la variabilité sur le locus Acp-1.

Groupe isozymique	Glaszmann (1988)				Burkina Faso		
	nombre de variétés	Fréquence allélique Acp-1-1	Fréquence allélique Acp-1-2	Fréquence allélique Acp-1-3	nombre de variétés	Fréquence allélique Acp-1-1	Fréquence allélique Acp-1-2
I	900	0,98	0,02	0	268	1	0
II	106	0,84	0,16	0	2	1	0
III	6	1	0	0	-	-	-
IV	11	0	0	1	-	-	-
V	124	0,18	0,82	0	-	-	-
VI	451	0,01	0,99	0	13	0,11	0,89

Tableau 12 : relation entre la variabilité au locus Acp-1, la réaction au phénol et l'identification de deux groupes isozymiques sur 17 locus chez les variétés africaines d'*O. sativa*.

locus Acp-1	Réaction au Phénol	Japonica		Indica	
		Afrique * 329 **	Burkina Faso 13	Afrique 359	Burkina Faso 268
Acp-1-1	-	0	0	0,014	0
	+	0	0,077	0,978	1
Acp-1-2	-	0,994	0,846	0	0
	+	0,006	0,077	0,008	0

* : 688 variétés sur l'ensemble de l'Afrique (de Koc'ho, 1987)

** : nombre de variétés

biochimiques ou de caractères simples distinguant les deux types de variétés (Oka, 1958). Nous avons observé qu'à l'exception de 11 numéros (4 %), tous les autres échantillons ont manifesté une réaction positive et peuvent donc être assimilés au groupe *indica*.

Glaszmann (1988) a proposé une classification des variétés asiatiques sur la base du polymorphisme isozymique de 15 locus mais sans faire intervenir la réaction au phénol : à partir d'analyses des correspondances, 6 groupes peuvent être identifiés dont les deux plus importants s'apparentent au type *indica* (groupe GI : 53,3% des variétés) et *japonica* (groupe GVI : 26,7% des variétés) ; ces deux groupes peuvent être caractérisés par de nombreux locus sur lesquels il existe des allèles plus ou moins spécifiques de chacun des groupes : c'est le cas du locus Acp-1 où les électromorphes Acp-1-1 et Acp-1-2 sont caractéristiques respectivement des groupes I et VI (tab. 11). À côté de ces deux groupes principaux, il existe plusieurs groupes minoritaires définis à partir d'électromorphes beaucoup plus rares :

Est-B2 et Amp-3-6 pour le groupe G III

Amp-3-6 et Acp-1-3 pour le groupe GIV

Amp-3-0, Amp-3-6 et Acp-1-3 pour le groupe GV

Sur cette base, on peut classer facilement les variétés du Burkina Faso dans les groupes GI, GII et GVI (tab. 11) : Le GI constitue le plus grand groupe avec 268 individus (94%) sur un total de 283, Le groupe GII ne compte que 2 échantillons et enfin, le groupe GVI qui renferme les variétés *japonica* comporte 13 numéros.

Il y a donc une relation étroite entre la réaction au phénol, le polymorphisme sur le locus Acp-1 et l'appartenance aux groupes GI ou GVI définis par Glaszmann (1988). On peut croiser les deux premiers critères à partir des observations de (de) Kochko (1987a) sur les variétés d'*O. sativa* en Afrique (tab. 12) : Les variétés réagissant positivement au phénol, possèdent l'allèle Acp-1-1 dans leur grande majorité, la réaction négative est pratiquement toujours associée à la présence de l'allèle Acp-1-2 ; une distribution similaire est observée parmi nos variétés.

Si les différentes classifications se recouvrent largement, leur confrontation est intéressante car elle permet de mettre en évidence des individus mal classés au sein des variétés du Burkina Faso ; ces situations particulières concernent 9 lignées et se caractérisent de la manière suivante :

- réaction au phénol positive et électromorphe Acp-1-1 associés à un polymorphisme caractéristique du groupe *japonica* sur les autres locus.
- présence de l'électromorphe Amp-2-2 dans notre groupe GVI et présence de l'allèle Amp-2-1 dans le groupe GI.

Tableau 13 : Répartition et caractéristiques des variétés du Burkina Faso vis à vis des groupes isozymiques définis sur 15 locus par Glaszmann (1988).

Locus**	Allèles et Indice H	Groupe I		Groupe GII		Groupe GVI		Locus	Allèles et Indice H	Groupe GI		Groupe GII		Groupe GVI	
		Asie 900 var.	Burkina 268	Asie 106 var.	Burkina 2 var.	Asie 451 var.	Burkina 13 var.			Asie 900 var.	Burkina 268	Asie 106 var.	Burkina 2 var.	Asie 451 var.	Burkina 13 var.
Icd-1	1	1	-	1	1	0,95	-	Cat-A	1	1	1	1	1	0,04	0,44
	2	tr*	-	-	-	-	-		2	tr	-	-	-	0,96	0,66
	3	-	-	-	-	0,05	-		3	-	-	-	-	tr	-
	H	tr	-	0	-	0,1	-		H	tr	0	0	0	0,08	0,37
Est-B	0	tr	0,26	-	-	-	-	Pgi-A	1	0,87	0,75	-	-	tr	-
	1	1	0,74	1	1	1	1		2	0,13	0,25	1	1	1	1
	2	-	-	-	-	-	-		H	0,23	0,36	0	0	tr	0
	H	tr	0,38	0	0	0	0		Sdh-A	1	0,43	tr	0,89	-	0,01
Amp-1	1	0,93	0,94	0,19	-	0,9	1	2	0,54	0,58	0,1	1	0,99	0,11	
	2	tr	0,04	0,81	1	-	-	3	0,02	0,42	-	-	-	0,89	
	3	-	0,02	-	-	10	-	4	0,01	tr	0,01	-	-	-	
	4	0,06	-	-	-	tr	-	H	0,52	0,49	0,2	0	0,02	0,2	
	5	0,01	-	-	-	-	-	Acp-1	1	0,98	1	1	1	0,01	0,15
	H	0,13	0,11	0,31	0	0,18	0	2	0,02	-	-	-	0,99	0,85	
Est-E	0	0,13	0,13	-	-	0,76	0,62	3	-	-	-	-	-	-	
	1	0,47	0,46	1	1	0,24	0,38	H	0,04	0	0	0	0,02	0,2	
	2	0,4	0,41	-	-	-	-	Amp-2	1	0,01	tr	0,29	1	0,99	0,85
	H	0,6	0,6	0	0	0,37	0,46	2	0,99	1	0,71	-	tr	0,15	
Amp-3	0	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	tr	-	
	1	0,51	0,54	-	-	0,73	0,36	4	-	-	-	-	tr	-	
	2	0,47	0,46	1	1	0,27	0,64	H	0,02	0	0,41	0	0,02	0,25	
	3	0,02	-	-	-	-	-	Est-Ca	1	0,66	0,86	0,28	-	-	-
	4	-	-	-	-	-	-	2	0,34	0,14	0,72	1	1	1	
	5	tr	-	-	-	-	-	H	0,45	0,24	0,4	0	0	0	
	6	-	-	-	-	-	-	Amp-4	1	1	0,99	0,99	1	0,93	1
	H	0,52	0,5	0	0	0,39	0,54	2	tr	0,01	0,01	-	0,07	-	
EstE-Amp-3	1-1	tr	tr	-	-	-	0,07	3	-	-	-	-	tr	-	
	1-2	0,47	0,27	1	1	0,24	0,029	H	tr	0,02	0,02	0	0,13	0	
	2-1	0,4	0,73	-	-	-	-	Adh-1	0	-	-	-	tr	-	
	2-2	-	tr	-	-	-	-	1	0,99	-	0,94	-	0,88	-	
	2-5	tr	-	-	-	-	-	2	-	-	0,01	-	0,12	-	
	2-6	-	-	-	-	-	-	3	0,01	-	0,05	-	tr	-	
	0-1	0,11	-	-	-	0,73	0,43	H	0,02	-	0,11	-	0,21	-	
	0-2	tr	-	-	-	0,03	0,21	Est-D	0	0,03	0,05	-	-	0,25	0,66
	0-3	0,02	-	-	-	-	-	1	0,97	0,95	1	1	0,75	0,34	
	0-4	-	-	-	-	-	-	H	0,06	0,1	0	0	0,38	0,45	
	0-6	-	-	-	-	-	-	H moyen	0,21	0,21	0,12	0	0,13	0,16	
0-0	-	-	-	-	-	-									
H	0,61	0,39	0	0	0,41	0,41									
Pgi-B	1	0,47	0,75	0,03	-	1	1								
	2	0,53	0,25	-	-	-	-								
	3	-	-	0,97	1	-	-								
	4	-	-	-	-	-	-								
	H	0,5	0,36	0,06	0	0	0								

* tr : fréquence <0,5%

**EstE-Amp-3 est considéré comme une unité (à cause de leur liaison étroite)

- présence de l'allèle Amp-1-3 dans notre groupe GI et son absence dans le groupe GVI alors que l'inverse est observé en Asie.
- présence exceptionnelle d'association Est-E1-Amp-3-1 étant donné la liaison génétique très étroite entre ces deux locus.

Les classifications des variétés du Burkina Faso sont très convergentes et permettent tout de suite d'expliquer la faible diversité génétique comparativement au reste de l'Afrique par le petit nombre de variétés *japonica* (groupe VI). En ce qui concerne les groupes minoritaires, si deux variétés s'apparentent clairement au groupe II, les électromorphes rares qui sont spécifiques des groupes III à V n'ont pas été observés au Burkina Faso et il est probable qu'ils soient absents d'Afrique ou présents seulement à l'état de traces car ils n'ont pas été mis en évidence dans des échantillonnages plus importants (Ghesquière et Second, 1983 ; de Kochko, 1988). La classification des variétés du Burkina Faso étant faite, on peut faire des comparaisons plus objectives de groupe à groupe du point de vue fréquence allélique et diversité génétique (tab. 13) : sur les 15 locus étudiés par Glaszmann (1988), la comparaison des deux groupes I montre une homogénéité beaucoup plus grande des fréquences alléliques qui se traduit par une diversité génétique moyenne identique entre les variétés asiatiques et les variétés du Burkina Faso ; pour les deux autres groupes, les comparaisons ne sont qu'indicatives étant donné la faiblesse de nos effectifs. Comme tous les groupes ne sont pas représentés en Afrique, il est intéressant d'étudier de manière plus approfondie la variabilité dans les deux groupes principaux, en particulier dans le groupe *indica* puisqu'il renferme la quasi totalité de nos variétés.

C) La mise en évidence de formes intermédiaires.

Le classement des variétés dans un groupe particulier peut être complété en essayant d'analyser la variabilité intra groupe sous l'angle du continuum *indica* - *japonica* ; cette approche fait référence aux travaux de Second (1982) sur l'origine de la variabilité d'*O. sativa*. L'interprétation de Second (1982) met en avant la notion de zymogrammes "parentaux" ou "ancestraux" et de zymogrammes "hybrides" correspondant à des combinaisons variées entre les zymogrammes parentaux ; les zymogrammes parentaux pouvant être assimilés à ceux des variétés *indica* et *japonica* primitives à l'époque où celles-ci étaient géographiquement isolées. Il ne s'agit donc pas d'une nouvelle classification basée sur des analyses multivariées mais d'une interprétation évolutive dont l'intérêt est de pouvoir identifier des formes extrêmes et des formes intermédiaires.

La détection des combinaisons ancestrales ou introgressées peut être ramenée à l'étude des 4 locus Pgi-A, Pgi-B, Cat-A et Est-E (Second, 1982). Si l'on regroupe les deux électromorphes Est-E1 et E2 en une classe, il y a 16 combinaisons possibles en ne considérant que deux

Tableau 14 a: Fréquences relatives de 9 types d'association multiallélique entre les électromorphes observés sur 4 locus et distribution des associations dans les groupes isozymiques définis par Glaszmann (1988).

Types d'association	Symboles	Types d'électromorphes				Distribution théorique dans les groupes isozymiques					
		Pgi-A	Pgi-B	Cat-A	Est-E	I	II	III	IV	V	VI
1-Japonica "parental"	J1 ○	2	1	2	0	0	0	0	0	0,207	0,73
2 -Japonica "hybride"	J2 △	2	1	2	1-2	0	0	0	0	0	0,23
3-Japonica "hybride"	J3 ▽	2	1	1	0	0,008	0	0	1	0,403	0,03
4-"Javanica"	Ja □	2	1	1	1-2	0,053	0,03	0	0	0	0,01
5-Indica" hybride"	I5 ▲	1	1	1	0	0,053	0	0	0	0	0
6-Indica "hybride"	I2 ◆	1	1	1	1-2	0,356	0	0	0	0	0
7-Indica "parental"	I1 ●	1	2	1	1-2	0,401	0	0	0	0	0
8-Autres combinaisons*	I4 ▼	2	2	1	1-2	0,129	0	0	0	0	0
9-Electromorphes rares**	I6 *	2	3	1	1	0	0,97(a)	1(a)	0	0,39(b)	0

* : Toutes les autres combinaisons faisant intervenir les électromorphes fréquents

** : Combinaisons faisant intervenir des électromorphes rares sur le locus Pgi-B : a : Pgi-B3
b : Pgi-B4

Tableau 14b : fréquences des associations multialléliques dans les différents échantillonnages d'*O. sativa* et dans les variétés du Burkina Faso.

Types d'association	Groupes	fréquences des associations			
		Asie* 1598	Afrique** 150	Burkina 283 phénol	Burkina 283 phénol
				-	+
1-Japonica "parental"	G VI	0,22	0,028	-	-
2 -Japonica "hybride"	GVI	0,065	0,086	0,007	0
3-Japonica "hybride"	GVI	0,046	0,014	0,021	0,007
4-"Javanica"	GI-GVI	0,035	0,236	0,007	0,173
5-Indica" hybride"	GI	0,03	0,3	0	0,067
6-Indica "hybride"	GI	0,2	0,279	0	0,618
7-Indica "parental"	GI	0,226	0,157	0	0,081
8-Autres combinaisons	GI	0,073	0,43	0	0,007
9-Electromorphes rares	GII	0,105	0,027	0	0,007

* Glaszmann (1988)

**Ghesquière et Miezan (1982)

électromorphes sur chacun de ces quatre locus. En fait, on a constaté que sur ces 16 combinaisons, 8 seulement sont observées (Ghesquière et Miezán, 1982) et on peut définir une classe à part pour rendre compte des électromorphes rares sur le locus Pgi-B (Pgi-B3 et B4) (tab. 14a).

Avant d'étudier la distribution des variétés du Burkina Faso suivant ces différents types d'associations multialléliques, on peut vérifier sa cohérence vis des groupes isozymiques définis par Glaszmann (1988) : pour cela on a calculé pour chaque groupe les fréquences théoriques de ces associations à partir des fréquences alléliques sur chacun des quatre locus ; cette estimation est correcte à condition qu'il n'y ait pas de déséquilibre gamétique entre ces locus et qu'ils soient par ailleurs tous indépendants ; pour cette dernière condition, on sait à partir des études de liaisons génétiques que les locus Est-E, Pgi-B et Cat-A sont sur le chromosome 3 et que le locus Pgi-A est sur le chromosome 4 ; par ailleurs, il y a 15% de recombinaison entre Est-E - Pgi-B mais comme le locus Cat-A ségrège indépendamment de ceux-ci, on estimera néanmoins les fréquences des génotypes à partir des fréquences alléliques.

Dans ces conditions on observe bien que le Groupe GVI se distribue dans les associations *japonica* avec une fréquence très élevée de la formule parentale ; le groupe I montre une plus grande diversité de formules avec aussi une prédominance du type parental. En ce qui concerne les autres groupes, les groupes GII et GIII peuvent être individualisés grâce à l'électromorphe Pgi-B3, en revanche, les groupes IV et V ne peuvent être séparés spécifiquement du groupe VI de cette manière. La comparaison des distributions des variétés du Burkina Faso et des variétés asiatiques montre très clairement qu'il y a beaucoup plus de formes intermédiaires par rapport aux formes parentales (62% pour l'association *indica* "hybride" I_2 contre 8% pour la formule "parentale" *indica*) (tab.14b) ; cette représentation préférentielle des formes intermédiaires est une situation qui semble propre au continent africain puisque d'autres échantillonnages couvrant toute l'Afrique montrent la même tendance.

Si l'on écarte les combinaisons très faiblement représentées, la diversité génétique des groupes est plus forte chez les types intermédiaires (Ja et I_2) comparativement au groupe parental I_1). L'importance numérique du groupe I_2 (175 individus) suggère de le subdiviser et nous avons choisi arbitrairement les locus Est-E et Sdh-A qui montrent une forte variabilité dans ce groupe pour définir 4 sous-groupes : I_{3b} , I_{3a} , I_{2b} et I_{2a} ; ces sous groupes sont plus homogènes avec une diversité génétique comprise entre 0,13 et 0,19. Le sous-groupe I_{2a} (Est-E2 / Sdh-A2 et A4) est le plus variable suivi de I_{3b} (Est-E1 / Sdh-A3) et ce sont également ces 2 sous-groupes qui présentent la plus forte diversité pour les locus Pgd-A et Ep-A. La comparaison de tous les groupes et sous groupes pour les 12 locus en commun montre que c'est le groupe le plus intermédiaire (Ja) qui est en même temps le plus variable vis à vis des groupes extrêmes (tab. 15).

Tableau 15 : Fréquences alléliques et diversité génétique sur 14 locus des groupes et sous groupes variétaux définis à partir des associations multialléliques du tableau 14.

Locus et allèles	GVI		GII		GI							
	J2	J3	I6	Ja	I5	I4	I2	I2				I1
							I3b	I3a	I2b	I2a		
Est-E0	0*	1*	-	0*	1*		0*	-	-	-	-	0*
1	1	-	1	0,57	-	1	0,21	1*	1*	-	-	0,17
2	-	-	-	0,43	-	-	0,79	-	-	1*	1*	0,83
H	0	0	0	0,49	0	0	0,33	0	0	0	0	0,28
Sdh-A1	-	-	-	-	-	-	tr	-	-	-	0,01	-
2	-	-	-	0,45	0,32	-	0,63	0*	0,82	0*	0,98	0,91
3	1	1	1	0,55	0,68	1	0,33	1	0*	1	0*	0,09
4	-	-	-	-	-	-	0,03	-	0,18	-	0,01	-
H	0	0	0	0,5	0,44	0	0,5	0	0,3	0	0,04	0,16
mp-2-1	1	0,13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	-	0,87	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H	0	0,23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Acp-1-1	-	0,13	1	98	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	0,87	-	0,02	-	-	-	-	-	-	-	-
H	0	0,23	0	0,04	0	0	0	0	0	0	0	0
Ep-A-0	-	-	-	0,31	0,63	-	0,52	0,6	0,13	0,77	0,47	-
4	1	1	1	0,69	0,37	1	0,48	0,4	0,86	0,23	0,52	1
7	-	-	-	-	-	-	tr	-	-	-	0,01	-
H	0	0	0	0,43	0,47	0	0,5	0,48	0,24	0,35	0,05	0
Pgd-A-0	-	-	-	-	-	-	tr	-	-	-	0,01	-
1	-	1	-	0,41	0,78	0,5	0,53	0,33	0,61	0,73	0,45	0,7
2	-	-	-	0,1	0,11	0,5	0,22	0,27	-	0,09	0,33	0,17
3	1	-	1	0,49	0,11	-	0,25	0,4	0,39	0,18	0,21	0,13
H	0	0	0	0,58	0,37	0,5	0,61	0,66	0,48	0,43	0,64	0,46
Pox-B-3	0,5	1	0,5	0,53	0,84	0,5	0,49	0,67	0,65	0,86	0,26	0,35
5	0,5	-	0,5	0,47	0,16	0,5	0,5	0,33	0,35	0,14	0,74	0,65
H	0,5	0	0,5	0,5	0,27	0,5	0,51	0,44	0,46	0,24	0,38	0,46

Locus et allèles	GVI		GII		GI							
	J2	J3	I6	Ja	I5	I4	I2	I2				I1
								I3b	I3a	I2b	I2a	
Est-Ca1	-	-	-	0,76	0,95	0,5	0,9	0,93	0,87	0,91	0,9	1
2	1	1	1	0,23	0,05	0,5	0,1	0,07	0,13	0,09	0,1	-
H	0	0	0	0,37	0,1	0,5	0,18	0,13	0,23	0,16	0,18	0
Est-B0	-	-	-	0,08	0,79	-	0,37	0,13	0,04	0,66	0,36	0,04
1	1	1	1	0,92	0,21	1	0,63	0,87	0,96	0,34	0,64	0,96
H	0	0	0	0,15	0,33	0	0,47	0,23	0,08	0,45	0,46	0,08
Est-D0	1	0,63	1	0,16	0,05	-	0,03	-	0,04	0,05	0,03	0,04
1	-	0,37	-	0,84	0,95	1	0,97	1	0,96	0,95	0,97	0,96
H	0	0,47	0	0,27	0,1	0	0,06	0	0,08	0,1	0,06	0,08
Amp-3-1	-	0,75	-	0,45	1	-	0,79	0,07	-	1	1	0,83
2	1	0,25	1	0,55	-	1	0,21	0,93	1	-	-	0,17
H	0	0,38	0	0,7	0	0	0,33	0,13	0	0	0	0,28
Amp-1-1	1	1	1	0,82	-	1	0,97	-	1	-	0,95	1
2	-	-	-	0,18	1	-	0,01	-	-	-	0,01	-
3	-	-	-	-	-	-	0,02	-	-	-	0,04	-
H	0	0	0	0,3	0	0	0,06	0	0	0	0,1	0
Amp-4-1	1	1	1	0,94	1	1	1	1	1	1	1	1
2	-	-	-	0,06	-	-	-	-	-	-	-	-
H	0	0	0	0,11	0	0	0	0	0	0	0	0
Acp-2-0	1	0,87	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	-	0,13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
H	0	0,23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Phénol - Phénol+	1	0,75	1	0,04	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	0,25	-	0,96	1	1	1	1	1	1	1	1
Effectif	2	8	2	51	19	2	175	15	22	44	94	23

*Allèles fixés pour les groupes et sous-groupes variétaux.

Nb de locus	DIVERSITE GENETIQUE MOYENNE											
	13	0,03	0,12	0,04	0,29	0,16	0,11	0,25				
12								0,17	0,13	0,14	0,19	

D) L'illustration de la situation particulière des variétés du Burkina

Les chapitres précédents ont mis en évidence la faible représentativité du groupe *japonica* dans notre échantillon contrairement au groupe GI et particulièrement les formes intermédiaires. Il serait intéressant de savoir comment ce matériel avec ses particularités va se positionner vis à vis de ce groupe GI. Nous avons effectué un autre type d'exploitation des données en attribuant à chaque allèle un score suivant sa spécificité à déterminer le groupe I ou VI ou un groupe différent à partir de sa fréquence relative dans ces groupes.

On peut définir un premier score tel que ;

$$\text{Score 1} = \frac{f1 - f6}{F}$$

f1=fréquence d'un allèle dans le groupe GI
f6=fréquence d'un allèle dans le groupe GVI
F = fréquence moyenne de l'allèle chez *O. sativa* (Asie)

Très clairement, ce score s'interprétera comme un niveau quantitatif de distinction *indica - japonica* de la même manière que le premier axe d'une AFC : les électromorphes auront une valeur d'autant plus positive qu'ils seront spécifiques du groupe I et réciproquement, les valeurs les plus négatives seront attribuées aux électromorphes très fréquents dans le groupe VI et très rares ou absents dans le groupe I. La somme des scores sur un ensemble de locus permettra de créer une distribution entre des types extrêmes et des types intermédiaires.

On peut définir également un deuxième score tel que :

$$\text{Score 2} = \frac{F_x + F_y}{F}$$

F_x = fréquence moyenne pondérée d'un allèle dans l'ensemble (GII-GIII-GIV-GV)
F_y = fréquence moyenne pondérée d'un allèle dans l'ensemble (GI-GVI)

Ce deuxième score permettra dans ses valeurs positives de mettre en évidence une variabilité qui n'appartient pas à la diversité *indica - japonica*.. pour les locus ou les électromorphes non pris en compte par Glaszmann, Les valeurs qui ont servi à calculer les scores ont été empruntées à l'étude de (de) Kochko (1987a).

La valeur des scores pour chaque électromorphe est présentée en annexe III et ceux-ci peuvent être projetés sur un plan à 2 axes (fig. 7) : on constate que la majorité des électromorphes se répartissent le long de l'axe 1 avec des valeurs négatives ou très faiblement positives sur l'axe 2 et ne concernent que la distinction *indica - japonica* ; d'autres part les électromorphes rares et propres

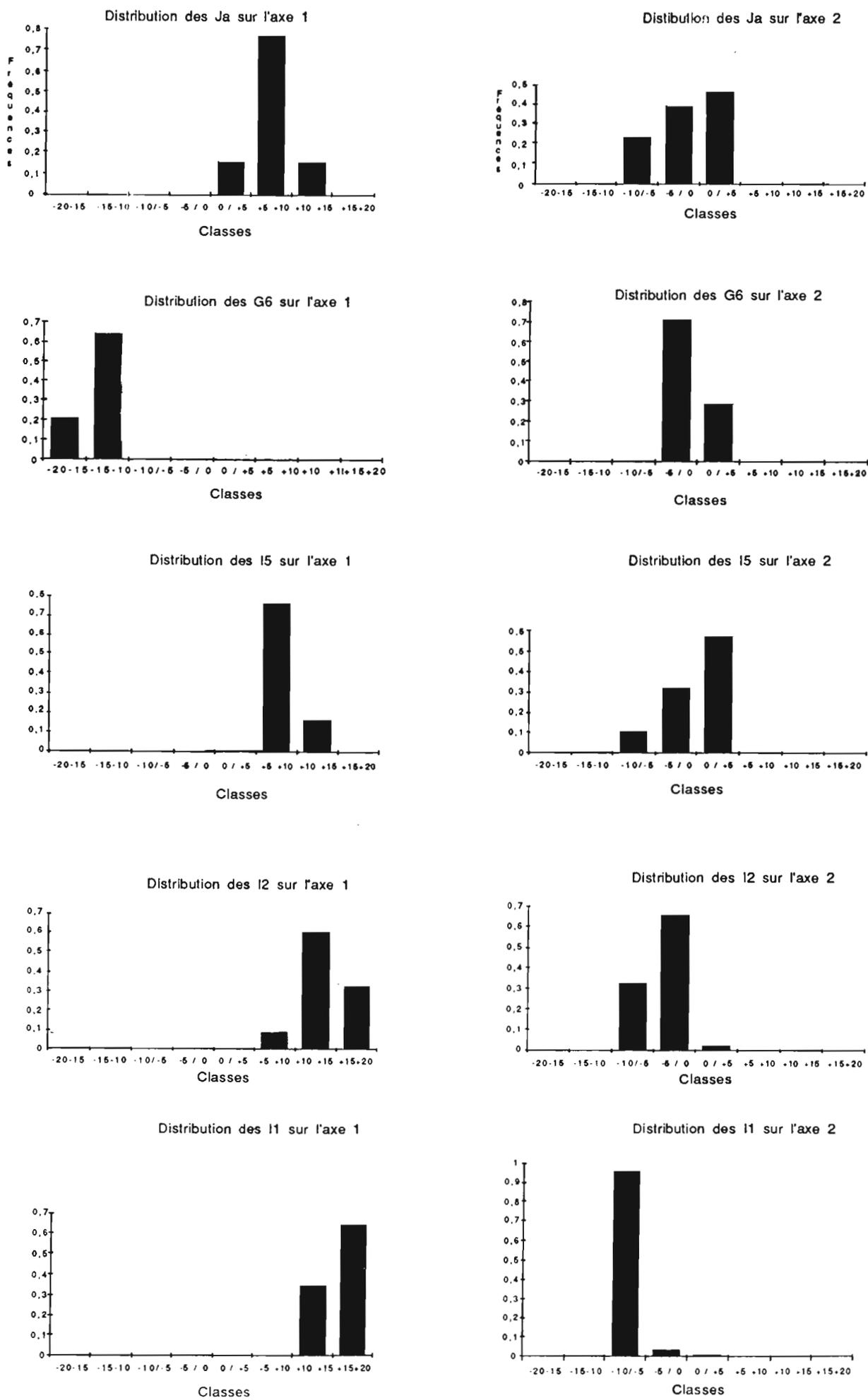


Figure 9: Distribution des groupes variétaux sur les axes 1 et 2 en fonction des scores des électromorphes

aux groupes II à V ont des valeurs nulles sur l'axe 1 et très positives sur l'axe 2 (Pgi-B3 Amp-3-6, Est-B-2, Amp-3-4 etc.). Cette figure présente également l'intérêt de mettre en évidence sur ce deuxième axe la fréquence élevée en Afrique de certains électromorphes nuls (Est-B0, EpA0).

La représentation des variétés par ce type d'analyse n'a pas les propriétés mathématiques de l'AFC mais a l'avantage de conserver toute l'information et en particulier celle des électromorphes rares qui le plus souvent ne peuvent être utilisés que sous formes de variables supplémentaires ; d'autre part cette représentation est indépendante de l'échantillonnage étudié et se prête mieux à des comparaisons. La figure 8 permet d'obtenir un positionnement d'ensemble de nos différents groupes variétaux par représentation de leurs valeurs extrêmes. On constate qu'il y a une bonne relation entre la place sur l'axe 1 et la définition de groupe parental ou de groupes hybrides en position intermédiaire ainsi qu'une relation entre la taille de ces groupes avec leur diversité génétique. Les deux variétés du I_6 sont bien individualisées grâce à l'électromorphe Pgi-B3 sur l'axe 2 mais sont très intermédiaires du point de vue de la distinction *indica* - *japonica*. La réaction au phénol est en accord avec la place des groupes à l'exception de quelques variétés mal classées (*japonica* et réaction positive) . Le groupe Ja assure la jonction entre les types extrêmes avec des variétés intermédiaires associées aux deux types de réaction au phénol. La place des échantillons d'*O.glaberrima* dans ce système se résume à 3 génotypes se situant en dehors du continuum *indica* - *japonica*. La distribution des variétés sur les 2 axes (fig.9) confirme bien ce résultat.

Sur l'axe 1 : nous avons une distribution qui va des classes les plus négatives (-20 / -15) aux classes les plus positives (+15 / +20) lorsque l'on passe du groupe VI au groupe I_1 . Parmi le groupe *indica*, les moyennes deviennent de plus en plus grandes et les variances diminuent quand on passe du groupe Ja au groupe I_1 .

Sur l'axe 2 : les distributions sont plus regroupées ; elles sont comprises entre -10 et +5 selon que l'on passe du groupe VI au groupe I_1 . Toutes les moyennes se situent dans l'intervalle compris entre 0 et -5 excepté celle du groupe I_1 qui a une valeur de -7,7. Il est intéressant de constater qu'il y a une corrélation négative au niveau des groupes entre les valeurs des deux axes : c'est dans le groupe Ja que l'on rencontre le plus de variétés dont les valeurs sont positives sur l'axe 2 à cause en particulier de la présence des électromorphes Ep-A0 et Est-B0.

Une autre approche de classification de ces mêmes variétés a été tentée. Notre objectif étant de mettre en relief la variabilité au sein des *indica* (groupe le plus représentatif de notre matériel). Nous avons retenu comme échantillon d'étude les 144 génotypes tous distincts entre eux mais représentant la totalité de la variabilité observée au Burkina. Les individus présentant des allèles rares, les "mal-classés" et les groupes les moins représentés comme les *japonica*, (J_2 , J_3), I_6 et I_4 , ont été écartés de l'analyse. 126 individus sont ainsi obtenus. Nous avons ensuite réaliser une

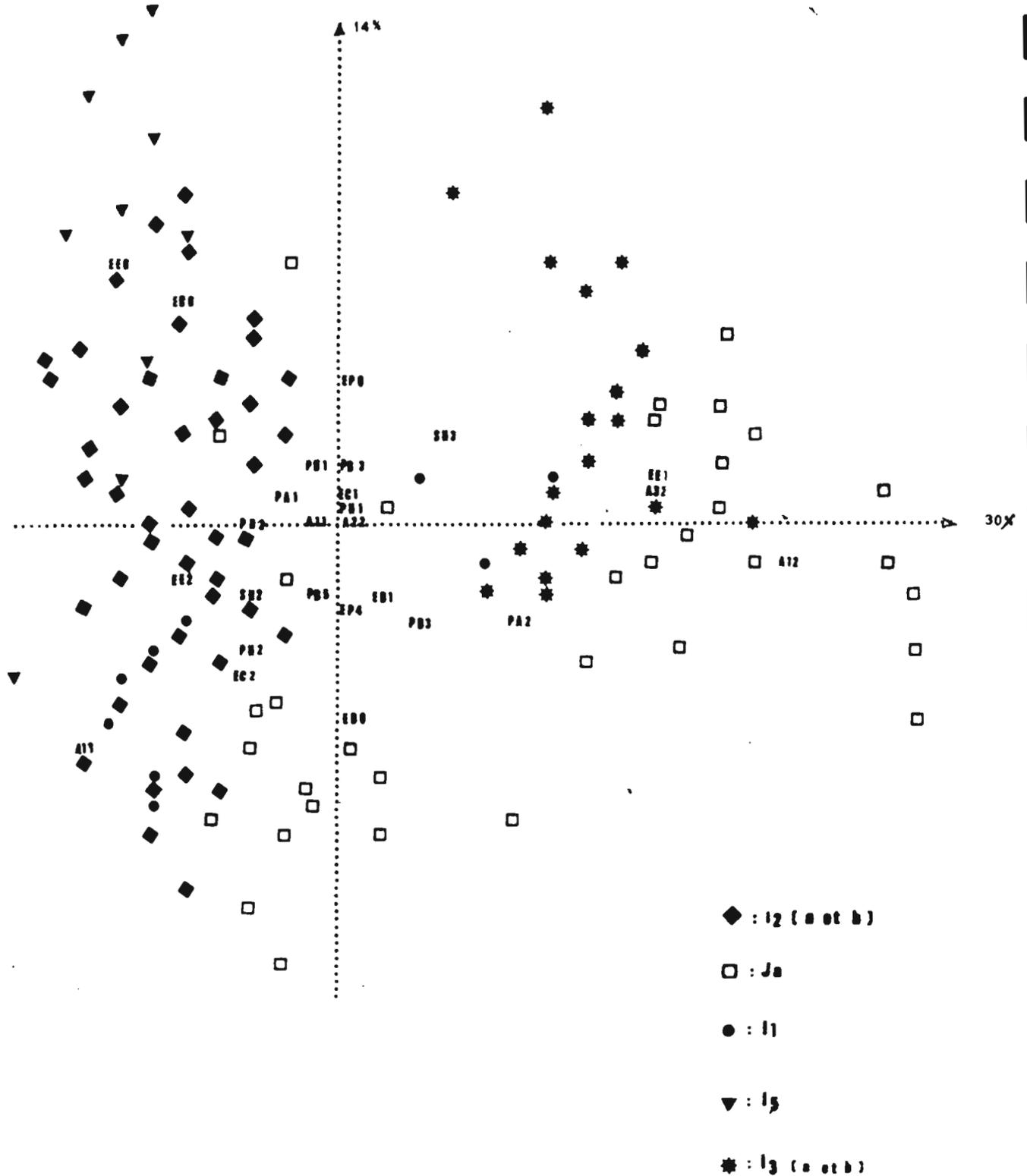


Figure 10 : Projection des génotypes et des électromorphes sur le plan défini par les 2 premiers axes d'une Analyse Factorielle des Correspondances réalisée avec le groupe *indica* (I1-I2-I5-Ja) sur 13 locus actifs.

PA1=Pgi-A1, PA2= Pgi-A2, PB1=Pgi-B1, PB2=Pgi-B2, EE1=Est-E1, EE2=Est-E2, EE0=Est-E0, A22=Amp-2-2, SH3=Sdh-A3, SH2=Sdh-A2, SH4=Sdh-A4, EP4=Ep-A4, EP0=Ep-A0, PD1=Pgd-A1, PD3=Pgd-A3, PD2=Pgd-A2, PB3=Pox-B3, PB5=Pox-B5, EC1=Est-Ca1, EC2=Est-Ca2, EB0=Est-B0, EB1= Est-B1, ED1=Est-D1, ED0=Est-D0, A31=Amp-3-1, A32=Amp-3-2, A11=Amp-1-1, A12=Amp-1-2, A13=Amp-1-3.

AFC après avoir construit un tableau de Burt en prenant comme variables les locus qui se sont montrés les plus polymorphes pour l'ensemble des individus concernés ; 13 locus ont été retenus. L'axe 1 (fig. 10) explique 30% de la variabilité globale. Néanmoins, sur cet axe nous avons une opposition nette entre les 2 sous-groupes I_2 et I_3 .

Au niveau des allèles, nous avons une opposition Est-E2 - Est-E1 sur l'axe 1. Ep-A0 et Ep-A4 s'opposent sur l'axe 2. Il en est de même pour Sdh-A3 et Sdh-A2. La répartition des groupes s'est effectuée par rapport à ces locus. C'est ainsi que le groupe Ja conserve toujours sa position de jonction entre les groupes extrêmes en raison de la présence dans ce groupe des allèles Est-E1 et Est-E2. I_2 (a et b) occupe toujours une position intermédiaire entre I_5 et I_1 . La position de cette dernière (I_1) est caractérisée par la présence des allèles Est-E1/2 et Ep-A4. Sdh-A intervient après le locus Ep-A. Les allèles nuls Est-B0 et Est-D0 sont opposés sur l'axe 2 et occupent les positions extrêmes conformément à ce qui avait été dit précédemment. La position du groupe I_5 est concrétisée par cette situation. Si Est-E permet de bien séparer les différents groupes, cela n'est pas le cas de Sdh-A. Le locus Ep-A pourrait être utilisé pour matérialiser l'axe 2 de notre AFC en raison de la faible représentabilité des allèles Est-B0 et Est-D0.

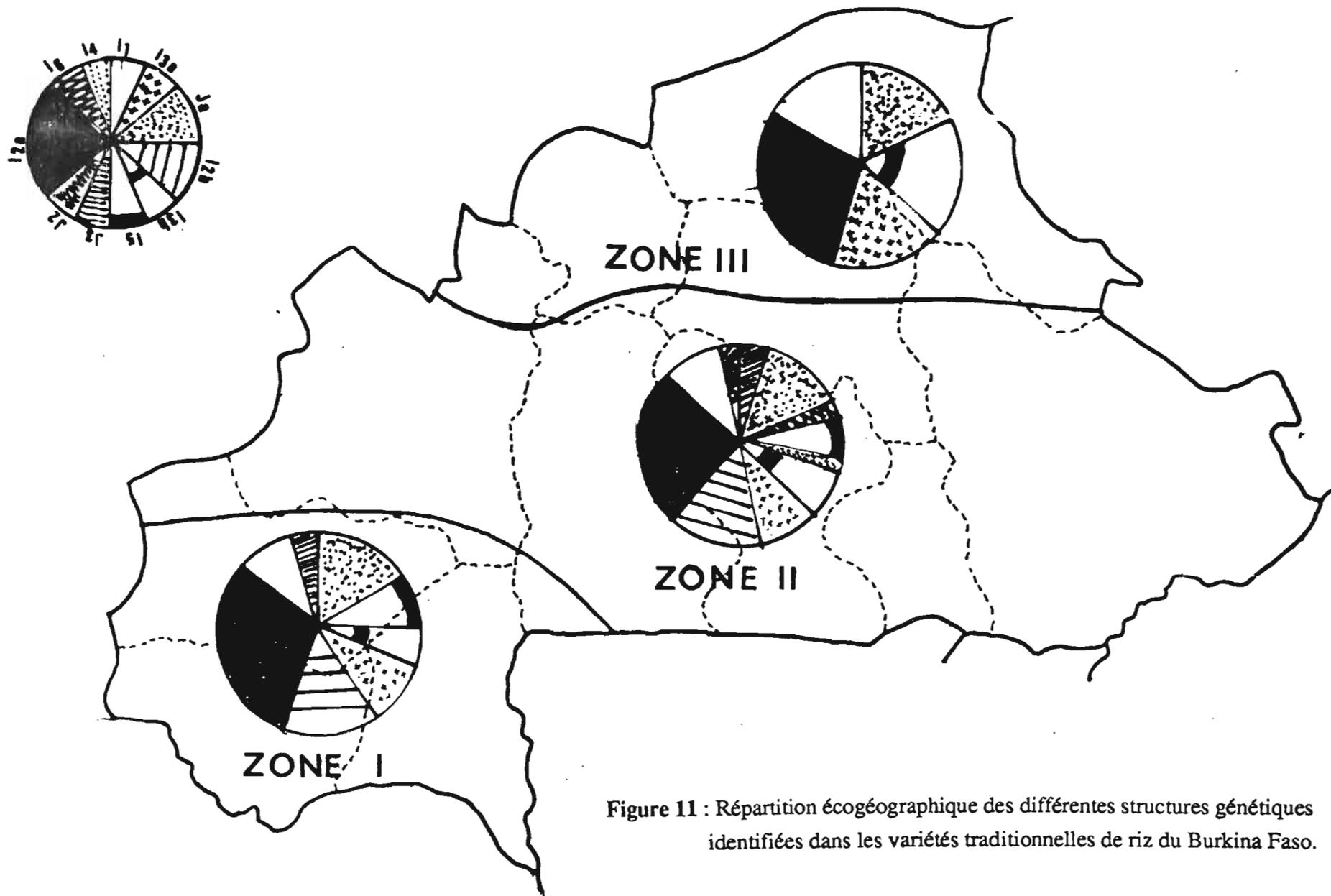
E) La répartition écotogéographique et la distribution des variétés.

Après la définition des différentes structures génétiques rencontrées au Burkina Faso nous allons tenter d'analyser leur répartition écotogéographique ; celle de l'effectif global est illustrée par la figure 4 ; un petit rappel sur le milieu géographique s'avère nécessaire.

Le milieu physique du Burkina peut se résumer en 3 zones climatiques (Sie, 1984) : La zone Sud-Soudanienne, la zone Nord-Soudanienne et la zone Sahélienne. Les types de sols rencontrés sont de 5 sortes si l'on exclut les cuirasses ferrugineuses totalement stériles du point de vue agronomique. On rencontre les sols ferralitiques dans la région de Bobo et Orodara (Ouest), les sols ferrugineux (Centre-Est), les vertisols les plus fertiles du pays (Sud et Sud Est), les sols bruns rouges (ferrugineux peu lessivés) et les sols hydromorphes. C'est sur ces derniers types qui sont inondables qu'est pratiquée la riziculture traditionnelle qui fait l'objet de notre étude.

La particularité de cette riziculture traditionnelle est d'être pratiquée dans des bas-fonds, donc sur des surfaces caractérisées par une topographie particulière ou "toposéquence". 3 niveaux peuvent être observés:

- le haut de pente correspond à la marge supérieure du bas-fond. La nappe phréatique y est



profonde, ce qui fait que ce niveau n'est jamais inondé et convient bien aux cultures pluviales.

- le bas de pente, qui est une zone plus basse que la précédente et se caractérise par une nappe phréatique subaffleurante dès le début de la période critique pour le riz (initiation paniculaire). L'inondation y est possible en année pluvieuse. Plusieurs terminologies existent pour caractériser une telle riziculture : "Hydromorphic rice", "riziculture pluviale assistée", "riziculture sur nappe", etc...

- le lit-mineur : c'est le niveau le plus bas du bas-fond avec une durée d'inondation plus longue et une hauteur de la lame d'eau très variable pouvant aller de 10 à 100cm. Certains auteurs préfèrent utiliser le terme de "riziculture inondée" ou "rainfed lowland rice".

Après ces considérations générales nous avons retenu 3 zones climatiques basée sur le nombre de mois humide dans l'année ; un mois humide étant celui où la pluviosité moyenne dépasse l'évapotranspiration potentielle moyenne ; Sivakumar et Gnoumou (1987) définissent ainsi (fig.11) :

- La Zone I caractérisée par 3 à 4 mois humides qu'ils appellent "zone tropicale avec alternance de saisons sèches et saisons humides" ou "savane sèche".

- La Zone II caractérisée par 2 à 3 mois humides ou "zone tropicale sèche".

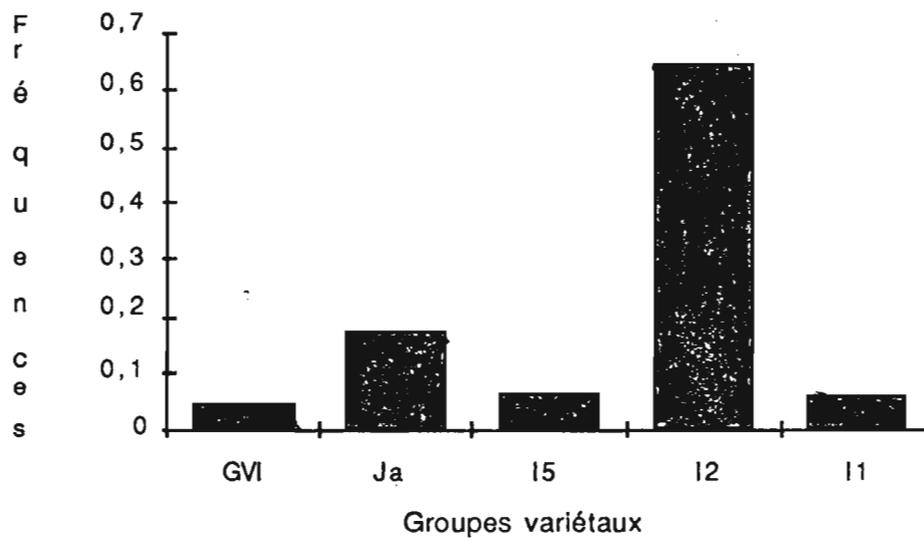
- La Zone III caractérisée par 1 à 2 mois humides encore appelé "zone semi-aride".

La répartition de nos différentes structures génétiques est illustrée par la figure 11. L'ensemble du matériel se répartit de façon décroissante à mesure que l'on s'éloigne du Sud. On rencontre dans la Zone I des variétés *japonica* cultivée en condition pluviale stricte. Les *japonica* rencontrées dans la Zone II sont cultivés en condition de bas-fond. Toutes les formes *japonica* propres au Burkina ne sont rencontrées que dans la Zone II. Aucun *japonica* n'est rencontré dans la Zone III. Les formes extrêmes *indica* sont présentes dans toutes les zones à des degrés divers. C'est encore la zone II qui présente la totalité des formes intermédiaires en un mot c'est là que se rencontre toutes les structures génétiques.

Pour la Zone III où nous n'avons que 2% de l'effectif global, seul la forme "javanica" est représentée en plus des formes *indica* extrêmes (I₁ et I_{3b}). En rattachant une partie de la Zone II à la première, plus précisément la partie Ouest correspondante à l'ORD du Mouhoun nous obtenons un cas de figure intéressant avec le regroupement de toutes les variétés de type *japonica* dans le Sud-Ouest et l'Ouest et une fréquence relative quasi-identique des autres groupes (fig. 12).

Un autre facteur a retenu notre attention : il s'agit de la distribution des cycles. Pour une question de commodité, 4 types de variétés ont été retenues :

Sud-Ouest et Ouest



Centre -CN-Est

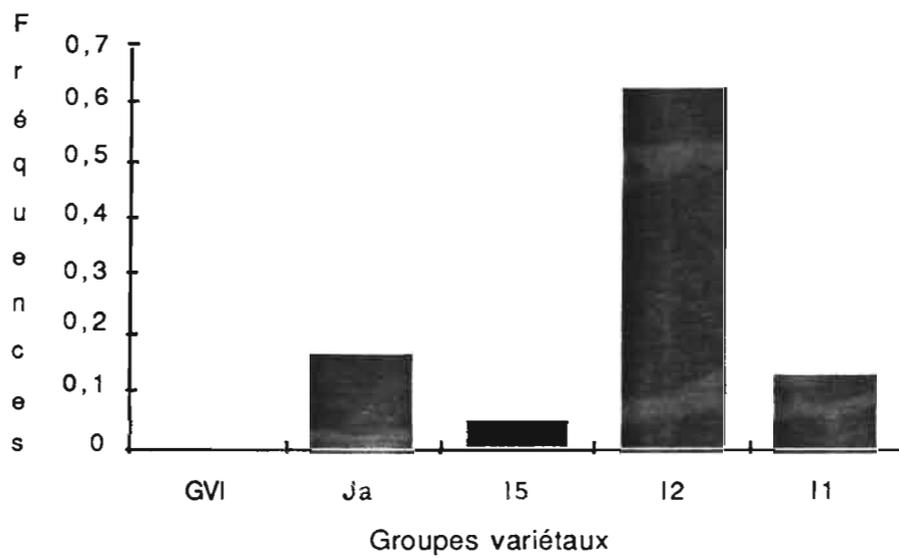


Figure 12 : Distribution des structures génétiques indica en fonction de la présence ou de l'absence de riz pluviaux de type japonica dans différentes régions du Burkina Faso

- Les variétés très précoces avec un cycle semis-épiaison (SE) inférieur ou égal à 70 jours. Ces variétés peuvent être cultivées en condition pluviale stricte.
- Les variétés précoces avec un cycle de 71 à 90 jours.
- Les variétés moyennes qui ont un SE compris entre 91 et 115 jours.
- Les variétés tardives qui ont un SE supérieur à 115 jours.

La distribution du cycle parmi les variétés est irrégulière. Les variétés très précoces et tardives (c'est à dire les 2 extrêmes) occupent la même proportion au sein de l'échantillon global soit 3%. Elle se rencontrent majoritairement dans la Zone I, donc la mieux arrosée.

Les autres types de cycle sont les plus importants respectivement 68% pour les moyennes et 26% pour les variétés précoces (71-90 jours). Les variétés du groupe GII (I_6) et les combinaisons rares (I_4) se trouvent dans le groupe des variétés précoces. Toutes les structures génétiques sont représentées dans cette catégorie de cycle. Néanmoins, les *japonica* sont dans le groupe des très précoces et précoces.

Tous les 4 cycles sont rencontrés dans la Zone I avec une prépondérance pour les moyens (45% du total des échantillons). Ensuite viennent les précoces avec 10%. La Zone II quant à elle se caractérise par les variétés précoces avec 39% du total. La Zone III ne compte que quelques variétés à cycle moyen. Ce résultat est d'autant plus étonnant qu'il s'agit de la zone la moins arrosée.

V) DISCUSSION - CONCLUSION

L'analyse de la diversité génétique des variétés traditionnelles de riz du Burkina, met en évidence une variabilité plus forte chez *O. sativa* par rapport à *O. glaberrima*. Ces résultats ont déjà été signalés par Second (1982), Ghesquière et Miezan (1982) sur un échantillonnage plus important.

La majorité des échantillons ayant présenté une réaction positive au phénol, nous avons ainsi une confirmation de leur appartenance au type *indica*. Le caractère aquatique de l'essentiel de la riziculture traditionnelle au Burkina concorde bien avec la tendance à lier l'appartenance des variétés aquatiques au type *indica*. (Second, 1982 ; Ghesquière et Miezan, 1982 ; de Kochko, 1987a ; Glaszmann, 1987 et 1988).

Les variétés ayant présenté une réaction négative au phénol sont, pour l'essentiel, cultivées en condition pluviale dans les zones qui s'y prêtent. C'est le cas de la région de Bobo et Orodara (Ouest du pays) où nous avons une bonne pluviométrie et des sols aptes. Les autres phénol (-) qui sont rencontrés dans l'ORD du Mouhoun sont cultivés sur les hauts de pente dans les bas-fonds. Cette faible représentativité des phénol (-) a déjà été signalée par de Kochko (1987a) pour la région Mali-Niger-Burkina. Cette région de l'Afrique de l'Ouest se caractérise par une très faible représentation des phénol (-) contrairement à la zone forestière, Côte d'Ivoire par exemple, où toutes les variétés sont phénol (-). La riziculture concernée étant de type pluvial, c'est donc le type *japonica* qui est dominant. La faible diversité moyenne observée ($H=0,05$ contre $H=0,15$ pour la zone Mali-Niger-Burkina) confirme la faible variabilité du type *japonica* par rapport au type *indica*. (Second, 1982 ; de Kochko, 1987a et 1989 ; Glaszmann, 1988). L'utilisation de la réaction au phénol s'avère donc être une méthode efficace et d'utilisation facile pour identifier les 2 types variétaux rencontrés chez *O. sativa*. Les cas particuliers s'avèrent très limités.

La variabilité au locus Acp-1, confrontée aux résultats obtenus par Ghesquière et Miezan (1982) ; de Kochko (1987a) ; Glaszmann (1988) confirme bien la forte corrélation entre le polymorphisme à ce locus et la réaction colorée au phénol.

Nos résultats comparés à ceux obtenus par Glaszmann (1987a et 1988) révèle une similarité de la variabilité exploitée au sein du groupe GI tant au niveau d'Asie qu'au niveau d'Afrique. (tab. 13). Cette comparaison met en évidence la présence en Asie d'allèles particuliers comme Amp-3-6, Est-B2, Amp-3-4 etc..(fig.8) qui justifie leur forte implication dans la définition des groupes . L'adaptation des groupes GIII et GIV à la riziculture d'immersion profonde au Bangladesh et dans le Nord-Est de l'Inde (Glaszmann, 1987a et 1988) pourrait justifier leur absence au Burkina.

La mise en évidence de groupes supplémentaires peut être associée à des situations intermédiaires sur le continuum *indica* - *japonica*. Ainsi le groupe II (Glaszmann, 1987a) qui rassemble les variétés "Aus" correspond à ce type de situation ; L'identification de deux variétés de ce type est intéressante car ce groupe variétal est rare en Afrique ; c'est à l'intérieur d'une telle structure que l'on rencontre les variétés à large "compatibilité hybride" qui peuvent être exploitées favorablement en croisement. Cette "compatibilité hybride" élevée avec les 2 types *indica* et *japonica* permet de les utiliser comme "pont" en vue de surmonter les barrières reproductives qui les séparent (Ikehashi, 1982 ; Ikehashi et Araki, 1987 ; Clément et Poisson, 1986). La fréquence élevée de formes intermédiaires là où les deux types de riz coexistent est un élément important pour affirmer que les hybridations *indica* x *japonica* sont à l'origine de l'entretien de la variabilité.

En croisant les différents types de classifications, on note une certaine concordance qui conduit à mettre en lumière la faible représentativité du pool génique "*japonica*" contrairement au pool "*indica*". L'analyse des structures génétiques définies sur le polymorphisme de 4 locus chez *O. sativa* constitue un moyen facile et très performant d'appréciation de toutes les composantes de la variabilité des cultivars traditionnels (Ghesquière et Miezán, 1982). Cette association peut également être corrélée avec la réaction au phénol qui est fortement liée en Afrique au type de riziculture (de Kochko, 1987a et b). Il ressort de cette approche de type évolutive (Second, 1982), que la majorité des variétés du Burkina est représentée par les formes intermédiaires caractérisées par une plus forte diversité génétique (tab. 15). Il n'est donc pas étonnant que la variété (167) la plus cultivée au Burkina, parce que rencontrée dans toutes les régions sans aucune exception, fasse partie de ce groupe intermédiaire Ja. Dans les régions sahéliennes (Mali-Niger-Burkina) de Kochko (1987a) relevait, comme nous, la faible représentativité des formes parentales *japonica* ou des formes hybrides. Il convient de signaler ici que certains *japonica* du Burkina ont été introduits de la Côte d'Ivoire (zone forestière). La situation en Asie est totalement opposée avec une prépondérance des formes parentales ce qui limite l'utilisation de la classification de Glaszmann pour la caractérisation de notre matériel.

Les différentes illustrations de la structuration des variétés du Burkina, soit par la projection des scores sur un plan à 2 axes ou par le biais d'une AFC confirment bien cette caractéristique ; il en est de même de l'importance des allèles impliqués dans la distinction des 2 types *indica* - *japonica*.

L'explication de la distribution écogéographique des différentes structures génétiques est liée au système de riziculture pratiquée. Dans la Zone I tout en étant bien arrosée, tous les sols ne se prêtent pas à la riziculture pluviale stricte pour laquelle est adapté le type *japonica*. Ce type de culture est particulièrement rencontré dans la région de Bobo et de Orodara où l'on a des sols plus aptes . La riziculture y côtoie des céréales autres que le riz ; néanmoins, ce type de riziculture est

très limité par rapport à celui de bas-fond.

Par contre dans la Zone II c'est le climat qui devient le facteur limitant. Le riz est essentiellement cultivé en condition de bas-fond avec un continuum des variétés suivant la "toposéquence" (topographie) du bas-fond considéré. Les variétés très précoces (souvent de type *japonica* ou de type "javanica") se retrouvent en haut de pente ; le bas de pente et le lit mineur du bas-fond sont réservés respectivement aux variétés précoces, moyennes et même tardives suivant les bas-fonds. Ces zones étant inondables, c'est donc le type *indica* qui y est rencontré de préférence.

La riziculture de bas-fond est aussi tributaire de la pluviosité que la riziculture pluviale stricte car c'est la même eau de pluie qui assure aussi bien l'alimentation de la nappe phréatique que le besoin hydrique du riz pluvial. C'est donc cela qui explique la présence des cycles extrêmes (très précoce et tardif) dans la Zone I qui est la mieux arrosée.

Si l'extrême Sud-Ouest (Zone I) se caractérise par une richesse variétale du point de vue quantitatif, c'est plutôt la Zone II (partie centrale du pays) qui présente la plus grande variabilité (doublée d'une relative stabilité des cycles des variétés) ; on y rencontre tous les groupes génétiques identifiés dans le pays. Dans la Zone III (Sahel), le riz étant cultivé aux abords des mares, il est surtout fait appel aux variétés d'immersion profonde qui se caractérisent par un cycle végétatif généralement plus long. Dans l'ensemble, nous avons une cohabitation des différents types variétaux qui favorisent les hybridations "intersubspécifiques" signalées par de Kochko (1988) à Madagascar.

L'étude de la variabilité génétique des cultivars traditionnels africains montre que les hybridations *indica* - *japonica* permettent le maintien d'une diversité élevée (Ghesquière et Miezán, 1982 ; Miezán et Ghesquière, 1985) et peut être la création d'une variabilité originale due à un effet mutagène de ces hybridations (de Kochko, 1987a). Les introgressions avec les espèces africaines peuvent être mises en évidence par l'observation d'hybrides interspécifiques en condition adventice avec *O. glaberrima* et *O. breviligulata* et par la présence de marqueurs isozymiques dans certaines lignées (introgressions avec *O. longistaminata*) selon Ghesquière (1988). Ce qui est confirmé par la présence d'allèles rares (Pgi-B3, Sdh-A1 et Ep-A7) chez certains individus de notre matériel. La présence d'hétérozygotes au sein de nos variétés prouve bien que l'allofécondation n'est pas négligeable lorsque le riz est cultivé en condition normale. On a donc une continuité de l'évolution d'*O. sativa* en Afrique (de Kochko, 1987a). Ce sont autant de raisons qui avaient amenés Sharma et Steele (1978) à la conclusion que l'Afrique de l'Ouest pouvait être considérée comme un nouveau centre de diversité génétique.

Malheureusement, autant on note le recul d'*O. glaberrima* au profit d'*O. sativa*, autant, les cultivars traditionnels sont en train de disparaître au profit des variétés améliorées. Leur collecte et leur évaluation s'avère donc une nécessité, sinon une priorité dans tout programme d'amélioration variétale concernant ce type de plante. Si cette étude nous a permis de mieux comprendre la structuration génétique de l'essentiel des cultivars du Burkina, il sera nécessaire, de procéder dans une seconde étape, à l'évaluation des caractères agromorphologiques de ces cultivars dans leur milieu naturel de culture et à la réalisation des croisements entre les différents groupes en vue de mettre en évidence la fertilité hybride F1 : ces données nouvelles permettront aux différents sélectionneurs de mieux organiser leur programme d'amélioration variétale.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Arraucléau, M. 1975. Réflexion sur le choix de géniteurs et sur certaines voies d'obtention de variétés nouvelles chez le riz (*Oryza sativa* L.). In *Agron. Trop.* n°1: 8-17

Bezançon, G., Bozza, J., Koffi, G. and Second, G. 1978. Genetic diversity of indigenous rice in Africa. In : Rice in Africa, Ed. I.W. Buddenhagen and G.J. Persly. Academic Press - London, N.Y., San Francisco.

Brown, A.H.D. 1978. Isozymes, pan population genetic structure and genetic conservation. *Theor. Appl. Genet.* **52**, 145-157.

Chandraratna, M. F. 1964. Genetics and breeding of rice. Longman. 389 pages.

Chang, T. T. and Bardenas, E. 1965. The morphology and varietal characteristics of the rice plant. IRRI, *Techn. Bull.* **4**, 40 pages.

Clément, G. et Poisson, C. 1986. Les problèmes de la stérilité dans les croisements *indica* par *japonica* pour l'amélioration du riz (*O. sativa*). I- La recherche de la compatibilité hybride. *Agro. Trop.* 1986, **41-1**, pp. 27-36.

Dally, A. 1988. Analyse cladistique de mutations de l'ADN chloroplastique et phylogénie des riz (Section *Eu - Oryza* du genre *Oryza*). Coll. Etudes et Thèses ORSTOM, Paris. 153 pages.

F.A.O., 1985. Situation et perspectives mondiales du riz. 16^e session de la Commission Internationale du Riz. IRC/85/3. doc. multigr. 6 pages.

Ghesquière, A. 1988. Diversité de l'espèce sauvage de riz, *Oryza longistaminata* A. Chev. & Roehr et dynamique des flux géniques au sein du groupe *Sativa*. Thèse Dr. ès-Sciences, Univ. Paris Sud, Orsay. 228 pages.

Ghesquière, A. et Miezán, K. 1982. Etude de la structure génétique des variétés traditionnelles de riz en Afrique. Réunion ORSTOM-IRAT du 1 au 3 sept. 1982. rapp. multigr. ORSTOM. 31 pages.

Ghesquière, A. et Second, G. 1983. Polymorphisme enzymatique et évolution d'*Oryza sativa* L. en Afrique. Colloque Electrophorèse et Taxonomie. Journées de la Société Zoologique de France. (3-5 mai 1983) : 263-271.

Glaszmann, J.C. 1982. Variabilité enzymatique du riz (*Oryza sativa* L.), son importance pour la compréhension de la structure écogéographique de l'espèce. Thèse de Dr. Ing. INA Paris-Grignon. 128 pages.

Glaszmann, J.C. 1985. A varietal classification of asian cultivated rice (*Oryza sativa* L.) based on isozyme polymorphism. In *Rice Genetics*. Proc. Int. Rice Genet. Symp., Los Banos, Philippines : 83-90.

Glaszmann, J.C. 1987a. Isozymes and classification of Asian rice varieties. *Theor. Appl. Genet.* **74** : 21-30.

Glaszmann, J.C. 1987b. A simplified method to classify rice varieties with isozymes. In *IRRN* 12 : 3 pp.5-7.

Glaszmann, J.C. 1988. Geographic pattern of variation among asian native race cultivars (*Oryza sativa* L.) based on fifteen isozyme locus. *Genome* , 30 : 782-792

Glaszmann J.C., et Arraudeau, M. 1986. Rice plant type variation : "japonica " - "javanica " relationships. *Rice Genetics Newsletter* , 3. 41-43.

Glaszmann, J.C., de Los Reyes, B.G. and Khush, G.S. 1988. Electrophoretic variation of isozymes in plumules of rice (*Oryza sativa* L.) - a key to the identification of 76 allèles at 24 loci. *Irri Research Paper Series* . n° 134. 14 pages.

Glaszmann, J.C., Benoit, H. et Arnaud, M. 1984. Classification des riz cultivés (*O. sativa* L.) utilisation de la variabilité isoenzymatique. *Agro. Trop.* 1984, 39-1 : 51-66.

Ikehashi, H. 1982. Prospects for overcoming barriers in utilisation of *indica* - *japonica* crosses in rice breeding. *Oryza* 19, 69 -77

Ikehashi, H. and Araki, H. 1987. Screening and genetic analysis of wide-compatibility in F1 hybrids of distant crosses in rice, *Oryza sativa*. L. *Techn. Bull. of the Trop. Agric. Res. Center.* n° 23 : 1-77

Jacquot, M. et Arnaud, M. 1979. Classification numérique de variétés de riz. *Agro. Trop.* XXXIV, 2 : 157-173.

Kadowaki, K., Yazaki, K., Osumi, T. Harada, K., Katsuta, M. and Nakagahra, M. 1988. Distribution of mitochondrial plasmid like DNA in cultivated rice (*Oryza sativa* L.) and its relationship with varietal groups. *Theor. Appl. Genet.* 76 : 809-814.

de Kochko, A. 1987a. Isozymic variability of traditional rice (*Oryza sativa* L.) in Africa. *Theor. Appl. Genet.* 73 : 675-682.

de Kochko, A. 1987b. A classification of traditional rice varieties (*O. sativa* L.) from Africa using isozymic variability. *Evolutionary Trends in Plants* , Vol. 1 (2): 105-110

de Kochko, A. 1988. Variabilité enzymatique des riz traditionnels malgaches (*O. sativa* L.) . *Agr. Trop.* 43 (3): 203-208

de Kochko, A. 1989. Les risques génétiques de la riziculture en Côte d'Ivoire. dans: "Le risque en Agriculture" Editions de l'ORSTOM (sous presse).

Lucotte, G. 1983. Génétique des populations. Initiation théorique et biochimique à l'étude du polymorphisme. Inter Edition, Paris. 200 pages.

Matsuo, T. 1952. Genecological studies on cultivated rice. *Bull. Nat. Inst. Agr. Sci. Japan.* D3, 1-111 (en japonais).

Mc Couch, S.R. Kochert, G., Yu, Z.H., Wang, Z.Y., Khush, G.S., Coffman, W.R. and Tanksley, S.D. 1988. Molecular mapping of rice chromosomes. *Theor. Appl. Genet.* **76**: 815-829.

Miezan, K. et Ghesquière, A. 1985. Genetic structure of African traditional rice cultivars. In *Rice Genetics* ; Proc. Rice Genet. Symp., IRRI, Los Banos, Philippines : 91-107.

Morishima, H. 1969. Differentiation of pathogenic races of *Pyricularia oryzae* into two groups, "*indica*" and "*japonica*". *Sabrao Newsletter* **1** : 81-94.

Nayar, N.M. 1973. Origin and cytogenetics of rice. *Adv. genet.*, **17** : 153-292.

Nei, M. 1975. Molecular population and evolution. Amsterdam, Elsevier/North-Holland Biomedical Press.

Oka, H.I. 1958. Intervarietal variation and classification of cultivated rice. *Ind. J. Genet. and Pl. Breed.* **18(2)** : 79-89.

Oka, H.I. 1983. The *indica* - *japonica* differentiation of rice cultivars. - A Review. Proc. 4th Int. *Sabrao* Cong. Kuala Lumpur (4-8 May 1981) 117-128.

Oka, H.I. and Doida, Y. 1962. Phylogenetic differentiation of cultivated rice, Analysis of the genetic basis of hybrid breakdown in rice. *Jap. Jour. Genet.* Vol **37**, n°1, 24-35.

Ranjhan, S., Glaszmann, J.C. and Khush, G.S. 1986. Localization of Pgi-1, Sdh-1, Est-9 and Adh-1 on rice chromosomes by trisomic analysis. *Rice Genet. Newsl.* **2** : 56-68.

Second, G. 1982. Origin of the genic diversity of cultivated rice (*O. sativa* spp.) : study of polymorphism scored at 40 isozyme loci. *Japn. J. Genet.* **57** : 25-57.

Second, G. 1984. Relations évolutives chez le genre *Oryza* et processus de domestication des riz. Thèse d'Etat, Université Paris XI, Orsay. Col. Etudes et Thèses. ORSTOM, Paris, 1985. 189 pages.

Second, G. 1986. La domestication en regime autogame : exemple des riz (*Oryza* spp.). *Bull. Soc. Bot. Fr.*, 133, Actual. bot., (1), 35-44.

Second, G. 1989. Molecular markers in rice genetic ressources and breeding (Publication sous presse).

Second, G. et Trouslot, P. 1980. Electrophorèse d'enzymes de riz (*Oryza* sp.). Travaux et Documents de l'ORSTOM. 88 pages.

Sharma, S.D. and Steele, W.M. 1978. Collection and conservation of existing rice species and varieties of Africa. In *Rice in Africa*, Ed. I.W. Buddenhagen and G.J. Persley. Academic Press. London, N.Y., San Francisco.

Sie, M. 1984. Prospection des variétés traditionnelles du riz au Burkina Faso. Rapport de mission INERA/IBPGR. Rapp. multigr. 10 pages.

Sie, M. 1986. Production et amélioration de la riziculture. Session de formation INERA/FAO. Rap. multigr. 24 pages.

Sivakumar, M.V.K. et Gnoumou, F. 1987. Agroclimatologie de l'Afrique de l'Ouest : Le Burkina Faso. *Bulletin d'information* n°23. Pantacheru, A.P. 5020324, Inde : International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics (ICRISAT). 61 pages.

Swaminathan, M.S. 1984. Histoire d'une merveilleuse graminée. *Le Courrier* (UNESCO, Paris), 37^e Année, n° 12, 4-8.

Wu, K.S. Glaszmann, J.C., Khush, G.S. 1988. Chromosomal localisation of ten isozymes locus in rice (*Oryza sativa* L.) through trisomic analysis. *Biochem. Genet.* **26** : 303-320.

ANNEXES

Annexe I

Liste des échantillons d'*O. sativa* analysés, leur réaction au phénol et leur structure génétique. NUM = numéro d'accèsion, ORI = point de collecte, PHEN = réaction au phénol avec 1 pour phénol (+) et 0 pour phénol (-), GLAZ et GROU = groupes enzymatiques, SE = cycle semis-épiaison.

NUM	ORI	PHEN	GLAZ	GROU	SE	NUM	ORI	PHEN	GLAZ	GROU	SE	NUM	ORI	PHEN	GLAZ	GROU	SE		
1	1	1	G1	I2B	103	51	87	23	1	G1	I2A	112	101	194	58	1	G1	JA1	77
4	2	1	G1	I2A	108	52	91	25	1	G1	I5	92	102	195	59	1	G1	I2A	106
5	2	1	G1	I2A	90	53	92	25	1	G1	JA1	94	103	196	59	1	G1	I2B	89
7	3	1	G1	I2A	108	54	96	27	1	G1	I2A	108	104	198	60	1	G1	JA1	113
8	3	1	G1	I3B	108	55	97	27	1	G1	I5	106	105	199	61	1	G1	I2A	91
10	4	1	G1	JA1	121	56	98	27	1	G1	JA1	112	106	200	61	1	G1	I2A	108
11	4	1	G1	I2A	108	57	99	28	1	G1	I3A	108	107	201	61	1	G1	I2A	108
12	5	1	G1	I2B	71	58	100	29	1	G1	I2A	96	108	202	62	1	G1	I2A	108
13	5	1	G1	I2A	113	59	101	29	1	G1	I2A	108	109	204	62	1	G1	I2A	92
15	6	1	G1	I3A	122	60	102	30	1	G1	I2A	98	110	205	62	1	G1	I1	106
17	6	1	G1	I2A	94	61	103	30	1	G1	I2B	92	111	206	62	1	G1	JA1	80
17	7	1	G1	I2A	112	62	104	30	1	G1	I2A	109	112	208	63	1	G1	I3A	86
19	8	1	G1	JA1	78	63	110	32	1	G1	JA1	108	113	209	64	1	G1	I2B	78
24	10	1	G1	I2A	79	64	111	33	1	G1	JA1	73	114	210	64	1	G1	I5	108
27	10	1	G1	JA1	76	65	113	34	1	G1	I2B	106	115	211	65	1	G1	I2A	108
28	4	1	G1	I2A	108	66	114	35	1	G1	I2A	98	116	212	66	1	G1	I2B	103
29	4	1	G1	I3A	113	67	116	36	1	G1	I2B	108	117	213	67	0	G6	J3	90
31	4	1	G1	I3A	108	68	120	34	1	G1	I2A	98	118	215	69	1	G1	I2A	99
32	11	1	G1	I3A	112	69	121	34	1	G1	I2A	106	119	217	78	1	G1	I2A	66
33	11	1	G1	I3A	112	70	124	35	1	G1	I5	102	120	221	71	1	G1	I2A	73
34	11	1	G1	I3B	113	71	128	36	1	G1	I2A	100	121	223	72	1	G1	I2A	70
35	11	1	G1	I3B	91	72	131	37	1	G1	I5	108	122	224	73	1	G1	I2A	66
38	11	1	G1	I3B	113	73	132	37	1	G1	I2B	95	123	225	55	1	G1	JA1	69
37	3	1	G1	I2A	108	74	137	38	1	G1	I2A	92	124	226	55	1	G6	J3	77
39	1	1	G1	I2A	108	75	140	39	1	G1	I5	103	125	227	74	1	G1	I3B	77
40	12	1	G1	I2A	108	76	145	40	1	G1	I2A	91	126	231	76	1	G1	I1	77
41	13	1	G1	I2A	95	77	151	44	1	G1	JA1	71	127	232	76	1	G1	I5	106
42	13	1	G1	I3B	106	78	152	44	1	G1	I2B	108	128	233	77	1	G1	I2B	75
44	13	1	G1	JA1	113	79	153	44	1	G1	I3B	109	129	238	76	1	G6	I1	77
45	14	1	G1	JA1	92	80	156	45	1	G1	I2A	108	130	243	81	1	G1	I3B	74
46	14	1	G1	I2A	108	81	159	45	1	G1	I2A	108	131	244	82	1	G1	I2B	92
47	15	1	G1	JA1	113	82	160	45	1	G1	I2A	113	132	245	82	1	G1	I2A	85
48	15	1	G1	I2B	108	83	161	45	1	G1	I2B	106	133	247	83	1	G1	I5	90
49	15	1	G1	JA1	113	84	162	45	1	G6	J3	108	134	248	83	1	G1	I1	89
51	16	1	G1	I2A	113	85	163	45	1	G1	I2A	108	135	249	83	1	G1	I2B	108
52	16	1	G1	I2B	113	86	165	46	1	G1	I2A	80	136	250	84	1	G1	I2A	101
56	17	1	G1	I3B	106	87	166	46	1	G1	JA1	95	137	251	84	1	G1	I5	98
57	17	1	G1	I2A	113	88	167	46	1	G1	JA1	82	138	252	84	1	G1	JA1	85
58	17	1	G1	I2B	108	89	169	47	1	G6	J3	87	139	253	84	1	G1	I2B	91
59	17	1	G1	I2B	119	90	172	49	1	G1	I2A	106	140	256	85	1	G1	I2A	91
64	18	1	G1	I2A	108	91	175	50	1	G1	JA1	105	141	257	85	1	G1	I3B	92
65	17	1	G1	I2B	103	92	177	51	1	G1	I2A	92	142	259	85	1	G1	I1	77
69	19	1	G1	JA1	112	93	179	52	1	G1	I2A	106	143	261	85	1	G1	JA1	77
70	19	1	G1	I3A	108	94	186	54	1	G1	JA1	85	144	266	88	1	G2	I1	80
71	20	1	G1	I2A	108	95	187	54	1	G1	I2B	106	145	267	90	1	G1	I1	88
80	23	1	G1	I5	108	96	188	54	1	G1	I1	89	146	268	90	1	G6	JA2	78
81	23	1	G1	I2A	108	97	189	55	1	G1	I5	106	147	269	91	1	G1	I2A	90
84	23	1	G1	JA1	112	98	190	56	1	G1	I2A	89	148	271	91	0	G6	J3	95
85	23	1	G1	JA1	95	99	191	56	1	G1	I2A	92	149	274	93	1	G1	I2A	75
86	23	1	G1	I2A	106	100	192	56	0	G6	JA2	80	150	275	94	1	G1	I2A	89

Annexe I (suite)

NUM	ORI	PHEN	GLAZ	GRUO	SE	NUM	ORI	PHEN	GLAZ	GRUO	SE	NUM	ORI	PHEN	GLAZ	GRUO			
	277	94	0	G6	J3	72	201	409	168	1	G1	I2B	108	251	582	45	1	G1	JA1
	278	94	0	G6	J3	87	202	413	169	1	G1	JA1	112	252	594	45	1	G1	I3A
	280	94	1	G1	I3A	91	203	417	172	1	G1	I5	108	253	595	52	1	G1	I2B
	285	96	0	G6	J2	101	204	418	172	1	G1	I2B	94	254	599	41	1	G1	I2B
	286	96	1	G1	I2A	93	205	424	10	1	G1	I2A	91	255	600	179	1	G1	I3A
	287	97	1	G1	I2B	89	206	425	10	1	G1	I1	97	256	602	63	1	G1	I3B
	289	98	1	G2	I6	76	207	426	10	1	G1	JA1	91	257	604	69	1	G1	I1
	290	99	1	G1	JA1	93	208	428	10	1	G1	I1	94	258	630	161	1	G1	I2A
	295	101	1	G1	I5	95	209	429	10	1	G1	I2A	112	259	634	197	1	G1	I3B
	297	103	1	G1	I1	77	210	430	10	1	G1	I2A	112	260	635	179	1	G1	I3A
	300	106	1	G1	I2A	94	211	431	10	1	G1	I1	108	261	642	141	1	G1	I3B
	306	106	1	G1	I2B	93	212	432	10	1	G1	I2B	114	262	648	116	1	G1	JA1
	311	107	1	G1	I2B	93	213	434	109	1	G1	I2B	84	263	654	106	1	G1	I2A
	312	108	1	G1	I2B	108	214	435	66	1	G1	I2A	105	264	659	184	1	G1	I1
	313	108	1	G1	I2A	92	215	436	4	1	G1	I3B	109	265	660	15	1	G1	I1B
	314	108	1	G1	I2A	95	216	437	4	1	G6	I5	122	266	663	32	1	G1	I3A
	316	109	1	G1	I2B	97	217	440	4	1	G1	I1	108	267	668	52	1	G1	JA1
	318	111	1	G1	JA1	101	218	443	15	1	G1	I2B	112	268	676	41	1	G1	JA1
	320	111	1	G1	I3A	75	219	459	89	1	G1	I2A	84	269	683	75	1	G1	JA1
	322	112	1	G1	JA1	74	220	477	13	1	G1	I2A	107	270	685	106	1	G1	I3
	328	116	1	G1	I2A	93	221	478	127	1	G1	I2A	108	271	700	0	1	G1	I3A
	331	118	1	G1	JA1	76	222	481	14	1	G1	I2A	105	272	701	0	1	G1	I3A
	338	121	1	G1	I2B	108	223	483	182	1	G1	I2B	108	273	702	0	0	G6	JA2
	344	126	1	G1	JA1	94	224	486	117	1	G1	I1	90	274	703	0	0	G6	J3
	345	127	1	G1	I3A	94	225	489	191	1	G1	JA1	76	275	704	0	0	G6	I3
	348	128	1	G1	I2A	98	226	490	106	1	G1	I1	93	276	705	0	0	G6	J3
	349	129	1	G1	I3A	93	227	493	196	1	G1	JA1	89	277	706	0	1	G1	I3A
	350	130	1	G1	I3B	107	228	498	186	1	G1	I2A	93	278	707	0	1	G1	I1
	352	129	1	G1	I2A	92	229	499	187	1	G1	I1	118	279	708	0	1	G1	I1A
	355	131	1	G1	I2B	94	230	502	187	1	G1	JA1	118	280	709	0	1	G1	I4
	357	132	1	G1	I2A	93	231	503	15	1	G1	I2A	108	281	710	0	1	G1	I1
	361	134	1	G1	I2A	97	232	504	186	1	G1	I2B	93	282	711	0	1	G1	I1
	362	135	1	G1	I2B	106	233	526	171	1	G1	I2B	108	283	712	0	1	G1	I3A
	365	137	1	G1	I1	88	234	528	192	1	G1	I2B	105						
	366	138	1	G1	I1	74	235	529	171	1	G1	I2A	86						
	370	140	1	G1	JA1	91	236	530	192	1	G1	I2A	101						
	371	140	1	G1	I3A	94	237	531	192	1	G1	I2A	91						
	374	143	1	G1	JA1	91	238	533	192	1	G1	I3A	105						
	376	144	1	G1	I2B	95	239	535	192	1	G1	I1	97						
	378	145	1	G1	I3B	72	240	536	171	1	G1	I5	84						
	384	149	1	G1	I2A	85	241	538	171	1	G1	I2A	109						
	385	150	1	G1	I3A	95	242	539	171	1	G1	I2A	86						
	387	151	1	G1	I2B	84	243	542	171	1	G1	I2A	95						
	392	155	1	G1	I5	104	244	549	194	1	G1	I2B	135						
	393	156	1	G1	I1	90	245	550	123	1	G1	I5	79						
	394	157	1	G1	JA1	89	246	556	70	1	G1	I5	92						
	396	159	1	G1	I2A	92	247	564	11	1	G1	I1	108						
	397	160	1	G1	I2A	92	248	565	194	1	G1	I1	70						
	402	164	1	G1	I2A	92	249	569	32	1	G1	I3A	90						
	404	166	1	G1	I2A	98	250	572	50	1	G1	JA1	95						

Annexe II

Composition des différents tampons utilisés en électrophorèse.

(Second, G. et Trouslot, P. 1980)

Système A - Système de BREWER (1970) légèrement modifié.
Utilisé avec des gels à 14 g. d'amidon pour 100 ml de tampon.

Tampon "Gel". Histidine HCl 5 mM, NaCl 2,5 mM pH 6,0

Histidine mono HCl	1,92 g
Na Cl M	5 ml

Ajuster à pH 6,0 avec NaOH 2 N et compléter à 2000ml avec H₂O.

Tampon "Bac". Citrate de Na 0,41 M, pH 6,0

Acide citrique	172 g
NaOH en pastilles	86 g
H ₂ O	1.800 ml

Ajuster à pH 6,0 avec NaOH concentrée et compléter à 2.000 ml avec H₂O.

Système B - Système de BREWER (1970) légèrement modifié
Utilisé avec des gels à 14 g. d'amidon pour 100 ml de tampon.

Tampon "Gel". Histidine HCl 5 mM, NaCl 2,5 mM pH 8,0.

Histidine HCl	1,92 g
Na Cl M	5 ml

Ajuster à pH 8,0 avec NaOH 2N et compléter à 2.000 ml avec H₂O.

Tampon "Bac". Citrate de Na 0,41 M pH 8,0

Acide citrique	172 g
NaOH en pastilles	88 g
H ₂ O distillée	1.800 ml

Ajuster à pH 8,0 avec une solution concentrée de NaOH et compléter à 2.000 avec H₂O.

Remarque : Selon la qualité de l'amidon il est nécessaire d'ajuster le pH du tampon "gel" pour que le mélange amidon + tampon soit au pH correct ; Dans notre cas on ajuste à 6,25 pour 6,0 et 9,2 pour 8,0.

Système C - Système de SMITHIES (1955). Utilisé avec des gels à 11 g. d'amidon pour 100 ml de tampon.

Tampon "Gel". Borate 0,03 M pH 8,5

Acide borique	3,72 g
H ₂ O	1.800 ml

Ajuster à pH 8,5 avec Na OH 2N et compléter à 2.000 ml avec H₂O.

Tampon "Bac". Borate 0,3 M pH 8,0

Acide borique	37,2 g
H ₂ O distillée	1.800 ml

Ajuster à pH 8,0 avec NaOH concentrée et compléter à 2.000 ml avec H₂O.

Annexe III

Valeur des différents électromorphes sur les axes discriminants 1 et 2
à partir desquels les scores des variétés ont été calculés.

Locus	élect	GI-GVI Axe-1	*Axe -2	Locus supplémentaires			
				Locus	Axe-1	Axe-2	
Cat-A	1	1,35	0,25	Sdh-A	2	1,14	0,22
	2	-3,31	-0,6		3	-0,7	-0,64
Pgi-A	1	1,78	-1,18	Acp-1	4	2	-1,33
	2	-1,71	1,14		1	1	-0,16
Pgi-B	1	-0,88	-0,54	Est-Ca	1	1,56	-0,214
	2	1,82	1,22		2	-2,62	0,238
	3	0	6,39		3	0	4,453
	4	0	5,58	2	-1,1	0,451	
Est-E	0	-1,75	0,42	Mdh-A	1	0,12	0,013
	1	0,55	0,26		2(3)	-3	-0,876
	2	1,82	-1,18		3(2)	1	2,273
Amp-1	1	0,04	-0,8	Est-D	0	-2,44	-1,149
	2	0	4,96		1	0,24	0,114
	3	-2,5	-0,84	Ep-A	0	1,92	3,453
	4	1,2	-0,542		3	0	0
Amp-2	1	-2,51	0,66	4	-0,03	-0,019	
	2	1,62	-0,42	7	0	0	
					Pgd-A	1	-0,17
Amp-3	1	0	6,33	2		1,9	
	2	-0,46	-1,21	Pox-B	3	-0,22	
	3	0,47	0,23		5	-0,66	
	4	2	-1,33	Acp-2	1	1,88	
	6	0	5,72		0	-2,05	
Amp-4	1	0,072	0,01	Pox-C	1	0,06	
	2	-2,33	-0,468		2	-0,13	
Locus supplémentaires							
Est-B	0	1,91	3,46				
	1	0	-0,071				
	2	0	6,83				

* Axe -2 : (GI-GVI)-(GII.GIII.GIV.GV)