



LABASAN

*Laboratoire de Biochimie
Appliquée aux Sciences de
l'Alimentation et à la Nutrition*



UNIVERSITE D'ANTANANARIVO
FACULTE DES SCIENCES
DEPARTEMENT DE BIOCHIMIE FONDAMENTALE ET
APPLIQUEE

Thèse de Doctorat en Sciences de la vie
Option : **Biochimie appliquée aux Sciences de l'Alimentation et à la
Nutrition**

**Identification et évaluation des critères de qualité du riz de
Madagascar ; recherche des déterminants de la texture du riz cuit.**

Présentée par :

RAHANITRARIVONY Veronirina

Titulaire du DEA de Sciences Biologiques Appliquées

Soutenue publiquement le 16 octobre 2013 devant la commission d'examen :

Président : Professeur JEANNODA Victor
Directeur de thèse : Professeur RALISON Charlotte
Co-directeur de thèse : Docteur Christian MESTRES
Examineurs : Professeur ANDRIANARISOA Blandine
Professeur RAKOUTH Bakolimalala
Rapporteur interne : Professeur RAZANAMPARANY Julia Louisette
Rapporteur externe : Professeur RAMANOELINA Panja

Ce travail a été réalisé au :

- Laboratoire de Biochimie Appliquée aux Sciences de l'alimentation et à la Nutrition (LABASAN), Faculté des Sciences, Université d'Antananarivo
- Laboratoire de Technologie des céréales, Qualité des aliments tropicaux, CIRAD, Montpellier
- Laboratoire d'Analyse Sensorielle, Ambatobe

REMERCIEMENTS

Cette étude a pu être réalisée grâce à l'appui de l'URP SCRID (Unité de Recherche en Partenariat sur les Systèmes de Cultures et Rizicultures Durables, associant l'Université d'Antananarivo, le FOFIFA et le CIRAD.). Que tous les responsables de l'URP trouvent ici, l'expression de ma gratitude.

Je tiens à témoigner ma profonde reconnaissance à :

Madame Charlotte RALISON, Professeur titulaire à l'Université d'Antananarivo, directeur de cette thèse, pour ses précieux conseils et ses encouragements, mais surtout pour sa patience.

Monsieur Christian MESTRES, chercheur à l'UMR QUALISUD au Cirad Montpellier, co-directeur de la thèse, d'avoir bien voulu m'accueillir parmi son équipe, pour ses nombreux conseils et son soutien.

Mes vifs remerciements s'adressent à :

Monsieur Victor JEANNODA, Professeur titulaire à l'Université d'Antananarivo et Responsable de l'Ecole Doctorale Sciences de la Vie, qui malgré ses lourdes responsabilités, a bien voulu accepter de présider le jury de ce travail.

Madame Louissette RAZANAMPARANY, Professeur titulaire à l'Université d'Antananarivo, et Monsieur Panja RAMANOELINA, Président de l'Université d'Antananarivo, Professeur titulaire à l'Ecole Supérieure des Sciences agronomiques (ESSA), évaluateur du SCRID, qui me font l'honneur d'être rapporteurs de cette thèse. Je les remercie vivement d'avoir accepté de corriger et d'évaluer ce travail.

Madame Blandine ANDRIANARISOA, Professeur titulaire et Madame Bakolimalala RAKOUTH, Professeur à l'Université d'Antananarivo, pour avoir accepté de juger ce travail.

Madame Brigitte PONS, pour son accueil, sa disponibilité, son encadrement technique et sa patience durant mon stage à Montpellier.

Je tiens également à adresser mes vifs remerciements à :

Monsieur Max REYNNES, Responsable d'unité de recherche, Qualité des aliments tropicaux, CIRAD Montpellier, pour son soutien, son aide m'ayant permis d'obtenir une bourse pour la réalisation de ce travail.

Madame Voahangy RAKOTOMALALA et son équipe pour m'avoir chaleureusement accueillie et aidée à réaliser l'analyse sensorielle au Laboratoire d'Analyse sensorielle, Ambatobe

Toute l'équipe du Cirad, de la Maison de Technologie à Montpellier, pour leur sympathie et l'aide qu'ils m'ont apportée au quotidien.

Sans oublier mes collègues du Département de Biochimie Fondamentale et Appliquée, pour leur soutien et leur sympathie.

Un grand merci à ma famille pour son soutien et son encouragement tout au long de mes études.

Publications scientifiques

RAHANITRARIVONY V., RALISON, C., PONS, B. & MESTRES, C., 2012. Evaluation de la qualité de quelques variétés de riz de Madagascar. *Bulletin de l'Académie Malgache*, **Tome XCI/1**. 133-137 [ISSN 1728-4317]

Articles en cours de préparation :

1. RAHANITRARIVONY, V., RALISON, C., MESTRES, C. & PONS, B.

Consommation et critères de qualité du riz dans la Commune urbaine d'Antananarivo. *Cahiers Agricultures*.

2. RAHANITRARIVONY, V., MESTRES, C., RALISON, C. & PONS B.

Etude de la qualité du riz : évaluation par les ménages malgaches, analyses physico-chimiques et instrumentale. *Journal of Cereal Science*.

SOMMAIRE

	Page
Sommaire	i
Liste des figures	v
Liste des tableaux.....	vii
Glossaire	x
Liste des abréviations.....	xi
Liste des annexes	xii
CADRE DE LA THESE	1
INTRODUCTION.....	2
CHAPITRE 1. ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE.....	4
1. GENERALITES.....	4
1.1 Systématique du riz.....	4
1.2 Historique.....	4
1.3 Description botanique	5
1.4 Culture du riz	5
1.5 Place du riz dans l'économie nationale.....	7
1.6 Place du riz dans l'alimentation	8
1.7 Le grain de riz.....	8
1.7.1 Structure du grain.....	8
1.7.2 Les transformations du riz.....	10
2. COMPOSITION ET PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUE DU GRAIN DE RIZ	
2.1 L'amidon.....	13
2.1.1 Composition	14
2.1.1.1 L'amylose.....	14
2.1.1.2 L'amylopectine	14
2.1.2 Structure	14
2.1.3 Caractéristiques hydrothermiques	15
2.1.3.1 La gélification et l'empesage	16
2.1.3.2 La gélification et la rétrogradation	17
2.1.4 Les constituants mineurs de l'amidon	17
2.2 Les protéines	17
2.3 Les lipides	17
2.4 Les fibres alimentaires	18
2.5 Facteurs antinutritionnels du riz.....	18
3. LA QUALITE DU RIZ	19
3.1 Les indicateurs de la qualité du riz.....	20
3.1.1 Les propriétés physiques	20
3.1.2 La qualité culinaire du riz.....	20
3.1.3 La qualité nutritionnelle du riz	21
3.2 Classification des riz	23
3.2.1 Classification selon l'Union Européenne	23
3.2.2 Classifications des riz malgaches.....	23
3.2.3 Les riz spéciaux.....	24
3.3 La construction du choix des consommateurs malgaches	24

4. LA TEXTURE DU RIZ CUIT	27
4.1 Généralités	27
4.2 Méthodes directes	27
4.2.1 L'extrusion	27
4.2.2 La compression	28
4.2.3 Le collant ou « tack test »	28
4.3. Méthodes indirectes	28
4.3.1 Le Rapid Visco Analyser, RVA	28
4.3.2 Détermination de la teneur en amylose	28
4.3.3 Détermination du taux d'amylose soluble	29
4.3.4 Détermination de la structure de l'amylopectine	29
4.3.5 Mesure de la température de gélatinisation	30
4.3.6 Mesure de la consistance du gel	30
4.4 Méthodes combinées	31

CHAPITRE 2. ENQUETE DE CONSOMMATION DE RIZ DANS LA COMMUNE URBAINE D'ANTANANARIVO (CUA).....32

1. OBJECTIFS	32
2. METHODOLOGIE	32
2.1 Lieux de l'enquête et choix des ménages	32
2.2 Déroulement de l'enquête	33
2.2.1 Questionnaire	33
2.2.2 Durée de l'enquête	33
2.2.2.1 Pré-enquête	33
2.2.2.2 L'enquête proprement dite	33
2.3 Traitement des données	33
3. RESULTATS	34
3.1 Les ménages	34
3.2 Les habitudes de consommation	35
3.2.1 Formes de consommation	35
3.2.2 Fréquence de consommation de riz dans la CUA	36
3.2.2.1 Le petit déjeuner	36
3.2.2.2 Le déjeuner	37
3.2.2.3 Le dîner	37
3.2.3 Quantité de riz consommée par le ménage	38
3.3 Les modes de préparation	40
3.3.1 Matériels de cuisson	40
3.3.2 Mode de cuisson du riz	41
3.3.3 Rapport eau/riz utilisé pour la cuisson du riz	41
3.3.4 Combustible utilisé pour la cuisson du riz	42
3.3.5 Durée de cuisson du riz	43
3.3.5.1 Selon le combustible utilisé	43
3.3.5.2 Relation de la durée de cuisson avec d'autres paramètres	45
3.4 La qualité	46
3.4.1 Variétés de riz consommées	46
3.4.2 Critères de préférence des grains de riz	48
3.5 Procuration du riz	51
4. DISCUSSION CONCLUSION	52

CHAPITRE 3. ETUDE DE LA QUALITE DU RIZ.....	57
1. ETUDE PRELIMINAIRE : <i>recherche et essai d'une méthode simple facile à mettre en œuvre</i>	58
1.1 ENQUETE D'EVALUATION DE LA QUALITE DU RIZ AUPRES DES MENAGES MALGACHES	58
1.1.1 Objectifs.....	58
1.1.2 Méthodologie	58
1.1.2.1 Lieu d'étude	58
1.1.2.2 Matériels d'étude.....	58
1.1.2.3 Echantillonnage des grains.....	59
1.1.2.4 Choix des ménages.....	59
1.1.2.5 Protocole d'évaluation des échantillons par les ménages.....	60
1.1.2.6 Le questionnaire	60
1.1.2.7 Traitement des données	60
1.2 METHODES D'ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES ET INSTRUMENTALE DES GRAINS DE RIZ.....	61
1.2 .1 Objectifs.....	61
1.2 .2 Méthodologie	61
1.2.2.1 Caractérisation physico-chimique	61
1.2.2.1.1 Caractérisation physique	61
Détermination du taux de grains entiers	61
Détermination des dimensions des grains.....	61
Détermination du poids de mille grains	62
Détermination de la couleur.....	62
1.2.2.1.2 Caractérisation biochimique	62
Détermination de la teneur en amylose.....	62
Détermination de la teneur en protéines	62
Détermination de la teneur en cendres.....	62
1.2.2.2 Etude du comportement du riz à la cuisson.....	63
Détermination du temps optimum de cuisson du riz.....	63
Evaluation de la texture du riz cuit : mesure de la fermeté.....	63
1.3 RESULTATS	64
1.3.1 Caractéristiques des riz selon les ménages.....	64
1.3.1.1 Caractéristiques des grains crus	64
Corrélations entre les caractéristiques des grains crus	66
1.3.1.2 Caractéristiques des grains cuits	68
Corrélations entre les caractéristiques des grains cuits	71
1.3.2 Modalités de cuisson du riz.....	73
1.3.3 Caractéristiques physico-chimiques et instrumentale des grains de riz.....	75
1.3.3.1 Caractéristiques physico-chimiques	75
1.3.3.1.1 Caractéristiques physiques des grains de riz	75
1.3.3.1.2 Caractéristiques biochimiques	76
1.3.3.2 Comportement du riz à la cuisson	77
1.3.3.3 Corrélations entre les différentes caractéristiques mesurées	78
1.3.3.3.1 Corrélations entre caractéristiques physiques et biochimiques	78
1.3.3.3.2 Corrélations entre caractéristiques physico-chimiques et temps de cuisson du riz.....	79
1.3.3.3.3 Corrélations entre les 2 mesures de fermeté testées	82
1.3.3.3.4 Corrélations entre caractéristique physico-chimique et fermeté du riz cuit.....	80
1.3.4 Corrélations entre les descripteurs du riz cru selon les ménages et les caractéristiques physico-chimiques	82

2. ETUDE APPROFONDIE DE LA QUALITE DU RIZ	84
2.1 MATERIEL VEGETAL	84
2.1.1 Variétés	84
2.1.2 Préparation des échantillons.....	84
2.1.3 Renseignements sur les riz analysés.....	87
2.2 METHODE D'ANALYSE SENSORIELLE DU RIZ	88
2.2.1 Cuisson du riz.....	88
a. Protocole de cuisson.....	88
b. Essais de cuisson	
2.2.2 Analyse sensorielle du riz	88
2.2.2.1 Mise en place du panel.....	88
2.2.2.2. Entraînement sur la liste avec notation de l'intensité pour chaque descripteur	90
2.2.2.3 Evaluation des riz.....	90
2.3 METHODES D'ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES ET INSTRUMENTALES	91
2.3.1 Détermination de l'épaisseur.....	91
2.3.2 Détermination de la teneur en lipide	91
2.3.4 Détermination de la teneur en amylose et de la température de gélatinisation.....	91
2.3.5 Mesure du collant du riz.....	92
2.3.6 Détermination quantitative des acides aminés	92
2.3.7 Détermination de l'indice chimique et identification de l'acide amine facteur limitant	93
2.3.8 Traitement statistique des données.....	93
2.4 RESULTATS.....	94
2.4.1 Analyses des données sensorielles	94
2.4.1.1 Pertinence des juges	94
2.4.1.1.1 Caractère discriminant de chaque juge.....	94
2.4.1.1.2 Agrément entre les juges	96
2.4.1.1.3 Analyse multivariée de la pertinence des juges.....	97
2.4.1.2. Evaluation des riz par le jury.....	99
2.4.1.3. Représentation des variables sensorielles.....	102
2.4.1.4 Distinction des groupes de riz	104
2.4.2 Analyses des données physico-chimiques et instrumentales.....	107
2.4.2.1 Caractéristiques morphologiques des riz.....	107
2.4.2.2 Caractéristiques biochimiques des riz	110
Composition en acides aminés des protéines	112
2.4.2.3 Comportement a la cuisson du riz	117
2.4.2.4 Corrélation entre les deux mesures de fermeté.....	122
2.4.3 Corrélations entre les différentes caractéristiques mesurées	123
3. DISCUSSION	130
CONCLUSION GENERALE	134
PERSPECTIVES.....	136
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	138

LISTE DES FIGURES

Page

Figure 1 : Riziculture aquatique : irriguée(a), inondée(b).....	6
Figure 2 : Riziculture pluviale.....	7
Figure 3 : Coupe transversale du paddy	9
Figure 4 : Processus de transformation du riz	10
Figure 5 : Photos de riz paddy : long (a), rond(b)	11
Figure 6 : Photo de riz cargo	11
Figure 7 : Photo de riz blanchi	12
Figure 8 : Photos de riz étuvé blanchi	12
Figure 9 : Habitudes et formes de consommation de riz dans la CUA	36
Figure 10 : Quantité moyenne de riz (g) à cuire pour les différentes formes de préparation	38
Figure 11 : Matériels utilisés pour la mesure de l'eau de cuisson.....	40
Figure 12 : Rapport eau/riz utilisé pour la cuisson du riz	41
Figure 13 : Durée de cuisson du <i>vary maina</i>	43
Figure 14 : Durée de cuisson du <i>vary sosoa</i>	43
Figure 15 : Durée de cuisson du <i>vary amin'anana</i>	44
Figure 16 : Variétés de riz consommées dans la population de la CUA.....	46
Figure 17 : Profil des classes socioéconomiques	52
Figure 18 : Profil des classes sur les habitudes de consommation.....	53
Figure 19 : Profil des classes sur le mode de préparation	53
Figure 20 : Profil des classes sur la préférence des consommateurs.....	54
Figure 21 : Etapes de l'échantillonnage des grains	59
Figure 22 : Projection des descripteurs des grains crus sur les deux premiers axes de l'ACP	66
Figure 23 : Projection des échantillons sur les deux premiers axes de l'ACP.....	67
Figure 24 : Représentation graphique des descripteurs des grains cuits dans le plan formé par les axes 1 et 2.....	71
Figure 25 : Représentation des échantillons dans le plan formé par les axes 1 et 2	72
Figure 26 : Relation entre luminance et teneur en cendres	78
Figure 27 : Relation entre indice du rouge et teneur en cendres	78
Figure 28 : Corrélation entre les 2 mesures de fermeté testées.....	79
Figure 29 : Relation entre fermeté et taux de grains entiers.....	80
Figure 30 : Relation entre fermeté et luminance	81
Figure 31 : Relation fermeté et teneur en cendres du riz	81

Figure 32 : Transformation des échantillons.....	86
Figure 33 : ACP des probabilités individuelles de l'effet riz et des agréments entre juges.....	97
Figure 34 : Positionnement des dégustateurs sur l'ACP des probabilités individuelles de l'effet riz et des agréments entre juges.....	98
Figure 35 : Représentation graphique des variables sensorielles dans le plan formé par les axes 1 et 2.....	102
Figure 36 : Représentation graphique des contributions des axes factoriels.....	103
Figure 37 : Classification Ascendante Hiérarchique selon les variables sensorielles.....	104
Figure 38 : Représentation des échantillons dans le plan formé par les axes 1 et 2	106
Figure 39 : Corrélation entre fermeté instron et fermeté manuelle	122
Figure 40 : Régression entre amylose et épaisseur	124
Figure 41 : Régression entre PMG et temps de cuisson à l'eau froide	125
Figure 42 : Régression entre teneur en lipides et fermeté mesurée à l'INSTRON	126
Figure 43 : Régression entre fermeté mesurée à l'INSTRON et éparpillement.....	127
Figure 44 : Régression entre fermeté mesurée à l'INSTRON et fermeté à la mastication	127
Figure 45 : Régression entre cendres et résidu à la mastication.....	129

LISTE DES TABLEAUX

Page

Tableau 1 : Teneurs en nutriments bruts des grains de riz	13
Tableau 2 : Teneur en fibres alimentaires du riz	18
Tableau 3: Teneurs en différents nutriments des céréales et tubercules.....	21
Tableau 4 : Teneurs en acides aminés des protéines des céréales et des tubercules	22
Tableau 5 : Teneur en vitamines et en minéraux des céréales et tubercules	23
Tableau 6 : Classification par le rapport longueur/ largeur du grain	23
Tableau 7 : Classement des indicateurs de qualité	25
Tableau 8 : Caractéristiques des ménages	34
Tableau 9 : Quantité de riz utilisée pour chaque préparation.....	38
Tableau 10 : Consommation annuelle de riz	39
Tableau 11 : Rapport eau/riz utilisé par le ménage	41
Tableau 12 : Pourcentage des ménages utilisant les différents combustibles	42
Tableau 13 : Relation entre quantité riz et durée de cuisson.....	45
Tableau 14 : Relation entre le rapport eau/riz et la durée de cuisson.....	45
Tableau 15 : Préférence des grains de riz (effectif des ménages)	49
Tableau 16 : Préférence des grains de riz (pourcentage des ménages)	49
Tableau 17 : Procuration du riz	51
Tableau 18 : Analyse de variance entre classes socioéconomiques et classes des habitudes de consommation	54
Tableau 19 : Analyse de variance entre classes socioéconomiques et classe de préparation	54
Tableau 20 : Analyse de variance entre classes socioéconomiques et classe de préférence.....	55
Tableau 21 : Analyse de variance entre classe des habitudes de consommation et classe de préférence	55
Tableau 22 : Analyse de variance entre classe de préparation et classe de préférence.....	55
Tableau 23 : Significativité des effets riz et ménage sur les descripteurs du riz cru	64
Tableau 24 : Classification des riz selon les caractéristiques des grains crus.....	65
Tableau 25 : Significativité des effets riz et ménage sur les descripteurs du riz cuit.....	68
Tableau 26 : Classification des riz selon les caractéristiques des grains cuits	68
Tableau 27 : Durée de cuisson moyenne et rapport eau/riz moyen utilisés par les ménages.....	73
Tableau 28 : Durée de cuisson moyenne et rapport eau/riz moyen utilisés par les ménages pour chaque type de riz.....	74

Tableau 29 : Caractéristiques physico-chimiques des échantillons de riz de Madagascar	75
Tableau 30 : Temps de cuisson et fermetés des riz cuits	77
Tableau 31 : Corrélations entre caractéristiques physico-chimiques et le temps de cuisson.....	79
Tableau 32 : Corrélations entre les caractéristiques physico-chimiques et la fermeté du riz cuit	80
Tableau 33 : Relations entre les caractéristiques culinaires et les caractéristiques physico- chimiques	82
Tableau 34 : Relations entre les caractères brisures et forme et les caractéristiques physiques des grains de riz	83
Tableau 35 : Relations entre descripteurs du riz cru et couleur	83
Tableau 36 : Moyens de transformation des différents échantillons.....	87
Tableau 37 : Vocabulaire sélectionné pour décrire la texture du riz.....	90
Tableau 38 : Probabilités d'égalité des échantillons pour chaque juge.....	95
Tableau 39 : Corrélations entre les notes des juges et la note moyenne du jury.....	96
Tableau 40 : Moyennes des notes sensorielles des riz	99
Tableau 41 : Anova et comparaison de moyennes entre riz pluvial et riz irrigué.....	100
Tableau 42 : Anova et comparaison de moyennes entre riz usiné et riz pilonné	101
Tableau 43 : Anova et comparaison de moyennes entre riz usinés.....	101
Tableau 44 : Contributions des variables basées sur les corrélations	103
Tableau 45 : Caractéristiques morphologiques des riz.....	107
Tableau 46 : Classification des riz selon la réglementation européenne.....	108
Tableau 47 : Anova et comparaison de moyennes entre riz pluvial et riz irrigué.....	108
Tableau 48 : Anova et comparaison de moyennes entre riz usiné et riz pilonné	109
Tableau 49 : Anova et comparaison de moyennes entre riz usinés.....	109
Tableau 50 : Composition chimique des riz.....	110
Tableau 51 : Teneurs en acides aminés essentiels des échantillons (% total acides aminés).....	112
Tableau 52 : Teneur en acides aminés indispensables des trois types de riz en g/100g de protéines	112
Tableau 53 : Teneur en acides aminés indispensables du riz Cargo et du riz Blanche en g/100g de protéines	113
Tableau 54 : Scores chimiques des protéines des échantillons de riz selon le profil de référence des jeunes enfants âgés de moins de 2ans	113
Tableau 55 : Scores chimiques des protéines des échantillons de riz selon le profil de référence des enfants âgés de 2ans et plus	114
Tableau 56: Scores chimiques des acides aminés indispensables des trois types de riz.....	115

Tableau 57 : Anova et comparaison de moyennes entre riz pluvial et riz irrigué.....	116
Tableau 58 : Teneurs moyennes en protéines, en lipides, en amylose et en cendres des trois types de riz (en % de matière sèche)	115
Tableau 58 : Anova et comparaison de moyennes entre riz usiné et riz pilonné.....	116
Tableau 60 : Anova et comparaison de moyennes entre riz usinés.....	116
Tableau 61 : Comportement à la cuisson	117
Tableau 62 : Anova et comparaison de moyennes entre riz pluvial et riz irrigué.....	118
Tableau 63 : Anova et comparaison de moyennes entre riz usiné et riz pilonné.....	119
Tableau 64 : Anova et comparaison de moyennes entre riz usinés.....	119
Tableau 65 : Fermeté et collant des riz	120
Tableau 66 : Anova et comparaison de moyennes entre riz pluvial et riz irrigué.....	120
Tableau 67 : Anova et comparaison de moyennes entre riz usiné et riz pilonné.....	121
Tableau 68 : Anova et comparaison de moyennes entre riz usinés.....	121
Tableau 69 : Corrélations entre les variables physico-chimiques	123
Tableau 70 : Corrélations entre les variables physico-chimiques et comportement à la cuisson	124
Tableau 71 : Corrélations entre les variables sensorielles et comportement à la cuisson.....	126
Tableau 72 : Corrélations entre les variables sensorielles et physico-chimiques	128
Tableau 73 : Tableau récapitulatif pour la sélection variétale	137

GLOSSAIRE

Chélation : : processus physico-chimique au cours duquel est formé un complexe, le chélate, entre un ligand, dit chélateur (ou chélatant), et un cation (ou atome) métallique, dit chélaté.

Faritany: province

Fokontany (FKT): subdivision administrative de base malgache. Il comprend soit des hameaux, des villages, des secteurs ou des quartiers.

Kapoaka: boîte vide de lait concentré de 300 ml servant de mesure du riz ; 3,5 kapoaka correspondent à 1kg de riz décortiqué.

Kitoza: viande de bœuf boucanée.

Mantamohaka: riz cuit hétérogène: une partie reste crue et une autre collante et molle.

Menakely: beignet sucré de farines de riz et de blé.

Mofogasy: pancake malgache

Mohaka: riz très mou et collant

Riziculture inondée : type de riziculture qui repose sur l'alimentation des rizières par les eaux de pluie, par le ruissellement d'eaux provenant d'un réservoir ou par simple gravitation d'une parcelle à une autre. Elle se pratique dans des zones naturellement inondées de façon périodique.

Riziculture irriguée : type de riziculture qui repose sur une inondation pratiquement permanente des rizières. Elle exige des surfaces planes, des canaux d'irrigation et des levées de terre.

Vary amin'anana ou vary amin'ny anana: riz cuit avec des brèdes dans un excès d'eau.

Vary gasy: riz malgache

Vary maina: riz cuit jusqu'à absorption totale de l'eau de cuisson, de consistance assez ferme.

Vary soso: riz cuit dans un excès d'eau, de consistance plus fluide et plus molle que le vary maina.

Zinga: récipient cylindrique en métal ou en plastique, servant à mesurer un liquide.

LISTE DES ABREVIATIONS

CUA : Commune urbaine d'Antananarivo

FKT : Fokontany

MS : matière sèche

PMG : poids de mille grains

TGE : taux de grains entiers

LISTE DES ANNEXES

Annexe I : Présentation de l'URP SCRID

Annexe II : Portefeuille de projets de l'URP SCRID 1

Annexe III : Questions de recherche de l'URP SCRID 2

Annexe IV : Liste des Fokontany

Annexe V : Fiche d'enquête (Enquête de consommation dans la CUA)

Annexe VI : Fiche d'observation (Enquête d'évaluation de la qualité du riz auprès des ménages)

Annexe VII : Fiche test sensoriel

Annexe VIII : Valeurs de a, b et r utilisées pour le calcul de la composition en acides aminés des grains de riz

Annexe IX : Profils de référence servant à estimer l'indice chimique d'une protéine

Annexe X : Teneurs en acides aminés des protéines des riz

Annexe XI: Photos des appareils utilisés

CADRE DE LA THESE

Le présent travail a été préparé au sein de l'URP/SCRiD (Unité de Recherche en Partenariat sur les Systèmes de Cultures et Rizicultures Durables) (Annexe I), associant l'Université d'Antananarivo, le FOFIFA et le CIRAD.

Pour répondre aux questions de recherche qu'elle s'est posée, l'URP a d'abord été organisée en 3 grandes thématiques recouvrant chacune 2 à 4 projets (Annexe II). La thèse a été initiée dans le projet 323 de la thématique 3, sur l'amélioration de la qualité dont l'objectif est d'appuyer le programme de sélection de variété de riz pluvial par l'identification et le classement des critères de qualité du riz tels qu'ils sont perçus par les consommateurs et tenant compte de leur aptitude à satisfaire les besoins nutritionnels.

Suite aux indications de la commission d'évaluation et aux échanges avec les partenaires de la recherche et du développement, la programmation scientifique de l'URP a été restructurée en 5 grandes questions de recherche, intégrant ainsi le projet 323 dans la deuxième (Annexe III).

INTRODUCTION

Le riz est l'aliment de base pour plus de la moitié de la population mondiale et Madagascar fait partie des pays les plus consommateurs. En 2010, la moyenne annuelle de consommation de riz par personne a été estimée à 97kg (EPM, 2011). Cette dernière exclut la restauration hors foyer.

Produit de première nécessité, le riz tient une place importante dans tous les domaines de la vie des Malgaches : c'est un produit à la fois économique, politique, social et culturel. En effet, la culture de riz est pratiquée dans toute l'île à l'exception de l'extrême Sud où le climat aride ne le permet pas. La proportion des ménages riziculteurs est d'environ 70%, soit près de 87,5% des agriculteurs (EPM, 2011). En moyenne, 54,3% de la récolte en riz du ménage riziculteur sont destinés à l'autoconsommation et 25,8% à la vente (EPM, 2011). Il existe des légendes et des mythes qui expliquent la dimension divine du riz pour les malgaches (Rakotomalala *et al*, 2001), également des proverbes et des expressions populaires : « l'amour est comme le riz, transplanté il repousse ailleurs », « faites comme les épis du riz : se tenir droit est bien, savoir s'incliner est mieux ». Pour les malgaches, « un repas malgache sans riz n'est pas un repas ».

Les critères de qualité des grains de riz sont variables selon les habitudes alimentaires régionales et selon les utilisateurs : il n'y a donc pas une qualité, mais des qualités de riz.

L'évaluation des qualités technologiques et organoleptiques des grains constitue l'étape ultime de la sélection de nouvelles variétés de riz. Si les critères technologiques de transformation à savoir, le rendement au décorticage, le blanchiment et le taux de brisures, sont bien connus, inversement, les goûts des consommateurs ne sont pas encore suffisamment documentés ; les données disponibles révèlent qu'ils varient en fonction du contexte géographique, sociologique et historique (Dillon, 1990 ; Sczesniak, 1990). Par exemple, les Sénégalais, contrairement à la majorité des autres consommateurs africains, préfèrent le riz brisé ; ou encore les Japonais, différemment des Sud- Est asiatiques, (Dillon, 1990 ; Del Mundo et Juliano, 1981) recherchent des riz collants (Okabe, 1979). En Europe, le choix s'oriente plutôt vers les riz à grains longs que les consommateurs assimilent, parfois à tort, aux riz fermes après cuisson.

Dans le cas de Madagascar, les travaux sur le riz ont surtout porté sur l'amélioration du rendement, la lutte contre les insectes nuisibles, l'augmentation des surfaces cultivées et jusqu'ici, les variétés sélectionnées qui intéressent les riziculteurs malgaches sont celles qui répondent à ces critères. Les quelques informations disponibles, recueillies à Antsirabe, sur les critères de qualité du riz pour les consommateurs, laissent entrevoir deux grandes familles : l'une regroupe les critères liés à la culture et à la transformation du produit et qui sont définis pour l'aspect visuel des

grains à l'achat et le deuxième regroupe les critères liés spécifiquement à la qualité intrinsèque de la variété notamment le comportement à la cuisson et les caractéristiques du riz cuit et sont évalués lors de l'usage et de la consommation (Soizic *et al.*, 2003 ; Dabat *et al.*, 2004,).

Pour pouvoir prendre en compte dans le programme de sélection variétale les critères de qualités recherchés par les consommateurs malgaches, il s'avère important d'identifier les attributs pertinents de la qualité et de comprendre les interactions qui régissent les propriétés du riz.

Ainsi, la présente étude s'est fixée comme principal objectif de connaître les déterminants de la qualité texturale du riz malgache. Il s'agit spécifiquement de :

- valider et/ ou de compléter les informations recueillies à Antsirabe
- trouver des indicateurs physiques et/ou biochimiques prédictifs de la qualité du riz.
- mettre en évidence des différences et /ou des similitudes entre plusieurs variétés de riz selon leurs caractéristiques intrinsèques.

L'approche adoptée est pluri-méthodologique, ainsi, ce document est structuré en trois chapitres :

- le premier présente les résultats de l'étude bibliographique sur le riz
- le deuxième porte sur l'enquête de consommation du riz dans la Commune Urbaine d' Antananarivo
- le troisième est consacré à la qualité du riz, subdivisé en i) une préliminaire comportant une enquête d'évaluation de la qualité du riz auprès des ménages malgaches et des analyses physico-chimiques et instrumentale des grains de riz et ii) une étude approfondie de la qualité comprenant une analyse sensorielle du riz, également des analyses physico-chimiques et instrumentales des échantillons.

Les différences entre riz pluvial et irrigué ainsi que les effets des moyens de transformation sont particulièrement étudiés.

La confrontation des mesures sensorielles et instrumentales permettra ensuite de définir des critères objectifs de qualité, utilisables pour la recherche en vue de l'amélioration de la qualité pour la filière malgache.

CHAPITRE 1

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Il s'agit d'une recherche bibliographique qui recense particulièrement les données disponibles sur les caractéristiques botaniques, physico-chimiques, nutritionnelles et organoleptiques du riz. Elle permettra la justification et l'orientation de la présente étude.

1. GENERALITES

1.1 SYSTEMATIQUE DU RIZ

Le riz appartient au :

Règne : Plantae

Sous- règne : Tracheobionta(vasculaire)

Division : Magnoliophyta(angiospermes)

Classe : Liliopsida (monocotylédones)

Sous-classe : Commelinidae

Ordres : Cypéales

Famille : Poaceae (anciennement appelées graminées)

Tribu : Oryzées.

Genre *Oryza*

Espèces : - *Oryza sativa*

- *Oryza glaberrima*

(TATEOKA, 1963)

1.2 HISTORIQUE

A l'origine le riz poussait à l'état sauvage, mais de nos jours, les variétés cultivées appartiennent au genre « *Oryza* », comptant une vingtaine d'espèces dont deux présentent un intérêt agricole pour l'homme : *Oryza sativa* et *Oryza glaberrima*.

L'espèce *Oryza sativa*, originaire d'Asie, dont la culture remonte à 7000 ans, est la plus répandue dans le monde. De l'Asie, les premières cultures se répandent en Afrique puis en Europe. Après l'époque des Grandes Découvertes, le riz fut implanté sur tous les continents.

L'espèce *Oryza glaberrima*, originaire d'Afrique, dont la culture remonte à 4500 ans, se cultivait au Mali, puis à l'ensemble de l'Afrique de l'Ouest. Contrairement à *Oryza sativa*, elle n'a pas

réussi à s'adapter sur tous les continents et sa culture a subi un déclin du fait de ses faibles performances agronomiques (Murray, 2005 ; Lizhi Gao *et al.*, 2006).

1.3 DESCRIPTION BOTANIQUE

L'espèce *Oryza sativa* présente une très grande variabilité morphologique : la collection mondiale gérée par l'International Rice Research Institute (IRRI) compte près de 80.000 variétés. La différenciation de cette espèce se fait selon 3 groupes : *Indica*, *Japonica*, et *Javanica*.

Le groupe Indica, originaire de l'ouest de l'Himalaya, se caractérise par un tallage fort, des feuilles étroites, des racines fines et un grain long à très long avec une texture ferme. Les zones de culture de ce groupe sont les zones tropicales de basse altitude aquatique.

Le groupe Japonica se distingue par un tallage moyen, des feuilles étroites, des racines fines et un grain rond et court, se cultive dans les zones tropicales et dans les zones tempérées de la Corée, du Japon, et du Nord de la Chine d'où il est originaire.

Le groupe Javanica se définit par un tallage faible, des feuilles larges, des racines épaisses et profondes et un grain long et large. Il s'agit des variétés de culture pluviale en régions tropicales mais aussi de variétés de culture aquatique aux Etats-Unis.

L'inflorescence du riz est une panicule, de 20 à 30 cm, dont les ramifications secondaires portent des épillets. Ces derniers sont uniflores, très longs pour *Indica*, courts pour *Japonica* et intermédiaires pour *Javanica*. Après fécondation (autogame pour les riz cultivés), chaque épillet contiendra un grain de riz. Le port et la taille de la plante varient énormément d'une variété à une autre, d'un groupe à un autre. Parmi les variétés cultivées, la hauteur va de 50 cm pour les riz demi nains, à plus de 5 m pour les riz flottants.

1.4 CULTURE DU RIZ

A Madagascar, l'enquête agricole de la campagne 2003 attribue 36% des terres cultivées à la riziculture (EPM, 2003). La partie du Moyen-Ouest, les régions d'Alaoatra Mangoro et du Menabe, sont les principales productrices de riz.

Principalement, on distingue 2 types de culture : la culture aquatique (figure 1) et la culture pluviale (figure 2).

La culture aquatique peut se faire en culture irriguée (a) avec maîtrise complète de l'apport en eau. La nature et le coût des aménagements mis en jeu imposent des systèmes très souvent basés sur la monoculture du riz. En fonction des quantités d'eau disponibles et des

conditions socio-économiques, on peut pratiquer une seule culture annuelle ou une double culture ou un système riziculture maraîchère.

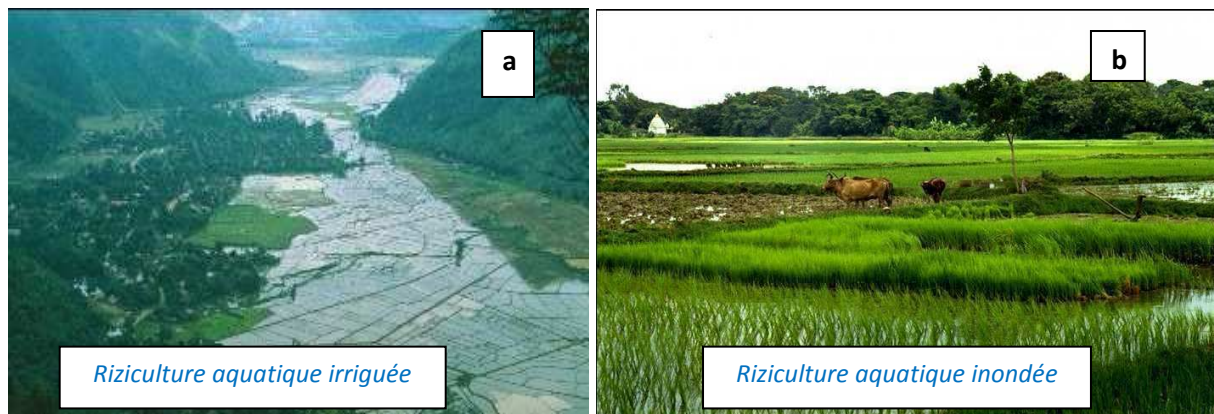


Figure 1 : Riziculture aquatique

Elle peut également se faire en culture inondée (b) dans les bas-fonds ou les plaines.

Les systèmes de production de riz aquatique sont bien développés et les rizières en terrasses sont fréquentes.

La nature des sols et les conditions d'hydromorphie ne sont généralement pas favorables à d'autres plantes que le riz et la monoculture est souvent pratiquée.

La riziculture irriguée est celle pour laquelle l'eau utilisée est drainée sur le terrain de culture par des réseaux artificiels, par des aménagements plus ou moins importants qui donnent lieu aux projets de Petits ou Grands Périmètres Irrigués.

La culture pluviale utilise 3 grands types de système :

- le système itinérant qui est le système traditionnel dominant en Afrique. Il s'agit d'une culture durant 2 à 3 ans après une défriche. Le riz est souvent cultivé avec du maïs, manioc, igname,...

- le système pionner où le riz intervient comme culture améliorante après défriche et avant implantation de pâturages (Brésil) ou de cultures pérennes telles que les bananiers ou le caféier (Afrique).

- le système fixé qui est le système de culture le plus amélioré, nécessitant fertilisation, dispositif antiérosif et lutte contre l'enherbement.

A Madagascar, la riziculture sur *tavy* est une culture pluviale sur défriche-brûlis de forêt dense humide naturelle. Son effet sur l'environnement a toujours été critiqué. Cependant, le *tavy* apparaît comme un bon compromis entre le risque climatique (ravage des cultures par les cyclones), la disponibilité en main-d'œuvre et la sécurité alimentaire. Il s'adapte bien à la logique paysanne qui n'a pas le moyen capital pour investir dans la riziculture irriguée. La valorisation de la pratique du

tavy doit passer par une mise à disposition des nouveaux itinéraires techniques et de nouvelles variétés de riz plus productives aux paysans (Aubert *et al.*, 2003).

La riziculture sur tanety est aussi une culture pluviale.

A Madagascar, la riziculture aquatique occupe 79% de la superficie cultivée, la riziculture sur tavy, 11% et la riziculture pluviale, 10%.



Figure 2 : Riziculture pluviale

Les contraintes majeures, biologiques et /ou physiques de la culture du riz, sont les mauvaises herbes, la baisse de fertilité des sols, la sécheresse, les insectes et les oiseaux, les maladies notamment cryptogamiques (dont la pyriculariose), bactériennes (dont le flétrissement bactérien) et virales (dont le tungro et le mosaïque jaune) (Aubin et Dagalier, 1997).

Il y a également les problèmes socio-économiques qui freinent l'extension de la riziculture, particulièrement en Afrique et la politique gouvernementale non incitative, favorisant les importations aux dépens de la production locale.

1.5 PLACE DU RIZ DANS L'ECONOMIE NATIONALE

Les fonctions économique et alimentaire du riz ont été démontrées par plusieurs études (le Bourdieu, 1974 ; Roubaud, 1997 ; FOFIFA/IFPRI, 1997 ; UPDR/FAO, 2000 ; Minten et Zeller, 2000 ; Razafindravonona *et al.*, 2001 ; Fraslin, 2002). Vu son poids dans l'économie malgache, le secteur agricole est un objet important des politiques publiques. La quasi-totalité des documents-cadres et stratégique de l'état, à des degrés divers, font référence à la production rizicole ou à la filière riz comme levier de développement. L'objectif unique et consensuel est d'accroître la production pour autoapprovisionner le pays et exporter.

La population agricole constitue près de 80% de la population active totale et 85% des exploitations cultivent du riz, principale culture en termes d'occupation de la superficie agricole

pour les trois quarts des communes malgaches et principale source de revenu des ménages dans 45% des communes (Dabat *et al.*, 2008).

1.6 PLACE DU RIZ DANS L'ALIMENTATION

En Asie, plus de 2 milliards de personnes tirent 60 à 70% de leur apport énergétique du riz et de ses dérivés. Dans l'ensemble des pays en développement, le riz représente 27% de l'apport énergétique et 20% de l'apport protéique.

Le riz dans la consommation du ménage malgache

Le riz représente 84% de la ration alimentaire des malgaches, il constitue la première source énergétique. Cette forte contribution du riz classe le régime alimentaire des malgaches dans le « type céréalier à riz » (SECALINE, 1997).

Environ, 40% des dépenses totales sont pour le riz (SECALINE, 1997). Le riz le plus consommé, par 91% des ménages, est le riz local. Les ménages des Faritany de Toamasina et de Toliara consomment plus de riz importé (EPM, 2003).

1.7 LE GRAIN DE RIZ

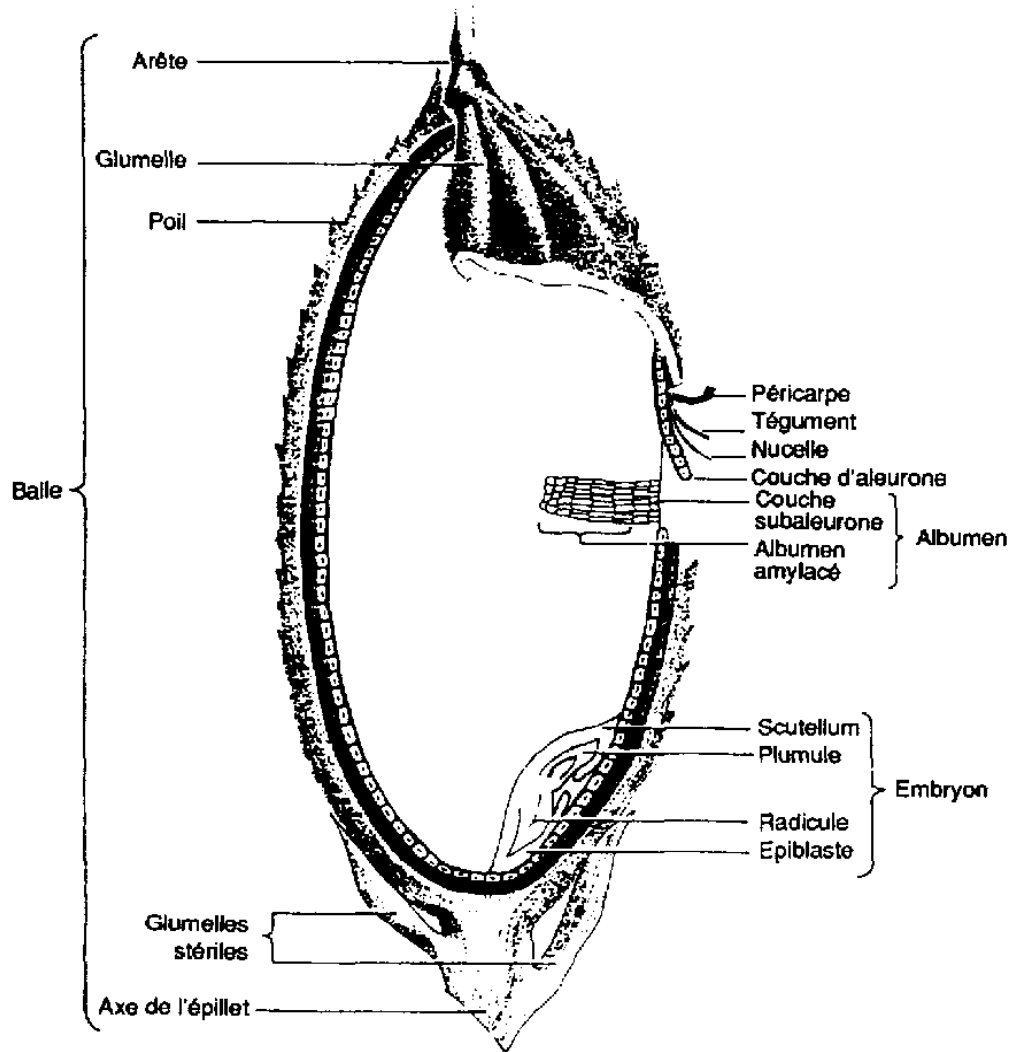
1.7.1. Structure du grain

Le riz a la particularité d'être une céréale vêtue. Le grain est protégé par 2 valves constituant une enveloppe très résistante : les glumelles ou balles. La partie comestible du riz, le caryopse, est constituée de trois parties : l'enveloppe, l'albumen et l'embryon.

-L'enveloppe est formée de fines couches de cellules dont les plus externes constituent le péricarpe et les plus internes, le tégument. Ces couches cellulaires, riches en fibres et en matières minérales, constituent le son.

-L'albumen constitue la majeure partie du grain, il est constitué de cellules remplies de grains d'amidon, avec en périphérie une couche de cellules riches en protéines appelées couche à aleurones.

-L'embryon ou germe est situé à la partie inférieure de l'albumen dont il se détache facilement, il constitue un organe de réserve riche en protéines et en lipides



Source: Juliana, 1985b.

Figure 3 : Coupe transversale du paddy

1.7.2 Les transformations du riz

Le riz à l'état brut n'est pas consommable ; plusieurs étapes de transformations (figure 4) sont nécessaires.

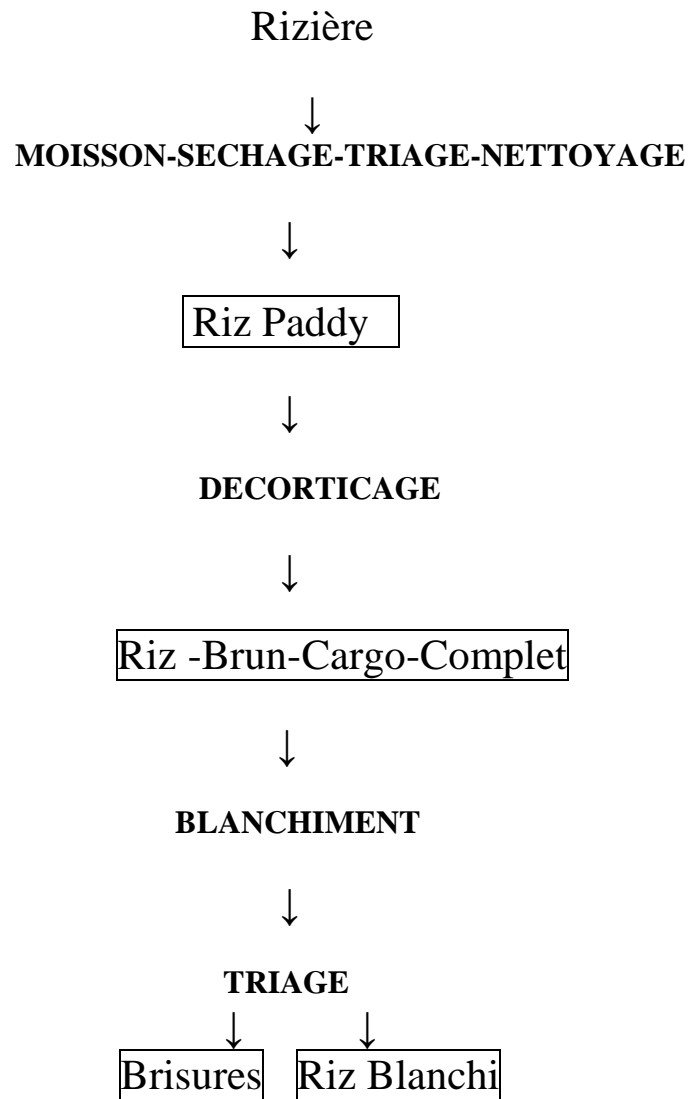


Figure 4 : Processus de transformation du riz

Chacune des étapes de la transformation a une influence sur la qualité du produit.

Le riz qui vient d'être récolté est le riz « **paddy** » (figure 5). Il possède la balle, une enveloppe très dure, riche en silice et en cellulose, non comestible dont il faut s'en débarrasser.



Figure 5 : Photos de riz paddy

Le riz brun ou riz cargo ou riz complet (figure 6) obtenu après le décorticage, ne pèse environ que 80% du poids initial mais conserve les enveloppes extérieures adhérant au grain, appelées péricarpe, qui contiennent l'essentiel des vitamines et des sels minéraux. Il est déjà consommable mais long à cuire.



Figure 6 : Photo de riz cargo

L'étape suivante consiste à ôter le péricarpe et le germe pour obtenir un riz blanc, poli et blanchi. Le riz blanc (figure 7) est enrichi en amidon. Il a une teneur en vitamines largement diminuée par rapport au riz cargo.



Figure 7 : Photo de riz blanchi

Le riz peut être étuvé (figure 8). L'étuvage est un procédé de transformation qu'on utilise pour rendre le riz incollable. C'est un traitement hydrothermique du grain, avant le décorticage, qui consiste en une gélatinisation de l'amidon à la vapeur (souvent sous pression), puis d'un séchage avant de l'usiner. Outre un meilleur rendement à l'usinage, ce procédé augmente la valeur nutritionnelle du riz par conservation des vitamines et sels minéraux. Le grain devient dur et son goût et son aspect (grains translucides et légèrement colorés en jaune) sont modifiés.



Figure 8 : Photo de riz étuvé blanchi

Le riz blanchi peut également être précuit à la vapeur, ce qui permet de réduire son temps de cuisson ; il s'agit de riz à cuisson rapide. Les variétés aromatiques ne peuvent ni être étuvées, ni précuites sous peine de perdre une partie de leur arôme.

2. COMPOSITION ET PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES DU GRAIN DE RIZ

Selon le stade de transformation (paddy, cargo, blanchi), les teneurs en nutriments du grain de riz sont variables (tableau 1) (Juliano, 1994).

Tableau 1 : Teneurs en nutriments bruts (en %) des grains de riz (Juliano, 1994).

Nutriments (% de matière sèche)	Paddy	Cargo	Blanchi
Protéines	5,8-7,7	7,1-8,3	6,3-7,1
Matière grasse	1,5-2,3	1,6-2,8	0,3-0,5
Fibres	7,2-10,4	0,6-1,0	0,2-0,5
Glucides digestibles	64-73	73-87	77-89

Dans le riz cargo, les principaux minéraux sont répartis à raison de 51 % dans le son, 10 % dans le germe, 10 % dans les résidus de polissage et 28 % dans la fraction correspondant au riz usiné (Resurrección *et al.*, 1979, Juliano et Betchtel, 1985).

L'usinage entraîne une perte de protéines, de matières grasses et de fibres. Par contre, les glucides digestibles, principalement l'amidon, sont les plus importants dans le riz usiné.

2.1 L'AMIDON

L'amidon est la principale substance glucidique de réserve synthétisée par les végétaux supérieurs à partir de l'énergie solaire. Il représente une fraction pondérale importante dans un grand nombre de matières premières agricoles. Il constitue environ 90% du poids sec du riz blanchi.

L'amidon, principal composant du riz, se trouve uniquement dans l'albumen. Il confère au riz la plupart de ses propriétés physiques et chimiques.

2.1.1 Composition

L'amidon est un homopolymère de D-glucose. Il est constitué de deux polymères aux structures primaires très différentes : l'amylose et l'amylopectine. L'amidon granulaire purifié contient également un certain nombre de constituants mineurs (protéines, lipides, minéraux) dont la localisation au niveau du grain et la teneur sont fonction de l'origine botanique. Ces constituants, bien que présents en faible quantité, sont susceptibles de modifier le comportement général de l'amidon (Buléon *et al.*, 1990).

2.1.1.1 L'amylose

L'amylose est un polymère essentiellement linéaire constitué d'unités de D-glucose liées par des liaisons de type alpha-(1,4). L'amylose présente un degré de polymérisation variant de 600 à 6000 unités de glucose (Darbon, 1998). Elle possède une architecture spatiale de type hélicoïdal qui la rend susceptible de complexer les molécules hydrophobes telles les acides gras ou l'iode, avec laquelle elle développe une coloration bleue (Buléon *et al.*, 1990).

La teneur en amylose varie selon l'origine botanique de l'amidon, de 0 à 30% pour les céréales (Lineback, 1984).

2.1.1.2 L'amylopectine

L'amylopectine est le principal constituant de l'amidon (70 à 100% en moyenne). Il s'agit d'une molécule ramifiée, en grappe, où les unités D-glucose sont principalement reliées par des liaisons de type alpha-(1,4) et quelques liaisons, 5 à 6%, de type alpha-(1,6), donnant les ramifications (Buléon *et al.*, 1990). Le degré de polymérisation peut aller jusqu'à 10^9 , l'amylopectine paraissant être la plus volumineuse des molécules biologiques (Darbon, 1988). Les longues chaînes d'amylopectine peuvent former un complexe hélicoïdal avec l'iode ; comme l'amylose, elles augmentent ainsi l'affinité de l'amidon pour l'iode (Jane *et al.*, 1999).

2.1.2 Structure

A l'état natif, l'amylose et l'amylopectine sont disposées au niveau d'entités granulaires semi-cristallines. L'organisation du grain d'amidon dépend de la manière dont l'amylose et l'amylopectine sont associés par des liaisons hydrogènes inter- moléculaires. Ces macromolécules sont réparties de façon homogène dans le grain et c'est leur degré de liaison mutuelle qui entraîne les hétérogénéités de structure. Lorsque ces liaisons sont intenses, nombreuses et régulières, les chaînes s'associent en réseau cristallin ; par contre dans les zones amorphes, même si certaines

liaisons hydrogènes sont intenses, leurs irrégularités rendent les macromolécules plus indépendantes (Buléon *et al.*, 1990).

Les deux polymères possèdent des parties linéaires dans leur structure qui peuvent former des hélices. Organisées en « grappes », elles constituent la trame de la structure cristalline. Ces cristallites diffractent les rayons X en donnant 2 types principaux de diagrammes de diffraction, en fonction de l'origine botanique de l'amidon. Le type « A » est caractéristiques des amidons de céréales et le type « B » des amidons de tubercules, des céréales riches en amylose et des amidons rétrogradés. Il existe également des structures « C » intermédiaires, mélangeant des types « A » et « B » (Buléon *et al.*, 1990). Il est admis que la cristallinité des amidons est essentiellement due aux molécules d'amylopectine (Buléon *et al.*, 1990).

Les granules, structure observable au microscope, représentent le dernier niveau structural.

En lumière polarisée, le grain d'amidon s'illumine en étant traversé par une croix noire, correspondant au phénomène de la biréfringence. Cette croix montre que les cristaux sont régulièrement disposés et que leur axe est perpendiculaire à la surface (Darbon, 1998). Le hile, au centre de la croix, est le point d'origine de la croissance du granule.

2.1.3 Caractéristiques hydrothermiques

L'amidon, polymère semi-cristallin, comporte donc deux niveaux structuraux : l'arrangement cristallin, structure régulière, ordonnée, rigide, et les zones amorphes, irrégulières, désordonnées, flexibles. La conformation de ces macromolécules dans le réseau est assurée par les forces de cohésion mises en jeu, c'est à dire les interactions intramoléculaires et les interactions avec le solvant. Le degré d'organisation de ces niveaux structuraux en matrice polymère tridimensionnel dans le granule contrôle le comportement de l'amidon dans l'eau.

Du fait de sa structure chimique fortement hydrophile, l'amidon présente un comportement intimement lié à sa teneur en eau. A température ambiante, les grains d'amidon natifs sont insolubles dans l'eau. A des températures supérieures à 55-60°C, en présence d'un excès d'eau, apparaît le phénomène de gélatinisation dû à la rupture des liaisons hydrogène interchaînes et la perte de structure cristalline. Puis au fur et à mesure que la température s'élève, le grain se disperse, l'amylose et l'amylopectine passent en solution colloïdale. Lors du refroidissement, il y a gélification puis rétrogradation par une cristallisation partielle du réseau macromoléculaire (Buléon *et al.*, 1990).

2.1.3.1 La gélatinisation et l'empesage

Il ne faut pas confondre gélatinisation et empesage.

La **gélatinisation** est un phénomène physique irréversible, observé lorsque des grains d'amidon sont chauffés au-delà de 60°C en présence d'un excès d'eau. Les grains d'amidon perdent progressivement et simultanément leur croix de polarisation et leur cristallinité (Blanshard, 1979).

L'**empesage** correspond aux conséquences fonctionnelles résultant d'une modification structurale : la perte de la cristallinité induit une augmentation du pouvoir de gonflement et de la solubilité de l'amidon (Mestres, 1996a), aboutissant à la formation de l'empois. Globalement, tout empois d'amidon est une suspension de granules gonflés et de macromolécules solubilisées qui ont diffusé hors des granules. Il s'agit principalement des molécules d'amylose qui vont diffuser hors du grain poreux, gonflé, avec un squelette d'amylopectine (Morris, 1990). Ceci entraîne une augmentation de la viscosité.

La **température d'empesage** est le minimum de température requis pour observer cette augmentation de viscosité.

Les propriétés rhéologiques d'un amidon empesé sont directement liées à la solubilité et au gonflement de l'amidon gélatinisé. Ainsi un empois d'amidon est constitué (Mestres, 1996b) :

- d'une phase soluble généralement enrichie en amylose
- d'une phase dispersée composée des granules gonflés, enrichie en amylopectine.

Selon l'importance des fractions constituantes, le comportement rhéologique correspondra à celui d'une suspension, dans un milieu visqueux ou à celui d'une solution macromoléculaire pouvant contenir de particules en suspension. (Doublier *et al.*, 1987).

2.1.3.2 La gélification et la rétrogradation

La gélification est un processus en deux étapes : la séparation de phase et la cristallisation ou rétrogradation (Mestres, 1996a).

- l'agrégation de molécules de polymères aboutit à une séparation de phase au-delà d'une concentration critique (C_0), c'est la **gélification** proprement dite. Elle consiste en la formation d'un réseau tridimensionnel, d'un gel opaque.
- La seconde étape est la **rétrogradation**, qui est un phénomène de cristallisation, arrangement supramoléculaire des polymères en cristaux. La rétrogradation désigne donc le procédé par lequel l'amidon dans l'état dissous ou hydraté reprend sa forme insoluble dans l'eau, il s'agit alors d'un gel rétrogradé.

2.1.4 Les constituants mineurs de l'amidon

Ces composants mineurs, de surface ou internes, sont essentiellement des protéines, des lipides et des éléments minéraux. Les teneurs en protéines des amidons de céréales sont de 0.3 à 0.7% et la teneur en lipides de 1%. On admet que l'amylose et lipides coexistent de manière indépendante au sein des granules et que des complexes se forment au moment de la gélatinisation. Par leur propriété d'interaction avec l'amylose, les lipides monoacylés confèrent aux amidons des propriétés particulières. Les complexes formés présentent deux caractéristiques essentielles :

- un spectre de diffraction de type V différent de celui des amidons natifs
- insolubilité dans l'eau.

La présence des lipides inclus permet d'expliquer le comportement particulier des amidons de céréales au cours du processus d'empesage. La solubilisation très limitée des amidons à des températures inférieures à 90°C s'explique en effet par la présence des complexes amylose-lipides, et l'importante solubilisation de l'amylose observée au delà de 90°C est probablement liée à la fusion du complexe. Ces complexes peuvent se reformer au refroidissement (Doublier, 1990b).

2.2 LES PROTEINES

Parmi les fractions d'usinage du riz, le son est celle qui a la plus forte teneur en protéines. Les protéines de l'endosperme se composent de plusieurs fractions : 15 % d'albumine (soluble dans l'eau) et de globuline (soluble dans les sels), 5 à 8 % de prolamine (soluble dans l'alcool) et le reste, de glutéline (soluble dans les alcalis) (Juliano, 1985b; Huebner *et al.*, 1990 ; IRRI, 1991b). Les protéines du son du riz sont plus riches en albumine que les protéines de l'albumen et se présentent sous forme de corps protéiques distincts contenant des globoïdes dans la couche de cellules à aleurone et dans le germe. Environ 0,7 % de protéines, principalement celles du gène gluant ayant une masse moléculaire de 60 kd est liée à l'amylose du riz (Villareal *et al.*, 1989b).

2.3 LES LIPIDES

Les lipides du riz se trouvent principalement dans la fraction constituée par le son ; le riz usiné en contient 1,5 à 1,7 % (Juliano et Goddard, 1986; Tanaka *et al.*, 1978). Les corps protéiques, en particulier le noyau, en sont riches (Choudhury et Juliano, 1980; Tanaka *et al.*, 1978). Les lipides des granules d'amidon sont principalement des monoacyles (acides gras et lysophosphatides) associés avec l'amylose (Choudhury et Juliano, 1980).

Le riz usiné non gluant contient moins de lipides que le riz gluant. Pour ce dernier notamment à teneur en amylose intermédiaire, les teneurs en lipides sont respectivement de 0,2 % et 1,0 % ; elle est légèrement plus faible pour le riz riche en amylose (Choudhury et Juliano, 1980; Juliano et Goddard, 1986).

Les principaux acides gras de ces lipides sont les acides linoléique, oléique et palmitique (Hemavathy et Prabhaker, 1987; Taira et *al.*, 1988). Les taux en acides gras essentiels est d'environ 29 à 42 % pour l'acide linoléique et de 0,8 à 1,0 % pour l'acide linoléique (Jaiswal, 1983).

2.4 LES FIBRES ALIMENTAIRES

Les fibres alimentaires (tableau 2) se trouvent principalement dans le son, le riz usiné en renferme une faible quantité. L'albumen en a une faible teneur comparativement aux autres constituants du riz cargo (Shibuya, 1989)

Tableau 2 : Teneur en fibres alimentaires du riz

Fraction de riz	Rendement (% de tissus dégraissés)	Composition (% total)				Acide uronique dans la pectine (%)	Rapport arabinose/xylose	
		Substances pectiques	Hémi-cellulose	Cellulose alfa	Lignine		Substances pectiques	Hémi-cellulose
Enveloppe du caryopse	29	7	38	27	32	32	1,63	0,82
Tissu d'aleurone	20	11	42	16	25	25	1,78	0,84
Germe	12	23	47	9	16	16	2,29	0,96
Albumen	0,3	27	49	1	34	34	1,09	0,64

Source : Shibuya, 1989

2.5 FACTEURS ANTINUTRITIONNELS DU RIZ

Les facteurs antinutritionnels (FAN) dans le grain de riz sont concentrés dans la fraction constituant le son (l'embryon et la couche de cellules à aleurone). Ils comprennent la phytine, l'inhibiteur de la trypsine, l'oryzacystatine et l'hémagglutinine-lectine. A part l'oryzacystatine, ces FAN ont déjà été passés en revue (Juliano, 1985b).

La phytine se présente en globuloïdes de 1 à 3 μm dans l'aleurone et les corps protéiques de l'embryon sous forme de sel de potassium ou de magnésium. Ses groupes phosphates peuvent aisément provoquer la chélation avec des cations tels que le calcium, le zinc et le fer et avec des protéines. La phytine est thermostable et elle est à l'origine du bilan de minéraux médiocre observé chez les sujets nourris de riz cargo, par rapport à ceux nourris de riz usiné (Miyoshi *et al.*, 1987a, 1987b).

Un inhibiteur de la trypsine a également été isolé à partir du son de riz et caractérisé (Juliano, 1985b). L'inhibiteur partiellement épuré est stable à pH acide ou neutre et il conserve plus de 50 % de son activité après 30 min d'incubation à 90 °C aux pH 2 et 7. Le passage à la vapeur du son de riz pendant 6 min à 100 °C inactive l'inhibiteur de la trypsine, mais le séchage à sec à 100 °C pendant un maximum de 30 min n'est pas aussi efficace. L'inhibiteur est réparti à raison de 85 à 95 % dans l'embryon et de 5 à 10 % dans le son exempt de germe, mais il n'y en a pas dans le riz usiné.

Les hémagglutinines (lectines) sont des globulines qui agglutinent les hématies des mammifères et précipitent les glycoconjugués ou les polysides. La lectine du riz agglutine les hématies des groupes A, B et O chez l'homme. Elle est située dans l'embryon, mais elle a des récepteurs aussi bien dans l'embryon du riz que dans l'albumen (Miao et Tang, 1986).

L'oryzacystatine est un inhibiteur de la protéinase de la cystéine (globuline) provenant de la semence du riz, et c'est le premier membre bien défini de la famille des cystatines d'origine végétale (Kondo *et al.*, 1989).

Une protéine allergène présente dans le riz usiné, qui provoque un eczéma constitutionnel associé à la consommation de riz, est une alpha-globuline et accuse une immunoréactivité stable (60 %) même après avoir été portée à 100 °C pendant 60 min (Matsuda *et al.*, 1988). On peut préparer des grains de riz hypoallergènes en laissant incuber le riz usiné dans de l'actinase pour hydrolyser les globulines en présence d'un tensio-actif à pH alcalin (Watanabe *et al.*, 1990a) puis en effectuant un lavage. La couleur du grain traité est améliorée par un traitement à l'HCL à 0,5 N et par un lavage à l'eau (Watanabe *et al.*, 1990b).

3. LA QUALITE DU RIZ

La qualité, selon la norme ISO 8402 (ISO, 1995), représente l'ensemble des propriétés et caractéristiques d'un produit ou service qui lui confère l'aptitude à satisfaire des besoins exprimés ou implicites. Il s'agit de la sécurité, de la salubrité, des propriétés alimentaires et organoleptiques, des services envisagés et de la conformité à la réglementation..

La qualité d'un produit est sa capacité à répondre aux besoins du consommateur. En ce qui concerne le riz, les critères de qualité des grains de riz sont variables selon les utilisateurs.

Pour le rizier ou l'industriel, la qualité d'un riz paddy se juge avant tout par son aptitude à donner des grains entiers après usinage. Cette qualité technologique est définie par un certain nombre de critères simples et relativement faciles à mettre en œuvre et à maîtriser : rendement au

blanchiment, taux de brisures. Néanmoins, l'aptitude à l'usinage dépend de la variété, des conditions de séchage et de stockage du riz, et aussi des méthodes d'usinage.

Pour le consommateur, ce sont la qualité d'apparence du grain cru (longueur, largeur, translucidité, couleur, uniformité) et la qualité culinaire du grain cuit (texture du grain, collant, taux d'élongation, arôme) qui sont les plus importantes.

3.1 LES INDICATEURS DE LA QUALITE DU RIZ

3.1.1 Les propriétés physiques

La qualité du grain est influencée par la longueur, la largeur, le ratio longueur, le poids, la densité, le pourcentage de brisures et la « translucidité » de l'endosperme (Juliano, 1998). En fonction des caractères biométriques, une classification a été établie pour définir les grains ronds, médium et longs. Les propriétés physiques telles que le degré d'usinage, la couleur et l'âge du riz usiné sont également des indicateurs de la qualité du grain (Juliano, 1994). Enfin, les variétés diffèrent sur leur taux d'humidité (en général de 12 à 16%) ; selon ce niveau d'humidité, le grain sera plus ou moins susceptible de briser pendant le blanchiment (Juliano, 1998).

3.1.2 La qualité culinaire du riz

Pour pouvoir prendre en compte le goût des consommateurs, la démarche logique est de tester les nouvelles variétés auprès d'un panel de dégustateurs. Mais la mise en œuvre de tests de dégustation est lourde et délicate, tandis que les programmes de sélection variétale exigent des tests rapides et nécessitant peu de matière première. C'est dans ce contexte que les tests instrumentaux sont généralement préférés pour juger des qualités organoleptiques des riz (Pons *et al.*, 1992).

Les propriétés physico-chimiques, les pratiques après récolte (degré d'usinage, conditions de séchage, humidité) et les méthodes de cuisson peuvent influencer la qualité du riz cuit (Lyon *et al.*, 2000).

Plusieurs méthodes existent pour évaluer les propriétés culinaires et la texture du riz cuit perçus par les consommateurs. Les attributs les plus souvent employés pour décrire cette dernière sont le gonflement, la fermeté (résistance à la compression) et l'élasticité ou recouvrance élastique (propriété du grain cuit à retrouver sa taille originelle après la première mastication) des grains cuits. Ces propriétés de cuisson du riz sont mesurées à l'aide de texturomètres ou d'autres méthodes qui emploient d'autres qualificatifs pour le riz cuit : le collant (cohésion) et la tendresse (consistance) (Deshpande et Bhattacharya, 1982). La capacité d'absorption d'eau ou de

gonflement des grains cuits est également évaluée, par comparaison entre le poids du grain cuit et cru.

3.1.3 La qualité nutritionnelle du riz

Le riz complet, par la présence dans sa couche externe d'une substance complexe, le gamma-oryzanol, est un des meilleurs aliments pour abaisser le taux de cholestérol.

Le son qui fait partie de la couche externe du grain, contient des éléments nutritifs très importants, notamment plus de 70 antioxydants pouvant agir comme protecteurs de l'organisme.

C'est le germe et surtout l'assise protéique qui renferme les précieux éléments vitaux, sous forme de fibres, de glucides complexes, des vitamines essentielles du groupe B et des minéraux.

Les tableaux 3, 4 et 5 comparent la composition nutritionnelle du riz avec celles d'autres aliments.

Tableau 3 : Teneurs en différents nutriments des céréales et tubercules (pour 100g)

Aliment	Humidité (%)	Protéines (gNx6,25)	Lipides bruts (g)	Glucides digestibles (g)	Fibres alimentaires (g)	Eléments minéraux (g)	Energie	
							(kJ)	(kcal)
Riz cargo	14,0	7,3	2,2	71,1	4,0	1,4	1610	384
Blé	14,0	10,6	1,9	61,6	10,5	1,4	1570	375
Maïs	14,0	9,8	4,9	60,9	9,0	1,4	1660	396
Sorgho	14,0	8,3	3,9	57,4	13,8	2,6	1610	384
Pomme de terre	77,8	2,0	0,1	15,4	2,5	1,0	294	70
Manioc	63,1	1,0	0,2	31,9	2,9	0,7	559	133
Igname	71,2	2,0	0,1	22,4	3,3	1,0	411	93

Sources : Souci *et al.*, 1986 ; Eggum, 1969, 1977, 1979.

Parmi les céréales, le riz a la teneur la plus faible en protéines.

Mais comparé aux tubercules, le riz est plus riche en protéines, en lipides, en glucides digestibles (par rapport à la matière sèche), donc en apport énergétique. Il en est de même en ce qui concerne les fibres alimentaires et les éléments minéraux. Les fibres du riz complet appartiennent à la catégorie des fibres insolubles qui jouent un rôle d'éponge dans l'intestin, absorbant de grandes quantités d'eau. Cela aide à rendre les selles plus volumineuses et plus humides, facilitant ainsi l'excrétion. Par sa richesse en fibres et en vitamines du groupe B, qui participent à l'assimilation des sucres dans le sang, le riz complet convient particulièrement aux diabétiques.

La teneur en lipides du riz est légèrement supérieure à celles du blé mais inférieure à celles du maïs, et du sorgho.

Tableau 4 : Teneurs en acides aminés des protéines des céréales et des tubercules

Aliment	Lysine (g/16 g N)	Thréonine (g/16 g N)	Méthionine+Cystine (g/16 g N)	Tryptophane (g/16 g N)
Riz cargo	3,8	3,6	3,9	1,1
Blé	2,3	2,8	3,6	1,0
Mais	2,5	3,2	3,9	0,6
Sorgho	2,7	3,3	2,8	1,0
Pomme de terre	6,3	4,1	3,6	1,7
Manioc	6,3	3,4	2,6	1,0
Igname	6,0	3,4	2,9	1,3

Sources: Eggum, 1969, 1977, 1979; Food and Nutrition Research Institute, 1980.

Le riz complet offre une qualité de protéines contenant les acides aminés essentiels nécessaires à la croissance d'un organisme humain jeune, et à son entretien à l'état adulte.

Les protéines des tubercules ont une teneur suffisante en lysine, mais il y a déficience d'acides aminés soufrés (cystéine et méthionine),(Eppendorfer *et al.*, 1979; Food and Nutrition Research Institute, 1980).

Tableau 5: Teneurs en vitamines et en minéraux des céréales et tubercules (pour 100g)

Aliment	Carotène (mg)	Thiamine (mg)	Riboflavine (mg)	Niacine (mg)	Acide ascorbique (mg)	Vitamine E (mg)	Fer (% mg)	Zinc (% mg)
Riz cargo	0	0,29	0,04	4,0	0	0,8	3	2
Blé	0,02	0,45	0,10	3,7	0	1,4	4	3
Mais	0,37	0,32	0,10	1,9	0	1,9	3	3
Millet	0	0,63	0,33	2,0	0	0,07	7	3
Sorgho	10,0	0,33	0,13	3,4	0	0,17	9	2
Pomme de terre	0,01	0,11	0,05	1,2	17	0,06	0,8	0,3
Manioc	0,03	0,06	0,03	0,6	30	0	1,2	0,5
Igname	0,01	0,09	0,03	0,6	10	0	0,9	0,7

Teneur du manioc et de l'igname en zinc d'après Bradbury et Hollyway, 1988.

Sources : Souci *et al.*, 1986 ; Eggum, 1969, 1977, 1979.

Le tableau 5 indique que le riz comparé aux tubercules contient une quantité non négligeable de thiamine, riboflavine, niacine, vitamine E et autres minéraux tels que le fer, et le zinc. Par contre, il ne renferme pas de vitamine C, D ou A..

3.2 CLASSIFICATION DES RIZ

3.2.1 Classification selon l'Union Européenne

La classification, établie par l'Union Européenne en 1988, basée sur des critères morphologiques selon le rapport longueur/largeur des grains blancs, est résumée dans le tableau 6.

Tableau 6: *Classification par le rapport longueur/ largeur du grain blanc (norme de l'Union Européenne, 1988)*

Types de grain	Témoin	Longueur (mm)	Longueur/largeur
Grain court	Cigalon	<5.2	<2
Grain moyen	Lido	<6	<3
Long A	Ariete	>6	$2 < L/l < 3$
Long B	Thaïbonnet	>6	$L/l > 3$

3.2.2 Classifications des riz malgaches

Plusieurs classifications classiques et objectives des riz malgaches cohabitent et reposent sur des critères aussi variés que le système de culture (irrigué, pluvial), la variété génétique (traditionnel, amélioré), l'aspect visuel de grain de riz (couleur, longueur, aspect au toucher...) ou l'appellation « commerciale » (riz de luxe ou ordinaire, de telle origine géographique, de telle marque...). Exemple : suivant la forme du grain, on a les riz long, médium et court, selon la couleur il y a les riz rouge, rose et blanc, (Touzard, 2003), et selon l'origine, on a par exemple le riz Manalalondo ou le riz d'Imeritsiatosika.

Le FOFIFA, centre national de recherche sur le développement rural, maintient une collection de plus de 2600 variétés dans la région du lac Alaotra et plus de 3700 de variétés à Marovoay, 2 hauts lieux de production rizicole, soit au total plus de 6000 variétés issues de la recherche (FOFIFA, 1995) : amélioration des variétés locales, introduction de variétés améliorées en provenance d'autres pays, créations variétales à partir de 2 ou plusieurs variétés... Une enquête menée dans l'ensemble des communes de Madagascar recense 773 dénominations différentes de riz

actuellement produit par les riziculteurs. Cependant, une même variété peut porter des noms différents selon les régions et les communes.

D'autres classifications subjectives sont possibles, en liaison avec la perception et l'appréciation des utilisateurs finaux qui sont les consommateurs (Dabat, 2008).

3.2.3 Les riz spéciaux

Ce sont des variétés de type particulier : parfumé, coloré, gluant, biologique et "boutique".

Les riz parfumés ou aromatiques sont des riz possédant un parfum naturel. Ces riz sont très savoureux et légers comme le Basmati de l'Inde, le Jasmine de Thaïlande ou le Kirminy de Madagascar.

Les riz colorés sont appréciés pour leur couleur qui est déterminée par les teneurs en anthocyane dans les différentes couches du péricarpe, du tégument et de la couche extérieure du grain. La couleur de l'endosperme du riz va du blanc et différentes nuances translucides au rouge, au pourpre et au noir.

Le riz gluant se distingue facilement des autres variétés par sa couleur laiteuse et sa texture collante.

Les riz "boutique" associent les caractères gluants et parfumés.

Les riz biologiques sont les riz cultivés sans fertilisant chimique. (Jeanguyot et Ahmadi, 2002).

3.3 LA CONSTRUCTION DU CHOIX DES CONSOMMATEURS MALGACHES

Un des facteurs essentiels d'achat du riz à Madagascar est le prix, le plus bas possible (Azam et Bonjean, 1995 ; Minten, 1997 ; Badiane et Kherallah, 1997 ; Randrianarisoa, 1997 ; Hirsch, 2000). Pourtant, les consommateurs sont aussi sensibles à une vingtaine d'autres critères ou indicateurs de qualité liés à des propriétés et caractéristiques du produit, qu'ils utilisent pour distinguer les riz les uns des autres (Touzard et Randrianaivo, 2003).

Ces critères de qualité ont été répertoriés auprès des consommateurs au cours des entretiens approfondis. Ils ont été classés en 5 groupes (tableau 7) en fonction du moment, entre l'achat et la consommation en passant par la préparation, où les caractéristiques du produit sont perçues et appréciées (Nelson, 1970 ; Darby et Karni, 1973).

Tableau 7 : Classement des indicateurs de qualité

Attribut	Groupe	Critère	Attribut	Groupe	Critère
Connaissance	Propreté du riz	Taux de cailloux	Expérience	Comportement à la cuisson	Gonflement du riz
		Taux de grains noirs			<i>Mohaka</i>
		Taux de poussière de son			<i>Mantamohaka</i>
		Taux de paddy			Temps de cuisson
	Défaut du grain	Taux de brisures		Caractéristiques du grain cuit	Goût sucré
		Humidité du riz			Goût laiteux
		Taux de grains vert			Goût astringent
	Caractéristiques du grain cru	Morphologie du grain			Riz sans goût
		Couleur du grain			Eparpillement des grains
		Translucidité/opacité du grain			Fermeté du grain
					Tenue au ventre
					Satiété/rassasiement
					Facilité à digérer

Sources : enquête Antsirabe, SCRID, 2003.

Pour évaluer la qualité des riz, les consommateurs se réfèrent souvent aux plats qu'ils confectionnent, les principaux étant le *vary sosoa* et le *vary maina*. Les critères sont alors définis de la façon suivante :

- la présence de cailloux : les paysans y sont plus ou moins attentionnés, la provenance géographique du riz en est parfois citée : par exemple, le riz de Fianarantsoa contient trop de cailloux ; par contre, celui de Betafo n'en contient pas ;
- la présence de grains noirs : issus de «mauvaises herbes » qui poussent dans les rizières, il s'agit donc d'un mauvais entretien des cultures ;
- la présence de poussière de son : les consommateurs l'évaluent en plongeant la main dans le riz, par expérience ils savent que c'est un riz fraîchement récolté (humide) ;
- la présence de paddy : due à l'imperfection du moyen de transformation ;
- la présence de brisures : elle induit un problème à la cuisson ; en effet, elle est liée essentiellement à l'humidité et à la forme du grain ;
- la présence de grains de riz verts ou grains immatures. On les retrouve dans les riz récoltés précocement. Le riz immature est considéré comme difficile à cuire ;
- la morphologie du grain : le choix de la forme du grain dépend des préférences du consommateur, les riz longs, médiums et ronds pouvant être indifféremment utilisés pour la préparation des principaux plats ;

- la couleur des grains : elle varie du blanc (grains blancs ou grains rouges blanchis) au très rouge (grains rouges peu blanchis) ; le riz rose est souvent un mélange de riz blanc et de riz très rouge, mais également du riz rouge insuffisamment blanchi. Là aussi, la préférence dépend des consommateurs ;
- la translucidité/opacité du grain : la plupart des riz présents sur le marché sont opaques. Le mot translucide n'existe pas en malgache, le terme utilisé pour exprimer cette caractéristique est « brillant » ;
- le gonflement du riz : pour une même quantité de riz cru et pour une même préparation, le riz qui occupe plus de volume après cuisson est le plus apprécié;
- le « *mohaka* » : phénomène de prise en masse du grain de riz lors de la cuisson. Le riz est alors très collant et très mou et ne convient pas du tout pour le *vary maina* pour lequel il doit « s'éparpiller » (*miparitaka*). Pour le *vary sosoa*, le phénomène de *mohaka* est caractérisé par des grains trop mous mais non collants car l'excès d'eau lors de la cuisson permet de maintenir les grains de riz plus ou moins dissociés les uns des autres ;
- la *manta mohaka* : problème lié à l'hétérogénéité de cuisson des grains de riz due au mélange de plusieurs variétés ou à la présence de grain brisés ou de grains verdâtres dans l'échantillon à cuire ;
- le temps de cuisson : peu cité lors des entretiens qualitatifs. La préférence va vers un riz qui cuit rapidement ;
- le goût sucré : surtout recherché pour la préparation du *vary sosoa*, attribué aux riz rouges et aux riz décortiqués au pilon, mais il est retrouvé pour la plupart des riz malgaches et pas pour le riz importé,
- le goût laiteux : caractérise plutôt les variétés riches en lipides ;
- le goût astringent : cité pour les riz trop rouges : « ils sèchent la langue » ;
- le riz sans goût : riz qui ne présentent ni le goût sucré, ni le goût laiteux ;
- l'éparpillement des grains : ce critère est surtout apprécié pour la préparation du *vary maina* ;
- la fermeté du grain : exprimée à trois niveaux : ferme, moyen (« ferme mais pas trop ferme »), mou,
- la tenue au ventre : définie par l'expression « on n'a pas faim tout de suite » ; c'est une notion associée à la fermeté du grain après la cuisson, plus le riz est ferme, plus « il tient au ventre » ;
- la satiété: définie par l'expression « on a mangé trop, jusqu'à dégoût » ;
- le rassasiement : satisfaction d'avoir bien mangé ;
- la facilité à digérer : plus associé à la consommation du « *vary maina* ». En effet, pour la préparation du « *vary sosoa* », qualifié être plus « facile à digérer », la cuisson dans un surplus d'eau fait que les grains sont plus cuits que pour un « *vary maina* » (Touzard, 2003).

4 LA TEXTURE DU RIZ CUIT

4.1 GENERALITES

La texture du riz cuit est l'un des attributs de qualité le plus important. A Madagascar en particulier, la totalité des consommateurs apprécie un riz qui ne se ramollit pas trop à la cuisson et qui cuit de manière homogène (Dabat *et al.*,2008).

Il existe une très grande diversité de descripteurs sensoriels de la texture ; de nombreuses études se basent sur jusqu'à 16 descripteurs prenant en compte l'aspect, le comportement en bouche en début de mastication, en fin de mastication et le résidu en bouche (Lyon *et al.*, 1999). Par ailleurs, une étude sensorielle de 32 variétés de riz de Camargue a permis de sélectionner 6 descripteurs pour décrire la texture du riz cuit, à savoir la cohésion des grains, la fermeté, la fermeté du cœur de grains, le collant pendant la mastication, le nombre de mastications et les grains déformés, (Mestres *et al.*,2005).

Les propriétés texturales du riz sont influencées par des facteurs tels que la variété (Kim *et al.*, 1995), le traitement post-récolte (Champagne *et al.*, 1998), le rapport eau/riz utilisé pour la cuisson (Kim *et al.*, 1995), le mode et le degré de cuisson. (Kim et Kim, 1986). Le riz à faible teneur en amylose est mou et collant, tandis que le riz à haute teneur en amylose est ferme et moelleux (Perdon *et al.*, 1999)

Les méthodes instrumentales peuvent être divisées en 3grands groupes : méthodes directes, méthodes indirectes, méthodes combinées.

4.2 METHODES DIRECTES

Ces méthodes nécessitent l'utilisation d'un texturomètre ou d'autres appareils qui peuvent mesurer directement la texture du grain de riz cuit. Il existe quatre grands types de méthodes.

4.2.1 L'extrusion (passage du riz à travers une grille d'une plaque)

On mesure dans ce cas, la force nécessaire à l'extrusion du riz au travers d'une plaque perforée à une vitesse de 10 cm/min (Juliano , 1979). L'expérience est réalisée sur un lot de grains de riz (17-35 g) non individualisés à chaud ou après refroidissement (Rousset *et al.*, 1995; Meullenet *et al.*, 1998)

4.2.2 La compression

Il s'agit d'évaluer la résistance à la compression d'un ou de plusieurs (3 à 5) grains de riz régulièrement disposés sur une plaque (Sesmat et Meullenet, 2001).

4.2.3 Le collant ou « tack test »

On mesure dans ce cas, la force ou l'énergie nécessaire à décoller un lot de grains de riz après une phase de compression (Deshpande et Bhattacharya, 1982).

4.3 METHODES INDIRECTES

Les méthodes physicochimiques sont souvent appliquées sur les farines de riz et sont de ce fait appelées 'indirectes'.

4.3.1 Le Rapid Visco Analyser, RVA

Le RVA est un viscosimètre rotationnel utilisant des cinétiques de cuisson et des forces de cisaillement optimisées pour évaluer les propriétés fonctionnelles de produits agro-alimentaires. Les mesures du RVA pourraient permettre, selon certains auteurs, de prédire les propriétés texturales de l'amidon, ainsi que sa teneur en amylose.

L'existence de corrélations entre les mesures du RVA et les teneurs en amylose a été mise en évidence. Elles sont négatives entre le taux d'amylose et la viscosité minimale, positives entre l'indice de gélification et la viscosité finale (Champagne *et al.*, 1999). On n'observe en revanche peu de corrélation nette avec les données sensorielles.

Il est toutefois un outil simple et rapide, largement utilisé pour les programmes de sélection du riz (Bhattacharya *et al.*, 1999).

4.3.2 Détermination de la teneur en amylose

La méthode colorimétrique de référence pour la détermination de la teneur en amylose est celle de Williams *et al.*, (1958). Elle est basée sur le fait que l'iode forme un complexe avec l'amylose, réaction pouvant être mesurée par spectrophotométrie.

La teneur en amylose est directement corrélée avec l'augmentation de volume et l'absorption d'eau pendant la cuisson, également avec la dureté, la blancheur et la matité du riz cuit (Juliano, 1985b). La résistance des grains à la désintégration lors de la cuisson est aussi reliée à la teneur en amylose ; les riz à forte teneur en amylose sont plus résistants que les riz dits « cireux » (Juliano, 1979). Cet auteur a également montré que le collant du riz déterminé instrumentalement est

corrélé négativement avec le taux d'amylose. Globalement, plus un riz contient d'amylose, moins il est collant, tendre et humide, et plus il est ferme et a une recouvrance élastique importante.

Mestres *et al.*, (1996) ont proposé une méthode rapide pour la détermination de la teneur en amylose en utilisant l'analyse enthalpique différentielle (DSC, Differential scanning calorimeter). C'est une méthode calorimétrique qui permet de mesurer les températures et l'enthalpie liée au changement d'état physique d'un produit soumis à un traitement thermique. Cette méthode a donné des résultats très proches de ceux obtenus par la méthode colorimétrique, donc considérée fiable.

4.3.3 Détermination du taux d'amylose soluble

La teneur totale en amylose n'est pas la seule responsable des propriétés culinaires du riz cuit. En effet, le taux d'amylose insoluble joue un rôle important dans la qualité du riz, notamment pour sa texture après cuisson. D'après Sowbhagya *et al.*, (1987), les différences de textures (viscoélastographe) entre les variétés à forte teneur en amylose pourraient être caractérisées par l'amylose insoluble. La teneur en amylose insoluble à 96°C augmente après étuvage ; elle pourrait alors être corrélée à la fermeté du riz étuvé cuit (Unnikrishnan et Bhattacharya, 1987).

Ong et Blanshard (1995b) suggèrent que pendant la cuisson, les composants de l'amidon, spécialement les molécules les plus lourdes d'amylose et les chaînes les plus longues interagissent avec les autres constituant du riz. Cette conclusion, supportée par l'observation de complexes amylose/lipides, expliquerait le comportement moins collant du riz étuvé. Cela est confirmé par plusieurs auteurs, pour qui plus l'amylose est engagée dans des liaisons intermoléculaires (c'est-à-dire moins elle est soluble) après l'étuvage, meilleures sont les qualités culinaires. Cette amylose insoluble complexée pourrait également être responsable de la réduction des éléments dans l'eau de cuisson et de la solubilisation des grains (Ong et Blanshard, 1995b).

4.3.4 Détermination de la structure de l'amylopectine

Les relations classiques entre la teneur en amylose et les propriétés culinaires du riz ne suffisent pas toujours à expliquer le comportement du riz cuit.

L'amylopectine entre également en compte dans le déterminisme de la qualité du riz cuit. Ainsi, les propriétés culinaires du riz peuvent être liées à la structure de l'amylopectine ou à son degré de polymérisation (Ong et Blanshard, 1995a). La consistance des gels d'amidon et la viscosité sont dues à la fraction d'amylopectine. La présence de longues chaînes d'amylopectine favorise la fermeté du riz cuit (Juliano, 1998). Selon Ong et Blanshard (1995a), la texture du riz est corrélée positivement avec la proportion de chaînes d'amylopectine les plus longues et négativement avec

les chaînes courtes. En effet, les longues chaînes d'amylopectine peuvent interagir avec les autres composants, le complexe qui en résulte serait retenu dans le grain cuit et pourrait ainsi inhiber le ramollissement du grain (Ong et Blanshard, 1995).

4.3.5 Mesure de la température de gélatinisation

Par température de gélatinisation finale des granules d'amidon, on entend la température de l'eau à laquelle 90 % au moins des granules d'amidon se sont gélatinisés ou ont perdu leur biréfringence (croix de Malte) ou ont gonflé de façon irréversible dans l'eau chaude. Pour les granules d'amidon de riz, la température de gélatinisation est classée comme suit: faible (55-69,5°C), intermédiaire (70-74°C) et élevée (>74°C) (Bhattacharya, 1979).

Une température de gélatinisation élevée est peu fréquente, surtout dans les riz à forte teneur en amylose. Une faible température ambiante pendant le mûrissement peut accroître la teneur en amylose et réduire indépendamment la température de gélatinisation de l'amidon (Nikuni *et al.*, 1969; Resurrección *et al.*, 1977; Dien *et al.*, 1987). La température de gélatinisation influe sur le degré de cuisson du riz en raison du gradient de cuisson depuis la surface jusqu'au cœur du grain. Il existe une corrélation directe entre la température de gélatinisation et la durée de cuisson (Juliano et Perez, 1983 ; Vidal *et al.*, 2007 ; Mestres *et al.*, 2011)

4.3.6 Mesure de la consistance du gel

L'épreuve de consistance du gel a été mise au point pour classer la dureté du riz cuit parmi les riz à forte teneur en amylose (Cagampang *et al.*, 1973). Le classement des riz en fonction de la consistance du gel est le suivant : molle, 61-100mm; moyenne, 41-60mm; dure, 27-40mm. Une consistance du gel molle à moyenne est jugée préférable à une consistance dure, aussi bien pour les riz non gluants que pour les riz gluants. Une forte teneur en protéines contribue à rendre plus dure la consistance du gel. L'amylopectine contribue plus que l'amylose à la consistance et à la viscosité du gel amidon.

4.4 METHODES COMBINEES

On mesure successivement la résistance à l'écrasement et la force/énergie nécessaire à décoller le riz. Ce test peut être répété deux fois ; on obtient alors un test TPA (« Texture Profile Analysis) (Champagne *et al.*, 1999).

On peut aussi mesurer les variations d'épaisseur de trois grains de riz cuit avant application d'une force (δ_0), lorsque les grains sont soumis à une force constante équivalent à une masse de 700 g (δ_1), et après enlèvement de la force (δ_2) (norme ISO 6648). Ceci permet de calculer la fermeté et la recouvrance élastique selon les relations suivantes :

$$\text{Fermeté} = 100 \times \delta_1 / \delta_2$$

$$\text{Recouvrance élastique} = 100 \times [\delta_2 \cdot \delta_1] / [\delta_0 \cdot \delta_1]$$

CHAPITRE 2

ENQUETE DE CONSOMMATION DE RIZ DANS LA COMMUNE URBAINE D'ANTANANARIVO (CUA)

Une enquête réalisée auprès des consommateurs de la commune d'Antsirabe a montré que les critères les plus recherchés sont les caractéristiques des grains crus et le comportement à la cuisson du riz, en particulier la texture du riz cuit (Touzard, 2003). Ces résultats sont indicatifs et méritent d'être consolidés. Ainsi, une enquête plus approfondie a été effectuée auprès des ménages à Antananarivo, capitale de Madagascar, abritant plusieurs personnes de cultures et de classes sociales différentes et principal marché du riz de l'île où l'on rencontre plus de variétés qu'ailleurs.

1. OBJECTIFS

Les objectifs poursuivis sont alors :

- d'identifier les critères de qualité recherchés par les consommateurs de la CUA afin de conforter les résultats obtenus à Antsirabe.
- d'acquérir plus de connaissances sur la consommation du riz des ménages malgaches

2. METHODOLOGIE

2.1 LIEUX DE L'ENQUETE ET CHOIX DES MENAGES

La CUA compte 6 arrondissements, 192 fokontany (FKT) et 41133 ménages. Le nombre de FKT à enquêter dans chaque arrondissement a été déterminé au prorata du pourcentage du nombre des FKT dans chaque arrondissement. Le nombre de ménages dans chaque FKT a aussi été pris en compte. Après calculs statistiques, il a été décidé que l'enquête de consommation de riz sera menée dans 16 FKT (Annexe IV) comptant 231 ménages.

2.2 DEROULEMENT DE L'ENQUETE

Une enquête individuelle par questionnaire a été adoptée avec des questions semi-ouvertes ou semi-fermées. Ces dernières sont généralement recommandées au cas où l'on dispose déjà quelques informations que l'on veut confirmer (RAMAMONJISOA, 1996).

2.2.1 Questionnaire

La fiche d'enquête est présentée en annexe V. Les informations à recueillir portent sur les

- caractéristiques socioéconomiques des ménages
- formes et fréquence de consommation du riz
- variétés de riz consommées
- modalités de cuisson du riz
- lieux de procuration du riz
- critères de préférence du grain de riz

2.2.2 Durée de l'enquête

L'enquête s'est déroulée de mi-juillet, soit 2 mois après la récolte, à mi-octobre 2005. Les autorités locales ont été contactées au préalable et informées des objectifs, de l'organisation et de la durée de l'enquête.

2.2.2.1 Pré-enquête

Une pré-enquête a été réalisée, un mois avant l'enquête, sur 30 ménages dans quelques quartiers (non concernés par l'étude) de la CUA afin de tester la faisabilité du questionnaire (durée ne dépassant pas 1h, obtention ou non des réponses attendues), de le modifier en cas de besoin et de le valider par la suite.

2.2.2.2 L'enquête proprement dite : elle a durée 3 mois et été menée auprès de la personne qui s'occupe du repas dans le ménage. Les questions ont été rédigées en français et posées en malgache.

A la fin de chaque entretien, les réponses obtenues ont été résumées brièvement avec la personne enquêtée.

2.3 TRAITEMENT DES DONNEES

Les données ont été saisies sur Excel et traitées sur Epidata analysis., Statistica 7.0 et XL stat.

3. RESULTATS

3.1 LES MENAGES

Les caractéristiques socioéconomiques des ménages enquêtés sont résumées dans le tableau 8.

Tableau 8 : Caractéristiques des ménages

Caractéristiques		Chef du ménage (%)	Personne enquêtée
Age moyen ± ET			38,2 ± 13,0
Sexe	- Masculin	77,5	
	- Féminin	22,5	
Niveau d'instruction	- illettré (1)	0,9	
	- primaire (2)	32,0	
	- secondaire (3)	28,5	
	- lycée (4)	20,8	
	- supérieur (5)	10,4	
	- on ne connaît pas (0)	7,4	
Taille moyenne des ménages	5 personnes		
Nombre moyen de personne salariée	2 personnes/ménage		

Le chef de ménage est à dominance masculine. Les femmes occupent ce poste lorsqu'elles sont célibataires ou quand le mari n'est plus du ménage.

Du point de vue **niveau d'instruction**, la plupart des chefs de ménage ont achevé au moins la quatrième année du primaire. Moins de 1% d'entre eux n'a jamais fréquenté l'école.

La taille du ménage est en moyenne 5 personnes dont 2 d'entre elles sont salariées.

3.2 LES HABITUDES DE CONSOMMATION

3.2.1 Formes de consommation

Trois formes de consommation du riz ont été rencontrées : le *vary maina* ou riz sec, le *vary sosoa* ou riz mouillé, le *vary amin'ny anana* ou riz mouillé préparé avec des brèdes (légumes feuilles).

Le petit déjeuner : selon les catégories sociales, il peut être constitué d'un ou de plusieurs plats.

Les plus rencontrés sont :

- le riz sous forme de *vary sosoa* suivi par le *vary amin'ny anana*, puis le *vary maina* avec ou sans accompagnement qui peut être soit de l'omelette, soit du *kitoza* (viande boucanée), soit des pommes frites
- les restes de nourriture du soir
- le pain, le maïs, le *mofo gasy*, le *menakely*, le manioc
- les boissons chaudes : café, lait et thé.

Le déjeuner est souvent constitué de riz accompagné d'autres plats appelés « *laoka* » : légumes, légumes feuilles, légumineuses, viande, volaille, poisson.... Les ménages aisés ou de catégorie moyenne prennent le dessert : fruits ou yaourt.

Le dîner ne diffère pas beaucoup du déjeuner.

Les ménages ont aussi l'habitude de préparer du bouillon de brèdes pour humecter le *vary maina* lorsque le plat d'accompagnement est sec.

3.2.2 Fréquence de consommation de riz dans la CUA

La fréquence de consommation du riz par jour varie entre 2 ou 3 fois dans les ménages malgaches.

La figure 9 montre le pourcentage des ménages enquêtés selon leurs habitudes et les formes de consommation du riz.

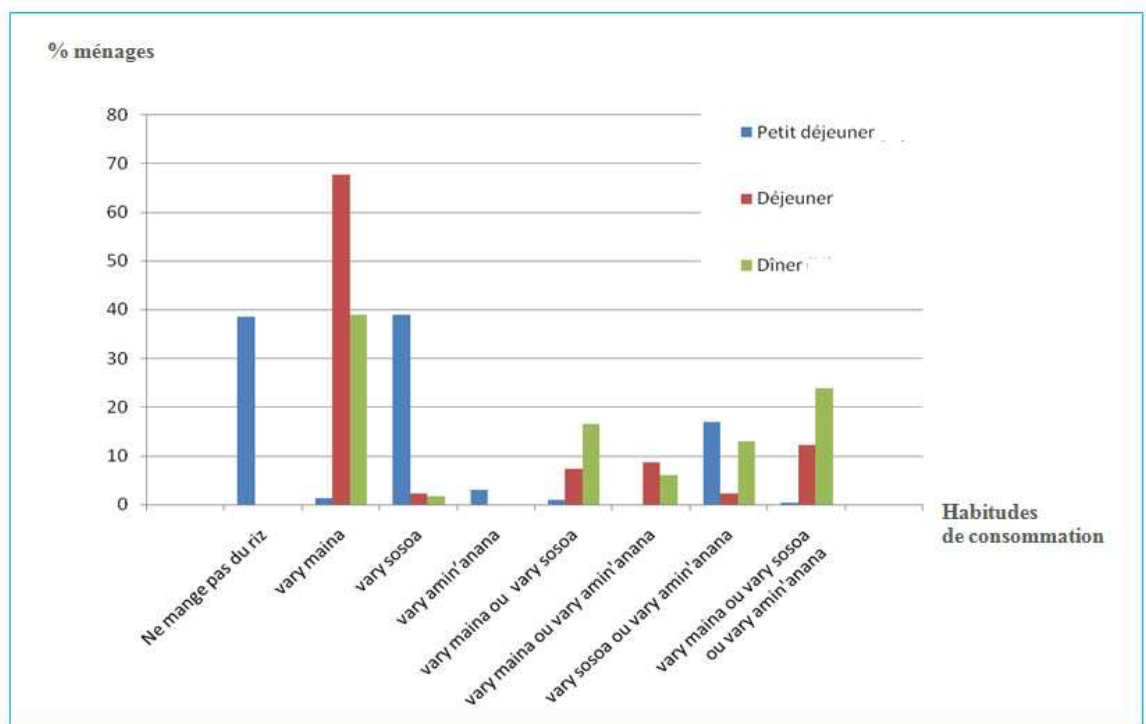


Figure 9 : Habitudes et formes de consommation de riz dans la CUA

3.2.2.1 Le petit déjeuner

Les ménages qui ne consomment pas du riz au petit déjeuner représentent près de 40% des enquêtés. Ils prennent soit du pain ou des beignets avec du café, ou du thé ou du lait, soit du maïs ou du manioc.

Une proportion équivalente consomme exclusivement du *vary sosoa*. Quand on cumule avec les consommateurs non exclusifs, on arrive à un total de près de 60% des consommateurs qui déclarent consommer du *vary sosoa* au petit-déjeuner. A l'inverse, ils ne sont que très peu (1,3 %) à prendre exclusivement du *vary maina*.

La consommation exclusive du *vary maina* est aussi peu fréquente.

En résumé, on trouve, au petit déjeuner, deux types de consommation à part équivalente : le riz, très généralement pris sous forme de *vary sosoa*, et les autres aliments (pain, beignets etc...)

3.2.2.2 Le déjeuner

Tous les enquêtés mangent du riz au déjeuner. Le *vary maina* est prépondérant et la consommation exclusive en est très fréquente (67,53%). Comparé au petit- déjeuner, le *vary sosoa* et le *vary amin'anana* sont également consommés mais peu fréquents par rapport au *vary maina*.

3.2.2.3 Le dîner

Les antananariviens ne semblent pas trop exigeants pour leur dîner. Ceux qui utilisent deux ou trois formes de consommation du riz représentent près de 60%. Le *vary maina* est prépondérant mais moins qu'au déjeuner. La consommation exclusive est d'environ 40%.

En conclusion, les ménages de la CUA prennent le riz au moins 2 fois par jour. Le petit déjeuner est dominé par le *vary sosoa*, le déjeuner par le *vary maina*, le dîner également par le *vary maina* mais moins exclusif.

Le *vary sosoa* et le *vary amin'anana* au déjeuner sont surtout destinés aux petits enfants, aux personnes âgées ou aux malades. Néanmoins, le *vary amin'anana* est plus économique car ne nécessite pas de plat d'accompagnement et les brèdes sont accessibles à toutes les couches sociales.

A Antsirabe, le *vary maina* et le *vary sosoa* sont consommés au moins une fois par jour (Touzard, 2003).

3.2.3 Quantité de riz consommée par le ménage

La quantité de riz utilisée pour chaque préparation est presque le double pour le *vary maina* (figure 10, tableau 9) que pour les deux autres recettes.

La quantité moyenne consommée par jour est de 765g (2,6 kapoaka) pour le *vary maina* et de 440g (1,5 kapoaka) pour le *vary sosoa* et le *vary amin'anana*. La quantité minimum utilisée est de 145g (1 à 3 personnes) pour les trois formes de consommation du riz et le maximum de 2900g (10 à 12 personnes) pour le *vary maina* et 1450g pour le *vary sosoa*, Les valeurs fortes des écart-types montrent qu'il y a une grande différence sur les quantités de riz utilisés par les ménages. Cette différence peut s'expliquer par la taille du ménage et/ou les habitudes de préparation.

Tableau 9: Quantité de riz (g) utilisée pour chaque préparation

	Moyenne	Minimum	Maximum	Ecart-type
vary maina	765	145	2900	402
vary sosoa	440	145	1450	220
vary amin'anana	440	145	1450	220

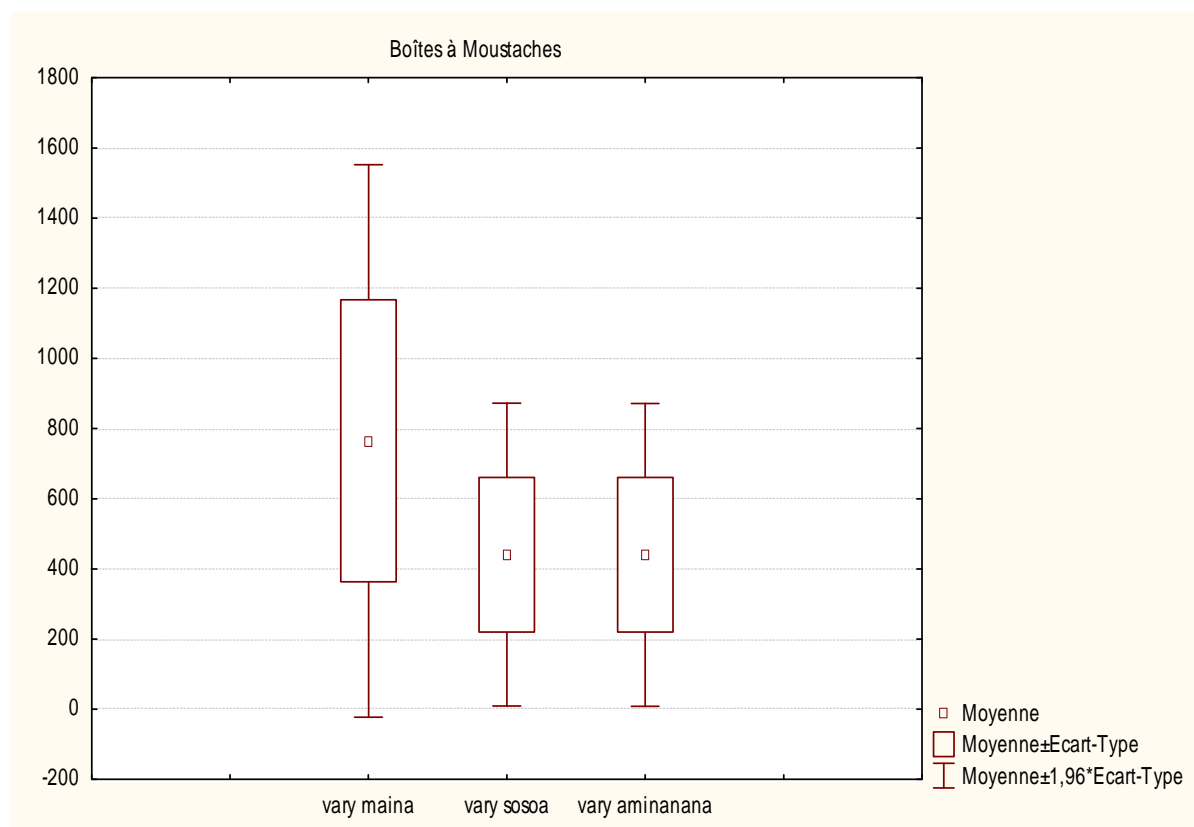


Figure 10 : Quantité moyenne de riz (g) à cuire pour les différentes formes de préparation

Le tableau 10 montre que la consommation annuelle de riz varie selon l'habitude du ménage. La taille moyenne du ménage étant 5, la part de chaque individu par repas est alors 153 g de riz pour le *vary maina* (essentiellement consommé le midi et le soir) contre 88g pour le *vary sosoa* et le *vary amin'anana* (consommé le matin et le soir).

Tableau 10 : Consommation annuelle de riz

Forme de consommation			Consommation en kg/pers/an
Fréquence de consommation	<i>vary maina</i> (riz sec)	<i>vary sosoa</i> ou <i>vary amin'anana</i> (riz mouillé)	
	3	0	168
	2	1	144
	1	2	120
	2	0	112
	0	3	96
	1	1	88

L'étude sur la forme et la fréquence de consommation du riz a montré que les ménages enquêtés consomment du riz au moins 2 fois par jour, donc :

- si le ménage consomme du riz sec 3 fois par jour, chaque personne consomme environ 168kg de riz par an ; c'est le cas de 6 ménages sur les 231 enquêtés
- si le ménage consomme du riz sec 2 fois par jour et du riz mouillé une fois, une personne consomme environ 144kg par an
- si le ménage a l'habitude de consommer une fois par jour le riz sec et 2 fois le riz mouillé, une personne consomme environ 120g de riz par an
- si le ménage ne consomme pas du riz le matin mais consomme du riz sec 2 fois la journée, une personne consomme en moyenne 112kg de riz par an
- si le ménage consomme du riz mouillé 3 fois par jour, chaque personne consomme environ 96kg de riz par an
- si le ménage ne consomme pas du riz le matin mais consomme une fois du riz sec et une fois du riz mouillé, la consommation annuelle de riz est d'environ 88kg par personne

Ainsi, à Antananarivo et à Antsirabe, le riz est consommé de quatre manières différentes : le *vary maina*, le *vary sosoa* et le *vary amin'anana* (Antananarivo)/et le riz *cantonais* (Antsirabe). Le riz cantonnais est un plat de riz d'origine chinoise dans lequel sont mélangés différents ingrédients : légumes, petits morceaux de viande, de crevettes, d'omelette...

La consommation annuelle de riz par personne dans la CUA est de 88kg au minimum, valeur proche de celle rapportée pour le niveau national, 97kg. Elle exclut les quantités consommées dans les restaurants, les gargotes, ou en dehors du cadre du ménage (EPM, 2011). Pour Antsirabe, la consommation moyenne est de 126 kg de riz par an et par personne (Touzard, 2003).

3.3 LES MODES DE PREPARATION

3.3.1 Matériels de cuisson

La marmite en aluminium (d'Ambatolampy), épaisse et munie d'un couvercle est utilisée par tous les ménages enquêtés.

L'instrument de mesure de la quantité de riz est le *kapoaka* (kpk), boîte métallique de lait concentré (1kg de riz équivaut à 3 et ½ kpk, soit 290g pour 1 kpk).

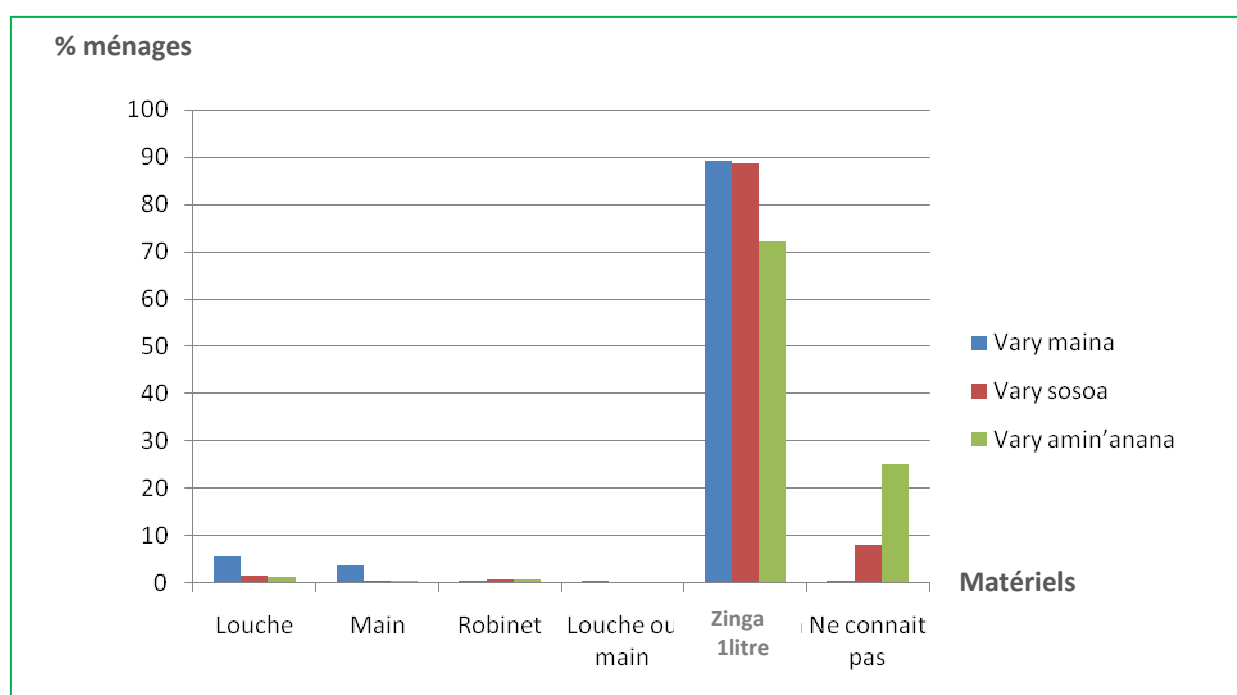


Figure 11: Matériels utilisés pour la mesure de l'eau de cuisson

La plupart des ménages, 70 à 90% utilisent le *zinga* (1litre) pour mesurer la quantité d'eau pour la cuisson du riz (figure 11), 5,6% utilisent la louche et 3,9% se réfèrent à l'aide de leurs doigts. Toutefois, certains ménages (25) ne font pas attention à la quantité d'eau pour la cuisson des *vary sosoa* ou du *vary amin'anana* alors que pour la préparation de *vary maina*, seulement 2 ménages sur les 231 enquêtés ont répondu ne pas connaître la quantité d'eau qu'ils utilisent.

3.3.2 Mode de cuisson du riz

Le riz est lavé une à trois fois pour enlever les restes de balles et les poussières de son avant d'être introduit dans la marmite. Il est ensuite recouvert d'eau froide dont la quantité varie selon l'habitude du ménage. La marmite est laissée sur le feu jusqu'à ce que le riz ait absorbé toute l'eau et qu'une légère odeur de brûlé se dégage pour le *vary maina*. Si l'eau déborde, le couvercle doit être enlevé ou doit rester ouvert sur une partie, mais en général, le couvercle doit toujours rester sur la marmite.

Pour le *vary soso*, l'eau de cuisson est toujours en excès et pour éviter que l'eau déborde à l'ébullition, la marmite ne doit pas être couverte totalement.

3.3.3 Rapport eau/riz utilisé pour la cuisson du riz

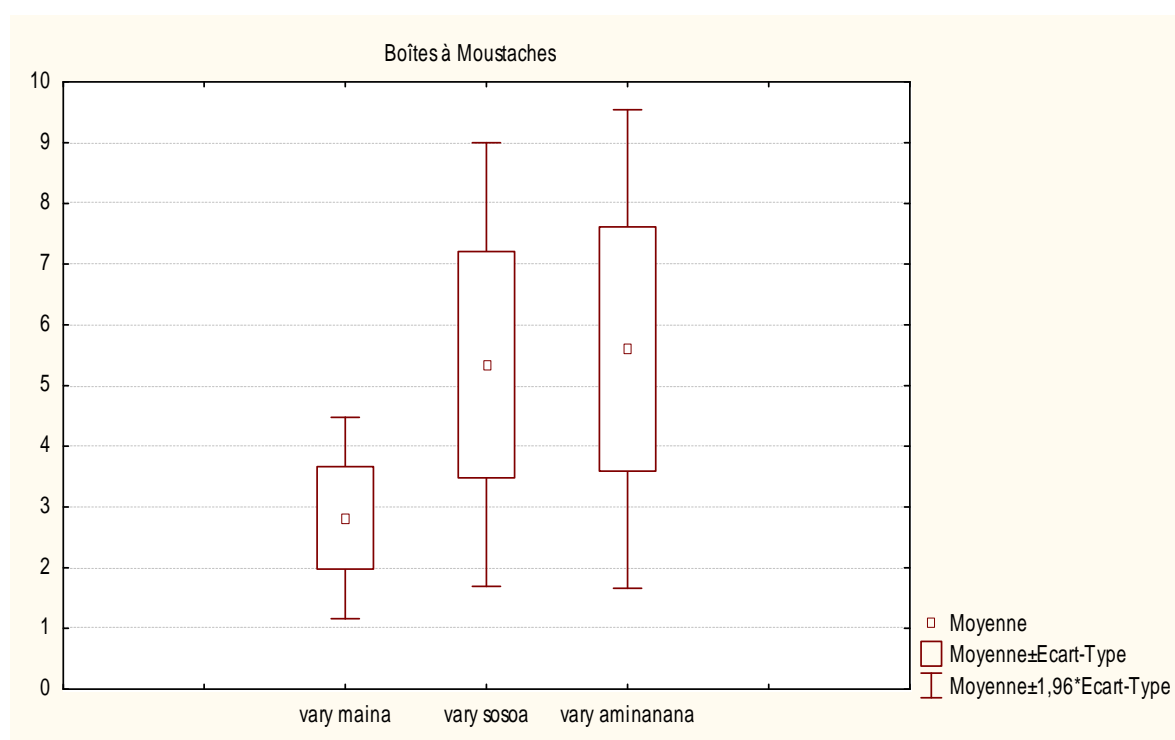


Figure 12: Rapport eau/riz utilisé pour la cuisson du riz

Tableau 11 : Rapport eau/riz utilisé par le ménage

	Moyenne	Minimum	Maximum	Ecart-type
vary maina	2,8	1,0	5,2	0,8
vary soso	5,3	1,3	13,8	1,9
vary amin'anana	5,6	1,3	13,8	2,0

La figure 12 et le tableau 11 indiquent que le rapport moyen eau/riz est de 2,8 pour le *vary maina*, 5,3 pour le *vary soso* et 5,6 pour le *vary amin'anana*

Pour le *vary maina*, le rapport eau/riz minimum utilisé est de 1 et le maximum de 5,2.

Pour le *vary soso* et le *vary amin'anana*, le minimum est de 1,3 contre un maximum de 13,8.

Les écart-types sont faibles, ainsi on peut dire qu'il n'y a pas de grande variation sur les rapports eau/riz utilisés par les ménages.

3.3.4 Combustible utilisé pour la cuisson du riz

Tableau 12: Pourcentage des ménages utilisant les différents combustibles

Nature du combustible	Pourcentage des ménages
Charbon de bois	95,24
Gaz	1,73
Electricité	0,43
Bois mort	2,16
Copeaux	0,43

Le combustible adopté par la plupart des ménages (tableau 12) est le charbon de bois, pour plusieurs raisons :

- peu onéreux et pouvant être utilisé à l'extérieur de la maison, plus convenable pour ceux qui n'ont pas de cuisine.
- le bois mort est difficile à trouver en ville, de plus les propriétaires ne laissent généralement pas les locataires utiliser ce type de combustible.
- le coût de l'électricité et du gaz est trop élevé par rapport à celui du charbon, ne permettant pas aux ménages l'utilisation pour la cuisson des repas.
- les familles qui utilisent les copeaux de bois sont plutôt les propriétaires et/ou celles voisines d'une petite industrie de bois.

3.3.5 Durée de cuisson du riz

3.3.5.1 Selon le combustible utilisé

Les effectifs des ménages utilisant les combustibles autres que le charbon étant trop faibles, les résultats ne sont pas présentés en pourcentage.

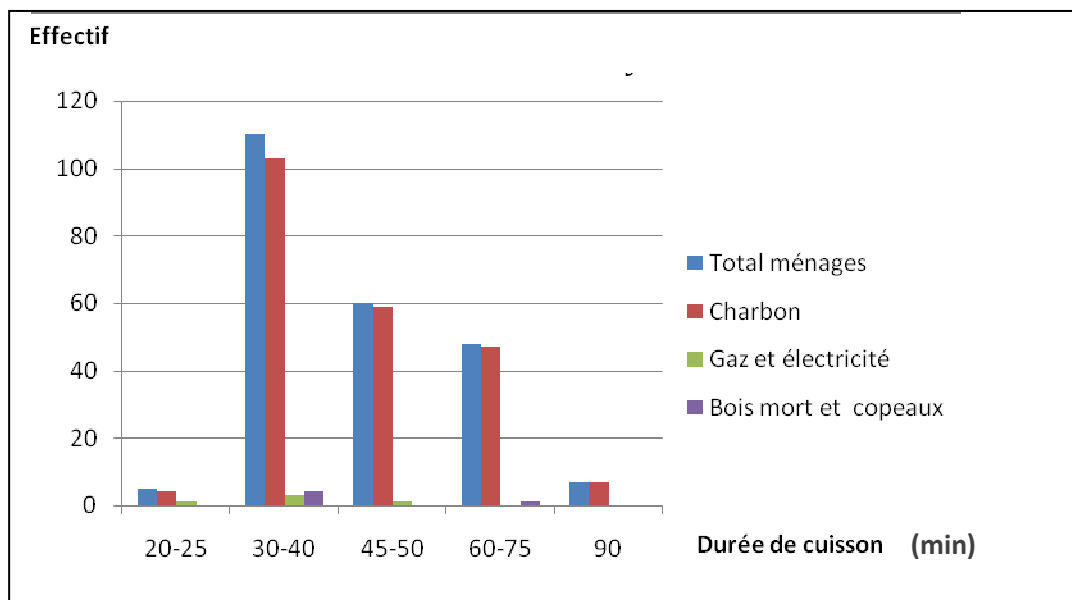


Figure 13: Durée de cuisson du *vary maina*

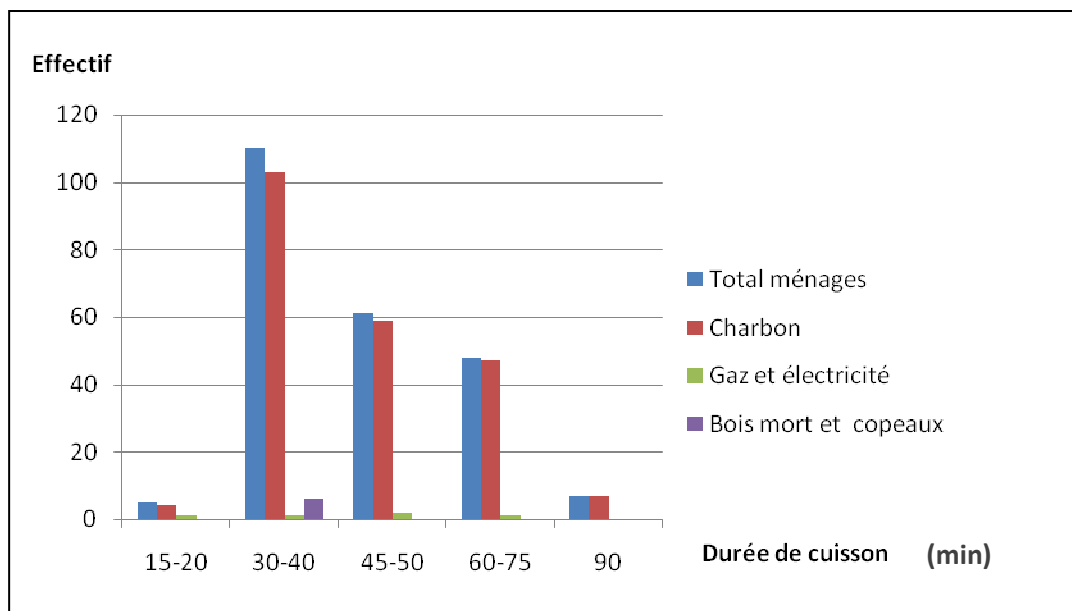


Figure 14 : Durée de cuisson du *vary sosoa*

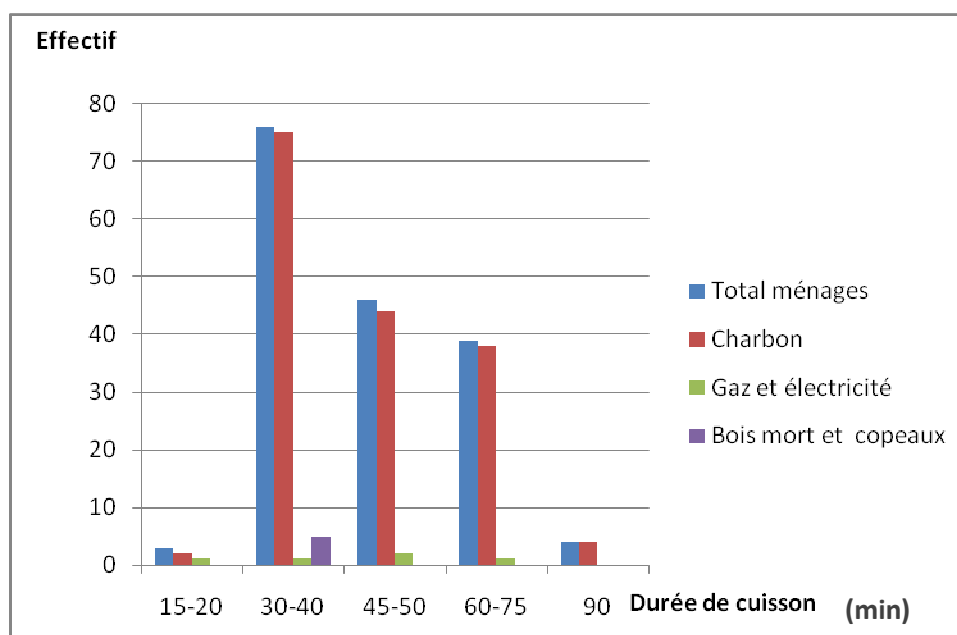


Figure 15 : Durée de cuisson du vary amin'anana

Quel que soit le combustible utilisé, la durée de cuisson du riz (figures 13,14 et 15) varie de 20 à 90min pour le vary maina, de 15 à 90 min pour le vary sosoa et le vary amin'anana.

Pour le vary maina, 101 ménages ont l'habitude de cuire le riz pendant 30min, 57 ménages pendant 45min et 44 ménages pendant 60min.

Pour le vary sosoa, 109 ménages cuisent le riz pendant 30min, 47 ménages pendant 45min et 44 ménages pendant 60min.

Pour le vary amin'anana, les temps de cuisson sont respectivement de 30, 45 et 60min pour 72, 45 et 38 ménages.

3.3.5.2 Relations de la durée de cuisson avec d'autres paramètres

Les relations de la durée de cuisson avec la quantité de riz consommée et le rapport eau/riz ont été étudiées.

Tableau 13: Relation entre quantité de riz et durée de cuisson

Quantité moyenne (g) de riz pour les 3 formes de consommation			
Durée de cuisson (min)	Vary maina	Vary soso	Vary amin'anana
15- 25	435	377	242
30-40	673	426	441
45-50	816	435	458
60-75	860	518	490
90	991	616	677
Coefficient de corrélation r	0,85	0,93	0,97

Comme le montre le tableau 13, la quantité de riz est fortement corrélée positivement à la durée de cuisson pour les trois formes de consommation. Autrement dit, le temps de cuisson du riz augmente avec la quantité de riz à cuire.

Tableau 14: Relation entre le rapport eau/riz et la durée de cuisson

Rapport eau/riz pour les trois formes de consommation			
Durée de cuisson (min)	Vary maina	Vary soso	Vary amin'anana
15- 25	3	6,4	6,6
30-40	2,8	5,2	5,2
45-50	2,8	5,6	5,6
60-75	2,9	5,7	6,1
90	3,2	4,9	4,3
Coefficient de corrélation r	0,52	0,67	0,64

Le tableau 14 indique que le rapport eau/riz est également corrélé positivement à la durée de cuisson pour les trois formes de préparation du riz. La durée de cuisson augmente donc avec le rapport eau /riz.

Les durées sont assez longues et le rapport eau/riz élevé comparé à ceux obtenus par d'autres méthodes de cuisson du riz sec (Juliano *et al.*, 1982 ; Juliano et Perez, 1983)

3.4 LA QUALITE

3.4.1 Variétés de riz consommées

Quatre types de riz ont été recensés auprès des consommateurs au cours de l'enquête (2 à 4 mois après la récolte). Ce sont le *Makalioka* (rouge, blanc) le *Vary gasy* (rouge, rose, blanc), le Stock tampon (riz importé pour faire face aux périodes de pénurie en riz à Madagascar) et le *Tsipala*.

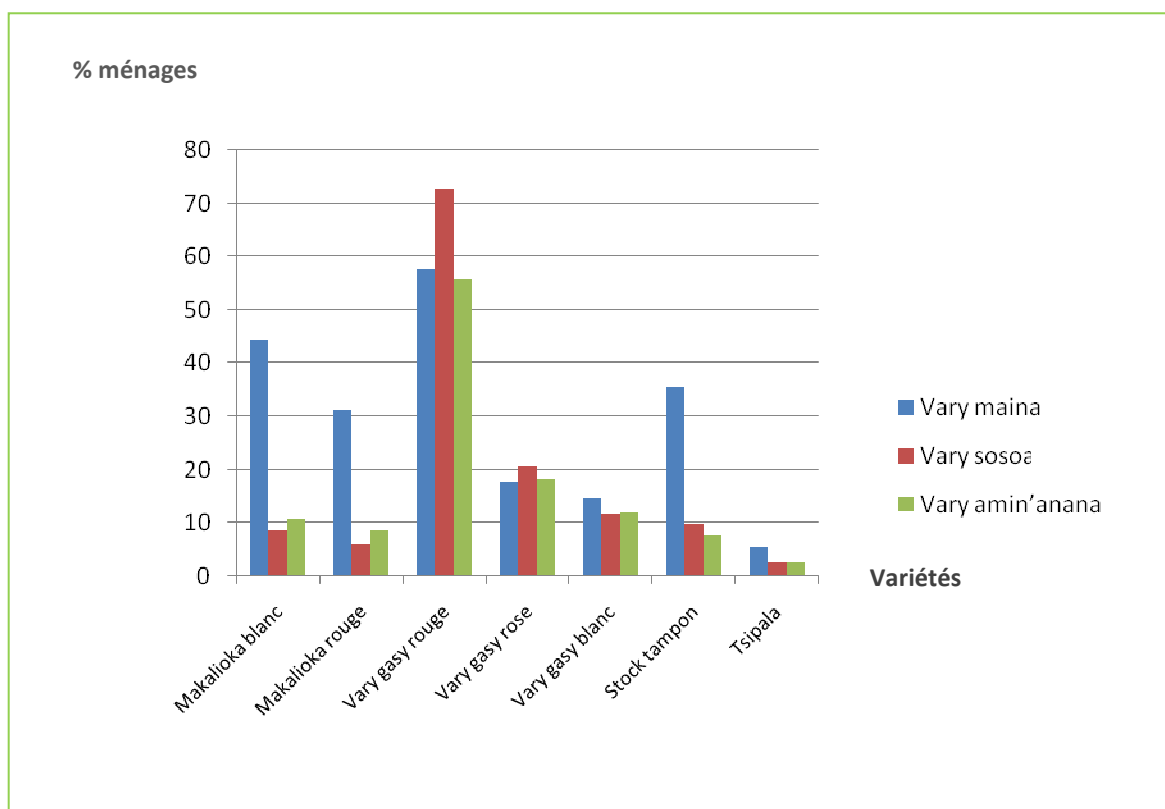


Figure 16 : Variétés de riz consommées dans la population de la CUA

La figure 16 montre que plus de 100 ménages utilisent différents riz selon la forme de préparation. Il y a en effet plusieurs choix possibles.

Le *Vary gasy* rouge apparaît le plus consommé. Ce riz est très apprécié (plus de 55% des ménages) aussi bien pour la préparation du *vary maina* que pour celle du *vary sosoa* et du *vary amin'anana*. Vient ensuite le *Makalioka* blanc, également très prisé, plus particulièrement pour la

préparation du *vary maina* (44,6%). Le *Makalioka* rouge et le stock tampon sont aussi souvent utilisés (plus de 30% des ménages) pour la préparation du *vary maina*.

Les autres riz sont moins pris (moins de 20% des ménages) pour les trois formes de consommation du riz.

La classification du riz suivant le lieu d'origine, la forme, le type de culture et la couleur des grains, par la population d'Antsirabe (Touzard, 2003) est la même que celle révélée par l'enquête dans la CUA.

Les riz identifiés à Antananarivo présentent chacun plusieurs variétés.

Du point de vue forme, le *Makalioka* est long, le *Vary gasy* peut être long, médium ou court, le Stock tampon : long, médium ou court et le *Tsipala* est long ou médium.

Pour la couleur, le *Makalioka* et le *Tsipala* peuvent être blanc ou rouge. Le *Vary gasy* présente des variétés blanche, rose et rouge. Le Stock tampon est toujours blanc.

L'identification du riz peut aussi se faire selon l'âge ou selon le type de culture ou encore selon le lieu d'origine.

Exemples : le *Tsipala tranainy* (ancien) et *Tsipala tanety* (pluvial), *Vary gasy Manalalondo* (provenant de Manalalondo).

Pour ce qui est du comportement à la cuisson, le *Makalioka*, le *Vary gasy* et le Stock tampon sont des riz qui s'éparpillent, gonflent bien et sont faciles à cuire. Quant au *Tsipala*, il gonfle bien et il est facile à cuire et présente à la fois des variétés qui s'éparpillent et qui ne le sont pas, ces dernières étant collantes.

Beaucoup de ménages consommateurs de stock l'apprécient plutôt mélangé avec du *Vary gasy* rouge.

Pendant la période de l'enquête, le *Tsipala* était peu consommé par rapport aux autres variétés.

La plupart des ménages préfèrent le riz blanc pour la préparation de riz sec, le riz rouge et le riz rose sont plutôt réservés pour les riz mouillés. Par ailleurs, les riz locaux sont plus consommés que les riz importés.

3.4.2 Critères de préférence des grains de riz

Les réponses sur les critères de préférence ont porté sur :

- la propreté du riz : présence ou non de cailloux, de grains étrangers, de poussière de son et de paddy
- les défauts du grain : le taux de brisures, l'humidité du riz
- la forme du grain : long, médium ou rond
- la couleur du grain : rouge, blanc, jaune ou translucide
- le comportement à la cuisson :
 - le gonflement du riz, apprécié par son volume après cuisson
 - le « *mohaka* » : phénomène de prise en masse du grain de riz lors de la cuisson
Le riz est alors très collant et très mou
 - le « *mantamohaka* » : une partie du riz reste crue tandis qu'une partie est cuite, il peut être lié à l'hétérogénéité de cuisson des grains de riz (mélange de plusieurs variétés) ou à la présence de grains brisés ou à la présence de grains verdâtres
 - l'éparpillement des grains : les grains s'éparpillent lorsqu'ils ne collent pas et se détachent les uns des autres
- la digestibilité : le *vary soso* est considéré comme facile à digérer car mou, il en est de même pour le riz *mohaka* ; le *vary maina*, étant très ferme, est considéré comme difficile à digérer ; il en est de même pour le riz *mantamohaka*, qui contient en partie des grains non cuits ;
- le goût : sucré, laiteux, sans goût.

Les résultats sur les préférences des consommateurs sont présentés dans les tableaux 15 et 16.

On remarque que les notes de préférence sont comparables pour les trois formes de consommation du riz sauf pour le caractère couleur.

La présence de cailloux est le premier critère de rejet du riz à l'achat, Les grains étrangers, les brisures et l'humidité du riz en sont également mais plus tolérables que les cailloux.

La plupart des ménages peuvent tolérer la présence de son et de paddy dans le riz. Le tri des paddy et le vannage sont des étapes indispensables pour le riz pilonné et les ménages en ont l'habitude avant de le faire cuire.

Pour le comportement à la cuisson du riz, la plupart des ménages aiment le riz éparpillé, non collant, qui gonfle bien, facile à cuire et à digérer. Les riz à goût sucré et à goût laiteux sont également appréciés. Ces deux types de goût sont surtout attribués aux *vary gasy*.

Presque tous les enquêtés détestent le riz qui fait le *mohaka* ou le *mantamohaka*. Selon les enquêtés, le riz *mohaka* est mou et cireux et sa texture n'est pas très agréable en bouche.

Pour le format et la couleur de grains : ils sont tous acceptables.

Au total, les critères de préférence considérés comme étant les plus importants à Antananarivo et à Antsirabe sont comparables. A l'achat, les critères de choix sont liés à la propreté de riz et aux défauts des grains : riz sans cailloux, sans grains étrangers, ne présentant pas beaucoup de brisures et qui ne sont pas humides. La présence de paddy et de son est tolérable.

Pour la morphologie des grains, les ménages de la CUA apprécient les trois formes rencontrées mais il est constaté que le riz long est préféré au riz court.

Pour la couleur, le riz rouge et le riz blanc sont les plus appréciés.

Pour le comportement à la cuisson et pour les deux principaux plats, les préférences vont vers les riz qui gonflent, s'éparpillent, ne collent pas, faciles à cuire et à digérer et ne présentant pas le phénomène de *mohaka* et de *mantamohaka*.

En conclusion, les attributs de rejet sont à la fois technologiques (cailloux, grains étrangers, brisures, humides propreté) et / ou variétaux (*mohaka*, *mantamohaka*).

Tableau 15: Préférence des grains de riz (effectif des ménages)

	Note	Ne connaît pas	N'aime pas	Tolère	Aime
Propreté des grains	Cailloux		213	16	2
	Grains étrangers		119	108	4
	Son		26	201	4
	Paddy		23	205	3
Défauts des grains	Brisures		125	77	29
	Humides	21	119	62	27
Forme	Long		2	14	214
	Médium		2	25	204
	Court	3	26	23	177
Couleur	rouge		32	18	158
	jaune	32	34	44	118
	blanc		14	32	157
	translucide	18	65	40	98
Comportement à la cuisson	gonflement	2	0	3	225
	mohaka		217	5	7
	mantamohaka		230	0	1
	éparpillement		8	1	219
	Facile à cuire	2	4	8	217
Digestibilité	Digestibilité	12	11	5	202
Goût	Sans	1	88	76	55
	Sucré	2	19	24	182
	lait		8	11	210

Tableau 16 : Préférence des grains de riz (pourcentage des ménages)

	Note	Ne connaît pas	N'aime pas	Tolère	Aime
Propreté des grains	Cailloux		92,2	6,9	0,87
	Grains étrangers		51,5	46,8	1,7
	Son		11,3	87,0	1,7
	Paddy		9,9	88,7	1,3
Défauts des grains	Brisures		54,1	33,9	12,5
	Humides	9,1	51,5	26,8	11,7
Forme	Long		0,9	6,1	92,6
	Médium		0,9	10,8	88,3
	Court	1,3	11,3	9,9	76,6
Couleur	rouge		13,9	7,8	68,4
	jaune	13,9	14,7	19,0	51,1
	blanc		6,1	13,9	68,0
	translucide	7,8	28,1	17,3	42,4
Comportement à la cuisson	gonflement	0,9	0,0	1,3	97,4
	<i>mohaka</i>		93,9	2,2	3,0
	<i>mantamohaka</i>		99,5	0,0	0,4
	éparpillement		3,5	0,4	94,8
	Facile à cuire	0,9	1,7	3,5	93,9
Digestibilité	Digestibilité	5,2	4,8	2,2	87,4
Goût	Sans	0,4	38,0	32,9	23,8
	Sucré	0,9	8,2	10,4	78,8
	lait		3,5	4,8	91,0

3.5 PROCURATION DU RIZ

Tableau 17 : Procuration du riz

Lieu de procuration	%
Epicerie	43,72
Marché	46,75
Bord de la rue	0,87
Autoconsommation	3,46
Autres	1,30
Epicerie ou marché	1,30
Epicerie ou bord de la rue	0,87
Epicerie ou autoconsommation	0,87
Marché ou bord de la rue	0,43
Marché ou autoconsommation	0,43

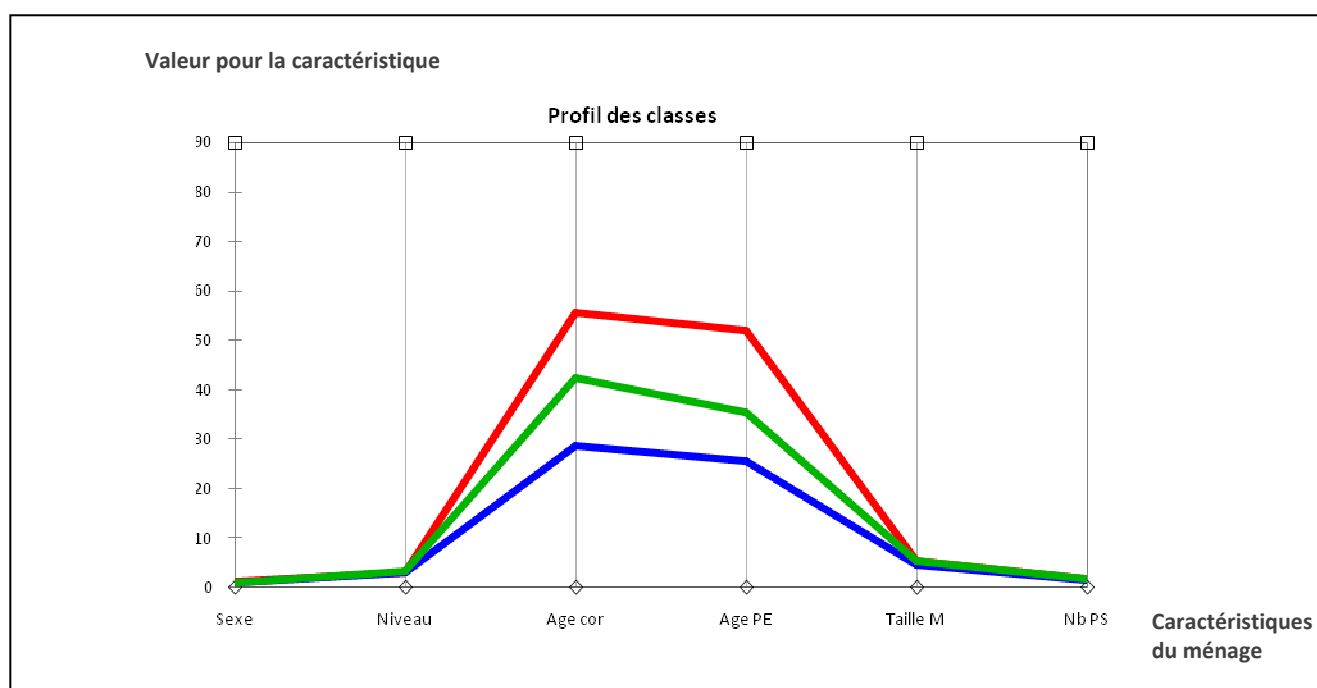
L'achat du riz se fait au kg ou à la mesure traditionnelle, le *kapoaka*.

On peut voir sur le tableau 17 que la plupart des enquêtés achètent du riz et les lieux d'achat les plus fréquents sont l'épicerie et le marché. L'autoconsommation est faible car en ville la culture de riz est rare.

4. DISCUSSION CONCLUSION

Une classification ascendante hiérarchique sur les données d'habitudes de consommation, de mode de préparation et de qualité a été effectuée pour identifier les différentes classes de consommateurs.

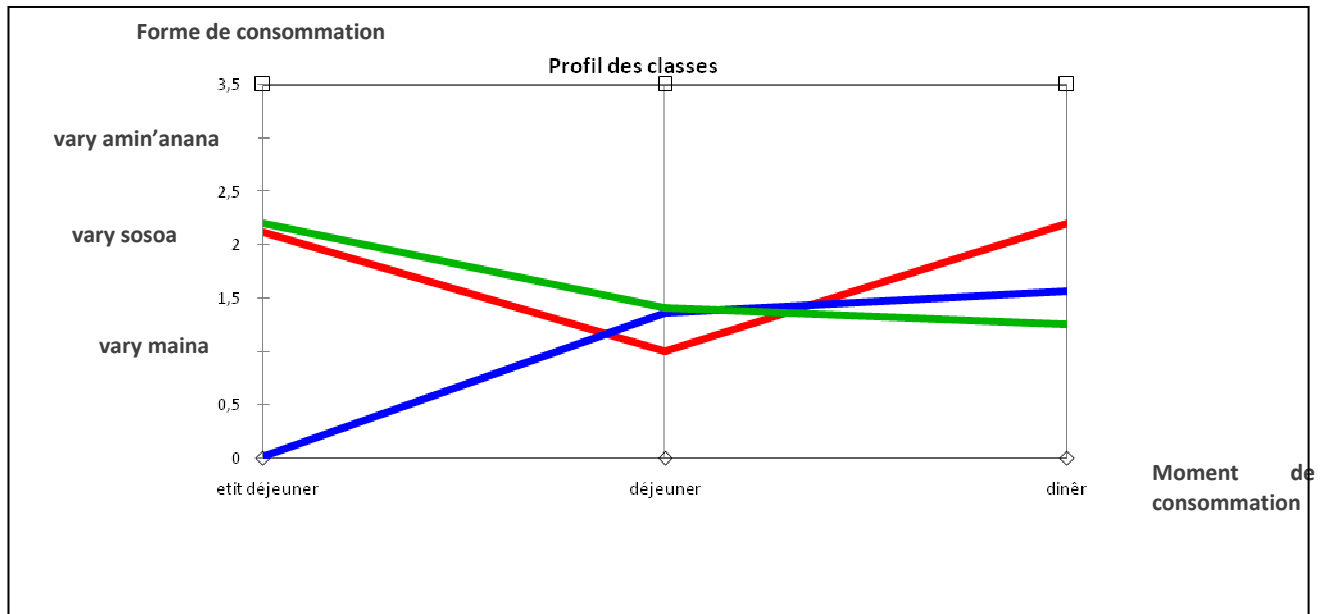
Concernant les données socio-économiques, trois classes (figure 17) ont pu être mises en évidence ; elles diffèrent par l'âge du chef du ménage et de la personne qui s'occupe des repas. Dans la première se rangent des personnes âgées, dans la deuxième des jeunes et dans la troisième des intermédiaires c'est-à-dire ni jeunes, ni âgées.



Age cor : âge du chef de ménage ; Age PE : âge de la personne enquêtée ; Taille M : taille du ménage ;
Nb PS : Nombre de personnes salariées
classe 1 en rouge, classe 2 en bleu, classe 3 en vert.

Figure 17 : Profil des classes socioéconomiques

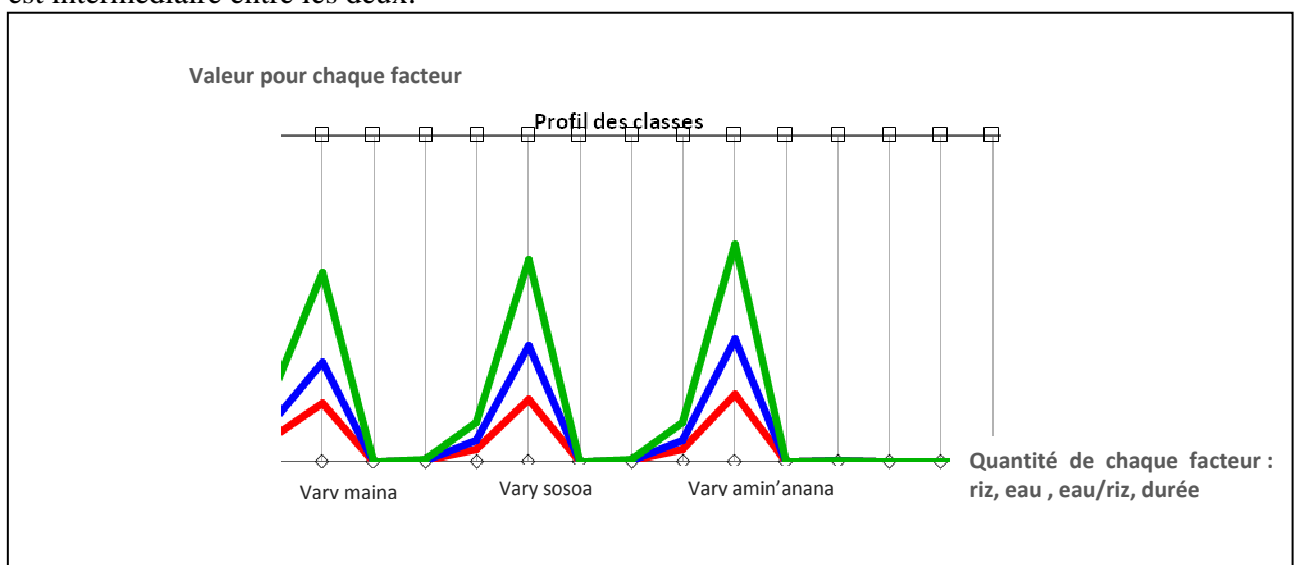
Pour les habitudes de consommation, 3 classes (figure 18) ont été identifiées. La première est composée de ménages qui ont comme habitude de consommer du *vary maina* au déjeuner et de *vary sosoa* au dîner. La deuxième, par des familles qui ne consomment pas de riz au petit déjeuner et la troisième par des familles qui prennent du *vary maina* au déjeuner et au dîner.



classe 1 en rouge, classe 2 en bleu, classe 3 en vert.

Figure 18 : Profil des classes sur les habitudes de consommation

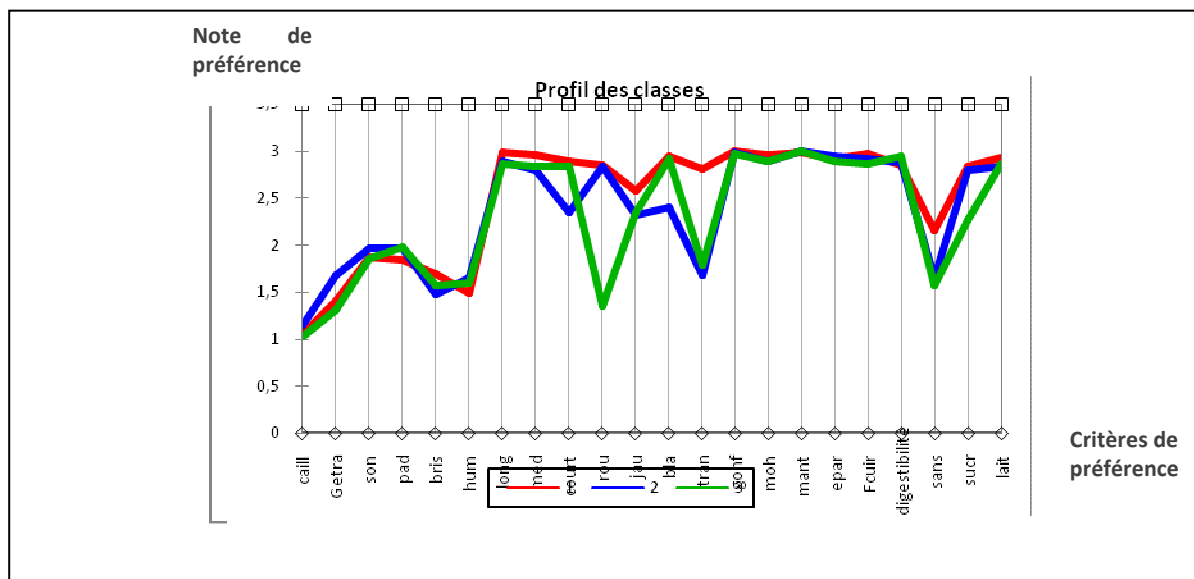
En ce qui concerne les modes de préparation du riz, 3 classes de ménages (figure 19) ont été distinguées. Les ménages de la classe 1 utilisent une quantité de riz faible et un rapport eau/riz faible, ceux de la classe 3, un ratio eau/riz élevé pour une grande quantité de riz. La classe 2 est intermédiaire entre les deux.



classe 1 en rouge, classe 2 en bleu, classe 3 en vert.

Figure 19: Profil des classes sur le mode de préparation

Pour les critères de préférence des grains, également 3 catégories de ménages (figure 20) ont été également repérées. Une catégorie (1) indifférente qui aime tout, une deuxième (2) n'aimant pas le riz translucide et le riz sans goût et une troisième (3) qui n'aime pas le riz rouge, le riz translucide et le riz sans goût.



classe 1 en rouge, classe 2 en bleu, classe 3 en vert.

Figure 20: Profil des classes sur la préférence des consommateurs

Une analyse de variance a été également effectuée afin de pouvoir observer l'influence du niveau socioéconomique sur chaque classe de consommateurs.

Tableau 18 : Analyse de variance entre classes socioéconomiques et classes des habitudes de consommation

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	2	0,084	0,042	0,059	0,943
Erreur	227	160,912	0,709		
Total corrigé	229	160,996			

Calculé contre le modèle $Y = \text{Moyenne}(Y)$

Le tableau 18 montre que la classe socioéconomique n'a pas d'effet significatif sur la consommation du riz.

Tableau 19: Analyse de variance entre classes socioéconomiques et classe de préparation

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	2	0,465	0,233	0,337	0,715
Erreur	203	140,297	0,691		
Total corrigé	205	140,762			

Calculé contre le modèle $Y = \text{Moyenne}(Y)$

On peut voir sur le tableau 19 que la classe socioéconomique n'a pas d'effet significatif sur le mode de préparation du riz. Ainsi la préparation du riz est comparable quelque soit la classe socioéconomique du ménage.

Tableau 20: Analyse de variance entre classes socioéconomiques et classe de préférence

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	2	2,031	1,015	1,450	0,237
Erreur	227	158,965	0,700		
Total corrigé	229	160,996			

Calculé contre le modèle $Y = \text{Moyenne}(Y)$

Les résultats présentés sur le tableau 20 indiquent que la classe socioéconomique n'a pas d'influence significative sur la préférence des consommateurs sur les grains de riz.

Tableau 21: Analyse de variance entre classe des habitudes de consommation et classe de préférence

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	2	0,865	0,432	0,739	0,479
Erreur	227	132,809	0,585		
Total corrigé	229	133,674			

Calculé contre le modèle $Y = \text{Moyenne}(Y)$

La classe de consommation n'a pas d'effet significatif sur les critères de préférence des grains (tableau 21)

Tableau 22: Analyse de variance entre classe de préparation et classe de préférence

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	2	0,345	0,173	0,660	0,518
Erreur	227	59,398	0,262		
Total corrigé	229	59,743			

Calculé contre le modèle $Y = \text{Moyenne}(Y)$

Le tableau 22 montre que la classe de ménage pour la préparation n'a pas d'influence significative sur la préférence des grains

Ainsi, la variabilité interménage suivant les critères socio-économiques ne présente pas de différence significative. Autrement dit, les habitudes de consommation, les modes de préparation du riz et les préférences des consommateurs ne sont pas affectés par leur niveau socio-économique.

En conclusion, on peut dire que les modes de consommation des Malgaches et leur préférence en matière de riz sont similaires.

CHAPITRE 3

ETUDE DE LA QUALITE DU RIZ

Les enquêtes réalisées à Antsirabe (Touzard, 2003) et à Antananarivo sur la consommation et les critères de qualité du riz qui ont permis de recueillir des informations sur la classification des grains, les types de riz consommés, les habitudes des ménages et les préférences des consommateurs, ont été des préalables nécessaires à l'étude de la qualité du riz.

Pour mieux appréhender les attentes des consommateurs et pouvoir proposer des variétés permettant de satisfaire leur demande, faire une étude plus poussée sur ces critères de qualité et sur les facteurs qui peuvent les influencer semble indispensable.

Ainsi, la présente partie de l'étude va porter d'une part, sur l'évaluation des critères identifiés auprès des consommateurs et d'autre part, sur l'analyse physico-chimique et instrumentale des grains d'un pool de riz présentant une large diversité physique et sensorielle.

Deux séries de travaux ont été menées :

- Une étude préliminaire sur quelques variétés de riz, et qui a porté spécifiquement sur :
 - une enquête d'évaluation de la qualité du riz auprès des ménages malgaches
 - une analyse physico-chimique et instrumentale des riz
 - une étude des corrélations entre la qualité du riz évaluée par les ménages et les caractéristiques physico-chimiques et instrumentale.
- Une étude approfondie, effectuée sur un nombre plus élevé d'échantillons de riz et comportant :
 - une analyse sensorielle par un jury entraîné
 - une analyse physico-chimique et instrumentale des riz
 - une étude des corrélations entre la qualité du riz évaluée par le jury et les caractéristiques physico-chimiques et instrumentales.

1. ETUDE PRELIMINAIRE : *recherche et essai d'une méthode simple facile à mettre en œuvre*

1.1 ENQUETE D'EVALUATION DE LA QUALITE DU RIZ AUPRES DES MENAGES MALGACHES

1.1.1 OBJECTIFS

Il s'agit de connaître les modalités de préparation du riz et de faire des caractérisations physique et sensorielle des riz auprès de quelques ménages malgaches.

1.1.2 METHODOLOGIE

Enquête d'évaluation : une enquête par questionnaire a été adoptée. Elle consiste à s'informer auprès des ménages sur la qualité des grains (crus et cuits) et sur les modalités de cuisson des différentes variétés concernées par l'étude.

1.1.2.1 Lieu d'étude

L'enquête a été menée dans quelques quartiers de la commune urbaine d'Antananarivo. Les ménages cibles ont été tirés au hasard.

1.1.2.2 Matériels d'étude

Les variétés de riz, au nombre de 9, composés de riz pluvial et de riz irrigué, choisis avec l'aide des sélectionneurs du FOFIFA et du CIRAD Antsirabe comme étant les plus représentatifs (forme, couleur) de la diversité des riz malgaches, ont constitué les matériels d'étude :

- riz pluviaux : 2 variétés *Fofifa 161* et *Fofifa 167*, fournies gracieusement par les chercheurs sélectionneurs du SCRID (CIRAD et FOFIFA) sous forme de paddy puis décortiqués à l'aide une machine artisanale, et une variété, la *Tsipala tanety*, achetée déjà blanchie.
- riz irrigués : 6 variétés achetées déjà blanchies sur les marchés d'Antananarivo (Anosibe et Talatamaty), *Gasy bota mena*, *Makalioka*, *Tsipala mena*, *Tsipala tranainy*, *Manalalondo* et *Semence*.

1.1.2.3 Echantillonnage des grains

La préparation d'un échantillon se déroule comme suit :

Le tout est versé sur une natte puis homogénéisée et rassemblée en cône (1). Le cône est partagé en quatre tas (2 et 3) à partir du sommet. Les deux quarts opposés sont écartés puis rassemblés (4). Ensuite chaque tas est redistribué en quatre tas (5) et ainsi de suite. On refait les mêmes opérations pour les différentes variétés. Les échantillons ainsi obtenus ont servi aux différentes études.

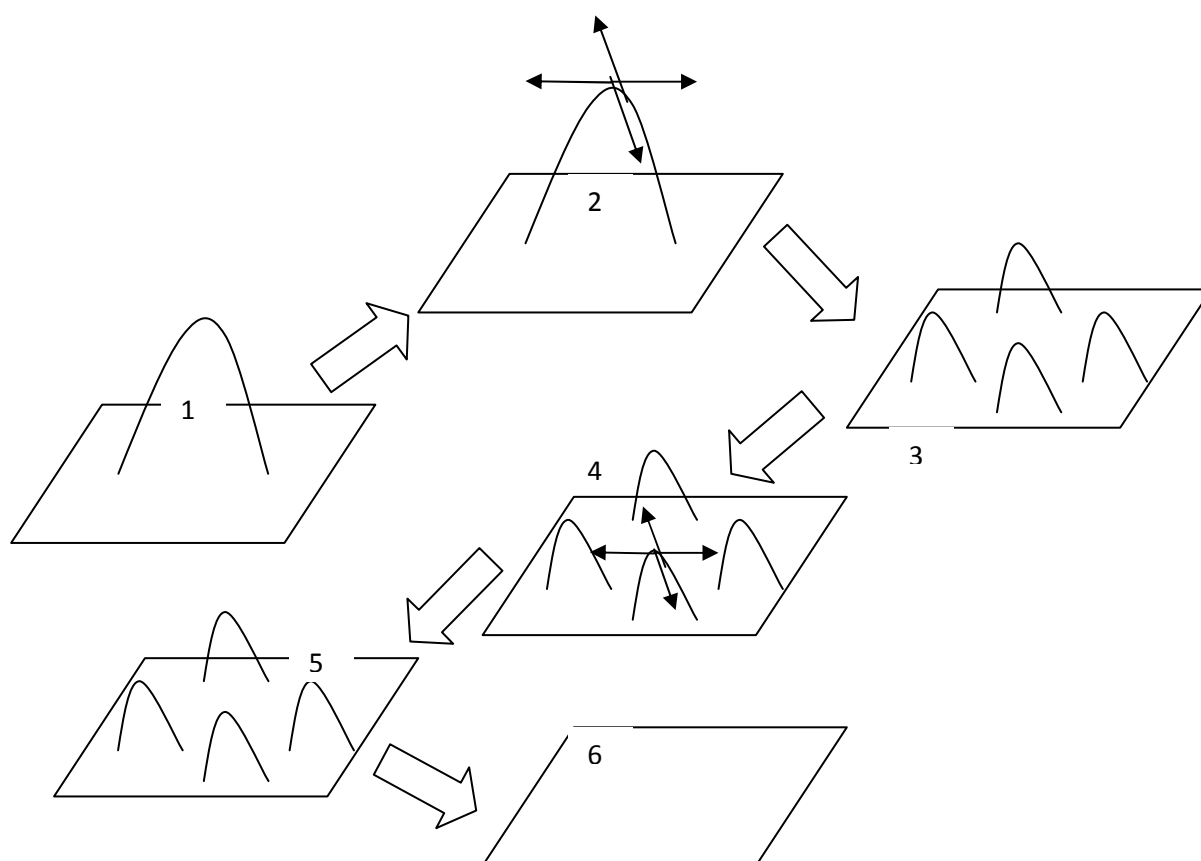


Figure 21: Etapes de l'échantillonnage des grains

1.1.2.4 Choix des ménages

Dix ménages ont été choisis selon les critères suivants :

- famille de même taille
- appartenant à la classe moyenne
- disponibles pour l'enquête
- utilisant des marmites en aluminium d'Ambatolampy et du charbon comme combustible de cuisson.

1.1.2.5 Protocole d'évaluation des échantillons par les ménages

Une visite préliminaire a été faite auprès des ménages une semaine avant le début du test pour expliquer le but, le déroulement et les conditions de l'étude.

L'enquête proprement dite a été réalisée en 10 jours à raison de 3 jours par semaine. Chaque jour, 1,5kg d'échantillon de riz pris au hasard ont été offerts gratuitement à chaque ménage pour la préparation de *vary maina* selon leur habitude et à consommer au déjeuner.

Pour chaque variété, le jour de la cuisson, la ménagère est invitée à donner son appréciation (note de 0 à 5) sur la qualité des grains crus et cuits, que l'enquêteur inscrit sur une fiche individuelle d'évaluation.

L'échantillon *Makalioka* a été évalué 2 fois pour assurer la répétabilité des réponses.

1.1.2.6 Le questionnaire

Le questionnaire a été rédigé en français et les questions posées en malgache à la personne responsable de la cuisson (annexe VI). Il a porté essentiellement sur :

- l'appréciation des grains crus : couleur, brillance, transparence, forme, présence de brisures, de paddy, de cailloux, de grains verts, de grains étrangers,
- le mode de cuisson du riz, particulièrement la quantité de riz à cuire, la quantité d'eau nécessaire et la durée de cuisson.
- l'appréciation des grains cuits : gonflement, éparpillement, fermeté, collant, *mohaka*, *mantamohaka*, goût, digestibilité, facilité à cuire des grains de riz.

1.1.2.7 Traitement des données

Les données recueillies ont été saisies sur Excel et analysées sur Statistica 7.0.

1.2 METHODES D'ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES ET INSTRUMENTALE DES GRAINS DE RIZ

1.2.1 OBJECTIFS

Il s'agit d'étudier les propriétés physico-chimiques et texturales des échantillons et de leurs corrélations afin d'acquérir une connaissance sur les caractéristiques de qualité du riz et des facteurs qui influencent son comportement à la cuisson.

1.2.2 METHODOLOGIE

1.2.2.1 Caractérisation physico-chimique

Les caractéristiques physiques : longueur, largeur, taux de grains entiers, masse de mille grains, couleur et les caractéristiques biochimiques : teneur en amylose, teneur en protéines, teneur en cendres ont été évaluées sur riz cru.

1.2.2.1.1 *Caractérisation physique*

- **Détermination du taux de grains entiers**

Les brisures et les grains entiers sont séparés à l'aide d'une plaque à alvéoles adaptée à la morphologie de l'échantillon analysé. Le taux de grains entiers est déterminé pondéralement suivant la formule :

$$\text{Taux de grains entiers (\%)} = \frac{100 \times \text{masse de grains entiers}}{\text{masse de riz global}}$$

- **Détermination des dimensions des grains**

Environ 100 grains entiers de riz sont étalés sur la vitre d'un scanner. Après numérisation, une analyse de l'image est alors réalisée à l'aide du logiciel Sigma Scan Pro 5.0 afin de déterminer la longueur (L) et la largeur (l) moyennes.

- **Détermination du poids de mille grains**

Les riz sont comptés à l'aide d'un compteur automatique Numigral (Annexe XI), puis pesés.

- **Détermination de la couleur**

Elle se fait à l'aide d'un chromamètre Minolta (Annexe XI). On détermine la luminance (L), l'indice du rouge (a) et l'indice du jaune (b).

1.2.2.1.2 Caractérisation biochimique

Les éléments biochimiques susceptibles d'influencer la qualité du riz ont été déterminés : teneurs en amylose, en protéines et en cendres.

- **Détermination de la teneur en amylose**

La teneur en amylose a été dosée par colorimétrie selon la norme internationale ISO 6647 (ISO, 1987). Le principe est de mesurer l'absorbance à 620nm du complexe coloré bleu formé par l'amylose et l'iode en milieu acide. L'intensité du complexe est proportionnelle à la quantité d'amylose présente.

- **Détermination de la teneur en protéines**

La teneur en protéines a été calculée à partir de la teneur en azote dosée selon la méthode de Kjeldahl, norme AFNOR NFV03-050, 1970 (AFNOR, 1991).

- **Détermination de la teneur en cendres**

La teneur en cendres a été déterminée pondéralement après incinération à 550 °C dans un four à moufle jusqu'à obtention de cendre blanchâtre de poids constant, norme AFNOR NF V 05-113, 1972 (AFNOR, 1991).

1.2.2.2 Etude du comportement du riz à la cuisson

Dans cette partie, le temps de cuisson et la fermeté de chaque échantillon ont été déterminés.

- **Détermination du temps optimum de cuisson du riz**

Le temps de cuisson de chaque échantillon a été évalué par le suivi de la translucidité du riz, selon la méthode de Ranghino (Desikachar, et Subrahmanyam, 1961).

- **Evaluation de la texture du riz cuit : mesure de la fermeté**

Des conditions de cuisson proches de celles utilisées par les consommateurs pour préparer le *vary maina* ont été utilisées : eau de départ à température ambiante, rapport eau /riz de 1,8 et durée de cuisson 30min.

Après cuisson, la force nécessaire au passage du riz cuit au travers d'une plaque perforée de trous de 6 mm de diamètre est mesurée (Juliano, 1979).

Deux types d'appareil (annexe XI) ont été utilisés pour mesurer la fermeté du riz cuit :

- Texturomètre automatisé (Instron Food Tester) qui mesure en continu la force nécessaire à l'extrusion du riz au travers de la plaque perforée à une vitesse de 10 cm/min (Juliano, 1979).
- Texturomètre manuel : des masses calibrées sont ajoutées progressivement au sommet du piston jusqu'à observer l'extrusion du riz à travers la grille.

Les résultats des mesures obtenues avec les deux instruments ont été comparés.

1.3 RESULTATS

1.3.1 CARACTERISTIQUES DES RIZ SELON LES MENAGES

Une analyse de variance a été réalisée pour rechercher si les effets riz et ménages sont significatifs ou non mais également pour classer les riz en groupe.

1.3.1.1 *Caractéristiques des grains crus*

Les résultats obtenus par analyse de variance des caractéristiques des grains crus sont récapitulés dans le tableau 23.

Tableau 23 : Significativité (valeur des probabilités de l'hypothèse nulle) des effets riz et ménage sur les descripteurs du riz cru

Caractéristiques des grains	Caractéristiques intrinsèques				Caractéristiques technologiques				
	coul	brill	trans	forme	bris	pad	caill	vert	G etra
riz	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
ménage	0,00	0,00	0,62	0,95	0,06	0,43	0,40	0,62	0,49

coul: couleur; **brill:** brillance; **trans:** transparence; **bris:** brisures; **pad:** paddy ; **caill:** cailloux; **vert:** grain vert; **G etra:** grain étranger.

La différence entre les caractères étudiés est significative si $p < 0,05$, elle ne l'est pas si $p > 0,05$.

Effet riz : il existe des différences hautement significatives ($p < 0,01$) entre les riz pour tous les descripteurs du riz cru; Autrement dit *les riz crus sont très différents les uns des autres et les ménages les discriminent bien.*

Effet ménage : Il y a une différence hautement significative entre les ménages pour les caractères couleur et brillance ; les ménages jugent différemment ces deux caractères. Pourtant, aucune différence significative n'est observée pour la transparence, la forme, et les caractéristiques technologiques des grains ($p > 0,05$). En d'autres termes, *les appréciations des ménages sur ces descripteurs sont similaires.*

Le tableau 24 résume les résultats obtenus par le test de comparaison de moyennes de Newman-Keuls. Les échantillons présentant des lettres différentes sont significativement différents pour un caractère étudié.

Tableau 24 : Classification des riz selon les caractéristiques des grains crus.

N° riz	Caractéristiques intrinsèques				Caractéristiques technologiques				
	coul	brill	trans	forme	bris	pad	caill	vert	G etra
Tsipala tanety	1,7 bc	1,5 a	1,4 ab	2,7 ad	2,8 ab	1,0 a	1,0 a	0,2 b	1,0 a
Gasy bota mena	2,9 d	1,0 a	1,0 a	1,0 e	1,9 a	1,1 a	1,0 a	0,0 b	1,0 a
Makalioka	1,0 a	3,1c	2,6 c	3,0 a	3,2 bc	1,0 a	1,1 a	1,0 a	1,0 a
Tsipala mena	2,9 d	1,6 a	1,0 a	2,4 bd	1,9 a	1,2 a	1,2 ab	1,1 a	1,2 a
Tsipala tranainy	1,8 c	1,0 a	1,0 a	3,0 a	2,8 ab	3,6 c	1,3 b	1,0 a	1,12a
Manalalondo	4,0 e	1,0 a	1,0 a	2,2 b	2,5 ab	1,2 a	1,0 a	1,0 a	1,1 a
Semence	1,2 ab	1,2 a	1,0 a	1,5 c	2,2 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a
Makalioka	1,0 a	2,2 b	1,7 b	2,9 a	2,5 ab	1,0 a	1,1 a	1,0 a	1,0 a
Fofifa 161	1,3 abc	1,0 a	1,2 a	1,6 c	3,8 c	4,5 d	1,0 a	1,0 a	1,0 a
Fofifa 167	1,2 ab	1,1 a	1,0 a	2,1 b	2,4 ab	2,2 b	1,0 a	1,0 a	1,7 b
Ecart-type	0,14	0,14	0,14	0,14	0,23	0,12	0,07	0,08	0,09

coul: couleur; **brill:** brillance; **trans:** transparence; **bris:** brisures; **pad:** paddy; **caill:** cailloux; **vert:** grain vert; **G etra:** grain étranger.

Couleur (coul)

Il ressort qu'il y a différentes classes pour le caractère couleur. En effet, les couleurs des échantillons sont variées :

- *Makalioka*, *Semence*, *Fofifa 161*, *Fofifa 167* sont jugés de couleur blanche, avec une note de 1.
- *Tsipala tanety* et *Tsipala tranainy* sont également assez blancs (note inférieure à 2).
- *Tsipala mena* et *Gasy bota mena* sont proches du rouge.
- *Manalalondo* est très différente, il est très rouge (note de 4).

Brillance (brill)

Parmi les riz étudiés, seul le *Makalioka* présente le caractère brillant.

Transparence (trans)

Seul le *Makalioka* est assez transparent, les autres échantillons ne le sont pas.

Forme

L'appréciation de la forme a été surtout axée sur la longueur. Les riz longs (en particulier *Makalioka* et *Tsipala tranainy*) sont préférés pour la préparation du *vary maina*.

Brisures (bris)

Le *Gasy bota mena*, le *Tsipala mena*, le *Semence* présentent le moins de brisures.

Le *Makalioka* et le *Fofifa 161* sont jugés les plus brisés.

Paddy (pad)

Le *Fofifa 161* présente le taux le plus élevé de paddy suivi par le *Tsipala tranainy*. La présence de paddy est probablement due à l'usinage pas très performant et aussi à l'humidité des échantillons.

Les autres riz contiennent du paddy mais à un degré moindre par rapport aux précédents.

Grains verts (vert)

- Les riz *Tsipala tanety*, *Gasy bota mena* ne contiennent pas de grains verts.

- Les autres riz en contiennent en quantité faible.

Grains étrangers (G etra) et Cailloux (caill)

Les grains étrangers et les cailloux sont rares dans ces échantillons.

CORRELATIONS ENTRE LES CARACTERISTIQUES DES GRAINS CRUS

Une analyse en composantes principales (ACP) a été réalisée pour connaître les variables principales décrivant la diversité des critères de qualité des échantillons étudiés et pour comprendre les relations entre les différentes variables des grains crus.

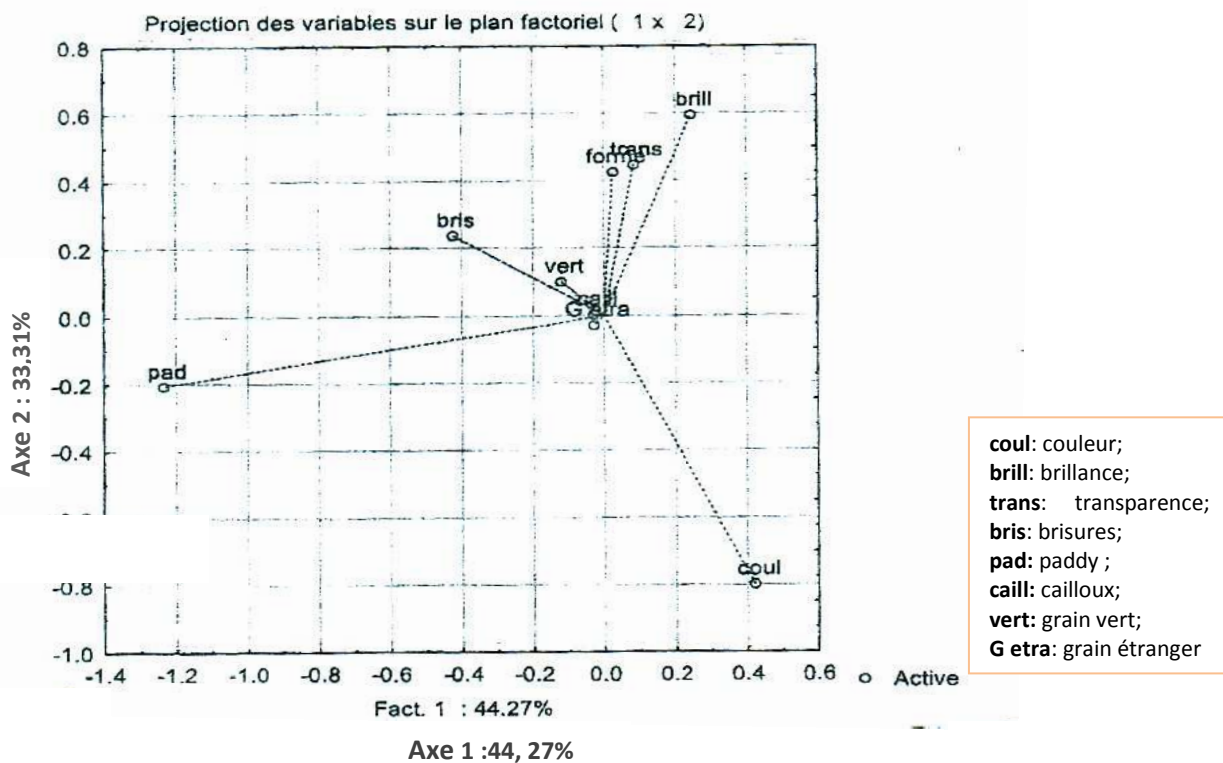


Figure 22: Projection des descripteurs des grains crus sur les deux premiers axes de l'ACP

La figure 22 montre que le paddy explique la plus grande variabilité entre échantillons, il est fortement corrélé négativement à l'axe 1 qui représente 44% de la variabilité. L'axe 2, représentant près de 33% de la variabilité, est corrélé négativement à la couleur et positivement à la brillance. Le résultat est bon car les deux axes retiennent 77,58% de l'inertie totale (>75%).

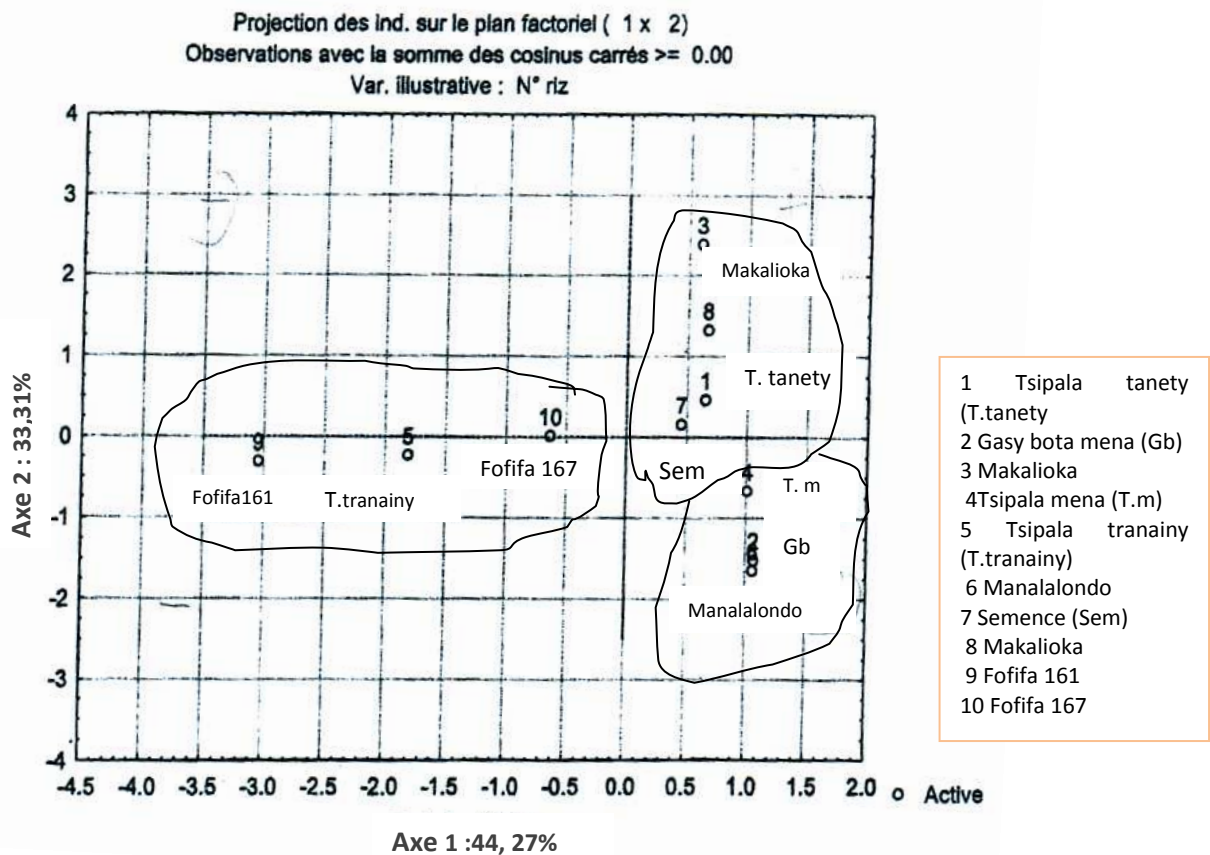


Figure 23 : Projection des échantillons sur les deux premiers axes de l'ACP

La figure 23 indique que *Fofifa 161*, *Tsipala tranainy*, *Fofifa 167* sont ceux qui présentent beaucoup de paddy car ils sont fortement corrélé à l'axe 1. La présence de paddy dans ces deux échantillons peuvent s'expliquer par le fait qu'ils ont été fournis sous forme de paddy et usinés avec du matériel différent: machine artisanale pas très performante par rapport à celles utilisées pour les riz achetés aux marchés. *Tsipala mena*, *Gasy bota mena*, *Manalalondo* sont liés au caractère couleur. *Manalalondo* et *Gasy bota mena* sont les plus colorés (rouge).

Du point de vue préférence, *le Makalioka* se situe en première position car il est le plus positif sur l'axe 2 et non négatif sur l'axe 1 ; ses notes élevées de brillance, de transparence et de forme et sa note faible de couleur expliquent cette position. *Tsipala tanety* et *Semence* sont appréciés après le *Makalioka*.

1.3.1.2 Caractéristiques des grains cuits

Les résultats de l'analyse de variance des caractéristiques des grains cuits sont récapitulés dans le tableau 25.

Tableau 25 : Significativité (valeur des probabilités de l'hypothèse nulle) des effets riz et ménage sur les descripteurs du riz cuit

	Gonfl	Eparp	Ferm	Coll	Moh	Manta	Goût	Dig	F cuir
riz	0,42	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0	0,02
ménage	0,00	0,00	0,03	0,00	0,56	0,45	0,51	0,44	0,5

Gonfl : gonflement; **Eparp** : éparpillement; **Ferm**: fermeté; **Coll**: collant; **Moh**: mohaka

Manta: mantamohaka; **Dig**: digestibilité; **F cuir**: facilité à cuire.

Effet riz : Les ménages discriminent bien les riz car les valeurs de probabilité montrent un effet significatif ($p < 0,05$) sauf pour le gonflement. Les ménages trouvent donc des différences entre les échantillons sauf pour le gonflement.

Effet ménage : Il existe une différence significative ($p < 0,05$) entre les ménages pour les caractères gonflement, éparpillement, fermeté et collant.

Pour le reste des caractères, il n'y a pas d'effet significatif.

Le tableau 26 présente les résultats du test de comparaison de moyenne de Newman-Keuls sur les caractéristiques des grains cuits.

Tableau 26 : Classification des riz selon les caractéristiques des grains cuits.

N° riz	gonfl	éparp	ferm	coll	moh	manta	goût	diges	f.cuir
Tsipala tanety	3,7a	3,7 a	5,0 e	2,8 b	0,0 a	0,0 a	3,5 ac	1,0 a	1,0 a
Gasy bota mena	4,2a	4,0 a	4,1 ab	1,0 a	0,0 a	0,0 a	4,5 b	1,0 a	1,0 a
Makalioka	3,5a	4,5 b	4,2 b	1,6 a	0,0 a	0,0 a	3,8 abc	1,0 a	1,0 a
Tsipala mena	3,4a	3,4 a	3,4 acd	1,6 a	0,2 ab	0,0 a	3,2 c	1,0 a	0,6 a
Tsipala tranainy	3,9a	4,3 a	4,1 ab	1,4 a	0,1 ab	0,0 a	4,3 ab	1,0 a	0,9 a
Manalalondo	3,8a	3,8 a	3,9 ab	1,6 a	0,5 b	0,5 b	3,8 abc	0,6 b	0,8 a
Semence	3,9a	3,5 a	3,7 abc	3,1 b	0,1 ab	0,0 a	3,9 abc	1,0 a	1,0 a
Makalioka	3,7a	4,4 b	3,7 abc	1,9 a	0,2 ab	0,0 a	4,1 ab	1,0 a	1,0 a
Fofifa 161	3,7a	3,4 a	3,2 cd	1,0 a	0,0 a	0,0 a	4,2 ab	1,0 a	0,7 a
Fofifa 167	3,9a	3,5 a	3,0 d	2,7 b	0,2 ab	0,0 a	4,2 ab	1,0 a	0,8 a
Ecart-type	0,22	0,20	0,17	0,26	0,10	0,04	0,20	0,05	0,10

Gonfl : gonflement; **Eparp** : éparpillement; **Ferm**: fermeté; **Coll**: collant; **Moh**: mohaka

Manta: mantamohaka; **Dig**: digestibilité; **F cuir**: facilité à cuire

Gonflement (gonfl)

Les riz appartiennent tous à une seule classe car il n'y a pas de différence significative entre le gonflement des échantillons.

Eparpillement (éparp)

Les valeurs moyennes de l'éparpillement varient entre 3,4 et 4,5.

Les résultats indiquent qu'il y a deux groupes de riz pour l'éparpillement: le premier est constitué par les riz *Tsipala tanety*, *Gasy bota mena*, *Tsipala mena*, *Tsipala tranainy*, *Manalalondo*, *Semence*, *Fofifa 161*, *Fofifa 167*. Ces riz présentent les mêmes valeurs d'éparpillement.

Le *Makalioka* (3, 8) forme un groupe à part et apparaît comme le riz le plus éparpillé.

Fermeté (ferm)

La fermeté des échantillons de riz analysés varie entre 3,0 et 5,0 :

- avec une fermeté comprise entre 3 et 3,4, les riz les moins fermes sont *Tsipala mena*, *Fofifa 161*, *Fofifa 167*
- les riz ayant une fermeté moyenne entre 3,7 et 4,1 sont *Gasy bota mena*, *Makalioka*, *Tsipala tranainy*, *Manalalondo*, *Semence*
- *Tsipala tanety*, avec la valeur la plus élevée, 5, est le plus ferme des riz étudiés.

Collant (coll)

Les valeurs du collant varient de 1 à 3,1 :

- les riz *Gasy bota mena*, *Makalioka*, *Tsipala mena*, *Tsipala tranainy*, *Manalalondo*, *Fofifa 161* ne sont pas collants
- tandis que *Tsipala tanety*, *Semence*, *Fofifa 167*, significativement différents des autres sont peu collants.

Mohaka (moh)

Les valeurs attribuées aux différents échantillons pour ce caractère sont proches de zéro, ce qui veut dire, que les riz ne manifestent pas le *mohaka*.

Cependant, on peut les répartir en trois classes :

- la première, avec la valeur 0 : *Tsipala tanety*, *Gasy bota mena*, *Makalioka* et *Fofifa 161*
- la deuxième, ayant des valeurs comprises entre 0,1 et 0,2 : *Tsipala mena*, *Tsipala tranainy*, *Semence* et *Fofifa 167*
- la troisième, avec une valeur plus élevée, 0,5 est formée par *Manalalondo*.

Mantamohaka (manta)

Avec des valeurs zéro sauf pour le *Manalalondo*, 0,5, tous les échantillons de riz étudiés ne manifestent pas le *mantamohaka*.

Goût

Les riz ayant un goût sucré et /ou laiteux sont, dans l'ordre, le *Gasy bota mena* en premier, suivi par le *Tsipala tranainy*, *Fofifa 167*, le *Fofifa 161* et le *Makalioka*.

La plus faible valeur est attribuée au riz *Tsipala mena* qui, apparemment, n'a pas de goût.

Digestibilité (diges)

Le riz *Manalalondo* seul appartient à une classe à part. Il semble le plus difficile à digérer; d'ailleurs, il est le moins usiné et présente encore de péricarpe.

Cuisson (f.cuire)

Les valeurs sont comprises entre 0,7 et 1,0 et les riz appartiennent tous à une seule classe. Il n'existe pas de différence significative entre les riz. Ils sont donc tous faciles à cuire.

CORRELATIONS ENTRE LES CARACTERISTIQUES DES GRAINS CUIITS

Les figures 24 et 25 présentent les résultats de l'analyse en composantes principales des échantillons et des descripteurs des riz cuits.

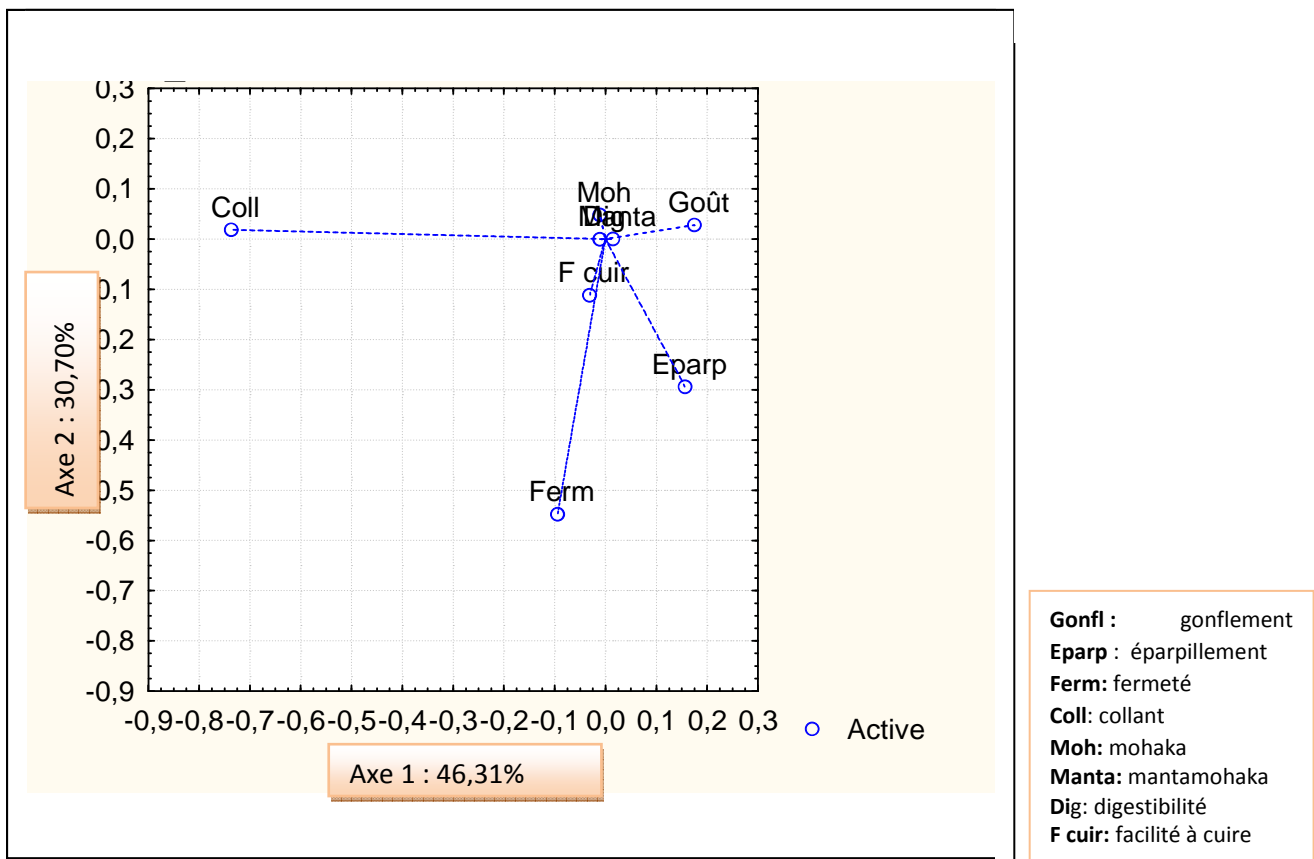


Figure 24 : Représentation graphique des descripteurs des grains cuits dans le plan formé par les axes 1 et 2.

Le résultat est bon car les deux axes retiennent 77% de l'inertie totale.

Le collant et la fermeté sont des discriminants comparativement aux autres descripteurs. En effet, *le collant représente 46% de la variance sur l'axe 1 et la fermeté 31% sur l'axe 2.*

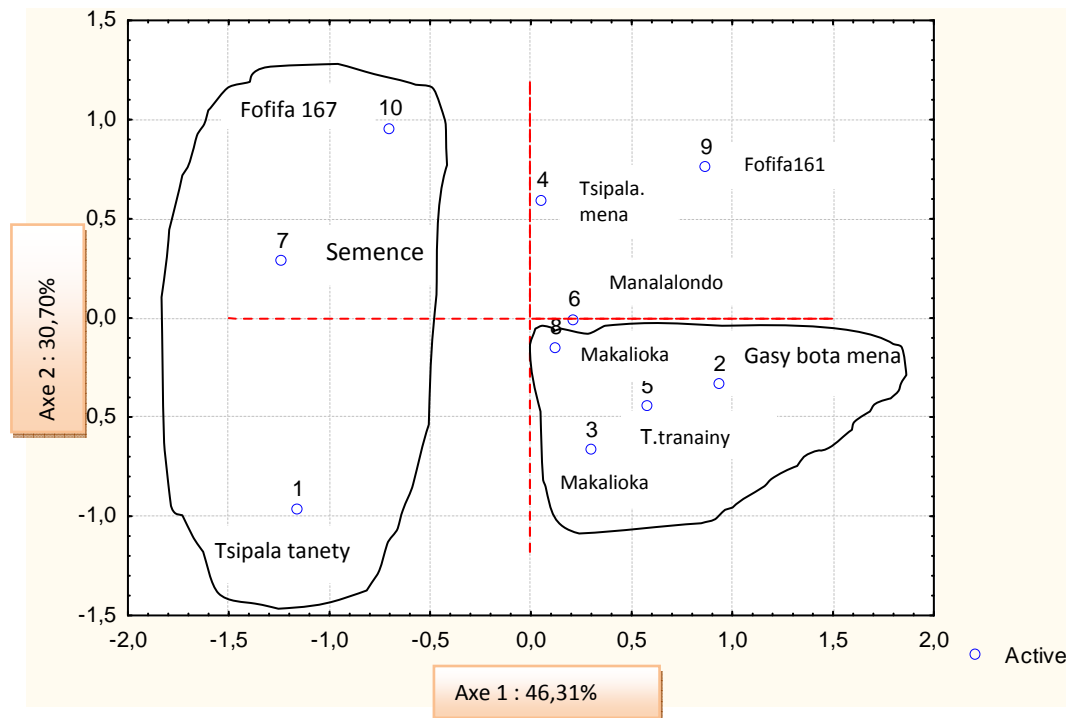


Figure 25 : Représentation des échantillons dans le plan formé par les axes 1 et 2

La figure 25 indique que :

- *Fofifa 167, Semence, Tsipala tanety* forment l'axe 1, ce sont donc les riz les plus collants
- *Makalioka, Tsipala tranainy, Gasy bota mena* sont du côté de l'axe 2 ; ces riz sont fermes et s'éparpillent bien
- *Manalalondo* manifeste un peu le caractère *mantamohaka* et un peu *mohaka*.

1.3.2 MODALITES DE CUISSON DU RIZ

Tableau 27 : Durée de cuisson moyenne et rapport eau/riz moyen utilisés par les ménages

N°ménage	Durée moyenne (min)	Rapport eau/riz (p/p)
1	30	3,2
2	50	2,4
3	32	2,9
4	32	3,3
5	30	1,7
6	35	2,4
7	30	2,4
8	60	1,6
9	29	1,7
10	39	2,2
Moyenne	37	2,4

Le tableau 27 montre que la durée moyenne de cuisson est de 37min. Entre ménages, elle varie de 29 (ménage 9) à 60min (ménage 8); 8 ménages sur 10 ont fait cuire le riz en moins de 40min.

Les raisons évoquées pour la durée de cuisson sont surtout :

- l'économie du combustible
- ne pas aimer le riz trop sec ou trop mou
- l'attente de l'odeur de brulé pour pouvoir faire du *ranon'ampango*.

Les rapports eau/riz utilisés sont compris entre 1,6 (ménage 8) et 3,3 (ménage 4).

Ex : Pour le ménage 8 le rapport eau/riz est le plus faible et le temps de cuisson le plus élevé. Ce qui suppose que ce ménage apprécie le riz très ferme.

Tableau 28: Durée de cuisson moyenne et rapport eau/riz moyen utilisés par les ménages pour chaque type de riz

Riz	durée (min)	eau/riz (p/p)
Tsipala tanety	42	2,3
Gasy Bota mena	42	2,4
Makalioka	37	2,5
Tsipala mena	37	2,3
Tsipala tranainy	37	2,5
Manalalondo	37	2,5
Semence	32	2,3
Makalioka	35	2,2
Fofifa 161	35	2,2
Fofifa 167	34	2,4
Moyenne	37	2,4

La durée de cuisson n'est pas la même pour les différents échantillons selon le tableau 28 :

- la durée la plus courte, 32min, est celle de la *Semence*
- la plus longue en est pour *Tsipala tanety* et *Gasy Bota mena*, 42 min, ce qui pourrait s'expliquer par la présence de péricarpe et/ou l'âge du riz
- les riz fournis par les sélectionneurs *Fofifa 161* et *Fofifa 167* ne demandent pas beaucoup de temps pour être cuits, 34 et 35 min. En effet, ces échantillons sont fraîchement récoltés. *Makalioka*, *Tsipala mena*, *Tsipala tranainy* et *Manalalondo* ont le même temps de cuisson, un peu plus long, 37 min.

Au total, la valeur moyenne pour la durée de cuisson est de 37min pour l'ensemble ; pour le rapport eau/riz, les valeurs sont similaires avec une moyenne de 2,4.

1.3.3 CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES ET INSTRUMENTALE DES GRAINS DE RIZ

1.3.3.1 Caractéristiques physico-chimiques

Les résultats sur les dimensions et la couleur des grains ainsi que ceux des analyses biochimiques sont regroupés dans le tableau 29.

Tableau 29 : Caractéristiques physico-chimiques des échantillons de riz de Madagascar

Echantillons	Long (mm)	Larg (mm)	Long/Larg	TGE (%)	PMG (g)	COULEUR			Amy (%ms)	Prot (%ms)	Cendres (%ms)
						L	a	b			
Tsipala tanety	6,2	2,4	2,6	54,4	19,4	73,6	2,35	14,08	21,5	8,4	0,53
Gasy botamena	4,8	2,8	1,7	84,6	18,3	66,4	5,08	14,39	21	8,2	0,76
Makalioka	6,3	2,1	3	38	17,3	73,5	1,08	14,7	22,1	7,3	0,44
Tsipalomena	6,1	2,4	2,5	78	19,4	64,6	3,3	16,75	17,8	8,9	0,97
Tsipalatrainy	6,3	2,4	2,6	55	19,2	68,5	2,21	17,41	19,7	7,9	0,69
Manalalondo	6,3	2,8	2,2	78,8	25,3	52,7	9,1	15,55	18,6	8,3	1,15
Semence	5,5	2,7	2,1	65,8	18,7	68,5	2,63	17,07	21,1	8,9	0,67
Fofifa 161	5,4	2,8	2	49,7	21,7	72,9	1,09	15,15	17,8	9	0,37
Fofifa 167	5,6	2,5	2,3	47,6	19,5	72,0	1,37	15,79	18,5	8,2	0,36

TGE : Taux de grains entiers ; PMG : poids de mille grains ; Amy : amylose ; Prot : protéines
%ms: % matière sèche

1.3.3.1.1 Caractéristiques physiques des grains de riz

Format des grains : la longueur moyenne des grains de riz varie de 4,8mm à 6,3mm et la largeur moyenne de 2,1mm à 2,8mm.

Selon la classification communautaire européenne pour le riz (tenant compte de la longueur et du rapport longueur /largeur), les échantillons sont classés comme suit :

- *Makalioka* est du type long B : $L > 6\text{mm}$ et $L/l \geq 3$

- *Manalalondo, Tsipala tranainy, Tsipala mena et Tsipala tanety* sont du type long A : $L > 6$ et $2 < L/l < 3$

- *Semence, Fofifa 161, Fofifa 167* sont du type médium : $5,2 < L < 6$ et $L/l < 3$

- *Gasy bota mena* est de type rond : $L < 5,2$ et $L/l < 2$

La préférence actuelle des consommateurs européens tend vers les types longs A et B (Faure et Mazaud , 1995).

Pour les malgaches, leur préférence dépend de la forme de consommation du riz (Touzard, 2003 ; Andriamaniraka et Razafimanantsoa , 2005).

Taux de grains entiers : *varie de 38% (Makalioka) à 84,6% (Gasy bota mena).* Le format des grains influence la qualité des grains crus : les grains les plus longs et fins résistent moins à l'usinage et présentent un fort taux de brisures (cas de *Makalioka*) tandis que les grains les plus gros sont plus résistants et présentent le taux de grains entiers le plus élevé (cas du *Gasy bota mena*).

La présence de fort taux de brisures pourrait s'expliquer également par l'utilisation par les transformateurs malgaches de machines artisanales peu performantes pour l'usinage du riz, et/ou des conditions de séchage inappropriées.

Poids de 1000 grains : *varie de 17,3g à 25,3g.* Le *Manalalondo* présente la valeur la plus élevée (25,3g) et le *Makalioka* la plus faible (17,3g).

Couleur : La valeur de luminance (ou clarté, L) des échantillons varie de 52,7 à 73,6. On peut noter des intensités de rouge (a) comprises entre 3 et 9, pour des grains à péricarpe coloré et/ou des grains dont l'usinage a été moins poussé.

1.3.3.1.2 Caractéristiques biochimiques

Teneur en amylose : *elle présente une amplitude de variation peu importante, soit entre 17,8% (Tsipala mena) et 22,1% (Makalioka).*

Teneur en protéines : *elle varie de 7,3% à 9 %.* La valeur la plus faible appartient au riz *Makalioka* et la plus élevée au *Fofifa 161*.

Teneur en cendres : *elle varie de 0,36-0,37 % (Fofifa 167 et 161) à 1,15 % (Manalalondo).*

1.3.3.2 Comportement du riz à la cuisson

Le tableau 30 regroupe le temps de cuisson et les fermetés des riz selon les 2 méthodes d'évaluation.

Tableau 30: Temps de cuisson et fermetés des riz cuits

Echantillon	Temps de cuisson (min)	Fermeté Instron (kg/cm²)	Fermeté « manuelle » (kg/cm²)
Tsipala tanety	26	0,81	0,4
Gasy bota mena	25	0,81	0,5
Makalioka	22	0,77	0,5
Tsipala mena	25	1,22	0,5
Tsipala tranainy	25	0,61	0,4
Manalalondo	27	1,06	0,6
Semence	23	-	-
Makalioka	22	0,77	0,5
Fofifa 161	25	0,58	0,3
Fofifa 167	25	0,66	0,3

Temps de cuisson du riz

Les temps de cuisson des riz sont compris entre 22 et 27min. C'est le *Makalioka* qui a la durée de cuisson la plus courte (22min) et le *Manalalondo* la plus longue (27min). *Ce temps de cuisson long pourrait s'expliquer par la valeur élevée en poids de grains et aussi par la présence de péricarpe sur cet échantillon.*

Evaluation de la fermeté du riz cuit

Les mesures obtenues avec les deux méthodes ont montré que les valeurs de fermeté élevées sont pour les riz *Tsipala mena* et *Manalalondo* et les faibles valeurs pour *Tsipala tranainy*, *Fofifa 161* et *Fofifa 167*.

1.3.3.3 Corrélations entre les différentes caractéristiques mesurées

1.3.3.3.1 Corrélations entre caractéristiques physiques et biochimiques

➤ Corrélations entre couleur du riz et teneur en cendres

La figure 26 montre qu'il y a une corrélation négative hautement significative ($r = -0,93$) entre la luminance du riz et la teneur en cendres. Ainsi, les variétés de riz ayant des valeurs faibles de clarté ont des teneurs en cendres élevées. Les variétés les moins usinées ont donc une teneur en cendres plus élevée (présence plus importante de péricarpe et de couche à aleurone, riches en cendres) et une teinte plus sombre, voire une coloration rougeâtre, valeur de a élevée, corrélée à la teneur en cendres ($r = 0,85$, figure 27), pour certains échantillons à péricarpe coloré.

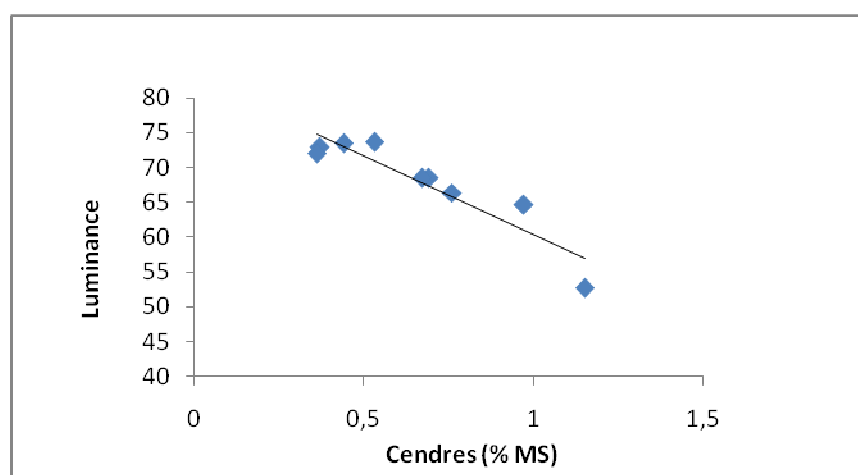


Figure 26 : Relation entre luminance et teneur en cendres

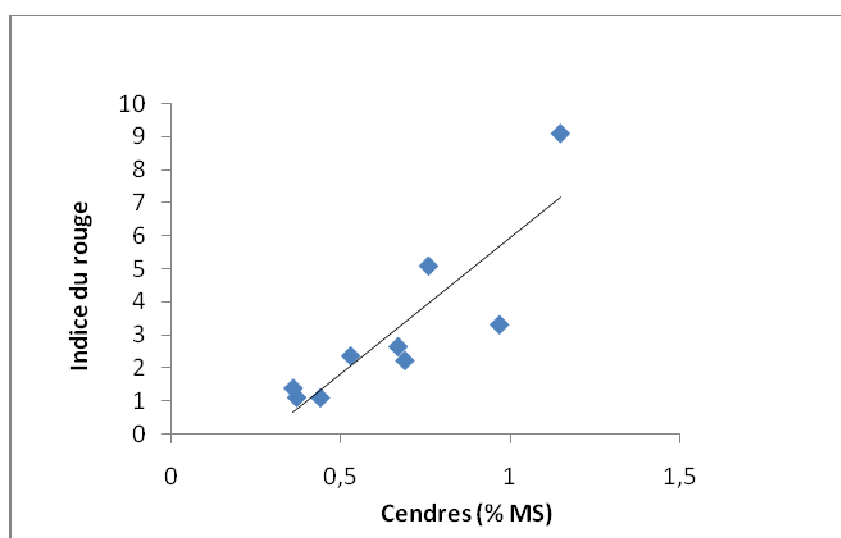


Figure 27 : Relation entre indice du rouge et teneur en cendres

1.3.3.2 Corrélation entre caractéristiques physico-chimiques et temps de cuisson du riz

Tableau 31 : Corrélations entre caractéristiques physico-chimiques et le temps de cuisson

Paramètre physico-chimique	Coefficient de corrélation
Longueur	0,09
Largeur	0,48
Longueur/largeur	-0,29
Taux de grains entiers (TGE)	0,62
Poids de mille grains (PMG)	0,54
Luminance	-0,65
Indice de rouge (a)	0,65
Teneur en amylose	-0,21
Teneur en protéines	0,27
Teneur en cendres	0,65

Sur le tableau 31, on peut voir que le temps de cuisson n'est en corrélation avec aucun des paramètres étudiés. (Pour 9 échantillons, le seuil de significativité à 5% est de 0,66).

1.3.3.3 Corrélation entre les 2 mesures de fermeté testées

La figure 28 montre une corrélation significative ($r = 0,75$) entre les 2 tests d'évaluation de la fermeté ; *la méthode « manuelle » peut être utilisée en routine à Madagascar et donnera une valeur de fermeté fiable pour caractériser la texture des riz malgaches.*

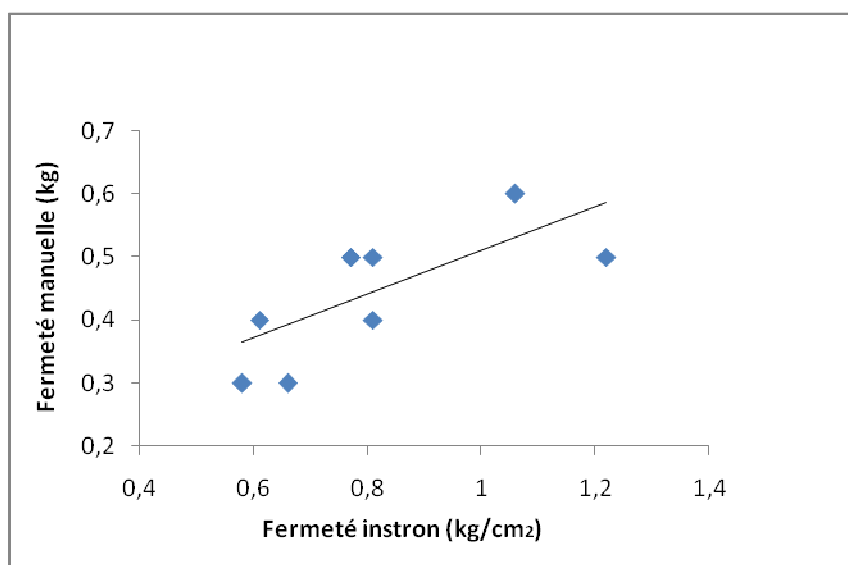


Figure 28: Corrélation entre les 2 mesures de fermeté testées

1.3.3.4 Corrélation entre caractéristiques physico-chimiques et fermeté du riz cuit

Tableau 32 : Corrélations entre les caractéristiques physico-chimiques et la fermeté du riz cuit

Paramètre physico-chimique	Coefficient de corrélation
Longueur	0,29
Largeur	-1,75
Longueur/largeur	0,06
Taux de grains entiers	0,68
Poids de mille grains	0,27
Luminance	-0,66
Indice de rouge	0,60
Teneur en amylose	-0,20
Teneur en protéines	0,26
Teneur en cendres	0,81

Le tableau 32 indique que les caractéristiques physiques : longueur, largeur, longueur/largeur, PMG, la teneur en protéines et la teneur en amylose ne sont pas corrélées à la fermeté du riz cuit.

Toutefois des corrélations significatives existent :

- entre la fermeté et le taux de grains entiers, $r = 0,68$ (figure 29). *La fermeté du grain cuit croît avec le taux de grains entiers*

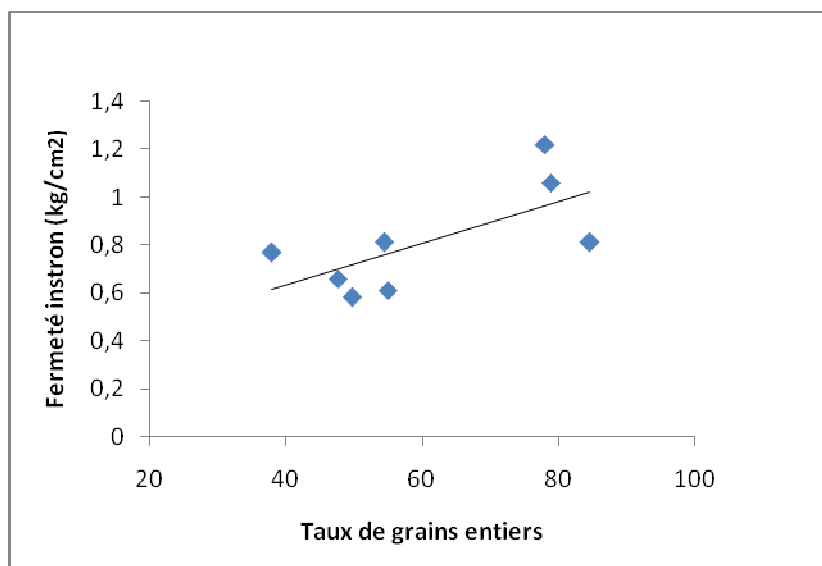


Figure 29 : Relation entre fermeté et taux de grains entiers

- entre la fermeté et la luminance du riz, $r = -0,66$ (figure 30). *La fermeté diminue avec la luminance des grains*

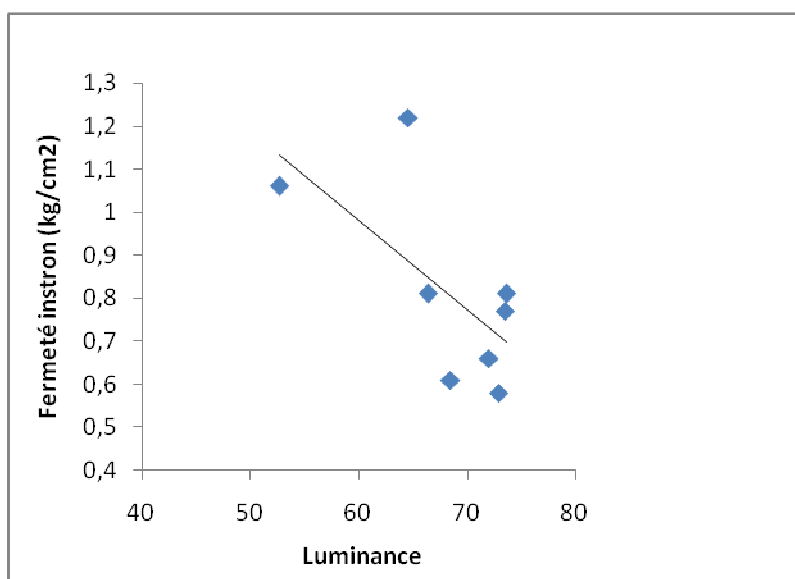


Figure 30: Relation entre fermeté et luminance

- entre la teneur en cendres et la fermeté du riz cuit, $r = 0,81$ (figure 31): *la valeur de fermeté des riz augmente avec la teneur en cendres.*

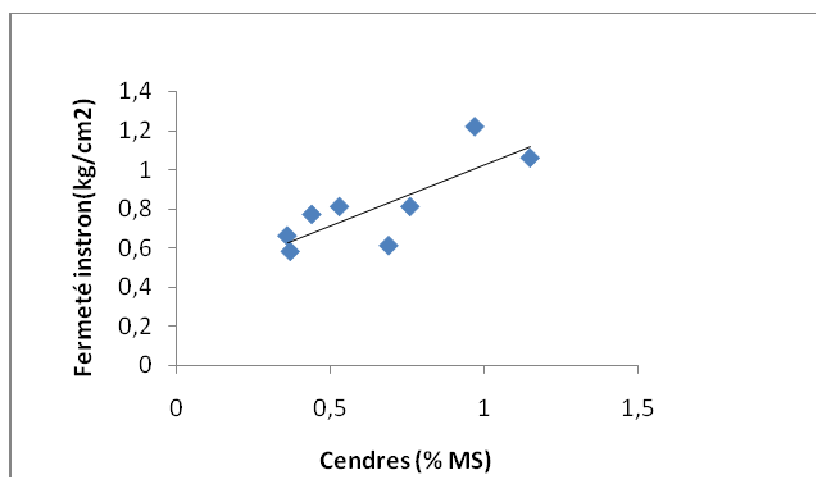


Figure 31: Relation fermeté et teneur en cendres du riz

Ces échantillons riches en cendres et ayant une fermeté élevée sont insuffisamment blanchis. La présence de péricarpe pourrait expliquer leur fermeté plus élevée et masquer l'influence de la teneur en amylose.

1.3.4 CORRELATIONS ENTRE LES DESCRIPTEURS DU RIZ CRU SELON LES MENAGES ET LES CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES

Les corrélations entre les résultats sur l'évaluation de la qualité du riz auprès de 10 ménages malgaches et ceux des propriétés physico-chimiques et texturale des riz ont été étudiées.

➤ Relations entre caractéristiques culinaires et physico-chimiques

Tableau 33 : Relations entre les caractéristiques culinaires et les caractéristiques physico-chimiques

Variable	Long	Long/Larg	a	TGE	Amylose	Protéines	Cendres	F.Instron	F. man
Eparp	0,40	-0,62	-0,13	-0,40	0,68	-0,92	-0,14	-0,24	0,42
Ferm	0,30	-0,22	0,25	0,04	0,64	-0,30	0,12	0,05	0,33
Coll	0,14	-0,15	-0,15	-0,20	0,27	0,12	-0,21	0,00	-0,26
Moh	0,38	0,16	0,62	0,30	-0,40	0,00	0,61	0,52	0,47

D'après les résultats de l'étude des corrélations entre les descripteurs du riz cru et les caractéristiques physico-chimiques, présentés sur le tableau 33 :

- aucune corrélation n'est remarquée entre la longueur des grains, le taux de grains entiers, les valeurs de fermeté mesurée et les descripteurs du riz cru utilisés par les ménages
- il existe une corrélation significative négative ($r = -0,62$) entre le rapport long /larg des grains et l'éparpillement : *les riz qui s'éparpillent sont ceux qui ont un faible rapport long/larg*
- il y a une corrélation significative ($r = 0,62$) entre l'indice de rouge et le mohaka : *les riz qui manifeste le mohaka sont ceux qui ont une couleur voisine du rouge*
- l'éparpillement et la fermeté apparaissent corrélés à la teneur en amylose, $r = 0,68$ et $r = 0,64$: *l'éparpillement et la fermeté augmente avec la teneur en amylose*
- une corrélation hautement significative ($r = -0,92$) existe entre l'éparpillement et la teneur en protéines : *les riz les plus éparpillés sont ceux qui ont une faible teneur en protéines*
- il y a également une corrélation significative ($r = 0,61$) entre la teneur en cendres et le caractère mohaka : *les riz qui font le mohaka sont plutôt ceux qui sont riches en cendres.*

- Relations entre brisures, forme et caractéristiques physiques des grains de riz

Tableau 34 : Relations entre les caractères brisures et forme et les caractéristiques physiques des grains de riz

Variable	Longueur	Largeur	Long/larg	PMG	TGE
bris	0,21	-0,10	0,22	0,17	-0,64
forme	0,93	-0,84	0,94	-0,20	-0,58

Le tableau 34 indique qu'il existe des corrélations hautement significatives entre :

- la forme des grains évaluée par les ménages et les mesures de la longueur ($r = 0,93$, figure 9), de la largeur et du rapport long/larg ($r = 0,94$, figure 10). *La classification de la forme selon les ménages est donc bien en accord avec les mesures objectives du format du grain.*

Une corrélation significative négative ($r = -0,84$) existe entre la largeur et la forme des grains selon les ménages.

- **Relations entre descripteurs du riz cru et indicateurs de la couleur**

Le tableau 35 montre les corrélations entre les descripteurs couleur, brillance, présence de grains verts, transparence et les indicateurs de la couleur.

Tableau 35 : Relations entre descripteurs du riz cru et couleur

Variable	L	a	b
coul	-0,89	0,91	0,01
brill	0,41	-0,40	-0,36
vert	-0,08	-0,28	0,60
trans	0,47	-0,41	-0,48

Une corrélation significative négative ($r = -0,89$) existe entre la luminance mesurée et la couleur selon les ménages: *les riz de couleur ont une valeur de luminance faible.*

Il y a une corrélation hautement significative ($r = 0,91$) entre la couleur des échantillons et l'indice du rouge ; *autrement dit, les ménages sont très sensibles à la couleur rouge.*

Pour la brillance, la présence de grains verts, la transparence, aucune corrélation avec les indicateurs de la couleur n'est observée.

2. ETUDE APPROFONDIE DE LA QUALITE DU RIZ

Cette partie de l'étude comporte :

- une évaluation sensorielle du riz cuit, cette fois-ci par un jury entraîné et non plus par les ménages
- des analyses physico-chimiques et instrumentales des grains de riz.

Après une étude des relations entre les différents paramètres mesurés, les résultats sont comparés à ceux de l'étude préliminaire, et discutés par rapport à la bibliographie.

2.1 MATERIEL VEGETAL

2.1.1 Variétés

L'étude a porté sur 20 échantillons appartenant à 13 variétés de riz, toujours choisies pour être représentatives (du point de vue forme, couleur, nature) de la diversité des riz consommés à Madagascar. Il s'agit de :

- 5 variétés de riz pluvial à savoir, *le 3290, le 3737, le Fa 154, le 3728, le B22 et de*
- 8 variétés de riz irrigué, *le Makalioka (MK34), le 3737, le X265, le Rojomena Lava (Ambohimiadana) , le Rojomena Botry (Mandiavato), le Rojofotsy, le Vary mena (Ambohimiadana) , le Vary botry (Ambohimiadana), le Sebota 41.*

2.1.2 Préparation des échantillons

Tous les échantillons, de la récolte 2007, ont été collectés sous forme de paddy auprès des paysans et des centres semenciers et conditionnés en pièce climatisée à 20°C et 70-75% d'humidité relative de manière à obtenir une humidité optimale des grains égale à 13% environ.

Ils ont été transformés différemment :

- manuellement, à l'aide d'un pilon (8 échantillons) : *3290, MK34, 3737, X265, Rojomena Lava Ambohimiadana, Vary mena Ambohimiadana, Vary botry Ambohimiadana et B22*
- à l'aide d'un décortiqueur qui a permis 2 degrés de blanchiment :
 - o degré 1 (10 échantillons) : *3290, MK34, 3737, X265, Rojomena Lava Ambohimiadana, Fa 154, 3728, Rojofotsy et Sebota 41*
 - o degré 2, plus poussé (2 échantillons) : *Rojomena Lava (Ambohimiadana) et Rojomena Botry (Mandiavato).*

Au total, 20 échantillons de riz ont été constitués et ont servi aux différentes analyses.

Le pilonnage des échantillons a été effectué par une même personne et les riz usinés à la même machine : un décortiqueur artisanal (annexe XI), fabriqué par le rizier lui-même. Le rendement de pilonnage est de 60% (riz blanchi/riz paddy) et celui de l'usinage, de 64 à 72%.

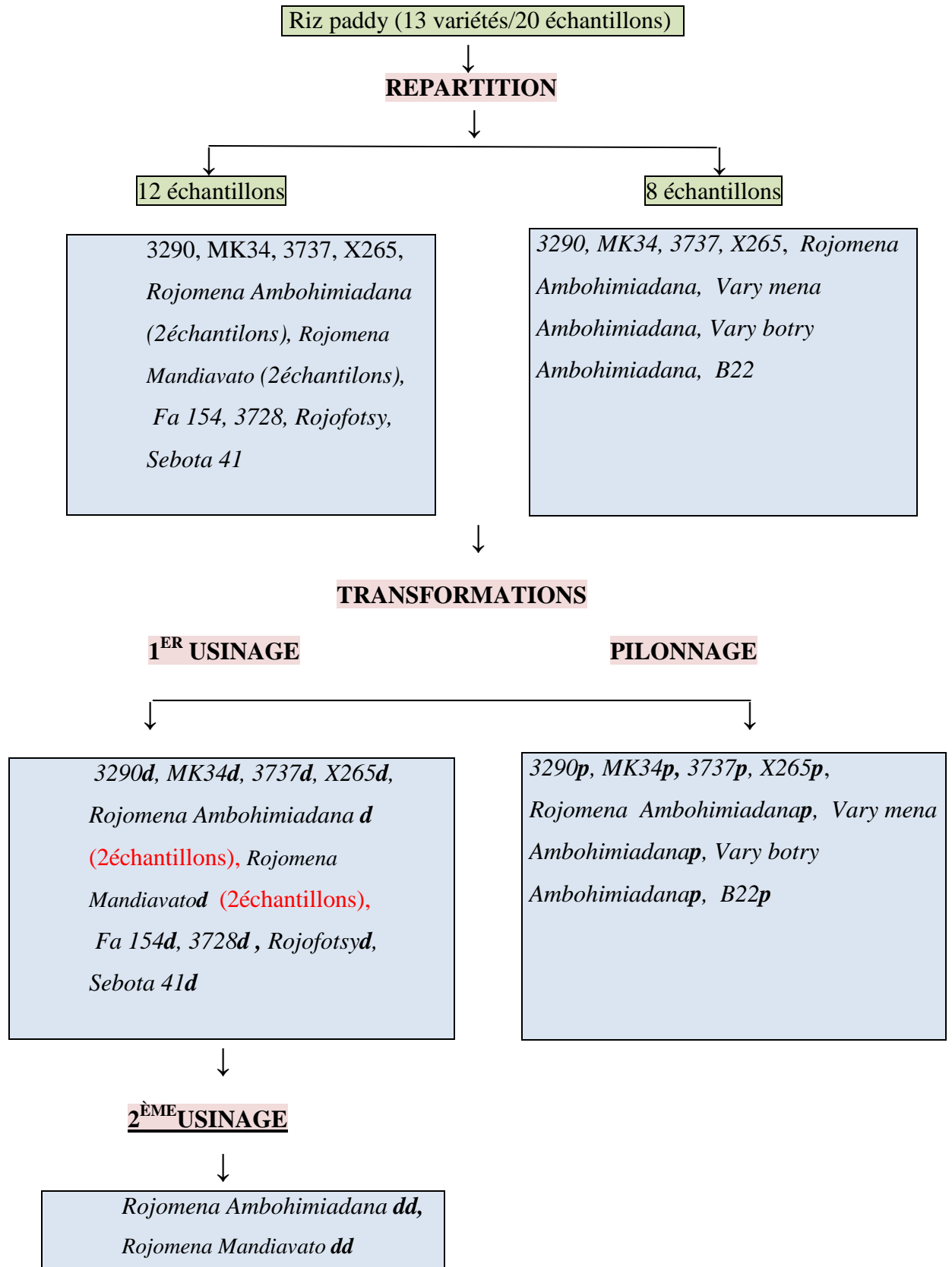


Figure 32 : Transformation des échantillons

2.1.3 Renseignements sur les riz analysés

Les informations sur les variétés de riz étudiées sont résumées dans le tableau 36.

Tableau 36 : Moyens de transformation des différents échantillons

Nom de variétés	Nature	Origine	Moyen de transformation
3290	Pluvial	Moyen Ouest	décortiqueur (d)
3290	Pluvial	Moyen Ouest	pilon (p)
3737	Pluvial	Moyen Ouest	décortiqueur (d)
3737	Pluvial	Moyen Ouest	pilon (p)
Fa 154	Pluvial	Hauts Plateaux	décortiqueur (d)
3728	Pluvial	Hauts Plateaux	décortiqueur (d)
B 22	Pluvial	Moyen Ouest	pilon (p)
MK 34	Irrigué	Ambatondrazaka	décortiqueur (d)
MK 34	Irrigué	Ambatondrazaka	pilon (p)
X265	Irrigué	Moyen Ouest	décortiqueur (d)
X265	Irrigué	Moyen Ouest	pilon (p)
Rojomena Ambohimiadana	Irrigué	Hauts Plateaux	décortiqueur (d)
Rojomena Ambohimiadana	Irrigué	Hauts Plateaux	pilon (p)
Rojomena Ambohimiadana	Irrigué	Hauts Plateaux	décortiqueur, 2 ^{em} usinage (dd)
Rojomena Mandiavato	Irrigué	Moyen Ouest	décortiqueur
Rojomena Mandiavato	Irrigué	Moyen Ouest	décortiqueur, 2 ^{eme} usinage (dd)
Rojofotsy	Irrigué	Moyen Ouest	décortiqueur (d)
Vary mena, Ambohimiadana	Irrigué	Hauts Plateaux	pilon (p)
Vary Botry, Ambohimiadana	Irrigué	Hauts Plateaux	pilon (p)
Sebota 41	Irrigué	Moyen Ouest	décortiqueur (d)

Dans la suite de l'étude, les noms des riz décortiqués seront suivis de la lettre **d**, les riz usinés à un degré de blanchiment plus poussé des lettres **dd** et les riz pilonnés de la lettre **p**.

2.2 METHODE D'ANALYSE SENSORIELLE DU RIZ

2.2.1 Cuisson du riz

a. Protocole de cuisson

Le protocole de cuisson du riz utilisé par les ménages de la CUA a été adopté : 1kg de riz trié est lavé pour enlever les restes de balle et la poussière, puis mis dans une cocotte et recouvert d'eau froide. Une cuisinière électrique est utilisée : lorsque le riz aura absorbé toute l'eau, le feu est éteint mais la marmite gardée au chaud n'est retirée du foyer que lorsque le temps de cuisson de 30min est écoulé.

Après 15min, temps nécessaire pour avoir la température de consommation, le riz peut être servi.

b. Essais de cuisson

Pour s'entraîner à reconnaître visuellement la texture du riz obtenue avec un rapport eau/riz 2,4 (p/p), un temps de cuisson de 37min (moyenne des 10 ménages ayant participé à l'évaluation des 9 variétés de riz dans l'étude préliminaire), des essais de cuisson sur charbon ont été effectués. Ensuite, afin de déduire le rapport eau/riz relatif à la texture du riz cuit au charbon, une cinétique de cuisson sur réchaud électrique a été effectuée en faisant varier le rapport eau/riz. Après plusieurs essais de cuisson et évaluations de texture, le rapport eau/riz estimé convenable pour la cuisson sur réchaud électrique retenu est de 1,8, et le temps de cuisson de 30min.

2.2.2 Analyse sensorielle du riz

Elle est basée sur la recherche et la quantification des descripteurs de la qualité du riz et comporte 3 étapes essentielles :

- la mise en place du panel
- l'entraînement sur la liste avec notation de l'intensité pour chaque descripteur
- l'évaluation des riz

2.2.2.1 Mise en place du panel

Vingt (20) personnes de catégories sociales différentes ont été recrutées pour constituer le jury de dégustation : femme de ménage(1), chauffeur(1), techniciens(7), étudiants(6), chercheurs(3) et enseignants(2).

Dix séances ont été nécessaires pour former le jury :

1^{ère} et 2^{ème} séance : Génération du vocabulaire

Pour chaque variété de riz présentée, chaque sujet dresse sa propre liste de descripteurs de texture avec des termes qui lui sont propres. Il définit les extrémités d'une échelle graduée de 0 à 9 pour chaque descripteur, par exemple pour le descripteur fermé « 0 = non ferme » et « 9 = très ferme ». Il note l'intensité de ses propres descripteurs sur l'échelle.

3^{ème} séance : Discussion

Une séance de discussion a été organisée pour recueillir tous les descripteurs et aussi pour valider la définition et le protocole de chaque descripteur.

Parmi les nombreux descripteurs recueillis, 7 d'entre eux, les plus cités et qui englobent tous, ont été choisis pour décrire la texture des riz malgaches. Leurs significations respectives sont données sur le tableau 37.

Tableau 37: Descripteurs sélectionnés pour décrire la texture du riz

Appréciation	Ordre d'évaluation	Descripteur sélectionné	Explication	Méthode
Visuelle	1	Eparpillement des grains : - <i>mitambatra</i> - <i>mitsiratsiraka</i>	Absence d'agglomérat de grains 0 : les grains forment une masse compacte 9 : les grains sont individualisés	Evaluer la manière dont les grains se séparent les uns des autres
Visuelle	2	Fermeté visuelle : - <i>mohaka</i> - <i>henjana</i>	Appréciation visuelle de la fermeté des grains 0 : pas ferme, mou 9 : très ferme, dur	Evaluer au premier coup d'œil la fermeté des grains
Visuelle	3	Grain déformé - <i>tsy simba</i> - <i>tsy mahitsy, mipasaka</i>	Déformation des grains (courbures, ouvertures) 0 : tous les grains sont intacts 9 : tous les grains sont déformés	Evaluer l'intensité et le type de déformation
Pendant la mastication	4	Collant pendant la mastication : - <i>tsy madity</i> - <i>madity</i>	Adhésion des grains sur les dents ou sur le palais 0 : aucun collant 9 : fort collant	Evaluer l'intensité de l'adhésion des grains dans la bouche
Pendant la mastication	5	Fermeté pendant la mastication - <i>mora tsakoïna</i> - <i>mafy tsakoïna</i>	Résistance à une légère compression entre les dents 0 : mastication facile 9 : mastication difficile	Evaluer la fermeté en exerçant une légère compression entre les dents
Pendant la mastication	6	Nombre de mastications - <i>isan'ny tsako</i>	Importance relative du nombre de mastications nécessaires avant de pouvoir avaler 0 : peu de mastications 9 : beaucoup de mastications	Chaque dégustateur a sa propre échelle en nombre de mastications établie au cours de l'entraînement
Pendant et à la fin de la mastication	7	Résidu de mastication - <i>tsy mafaïka</i> - <i>mafaïka</i>	Importance relative du résidu (reste de tégument) 0 : pas de résidu 9 : beaucoup de résidus	Evaluer la quantité de résidus dans la bouche à la fin de la mastication

2.2.2.2. Entraînement sur la liste avec notation de l'intensité pour chaque descripteur

A partir de la 4^{ème} séance : entraînement

A l'aide de la fiche d'évaluation (annexe VII) les sujets sont entraînés à décrire et à mesurer l'intensité de la sensation perçue pour chaque descripteur. Sept séances d'entraînement ont été nécessaires à la formation des membres du jury.

2.2.2.3 Evaluation des riz

Dix séances de test ont été réalisées à raison de 4 échantillons de riz par séance. Ceci a permis de déguster les 20 échantillons de riz avec deux répétitions.

Les échantillons cuits sous forme de « *vary maina* », codés et présentés de façon homogène (température, quantité, récipient), ont été servis aux dégustateurs.

Les séances de travail ont été organisées en milieu de matinée pour obtenir la meilleure sensibilité des dégustateurs et ils se rincent la bouche avec de l'eau en début de chaque séance et après chaque absorption de riz, pour éviter l'effet de report.

2.3 METHODES D'ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES ET INSTRUMENTALES

Les méthodes décrites dans le paragraphe 1.2.2 ont été utilisées pour les analyses physico-chimiques et instrumentales des 20 échantillons. D'autres méthodes ont été mises en œuvre pour déterminer l'épaisseur, la teneur en lipides, la teneur en amylose, le gonflement, la température de gélatinisation et le collant.

2.3.1 Détermination de l'épaisseur

Les grains sont préalablement triés à la main pour ne garder que les grains blanchis entiers. L'épaisseur moyenne de 20 grains a été mesurée approximativement à l'aide d'un pied à coulisse.

2.3.2 Détermination de la teneur en lipides

La teneur globale en lipides a été déterminée, après extraction au Soxhlet utilisant l'hexane comme solvant et pesée, selon la norme AFNOR NFV03-713, 1984 (AFNOR, 1991).

2.3.3 Détermination du gonflement

Deux modes de cuisson différents ont été testés :

- eau de départ froide
- eau de départ bouillante

Le gonflement du riz est mesuré par comparaison du poids du grain cuit au poids du grain cru comme suit : une boule à thé contenant 5g de riz, préalablement pesée, est introduite dans une marmite contenant de l'eau. En fin de cuisson, la boule est retirée, égouttée et pesée. Le gonflement est égal au rapport de la masse du riz cuit à la masse du riz cru.

2.3.4 Détermination de la teneur en amylose et de la température de gélatinisation

La teneur en amylose et la température de gélatinisation de l'amidon sont mesurées par analyse enthalpique différentielle à l'aide d'un appareil DSC 7 (Perkin Elmer) : environ 10mg de riz blanchi entier finement broyé sont placés dans une capsule en inox avec 50 mg d'une solution de

L-&-lisophosphatidylcholine LPL à 2% (m/v) avant sertissage. La teneur en amylose est proportionnelle à l'énergie nécessaire à la formation de complexes entre l'amylose et le monoglycéride (Mestres *et al.*, 1996). La température de gélatinisation est déterminée au cours du chauffage d'un autre échantillon mis en présence de 50 mg d'eau (Mestres *et al.*, 2000).

2.3.5 Mesure du collant du riz

La mesure du collant a été effectuée à l'aide du texturomètre TAXT2 une heure après la fin de cuisson du riz, après la mesure de la fermeté. Le principe est de mesurer l'énergie nécessaire pour détacher les grains de riz de la plaque de l'appareil.

Huit (8) échantillons de 2 g de riz cuit chacun ont été préparés et conservés dans de petits récipients en verre jusqu'au moment de la mesure.

L'échantillon est déposé sur la plaque d'acier à surface lisse de la base de l'appareil TAXT2, dans l'axe du piston, en l'empilant le plus possible sans le comprimer. Le piston va descendre à une vitesse constante de 0,5mm/s jusqu'à compression des 90% des grains ; la force et l'énergie nécessaires pour détacher les grains de la plaque sont enregistrées.

Les résultats du collant sont représentés par Y max et Aire. Y max indique la force maximale pour retirer les grains et Aire l'énergie nécessaire pour les détacher.

NB : toutes les déterminations sur les analyses physico-chimiques et instrumentales ont été effectuées en double.

2.3.6 Détermination quantitative des acides aminés

La méthode décrite par MOSSE (1990) a été adoptée. Les caractéristiques de variation de composition en acides aminés des grains(es) (céréales et/ou légumineuses) obéissent aux mêmes types de relations linéaires qui sont définies par 3 coefficients (a, b et r) déterminables expérimentalement ; connaissant ces coefficients, la composition précise en acides aminés des graines à partir de leurs taux d'azote peut être calculée.

- Le taux (Ax) en acide aminé en g pour 100g de matière sèche est obtenu par la formule :

$$Ax = (ax.N + bx)/1000$$

- La concentration (Cx) en acide aminé en g pour 100g de protéines brutes par la suivante :

$$Cx = (ax + bx /N) 0.01$$

ax : pente de la droite de régression

bx : ordonnée à l'origine

r : coefficient de corrélation

Le tableau des valeurs (multipliées par 1000) a, b, r permettant le calcul des compositions en acides aminés en fonction du pourcentage N d'azote de la matière sèche de grains de riz est donné en annexe VIII.

2.3.7 Détermination de l'indice chimique et identification de l'acide aminé facteur limitant

L'indice chimique (ou score chimique) est le rapport entre la quantité de chaque acide aminé essentiel contenu dans la protéine considérée et la quantité de chaque acide aminé correspondant de la protéine de référence.

Deux profils de référence selon FAO/OMS/UNU (1986) ont été utilisés : l'un pour les jeunes enfants âgés de moins de 2ans et l'autre pour les autres sujets, adultes compris (annexe IX).

Le calcul de cet indice est comme suit :

$$\text{Indice chimique} = \frac{\text{Taux d'acide aminé dans la protéine étudiée}}{\text{Taux du même acide aminé dans la protéine de référence}} \times 100$$

L'acide aminé correspondant à l'indice chimique le plus faible constitue le facteur limitant.

La valeur de l'indice de l'acide aminé facteur limitant est le score chimique de la protéine.

2.3.8 Traitement statistique des données

Les données sensorielles ont été saisies sur Excel et analysées sur SensomineR : un package pour le traitement de données sensorielles avec R.

Le logiciel SensomineR permet la caractérisation de produits et la mise en relation de données sensorielles et instrumentales.

Les données physico-chimiques et instrumentales ont été saisies sur Excel et analysées sur Statistica 7.0.

2.4 RESULTATS

2.4.1 ANALYSES DES DONNEES SENSORIELLES

Seuls, les résultats des 17 dégustateurs assidus lors de l'évaluation du riz parmi les 20 recrutés ont été pris en compte.

Les données ont été analysées en deux temps :

- en premier lieu, la pertinence du jury a été évaluée, avec élimination de certains juges si nécessaire,
- les résultats du jury vis-à-vis des échantillons ont été étudiés.

2.4.1.1 PERTINENCE DES JUGES

Une analyse de variance et une analyse en composantes principales ont été réalisées pour déterminer la pertinence du jury et de faire une sélection des juges dont les résultats seront pris en compte.

2.4.1.1.1 Caractère discriminant de chaque juge

Le tableau 36 montre les probabilités individuelles de l'effet riz. Il s'agit d'une analyse de variance (Anova) pour_chaque juge : la significativité de la discrimination des échantillons pour chaque juge est évaluée par la probabilité de l'effet nul (égalité des échantillons) sur un test de Fischer (test de l'hypothèse nulle). Plus la probabilité est faible, plus on rejette l'égalité des échantillons, et plus le juge est discriminant.

Tableau 38: Probabilités d'égalité des échantillons pour chaque juge

I

Juges	Déformés	Collant_mast	Residu_mast	Eparpillement	Ferm_mast	Nbre_mast	Ferm_visu	median
D1	0.05771	0.02095	5.613e-05	0.007637	0.004427	0.0002537	0.141	0.007637
D3	0.2056	0.02397	0.02567	0.005457	0.2961	0.1481	0.001928	0.02567
D12	0.03392	0.04242	0.02198	0.01693	0.02847	0.3462	0.01455	0.02847
D10	0.01226	0.02665	0.05815	0.008451	0.06993	0.1854	0.03648	0.03648
D17	0.1951	0.006315	0.1371	0.01217	0.03094	0.06206	0.04503	0.04503
D2	0.003197	0.06086	0.09344	0.09039	0.1087	0.7924	0.03266	0.09039
D15	0.0001653	0.1424	0.000341	0.1604	0.6117	0.1583	0.01183	0.1424
D11	0.4855	0.1974	0.1466	0.07833	0.0494	0.01153	0.3066	0.1466
D16	0.2803	0.6789	0.08811	0.1967	0.127	0.07646	0.4197	0.1967
D4	0.3622	0.2004	0.1133	0.7045	0.05904	0.0004889	0.3457	0.2004
D13	0.414	0.0007906	0.4588	0.01151	0.06465	0.2264	0.3182	0.2264
D6	0.07483	0.2543	0.2186	0.3704	0.4817	0.2478	0.03898	0.2478
D7	0.1351	0.2535	0.009248	0.3765	0.7325	0.01586	0.2495	0.2495
D14	0.06432	0.01428	2.389e-05	0.4529	0.685	0.3288	0.8951	0.3288
D5	0.008408	0.07494	0.02417	0.4901	0.7299	0.8555	0.3412	0.3412
D9	0.1898	0.5351	0.387	0.003279	0.2255	0.8664	0.4426	0.387
D8	0.02849	0.8721	0.09164	0.9767	0.9191	0.3831	0.492	0.492
median	0.07483	0.07494	0.08811	0.09039	0.127	0.1854	0.2495	0.1967

D1 à D17 : juges ; Déformés : grain déformé ; Collant_mast : collant pendant la mastication ; Residu_mast : résidu de mastication ; Ferm_mast : fermeté pendant la mastication ; Nbre_mast : Nombre de mastication ; Ferm_visu : fermeté visuelle.

Sur le tableau 38, les cases non colorées indiquent qu'un juge n'est pas pertinent pour la discrimination des riz, les cases roses pour les juges pertinents (probabilité de l'égalité des échantillons inférieure à 5%) et les cases rouges pour ceux qui sont très pertinents (probabilité inférieure à 1%).

Les juges sont classés des plus discriminants vers les moins discriminants. Le D8 et le D9 ne distinguent un effet échantillon (probabilité inférieure à 5 %) que pour un seul attribut (grain déformé pour D8 et éparpillement pour D9).

2.4.1.1.2 Agrément entre les juges

Le tableau 39 montre les corrélations entre les notes données par chaque juge et la note moyenne du jury. Elles évaluent l'agrément du jugement d'un juge par rapport à la moyenne du jury.

Les cases colorées en bleu indiquent l'existence d'une forte corrélation.

Tableau 39 : Corrélations entre les notes des dégustateurs et la note moyenne du jury

	Nbre_mast	Ferm_mast	Déformés	Collant_mast	Residu_mast	Ferm_visu	Eparpillement	median
D8	0.3702	0.2988	0.5272	0.3877	0.6726	0.1911	0.5687	0.3877
D9	0.4337	0.6542	-0.1142	0.652	0.4237	0.6274	0.3925	0.4337
D14	0.4782	0.5067	0.3446	0.7919	0.904	0.5509	0.6444	0.5509
D7	0.7262	0.5989	0.5643	0.6164	0.8281	0.8974	0.8464	0.7262
D13	0.7364	0.5954	0.3251	0.8616	0.5668	0.7311	0.6792	0.6792
D6	0.7989	0.6534	0.5842	0.6657	0.7978	0.6559	0.8497	0.6657
D4	0.6652	0.2408	0.8461	0.3717	0.7906	0.4384	0.4532	0.4532
D15	0.4861	0.4267	0.7062	0.5954	0.9122	0.7801	0.7445	0.7062
D2	0.2105	0.007306	0.3608	0.4745	0.4549	0.6394	0.748	0.4549
D11	0.622	0.5141	0.7691	0.118	0.5491	0.6437	0.8137	0.622
D17	0.8665	0.7368	0.6041	0.6902	0.6538	0.8317	0.6893	0.6902
D12	0.4	0.6554	0.3039	0.5151	0.2078	0.5367	0.5797	0.5151
D10	0.7595	0.5765	0.6882	0.521	0.7178	0.7652	0.8435	0.7178
D3	0.764	0.8072	0.3691	0.6841	0.7817	0.5959	0.7797	0.764
D5	0.3584	0.7356	0.7261	0.7176	0.7411	0.687	0.5627	0.7176
D1	0.831	0.6544	0.7321	0.5722	0.8811	0.7266	0.842	0.7321
D16	0.6853	0.6103	0.4954	0.2885	0.8127	0.6154	0.5966	0.6103
median	0.6652	0.5989	0.5643	0.5954	0.7411	0.6437	0.6893	0.6657

D1 à D17 : juges; Déformés : grain déformé ; Collant_mast : collant pendant la mastication ; Residu_mast : résidu de mastication ; Ferm_mast : fermeté pendant la mastication ; Nbre_mast : Nombre de mastication ; Ferm_visu : fermeté visuelle.

Les juges sont classés du plus corrélés vers les moins corrélés avec la moyenne du jury: les plus corrélés sont en bas. Le juge n°8 (D8) et le juge n°9 (D9) ont en moyenne une corrélation inférieure à 0,5 : ils ne sont pas en accord avec la moyenne du jury.

2.4.1.1.3 Analyse multivariée de la pertinence des juges

Une analyse en composantes principales (ACP) a été réalisée avec les deux tableaux précédents comme données sources.

La figure 33 montre les probabilités individuelles de l'effet riz (variable.p) et les agréments entre les juges (variable.a) sur le plan formé par les axes 1 et 2 de l'ACP. Ce plan regroupe près de 43% de la variabilité.

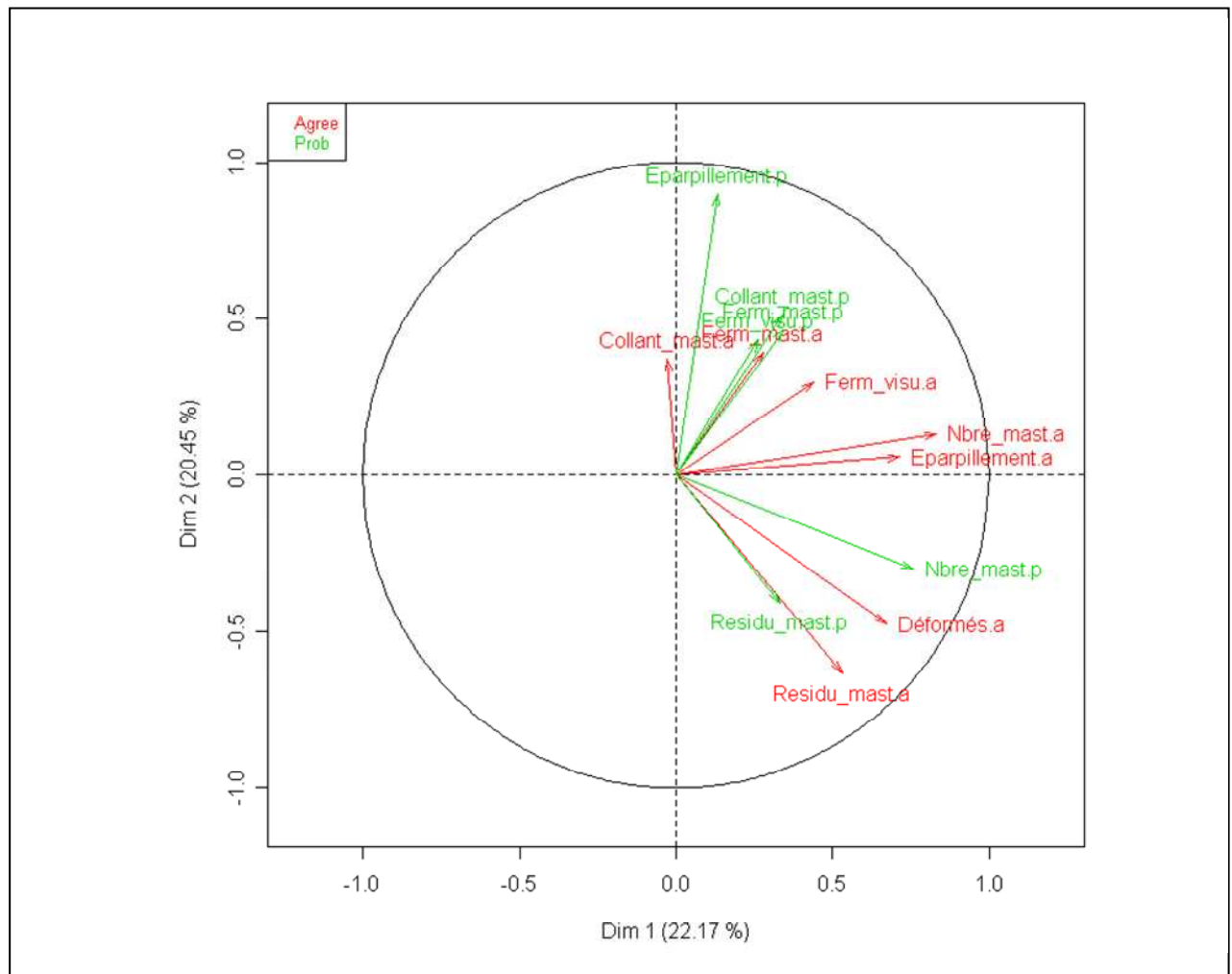


Figure 33 : ACP des probabilités individuelles de l'effet riz et des agréments entre juges

Globalement, l'ensemble des attributs est regroupé sur la droite de l'ACP. Il y a une assez bonne corrélation entre discrimination et agrément, à part pour l'attribut éparpillement. Cet attribut n'a donc pas été bien évalué correctement par l'ensemble des juges.

La figure 34 indique le positionnement des dégustateurs sur l'ACP des probabilités individuelles de l'effet riz et des agréments entre juges sur le plan formé par les axes 1 et 2 de l'ACP.

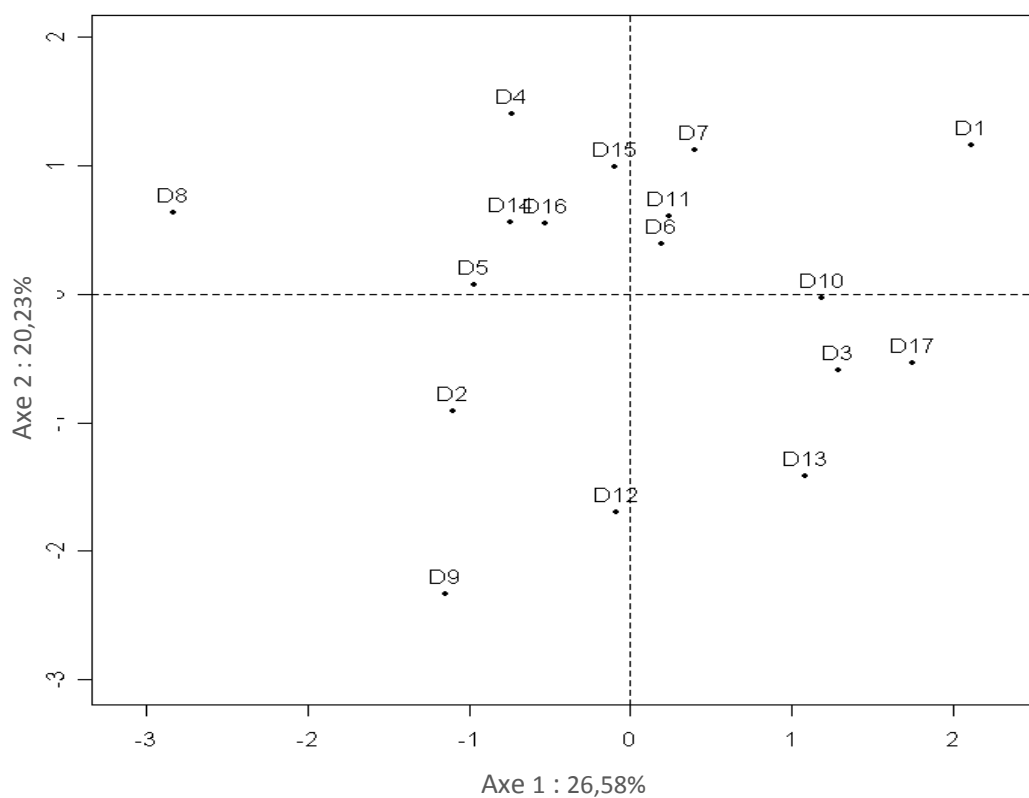


Figure 34: Positionnement des dégustateurs sur l'ACP des probabilités individuelles de l'effet riz et des agréments entre juges

Si les résultats des probabilités d'égalité des échantillons pour chaque juge ont montré que les juges n° 8 et n°9 ne sont pas performants par rapport aux autres, ce graphique montre que le juge n°9 ne s'écarte pas trop de l'ensemble du jury tandis que le juge n°8 est à l'opposé. *Il a fallu éliminer ce dernier et les analyses ont été effectuées avec les 16 dégustateurs restants.*

2.4.1.2. EVALUATION DES RIZ PAR LE JURY

Une analyse de variance a été réalisée en premier lieu pour classer les différents riz concernant leur évaluation sensorielle.

Le tableau 40 montre les moyennes des notes attribuées par les dégustateurs pour chaque descripteur.

Tableau 40 : Intensités moyennes des descripteurs du riz

Riz	Estimation visuelle			Collant pendant la mastication	Fermeté pendant la mastication	Nombre de mastications	Résidu de mastication
	Eparpillement des grains	Fermeté visuelle	Grains déformés				
3290 d	4,8	5,0	4,2	3,8	4,5	5,6	2,7
3290 p	6,1	6,1	3,9	3,3	5,3	5,9	3,5
3737 d	5,1	5,5	4,9	4,3	5,0	6,0	2,9
3737 p	5,4	5,4	4,7	4,9	5,3	6,2	4,2
Fa 154 d	5,8	5,9	4,9	3,2	5,4	6,0	2,8
3728 d	5,5	5,0	5,7	3,5	4,9	5,8	2,6
B22 p	3,5	3,7	7,3	5,1	4,6	6,0	5,7
MK34 d	5,0	4,6	5,3	3,2	3,9	4,9	2,8
MK34 p	7,0	6,3	4,9	3,0	5,4	6,4	4,5
X265 d	4,5	4,2	5,6	3,7	4,6	5,4	2,9
X265 p	5,4	5,0	5,5	3,2	5,2	5,6	3,1
Rojomena L d	3,5	3,7	5,8	5,4	3,2	4,0	3,6
Rojomena L p	4,6	5,0	5,3	4,9	5,3	6,4	5,3
Rojomena L dd	3,2	3,8	5,3	5,2	3,8	4,4	3,2
Rojomena B d	4,7	4,9	4,4	4,9	4,3	4,6	3,1
Rojomena B dd	3,9	3,8	5,2	5,1	3,9	4,6	2,7
Rojofotsy d	5,7	5,4	4,8	3,5	4,5	5,3	3,0
Vary mena p	5,0	5,3	4,8	4,7	5,0	5,9	3,7
Vary botry p	5,6	5,6	4,0	4,1	4,8	5,9	3,2
Sebota 41 d	6,2	5,5	4,8	3,1	4,9	5,7	2,3

Eparpillement des grains : les valeurs moyennes de l'éparpillement varient entre 3,2 et 7.

Les plus éparpillés sont le *MK34 p*, le *Sebota 41 d*, le *3290 p* ; le *Rojomena L dd*, le *Rojomena Ld*, et le *B22 p* en sont les moins.

Fermeté visuelle : visuellement, *Mk 34 p* est le plus ferme des échantillons, suivis par *3290 p* et *Fa 154 d* ; *B22 p*, *RojomenaL d*, *Rojomena L dd* et *Rojomena B dd* sont les moins fermes

Grain déformé : *B22 p* présente le plus de grains déformés et les échantillons de *3290* aussi bien pilonné que décortiqué à l'usine sont les moins déformés.

Collant pendant la mastication : *RojomenaL d*, *RojomenaL dd* et *RojomenaB d* ainsi que *B22 p* sont les plus collants des échantillons. *Mk 34* (pilonné et usiné), *Sebota 41d* et *X265 p* sont les moins collants.

Fermeté pendant la mastication : *Fa 154 d* et *Mk 34 p* sont les plus fermes et *RojomenaL d* le moins ferme.

Nombre de mastications : Les riz *Mk 34 p* et *Rojomena L p* ont les valeurs les plus élevées en nombre de mastications. La valeur la plus faible est pour *RojomenaL d*.

Résidu de mastication : La moyenne des notes la plus élevée pour le résidu de mastication appartient au riz *B22 p* et la plus faible à *Sebota 41 d*.

Tableau 41 : Comparaison de moyennes entre riz pluvial et riz irrigué par test Anova

	Moyenne pluvial	Moyenne irrigué	p
Eparpillement	5,17	4,95	0,54
Fermeté visuelle	5,22	4,86	0,24
Grain déformé	5,08	5,06	0,95
Collant mast	4,01	4,15	0,66
Fermeté mast	5,00	4,53	0,04
Nombre mast	5,92	5,33	0,01
Résidu mast	3,49	3,33	0,61

(Différence significative si $p < 0,05$).

Les résultats du test de comparaison de moyennes montrent que les riz pluviaux ont des intensités sensorielles supérieures à celles des riz irrigués pour la fermeté et le nombre de mastications.

Tableau 42: Comparaison de moyennes entre riz usiné et riz pilonné par test Anova

	Moyenne usiné	Moyenne pilonné	p
Eparpillement	4,59	5,68	0,02
Fermeté visuelle	4,59	5,56	0,01
Grains déformés	5,15	4,88	0,40
Collant mast	4,09	3,85	0,58
Fermeté mast	4,22	5,29	0,00
Nombre mast	5,20	6,11	0,00
Résidu mast	3,00	4,11	0,00

Le tableau 42 montre que les riz pilonnés ont des notes moyennes supérieures à celles des riz décortiqués pour l'éparpillement, les fermetés, le nombre de mastications et le résidu de mastication.

Tableau 43: Comparaison de moyennes entre riz usinés par test Anova

	Moyenne degré 1	Moyenne degré 2	p
Eparpillement	4,10	3,60	0,32
Fermeté visuelle	4,35	3,85	0,33
Grains déformés	5,10	5,22	0,78
Collant mast	5,15	5,17	0,96
Fermeté mast	3,75	3,87	0,74
Nombre mast	4,27	4,52	0,37
Résidu mast	3,35	2,95	0,38

Aucune différence n'est observée sur les descripteurs des riz usinés mécaniquement (tableau 43) avec des intensités différentes. Ceci est sans doute lié au faible nombre d'échantillons pour cette comparaison.

2.4.1.3. REPRESENTATION DES VARIABLES SENSORIELLES

Une analyse en composantes principales a été ensuite réalisée pour visualiser les corrélations entre les variables sensorielles et évaluer les plus discriminantes.

Pour les variables sensorielles, les deux premiers axes de l'analyse constituent plus de 80% d'informations, avec 58,10% pour l'axe 1 et 25,42% pour l'axe 2 (figures 35 et 36).

Les différentes variables vont donc être représentées par rapport à ces axes.

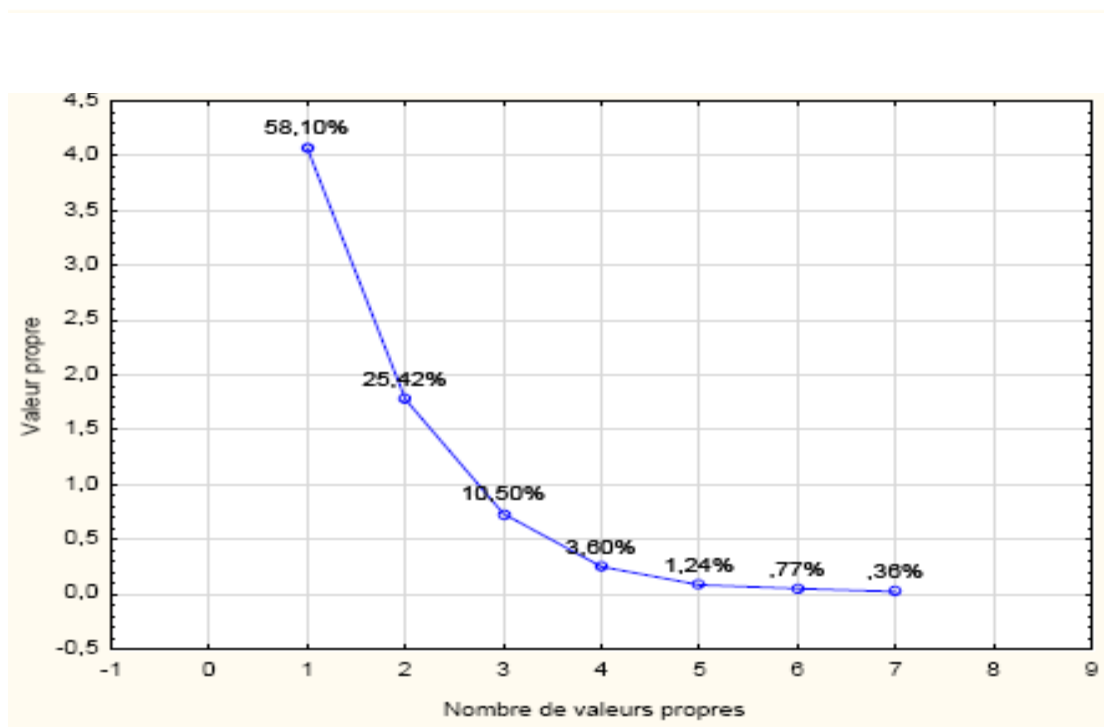


Figure 35 : Représentation graphique des contributions des axes factoriels

Le plan formé par les axes 1 et 2 est représenté en figure 36, il permet d'observer l'ensemble des corrélations significative. Les attributs liés à la fermeté c'est-à-dire la fermeté visuelle, l'éparpillement, la fermeté pendant la mastication et le nombre de mastications sont corrélés entre eux. Il en est de même pour le collant pendant la mastication et le caractère grains déformés.

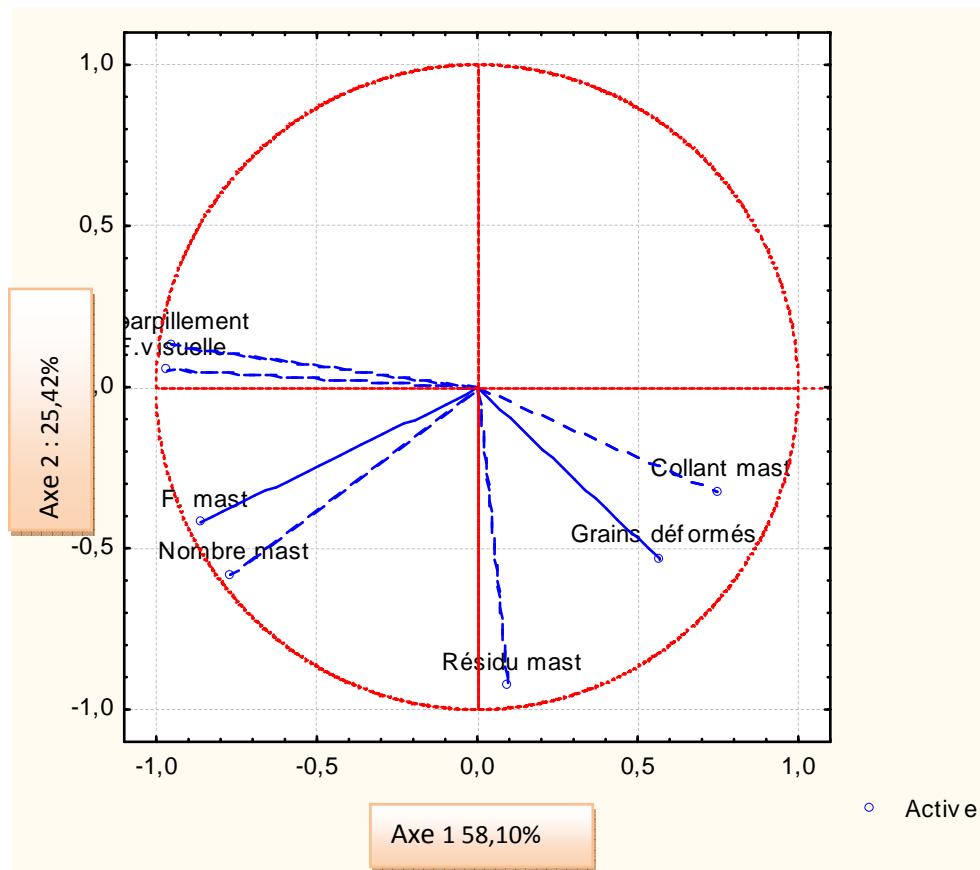


Figure 36: Représentation graphique des variables sensorielles dans le plan formé par les axes 1 et 2.

Les figures 35, 36 et le tableau 44 indiquent que :

- l'axe 1 porte essentiellement une information sur la fermeté des grains. Les attributs suivants contribuent de manière décroissante à la formation de cet axe : fermeté visuelle, éparpillement, fermeté pendant la mastication et nombre de mastications (tableau 44).
- l'axe 2 est essentiellement défini par la variable résidu de mastication (figure 36, tableau 44).
- l'axe 3 porte 10,5 % de la variabilité. Cet axe est essentiellement défini par les variables grains déformés et collant pendant la mastication (figure 35, tableau 44).

Tableau 44 : Contributions des variables basées sur les corrélations

Variable	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4	Axe 5	Axe 6	Axe 7
Eparpillement	0,22	0,01	0,01	0,14	0,22	0,03	0,36
Fermeté visuelle	0,23	0,00	0,04	0,04	0,11	0,00	0,57
Grains déformés	0,08	0,16	0,51	0,00	0,21	0,00	0,04
Collant pendant la mastication	0,14	0,06	0,40	0,06	0,31	0,03	0,01
Fermeté pendant la mastication	0,18	0,10	0,00	0,22	0,01	0,47	0,02
Nombre de mastication	0,15	0,19	0,00	0,15	0,08	0,44	0,00
Résidu de mastication	0,00	0,48	0,04	0,39	0,06	0,03	0,00

2.4.1.4 DISTINCTION DES GROUPES DE RIZ

Une Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) des riz a permis de les classer en 5 groupes (figure 37) selon les variables sensorielles.

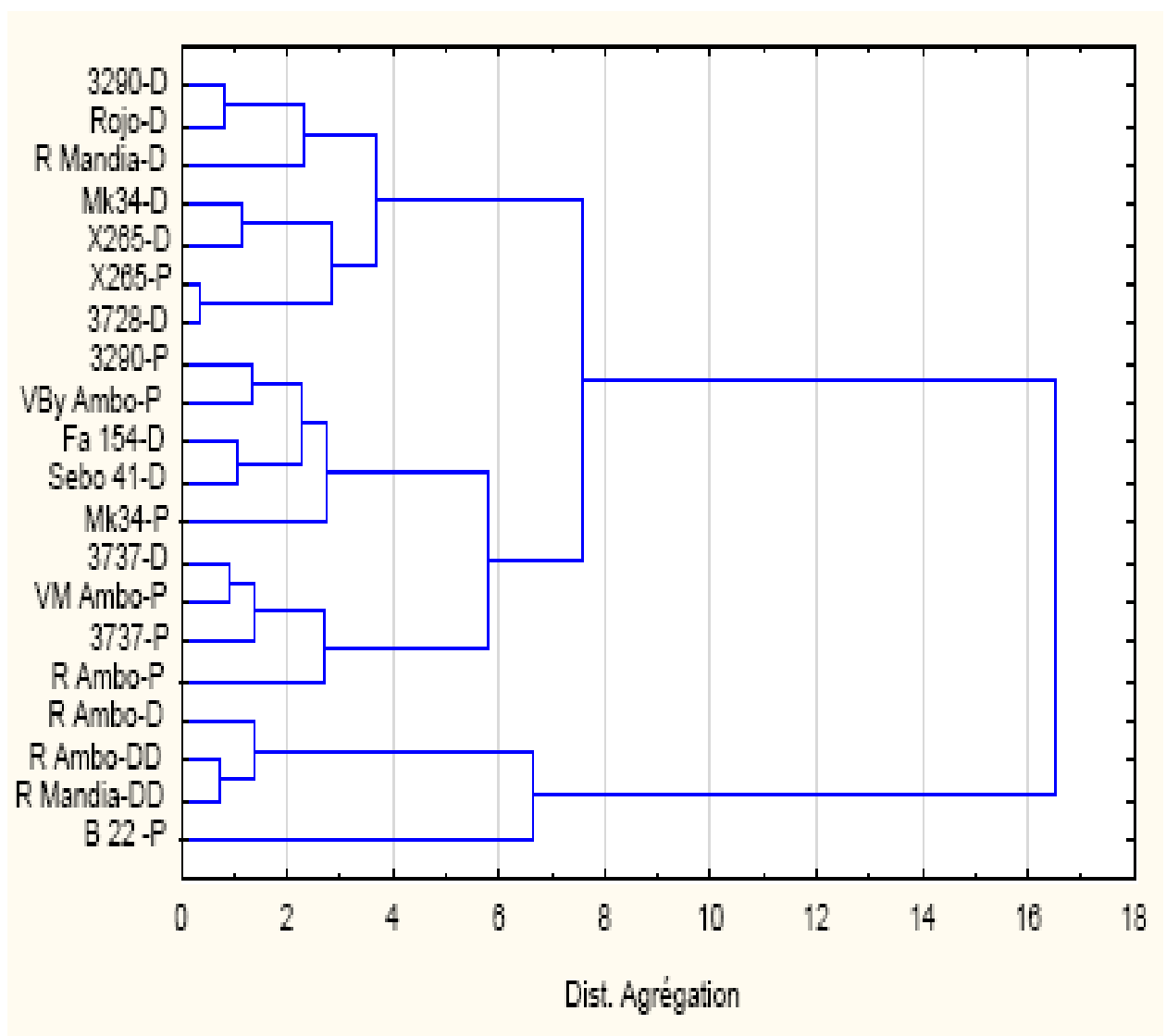


Figure 37 : Classification Ascendante Hiérarchique des riz selon les variables sensorielles

Le groupe 1 est formé essentiellement par des riz décortiqués, pluviaux ou irrigués. Ce sont 3290d, Rojofotsyd, Rojomena Mandiavato d, MK34 d, X265 d, X265 p, 3728 d.

Sur le plan sensoriel, ce groupe occupe une place intermédiaire. Il se distingue par des valeurs moyennes pour tous les descripteurs sauf le résidu de mastication qui est faible.

Le groupe 2 est formé par 3290 p, Vary botry Ambohimiadana p, Fa 154d, Sebota 41 d et MK 34p.

Ce sont les riz qui ont des valeurs fortes pour les descripteurs liés à la fermeté. Les riz de ce groupe ne sont pas collants, ils ont un taux moyen de grains déformés et un faible résidu de mastication.

Le groupe 3 est formé par 3737 d, Vary mena Ambohimiadana p, 3737 p, Rojomena Ambohimiadana p. Ce groupe est caractérisé par des riz à éparpillement et grains déformés moyens, peu collants, assez fermes pendant la mastication, ayant un nombre de mastications assez élevé, et avec beaucoup de résidus de mastication.

La plupart des riz pilonnés, pluviaux ou irrigués, se rangent dans les groupes 2 ou 3.

Le groupe 4 : dans ce groupe se trouvent les riz les plus usinés : les Rojomena Ambohimiadana d, Rojomena Ambohimiadana dd et Rojomena Mandiavato dd. Ce sont tous des riz irrigués.

Ce groupe présente un taux de grains déformés assez important, des valeurs faibles pour les caractéristiques sensorielles suivantes : éparpillement, fermeté visuelle, fermeté pendant la mastication et nombre de mastication. et élevées pour le collant pendant la mastication

Le B22 p. Il constitue un groupe à part, car dans l'ensemble, il présente des valeurs extrêmes qui les différencient des autres riz. C'est un riz qui ne s'éparpille pas, le moins ferme visuellement, parmi les plus collants et à fermeté moyenne pendant la mastication, à nombre de mastications élevé et ayant le plus de résidus de mastication et le plus de grains déformés.

La figure 38 indique la répartition des échantillons dans le plan formé par les axes 1 et 2 des données sensorielles. On retrouve ici les 5 groupes de la classification ascendante hiérarchique.

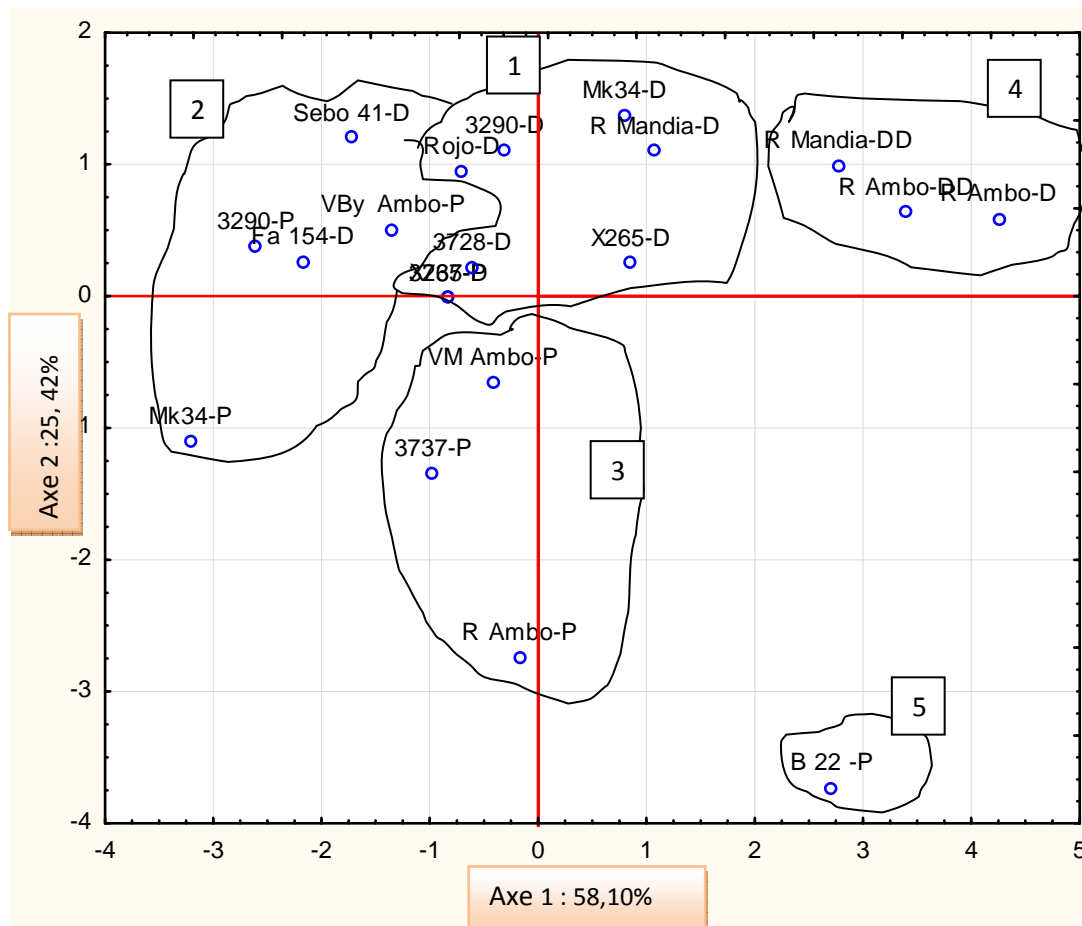


Figure 38 : Représentation des échantillons dans le plan formé par les axes 1 et 2

On peut voir également que *l'axe 1 (axe horizontal) est un axe qui discrimine les riz quant au processus technologique : pilon (en bas) et décortiqueur (en haut). Les deux traitements technologiques se distinguent donc essentiellement par le résidu à la mastication qui définit l'axe 2.*

L'axe 2 (axe vertical) porte une information variétale : les riz pluviaux ont plutôt tendance à être à gauche, c'est-à-dire avec des valeurs fortes pour la fermeté pendant la mastication et de nombres de mastications élevées et d'éparpillement de fermeté visuelle et de grain déformé moyennes.

2.4.2 ANALYSES DES DONNEES PHYSICO-CIMIQUES ET INSTRUMENTALES

2.4.2.1 CARACTERISTIQUES MORPHOLOGIQUES DES RIZ

Les résultats sont présentés dans les tableaux 45 et 46.

Tableau 45 : Caractéristiques morphologiques des riz

<i>Riz</i>	<i>Longueur (mm)</i>	<i>Largeur (mm)</i>	<i>Epaisseur (mm)</i>	<i>Long/Larg</i>	TGE (%)	PMG (g)
3290 d	6,44	2,42	1,91	2,66	50,9	21,6
3290 p	6,62	2,47	1,97	2,67	46,7	22,0
3737 d	6,25	2,45	1,92	2,54	52,4	21,8
3737 p	6,45	2,53	2,04	2,54	71,1	22,6
Fa 154 d	7,08	2,51	1,95	2,82	45,6	24,0
3728 d	6,66	2,73	1,98	2,44	40,1	24,7
B22 p	7,22	2,99	2,02	2,41	18,1	29,0
MK34 d	6,65	2,04	1,74	3,26	32,3	18,2
MK34 p	7,01	2,03	1,75	3,44	25,5	18,5
X265 d	5,67	2,48	1,77	2,28	54,9	18,6
X265 p	5,72	2,50	1,82	2,28	60,1	19,1
Rojomena L d	6,49	2,63	1,79	2,47	35,2	21,7
Rojomena L p	6,58	2,67	1,82	2,46	69,9	22,5
Rojomena L dd	6,23	2,60	1,81	2,40	40,6	21,2
Rojomena B d	4,69	2,93	1,86	1,60	87,5	17,1
RojomenaB dd	4,68	2,92	1,87	1,60	72,2	17,2
Rojofotsy d	6,16	2,68	1,95	2,30	54,1	21,5
Vary mena p	6,31	2,73	1,78	2,31	50,8	20,8
Vary botry p	4,89	2,93	1,98	1,67	85,6	17,3
Sebota 41 d	6,71	2,26	1,70	2,97	41,3	18,0

TGE : Taux de grains entiers ; **PMG** : poids de mille grains.

Du point de vue morphologie, se référant à la norme de l'Union européenne (1988) sur le riz blanchi, tenant compte de la longueur et du rapport longueur /largeur, les échantillons étudiés peuvent être répartis en 4 classes :

Tableau 46: Classification des riz selon la réglementation européenne

Type de grain	Longueur	Longueur /largeur	Echantillons
Type long B	$L > 6\text{mm}$	> 3	MK34
Type long A	$L > 6\text{mm}$	$2 < L/l < 3$	3290, 3737, Rojomena L, Fa 154, 3728, Rojofotsy, Vary mena, B22, Sebota 41
Type moyen	$5.2 < L \leq 6\text{mm}$	$L/l < 3$	X265
Type rond	$L \leq 5.2\text{mm}$	$L/l < 2$	RojomenaB, Vary botry

Il est à remarquer que les riz pluviaux sont tous du type long A.

- **Poids de 1000 grains** : le B22 présente la valeur la plus élevée (29g) et les riz ronds RojomenaB et Vary botry les valeurs les plus faibles (17,1 et 17,3g).
- **Taux de grains entiers** : c'est le B22 qui a le taux de grains entiers le plus bas (18.1%) et le RojomenaB (87.5%) et le Vary botry (85.6%) les plus importants.

Par comparaison, la moyenne des TGE des échantillons achetés au marché (65%) lors de l'étude préliminaire, est supérieure à celle des échantillons préparés au laboratoire (49%). Les échantillons achetés au marché ont en effet été décortiqués au moyen de machine industrielle. Autrement dit, la performance de la machine influence beaucoup la qualité des grains crus.

Tableau 47 : Comparaison de moyennes entre riz pluvial et riz irrigué par test Anova

	Moyenne pluvial	Moyenne irrigué	p
T.G.E	45,84	50,07	0,52
P.M.G	23,65	18,64	0,00
Longueur	6,674	6,13	0,01
Largeur	2,58	2,42	0,12
Epaisseur	1,97	1,79	0,00
Long/larg	2,58	2,60	0,91

Les valeurs moyennes sont plus élevées pour le riz pluvial que pour le riz irrigué pour le PMG, la longueur et l'épaisseur des grains (tableau 47).

Tableau 48: Comparaison de moyennes entre riz usiné et riz pilonné par test Anova

	Moyenne usiné	Moyenne pilonné	p
T.G.E	45,14	54,66	0,16
P.M.G	20,37	20,91	0,50
Longueur	6,30	6,47	0,34
Largeur	2,40	2,44	0,71
Epaisseur	1,82	1,88	0,23
Long/larg	2,64	2,67	0,83

Le tableau 48 montre qu'il n'y a pas de différence significative entre les riz usinés et les riz pilonnés ($p > 0,05$).

En d'autres termes, *le moyen de transformation n'a pas d'effet sur les caractéristiques étudiées.*

Tableau 49: Comparaison de moyennes entre riz usinés par test Anova

	Moyenne degré 1	Moyenne degré 2	p
T.G.E	61,35	56,40	0,78
P.M.G	19,38	19,20	0,92
Long (mm)	5,59	5,45	0,85
Larg (mm)	2,78	2,76	0,87
Epaiss(mm)	1,82	1,84	0,59
Long/Larg	2,03	2,00	0,92

Par ailleurs, *il n'y a aucune différence sur les caractéristiques morphologiques des riz à différents degrés d'usinage* (tableau 49).

2.4.2.2 CARACTERISTIQUES BIOCHIMIQUES DES RIZ

Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau 50.

Tableau 50: Composition biochimique et température de gélatinisation des riz

<i>Riz</i>	<i>MS (%MS)</i>	<i>Lipides (%MS)</i>	<i>Cendres (%MS)</i>	<i>Amylose (%MS)</i>	<i>Protéines (%MS)</i>	<i>Température (°C) de gélatinisation de l'amidon</i>
3290 d	86,67	0,30	0,59	20,60	9,06	66,9
3290 p	86,97	0,94	0,90	20,50	9,60	66,4
3737 d	85,90	0,32	0,40	20,70	8,66	68,4
3737 p	86,41	1,06	0,84	19,70	9,09	68,6
Fa 154 d	86,67	0,27	0,40	21,40	10,56	65,2
3728 d	85,53	0,25	0,49	22,00	9,13	66,4
B22 p	87,72	1,54	1,00	12,30	10,47	74,5
MK34 d	85,49	0,25	0,41	23,60	8,10	68,2
MK34 p	86,32	0,81	0,77	22,60	7,99	67,6
X265 d	85,10	0,35	0,60	24,10	8,36	68,9
X265 p	85,36	0,80	0,85	23,60	8,76	68,7
Rojomena L d	85,17	0,32	0,71	24,40	7,53	67,6
Rojomena L p	86,24	0,68	1,00	24,00	7,82	67,5
Rojomena L dd	85,57	0,17	0,62	24,40	7,68	67,6
Rojomena B d	85,30	0,37	0,52	23,50	8,45	65,9
RojomenaB dd	85,29	0,20	0,50	24,70	8,47	65,3
Rojofotsy d	85,89	0,48	0,59	23,30	9,95	65,9
Vary mena p	86,65	0,99	0,71	23,10	7,95	66,4
Vary botry p	86,32	1,01	0,92	23,00	8,77	65,9
Sebota 41 d	85,65	0,25	0,61	23,10	8,71	67,1

Teneur en lipides : elle est de l'ordre de 0,17 à 1,54% MS, la valeur la plus faible appartient à *Rojomena L dd* et la plus élevée à B22 p.

Ces valeurs corroborent celles mentionnées dans la littérature : 0,6 à 4 % pour le riz cargo, 0,2 à 2,7 %MS pour le riz blanchi (Angladette, 1966) ; 2,48%MS pour le riz rouge, 3,17%MS pour le riz blanc et 1,71 %MS pour le riz pluvial (Ralambofetra,1983).

Teneur en cendres : elle est comprise entre 0,4 et 1% MS, la valeur la plus faible est pour le *Fa 154 d* et la plus élevée pour *Rojomena L p* et *B22 p*.

Les résultats obtenus sont comparables à ceux cités dans la littérature, 0,3 à 1,9%MS pour le riz blanchi (Bayonove, 1981).

Teneur en amylose : elle varie de 12,30 à 24,70% MS.

La teneur la plus élevée est pour *RojomenaB dd* et la plus faible pour le *B22 p*. Pour les autres des échantillons, les valeurs sont comprises entre 20 et 24% MS.

Si on se réfère à la classification des variétés suivant leur teneur en amylose (Juliano, 1991) :

- teneur de 2 à 12,1% très faible
- teneur de 12,1 à 20% faible
- teneur de 20,1 à 25% moyenne
- teneur de 25,1 à 33 % forte.

Les échantillons étudiés, à l'exception du *B22* qui a une teneur faible en amylose appartiennent au groupe de riz à teneur moyenne. Cependant, la valeur rapportée pour les variétés de riz rouge, 27%MS, par d'autres auteurs (Ralambofetra, 1983) est différente des nôtres et classe ces derniers parmi les variétés à forte teneur en amylose.

Teneur en protéines : elle varie de 7,53% (*Rojomena L d*) à 10,56% MS (*Fa 154 d*), valeurs comparables à celles mesurées sur des riz blanchis tempérés (Mestres *et al.*, 2011), et sur des riz cultivés au Ghana (Adu-Kwarteng *et al.*, 2003).

Température de gélatinisation de l'amidon

Il est communément admis que la température de gélatinisation est faible entre 55°C et 69,5 °C, intermédiaire entre 70-74 °C et élevée au-delà de 74°C (Bhattacharya, 1979).

Pour les échantillons étudiés, elle varie de 65,2 à 74,5°C.

A l'exception du *B22* qui est classé dans le groupe de riz à température de gélatinisation élevée, les échantillons étudiés appartiennent au riz à faible température de gélatinisation.

COMPOSITION EN ACIDES AMINÉS DES PROTÉINES

La composition en acides aminés des protéines est donnée en annexe X.

Les teneurs en acides aminés essentiels des protéines et les valeurs des indices chimiques sont présentées dans les tableaux 51, 54 et 55.

Tableau 51 : Teneurs en acides aminés essentiels des échantillons (% total acides aminés)

	Ile	Leu	Lys	Met + Cys	Phe + Tyr	Thr	Val	Total
3290d	4,1	7,9	3,7	4,8	10,0	3,4	5,9	39,7
3290p	4,1	7,9	3,7	4,7	10,1	3,5	5,9	39,8
3737d	4,0	8,8	3,8	4,8	9,9	3,4	5,9	40,6
3737p	4,1	7,9	3,7	4,7	10,0	3,4	5,9	39,7
Fa154d	4,2	8,0	3,7	4,5	10,2	3,5	6,0	40,1
3728d	4,1	7,9	3,7	4,7	10,0	3,4	5,9	39,7
B22p	4,2	8,0	3,7	4,5	10,2	3,5	6,0	40,0
Mk34d	4,0	7,7	3,8	4,9	9,8	3,4	5,8	39,4
Mk34p	4,0	7,7	3,8	4,9	9,8	3,4	5,8	39,4
X265d	4,0	7,8	3,8	4,9	9,9	3,4	5,8	39,5
X265p	4,1	7,8	3,8	4,8	9,9	3,4	5,9	39,6
RAd	3,9	7,7	3,8	5,1	9,7	3,4	5,7	39,2
RAp	4,0	7,7	3,8	5,0	9,8	3,4	5,8	39,4
RAdd	3,9		3,8	5,0	9,7	3,4	5,7	44,9
RMd	4,0	7,8	3,8	4,9	9,9	3,4	5,8	39,5
RMdd	4,0	7,8	3,8	4,9	9,9	3,4	5,8	39,5
RFd	4,2	7,9	3,7	4,6	10,1	3,5	6,0	39,9
VMAp	4,0	7,7	3,8	5,0	9,8	3,4	5,8	39,4
VBAp	4,1	7,8	3,8	4,8	9,9	3,4	5,9	39,6
Sebd	4,0	7,8	3,8	4,8	9,9	3,4	5,9	39,6

Pour tous les riz étudiés, les teneurs en acides aminés indispensables sont supérieures à 32%, ce qui permet, à première vue, de considérer leurs protéines comme de bonne valeur biologique.

Tableau 52: Teneur en acides aminés indispensables des trois types de riz en g/100g de protéines

	Ile	Leu	Lys	Met + Cys	Phe + Tyr	Thr	Val	Total
Riz rouge	3,9	8,0	3,8	4,5	9,4	3,7	6,3	39,6
Riz blanc	3,9	7,9	3,7	5,2	9,3	3,7	6,3	40,0
Riz pluvial	3,9	8,0	3,8	4,6	9,1	3,6	6,3	39,3

(Source : Ralambofetra, 1983)

Ces teneurs sont d'ailleurs comparables à celles rapportées pour d'autres variétés malgaches dans la littérature (tableau 52). Globalement, la teneur en lysine des protéines du riz se situe autour de 4,0 %, soit l'une des plus élevées parmi les protéines céréalières (Juliano, 1973).

Tableau 53: Teneur en acides aminés indispensables du riz cargo et du riz blanchi en g/100g de protéines

	Ile	Leu	Lys	Met + Cys	Phe + Tyr	Thr	Val	Total
Cargo	3,8	7,8	3,4	3,8	9,2	3,3	5,6	37,0
Blanchi	3,9	8,1	3,0	4,0	8,3	3,1	5,8	36,3

(Source : Ralambofetra, 1983)

Elles sont légèrement plus élevées que celles trouvées pour un riz cargo et un riz blanchi européen (tableau 53). Toutefois, pour évaluer la qualité protéique, le calcul des indices chimiques (ou scores chimiques) des acides aminés essentiels est nécessaire.

Tableau 54: Scores chimiques des protéines des échantillons de riz selon le profil de référence des jeunes enfants âgés de moins de 2ans

	His	Ile	Leu	Lys	Met + Cys	Phe + Tyr	Thr	Val
3290d	90,0	88,5	84,4	56,5	113,1	138,8	79,8	106,9
3290p	89,6	89,6	85,1	56,1	110,7	139,9	80,2	108,0
3737d	90,4	87,8	94,6	56,8	114,5	137,9	79,5	106,4
3737p	90,0	88,7	84,5	56,5	112,6	138,9	79,8	107,1
Fa154d	88,9	91,1	85,9	55,5	107,6	141,8	80,7	109,3
3728d	90,0	88,7	84,5	56,5	112,6	138,9	79,8	107,1
B22p	88,9	91,1	85,8	55,5	107,6	141,7	80,7	109,3
Mk34d	90,8	86,5	83,2	57,4	117,4	136,1	79,1	105,1
Mk34p	90,8	86,5	83,2	57,4	117,4	136,1	79,1	105,1
X265d	90,4	87,0	83,6	57,3	116,2	136,9	79,3	105,6
X265p	90,4	88,0	84,1	56,8	114,3	137,9	79,5	106,4
RAd	91,2	85,0	82,5	58,0	120,5	134,6	78,6	103,6
RAp	91,2	85,9	82,9	57,7	118,6	135,6	78,8	104,6
RAdd	91,2	85,4	82,6	57,9	119,8	134,9	78,8	104,0
RMd	90,4	87,4	83,8	57,1	115,5	137,1	79,3	105,8
RMdd	90,4	87,4	83,8	57,1	115,5	137,1	79,3	105,8
RFd	89,2	90,2	85,4	55,9	109,5	140,7	80,5	108,6
VMAp	90,8	86,1	83,1	57,6	118,1	135,8	79,1	104,7
VBAp	90,4	88,0	84,1	56,8	114,3	137,9	79,5	106,4
Sebd	90,4	87,8	84,0	56,8	114,5	137,9	79,5	106,4

Tableau 55: Scores chimiques des protéines des échantillons de riz selon le profil de référence des enfants âgés de 2ans et plus

	His	Ile	Leu	Lys	Met + Cys	Phe + Tyr	Thr	Val
3290d	123,2	145,4	118,9	64,3	190,0	158,6	100,9	168,0
3290p	122,6	147,1	119,9	63,8	186,0	159,8	101,5	169,7
3737d	123,7	144,3	133,3	64,7	192,4	157,6	100,6	167,1
3737p	123,2	145,7	119,1	64,3	189,2	158,7	100,9	168,3
Fa154d	121,6	149,6	121,1	63,1	180,8	162,1	102,1	171,7
3728d	123,2	145,7	119,1	64,3	189,2	158,7	100,9	168,3
B22p	121,6	149,6	120,9	63,1	180,8	161,9	102,1	171,7
Mk34d	124,2	142,1	117,3	65,3	197,2	155,6	100,0	165,1
Mk34p	124,2	142,1	117,3	65,3	197,2	155,6	100,0	165,1
X265d	123,2	145,7	119,1	64,3	189,2	158,7	100,9	168,3
X265p	123,7	144,6	118,5	64,7	192,0	157,6	100,6	167,1
RAAd	124,7	139,6	116,2	66,0	202,4	153,8	99,4	162,9
RAp	124,7	141,1	116,8	65,7	199,2	154,9	99,7	164,3
RAAd	124,7	140,4	116,4	65,9	201,2	154,1	99,7	163,4
RMd	123,7	143,6	118,0	65,0	194,0	156,7	100,3	166,3
RMdd	123,7	143,6	118,0	65,0	194,0	156,7	100,3	166,3
RFd	122,1	148,2	120,3	63,6	184,0	160,8	101,8	170,6
VMAp	124,2	141,4	117,1	65,5	198,4	155,2	100,0	164,6
VBAp	123,7	144,6	118,5	64,7	192,0	157,6	100,6	167,1
Sebd	123,7	144,3	118,3	64,7	192,4	157,6	100,6	167,1

La fonction essentielle d'une protéine alimentaire est de satisfaire les besoins de l'organisme en azote et acides aminés essentiels. Conformément aux données de la littérature (tableau 56), pour les deux profils de référence utilisés, *la lysine se révèle toujours être l'acide aminé le plus limitant dans le riz, avec des scores chimiques proches de 60%* (tableaux 54 et 55).

Pour les nourrissons, la thréonine (avec un score proche de 80%) est le facteur limitant secondaire; ceci est conforme aux résultats de PECORA *et al.*, 1951 et ROSENBERG *et al.*, 1959, comme dans toutes les céréales.

En revanche, les protéines du riz sont bien loties en acides aminés soufrés.

Ainsi, pour l'utilisation du riz dans l'alimentation des nourrissons, une complémentation avec des sources de protéines riches en lysine, est indispensable.

Tableau 56 : Scores chimiques des acides aminés indispensables des trois types de riz

	Ile	Leu	Lys	Met + Cys	Phe + Tyr	Thr	Val
Riz rouge	97	114	69	120	156	93	126
Riz blanc	97	113	67	149	154	92	125
Riz pluvial	96	114	68	132	152	89	125

(Source : Ralambofetra , 1983)

Le tableau 57 montre les différences entre les teneurs en protéines, en lipides, en amylose et en cendres selon la nature du riz

Tableau 57 : Comparaison de moyennes entre riz pluvial et riz irrigué par test Anova

	Moyenne pluvial	Moyenne irrigué	p
Protéines	9,50	8,37	0,00
Lipides	0,66	0,63	0,84
Amylose	19,60	23,30	0,00
Cendres	0,66	0,69	0,66
T.GEL	67,95	67,52	0,61

Les résultats montrent que la teneur moyenne en protéines des riz pluviaux est plus forte par rapport à celle des riz irrigués ($p = 0,00$) et inversement pour la teneur en amylose.

Aucune différence n'est constatée sur la teneur en cendres et la teneur en lipides des riz pluviaux et celle des riz irrigués.

Tableau 58 : Teneurs moyennes en protéines, en lipides, en amylose et en cendres des trois types de riz (en % de matière sèche)

	Riz rouge	Riz blanc	Riz pluvial
Protéines	7,14	7,34	12,46
lipides	2,48	1,70	1,71
amylose	27,11	24,25	23,32
cendres	1,43	1,43	1,39

(Source Ralambofetra, 1983)

La teneur moyenne des protéines des riz pluviaux (9,5%) est faible par rapport à celle mentionnée dans la littérature (12,46%) (Ralambofetra, 1983 ; tableau 58). Par contre les riz irrigués étudiés par cet auteur ont des teneurs en protéines plus faibles (7, 14% pour les riz rouges et 7,34% pour les riz blancs).

Par comparaison avec celles du même auteur, les teneurs moyennes en lipides, en amylose et en cendres des échantillons sont faibles.

Tableau 59: Comparaison de moyennes entre riz usiné et riz pilonné par test Anova

	Moyenne usiné	Moyenne pilonné	p
Protéines	8,34	8,65	0,28
Lipides	0,30	0,85	0,00
Amylose	22,66	22,10	0,49
Cendres	0,54	0,87	0,00
T.GEL	67,87	67,74	0,77

Le tableau 59 indique qu'il existe une différence significative entre les moyennes des teneurs en lipides et en cendres des riz pilonnés et des riz usinés. *Les teneurs en lipides et en cendres des riz pilonnés sont nettement plus élevées que celles des riz usinés.*

Tableau 60: Comparaison de moyennes entre riz usinés par test Anova

	Moyenne degré 1	Moyenne degré 2	P
Protéines	8,74	8,59	0,72
Lipides	0,34	0,18	0,00
Amylose	23,92	24,52	0,14
Cendres	0,03	0,02	0,46
T.GEL	66,72	66,12	0,54

Sur le tableau 60, on peut voir que *le degré d'usinage diminue la teneur en lipides du riz.*

2.4.2.3 COMPORTEMENT A LA CUISSON DU RIZ

Les résultats sur le temps de cuisson, le gonflement et la température de gélatinisation de l'amidon des échantillons sont consignés dans le tableau 61.

Tableau 61 : Comportement à la cuisson

<i>Riz</i>	<i>Temps de cuisson (min) à l'eau froide</i>	<i>Gonflement eau froide</i>	<i>Temps de cuisson(min) à l'eau chaude</i>	<i>Gonflement eau chaude</i>
3290 d	28	3,2	26	3,4
3290 p	28	3,3	27	3,3
3737 d	28	3,5	29	3,6
3737 p	26	3,1	26	3,1
Fa 154 d	26	3,1	26	3,4
3728 d	30	4,1	27	3,1
B22 p	34	3,2	33	3,8
MK34 d	26	3,9	23	3,8
MK34 p	24	3,9	23	3,5
X265 d	24	4,1	26	3,4
X265 p	24	4,1	26	3,5
Rojomena L d	24	3,3	25	3,3
Rojomena L p	28	3,4	25	3,4
Rojomena L dd	26	3,9	24	3,5
Rojomena B d	24	3,5	26	3,5
RojomenaB dd	24	3,9	22	3,1
Rojofotsy d	26	3,7	25	3,1
Vary mena p	24	2,9	25	3,4
Vary botry p	26	3,2	23	3,1
Sebota 41 d	24	3,4	22	3,4

Temps de cuisson

- La durée de cuisson à eau de départ froide varie de 24 à 34min. La durée la plus courte est de 24min pour les riz irrigués et de 26min pour les riz pluviaux. C'est le *B22* qui demande la durée de cuisson la plus longue (34min).

- Pour l'eau de départ chaude: le temps de cuisson du riz varie de 22 à 34min. *Sebota 41 d* et le *RojomenaB dd* ont la durée de cuisson la plus courte et le *B22 p* la plus longue.

On peut remarquer que les temps de cuisson pour les deux modes de cuisson testés ne sont pas significativement différents.

Gonflement

Les valeurs du gonflement des riz au temps de cuisson ne sont pas identiques pour les deux modes de cuisson. Elles varient entre 2.9 (*Vary mena p*) et 4.1 (*X265 d, X265 p*) pour la cuisson à eau de départ froide et de 3,1 (*3737 p, RojomenaB dd, 3728 d, Rojofotsy d, Vary botry p*) à 3,8 (*B22 p*) pour celle à eau de départ chaude.

Contrairement au temps de cuisson, la différence est significative entre le gonflement du riz cuit à l'eau froide et le gonflement du riz cuit à l'eau chaude.

Le riz cuit à l'eau froide gonfle plus que le riz cuit à l'eau bouillante.

Tableau 62 : Comparaison de moyennes entre riz pluvial et riz irrigué par test Anova

	Moyenne pluvial	Moyenne irrigué	p
Temps cuisson 1	28,57	24,57	0,00
Temps cuisson 2	27,71	24,00	0,00
Gonflement 1	3,35	3,64	0,07
Gonflement 2	3,38	3,44	0,50

- Il existe une différence significative entre le temps de cuisson des riz pluviaux et celui des riz irrigués ($p=0,00$). *Les riz pluviaux sont plus longs à cuire que les riz irrigués.*

- La nature du riz n'a aucune influence sur le gonflement du riz cuit.

Tableau 63: Comparaison de moyennes entre riz usiné et riz pilonné par test Anova

	Moyenne usiné	Moyenne pilonné	p
Temps cuisson 1	26,00	26,00	1,00
Temps cuisson 2	25,80	25,40	0,61
Gonflement 1	3,60	3,56	0,81
Gonflement 2	3,50	3,36	0,08

Aucune différence n'est observée ni sur le temps de cuisson, ni sur le gonflement des riz usinés et des riz pilonnés ($p > 0,05$)

Tableau 64: Comparaison de moyennes entre riz usinés par test Anova

	Moyenne degré 1	Moyenne degré 2	P
Temps cuisson1	24,00	25,00	0,13
Gonfl (eau froide)	3,40	3,90	0,00
Temps cuisson2	25,50	23,00	0,00
Gonfl (eau chaude)	3,40	3,30	0,46

Le degré d'usinage influence le gonflement du riz cuit à l'eau froide et le temps de cuisson à l'eau chaude. *En d'autres termes, le riz ayant subi un usinage plus poussé gonfle plus à l'eau froide et cuit rapidement à l'eau chaude.* Ces résultats corroborent ceux de la littérature où le degré d'usinage est corrélé négativement avec le temps de cuisson (Mohapatra et Bal , 2005)

Fermeté et collant des riz

Les résultats des mesures, indiqués dans le tableau 65, font ressortir :

Tableau 65 : Fermeté et collant des riz

RIZ	Fermeté instron (kg/cm ²)	Fermeté manuelle (kg)	Collant (Ymax (g))	Collant (Aire(g*mm))
3290 d	0,49	1,50	28,1	25,8
3290 p	0,85	2,75	23,7	20,8
3737 d	0,46	1,50	29,1	24,1
3737 p	0,92	2,75	21,0	27,6
Fa 154 d	0,68	1,88	10,6	12,0
3728 d	0,71	1,75	21,3	17,0
B22 p	0,56	1,50	40,5	36,4
MK34 d	0,60	1,75	12,8	10,1
MK34 p	0,90	3,00	8,2	6,7
X265 d	0,60	1,75	6,3	4,2
X265 p	0,87	2,75	5,0	4,2
Rojomena L d	0,56	1,50	20,7	17,0
Rojomena L p	0,79	2,13	17,7	13,7
Rojomena L dd	0,33	1,00	24,8	19,4
Rojomena B d	0,68	2,00	18,7	15,2
RojomenaB dd	0,52	1,63	17,8	13,2
Rojofotsy d	0,74	1,88	13,5	9,3
Vary mena p	0,68	2,00	20,5	16,1
Vary botry p	0,86	2,50	16,7	12,6
Sebota 41 d	0,64	1,75	9,0	7,0

Les valeurs des fermetés à l'Instron du riz varient de 0,33 à 0,92kg/cm². Le riz le plus ferme est le 3737 p suivi du *MK 34 p* et les moins fermes, le *B22 p* et les deux riz les plus usinés (*Rojomena L dd*, *RojomenaB dd*).

Les valeurs de Ymax varient de 5 à 40,5g et celles de l'aire de 4,2 à 36,4 g*mm. *B22 p* est le plus collant des riz et les *X265 en* sont les moins.

Tableau 66 : Comparaison de moyennes entre riz pluvial et riz irrigué par test Anova

	Moyenne pluvial	Moyenne irrigué	p
F.Instron	0,66	0,73	0,31
F.manuelle	1,94	2,21	0,21
Aire	23,38	8,66	0,00
Ymax	25,92	11,16	0,00

Aucune différence n'est observée sur les fermetés mesurées des riz pluviaux et des riz irrigués. Cependant la nature du riz a une influence significative sur le collant du riz: *les riz pluviaux sont plus collants que les riz irrigués*. Ces résultats sont différents de ceux de la bibliographie qui ont montré que les riz pluviaux ont une fermeté nettement supérieure à celles des riz irrigués et ont tendance à ne pas coller entre eux (Ralambofetra, 1983).

Tableau 67: Comparaison de moyennes entre riz usiné et riz pilonné par test Anova

	Moyenne usiné	Moyenne pilonné	p
F.Instron	0,53	0,85	0,00
F.manuelle	1,57	2,67	0,00
Aire	16,19	15,08	0,80
Ymax	19,26	17,44	0,69

Le tableau 67 indique qu'il existe une différence significative entre les moyennes des fermetés mesurées des riz usinés et des riz pilonnés. Les riz pilonnés sont plus fermes que les riz usinés. Il a été rapporté que la présence de son augmente la fermeté du riz cuit (Mohapatra et Bal, 2005). Pour le collant du riz, aucune différence n'est remarquée.

Tableau 68: Comparaison de moyennes entre riz usinés par test Anova

	Moyenne degré 1	Moyenne degré 2	p
F.Instron	0,61	0,42	0,03
F.manuelle	1,62	1,31	0,25
aire	17,01	16,29	0,87
Ymax	20,00	21,27	0,75

Le tableau 68 montre que le degré d'usinage influence la fermeté du riz. Ces résultats corroborent ceux de la littérature qui ont rapporté que l'usinage diminue la fermeté du riz (Mohapatra et Bal, 2005).

Pour le collant, aucune différence n'est remarquée.

2.4.2.4 CORRELATION ENTRE LES DEUX MESURES DE FERMETE

Il existe une corrélation hautement significative ($r = 0,95$) entre les mesures de fermeté à l'instron et à l'appareil manuel (figure 39). L'appareil manuel peut donc être utilisé en routine pour évaluer la fermeté des riz.

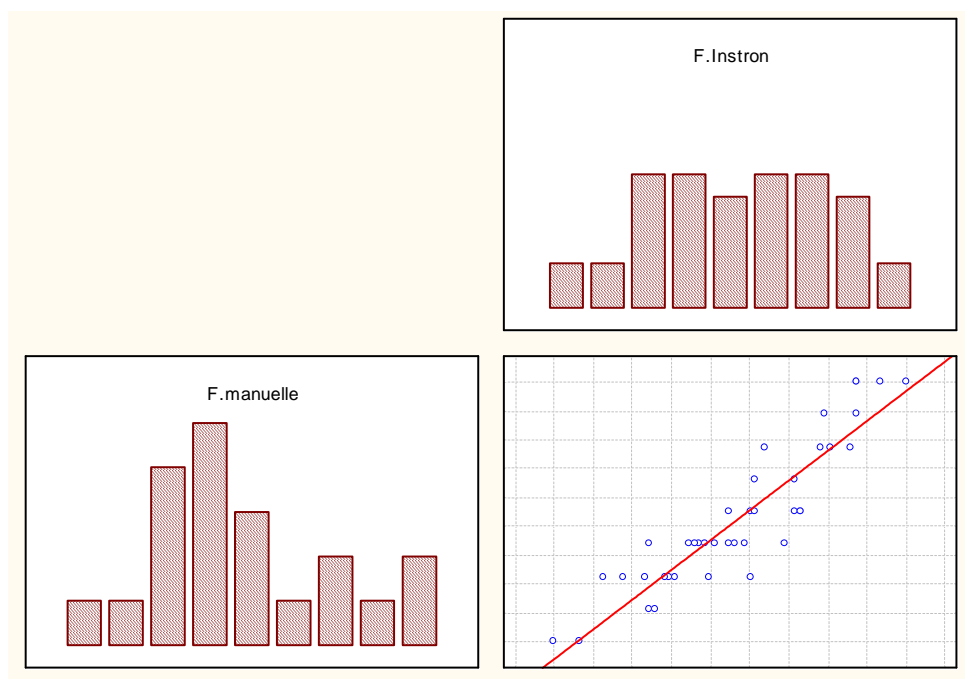


Figure 39 : Corrélation entre fermeté instron et fermeté manuelle

2.4.3 CORRELATIONS ENTRE LES DIFFERENTES CARACTERISTIQUES MESUREES

Le riz B22 p présente des caractéristiques physico-chimiques, technologiques et texturales très différentes des autres riz de l'étude ; avec en particulier un poids de mille grains élevé (29g contre 17,1 à 22,6 g pour les autres variétés), une teneur en amylose faible (12.3% contre 19.7 à 24,7% pour les autres riz), une température de gélatinisation élevée (74,5°C contre 65,2 à 68,9°C pour les autres riz), un taux de grains entier très faible (18.1 % contre 35,2 à 87,5 % pour les autres variétés), un temps de cuisson élevé (34 min, contre 24 à 30 pour les autres variétés), des notes « grains déformés » et résidu à la mastications maximale (7,3 contre 3,9 à 5,8 et 5,7 contre 2,3 à 4,5 pour les autres riz, respectivement). Nous avons donc du l'éliminer pour examiner les relations entre les caractéristiques mesurées pour ne pas biaiser les observations.

Tableau 69 : Corrélations entre les variables physico-chimiques

Variable	TGE	PMG	Longueur (mm)	Largeur (mm)	Epaisseur (mm)	Long/Larg	T.GEL
Amylose	0,04	-0,51	-0,40	0,24	-0,64	-0,32	-0,03
Protéines	0,09	0,38	0,15	0,05	0,67	0,02	-0,44
Lipides	0,31	-0,02	-0,01	0,07	0,27	-0,05	-0,09
Cendres	0,29	-0,02	-0,02	0,12	0,08	-0,09	0,18

TGE : Taux de grains entiers ; PMG : poids de mille grains ; T.GEL : température de gélatinisation

Sur le tableau 69, on peut voir des corrélations essentiellement entre format (PMG, épaisseur) et teneurs en amylose et protéines.

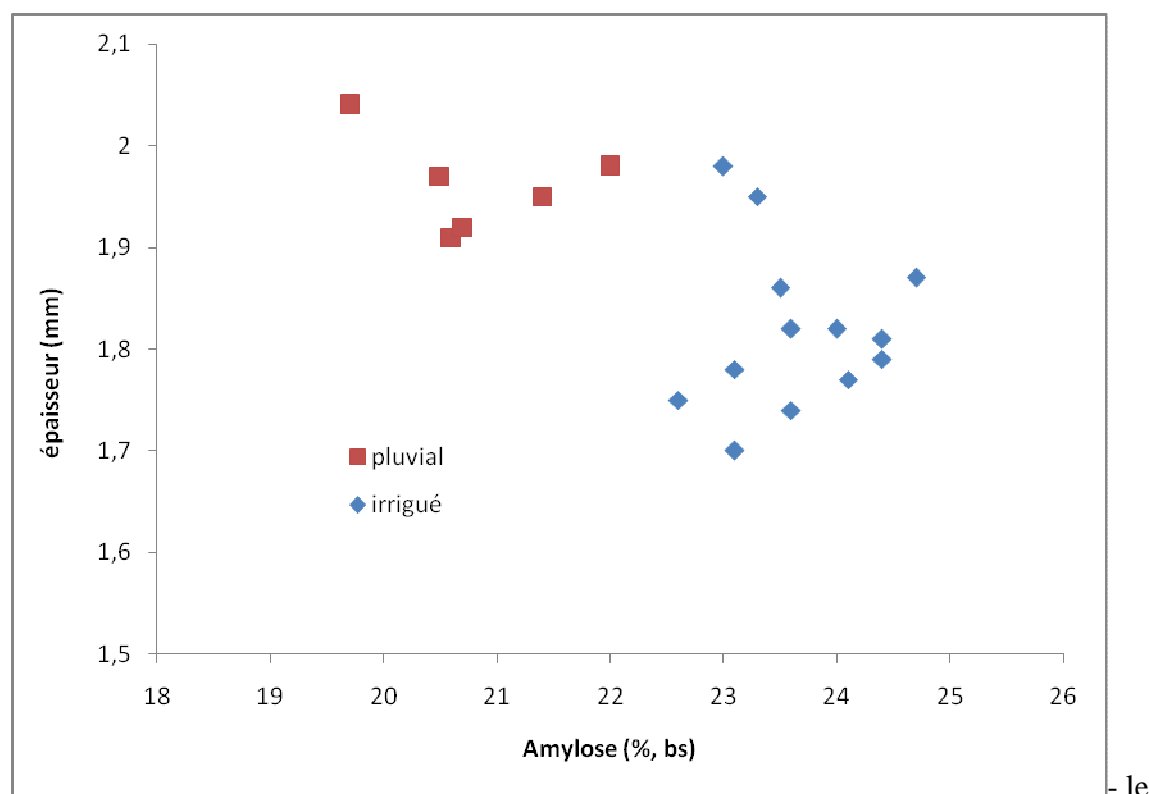


Figure 40: Régression entre amylose et épaisseur

Sur la figure 40, on peut distinguer deux populations de riz, pluvial et irrigué, avec des caractéristiques de grains (épaisseur et teneur en amylose) différentes.

Tableau 70: Corrélations entre les variables physico-chimiques et comportement à la cuisson

Variable	Temps de cuisson (eau froide)	Temps de cuisson (eau chaude)	Gonflement (eau froide)	Gonflement (eau chaude)	Fermeté instron	Fermeté manuelle	Aire	Y max
Amylose	-0,54	-0,57	0,46	0,12	-0,27	-0,32	-0,63	-0,41
Protéines	0,34	0,34	-0,20	-0,37	0,28	0,20	0,07	-0,08
Lipides	-0,06	0,06	-0,40	-0,26	0,80	0,84	0,08	-0,06
Cendres	-0,03	-0,10	-0,25	-0,29	0,64	0,65	-0,01	-0,07
TGE	0,10	0,04	-0,24	-0,36	0,23	0,20	0,12	0,09
PMG	0,68	0,62	-0,26	-0,22	-0,01	-0,13	0,51	0,42
Longueur(mm)	0,35	0,16	-0,17	0,25	0,08	0,04	0,12	0,00
Largeur (mm)	0,02	0,10	-0,18	-0,61	-0,04	-0,15	0,19	0,30
Epaisseur (mm)	0,59	0,50	-0,29	-0,62	0,28	0,21	0,57	0,45
Long/larg	0,14	-0,05	0,02	0,48	0,08	0,13	-0,07	-0,19
T.GEL	-0,07	0,21	0,31	0,46	-0,01	0,09	-0,02	-0,13

TGE : Taux de grains entiers ; PMG : poids de mille grains ; T.GEL : température de gélatinisation

La matrice des corrélations entre physico-chimie et comportement à la cuisson (tableau 70) montre en particulier :

- Une corrélation positive entre temps de cuisson et le PMG, l'épaisseur, et une corrélation négative avec la teneur en amylose.

En d'autres termes, *le temps de cuisson du riz augmente avec la taille des grains et son épaisseur et diminue avec la teneur en amylose*. La relation entre PMG et temps de cuisson semble essentiellement liée à l'origine du grain (pluvial ou irrigué ; figure 41) ; les riz pluviaux ont un PMG plus élevé et un temps de cuisson supérieur.

- On n'observe pas de corrélation nette entre les variables biochimiques et le gonflement du riz à l'eau froide. Cependant, le gonflement à l'eau chaude est corrélé négativement avec la largeur et l'épaisseur du grain.

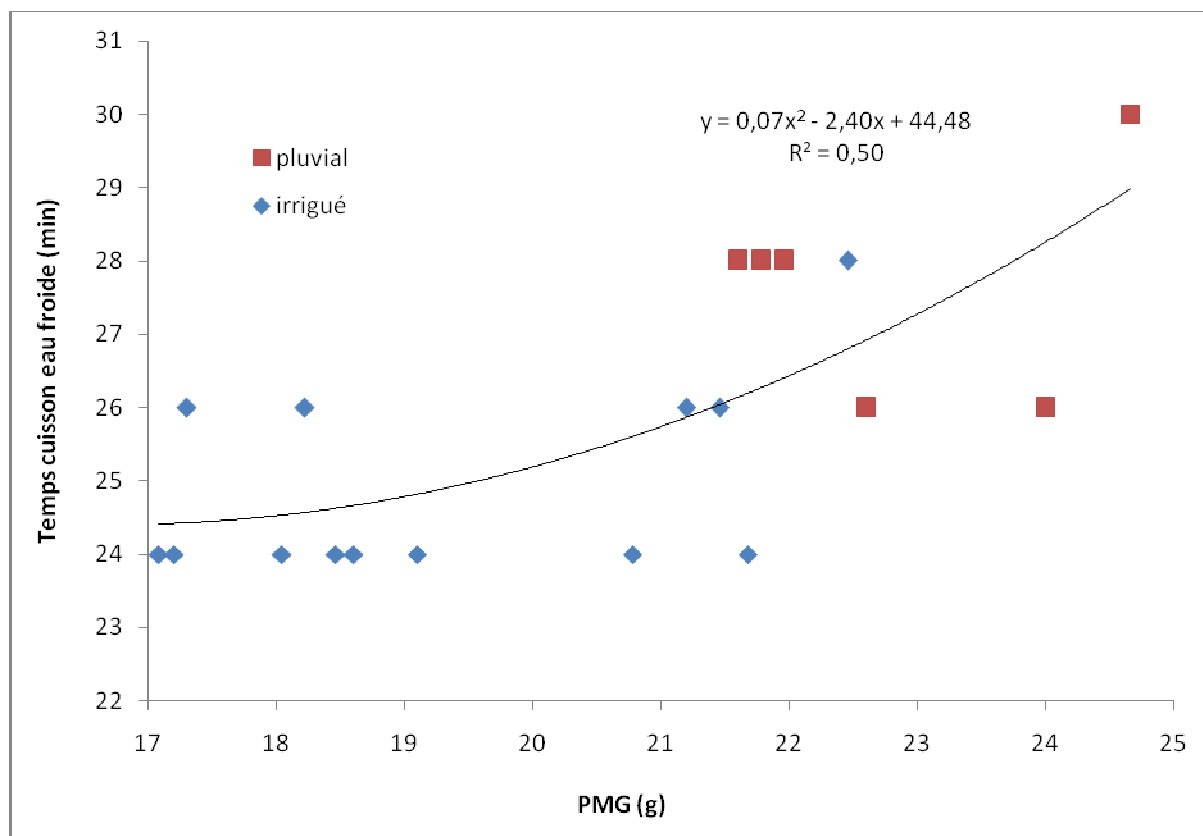


Figure 41 : Régression entre PMG et temps de cuisson à l'eau froide

- La fermeté mesurée à l'INSTRON, ou manuellement, est fortement corrélée positivement à la teneur en lipides. Cette relation (figure 42) est liée à la fois aux conditions de transformation du grain (un grain pilonné a une teneur en lipides et une fermeté supérieures) et à son origine ; au sein des riz usinés, on observe une augmentation de la fermeté avec la teneur en lipides.

- Conformément aux données de la littérature (Juliano *et al.*, 1981 ; Vidal *et al.*, 2007), le collant apparaît négativement corrélé à la teneur en amylose.

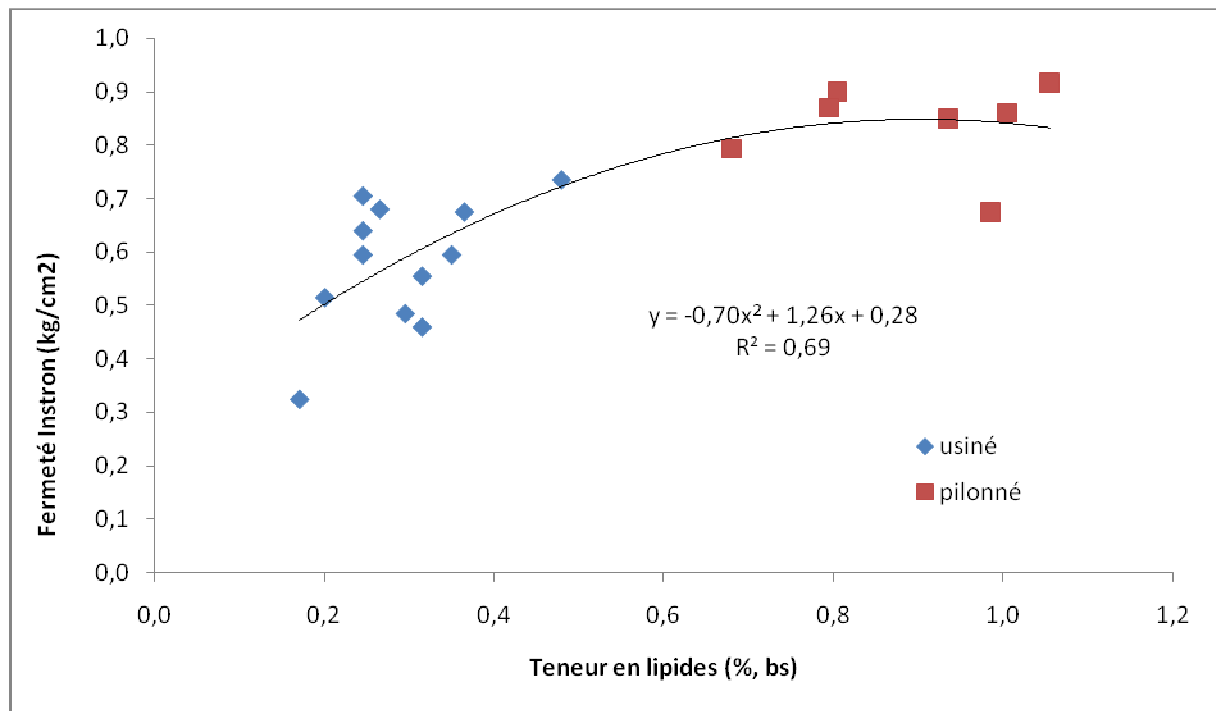


Figure 42 : Régression entre teneur en lipides et fermeté mesurée à l'INSTRON.

Tableau 71: Corrélations entre les variables sensorielles et comportement à la cuisson

Variable	Eparpillement des grains	Fermeté visuelle	Grains déformés	Collant pendant la mastication	Fermeté pendant la mastication	Nombre de mastications	Résidu de mastication
Temps de cuisson (eau froide)	0,10	0,24	-0,15	-0,12	0,26	0,37	0,02
Temps de cuisson (eau chaude)	0,01	0,19	-0,03	0,00	0,32	0,24	0,01
Gonflement (eau froide)	-0,11	-0,37	0,59	-0,26	-0,22	-0,27	-0,24
Gonflement (eau chaude)	-0,05	-0,02	0,15	-0,20	-0,07	-0,09	-0,02
Fermeté instron	0,70	0,65	-0,28	-0,36	0,67	0,62	0,49
Fermeté manuelle	0,69	0,66	-0,36	-0,36	0,67	0,60	0,49
Aire	-0,25	0,00	-0,35	0,48	-0,04	0,03	0,11
Y max	-0,38	-0,12	-0,30	0,54	-0,21	-0,11	0,04

Le tableau 71 indique que :

- l'éparpillement, la fermeté visuelle, la fermeté pendant la mastication et le nombre de mastications sont fortement (à 1 %) corrélés positivement avec la fermeté instron et la fermeté manuelle. On retrouve dans toutes ces relations un effet usinage (figures 43 et 44 ; les riz pilonnés apparaissent plus fermes et plus éparpillés).
- le collant pendant la mastication est corrélé positivement avec le collant mesuré au TAXT2 (Ymax et aire).
- le caractère «grain déformé» est corrélé avec le gonflement eau froide.
- le résidu de mastication n'apparaît que faiblement corrélé avec la fermeté instron et manuelle.

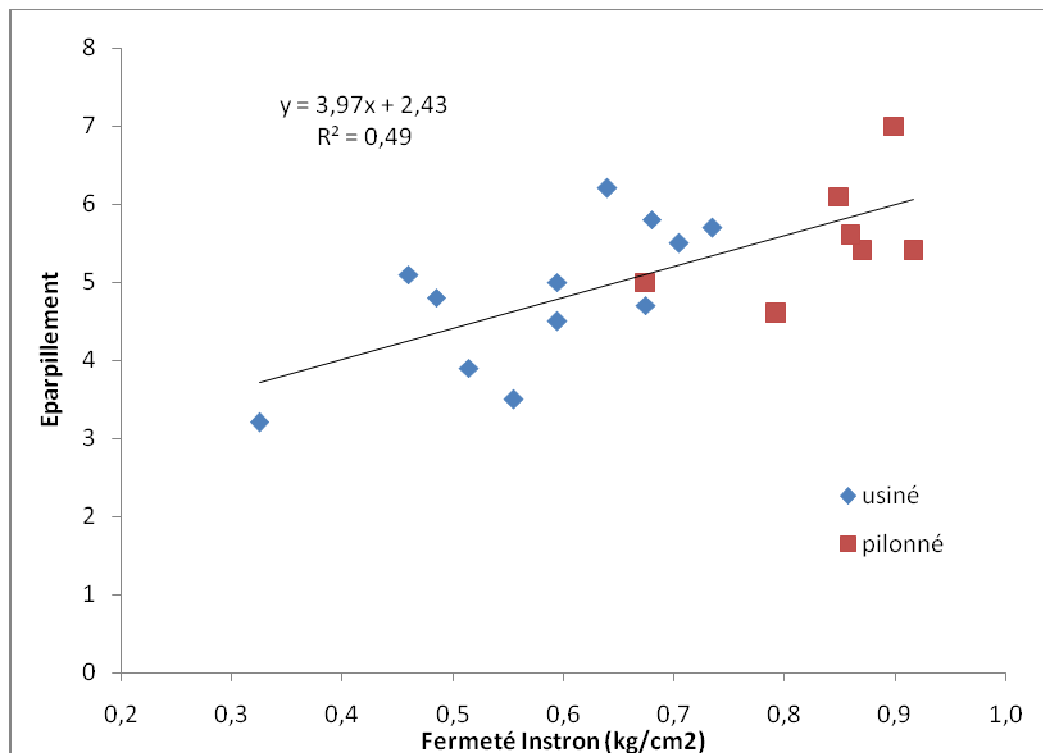


Figure 43 : Régression entre fermeté mesurée à l'INSTRON et éparpillement.

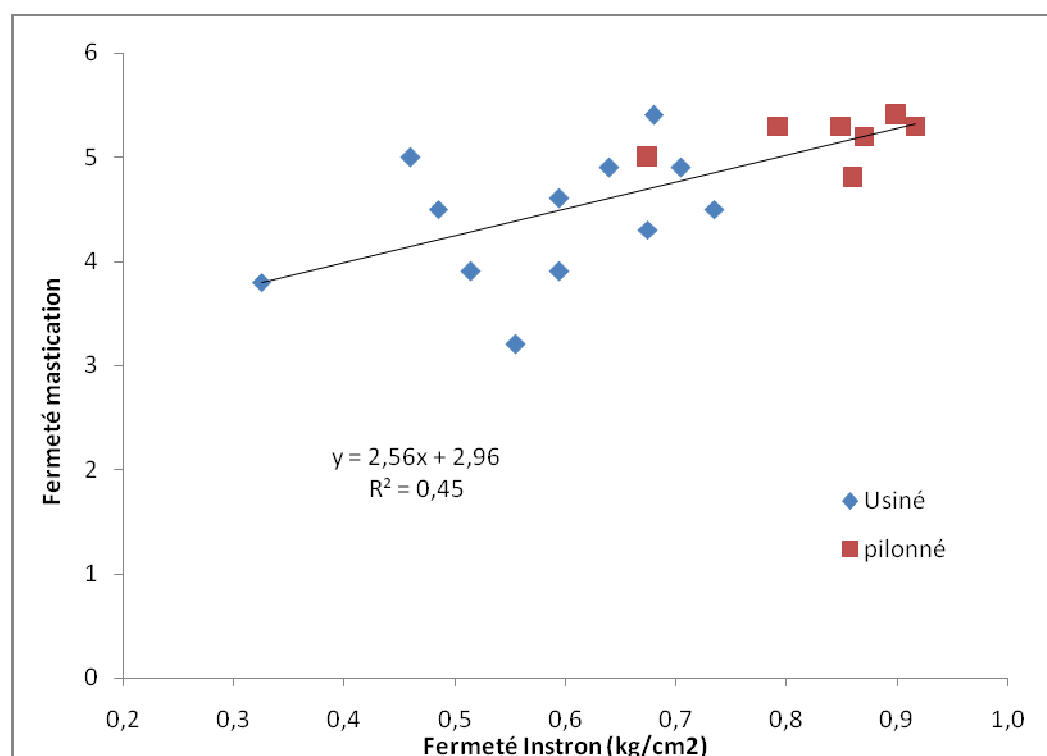


Figure 44 : Régression entre fermeté mesurée à l'INSTRON et fermeté à la mastication

Tableau 72 : Corrélations entre les variables sensorielles et physico-chimiques

Variable	Eparpillement des grains	Fermeté visuelle	Grains déformés	Collant pendant la mastication	Fermeté pendant la mastication	Nombre de mastications	Résidu de mastication
Amylose	-0,51	-0,66	0,54	0,28	-0,58	-0,60	-0,00
Protéines	-0,52	0,54	-0,41	-0,52	0,46	0,35	-0,37
Lipides	0,44	0,54	-0,44	-0,03	0,58	0,57	0,60
Cendres	0,16	0,23	-0,24	0,13	0,35	0,37	0,71
TGE	-0,17	-0,05	-0,38	0,43	0,09	0,03	0,11
PMG	0,01	0,17	0,15	0,03	0,27	0,30	0,18
Longueur(mm)	0,37	0,38	0,16	-0,40	0,33	0,40	0,22
Largeur (mm)	-0,43	-0,30	-0,10	0,61	-0,19	-0,26	-0,03
Epaisseur (mm)	0,16	0,32	-0,43	0,06	0,30	0,28	-0,03
Long/larg	0,46	0,39	-0,11	-0,56	0,26	0,35	0,14
T.GEL	-0,11	-0,18	0,42	-0,03	0,03	0,09	0,24

TGE : Taux de grains entiers ; PMG : poids de mille grains ; T.GEL : température de gélatinisation

L'étude des corrélations entre variables physico-chimiques et sensorielles indique que (tableau 72) :

- le résidu de mastication est fortement corrélé positivement avec les teneurs en lipides et en cendres. Les riz pilonnés apparaissent ainsi plus riches en cendres et avec un résidu à la mastication plus élevé (figure 45),
- la teneur en amylose est corrélée négativement à l'ensemble des attributs liés à la fermeté, et à l'axe 1 de l'ACP des variables sensorielles, mais n'apparaît pas corrélée au collant à la mastication,

- la teneur en lipides apparaît aussi corrélée à la fermeté sensorielle, tout comme elle l'est à la fermeté instrumentale (tableau 69).

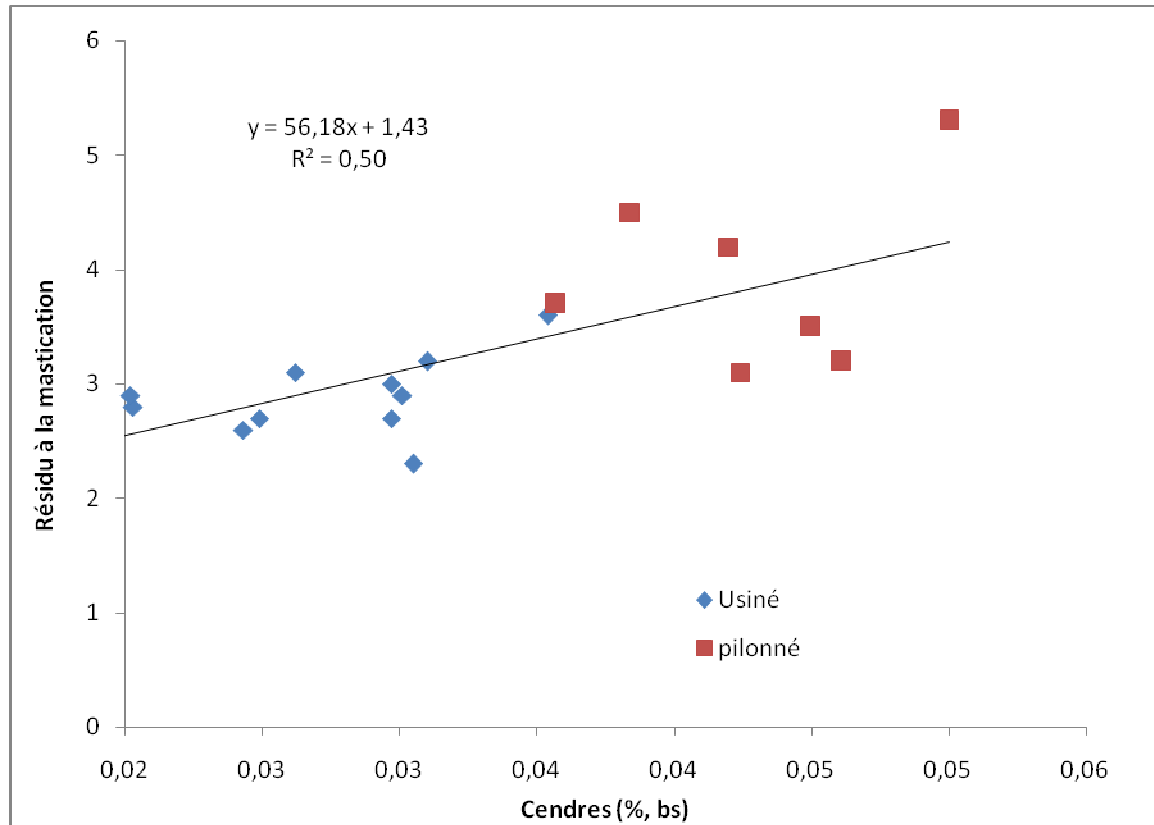


Figure 45 : Régression entre cendres et résidu à la mastication

3. DISCUSSION

Cette dernière partie reprend brièvement les principaux éléments apparus lors de nos travaux en les restituant par rapport aux perspectives qu'ils permettent d'ouvrir, d'un point de vue fondamental, mais également en termes de recommandations pratiques.

La comparaison des résultats de l'étude préliminaire et de l'étude approfondie a permis de dégager plusieurs points intéressants.

Concernant la relation entre le temps de cuisson et la teneur en amylose du riz, les résultats obtenus sont différents :

- ceux de l'étude préliminaire corroborent ceux de Bhattacharya et Sowbhagya., 1971 et Vidal *et al.*, 2007, selon lesquels il n'y a aucune corrélation entre le temps de cuisson du riz et la teneur en amylose

- alors que l'étude approfondie a révélé une corrélation négative entre le temps de cuisson et la teneur en amylose, autrement dit, quand cette dernière augmente, le temps de cuisson diminue, résultat comparable à celui de Singh *et al.*, 1961.

Néanmoins, les deux études ont montré que le temps de cuisson est en corrélation positive avec la taille et la forme des grains, résultats confirmant ceux de Vidal *et al.*, 2007. Selon ces auteurs, le défaut des grains (fissure, grains crayeux), les caractéristiques structurales ou chimique (taille, forme, composition de l'endosperme) peuvent expliquer le temps de cuisson et que ce dernier est principalement lié à la morphologie des grains et au degré d'usinage mais non pas aux caractéristiques de l'amidon telles que la teneur en amylose et la température de gélatinisation. Il faut ainsi noter que la corrélation entre teneur en amylose et épaisseur des grains lors de l'étude approfondie peut expliquer la corrélation, indirecte, entre teneur en amylose et temps de cuisson.

La corrélation positive entre le temps de cuisson et la teneur en observée lors de l'étude préliminaire et qui corrobore les données de la littérature (Mohapatra et Bal, 2005 ; Vidal *et al.*, 2007) n'a pas été obtenue lors de l'étude approfondie.

Les deux modes de cuisson testés n'ont pas d'influence sur le temps de cuisson du riz. En effet, ce dernier varie selon la forme de consommation du riz et la différence peut atteindre plus d'une heure.

Quant à la fermeté instrumentale, contrairement aux résultats obtenus par de nombreux auteurs (Juliano *et al.*, 1979, Pons *et al.*, 1992), aucune corrélation n'est obtenue entre la fermeté du riz cuit et la teneur en amylose. Cette absence de corrélation peut s'expliquer par la faible performance du moyen de transformation utilisé ; la présence résiduelle de péricarpe et de germe (teneur en cendres et lipides élevés, en particulier pour les riz pilonnés) pourrait masquer l'influence de la teneur en amylose.

Les attributs sensoriels de fermeté (fermeté visuelle, fermeté à la mastication, nombre de mastication) sont corrélés positivement à la teneur en lipides et avec l'éparpillement, à la fermeté instrumentale. Etrangement, on observe pour ces attributs une corrélation négative avec la teneur en amylose.

Par ailleurs, les riz pluviaux sont évalués plus fermes que les riz irrigués par les dégustateurs, alors qu'aucune différence n'est observée instrumentalement. La fermeté sensorielle est donc un attribut complexe qui ne prend sans doute pas uniquement en compte une résistance mécanique à la compression, mais aussi d'autres attributs de texture plus difficile à identifier.

Le collant mesuré instrumentalement est corrélé positivement à la taille du grain (poids de mille grains, l'épaisseur) et négativement avec la teneur en amylose, confirmant les données de la littérature (Juliano *et al.*, 1965 ; Perez et Juliano, 1979). Le moyen de transformation n'a pas d'influence sur le collant, mais les valeurs du collant des riz pluviaux sont plus élevées par rapport à celles des riz irrigués. Ainsi, le collant est plutôt lié aux caractéristiques variétales des grains qu'aux facteurs technologiques. Le collant à la mastication est corrélé au collant instrumental, mais n'apparaît pas corrélé à la teneur en amylose. Il est en revanche corrélé négativement à la teneur en protéines alors qu'aucune corrélation n'est observée entre le collant instrumental et la teneur en protéines. Ceci contredit certains auteurs (Martin *et al.*, 2002; Mestres *et al.*, 2011) qui ont trouvé une corrélation positive entre collant et teneur en protéines. Martin *et al.*, 2002, ont montré que la teneur en protéines influence la quantité d'eau absorbée par le riz et par conséquent le caractère collant de l'amidon. En effet, l'interaction est due à la présence des liaisons disulfures. Une forte teneur en protéines riches en liaisons disulfures entraîne une interaction entre l'eau et l'amidon et provoque par conséquent la formation du caractère collant. Comme pour la fermeté, le collant sensoriel est ainsi un attribut complexe qui ne se limite pas aux propriétés d'adhésion des grains entre eux.

Le nombre de grains déformés n'apparaît corrélé à aucune mesure instrumentale, mais est positivement corrélé à la teneur en amylose.

Mestres *et al.*, 2011 ont rapporté que le caractère « grain déformé » est fortement corrélé à l'épaisseur et la largeur de grain. Ce fait paraît surprenant car la surface de contact avec l'eau bouillante est faible et devrait être plus résistante, les grains épais sont plus compacts et devraient résister aux contraintes mécaniques du gonflement. Selon ces auteurs, la déformation des grains est probablement liée aux constituants pariétaux des grains plutôt qu'aux caractéristiques morphologiques.

Le résidu de mastication apparaît faiblement corrélé à la fermeté instrumentale. Il est fortement corrélé aux teneurs en lipides et de cendres, qui témoignent de l'importance des constituants pariétaux des riz moins blanchis. Les riz pilonnés ont ainsi des valeurs plus élevées de résidus à la mastication. Ceci laisse supposer que le résidu de mastication est plutôt lié aux facteurs technologiques qu'aux caractéristiques physico-chimiques des grains.

Les caractères *mohaka* et *mantamohaka* ont été évoqués parmi les critères de rejet les plus importants des consommateurs d'Antsirabe. L'enquête réalisée dans la CUA a confirmé ces résultats, ainsi lors de l'évaluation des riz auprès des ménages, ces critères ont été intégrés dans le questionnaire mais les résultats ont montré qu'aucun des riz étudiés ne présentait ces caractères.

Par ailleurs, ces termes n'étaient pas non plus sortis lors de l'évaluation sensorielle donc n'ont pas été choisis parmi les vocabulaires décrivant la texture des riz malgaches. L'absence de ces caractères lors de ces 2 types d'évaluation du comportement du riz à la cuisson peut s'expliquer par plusieurs raisons :

- les caractères *mohaka* et *mantamohaka* ne sont pas liés à la variété pour tous les riz étudiés
- les conditions de traitement post- récolte ont été assez bonnes et les grains de riz ne sont ni humides , ni mélangés à d'autres variétés
- le rapport eau/riz utilisé pour la cuisson et la puissance de chauffe sont adéquats et ne sont pas favorables à l'apparition de ces attributs

Le riz *mohaka* peut être considéré comme collant car il est très mou et se brise et les grains qui se trouvent côte à côte se collent facilement. Mais il est constaté que les caractères *mohaka* et collant ne sont pas forcément associés, certains riz sont collants mais ne font pas le *mohaka*.

Le riz *mantamohaka* ne peut pas être qualifié comme ferme car une partie des grains reste cru et la partie cuite est souvent *mohaka* donc molle. Les riz présentant encore leur péricarpe semblent être les plus affectés par ces phénomènes.

Le *Makalioka* est le riz de luxe malgache. L'enquête de consommation a montré qu'il est le plus consommé après le *vary gasy* rouge pour la préparation de *vary maina*. Ce riz est très apprécié, seulement son coût est un peu élevé par rapport aux autres riz et de ce fait n'est pas accessible à toutes les couches de la population.

Il ressort des résultats de l'enquête de consommation, de l'évaluation auprès des ménages, de l'évaluation sensorielle et des mesures instrumentales que le *Makalioka* présente la plupart des qualités recherchées par les consommateurs malgaches. En effet, selon les ménages, ce riz s'éparpille bien, gonfle bien, facile à cuire et à digérer, il est ferme mais pas dur, pas collant, ne fait ni le *mohaka* ni le *mantamohaka*, peut être laiteux ou sucré.

Le *Makalioka*, a des grains fins, de type long B et se brise facilement avec un moyen de transformation non performant. Pourtant, la présence de brisures n'a pas beaucoup influencé le jugement des consommateurs pour ce riz.

CONCLUSION GENERALE

A la lumière de nos résultats, il ressort que les critères de qualité peuvent être regroupés en deux groupes : les critères de choix à l'achat liés aux grains crus et les critères liés à la cuisson.

Les résultats des enquêtes et des évaluations de la qualité du riz ont permis de valider et de compléter les résultats obtenus à Antsirabe

Ainsi les critères considérés comme les plus importants à l'achat sont surtout ceux liés à la propreté du riz, aux défauts des grains, à la forme et à la couleur. Les consommateurs cherchent les riz sans cailloux, sans grains étrangers, ne présentant pas beaucoup de brisures et qui ne sont pas humides. Ils n'aiment pas mais peuvent tolérer les paddy et les sons. Le choix de la forme et de la couleur dépend du plat à préparer.

Pour les critères liés à la cuisson et pour les deux principaux plats, les consommateurs préfèrent les riz qui gonflent, s'éparpillent, ne collent pas, faciles à cuire et à digérer.

Le *vary maina* apparaît le plus consommé et également le plus apprécié. Pour cette forme de consommation, les critères les plus importants pour les consommateurs portent surtout sur les propriétés texturales du riz cuit qui sont axées sur le collant pour le rejet et la fermeté pour l'acceptation.

Il a été mis en évidence que les différences socio-économiques entre les classes de consommateurs n'affectent pas les habitudes de consommation, les modes de préparation du riz et leurs préférences sur la qualité des grains.

Les ménages peuvent bien discriminer les différentes variétés de riz ; le *Makalioka* est la variété la plus appréciée et la plus connue dans la capitale.

Les rapports eau/riz utilisés par les ménages sont similaires mais la différence au niveau de la durée de cuisson peut être due à l'économie du combustible, à la recherche d'une texture ni trop sèche ni trop molle ou à l'attente de l'odeur de brûlé pour pouvoir faire du *ranon'ampango*.

Etant donné que les informations sur les qualités sensorielles du riz étaient jusque là rares sinon inexistantes, alors, pour décrire la texture du riz, 7 descripteurs ont été retenus : éparpillement des grains, fermeté visuelle, grains déformés, collant pendant la mastication, fermeté pendant la mastication, nombre de mastications, résidu de mastication.

Les descripteurs « éparpillement, grains déformés, collant pendant la mastication » sont influencés par la taille des grains tandis que la fermeté pendant la mastication, le nombre de mastications et le résidu de mastication sont plutôt liés à leurs propriétés biochimiques.

Les sept descripteurs mentionnés ci-dessus sont tous liés aux caractéristiques physico-chimiques des grains.

De plus, la fermeté du riz, descripteur très important pour les malgaches, peut être prédite par les teneurs en lipides et en cendres. Elle est aussi surtout influencée par les moyens de transformation utilisés. Le temps de cuisson, plutôt lié aux caractéristiques variétales des grains, n'est pas influencé par les facteurs technologiques.

Concernant l'origine du riz, le riz pluvial apparaît plus éparpillé, plus ferme et nécessite plus de nombre de mastications que le riz irrigué. Le riz pluvial est également le plus long à cuire, mais préparé au départ à l'eau froide, il gonfle moins que le riz irrigué.

Par ailleurs, le riz pluvial est plus riche en protéines que le riz irrigué, inversement pour la teneur en amylose.

Le riz pluvial est aussi perçu comme moins résistant aux contraintes technologiques que le riz irrigué.

La faible performance des moyens de transformation utilisés à Madagascar influence la qualité des grains crus et par conséquent leur acceptabilité par les consommateurs, mais influence aussi la qualité des grains cuits. Le mode d'usinage (pilon, mécanique) et le degré d'usinage mécanique n'influencent pas la morphologie des grains de riz ; la teneur en lipides et la fermeté des riz augmentent en revanche avec l'intensité de l'usinage. Les riz pilonnés apparaissent ainsi plus intègres que les riz usinés ; ils sont plus riches en lipides et en cendres, mais leur teneur en amylose est légèrement faible par rapport à ces derniers. Les riz pilonnés sont aussi plus fermes et plus éparpillés que les riz usinés et présentent plus de résidus de mastication et de nombre de mastications,.

A l'issue de cette étude,

- ✓ certains de nos résultats sont différents de ceux de la bibliographie notamment en ce qui concerne l'absence de corrélation entre la fermeté du riz cuit et la teneur en amylose. Pour de nombreux auteurs, la teneur en amylose est le meilleur indicateur de la qualité culinaire ; plus cette teneur augmente, plus le riz cuit est ferme et non collant. Pourtant, d'après nos résultats, les déterminants de la fermeté du riz cuit sont plutôt les teneurs en lipides et en cendres. Les riz de Madagascar paraissent donc atypiques.
- ✓ une méthode de mesure de la fermeté facile à mettre en œuvre est mise au point. : la mesure de fermeté au texturomètre manuel. Les résultats sont très satisfaisants, la fermeté

et le collant mesurés instrumentalement (au texturomètre manuel et texturomètre instron) sont fortement corrélés aux évaluations sensorielles par le jury.

Ce travail a permis de mettre en évidence toute la complexité, d'une part, des interactions qui peuvent intervenir au sein d'une matrice alimentaire (les teneurs en lipides et en cendres influencent la fermeté du riz cuit) et, d'autre part, des modifications biochimiques qui peuvent avoir lieu au cours des procédés technologiques (le pilonnage augmente la teneur en lipides et en cendres du riz blanchi).

Perspectives

Plus particulièrement, la corrélation entre le temps de cuisson d'une part, avec la teneur en cendres et d'autre part, avec la teneur en protéines et avec la teneur en amylose mérite d'être approfondie et éclaircie. L'hypothèse que nous émettons est la suivante : le temps de cuisson augmente avec la teneur en protéines et en cendres et diminue avec la teneur en amylose.

Etant donné que le caractère collant est un des plus importants attributs de rejet du riz, il apparaît intéressant de travailler sur les riz étuvés qui sont incollables. Signalons que l'étuvage traditionnel est applicable à Madagascar, il permet également d'améliorer le rendement à l'usinage et l'aspect visuel du grain et de préserver la valeur nutritionnelle du riz.

Dans le cadre du SPAD (Systèmes de production d'altitude et durabilité), il est à espérer que l'élargissement de cette étude à beaucoup plus d'échantillons de riz pluvial cultivé dans différentes régions de Madagascar permette une meilleure identification des éléments déterminants des qualités. Ainsi, l'influence des facteurs intrinsèques et celle des facteurs de l'environnement pourront être approfondies.

Tableau 73 : Tableau récapitulatif pour la sélection variétale

Critères pour les consommateurs	Attributs liés aux choix des consommateurs	Caractères physico-chimiques
Gonflement	Gonflement	Largeur, épaisseur
Eparpillement	Eparpillement	Amylose, protéines
Collant	Collant	Amylose
Facile à cuire	Temps de cuisson	Amylose, PMG, cendres
Facile à digérer	Fermeté	Amylose, lipides, cendres, TGE
	Nombre de mastications	Amylose, lipides
	Résidu de mastication	Lipides, cendres,
Goût sucré		Sucres
Goût laiteux		Lipides
Pas mohaka	Fermeté	Amylose, lipides, cendres
Pas mantamohaka	Fermeté, collant, résidu de mastication	Amylose, lipides, cendres, PMG Température de gélatinisation
Couleur rouge		Indice du rouge (a), cendres

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. **ADU-KWARTENG, E., ELLIS, W.O., ODURO, I. & MANFUL, J.T. 2003.** Rice grain quality: a comparison of local varieties with new varieties under study in Ghana.. *Food Control* **14**: 507 – 514.
2. **AFNOR, 1991.** Recueil de normes- contrôle de la qualité des produits alimentaires céréales et produits céréaliers. AFNOR/DGCCRF. 3ème édition. Paris. 360 p.
3. **ANGLADETTE, A., 1966.** Le riz. Ed. GP. Maisonneuve et Larose, Paris.
4. **ANDRIAMANIRAKA F. & RAZAFIMANANTSOA V., 2005.** Analyse des critères de choix des consommateurs de riz dans la commune urbaine d'Antananarivo, *Recherche action*, p10.
5. **AUBERT, V., RAZAFIARISON S., BERTRAND A., 2003.** Déforestation et systèmes agraires à Madagascar: les dynamiques des tavy sur la côte orientale. Editions Quae, 210p.
6. **AUBIN J.-P. & DAGALLIER J.-C., 1997.** Mécanisation de la riziculture. Etude de cas. Ministère français de la coopération, Cirad, 278p
7. **AZAM J.-P. & BONJEAN C., 1995.** La formation du prix du riz : théorie et application au cas d'Antananarivo. *Revue économique*, vol **46**, n°4, juillet, p. 1145-1166.
8. **BADIANE O. & KHERALLAH., 1997.** Politiques de libéralisation et ajustement des marchés agricoles : l'expérience de Madagascar et d'autres pays africains. IFPRI/FOFIFA, *Cahier de la recherche sur les Politiques Alimentaires* n°4, décembre, 36p. + annexes.
9. **BAYONOVE, J., 1981.** Riz complet ou riz blanchi. *Information diététique*, **1**, 40-48.
10. **BHATTACHARYA, K.R., 1979.** Gelatinization temperature of rice starch and its determination. Proceedings of the workshop on chemical aspects of rice grain quality, IRRI. 232-249.
11. **BHATTACHARYA M., ZEE S.Y. & CORKE H., 1999.** Physicochemical properties related to quality of rice noodles. *Cereal Chemistry*., **76** (6), 861-867.
12. **BRADBURY, J.H. & HOLLOWAY, W.D., 1988.** Chemistry of tropical root crops: significance for nutrition and agriculture in the Pacific. Canberra, Australian Centre for International Agricultural Research. 201 pp.
13. **BULEON A., COLONNA P. & LELOUP V ., 1990.** Les amidons et leurs dérivés dans les industries des céréales. IAA juin 1990, 515-530.
14. **CAGAMPANG, G.B., PEREZ, C.M. & JULIANO, B.O., 1973.** A gel consistency test for eating quality of rice. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. **24**, 1589-1594.

15. CHAMPAGNE, E.T., LYON, B.G., MIN, B.K., VINYARD, B.T., BETT, K.L., BARTON, F.E., II, WEBB, B.D., MCCLUNG, A.M., MOLDENHAUER, K.A., LINSCOMBE, S., MCKENZIE, K.S. & KOHLWEY, D.E., 1998. Effects of postharvest processing on texture profile analysis of cooked rice. *Cereal Chemistry*, **75**, 181 – 186.
16. CHAMPAGNE, E.T., BETT, K.L., VINYARD, B.T., MCCLUNG, A.M., BARTON F.E., II, MOLDENHAUER, K., LINSCOMBE, S., & MCKENZIE, K., 1999. Correlation between cooked rice texture and rapid visco analyser measurements. *Cereal Chemistry*, **76**, 764-771.
17. CHOUDHURY, N.H. & JULIANO, B.O., 1980. Effect of amylose content on the lipids of mature rice grain. *Phytochemistry*, **19**: 1 385- 1 389
18. COLONNA P., 1990. Mécanismes de gélatinisation de l'amidon. Session C.P.C.I.A. « Amidons et dérivés », Nantes, 6-8 mars 1990.
19. DABAT M.-H., 2002. Analyse de la filière riz à Madagascar. Cirad-Gret Ministère des Affaires étrangères, *Memento de l'agronome*, 15 p.
20. DABAT, M.H, PONS, B., BRICAS N., TOUZARD, S. & RANDRIANAIVO, H., 2004. La perception de la qualité des produits par les consommateurs : le cas du riz à Antsirabe , Madagascar , 10p
21. DABAT, M.H., PONS, B. & RAZAFIMANDIMBY, S., 2005. Préférences des consommateurs et message des prix : le riz pluvial à Madagascar. Colloque international. Au nom de la qualité. Clermont-Ferrand (France),109-117
22. DARBON P., 1988. Le « roi » amidon. *Biofutur*, janvier 1988, 23-37.
23. DARBY M. & KARNI E., 1973. Free Competition and the Optimal Amount of Fraud. *Journal of Law and Economics*, n°16, p.67-68.
24. DEL MUNDO A.M. & JULIANO B.O., 1981. Consumer preference and properties of raw and cooked milled rice. *J. Texture Stud.*, **12**: 107-120.
25. DEL MUNDO, A.M., KOSCO, D.A., JULIANO, B.O., SISCAR, J.J.H., & PEREZ, C.M., 1989. Sensory and instrumental evaluation of texture of cooked and raw milled rices with similar starch properties. *Journal of Texture Studies*. **20**,97-110.
26. DESHPANDE S.S. & BHATTACHARYA K.R., 1982. The texture of cooked rice. *Journal of texture studies* **13**, 31-42
27. DESIKACHAR, H.S.R., RAGHAVANDRA RAO, S.N. & ANANTHACHAR, T.K. 1965. Effect of degree of milling on water absorption of rice during cooking. *J. Food Sci. Technol.*, **2**: 110112.
28. DIEN, L.D., TRINH, N.B., LIEU, L.T. & HIEU, L.H. 1987. Influence of seasons on several biochemical criteria of rice seeds (*Oryza sativa* L.). *Tap Chi Sinh Hoc*, **9**(2): 15-21, 31.

- 29. DILLON J.-C., 1990.** Le riz. *Cah. Nutr. Diét.*, **5** : 329-339.
- 30. DOUBLIER J.L., 1990a.** Caractérisation rhéologique des empois d'amidon. Session C.P.C.I.A. « Amidons et dérivés », Nantes , 6-8 mars 1990.
- 31. DOUBLIER J.L., 1990b.** Les composants mineurs des amidons de céréales : lipides et protéines. Session C.P.C.I.A. « Amidons et dérivés », Nantes, 6-8 mars 1990.
- 32. EGGUM, B.O., 1969.** Evaluation of protein quality and the development of screening techniques. In *New approaches to breeding for improved plant protein*, p. 125- 135. Vienna, IAEA.
- 33. EGGUM, B.O., 1977.** Nutritional aspects of cereal protein. In A. Muhammad, R. Aksel & R.C. von Boustel, eds. *Genetic diversity in plants*, p. 349-369. New York, Plenum Press.
- 34. EGGUM, B.O., 1979.** The nutritional value of rice in comparison with other cereals. In *Proceedings, Workshop on Chemical Aspects of Rice Grain Quality*, p. 91-111. Los Baños, Laguna, the Philippines, IRRI.
- 35. EPPENDORFER, W.H., EGGUM, B.O. & BILLE, S.W. 1979.** Nutritive value of potato crude protein as influenced by manuring and amino acid. *J. Sci. Food Agric.*, **30**: 361-368.
- 36. FAURE J. & MAZAUD F., 1995.** La qualité du riz dans l'Union européenne. *Agriculture et développement – spécial riz* : 4-15.
- 37. FOFIFA., 1995.** Bilan de la recherche rizicole. Antananarivo, 300p.
- 38. FOFIFA/IFPRI., 1997.** Le marché des intrants, le marché des produits agricoles, le comportement des ménages ruraux. *Cahier de la Recherche sur les Politiques Alimentaires*, Octobre, 29p.
- 39. FOOD AND NUTRITION RESEARCH INSTITUTE., 1980.** Food composition tables, recommended for use in the Philippines. *FNRI Handbook 1*, 5th rev. Manila, FNRI. 313 pp.
- 40. FRASLIN J. -H., 2002.** Quel avenir pour les paysans de Madagascar. *Afrique contemporaine*, n° 202-203, p. 93-110.
- 41. HEMAVATHY, J. & PRABHAKAR, J.V., 1987.** Lipid composition of rice (*Oryza sativa* L.) bran. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **64**: 1016-1019.
- 42. HIRSCH R., 2000.** La riziculture malgache revisitée : diagnostic et perspectives (1993-1999). Rapport AFD, 24 p. + annexes.
- 43. HUEBNER, F.R., BIETZ, J.A., WEBB, B.D. & JULIANO, B.O., 1990.** Rice cultivar identification by high-performance liquid chromatography of endosperm proteins. *Cereal Chemistry*, **67**: 129-135.

- 44. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION , ISO , 1985.** Norme ISO n° 6648. Riz : évaluation du comportement à la cuisson au moyen du viscoélastographe, p. 1-3.
- 45. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION , ISO , 1987.** Norme ISO n°6647. Riz : détermination de la teneur en amylose, p. 1-4.
- 46. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION , ISO , 1995.** Norme ISO n° 8402 : Management de la qualité et assurance qualité ; Indice de classement : NF X 50-120.
- 47. INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE IRRI. 1991b.** Program report for 1990. Manila, IRRI
- 48. INSTITUT NATIONAL DE LA STATISTIQUE/DIRECTION DES STATISTIQUES DES MENAGES., 2003.** Enquête Permanente auprès des Ménages 2002 : *Rapport principal*, Antananarivo, Madagascar, 119 p.
- 49. INSTITUT NATIONAL DE LA STATISTIQUE/DIRECTION DES STATISTIQUES DES MENAGES., 2011.** Enquête Périodique auprès des Ménages 2010 : *Rapport principal*, Antananarivo, Madagascar, 372 p.
- 50. JAISWAL, P.K. 1983.** Specification of rice bran oil and extractions. In Rice bran oil: status and prospects. Proceedings of a seminar, Southern Zone, Hyderabad, 13 August 1983, p. 64-77. Andra Pradesh, Oil Technologists'Association of India.
- 51. JANE J., CHEN Y.Y., LEE L.F. , MCPHERSON A.E., WONG K.S., RADASAVLJEVIC M. & KASEMSUWAN T., 1999.** Effects of amylopectin Branch Chain Length and amylose content on gelatinization and pasting properties of starch. *Cereal Chemistry*, **76** (5), 629-637.
- 52. JEANGUYOT, M. & AHMADI, N. 2002.** Grain de riz, grain de vie. Editions Quae, 137p
- 53. JULIANO B. O., GAGAMPANG G.B., CRUZ L.Z. & SANTIAGO R.G., 1964.** Some physicochemical properties of rice in southeast Asia. *Cereal Chemistry*, **41**: 275-286.
- 54. JULIANO, B.O., 1979.** The chemical basis of rice grain quality. Proceedings of the Workshop on Chemical Aspects of Rice Grain Quality. Los Banos, Laguna, Philippines, International Rice Research Institute. 69-90.
- 55. JULIANO B.O. & PEREZ C.M., 1983.** Major factors affecting cooked milled rice hardness and cooking time. *Journal of texture studies* **14**, 235-243.
- 56. JULIANO, B.O. & BECHTEL, D.B., 1985.** The rice grain and its gross composition. In B.O. Juliano, ed. Rice: *chemistry and technology*, 2nd ed., p. 17-57. St Paul, MN, USA, Am. Assoc. *Cereal Chemistry*,
- 57. JULIANO, B.O., 1985b.** Rice: *chemistry and technology*, 2nd ed. St Paul, MN, USA, Am. Assoc. *Cereal Chemistry*, 774 pp.

- 58. JULIANO, B.O. & GODDARD, M.S., 1986.** Cause of varietal difference in insulin and glucose responses to ingested rice. *Qual. Plant. Plant Foods Hum. Nutr.*, **36**: 35-41
- 59. JULIANO B.O., 1994.** Structure du grain, composition et critères de qualité pour le consommateur. In : « Le riz dans la nutrition humaine ». Collection FAO : *Alimentation et nutrition*, n°26, 180 p, 39-66.
- 60. JULIANO B.O., 1998.** Varietal impact on rice quality. *Cereal foods world* **43** (4), 207-222.
- 61. KIM, H.Y. & KIM, K.O., 1986.** Sensory characteristics of rice cooked with pressure cookers and electric cookers. *Korean Journal of Food Science and Technology*. **18**, 319-324.
- 62. KIM, W.J., CHANG, N.Y., KIM, S.K., & LEE, A.R., 1995.** Sensory characteristics of cooked rices differing moisture contents. *Korean Journal of Food Science and Technology*. **27**, 885-890.
- 63. KONDO, H., ABE, K. & ARAI, S., 1989.** Immunoassay of oryzacystatin occurring in rice seeds during maturation and germination. *Agric. Biol. Chem.*, **53**: 2949-2954.
- 64. LE BOURDIEC F., 1974.** Hommes et paysages du riz à Madagascar . Antananarivo, FTM, 250p.
- 65.** « Le riz à Madagascar », in *Revue d'Information Economique* N°17, juillet 2004.
- 66. LINEBACK D.R., 1984.** The starch granule, organization and properties. *Bakers digest*, **13**, 16-21.
- 67. LYON, B.G., CHAMPAGNE, E.T., VINYARD, B.T. & WINDHAM, W.R., 2000.** Sensory and instrumental relationships of texture of cooked rice from selected cultivars and postharvest handling practices. *Cereal Chemistry*. **77**, 64-69.
- 68. LIZHI GAO, EUGENE M. MCCARTHY, ERIC W. GANKO & JOHN F. MCDONALD., 2006** Evolutionary history of *Oryza sativa* LTR retrotransposons: a preliminary survey of the rice genome sequences. *BMC Genomics*. 2004 ; **5**: 18
- 69. LYON, B.G., CHAMPAGNE, E., WINDHAM, W.R., BARTON II, F.E., WEBB, B.D., MCCLUNG, A.M., MOLDENHAUER, K.A., LINScombe, S.D., MCKENZIE, K.S. & KOHLWEY, D.E., 1999.** Effect of degree of milling, drying condition, and final moisture content on sebsory texture of cooked rice. *Cereal Chemistry* **76**, 56-62
- 70. MARTIN, M. & FITZGERALD, M.A., 2002.** Protéins in rice grains influence cooking properties. *Journal of Cereal Science* **36**, 285-294.
- 71. MATSUDA, T., SUGIYAMA, M., NAKAMURA, R. & TORII, S., 1988.** Purification and properties of an allergenic protein in rice grain. *Agric. Biol. Chem.*, **52**: 1465-1470.

- 72. MESTRES, C., MATENCIO, F., PONS, B., YAJID, M. & FLIEDEL, G., 1996.** A rapid method for the determination of amylose content by using differential scanning calorimetry. *Starch/Staerke*. **48**, 2-6.
- 73. MESTRES C., 1996a.** Los estados físicos del almidon. Conferencia internacional « almidon », 8-10 mai 1996. Escuela Politecnica National, Quito (Equateur), 1-16.
- 74. MESTRES C., 1996b.** Functional properties of starch. Congrès latino-américain des raciness tropicales, 7-10 octobre 1996. Sao Pedro, Bras, Brésil, 1-11.
- 75. MESTRES, C., RIBEYRE, F., PONS, B., FALLET, V. & MATENCIO, F., 2011.** Sensory texture of cooked rice is rather linked to chemical than to physical characteristics of raw grain. *Journal of Cereal Science*, **53**, 81-89).
- 76. MEULLENET, J.F., GROSS, J., MARKS, B.P. & DANIELS, M., 1998.** Sensory descriptive texture analyses of cooked rice and its correlation to instrumental parameters using an extrusion cell. *Cereal Chemistry*. **75**, 714-720.
- 77. MIAO, G.-H. & TANG, X.-H., 1986.** Isolation, purification and the properties of rice germ lectin receptors in rice embryo and endosperm. *Kexue Tongbao* (Engl. transl.), **22**: 1569-1573.
- 78. MINTEN B., 1997.** Vivre avec des prix alimentaires variables : une analyse du marché urbain d'Antananarivo. IFPRI/FOFIFA, *Cahier de la recherche sur les Politiques Alimentaires*, octobre, 22p.
- 79. MINTEN B. & ZELLER M., 2000.** Beyond Market Liberalization : Welfare, Income Generation and Environmental Sustainability in Rural Madagascar. Aldershot : Ashgate.
- 80. MIYOSHI, H., OKUDA, T., KOBAYASHI, N., OKUDA K. & KOISHI, H., 1987a.** Effects of rice fiber on mineral balance in young Japanese men. *Nippon Eiyo Shokuryo Gakkaishi*, **40**: 165-170 (in Japanese).
- 81. MIYOSHI, H., OKUDA, T., OKUDA, K. & KOISHI, H., 1987b.** Effect of brown rice on apparent digestibility and balance of nutrients in young men on low protein diets. *J. Nutr Sci. Vitaminol.*, **33**: 207-218.
- 82. MOHAPATRA, D. & BAL, S., 2005.** Cooking quality and instrumental textural attributes of cooked rice for different milling conditions. *J. Food Eng.*, **73**, 253-259
- 83. MORRIS V.J., 1990.** Starch gelation and retrogradation. Trends in *Food Science & technology*, july 1990, 2-6.
- 84. MOSSE, J., 1990.** Nitrogen to protein conversion factors for ten cereals and six legumes or oilseeds. A reappraisal of its definition and determination. Variation according to species and to seed protein content. *J. Agric. Food Chem.*, **38**: 18-24

- 85. MOSSE, J., HUET, J.-C. & BAUDET, J., 1988.** The amino acid composition of rice grain as a function of nitrogen content as compared to other cereals: a reappraisal of rice chemical scores. *J. Cereal Sci.*, **8**: 165-175.
- 86. MURRAY SS., 2004.** Searching for the origins of African rice domestication. *Antiquity*, Vol **78** No 300.
- 87. NELSON R., 1970.** Information and Consumer Behavior. *Journal of Political Economy*, **78**, p. 311-329.
- 88. NIKUNI, Z., HIZUKURI, S., KUMAGAI, K., HASEGAWA, H., MORIWAKI, T., FUKUI, T., DOI, K., NARA, S. & MAEDA, I., 1969.** The effect of temperature during the maturation period on the physico-chemical properties of potato and rice starches. *Mem. Inst. Sci. Ind. Res. Osaka Univ*, **26**: 1-27.
- 89. NORMILE, D., 1997** Archaeology: Yangtze seen as earliest rice site. *Science* **275**: 309–310
- 90. ONG, M.H. & BLANSHARD, J.M.V., 1995a.** Texture determinants of cooked, parboiled rice. I : Rice starch amylose and the fine structure of amylopectin. *Journal of cereal science.*; **21**: 251-260.
- 91. ONG, M.H. & BLANSHARD, J.M.V., 1995a.** Texture determinants of cooked, parboiled rice. II : Physicochemical properties and leaching behavior of rice. *Journal of cereal science.* **21**: 261-269.
- 92. PERDON, A.A., SIEBENMORGEN, T.J., BUESCHER, R.W. & GBUR, E.E., 1999.** Starch retrogradation and texture of cooked milled rice during storage. *Journal of Food Science.* **64**, 828-832.
- 93. PONS B., MESTRES C. & FAURE J., 1992.** Le problème de l'évaluation de la qualité du riz : les riz type indica cultivés dans la Communauté économique européenne. *L'agronomie Tropicale* **46** (1) : 59-64.
- 94. RALAMBOFETRA E., 1983.** Contribution à l'étude de la valeur nutritionnelle comparée de variétés de riz de Madagascar. Thèse de doctorat de 3^{ème} cycle. Faculté des Sciences, Université d'Antananarivo. 138p
- 95. RAMAMONJISOA B. S., 1996.** Méthodes d'enquêtes. *Manuel forestier n°1*. 30p.
- 96. RANDRIANARISOA C., 1997.** Revue des politiques de réforme des marchés à Madagascar : le marché des intrants, le marché des produits agricoles. IFPRI/FOFIFA, *Cahier de la recherche sur les Politiques Alimentaires*, Octobre, 29p.

- 97. RAZAFIARISON S. & BERTRAND, A., 2003.** Déforestation et systèmes agraires à Madagascar: les dynamiques des tavy sur la côte orientale. Editions Quae, - Deforestation - 210 p.
- 98. RAZAFINDRAVONONA J.-D., STIFEL D. & PATERNOSTRO S., 2001.** Dynamique de la pauvreté : 1993-1999. Antananarivo, INSTAT.
- 99. RESURRECCION, A.P., HARA, T., JULIANO, B.O. & YOSHIDA., 1977.** Effect of temperature during ripening on grain quality of rice. *Soil Sci. Plant. Nutr.*, **23**, 109-112.
- 100. RESURRECCIÓN, A.P., JULIANO, B.O. & TANAKA, Y., 1979.** Nutrient content and distribution in milling fractions of rice grain. *J. Sci. Food Agric.*, **30**: 475-481.
- 101. ROUBAUD F., 1997.** La question rizicole à Madagascar : les résultats d'une décennie de libéralisation. INSTAT, *Revue Economie de Madagascar* « Agriculture : enjeux et contraintes de la libéralisation », n°2, octobre, p. 37-61.
- 102. ROUSSET, S., PONS, B. & PILANDON, C., 1995.** Sensory texture profile, grain physicochemical characteristics and instrumental measurements of cooked rice. *Journal of Texture Studies*. **26**,119-135.
- 103. SCZESNIAK, A.S., 1987.** Correlating sensory with instrumental texture measurements – an overview of recent developments. *Journal of Texture Studies*. **18**, 1-15.
- 104. SCZESNIAK A.S., 1990.** Texture: is it still an overlooked attribute. *Food Technol.*, **44** (9): 86-95.
- 105. SECALINE, 1997.** Situation alimentaire et nutritionnelle à Madagascar. Stratégie nationale de sécurité alimentaire et de nutrition, 133 p.
- 106. SESMAT, A., & MEULLENET, J.F., 2001.** Prediction of rice sensory texture attributes from a single compression test, multivariate regression, and a stepwise model optimization method. *Journal of Food Science*. **66**, 124-131.
- 107. SHIBUYA, N. 1989.** Comparative studies on the cell wall polymers obtained from different parts of rice grains. In *N.G. Lewis & M.G. Paice, eds. Plant cell wall polymers: biogenesis and biodegradation, Symp. No. 399*, p. 333-344. Washington, D.C., Am. Chem. Soc.
- 108. SINGH, N., KAUR, L., SODHI, N.S. & SEKHON, K.S., 2005.** Physicochemical, cooking and textural properties of milled rice from different Indian rice cultivars. *Food Chem*, **89**, 253-259.
- 109. SOWBHAGYA, C.M., RAMESH, B.S. & BHATTACHARYA, K.R., 1987.** The relationship between cooked-rice texture and the physicochemical characteristics of rice. *Journal of Cereal Science*. **5**, 287-297.
- 110. SOUCI, S.W., FUCHMANN, W. & KRAUT, H., 1986.** Food composition and nutrition tables 1986-1987, **3rd rev. ed.** Stuttgart, *Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH*.

- 111. TANAKA, Y., RESURRECCIÓN A.P., JULIANO, B.O. & BECHTEL, D.B., 1978.** Properties of whole and undigested fraction of protein bodies of milled rice. *Agric. Biol. Chem.*, **42**: 2015-2023.
- 112. TAIRA, H., NAKAGAHRA, M. & NAGAMINE, T., 1988.** Fatty acid composition of indica, sinica, japonica, and japonica groups of nonglutinous brown rice. *J. Agric. Food Chem.*, **36**: 45-47.
- 113. TATEOKA, T., 1963** Taxonomic studies of *Oryza* III. Key to the species and their enumeration. *Bot. Mag. (Tokyo)* **76**(899): 165–173.
- 114. TESTER R.F & MORRISSON W.R., 1990.** Swelling and gelatinization of cereals starch. II. Waxy rice starch. *Cereal Chemistry*, **67**, 558-563.
- 115. TOUZARD S. & RANDRIANAIVO H., 2003.** La consommation et les critères de qualité du riz dans la commune d'Antsirabe I (Madagascar). Université de Montpellier II, Mémoire pour l'obtention du DESS Nutrition et alimentation dans les pays en voie de développement, octobre, 66 p.
- 116. UNNIKRISHNAN K.R. & BHATTACHARYA K.R., 1987.** Influence of varietal difference on properties of paraboiled rice. *Cereal Chemistry*, **64** (5), 315-321.
- 117. UPDR/FAO/CIRAD, 2000.** Diagnostic et perspectives de la filière riz à Madagascar. Antananarivo, 89 p.
- 118. VILLARREAL, C.P. & JULIANO, B.O., 1989b.** Comparative level of waxy gene product of endosperm starch granules of different rice ecotypes. *Starch*, **41**: 369-371
- 119. VIDAL, V., PONS, B., BRUNNSCHWEILER, J., HANDSCHIN, S., ROUAU, X. & MESTRES, C., 2007.** Cooking behavior of rice in relation to kernel physicochemical and structural properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **55**, 336-346.)
- 120. WATANABE, M., MIYAKAWA, J., IKEZAWA, Z., SUZUKI, Y., HIRAO, T., YOSHIZAWA, T. & ARAI, S., 1990a.** Production of hypoallergenic rice by enzymatic decomposition of constituent proteins. *J. Food Sci.*, **55**: 781-783.
- 121. WATANABE, M., YOSHIZAWA, T., MIYAKAWA, J., IKEZAWA, Z., ABE, K., YANAGESAWA, T. & ARAI, S., 1990b.** Quality improvement and evaluation of hypoallergenic rice grains. *J. Food Sci.*, **55**: 1105-1107.
- 122. WILLIAMS, V.R., WU, W.T., TSAI, H.Y. & BATES, H.G., 1958.** Varietal differences in amylose content of rice starch. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. **6**, 47-48.
- 123. WORLD BANK., 2003.** Reaching the Rural Poor– A Renewed Strategy for Rural Development. Washington D.-C.

ANNEXE I

Présentation du de l'URP SCRiD

Le Pôle de compétences en partenariat (PCP) SCRiD a été créé fin 2001 de la volonté du FOFIFA et du CIRAD de renforcer leur coopération pour assurer l'accompagnement agronomique et économique du développement de la riziculture pluviale sur les collines. L'Université d'Antananarivo y a été associée pour promouvoir à la fois une recherche de qualité répondant aux besoins du développement, et la formation sous tous ses aspects. En mars 2004, le PCP a été érigé en Unité de Recherche en Partenariat (URP).

Le défi majeur de développement auquel l'unité se propose de répondre porte sur l'augmentation durable de la production rizicole, par l'amélioration de la productivité et de la durabilité technique et socio-économique des systèmes pluviaux qui, contribuent dans plusieurs régions du pays, en complément des rizicultures aquatiques, à la sécurité alimentaire.

En effet, à Madagascar, la demande croissante en riz et l'augmentation de la pression foncière sur les terres inondées liées à la croissance démographique, conduisent au développement d'une riziculture pluviale sur les collines. Mais, du fait de la fragilité de l'écosystème, ces systèmes pluviaux, s'ils sont conduits avec les techniques conventionnelles de travail du sol, ne permettent pas, de concilier les objectifs de durabilité et de production

Les enjeux de l'unité peuvent en effet être traduits en trois principales questions (ou « thématiques ») de recherche : (1) Comment, pourquoi et dans quelles conditions les systèmes SCV transforment-ils le milieu pour aboutir, de façon durable, à des rendements plus élevés du riz pluvial ? (2) Comment optimiser la culture du riz pluvial en SCV en diversifiant les solutions techniques ? (3) Comment intégrer les innovations riz pluvial/SCV aux systèmes de production paysans et à la filière riz malgache ?

Chacune des 3 thématiques recouvre 2 à 3 idées de recherche (cf. annexe2), comprenant chacune 2 à 4 projets de recherches.

La première phase de programmation 2002-2007 s'est clôturée par un atelier de restitution des résultats aux partenaires de la recherche et du développement, qui s'est tenu du 19 au 21 septembre 2007 à Antsirabe. Une deuxième phase a débuté fin 2007 avec une nouvelle programmation scientifique.

La programmation scientifique de l'unité a été restructurée suite aux indications de la commission d'évaluation en 2006 et aux échanges avec les partenaires de la recherche et du développement lors de l'atelier de restitution de 2007, elle est actuellement structurée en 5 grandes questions de recherche :

- Comment optimiser le fonctionnement du sol ?
- Comment améliorer la productivité et la qualité du riz ?
- Comment exploiter la biodiversité végétale pour la protection intégrée du riz pluvial ?
- Comment améliorer les processus de conception et d'évaluation des systèmes de culture durables ?
- Comment favoriser la diffusion des systèmes durables ?

Ces grandes questions se décomposent en sous questions elles-mêmes structurées de manière linéaire en 3 niveaux, un premier niveau d'analyse des processus et mécanismes, un deuxième de traduction en outil ou objet technique, et un troisième, qui n'est pas toujours recherché et atteint, de valorisation des produits de la recherche pour le développement (cf. annexe3).

ANNEXE II

PORTEFEUILLE DE PROJETS DE L'URP SCRiD

		Phase 1 Exploration stratégique	Phase 2 Génération d'hypothèses	Phase 3 Tests de faisabilité	Phase 4 Spécifications	Phase 5 Développement	Phase 6 Lancement	Phase 7 Diffusion					
T1: Déterminer les mécanismes et les conditions de transformation du milieu biophysique par les systèmes SCV	I 11: Caractériser l'interaction entre les différents systèmes SCV et les populations/dégâts des bio-agresseurs sur le riz pluvial	P111: IPM en SCV		Projeté									
		P112: Insectes terricoles en riziculture pluviale											
		P113: Biologie & gestion du Striga en SCV											
	P114: Pyriculariose en SCV		Terminés: Ecobuage & SeqC										
	I 12: Evaluer la transformation du milieu biophysique selon différents modes de gestion des sols	P121: Physico-chimie du sol en SCV											
		P122: Biologie des sols en SCV											
		P123: Bilan hydrique en SCV											
T2: Optimiser la riziculture pluviale en SCV par une diversification des solutions techniques	I 21: Développer et diffuser un matériel végétal adapté aux contraintes du milieu	P211: Amélioration productivité riz en bas-fonds		P212: Amélioration productivité riz pluvial									
		P213: Diversité génétique du riz d'altitude											
	I 22: Développer des techniques de protection du riz pluvial contre ses agresseurs	P221: Etude de population de Pyricularia sp.		P222: Résistance durable à la pyriculariose									
		P223: Lutte raisonnée contre les insectes terricoles											
		P231: Outils de diagnostic SCV											
	I 23: Optimiser la nutrition minérale du riz pluvial en SCV	P232: Nutrition azotée Riz pluvial		P233: Mycorhizes et systèmes de culture									
		P234: Fixation associative de l'azote par le riz en SCV											
T3: Analyser les conditions d'intégration des innovations riz pluvial dans les systèmes de production paysans et dans la filière riz malgache	I 31: Analyser l'adéquation entre innovation, stratégies paysannes et environnement politique, économique et social	P311: Systèmes de production Hautes-Terres		P312: Systèmes agraires et systèmes de production		P313: Environnement économique et politique							
		Projeté: Gains économiques SCV par réduction érosion											
	I 32: Etudier la segmentation du marché du riz par la qualité	P321: Filière riz pluvial		P322: Perception de la qualité									
		P323: Qualité Riz											
						P324: Semences et développement							
Action transversale		Observatoire Rizicultures pluviales durables (ORPD)											

ANNEXE III

Question de recherche	Analyse des processus et des mécanismes	Traduction en outil ou objet technique	N°
Comment optimiser le fonctionnement du sol	Quels sont les impacts du système de culture et/ou de l'environnement sur les interactions entre la biodiversité et la Matière Organique	Comment choisir les plantes entrant dans le système en fonction de leur rôle sur la biodiversité et la MO	1.1
	Quelles sont les interactions entre l'activité biologique et la disponibilité en éléments minéraux	Comment optimiser la fertilisation minérale en fonction des systèmes de culture	1.2
		Quelle est la relation entre cycle biogéochimique et la biodisponibilité du phosphore	1.3
		Comment optimiser la nutrition des plantes par la diversification microbienne (Azospirillum)	1.4
	Quels sont les impacts du système de culture et du milieu sur le bilan des éléments minéraux	Quels systèmes pour limiter les externalités négatives	1.5
Comment améliorer la productivité et la qualité du riz	quelles sont les contraintes de la culture du riz pluvial		2,1
	Quels sont les impacts du système de culture et de l'environnement sur la croissance et le développement de la culture	Comment intégrer les effets du système et de l'environnement sur la croissance et le développement du riz pluvial	2,2
		Quels seraient les systèmes les plus performants ????	2,3

Question de recherche	Analyse des processus et des mécanismes	Traduction en outil ou objet technique	N°
	Quels sont les déterminants de l'élaboration de la qualité		2,4
	Comment diversifier la base génétique pour la sélection	Comment créer de la variabilité adaptée aux différentes écologies du riz pluvial	2,5
	Comment évaluer et prédire la qualité des riz malgaches	Quelles sont les normes de qualité .Quel rôle joue la qualité sur le fonctionnement du marché du riz.Comment les acteurs organisent la qualité Comment piloter le marché par la qualité	2,6
	Quels sont les critères de qualité du riz malgache Quel est le coût de la qualité Comment la qualité peut-elle être valorisée sur le marché		2,7
Comment exploiter la biodiversité végétale pour la protection intégrée du riz pluvial	Quelles sont les plantes à propriétés insecticides, insectifuges, herbicides, allélopathiques et fongicides; et quelle est leur efficacité		3,1
	Quels sont les Impacts de la diversification végétale sur la dynamique des bio-agresseurs		3,2
	Comment caractériser les interactions entre systèmes et bio-agresseurs		3,3
	Comment diversifier les sources de résistance	Comment exploiter les sources de résistance	3,4
			3,5
	Comment se caractérisent les souches/populations des pathogènes, des ravageurs, des champignons entomopathogènes et des adventices	Comment intégrer les résultats pour identifier des stratégies de lutte durable contre la pyriculariose, les foreurs, les adventices, les vers blancs	
	Quelles sont les stratégies paysannes exploitant la biodiversité		3,6
Comment améliorer les processus de conception, et d'évaluation des systèmes de culture durables	Quelle est l'influence des paramètres biophysique (climat, sol, bioagresseurs) sur le choix des systèmes de culture	Formalisation des connaissances/plantes de couverture & leur utilisation dans SC	4,1
	Comment intégrer les résultats d'une recherche pluridisciplinaire	Comment concevoir un outil intégrateur d'évaluation multi-critères	4,2

Question de recherche	Analyse des processus et des mécanismes	Traduction en outil ou objet technique	N°
Comment favoriser la diffusion des systèmes durables	Identification de systèmes multi-usages	Intégration agriculture-élevage	5,1
	Analyse des processus d'innovation	Comment comprendre les recombinaisons de savoirs et les pratiques qui en découlent	5,2
	comment modéliser la structure et le fonctionnement des exploitations	Comment optimiser, à partir d'un modèle, les assolements incluant les SCV à l'échelle de l'exploitation	5,3
	Caractérisation des stratégies paysannes	Système d'activité & stratégie paysanne : valorisation des outils d'aide à la décision	5,4
		Dynamiques paysannes dans les bassins versants	5,5

ANNEXE IV

Liste des Fokontany

Ambanin'Ampamarinana
Ambatolampy
Ambodifilao
Ambodimita
Ambohimiadana Atsimo
Ambondrona
Anatihazo Isotry
Andrefan'Ankadimbahoaka
67 ha
Anosizato Est I
Antanimalalaka Analakely
Fiadanana III L
Ivolaniray
Manarintsoa Anatihazo
Manarintsoa Isotry
Anosipatrana Andrefana

ANNEXE V

FICHE D'ENQUETE (Enquête de consommation CUA)

Code : Enquêteur :

Village : Quartier : Arrondissement :

Nom : Age :

1- CARACTERES SOCIO-ECONOMIQUES

1- Chef de ménage	Sexe	Niveau d'instruction					Age
		1	2	3	4	5	

(illettré =1, primaire = 2, secondaire = 3, lycée = 4, supérieur = 5)

2-Taille de ménage :

3- Type de l'habitation : (en dure : 1 ; autre : 2)

2- FORME ET FREQUENCE DE CONSOMMATION DU RIZ

	Matin	Midi	Soir
Vary maina			
Vary soso			
Vary amin'anana			
Autre:			

3- VARIETES DE RIZ CONSOMMEES

	Vary maina	Vary soso	Vary amin'anana
Var :			
Var :			
Var :			

4- MODE DE CUISSON DU RIZ

Forme de préparation du riz	Quantité riz (g)	Quantité eau (g)	Durée de cuisson (min)	Combustible	Ustensile de cuisine
Vary maina					
Vary sosoa					
Vary amin'anana					

5- PROCURATION DU RIZ

Type	Lieu
Epicerie :	
Marché :	
Bord de la rue:	
Autoconsommation :	

6- PREFERENCE DES GRAINS DE RIZ

6a - quelle est votre préférence en vary maina ?

	Indicateurs de qualité «marika hitsarana ny vary »	(-)		(+)
Grains crus (fotsimbary)	Taux de cailloux (misy vato)	1	2	3
	Taux des grains étrangers (voan'ahitra)	1	2	3
	Taux de son (misy apombo)	1	2	3
	Taux de paddy (misy akotry)	1	2	3
	Taux de brisure (Tapatapaka)	1	2	3
	Humidité (tsy maina tsara)	1	2	3
Forme (bikan'ny voambary)	Long (Lava)	1	2	3
	Médium (Antonony)	1	2	3
	Court (Botry)	1	2	3
Couleur (Loko)	Rouge (mena)	1	2	3
	Jaune (mavo)	1	2	3
	Blanc (fotsy)	1	2	3
	Translucide (mangarahara)	1	2	3
Comportement à la cuisson (toetran'ny vary rehefa andrahoina)	Gonfle bien (mitombo tsara)	1	2	3
	Ne fait pas le mohaka (mohaka)	1	2	3
	Ne fait pas le mantamohaka (mantamohaka)	1	2	3
	Ne colle pas (misaratsaraka tsara)	1	2	3
	Facile à cuire (mora andrahoina)	1	2	3
Digestibilité	Reste plus long temps dans le ventre (mateza an-kibo)	1	2	3
Goût (tsiro)	Sans goût caractéristique (tsy misy tsiro manokana)	1	2	3
	Goût sucré (mamy)	1	2	3
	Goût laiteux (matavy)	1	2	3

6b - quelle est votre préférence en vary sosoa ?

	Indicateurs de qualité «marika hitsarana ny vary »	(-)		(+)
Grains crus (fotsimbary)	Taux de cailloux (misy vato)	1	2	3
	Taux des grains étrangers (voan'ahitra)	1	2	3
	Taux de son (misy apombo)	1	2	3
	Taux de paddy (misy akotry)	1	2	3
	Taux de brisure (Tapatapaka)	1	2	3
	Humidité (tsy maina tsara)	1	2	3
Forme (bikan'ny voambary)	Long (Lava)	1	2	3
	Médium (Antonony)	1	2	3
	Court (Botry)	1	2	3
Couleur (Loko)	Rouge (mena)	1	2	3
	Jaune (mavo)	1	2	3
	Blanc (fotsy)	1	2	3
	Translucide (mangarahara)	1	2	3
Comportement à la cuisson (toetran'ny vary rehefa andrahoina)	Gonfle bien (mitombo tsara)	1	2	3
	Ne fait pas le mohaka (mohaka)	1	2	3
	Ne fait pas le mantamohaka (mantamohaka)	1	2	3
	Ne colle pas (misaratsaraka tsara)	1	2	3
	Facile à cuire (mora andrahoina)	1	2	3
Digestibilité	Reste plus long temps dans le ventre (mateza an-kibo)	1	2	3
Goût (tsiro)	Sans goût caractéristique (tsy misy tsiro manokana)	1	2	3
	Goût sucré (mamy)	1	2	3
	Goût laiteux (matavy)	1	2	3

6c - quelle est votre préférence en vary amin'ny anana ?

	Indicateurs de qualité «marika hitsarana ny vary »	(-)		(+)
Grains crus (fotsimbary)	Taux de cailloux (misy vato)	1	2	3
	Taux des grains étrangers (voan'ahitra)	1	2	3
	Taux de son (misy apombo)	1	2	3
	Taux de paddy (misy akotry)	1	2	3
	Taux de brisure (Tapatapaka)	1	2	3
	Humidité (tsy maina tsara)	1	2	3
Forme (bikan'ny voambary)	Long (Lava)	1	2	3
	Médium (Antonony)	1	2	3
	Court (Botry)	1	2	3
Couleur (Loko)	Rouge (mena)	1	2	3
	Jaune (mavo)	1	2	3
	Blanc (fotsy)	1	2	3
	Translucide (mangarahara)	1	2	3
Comportement à la cuisson (toetran'ny vary rehefa andrahoina)	Gonfle bien (mitombo tsara)	1	2	3
	Ne fait pas le mohaka (mohaka)	1	2	3
	Ne fait pas le mantamohaka (mantamohaka)	1	2	3
	Ne colle pas (misaratsaraka tsara)	1	2	3
	Facile à cuire (mora andrahoina)	1	2	3
Digestibilité	Reste plus long temps dans le ventre (mateza an-kibo)	1	2	3
Goût (tsiro)	Sans goût caractéristique (tsy misy tsiro manokana)	1	2	3
	Goût sucré (mamy)	1	2	3
	Goût laiteux (matavy)	1	2	3

ANNEXE VI

FICHE D'OBSERVATION (Evaluation auprès des ménages)

a- Appréciation des grains crus

		-				+	Observation
		1	2	3	4	5	
Couleur							
Brillance							
Transparence							
Taux de brisure							
Impureté	Paddy						
	Grains étrangers						
	Cailloux						
	Grains verts						
Forme	Long						
	Médium						
	court						

b- Appréciation des grains cuits

		-				+	Observation
		1	2	3	4	5	
Gonflement							
Eparpillement							
Fermeté							
Collant							
Mohaka							
Mantamohaka							
Goût							
Rassasiant							
Tenue au ventre							
Facile à digérer							
Caractéristique du riz % aux autres :							

Notes d'évaluation quantitative : la note la plus élevée : 5 est pour les échantillons présentant le plus cet attribut

c- Mode de cuisson

	Observation
Quantité eau	
Quantité riz	
Durée de cuisson	

ANNEXE VII

FICHE TEST SENSORIEL

TEST SENSORIEL DU / /2007

NOM :

CODE : 0_ _ _07

Cochez par variable une note (1 à 9) pour le produit

- *Eparpillement des grains*
1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7 - 8 - 9
- *Fermeté visuelle*
1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7 - 8 - 9
- *Grains déformés*
1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7 - 8 - 9
- *Collant pendant la mastication*
1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7 - 8 - 9
- *Fermeté pendant la mastication*
1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7 - 8 - 9
- *Nombre de mastications*
1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7 - 8 - 9
- *Résidu de mastication*
1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7 - 8 - 9

ANNEXE VIII

Valeurs de a, b et r utilisées pour le calcul de la composition en acides aminés des grains de riz

RIZ			
	a	b	r
Gly	283 ± 9	-8 ± 14	997
Ala	365 ± 9	-46 ± 15	998
Val	425 ± 17	-87 ± 28	995
Leu	550 ± 17	-90 ± 28	997
Ile	306 ± 23	-78 ± 37	984
Ser	378 ± 15	-102 ± 24	995
Thr	231 ± 8	-25 ± 13	996
Tyr	379 ± 11	-102 ± 18	997
Phe	342 ± 15	-45 ± 24	995
Trp	82 ± 3	-11 ± 4	997
Pro	320 ± 17	-74 ± 28	991
Met	106 ± 23	59 ± 38	885
Cys	88 ± 16	92 ± 25	916
Lys	201 ± 11	49 ± 18	991
His	135 ± 9	17 ± 15	986
Arg	517 ± 25	-2 ± 40	993
Asx	548 ± 17	-13 ± 27	997
Glx	1299 ± 47	-402 ± 76	996
NH3	168 ± 19	-61 ± 30	965

Chacun des 19 acides aminés est caractérisé par 3 coefficients : la pente a (\pm écart type), l'ordonnée à l'origine b (\pm écart type), et le coefficient de corrélation r. Ces données sont fournies après multiplication par 1000 pour éviter des décimales encombrantes. (Mossé, 1990).

ANNEXE IX

Profils de référence servant à estimer l'indice chimique d'une protéine
[FAO/OMS/UNU,1986].

Acide aminé	Profil de référence	
	nouveau -né (mg/g protéines)	2ans et plus (mg/g protéines)
Histidine	26	19
Isoleucine	46	28
Leucine	93	66
Lysine	66	58
Méthionine + Cystéine	42	25
Phénylalanine + Tyrosine	72	63
Thréonine	43	34
Tryptophane	17	11
Valine	55	35

ANNEXE X

Teneurs en acides aminés exprimées en g pour 100g de MS (échantillons de l'étude préliminaire)

	Tta	Gbm	Mk34	Tme	Ttr	Mnl	Sem	Fa 161	Fa 167
Gly	0,39	0,38	0,34	0,42	0,37	0,39	0,42	0,42	0,38
Ala	0,50	0,49	0,43	0,53	0,47	0,49	0,53	0,54	0,49
Val	0,51	0,50	0,44	0,55	0,48	0,50	0,55	0,55	0,50
Leu	0,69	0,67	0,59	0,74	0,64	0,67	0,74	0,74	0,67
Ile	0,35	0,34	0,30	0,38	0,33	0,35	0,38	0,38	0,34
Ser	0,43	0,42	0,36	0,47	0,40	0,42	0,47	0,47	0,42
Thr	0,30	0,29	0,26	0,32	0,28	0,30	0,32	0,32	0,29
Tyr	0,43	0,42	0,36	0,47	0,40	0,42	0,47	0,47	0,42
Phe	0,44	0,43	0,38	0,47	0,41	0,43	0,47	0,47	0,43
Trp	0,10	0,10	0,09	0,11	0,10	0,10	0,11	0,11	0,10
Pro	0,38	0,37	0,32	0,41	0,35	0,37	0,41	0,41	0,37
Met	0,21	0,21	0,19	0,22	0,20	0,21	0,22	0,22	0,21
Cys	0,22	0,21	0,20	0,22	0,21	0,21	0,22	0,22	0,21
Lys	0,33	0,33	0,30	0,35	0,32	0,33	0,35	0,35	0,33
His	0,21	0,20	0,18	0,22	0,20	0,20	0,22	0,22	0,20
Arg	0,73	0,71	0,63	0,77	0,69	0,72	0,77	0,78	0,71
Asx	0,76	0,74	0,66	0,81	0,72	0,75	0,81	0,81	0,74
Glx	1,43	1,39	1,20	1,55	1,33	1,40	1,55	1,56	1,39

Tta : *Tsipala tanety* ; Gbm : *Gasy bota mena* ; Mk34 : *Makalioka* ; Tme : *Tsipala mena* ;
Ttr : *Tsipala tranainy* ; Mnl : *Manalalondo* ; Sem : *Semence* ; Fa 161 : *Fofifa 161* ;
Fa167 : *Fofifa 167*.

Teneurs en acides aminés exprimées en g pour 100g de protéines (échantillons de l'étude préliminaire)

	Tta	Gbm	Mk34	Tme	Ttr	Mnl	Sem	Fa 161	Fa 167
Gly	4,44	4,44	4,42	4,44	4,43	4,44	4,44	4,44	4,44
Ala	5,64	5,63	5,56	5,67	5,61	5,63	5,67	5,67	5,63
Val	5,81	5,79	5,67	5,87	5,75	5,80	5,87	5,88	5,79
Leu	7,78	7,76	7,63	7,84	7,72	7,76	7,84	7,85	7,76
Ile	4,01	3,99	3,88	4,06	3,96	4,00	4,06	4,07	3,99
Ser	4,89	4,87	4,72	4,96	4,82	4,87	4,96	4,97	4,87
Thr	3,41	3,41	3,37	3,43	3,40	3,41	3,43	3,43	3,41
Tyr	4,91	4,88	4,74	4,98	4,84	4,89	4,98	4,98	4,88
Phe	4,96	4,95	4,89	4,99	4,93	4,95	4,99	5,00	4,95
Trp	1,19	1,18	1,17	1,19	1,18	1,19	1,19	1,20	1,18
Pro	4,28	4,26	4,16	4,33	4,23	4,27	4,33	4,34	4,26
Met	2,41	2,43	2,51	2,37	2,45	2,42	2,37	2,37	2,43
Cys	2,45	2,47	2,60	2,39	2,51	2,47	2,39	2,38	2,47
Lys	3,77	3,78	3,85	3,74	3,81	3,78	3,74	3,74	3,78
His	2,35	2,36	2,38	2,34	2,36	2,36	2,34	2,34	2,36
Arg	8,25	8,25	8,25	8,25	8,25	8,25	8,25	8,25	8,25
Asx	8,62	8,62	8,60	8,63	8,61	8,62	8,63	8,63	8,62
Glx	16,22	16,12	15,55	16,50	15,95	16,16	16,50	16,52	16,12

Tta : *Tsipala tanety* ; Gbm : *Gasy bota mena* ; Mk34 : *Makalioka* ; Tme : *Tsipala mena* ;
Ttr : *Tsipala tranainy* ; Mnl : *Manalalondo* ; Sem : *Semence* ; Fa 161 : *Fofifa 161* ;
Fa167 : *Fofifa 167*

Teneurs en acides aminés exprimées en g pour 100g de MS (échantillons de l'étude approfondie)

	3290d	3290p	Mk34d	Mk34p	3737d	3737p	X265d	X265p	RAd	RAp
Gly	0,42	0,45	0,38	0,38	0,41	0,42	0,39	0,41	0,35	0,37
Ala	0,54	0,57	0,48	0,48	0,52	0,54	0,49	0,52	0,44	0,46
Val	0,56	0,6	0,49	0,49	0,53	0,56	0,51	0,54	0,45	0,47
Leu	0,75	0,8	0,66	0,66	0,71	0,75	0,68	0,72	0,61	0,64
Ile	0,39	0,41	0,34	0,34	0,37	0,39	0,35	0,37	0,31	0,33
Ser	0,47	0,51	0,41	0,41	0,45	0,48	0,43	0,45	0,38	0,40
Thr	0,33	0,35	0,29	0,29	0,31	0,33	0,30	0,31	0,27	0,28
Tyr	0,47	0,51	0,41	0,41	0,45	0,48	0,43	0,46	0,38	0,40
Phe	0,47	0,51	0,42	0,42	0,45	0,48	0,43	0,46	0,39	0,41
Trp	0,11	0,12	0,10	0,10	0,11	0,11	0,10	0,11	0,09	0,10
Pro	0,41	0,44	0,36	0,36	0,39	0,42	0,37	0,40	0,33	0,35
Met	0,22	0,23	0,21	0,21	0,22	0,23	0,21	0,22	0,20	0,20
Cys	0,23	0,23	0,21	0,21	0,22	0,23	0,22	0,22	0,20	0,21
Lys	0,35	0,37	0,32	0,32	0,34	0,36	0,33	0,34	0,30	0,31
His	0,22	0,23	0,20	0,20	0,21	0,22	0,21	0,22	0,19	0,20
Arg	0,78	0,83	0,70	0,70	0,75	0,79	0,72	0,76	0,65	0,68
Asx	0,82	0,87	0,73	0,73	0,79	0,83	0,75	0,79	0,68	0,71
Glx	1,57	1,69	1,36	1,36	1,49	1,59	1,42	1,51	1,25	1,31

Mk34 :Makalioka ; RAd: Rojomena Ambohimidanad; RAp: Rojomena Ambohimidanap

Teneurs en acides aminés exprimées en g pour 100g de protéines (échantillons de l'étude approfondie)

	3290d	3290p	Mk34d	Mk34p	3737d	3737p	X265d	X265p	RAd	RAp
Gly	4,44	4,45	4,43	4,43	4,44	4,44	4,44	4,44	4,43	4,43
Ala	5,68	5,70	5,62	5,62	5,66	5,68	5,17	5,66	5,58	5,60
Val	5,88	5,94	5,78	5,78	5,85	5,89	5,81	5,85	5,70	5,75
Leu	7,85	7,91	7,74	7,74	8,80	7,86	7,77	7,82	7,67	7,71
Ile	4,07	4,12	3,98	3,98	4,04	4,08	4,00	4,05	3,91	3,95
Ser	4,97	5,03	4,85	4,85	4,93	4,98	4,88	4,94	5,07	4,81
Thr	3,43	3,45	3,40	3,40	3,42	3,43	3,41	3,42	3,38	3,39
Tyr	4,99	5,05	4,86	4,86	4,95	5,00	4,90	4,95	4,78	4,83
Phe	5,00	5,02	4,94	4,94	4,98	5,00	4,96	4,98	4,91	4,93
Trp	1,20	1,20	0,78	0,78	1,19	1,20	1,19	1,19	1,17	1,18
Pro	4,34	4,38	4,25	4,25	4,31	4,35	4,27	4,31	4,19	4,22
Met	2,37	2,33	2,44	2,44	2,39	2,36	2,42	2,39	2,49	2,46
Cys	2,38	2,32	2,49	2,49	2,42	2,37	2,46	2,41	2,57	2,52
Lys	3,73	3,70	3,79	3,79	3,75	3,73	3,78	3,75	3,83	3,81
His	2,34	2,33	2,36	2,36	2,35	2,34	2,35	2,35	2,37	2,37
Arg	8,25	8,25	8,25	8,25	8,25	8,25	8,25	8,25	8,25	8,25
Asx	8,63	8,64	8,62	8,62	8,63	8,63	8,62	8,63	8,60	8,61
Glx	16,55	16,79	16,05	16,05	16,38	16,58	16,19	16,41	15,72	15,91

Mk34 :Makalioka ; RAd: Rojomena Ambohimiadanad; RAp: Rojomena Ambohimiadanap

Teneurs en acides aminés exprimées en g pour 100g de MS (échantillons de l'étude approfondie)

	RAdd	RMd	RMdd	Fa154d	3728d	RFd	VMAp	VBAp	B22p	Sebd
Gly	0,36	0,39	0,39	0,49	0,42	0,46	0,37	0,41	0,49	0,41
Ala	0,45	0,50	0,50	0,64	0,54	0,60	0,47	0,52	0,63	0,52
Val	0,46	0,52	0,52	0,67	0,56	0,62	0,48	0,54	0,66	0,53
Leu	0,62	0,69	0,69	0,88	0,75	0,83	0,65	0,72	0,88	0,71
Ile	0,32	0,36	0,36	0,46	0,39	0,43	0,33	0,37	0,46	0,37
Ser	0,39	0,43	0,43	0,57	0,48	0,53	0,40	0,45	0,56	0,45
Thr	0,27	0,30	0,30	0,38	0,33	0,36	0,28	0,31	0,38	0,31
Tyr	0,39	0,44	0,44	0,57	0,48	0,53	0,41	0,46	0,57	0,45
Phe	0,30	0,44	0,44	0,56	0,48	0,53	0,41	0,46	0,56	0,45
Trp	0,09	0,11	0,11	0,13	0,11	0,13	0,10	0,11	0,13	0,11
Pro	0,34	0,38	0,38	0,49	0,42	0,46	0,35	0,40	0,49	0,39
Met	0,20	0,21	0,21	0,25	0,23	0,24	0,21	0,22	0,25	0,22
Cys	0,21	0,22	0,22	0,25	0,23	0,24	0,21	0,22	0,25	0,22
Lys	0,31	0,33	0,33	0,40	0,36	0,38	0,32	0,34	0,40	0,34
His	0,19	0,21	0,21	0,26	0,22	0,24	0,20	0,22	0,25	0,21
Arg	0,66	0,73	0,73	0,91	0,79	0,86	0,69	0,76	0,91	0,75
Asx	0,54	0,77	0,77	0,96	0,83	0,90	0,72	0,79	0,95	0,79
Glx	0,90	1,44	1,44	1,90	1,59	1,77	1,34	1,51	1,88	1,49

RAdd : *Rojomena Ambohimiadana,dd* ; RMd : *Rojomena Mandiavato d* ;

RMdd : *Rojomena Mandiavato dd*; RFd : *Rojofotsyd*, ;

VMAp : *Vary mena Ambohimiadanap* ; VBAp : *Vary botry Ambohimiadanap* ;

Sebd : *Sebota 41d*.

Teneurs en acides aminés exprimées en g pour 100g de protéines (échantillons de l'étude approfondie)

	RAdd	RMd	RMdd	Fa154d	3728d	RFd	VMAp	VBAp	B22p	Sebd
Gly	4,63	4,44	4,44	4,46	4,44	4,45	4,43	4,44	4,46	4,44
Ala	6,73	5,64	5,64	5,74	5,68	5,72	5,61	5,66	5,74	5,66
Val	7,88	5,82	5,82	6,01	5,89	5,97	5,76	5,85	6,01	5,85
Leu	9,92	7,79	7,79	7,99	7,86	7,94	7,73	7,82	7,98	7,81
Ile	5,86	4,02	4,02	4,19	4,08	4,15	3,96	4,05	4,19	4,04
Ser	7,31	4,90	4,90	5,13	4,98	5,07	4,83	4,94	5,12	4,93
Thr	4,01	3,41	3,41	3,47	3,43	3,46	3,40	3,42	3,47	3,42
Tyr	7,33	4,91	4,91	5,14	5,00	5,09	4,85	4,95	5,14	4,95
Phe	6,03	4,96	4,96	5,07	5,00	5,04	4,93	4,98	5,06	4,98
Trp	1,45	1,19	1,19	1,21	1,20	1,21	1,18	1,19	1,21	1,19
Pro	6,04	4,29	4,29	4,45	4,35	4,41	4,24	4,31	4,45	4,31
Met	1,01	2,41	2,41	2,28	2,36	2,31	2,45	2,39	2,28	2,39
Cys	0,27	2,44	2,44	2,24	2,37	2,29	2,51	2,41	2,24	2,42
Lys	2,61	3,77	3,77	3,66	3,73	3,69	3,80	3,75	3,66	3,75
His	1,95	2,35	2,35	2,31	2,34	2,32	2,36	2,35	2,31	2,35
Arg	8,30	8,25	8,25	8,25	8,25	8,25	8,25	8,25	8,25	8,25
Asx	8,93	8,62	8,62	8,65	8,63	8,64	8,61	8,63	8,65	8,63
Glx	25,77	16,25	16,25	17,15	16,58	16,93	15,98	16,41	17,13	16,38

RAdd : *Rojomena Ambohimiadana,dd* ; RMd : *Rojomena Mandiavato d* ;

RMdd : *Rojomena Mandiavato dd*; RFd : *Rojofotsyd* ;

VMAp : *Vary mena Ambohimiadanap* ; VBAp : *Vary botry Ambohimiadanap* ;

Sebd : *Sebota 41d*.

ANNEXE XI



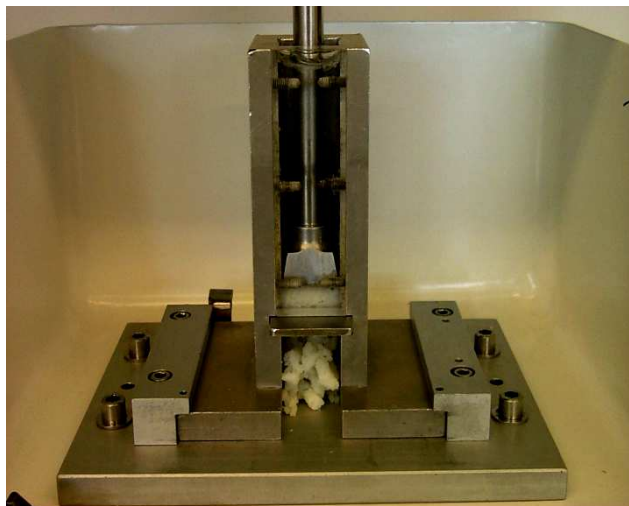
Compteur de grains Numigral



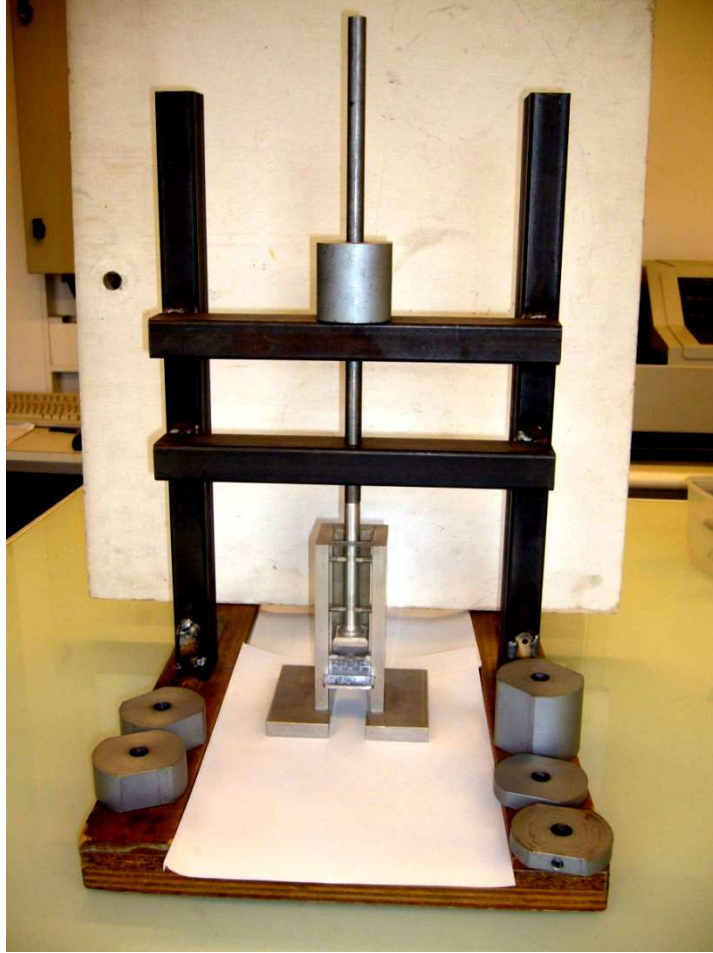
Chromamètre Minolta



Texturomètre Instron Food Tester



Cellule d'extrusion pour la mesure de la fermeté



Texturomètre manuel



Décortiqueur artisanal

i

Publication scientifique

i

EVALUATION DE LA QUALITE DE QUELQUES VARIETES DE RIZ DE MADAGASCAR*

par

Veronirina RAHANITRARIVONY^o, Charlotte RALISON^o,
Brigitte PONS^{oo}, Christian MESTRES^{oo}

1. Introduction

Le riz constitue l'aliment de base des malgaches. Avec une consommation de l'ordre de 125kg/habitant/an, Madagascar fait partie des pays les plus consommateurs de riz dans le monde. Le riz est également la principale source de revenu des ménages dans 45% des communes malgaches.

Malgré l'importance de cette céréale, les données relatives à la qualité sont rares. Les critères recherchés par les consommateurs malgaches ont été récemment identifiés lors d'enquêtes réalisées à Antsirabe et à Antananarivo. Les plus importants sont les caractéristiques des grains crus et le comportement à la cuisson, en particulier la texture du riz cuit.

Pour mieux comprendre ces attentes des consommateurs et pour pouvoir proposer des variétés permettant de satisfaire leur demande, il s'avère nécessaire d'avoir une bonne connaissance de ces critères de qualité et des facteurs qui les influencent.

Ainsi le présent travail vise à étudier les propriétés physico-chimiques et texturales des riz malgaches et de chercher à développer des méthodes simples et rapides d'évaluation de la qualité des riz malgaches.

2. Méthodologie

2.1. Matériels d'étude

L'étude a été effectuée sur 9 échantillons de riz, choisis comme les plus représentatifs (forme, couleur, provenance, transformation) de la diversité des riz malgaches. Ces échantillons sont composés

de 3 variétés de riz pluvial et 6 variétés de riz irrigué.

Parmi les riz pluviaux, 2 variétés (Fofifa 161 et Fofifa 167), ont été fournies gracieusement par les chercheurs sélectionneurs du SCRID (CIRAD et FOFIFA) sous forme de paddy et décortiqués à l'aide d'une machine artisanale et une variété, la *tsipala tanety*, a été achetée au marché.

Les riz irrigués ont été achetés sur les marchés d'Antananarivo (Anosibe et Talatamaty). Il s'agit des variétés: *Gasy bota mena*, *Makalioka*, *Tsipala mena*, *Tsipala tranainy*, *Manalalondo* et Semence. Les riz achetés sont tous déjà blanchis.

2.2. Analyses physico-chimiques et instrumentales des grains de riz

2.2.1. Caractérisation physico-chimique

Les caractéristiques physiques: longueur, largeur, taux de grains entiers, masse de mille grains, couleur et les caractéristiques biochimiques: teneur en amylose, teneur en protéines, teneur en cendres ont été évaluées sur riz cru.

2.2.1.1. Caractérisation physique

2.2.1.1.1. Détermination du taux de grains entiers

Les brisures et les grains entiers sont séparés à l'aide d'une plaque à alvéoles adaptée à la morphologie de l'échantillon analysé. Le taux de grains entiers est déterminé pondéralement suivant la formule:

$$\text{Taux de grains entiers (\%)} = (100 \times \text{masse de grains entiers}) / (\text{masse de riz global})$$

* Communication présentée lors de la séance de la Section des Sciences Fondamentales et de la Section des Sciences Appliquées du Jeudi 15 Mars 2012.

o Chercheurs au Laboratoire de Biochimie Appliquée aux Sciences de l'Alimentation et à la Nutrition de l'Université d'Antananarivo.

oo Chercheurs à l'UR 24 Qualité des aliments tropicaux, CIRAD-CA, Montpellier.

2.2.1.1.2. Détermination des dimensions des grains

Environ 100 grains entiers de riz sont étalés sur la vitre d'un scanner. Après numérisation, une analyse de l'image est alors réalisée à l'aide du logiciel Sigma Scan Pro 5.0 afin de déterminer la longueur (L) et la largeur (l) moyennes.

2.2.1.1.3. Détermination du poids de mille grains

Les riz sont comptés à l'aide d'un compteur automatique (Numigral) puis pesés.

2.2.1.1.4. Détermination de la couleur

Elle se fait à l'aide d'un chromamètre (Minolta). On détermine la luminance (L), l'indice de rouge (a) et l'indice de jaune (b).

2.2.1.2. Caractérisation biochimique

Les éléments biochimiques susceptibles d'influencer la qualité du riz ont été déterminés: teneurs en amylose, en protéines et en cendres.

2.2.1.2.1. Détermination de la teneur en amylose

La teneur en amylose a été dosée par colorimétrie selon la norme internationale ISO 6647. Le principe est de mesurer l'absorbance à 620nm du complexe coloré bleu formé par l'amylose et l'iode en milieu acide. L'intensité du complexe est proportionnelle à la quantité d'amylose présente.

2.2.1.2.2. Détermination de la teneur en protéines

La teneur en protéines a été calculée à partir de la teneur en azote dosée selon la méthode de Kjeldahl.

2.2.1.2.3. Détermination de la teneur en cendres

La teneur en cendres est déterminée pondéralement après incinération à 500°C pendant 3h.

2.2.2. Etude du comportement du riz à la cuisson

Dans cette partie, le temps de cuisson et la fermeté de chaque échantillon ont été déterminés.

2.2.2.1. Détermination du temps de cuisson du riz optimum

Le temps de cuisson de chaque échantillon a été évalué par le suivi de la translucidité du riz, selon la méthode de Ranghino.

2.2.2.2. Evaluation de la texture du riz cuit: mesure de la fermeté

Des conditions de cuisson proches de celles utilisées par les consommateurs malgaches pour préparer le *vary maina* ont été utilisées: eau de départ à température ambiante, rapport eau/riz de 1,8 et durée de cuisson 30 minutes.

Après cuisson, on mesure la force nécessaire au passage du riz cuit au travers d'une plaque perforée de trous de 6 mm de diamètre.

Deux types d'appareil ont été utilisés pour mesurer la fermeté du riz cuit:

- Texturomètre automatisé (Instron Food Tester) qui mesure en continu la force nécessaire à l'extrusion du riz au travers de la plaque perforée à une vitesse de 10 cm/min.
- Texturomètre manuel: on ajoute progressivement des masses calibrées au sommet du piston jusqu'à observer l'extrusion du riz à travers la grille.

Les résultats des mesures obtenues avec les deux instruments ont été comparés.

3. Résultats et discussions

3.1. Caractéristiques physico-chimiques des grains de riz de Madagascar

Les caractéristiques physico-chimiques sont regroupées dans le tableau 1.

Tableau 1: Caractéristiques physico-chimiques des échantillons de riz de Madagascar

Echantillons	Long (mm)	Larg (mm)	Long/Larg	TGE (%)	PMG (g)	COULEUR			Amy (%ms)	Prot (%ms)	Cendres (%ms)
						L	a	b			
Tsipala antanety	6,2	2,4	2,6	54,4	19,4	73.6	3.35	14.08	21.5	8.4	0.53
Gasy bota mena	4,8	2,8	1,7	84,6	18,3	66.4	5.08	14.39	21	8.2	0.76
Makalioka	6,3	2,1	3	38	17,3	73.5	1.08	14.7	22.1	7.3	0.44

Echantillons	Long (mm)	Larg (mm)	Long/Larg	TGE (%)	PMG (g)	L	a	b	Amy (%ms)	Prot (%ms)	Cendres (%ms)
Tsipala mena	6,1	2,4	2,5	78	19,4	64,6	3,3	16,75	17,8	8,9	0,97
Tsipala tranainy	6,3	2,4	2,6	55	19,2	68,5	2,21	17,41	19,7	7,9	0,69
Manalalondo	6,3	2,8	2,2	78,8	25,3	52,7	9,1	15,55	18,6	8,3	1,15
Semence	5,5	2,7	2,1	65,8	18,7	68,5	2,63	17,07	21,1	8,9	0,67
Fofifa 161	5,4	2,8	2	49,7	21,7	72,9	1,09	15,15	17,8	9	0,37
Fofifa 167	5,6	2,5	2,3	47,6	19,5	72,0	1,37	15,79	18,5	8,2	0,36

TGE: Taux de grains entiers
Amy: amylose
%ms: % matière sèche

PMG: poids de mille grains
Prot: protéines

3.1.1. Caractéristiques physiques des grains de riz

Format des grains: la longueur moyenne des grains de riz varie de 4.8mm à 6.3mm et la largeur moyenne de 2.1mm à 2.8mm. Selon la classification communautaire européenne pour le riz, les échantillons sont classés comme suit:

- le *Makalioka* est du type long B: $L > 6\text{mm}$ et $L/l \geq 3$;
- les riz *Manalalondo*, *Tsipala tranainy*, *Tsipala mena* et *Tsipala an-tanety* sont du type long A: $L > 6$ et $2 < L/l < 3$;
- les riz *Semence*, *Fofifa 161*, *Fofifa 167* sont du type médium: $5.2 < L < 6$ et $L/l < 3$;
- le riz *Gasy bota mena* est de type rond: $L < 5.2$ et $L/l < 2$.

La préférence actuelle des consommateurs européens tend vers les types longs A et B. Pour les malgaches, leur préférence dépend de la forme de consommation du riz.

Poids de 1000 grains: varie de 17.25 g à 25.26g. Le *Manalalondo* présente la valeur la plus élevée (25.26g) et le *Makalioka* la plus faible (17.25g).

Taux de grains entiers: varie de 38% (*Makalioka*) à 84.6% (*Gasy bota mena*). Le format des grains influence la qualité des grains crus: les grains les plus longs et fins résistent moins à l'usinage et

présentent un fort taux de brisures (cas de *Makalioka*) tandis que les grains les plus gros sont plus résistants et présentent le taux de grains entiers le plus élevé (cas du *Gasy bota mena*). La présence de fort taux de brisures pourrait s'expliquer également par l'utilisation par les transformateurs malgaches des machines artisanales peu performantes pour l'usinage du riz, et/ou des conditions de séchage inappropriées.

Couleur: La valeur de luminance (ou clarté, L) des échantillons varie de 52.7 à 73.6. On peut noter des intensités de rouge (a) comprises entre 3 et 9, pour des grains à péricarpe coloré et/ou des grains dont l'usinage a été moins poussé.

3.1.2. Caractéristiques biochimiques des riz

Teneur en amylose: elle présente une amplitude de variation peu importante, soit entre 17.8% (*Tsipala mena*) et 22.1% (*Makalioka*).

Teneur en protéines: Elle varie de 7.3% à 9 % de la matière sèche. La valeur la plus faible appartient au riz *Makalioka* et la plus élevée au *Fofifa 161*.

Teneur en cendres: Elle varie de 0.36-0.37 % (*Fofifa 167* et *161*) à 1.15 % (*Manalalondo*).

3.2. Comportement du riz à la cuisson

Le tableau 2 regroupe le temps de cuisson et les fermetés des riz.

Tableau 2: Temps de cuisson et fermetés des riz cuits selon les 2 méthodes d'évaluation

Echantillon	Temps de cuisson (min)	Fermeté INSTRON (kg/cm ²)	Fermeté «manuelle» (kg/cm ²)
Tsipala an-tanety	26	0.81	0.4
Gasy bota mena	25	0.81	0.5
Makalioka	22	0.77	0.5
Tsipala mena	25	1.22	0.5
Tsipala tranainy	25	0.61	0.4
Manalalondo	27	1.06	0.6
Semence	23	-	-
Fofifa 161	25	0.58	0.3
Fofifa 167	25	0.66	0.3

3.2.1. Temps de cuisson du riz

Les temps de cuisson des riz sont compris entre 22 et 27 minutes. C'est le *Makalioka* qui a la durée de cuisson la plus courte (22min) et le *Manalalondo* la plus longue (27min). Ce temps de cuisson long pourrait s'expliquer par sa valeur élevée en poids de mille grains et aussi par la présence de péricarpe sur cet échantillon.

3.2.3. Evaluation de la fermeté du riz cuit

Les mesures obtenues avec les deux méthodes ont montré que les valeurs de fermeté élevées sont pour les riz *Tsipala mena* et *Manalalondo* et les faibles valeurs pour *Tsipala tranainy*, Fofifa 161 et Fofifa 167.

3.3. Etude des corrélations entre les différentes caractéristiques mesurées

3.3.1. Corrélation entre les caractéristiques physiques et les caractéristiques biochimiques

3.3.1.1. Corrélation entre la luminance du riz et la teneur en cendres

La figure 1 montre qu'il y a une corrélation négative hautement significative ($r=-0,93$) entre la luminance du riz et la teneur en cendres. Les variétés de riz ayant des valeurs de clarté faibles ont des teneurs en cendres élevées. Les variétés les moins usinées ont donc une teneur en cendres plus élevée (présence plus importante de péricarpe et couche à aleurone, riches en cendres) et une teinte plus sombre, voire une coloration rougeâtre (valeur de a élevée, corrélée à la teneur en cendres; $r=0,85$), pour certains échantillons à péricarpe coloré.

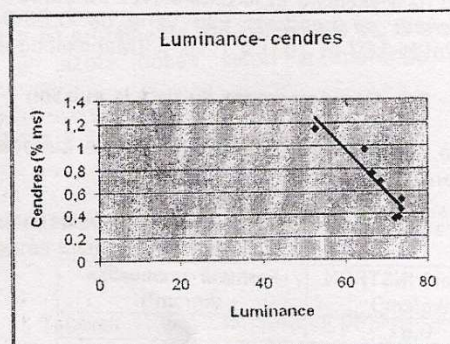


Figure 1: Relation entre la luminance et la teneur en cendres

3.3.2. Corrélation entre les caractéristiques physico-chimiques et le temps de cuisson du riz

3.3.2.1. Corrélation entre le poids de mille grains et le temps de cuisson du riz

Il y a une corrélation positive ($r=0,54$) entre le poids de mille grains et le temps de cuisson du riz (figure 2).

Le temps de cuisson du riz augmente avec le poids de mille grains.

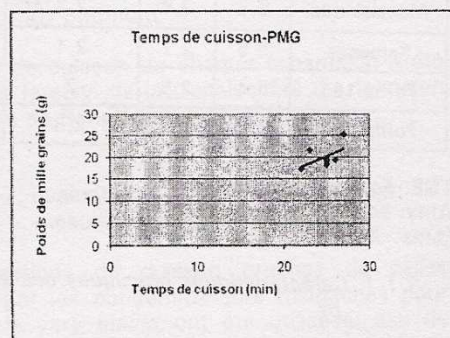


Figure 2: Relation entre poids de mille grains et le temps de cuisson du riz

3.3.2.2. Corrélation entre le taux de grains entiers et le temps de cuisson du riz

La figure 3 montre une corrélation significative ($r=0,63$) entre le taux de grains entiers et le temps de cuisson du riz.

Le temps de cuisson du riz augmente avec le taux de grains entiers.

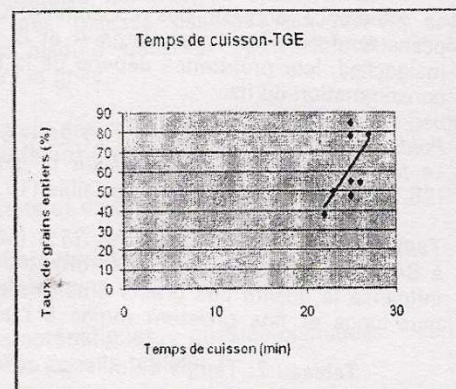


Figure 3: Relation entre le taux de grains entiers et le temps de cuisson du riz

3.3.2.3. Corrélation entre luminance et temps de cuisson du riz

Il y a une corrélation négative ($r=-0,65$) entre la luminance et le temps de cuisson du riz (figure 4). Les variétés ayant des valeurs de luminance faibles nécessitent des temps de cuisson plus longs.

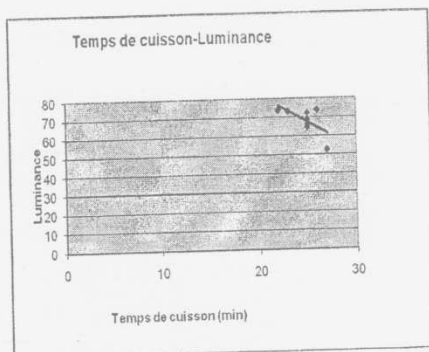


Figure 4: Relation entre la luminance et le temps de cuisson du riz

3.3.3. Corrélation entre les 2 mesures de fermeté testées

La figure 5 montre une corrélation significative ($r=0,75$) entre les 2 tests d'évaluation de la fermeté; la méthode «manuelle» peut être utilisée en routine à Madagascar et donnera une valeur de fermeté fiable pour caractériser la texture des riz malgaches.

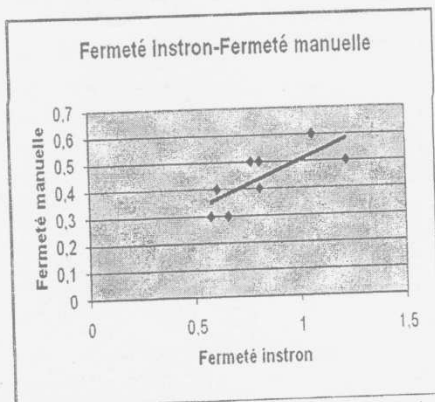


Figure 5: Corrélation entre les 2 mesures de fermeté testées

3.3.4. Corrélation entre caractéristique physico-chimique et fermeté du riz cuit

Les caractéristiques morphologiques, la teneur en protéines et la teneur en amylose des variétés étudiées n'apparaissent pas corrélées à la fermeté du riz cuit.

On observe pourtant généralement une corrélation positive entre la teneur en amylose et la fermeté du riz (Juliano, 1979).

On observe toutefois (figure 6) une corrélation significative ($r=0,81$) entre la teneur en cendres et la fermeté du riz cuit: la valeur de fermeté des riz augmente avec la teneur en cendres.

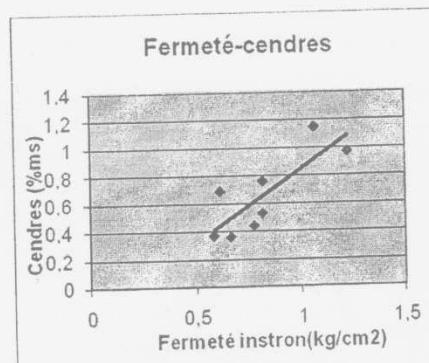


Figure 6: Relation entre la fermeté et la teneur en cendres du riz

Ces échantillons riches en cendres et ayant une fermeté élevée sont insuffisamment blanchis. La présence de péricarpe pourrait expliquer ces fermetés plus élevées et masquer l'influence de la teneur en amylose.

4. Conclusion

Le but de ce travail préliminaire est d'apporter une contribution à l'étude de la qualité des riz de Madagascar.

Il a permis d'acquérir des données sur les caractéristiques de quelques variétés de riz et démontre en première approche que le facteur technologique (taux d'usinage) serait le premier critère de qualité des riz malgaches, avant leur qualité variétale. Une étude plus approfondie sur un plus grand nombre d'échantillons est en cours, incluant une évaluation sensorielle des riz. Elle permettra de conforter les résultats obtenus et de mettre au point des méthodes simples d'évaluation de la qualité du riz, réalisables à Madagascar.

ABSTRACT

This study, conducted in the SCRiD project (culture system and sustainable rice cultivation), on improving the quality and aims at supporting the program selection variety of upland rice variety by identification and classification criteria of rice quality as perceived by consumers and taking into account their ability to satisfy nutritional needs. A series of studies were conducted: a survey of rice consumption in the urban district of Antananarivo, an evaluation of the rice quality by some Malagasy households, sensory evaluation of the texture, physico-chemical and instrumental of the rice. Twenty nine samples, whose ten upland rice and nineteen irrigated rice were chosen as the most representative (shape, color, origin, transformation) of Malagasy rice diversity were the studied materials.

The results show that the quality criteria can be grouped into two: the criterium related to the purchasing raw grains and criterium related to cooking. The criterium considered as the most important for purchasing is especially related to the rice cleanliness, the grain defects, shape and color. Thus, consumers are looking for rice without stones, without foreign grain, not with a lot of broken grains and not humid. They do not like but can tolerate paddy and bran. The choice of the shape and the color depends on the dish to prepare: *vary maina* or *vary sosoa*. For the criterium related to cooking for the two dishes, consumers prefer that rice swell, scatter, do not stick, easy to cook and digest. The *vary maina* is most used and also the most appreciate. For this form of consumption, the most important criteria for consumers on cooked rice textural properties are based on stickness for rejection and firmness for acceptance.

To describe the texture of cooked rice, 7 descriptors were selected: scattered grains, visual strength, deformed grains, sticky during chewing, firmness during chewing, number of chewings, chewing residue. The descriptors "scattered, deformed grains, stickiness during chewing» are influenced by the grain size while ‘the firmness during chewing, the number of chewing and the chewing residue’ are rather related to their biochemical properties.

Furthermore, rice firmness can be predicted by lipid and ash content, but it is also influenced by the processing means used.

Upland rice appears more scattered, firmer, longer to cook and requires more number of chewing than irrigated rice. It is rich in protein, lower in amylose and less resistant to technological constraints.

The weak performance of the processing means used in Madagascar influences the quality of raw grains and hence their acceptability by consumers, but also influences the quality of cooked grains. The mode and degree of milling do not affect the morphology of rice grains. The pounded rice is firm, more scattered and has more chewing residue and number of chews than milled rice. They are also high in lipid and ash contents, but the amylose content is slightly smaller compared to the latter. Cooking time, more related to the varietal characteristics of the grains, is not influenced by technological factors.

The study allowed to develop a method for measuring the firmness of cooked rice, easy to implement and can be used to characterize the texture of Malagasy rice.

Keywords: upland rice, irrigated rice, consumer, quality criteria, processing, texture.

RESUME

L'étude, réalisée dans le cadre du projet SCRID (Systèmes de Cultures et Rizicultures Durables), sur l'amélioration de la qualité a pour objectif d'appuyer le programme de sélection de variété de riz pluvial par l'identification et le classement des critères de qualité du riz tels qu'ils sont perçus par les consommateurs et tenant compte de leur aptitude à satisfaire les besoins nutritionnels.

Des séries de travaux ont été menées : une enquête de consommation du riz dans la Commune urbaine d'Antananarivo, une évaluation de la qualité du riz par les ménages malgaches, une évaluation sensorielle de la texture du riz, des analyses physico-chimiques et instrumentales.

Vingt neuf échantillons, dont dix de riz pluvial et dix neuf de riz irrigué, choisis comme les plus représentatifs (forme, couleur, provenance, transformation) de la diversité du riz malgache ont constitué les matériels d'étude.

Il ressort des résultats que les critères de qualité peuvent être regroupés en deux groupes : les critères de choix à l'achat liés aux grains crus et les critères liés à la cuisson.

Les critères considérés comme les plus importants à l'achat sont surtout ceux liés à la propreté du riz, aux défauts des grains, à la forme et à la couleur. Ainsi, les consommateurs cherchent le riz sans cailloux, sans grains étrangers, ne présentant pas beaucoup de brisures et qui ne sont pas humides. Ils n'aiment pas mais peuvent tolérer le paddy et les sons. Le choix de la forme et de la couleur dépend du plat à préparer : *vary maina* ou *vary sosoa*.

Pour les critères liés à la cuisson et pour les deux principaux plats, les consommateurs préfèrent le riz qui gonfle, s'éparpillent, ne collent pas, faciles à cuire et à digérer.

Le *vary maina* apparaît le plus consommé et également le plus apprécié. Pour cette forme de consommation, les critères les plus importants pour les consommateurs portent essentiellement sur les propriétés texturales du riz cuit, axées sur le collant pour le rejet et la fermeté pour l'acceptation.

Pour décrire la texture du riz cuit, 7 descripteurs ont été sélectionnés : éparpillement des grains, fermeté visuelle, grains déformés, collant pendant la mastication, fermeté pendant la mastication, nombre de mastications, résidu de mastication. Les descripteurs « éparpillement, grains déformés, collant pendant la mastication » sont influencés par la taille des grains tandis que la fermeté pendant la mastication, le nombre de mastications et le résidu de mastication sont plutôt liés à leurs propriétés biochimiques.

Par ailleurs, la fermeté du riz peut être prédite par la teneur en lipides et en cendres mais elle est aussi influencée par les moyens de transformation utilisés.

Le riz pluvial apparaît plus éparpillé, plus ferme, plus long à cuire et nécessite beaucoup plus de nombre de mastications que le riz irrigué. Il est plus riche en protéines que le riz irrigué mais plus pauvre en amylose et moins résistant aux contraintes technologiques.

La faible performance des moyens de transformation utilisés à Madagascar influence la qualité des grains crus et par conséquent leur acceptabilité par les consommateurs, mais influence aussi la qualité des grains cuits. Le mode et le degré d'usinage n'influencent pas la morphologie des grains de riz. Les riz pilonnés sont plus fermes, plus éparpillés et présentent plus de résidus de mastication et de nombre de mastications que les riz usinés. Ils sont également plus riches en lipides et en cendres, mais leur teneur en amylose est légèrement faible par rapport à ces derniers. Le temps de cuisson, plutôt lié aux caractéristiques variétales des grains, n'est pas influencé par les facteurs technologiques.

L'étude a permis de mettre au point une méthode de mesure de la fermeté du riz cuit, facile à mettre en œuvre et pourra être utilisée à Madagascar pour caractériser la texture des riz malgaches.

Mots clés : Riz pluvial, riz irrigué, consommateur, critères de qualité, moyens de transformation, texture.