

<i>Chapitre 1 : GENERALITES</i>	13
I. LE MIL EN AFRIQUE ET DANS LE MONDE	13
I.1. Production	14
I.2. Utilisation	15
II- LE MIL DANS L'AGRICULTURE SENEgalaise.....	16
III- TYPOLOGIE DU MIL.....	18
III.1. Les divers types de mil	18
III.2. Structure du grain de mil	19
III.3- Composition chimique du grain de mil.....	21
IV- L'AMELIORATION VARIETALE.....	25
V- LA TRANSFORMATION ALIMENTAIRE DU MIL : aspects technologiques et intérêt économique	26
<i>Chapitre 2 : MATERIEL ET METHODES.....</i>	28
I. MATERIEL VEGETAL	29
II. DETERMINATION DES PARAMETRES CHIMIQUES	30
II. 1- Détermination du taux d'humidité	30
II. 2- Détermination de la teneur en cendres	30
II. 3- Détermination de l'acidité	31
II. 4- Détermination de la teneur en cellulose	32
II. 5- Détermination de la teneur en amidon	33
II. 6- Détermination de la teneur en matières grasses	34
II. 7- Détermination de la teneur en protéines.....	35
II. 8- Détermination de la teneur en minéraux	37
II. 9- Détermination de la teneur en glucides totaux	38
II. 10- Détermination de la valeur énergétique	38
III. TESTS DE FONCTIONNALITE	38
III. 1- Le coefficient d'imbibition	38
III. 2- L'indice de gonflement	39
III. 3- Le taux de délitescence	39
IV. TESTS SENSORIELS.....	40
IV. 1-Préparation du couscous	40
IV. 2- L'analyse sensorielle	41
IV. 3- Evaluation des paramètres organoleptiques.....	41
<i>Chapitre 3 : RESULTATS ET DISCUSSIONS</i>	43
I- ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES	44
I. 1- Sur mil brut	44

I. 2- Sur couscous	45
I. 3- Discussion	45
II- TESTS DE FONCTIONNALITE.....	48
II. 1- Résultats	48
II. 2- Discussion	48
III- TESTS SENSORIELS	49
III. 1- Résultats	49
III. 2- Discussion	53
<i>CONCLUSION ET PERSPECTIVES</i>	<i>56</i>
<i>BIBLIOGRAPHIE</i>	<i>59</i>
<i>ANNEXES</i>	<i>63</i>

INTRODUCTION

Le terme « mil » regroupe un ensemble de graminées alimentaires caractérisées par la petiteur de leur grain. Les espèces ont des caractéristiques physiques, chimiques,

nutritionnelles, des besoins édaphiques et climatiques ainsi que des cycles de croissance qui leur sont propres (FAO, 1997).

Le mil est la céréale de base traditionnelle au Sénégal et dans la plupart des pays d'Afrique et d'Asie, où elle est majoritairement produite (FAO, 1995 et 1997). Au Sénégal, les céréales représentent 65% des apports énergétiques et 61% des apports en protéines. Le mil représente 50% de l'ensemble de la production céréalière sénégalaise (1999-2003), d'où sa place de choix dans l'alimentation des populations sénégalaises (NDIAYE, 2004).

Dans le cadre de la politique de valorisation des produits céréaliers locaux au Sénégal, le développement des produits roulés fermentés à base de farine de mil (*céré*, *cakri*, *arrow...*)² constitue une alternative intéressante à la consommation des céréales importées (riz et blé) du point de vue alimentaire et économique depuis la dévaluation du franc CFA en 1994.

De ce fait, avec la rénovation de la chaîne de transformation entreprise depuis quelques années, il y a une multiplication d'unités de transformations de céréales, ce qui se traduit par la production de tout une gamme de produits plus ou moins transformés (farines, semoules, brisures...) dérivés du mil et du maïs notamment (GUEYE, 1997).

Plusieurs groupements d'intérêts économiques (GIE) de type semi-industriel se sont développés pour proposer ces produits sous forme séchée et emballée.

Le Programme de Promotion des Céréales Locales (PPCL, 1993-2002) exécuté par ENDA-GRAF en collaboration avec l'ITA grâce au financement de l'Union Européenne, a permis aux transformateurs des céréales locales, d'avoir un contrôle sur leur production du point de vue composition chimique et microbiologique, pendant 5 ans [1997-2002] (TOTTE, et al., 2003).

En effet, les acteurs de cette filière se doivent d'offrir aux consommateurs des produits de qualité répondant à leurs exigences. Ceci implique donc une réorientation des modèles de consommation en favorisant l'amélioration et la rationalisation des techniques traditionnelles de transformation et en identifiant les meilleures variétés pour des transformations spécifiques (NDIR et NGING, 1989).

Selon l'étude de marché réalisée par le Projet Initiative Mil/Sorgho (GAYE et al., 2003), il ressort en ce qui concerne les plats à base de mil, que les ménages sénégalais ont l'habitude

² Noms en langue Wolof des produits granulés à base de mil

de consommer le couscous (89%), le *lakh* (83%), le *fondé* (76%), le *cakry* (69%) et le *Ruy* (36%). Il découle aussi de cette étude que le couscous a le meilleur potentiel de marché comparé aux autres produits dérivés du mil par le fait que les plats généralement vendus au niveau des restaurants préparant des mets à base de mil sont essentiellement le couscous (57%), le *arrow (fondé/lakh)* (29%) et le *cakry* (14%).

Face à ce constat, il serait intéressant d'accroître et de diversifier l'offre des dérivés du mil, de répondre à la demande des consommateurs en valorisant l'image de ces produits. D'où l'importance qui sied de mettre à la fois sur le marché des produits à haute valeur nutritive et organoleptique.

C'est dans cette optique que s'inscrit le projet INTSORMIL qui a supporté financièrement le travail dont l'objectif général est de comparer trois (3) variétés de mil cultivées au Sénégal à savoir :

- la variété « SOUNA 3 » ;
- la variété « THIALACK » ;
- la variété « IBMV 8402 ».

L'objectif spécifique est de déterminer la variété la plus apte qualitativement pour la production de coucous.

L'étude présentera des généralités ensuite le matériel et les méthodes de transformation et d'analyse. Les résultats obtenus feront l'objet d'une discussion et enfin une conclusion et des perspectives seront dégagées.

Chapitre 1 :

GENERALITES

I. LE MIL EN AFRIQUE ET DANS LE MONDE

Le sorgho et le mil sont depuis des siècles d'importantes denrées alimentaires de base dans les régions tropicales semi-arides d'Asie et d'Afrique. Ils restent les principales sources d'énergie, de protéines, de vitamines et de sels minéraux pour des millions d'habitants parmi les plus pauvres de ces régions (FAO, 1995).

Dans les régions productrices d'Afrique et d'Asie, 95 % du mil est consommé par l'homme.

En Afrique, la culture du mil est pratiquée dans un grand nombre de pays, notamment au Nigéria, Niger, Burkina Faso, Mali, Sénégal et au Soudan (FAO, 1997).

I.1. Production

Dans la plupart des régions du monde, le mil est consommé localement et sert de culture vivrière de subsistance. La production commerciale du mil est risquée, surtout en Afrique, car l'absence de débouchés commerciaux importants signifie que la fluctuation de la production se répercute de façon particulièrement sensible sur les prix dans les régions où le mil est la principale culture vivrière (FAO, 1997).

L'Afrique est la seule zone du monde où la production du mil augmente, ayant passé de 8 millions de tonnes en 79 - 81 à 11 millions de tonnes en 92 - 94. L'augmentation de la production du mil s'est surtout fait durant la première moitié de la décennie 1980. Depuis, elle s'est maintenue par une augmentation des superficies cultivées, surtout au Sahel, et dans une moindre mesure d'autres pays de la région. Dans plusieurs pays africains, les rendements ont stagné ou diminué en partie parce que les cultures sont de plus en plus pratiquées dans des régions où les sols sont pauvres et la pluviométrie faible et irrégulière (FAO, 1995).

L'Asie, l'Afrique et l'ex-URSS produisent la presque totalité des mils cultivés dans le monde, comme l'indique le tableau suivant.

Tableau 1 : Superficie, rendement et production mondiale de mil

Régions	Superficie	Rendement	Production
---------	------------	-----------	------------

	(milliers d'ha)	(% du total)	(kg/ha)	(milliers de tonnes)	(% du total)
Asie	20 853	55,5	804	16 767	56,2
Afrique	13 548	36,1	669	9 066	30,4
URSS	2 903	7,7	1 256	3 647	12,2
Amérique	205	0,6	2 855	271	0,9
Océanie	34	0,1	882	30	0,1
Monde	37 565	100	794	29 817	100

Source : FAO, 1995

Dans plusieurs pays, les niveaux de consommation de cette céréale n'ont pu être maintenus qu'en augmentant les superficies cultivées. La sécurité alimentaire de la plupart des régions productrices de mil demeure incertaine. Les contraintes en terre deviennent plus graves et il est urgent d'augmenter la production pour assurer un niveau minimal de sécurité alimentaire.

En Afrique, la production du mil est soumise à de nombreuses contraintes : sols peu fertiles, pluviométrie faible et irrégulière, température élevée, infestation de *Striga*, *Mildiou*, dégâts causées par les oiseaux, invasion acridienne... De nombreux facteurs ont contribué à faire décroître la productivité notamment la pression démographique et la dégradation de l'environnement.

Les régions tropicales semi-arides d'Afrique de l'ouest sont définies comme celles où les précipitations dépassent l'évapotranspiration potentielle de deux à sept mois par an. Cette région comprend la totalité du Sénégal, la Gambie, le Burkina Faso, le Cap-Vert, d'importantes fractions méridionales de la Mauritanie, du Mali, du Niger, ainsi que les parties nord de la Côte d'Ivoire, du Ghana, du Togo, du Bénin et du Nigeria (FAO, 1995).

I.2. Utilisation

Sur les 30 millions de tonnes de mil produites dans le monde, 90 % environ sont utilisés dans les pays en développement, et seul un volume minime est consommé dans les pays développés.

La consommation alimentaire de mil par habitant varie beaucoup d'un pays à l'autre, mais c'est en Afrique qu'elle est la plus élevée.

Le mil représente environ un tiers de la consommation totale de céréales alimentaires au Burkina Faso, au Tchad et en Gambie, environ 40 % au Mali et au Sénégal et plus des deux tiers au Niger (FAO, 1995).

L'utilisation du mil pour les animaux est négligeable. Environ 10 % seulement de l'utilisation mondiale de mil consiste en aliments pour animaux.

II- LE MIL DANS L'AGRICULTURE SENEGALAISE

Situé à l'ouest du continent africain, le Sénégal est un pays plat d'une superficie totale d'environ 197 000 km², dont 54 500 km² sont à vocation agricole.

Le secteur primaire occupe une place importante dans l'économie du pays et contribue pour près de 23 % à la formation du Produit Intérieur Brut.

Le sous secteur agricole représente 45% des activités du secteur primaire et occupe les 2/3 de la population.

Essentiellement pluviale, l'agriculture sénégalaise reste très dépendante des aléas climatiques et repose principalement sur la production de mil (culture vivrière) et d'arachide (culture de rente) qui occupent plus des 3/4 des surfaces cultivées.

Les zones de culture du mil sont principalement le bassin arachidier (centre du pays) et la région de Tambacounda (BROUTIN et al., 2000).

La culture du mil reste dominante dans le pays avec plus de 600 000 tonnes en 2002 suivi de loin de celle du riz avec 150 000 tonnes (ANONYME, 2005).

Les principales cultures céralières sont le mil et le sorgho qui, souvent ne sont pas dissociés dans les statistiques agricoles. On estime que 10 à 20 % de la production annuelle, soit 50 à 150 000 tonnes sont commercialisées, le reste étant autoconsommé (BROUTIN et al., 2000).

Selon Badjeck et al. (2004), la culture du mil représente 33% de la production totale en 2004 contre 43% en 2003 et 52% entre 1999 -2003 comme le montre le tableau 2.

Elle couvre presque l'ensemble du territoire et demeure majoritairement paysanne où les récoltes sont destinées à l'alimentation de la communauté locale (ANONYME, 2005).

Tableau 2 : Production céralière au Sénégal : contribution des principales céréales à la production totale en 2004 comparée à 2003 et à la moyenne 1999-2003 (en tonnes)

Régions³	Mil	Sorgho	Maïs	Riz	Fonio	Céréales totales
Dakar	9	51	500	-	-	560
Diourbel	26 446	2 751	80	-	-	29 277
Fatick	77 771	4 518	26 120	63	-	108 471
Kaolack	156 374	40 328	135 225	-	-	331 927
Kolda	26 101	27 555	156 243	22 899	474	233 272
Louga	6 240	776	30	-	-	7 045
Matam	2 653	10 639	263	31 000	-	44 555
Saint-Louis	-	-	-	107 870	-	107 870
Tambacounda	38 638	43 664	93 151	1 636	955	178 044
Thiès	29 135	1 383	242	-	-	30 760
Ziguinchor	15 800	736	10 771	33 628	-	60 934
Production 2004 (a)	379 166	132 400	422 623	197 095	1 430	1 132 714
Production 2003 (b)	628 426	189 787	400 909	231 805	966	1 451 893
Moyenne 1999-2003 (c)	575 024	149 512	146 910	235 496	1 358	1 108 300
<i>Ecart (%)</i>						
a/b	-40	-30	5	-15	48	-22
a/c	-34	-11	188	-16	5	2

DAPS- Ministère de l'Agriculture et Estimation de la Mission 2004

Source : BADJECK *et al.*, 2004

La baisse de la production du mil constatée réduit l'offre céréalière et rend difficile la reconquête des marchés urbains par les céréales locales.

³ La production céréalière de contre saison 2004-2005 estimée à 52 366 tonnes n'est pas incluse.

Les problèmes sont souvent liés à la sécheresse, à l'invasion acridienne constatée dès juin 2004 et à la substitution de ces cultures par celle subventionnée de l'arachide (+30 % par rapport à 2003) (BADJECK et al., 2004).

Cependant, on note depuis 1995 la croissance du secteur de la transformation avec l'apparition de petites unités dynamiques appuyées par des programmes de promotion (BROUTIN et al., 2000).

La production céréalière de l'hivernage 2004 est estimée à 1 132 714 tonnes, soit un recul de 22 % par rapport à 2003 mais reste proche de la moyenne des cinq dernières années. Avec la production additionnelle de contre saison estimée à environ 52 366 tonnes, la production totale nette de céréales pour 2004 atteint 1 185 080 tonnes.

Ainsi, la production de mil est significativement réduite de 34 % par rapport à la moyenne des cinq dernières années. Dans les régions déficitaires, ceci s'est traduit par une augmentation soutenue des prix du mil entre septembre et octobre 2004, ce qui fragilisera davantage la situation alimentaire des ménages les plus vulnérables si cette tendance se poursuivait (BADJECK et al., 2004).

Bien que le secteur agricole fasse vivre environ 60 % de la population sénégalaise et représente 18 % du produit intérieur brut, il ne bénéficie que de 10 % de la totalité des investissements de l'Etat. En effet, depuis l'indépendance, presque toute la formation technique, les subventions et les services de vulgarisation agricole fournis par l'État ont été axés sur la production d'arachide (ANONYME, 2005).

III- TYPOLOGIE DU MIL

III.1. Les divers types de mil

Plusieurs types de mils sont cultivés dans le monde. Les principaux sont :

- Mil chandelle : *Pennisetum americanum* L. Lecke ; *Pennisetum glaucum*
- Mil commun : *Panicum miliaceum*
- Eleusine : *Eleusine Coracana* (Gaetn)
- Petit mil : *Panicum Italica*
- Mil indigène : *Papalum scrobilatum*

- Mil à grappe : *Staria italica*
- Mil japonais : *Echirnochloa crus-galli*

Le mil chandelle, espèce d'origine africaine, est le type le plus cultivé en Afrique de l'ouest et du Centre (ROCAFREMI, 2001).

Le mil chandelle, *Pennisetum glaucum*, comprend un certain nombre de races cultivées. Ce mil est originaire de l'Afrique occidentale tropicale; on y trouve le plus grand nombre de formes aussi bien sauvages que cultivées (FAO, 1997).

Le mil chandelle (ou pénicillaire) appartient à la série des Panicoïdes, tribu des Paniceae, famille des Graminées, genre *Pennisetum*. Ce genre compte près de 140 espèces.

La hauteur de la plante peut varier de 0,5 à 4 m (FAO, 1995). Du point de vue écologique, il est résistant aux températures élevées et adapté à la sécheresse (ASIEDU, 1991); physiologiquement, c'est une plante en C₄ (MAITI et BISEN, 1990). Il appartient au groupe enzyme malique à NADP⁺ (BISMUTH et al., 1979) et est caractérisé par une haute capacité d'assimilation du CO₂ de l'ordre de 2,77 mg CO₂ m⁻² s⁻¹ (MCPPERSON et SLATYER, 1973).

III.2. Structure du grain de mil

III.2.1- Structure morphologique

Le grain mil est un caryopse de couleur blanche-jaunâtre, pâle, brune, grise ou pourpre. Il présente une forme ovoïde, hexagonale ou globuleuse. Les grains ovoïdes sont longs d'environ 3 à 4 mm, beaucoup plus grands que ceux des autres mils.

Le poids de 1 000 grains varie entre 2,5 et 14 g avec une moyenne de 8 g. La taille des grains est d'environ un tiers de celle du sorgho. La proportion relative du germe par rapport à l'endosperme est plus élevée que dans le sorgho (FAO, 1995).

III.2.2- Structure anatomique

Sur le plan anatomique, le grain de mil est analogue à celui du sorgho. Il est essentiellement composé de quatre parties : le péricarpe, le testa, l'endosperme et le germe.

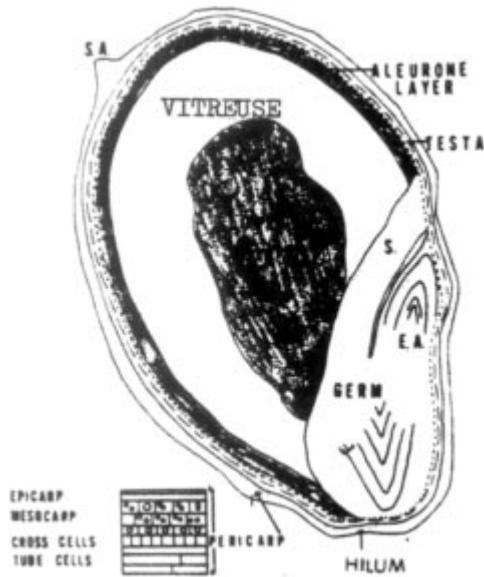


Figure 1 : Structure anatomique du grain de mil

Source : SALEY et al. , 2002

a- Péricarpe :

Il représente 8,4 % du poids du grain de mil chandelle. Le péricarpe est composé d'un épicarpe et d'un endocarpe.

b- Le testa ou enveloppe du grain

Situé juste en dessous de l'endocarpe, il peut être pigmenté ou non selon le génotype. Son épaisseur est variable.

c- L'endosperme

Du point de vue pondéral, c'est la partie la plus importante du grain de mil. Il représente 75% du poids total du grain de mil à chandelle. Il est séparé du testa par une assise protéique (la couche à Aleurone). L'endosperme comprend une partie cornée ou vitreuse et une autre farineuse.

d- Le germe

Le germe du grain de mil est constitué d'un axe embryonnaire et d'un scutellum. La proportion du germe par rapport à l'endosperme varie considérablement en fonction du type de mil.

III.3- Composition chimique du grain de mil

La composition chimique du grain de mil est très variable. Les données du tableau 3 montrent que le mil est essentiellement composé d'hydrates de carbone (amidon), de protéines, de lipides et d'éléments minéraux.

Le mil est plus riche en lipides (5,1%) que le sorgho (3%) et moins riche en amidon (66,7%) contre 69,5% pour le sorgho (FAO, 1995).

Tableau 3 : Constituants chimiques majeurs du grain de mil chandelle (en g/100g de farine)

Constituants	Nombre de génotype	Fourchette (%)	Moyenne (%)
Protéines	20 704	5,8 – 20,9	10,6
Matières Grasses	36	4,1 – 6,4	5,1
Amidon	44	62,8 – 70,5	66,7
Fibres brutes	36	1,1 – 1,8	1,3
Cendres totales	36	1,1 – 2,5	1,9

Source : JAMBOUNATHAN et SUBRAMANIAN, 1988

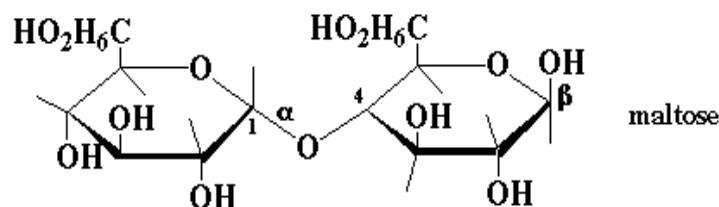
III.3.1- Les hydrates de carbones

Ils sont constitués principalement de polysaccharides qui sont l'amidon, le glycogène et la cellulose.

D'après KENT (1982), la teneur moyenne en hydrates de carbone dans le grain de mil est estimée à 73% contre 66,7% d'après les travaux de Jambunathan (1984). Les données de la FAO (1995), indiquent que les hydrates de carbone du grain de mil à chandelle sont essentiellement composés d'amidon (66,7%), de sucres solubles (2,56%) et de fibres alimentaires (1,3%).

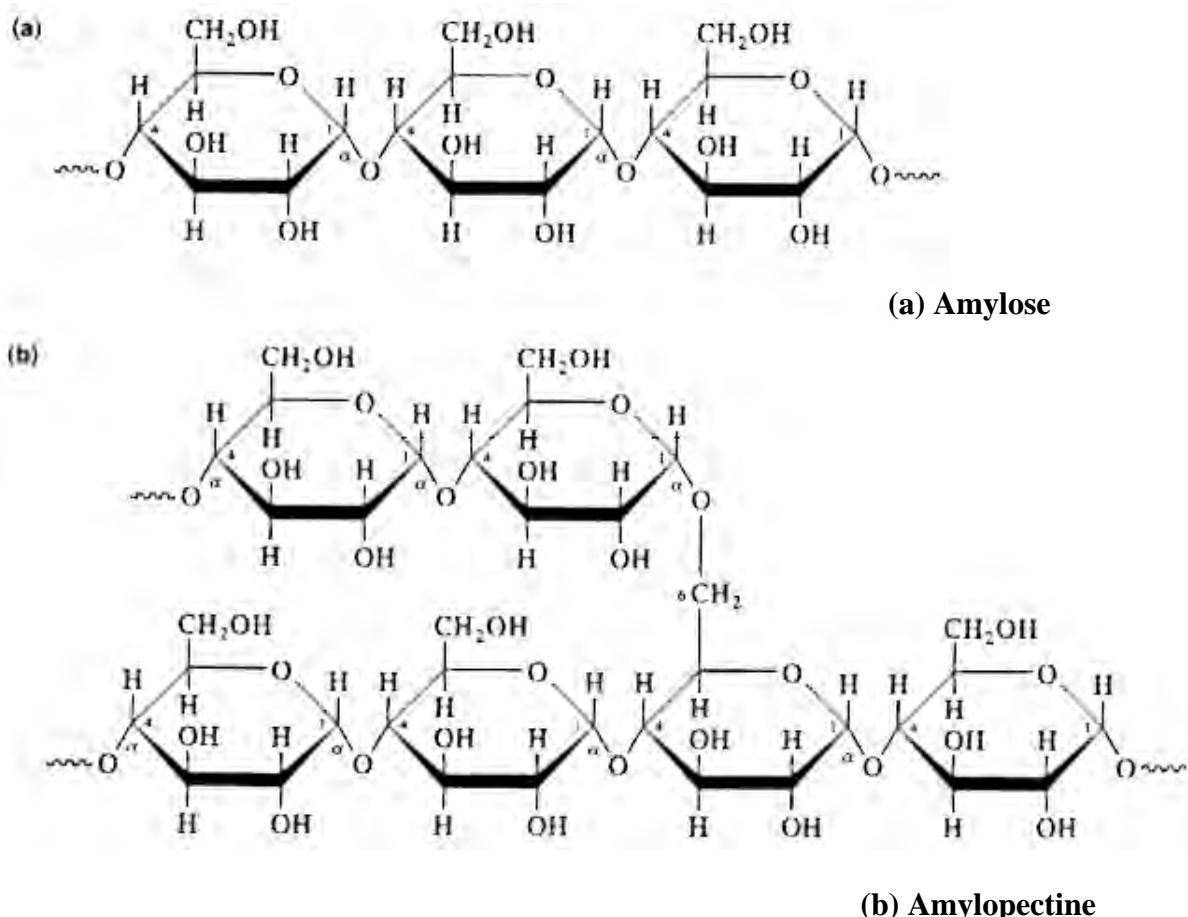
L'amidon du mil comme celui des autres céréales est stocké sous forme de granules (HULSE et al., 1980). L'analyse élémentaire de l'amidon fait apparaître une formule brute ($C_6H_{12}O_5$)_n (où n>100). Par ses propriétés physico-chimiques, l'amidon influe sur la texture des préparations alimentaires à base de farine de mil et joue un rôle dans le remplissage de la matrice protéique (CHEFTEL et al., 1977). L'amidon est stocké comme réserve glucidique dans les cellules végétales (graines et racines) et constitue une source potentielle de glucose. Il est soluble dans l'eau. Il est formé d'amylose (15 à 30 % environ) et d'amylopectine (70 à 85 % environ), qui peuvent conduire au maltose (diholoside). Ce dernier est libéré par hydrolyse de

l'amylose. C'est est un polymère de résidus de glucose : il s'agit de l' α -D-glucopyranosyl-(1,4)- β -D-glucopyranose. Les résidus de glucose sont libérés par hydrolyse chimique ou par une enzyme : l' α -D-glucosidase. C'est un sucre réducteur puisque l'hydroxyle du carbone anomère du second glucose est libre.



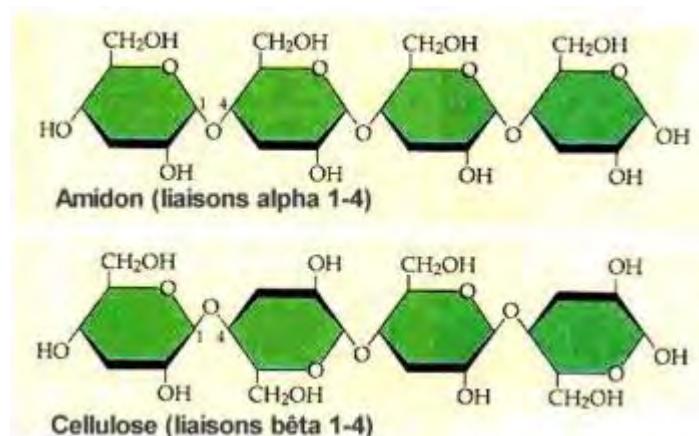
L'amylose est un polymère linéaire de résidus de glucose liés par une liaison α -(1,4)-D-glucosidique.

L'amylopectine est un polymère ramifié où les glucoses des chaînes forment des liaisons α -(1,4)-D-glucosidique et les branchements entre chaînes des liaisons α -(1,6)-D-glucosidique (HORTON et al., 1994).



Des études récentes menées par NDIAYE (2004) montrent que le maltage diminue le taux d'amidon par dégradation grâce aux enzymes produits (α et β amylases) ; d'où l'augmentation de la production de sucres totaux et réducteurs. Les résultats obtenus avec le sorgho traité dans les mêmes conditions que le mil ont permis de confirmer l'effet de ces enzymes produits par le maltage sur la réduction du temps de cuisson.

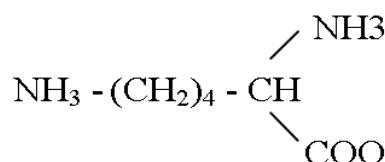
La cellulose est formée de longues chaînes linéaires de glucoses liées les unes aux autres par des liaisons (β 1-4) différentes de celles de l'amidon (liaisons α 1-4).



III.3.2 Les protéines

La teneur en protéines du grain de mil varie entre 6 et 21%. Les données du tableau 3 montrent la très grande variabilité de la teneur en protéines selon le génotype.

Cependant, à l'instar des autres céréales, la lysine (ci-dessous) représente également un acide aminé limitant de la protéine du mil chandelle.



Toutefois, les indices chimiques, calculés en fonction des besoins en acides aminés de différentes tranches d'âges ont montré que le mil s'est révélé plus apte que les autres céréales à répondre aux besoins en lysine des enfants en pleine croissance (OMS, 1985 ; HULSE et al., 1980).

En outre, les résultats d'essais d'alimentation de rats conduits en 1972 par PUSHPAMMA et al. avaient également soutenu que la qualité de la protéine du mil chandelle était très élevée comparée à celle des autres céréales.

III.3.3- Les matières grasses

La teneur en matière grasse du grain de mil varie entre 4,1% et 6,4% selon JAMBUNATHAN et SUBRAMANIAN (1988). La matière grasse est essentiellement localisée dans le germe (87%) (ABDELRAHMAN et *al.*, 1984).

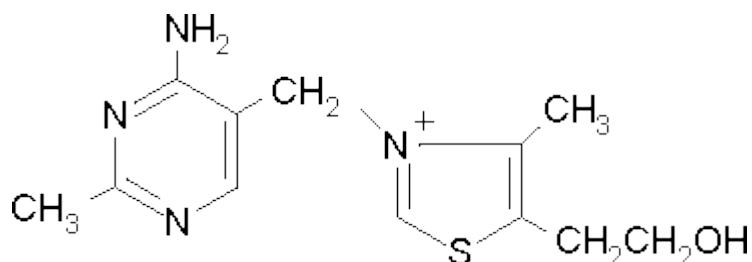
III.3.4- Les sels minéraux

La composition en éléments minéraux du grain de mil est très variable selon le génotype et les facteurs environnementaux. Celle du produit de mouture est très liée au taux d'extraction.

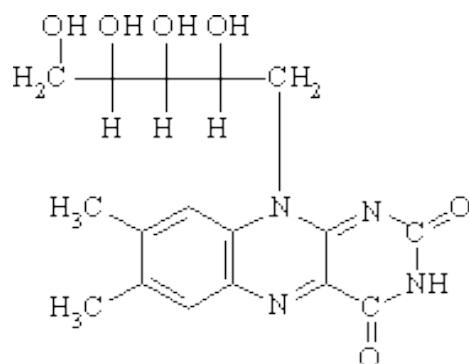
III.3.5- Les vitamines

Les teneurs en vitamines sont très sensibles au traitement technologique. Le mil, comme les autres céréales, est pauvre en vitamines du groupe B, en provitamine A et ne renferme pas de vitamine C (ITA, 1986). Ainsi, la germination pendant 48 heures des grains de mil Chandelle et Eleusine, augmenterait significativement les teneurs de la thiamine (B1) et de la riboflavine (B2), de 90% pour la première (MALLESHI et DESIKACHAR, 1986) et 85% pour la seconde (ALIYA et GEERVANI, 1981).

Par contre, la cuisson à la vapeur de la pâte fermentée de mil fait chuter la valeur de la Thiamine de 64% et celle de la Riboflavine de 28% (FAO, 1995).



Vitamine B1 (Thiamine)



Vitamine B2 (Riboflavine)

III.3.6- Répartition des constituants chimiques dans les parties du grain

Les constituants chimiques sont inégalement répartis dans les diverses parties du grain. Les teneurs en protéines, cendres totales et matières grasses (par rapport aux teneurs totales correspondantes du grain) sont plus élevées dans le germe du grain de mil. Les teneurs en protéines et en cendres totales dans le son sont également appréciables comme le montre le tableau 4. Ces observations mettent clairement en évidence l'influence que peuvent avoir les traitements technologiques sur la composition chimique et par conséquent sur la valeur nutritive des produits à base du mil.

Tableau 4 : Distribution de quelques constituants chimiques dans les différentes parties du grain de mil chandelle (en g/100g de matière sèche)

Fraction du grain	Protéines	Cendres totales	Matières grasses
Grain entier	13,3	1,7	6,3
Endosperme	10,9 (61) ⁴	0,32 (14)	0,53 (6)
Germe	24,5 (31)	7,2 (72)	32,2 (87)
Son	17,1 (10)	3,2 (15)	5,0 (6)

Source : ABDELRAHMAN *et al.*, 1984

IV- L'AMELIORATION VARIETALE

Les programmes d'amélioration variétale du mil ont ciblé les milieux relativement favorables. Parmi les espèces de mil, seule le mil chandelle et dans une moindre mesure l'Eleusine ont fait l'objet de recherches internationales (FAO, 1997).

Dans les régions sèches, les chercheurs ont tenté de mettre au point des variétés à pollinisation libres ayant un rendement en grain et en paille stable et adaptées aux conditions pluviométriques prévalentes.

Le rendement en grain des cultures améliorées du mil peut être supérieur de 20 % à ceux des variétés locales (FAO, 1997). De plus, ces variétés améliorées offrent un avantage encore plus important, elles arrivent souvent à maturité plus rapidement - ce qui n'est pas toujours un avantage avec les oiseaux - et elles ont ainsi plus de chance d'échapper à la sécheresse.

⁴ Valeur entre parenthèses = pourcentage de la valeur totale dans le grain

V- LA TRANSFORMATION ALIMENTAIRE DU MIL : aspects technologiques et intérêt économique

Le mil est utilisé pour préparer différents produits plus ou moins fermentés de différentes granulométries. La farine et les brisures de mil (*sankhal*) d'une part, le couscous fin (*cere*), le couscous moyen (*cakri*), les gros granules de mil (*arrow*) d'autre part constituent des produits roulés issus de la transformation alimentaire du mil.

Les technologies de transformation se sont développées progressivement dans le cadre d'activités artisanales marchandes pour offrir des produits et des services adaptés aux nouveaux styles de vie et répondre à la demande alimentaire sans cesse croissante, particulièrement en milieu urbain (NAGO, 1992).

Cette dynamique d'innovation s'exerce à la fois sur l'outil, le procédé, le produit et l'organisation sociale de la production. Ces innovations interviennent pour réduire la pénibilité et la durée de certaines opérations technologiques et pour améliorer l'organisation et le rendement des transformations alimentaires concernées (NAGO, 1997).

Il est nécessaire donc d'élaborer des méthodes adaptées de transformation et de mouture du mil. Ceci permettrait d'avoir de nouvelles voies d'utilisation et pourrait réduire la dépendance vis-à-vis du riz importé (FAO, 1995).

Ainsi, au Sénégal, l'ITA a développé un ensemble de technologies capables de transformer la farine de mil en *arrow* et en couscous. En collaboration avec Techniques Industries, Multi-Techniques Industries et le CERER, l'ITA a réussi à concevoir une trousse technologique complète, constituée d'un granulateur (rouleur), d'un séchoir électrique, d'un séchoir à gaz et d'un calibreur pour *arrow* d'une capacité de 26 kg/heure (NDIAYE, 1999).

La transformation alimentaire est d'abord l'apanage des ménages qui s'y consacrent pour assurer leur alimentation de base. Mais pour répondre à divers besoins des populations, elle est également passée dans le secteur artisanal marchand. Dans ce cadre, la transformation alimentaire du mil a donné divers types d'activités pratiquées par un grand nombre d'opérateurs. On peut distinguer entre autres, la transformation suivie de la vente directe aux clients de divers produits à base de mil (beignets, gâteaux, pain...), la petite restauration qui consiste à vendre au niveau des restaurants divers plats dérivés du mil (pâtes cuites, bouillies,

fondé, cere...) et enfin le petit commerce, où les produits roulés tels que le *couscous*, le *cakri* ou le *arrow* sont séchés et emballés dans des sachets en plastique et commercialisés dans les boutiques, marchés et supermarchés.

Chapitre 2 :

MATERIEL ET

METHODES

I. MATERIEL VEGETAL

Le matériel végétal étudié comprend trois variétés de mil qui ont été sélectionnées parmi celles existantes au Sénégal. Il s'agit de :

- la variété **SOUNA 3**
- la variété **THIALACK**
- la variété **IBMV 8402**.

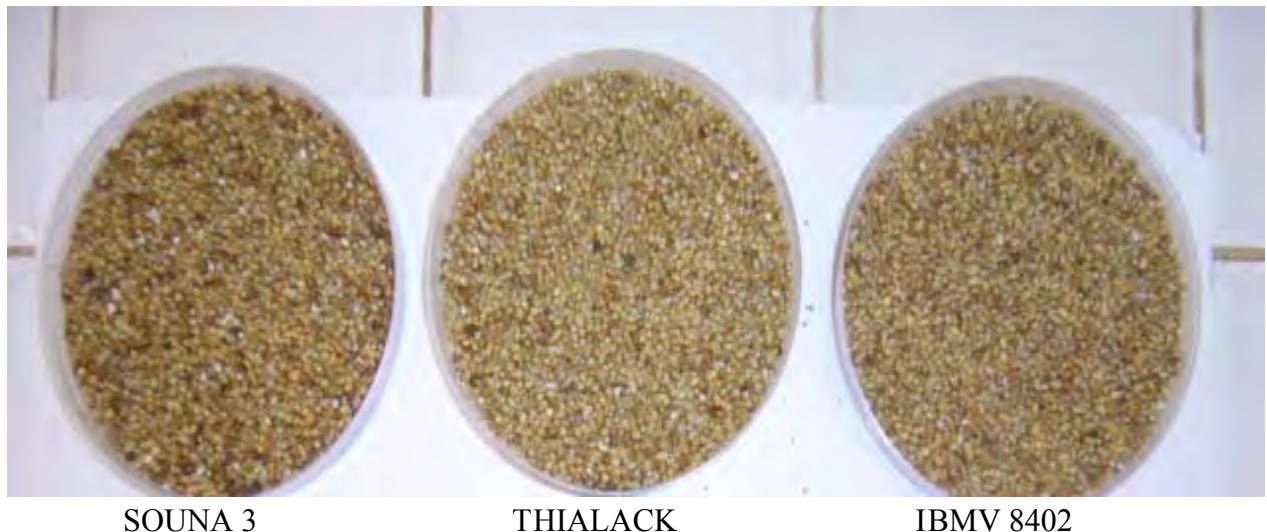


Figure 2 : Photo des trois variétés de mil brut

La variété « SOUNA III » et la « IBMV 8402 » sont des variétés améliorées par la recherche issues respectivement par croisement de 8 et de 13 lignées (FAYE, 2004) tandis que la variété « THIALACK » est une variété locale de mil cultivée dans le Saloum (Région de Kaolack). Les trois génotypes appartiennent au mil chandelle ou pénicillaire.

Les variétés SOUNA 3 et THIALACK proviennent de la zone milicole de la région de Kaolack auprès d'un producteur ayant une longue tradition de collaboration avec la recherche. La variété IBMV 8402 provient d'un groupement de producteurs affiliés à l'ONG EWA de Thiès, fournisseur de l'Entreprise « Mamelles Jaboot », auprès de laquelle elle a été achetée. Toutes les dispositions nécessaires ont été prises au moment de l'approvisionnement pour l'obtention de variétés pures non mélangées.

II. DETERMINATION DES PARAMETRES CHIMIQUES

Les analyses chimiques ont été réalisées sur la farine de mil brut et tamisée ($\Phi=1\text{mm}$).

II. 1- Détermination du taux d'humidité

*Principe :

Il s'agit d'une dessiccation à l'étuve (105°C) suivie de pesée différentielle (AOAC, 1995).

*Matériel :

- balance analytique ;
- étuve pouvant assurer une température de 105°C;
- capsules en aluminium ;
- dessiccateur muni d'un déshydratant efficace ;
- spatule.

*Mode opératoire :

- dans une capsule préalablement séchée et tarée, peser 5g (à 1mg près) d'échantillon homogène (P) ;
- mettre la capsule dans l'étuve (105°C) pendant 4H ;
- retirer et laisser refroidir dans le dessiccateur ;
- peser après refroidissement (P').

*Expression des résultats :

Soit P = prise d'essai (g)

P' = perte de poids (g)

$$\text{Taux d'Humidité (\%)} = \frac{P'}{P} \times 100$$

II. 2- Détermination de la teneur en cendres

*Principe :

Une prise d'essai placée dans un creuset est incinérée à 550-600°C dans un four électrique pendant 6H. Après refroidissement au dessiccateur, le résidu de l'incinération est exprimé en pourcentage par rapport à la prise d'essai (AOAC, 1995).

*Matériel :

- broyeur ;
- balance analytique ;

- creusets en porcelaine ;
- pince de creuset ;
- four électrique ajusté à 550-600°C;
- dessiccateur.

***Mode opératoire :**

- placer le creuset de silice ou porcelaine dans le four (30 mn) puis refroidir dans un dessiccateur et peser le poids vide (M1) ;
- peser 5g de l'échantillon dans le creuset (M2) ;
- placer le creuset contenant l'échantillon dans le four à 600°C pendant 6H ;
- transférer le creuset dans le dessiccateur pour refroidir ;
- peser (M3).

***Expression des résultats :**

$$\text{Le taux de cendres (\%)} = \frac{M3 - M1}{M2 - M1} \times 100$$

II. 3- Détermination de l'acidité

***Principe :**

La méthode utilisée est la titration d'extrait alcoolique. Il s'agit de mettre en solution des acides gras libres dans l'éthanol à 96%, agitation et titrage d'une partie aliquote du surnageant par l'hydroxyde de sodium 0,05N (LECOQ, 1965).

***Réactifs :**

- Ethanol 96% ;
- Hydroxyde de sodium 0,05 N ;
- Phénophthaléine (1%).

***Matériel :**

- balance analytique ;
- fioles coniques de 250 ml ;
- agitateur ;
- plaque chauffante ;
- pipettes de 10 ml et 20 ml ;
- papier filtre ;
- burette de 25 ml ;
- erlenmeyers.

***Mode opératoire :**

- peser 5g de l'échantillon dans un erlenmeyer ;
- ajouter 30 ml d'alcool éthylique 96% (30 ml éthanol correspondent à 3/10g d'acide sulfurique) ;
- agiter pendant 1 H, puis laisser reposer à la température ambiante pendant 24 H ;
- préparer de l'eau distillée chauffée et refroidie ;
- filtrer la solution alcoolique et prélever 20 ml du filtrat ;
- ajouter 80 ml d'eau distillée chauffée et refroidie, ensuite mettre quelques gouttes de phénophthaléine ;
- titrer avec l'hydroxyde de sodium (NaOH 0,05N) jusqu'au virage (Vs) ;
- effectuer un essai blanc, parallèlement à la détermination, en remplaçant la solution par 20 ml d'éthanol 96%, ajouter du phénophthaléine et titrer avec NaOH 0,05 N jusqu'au virage (Vb).

***Expression des résultats :**

$$\text{L'acidité grasse (\%)} = (Vs - Vb) \times \frac{0,00245 \times 3 \times 100}{10}$$

II. 4- Détermination de la teneur en cellulose

***Principe :**

Le principe de la détermination de la cellulose selon la méthode de WENDE repose sur une double digestion de l'échantillon avec des solutions acide et basique diluées, un étuvage du résidu de cette digestion suivi de pesée après incinération à 600°C (AOAC, 1995).

***Réactifs :**

- Acide sulfurique H_2SO_4 , 0,128M (7,1 ml 96% à 1 litre avec de l'eau distillée) ;
- Hydroxyde de potassium KOH, 0,223M (12,5 g à 1 litre avec de l'eau distillée) ;

***Matériel :**

- appareil Dosi – Fiber ;
- balance (précision $\pm 0,1$ mg) ;
- pompe à vide ;
- flacon « Kitasatos » ;
- creusets de porosité 2 ;
- four électrique assurant 500°C;
- étuve réglée à 150°C;
- dessiccateur.

***Mode opératoire :**

peser et transférer (précision $\pm 0,1$ mg) 1 à 1,5 g d'échantillon dans un creuset poreux. Le poids de l'échantillon est W_0 ;

placer le creuset dans l'unité Dosi – Fiber.

- *Hydrolyse acide à chaud*

s'assurer que la vanne est à la position «OFF» ;

ajouter dans chaque colonne 100 à 150 ml d'acide sulfurique préchauffé;

ouvrir le circuit de refroidissement et mettre en marche le chauffage (à 90°C) ;

attendre qu'il arrive à ébullition puis réduire la température à 30°C et éviter l'ébullition pendant la durée de l'extraction (30 minutes à 1H). Pour faire une bonne hydrolyse, mettre la pompe à air à la position «soplar» ;

arrêter le chauffage. Ouvrir le circuit à vide et placer les vannes à «Absorption». Remplir d'eau distillée avec le vaporisateur chaque colonne (3fois).

- *Hydrolyse basique à chaud*

répéter les points 3 à 7 en utilisant KOH à la place de H₂SO₄.

Ensuite :

- mettre les échantillons à sécher à l'étuve à 150°C pendant une heure, puis au dessicteur ;
- peser les échantillons à la précision de $\pm 0,1$ mg (W_1) ;
- réduire en cendres les échantillons contenus dans les creusets au four à 500°C pendant 3H, puis au les refroidir au dessicteur ;
- peser les creusets à la précision de $\pm 0,1$ mg (W_2).

***Expression des résultats :**

$$\text{Taux de Cellulose (\%)} = \frac{W_1 - W_2}{W_0} \times 100$$

II. 5- Détermination de la teneur en amidon

***Principe :**

C'est la méthode de Luff Schoorl qui repose sur le dosage de l'amidon par le Thiosulfate en présence d'empois d'amidon (AOAC, 1995).

***Réactifs :**

- Réactif de Luff Schoorl (Annexe I) ;
- Thiosulfate (0,1N) ;
- KI (30%) ;
- H₂SO₄ (6N) ;

- HCL amidon (213ml HCl concentré à 2L d'eau distillée) et HCl 1/4 ;
- Phénophthaléine ;
- Empois d'amidon.

***Matériel :**

- balance analytique ;
- étuve (105°C) ;
- dessiccateur ;
- erlenmeyers, ballons, réfrigérant, burette, papier filtre, fioles.

***Mode opératoire :**

- peser 1g d'échantillon dans un erlenmeyer, ajouter 50 ml d'eau distillée et mettre au frigo pendant 20 min, puis au bain-marie pendant 20 min ;
- récupérer le résidu dans un ballon avec de l'acide chlorhydrique (HCL amidon) et compléter jusqu'à 200 ml ;
- faire une hydrolyse au réfrigérant pendant 2H, refroidir et mettre quelques gouttes de phénophthaléine et neutraliser avec la lessive de soude puis décolorer avec de HCl (1/4) ;
- faire une dilution et puis prélever 5ml du filtrat, ajouter 5ml du réactif de Luff Schoorl, adapter au réfrigérant pendant 5min ;
- ajouter 3ml de KI (30%) et 3ml de H₂ SO₄ (6 N);
- titrer avec du Thiosulfate (0,1N) en présence d'empois d'amidon et noter le volume de la solution (Vs) ;
- faire un blanc dans les mêmes conditions et noter le volume du blanc (Vb).

***Expression des résultats :**

Etablir à l'aide de la table (Annexe II) la quantité de saccharose (Y en mg) correspondant à la différence entre les volumes des deux titrations (Vb-Vs); exprimés en ml de thiosulfate de sodium 0,1N.

$$\text{Le taux d'amidon (\%)} = \frac{Y \times 250 \times 100 \times 0,95 \times K}{P \times 5 \times 1000}$$

où est le K = facteur de dilution

II. 6- Détermination de la teneur en matières grasses

***Principe :**

Il repose sur l'extraction gravimétrique des matières grasses par un solvant (Hexane), puis quantification de la matière après séparation (AOAC, 1995).

***Réactifs :**

Hexane 96%

***Matériel :**

- balance analytique ;
- cartouches d'extraction ;
- coton hydrophile ;
- gobelets en aluminium ;
- appareil d'extraction Soxhlet ;
- étuve (105°C) ;
- dessiccateur.

***Mode opératoire :**

- mettre en marche le système de chauffage préalablement réglé à 120°C ;
- tarer le gobelet d'extraction (P0) ;
- introduire dans la cartouche d'extraction 1g de produit à analyser, préalablement pesé dans du papier Joseph puis boucher avec du coton hydrophile (P1),
- mettre à l'aide d'une éprouvette 70 ml d'Hexane dans le gobelet ;
- ouvrir le réfrigérant du Soxhlet ;
- adapter la cartouche sur l'appareil et insérer le gobelet ;
- lorsque l'hexane commence à s'évaporer, plonger la cartouche dans le gobelet et laisser dérouler l'extraction pendant 40 mn ;
- mettre la cartouche en position haute pendant 15 mn pour permettre le lavage de la paroi de la cartouche ;
- arrêter l'extraction et envoyer de l'air chaud (5mn) ;
- porter le gobelet dans l'étuve à 105°C pendant 30 mn ;
- refroidir à l'aide du dessiccateur et peser (P2).

***Expression des résultats :**

$$\text{Le taux de lipides (\%)} = \frac{P2 - P0}{P1 - P0} \times 100$$

II. 7- Détermination de la teneur en protéines

***Principe :**

La détermination de la teneur en protéines, par la méthode de Kjeldahl, mesure l'azote protéique. Elle consiste à minéraliser l'azote organique de l'échantillon par digestion à l'acide sulfurique concentré en présence d'un catalyseur. A la fin de la digestion, on obtient du

sulfate d'ammonium qui libère de l'ammoniac par suite d'une distillation en milieu alcalin. L'ammoniac libéré est collecté dans un volume d'acide borique et dosé par titration avec une solution standard d'acide sulfurique diluée (AOAC, 1995).

***Réactifs :**

- Acide sulfurique concentré ;
- Sulfate de potassium ;
- Acide borique ;
- Vert de bromocrésol ;
- Rouge de méthylène ;
- Hydroxyde de sodium ou soude caustique ;
- Carbonate de sodium ;
- Ethanol absolu ;
- Sélénium.

***Matériel :**

- appareil pour protéines type Büchi ;
- balance de précision ;
- burette, bloc et tubes de minéralisation.

***Mode opératoire :**

Phase de digestion :

- introduire 0,5g de farine dans une fiole de kjeldahl de 100 ml, ajouter 1g de catalyseur (sulfate de potassium-sélénium) ;
- agiter puis ajouter 5 à 10 ml de $H_2 SO_4$ concentré et mélanger ;
- poursuivre la digestion environ 60min ;
- arrêter le chauffage puis refroidir ;
- ajouter 60 ml d'eau distillée et mélanger immédiatement.

Phase de distillation :

- mettre l'appareil sous tension, et régler les vannes de la chambre à vapeur et du réfrigérant ;
- laisser distiller environ 200ml ;
- doser l'excès d'acide par la soude.

***Expression des résultats :**

$$\text{La teneur en matières protéique brutes (\%)} = \frac{NxVx14x6,25x100}{PE}$$

où N = normalité de l'acide

V = volume d'acide versé

PE = prise d'essai

6,25 = facteur de conversion de l'azote en protéine pour le mil

II. 8- Détermination de la teneur en minéraux

*Principe :

Il repose sur une absorption atomique par un spectrophotomètre qui utilise une source de lumière primaire constituée d'une lampe à cathode creuse spécifique pour chaque élément à étudier. Dans le cadre de notre étude les éléments recherchés sont : Zinc, Calcium, Fer, Phosphore, Magnésium et Potassium (AOAC, 1995).

NB : La détermination du Phosphore s'est fait par absorption selon le principe décrit en Annexe III.

*Réactifs :

- Acide nitrique $\frac{1}{2}$;
- Acide chlorhydrique $\frac{1}{2}$;

*Matériel :

- balance analytique ;
- creusets ;
- four pouvant assurer 600 C;
- plaque chauffante ;
- hotte ;
- fioles de 50 ml ;
- spectrophotomètre d'absorption atomique.

*Mode opératoire :

- peser 1g d'échantillon dans un creuset et calciner 2 H à 600°C, puis laisser refroidir ;
- se mettre sous la hotte et mouiller les cendres avec 10 gouttes d'eau distillée ;
- ajouter 3 ml d'acide nitrique $\frac{1}{2}$;
- évaporer à sec l'excès d'acide sur plaque chauffante à 100°C, calciner de nouveau pendant 1 H à 600°C et laisser refroidir ;
- dissoudre les cendres dans 10 ml d'acide chlorhydrique $\frac{1}{2}$;
- filtrer dans une fiole de 50 ml ;
- laver le papier filtre avec de l'eau distillée et compléter au volume ;

- faire la lecture de la concentration (C) sur le spectrophotomètre avec la longueur d'onde du minéral correspondant.

***Expression des résultats :**

$$\text{Elément (mg/100g)} = \frac{CxKx50}{PE}$$

où PE = prise d'essai

C = concentration

K = Facteur de dilution

II. 9- Détermination de la teneur en glucides totaux

***Principe :**

La teneur en glucides totaux est déterminée par différence de 100 (en %) moins les teneurs (en %) en eau (H), protéines (P), cendres (Ce), matière grasse (M.G) et cellulose (C).

***Expression des résultats :**

$$\text{Teneur en glucides totaux} = 100 - (H + P + Ce + C + M.G)$$

II. 10- Détermination de la valeur énergétique

***Principe :**

La valeur énergétique est déterminée par les coefficients d'ATWATAR. Elle est obtenue en multipliant par 4 pour la teneur en protéines (P) et celle des glucides totaux (G.T) et par 9 la teneur en matière grasse (M.G).

***Expression des résultats :**

$$\text{La valeur énergétique (en Kcal / 100g)} = 4 \ (P + G.T) + 9 \times M.G$$

III. TESTS DE FONCTIONNALITE

Ces tests ont été réalisés sur le produit fini ou couscous selon la méthode décrite par l'ITA, 1986.

III. 1- Le coefficient d'imbibition

C'est une mesure du pouvoir d'absorption du couscous testé.

***Mode opératoire :**

- peser 20 g de couscous (P) ;

- placer l'échantillon dans une nacelle appropriée (ne permettant pas d'avoir des fuites de produit) ;
- immerger le produit pendant 1mn dans de l'eau à 75 °C ;
- laisser égoutter 1mn et noter P'.

***Expression des résultats :**

Le coefficient d'imbibition est le poids atteint par 100g de couscous après le dit traitement.

$$\text{Le coefficient d'imbibition (Ci)} = \frac{P'}{P} \times 100 = \frac{100 - H_i}{100 - H_j} \times 100$$

H_i = humidité du produit avant imbibition

H_j = humidité du produit après imbibition

III. 2- L'indice de gonflement

C'est une mesure de la capacité de gonflement du produit en présence d'eau.

***Mode opératoire :**

- mesurer un volume V de produit au moyen d'un tube calibré (V=17,41 ml) ;
- transvaser le contenu du tube dans une éprouvette graduée de 250 ml ;
- ajouter 80 ml d'eau à 75°C ;
- laisser imbiber pendant 10 mn en agitant légèrement ;
- noter le volume atteint par le produit après gonflement (V').

***Expression des résultats :**

$$\text{L'indice de gonflement (Ig)} = \frac{V'}{V} \times 100$$

III. 3- Le taux de délitescence

C'est une mesure du taux de désintégration du couscous en présence d'eau.

***Mode opératoire :**

- imbiber 40g de couscous (M_i) d'humidité connue (H_i) dans un bécher de 250 ml avec de l'eau à 75° pendant 10 mn ;
- transvaser le contenu du bécher sur un tamis RO-TAP ($\Phi=1\text{mm}$) ;
- rincer le bécher et laver le couscous avec deux fois un litre d'eau ;
- peser le refus resté sur le tamis (M_j) et déterminer son humidité (H_j).

***Expression des résultats :**

$$\text{Le taux de délitescence (Td)} = 1 - \frac{M_j(H_j - 100)}{M_i(H_i - 100)} \times 100$$

IV. TESTS SENSORIELS

IV. 1-Préparation du couscous

La transformation du couscous s'est fait à l'unité « Free Work Services ». Nous avons opéré dans les mêmes conditions expérimentales lors de la mouture des différentes variétés de mil. La méthode a permis d'obtenir des produits similaires au couscous traditionnel commercialisé et utilisé pour les préparations locales du pays.

Nous nous sommes efforcés de standardiser dans la mesure du possible les conditions expérimentales pour ne pas introduire des causes de variations indépendantes des facteurs étudiés. En particulier, nous avons utilisé la même brasseuse, les mêmes ustensiles, les mêmes appareils et la même méthode de préparation.

Le mil brut est transporté à l'aide de bacs à la Maison du Consommateur Sénégalais (Free Work Services). La première étape de transformation consiste à enlever le son à l'aide d'une décortiqueuse à disques abrasifs, ce qui nous permet d'obtenir une première mouture du mil. La quantité de mil brut traitée est comprise entre 20 et 25 Kg selon la variété.

Le lavage : le mil décortiqué est versé dans une bassine d'eau remplie au trois quart à l'aide d'une calebasse en bois. Par des mouvements de rotation de la calebasse avec les deux mains, le sable contenu dans le produit tend à sédimenter au fond. A la surface de l'eau, on peut distinguer sur le surnageant des débris de diverses natures (fil de sac, grains pourris ou immatures, petits bois...) qui sont éliminés après tamisage. Le produit est par la suite traité dans une autre eau par petites quantités pour optimiser le lavage qui est poursuivi jusqu'à ce qu'il n'y a plus de sable. A la fin, le produit est versé dans une bassine vide et bien propre.

L'exposition : elle se fait à l'air ambiant (sous le soleil) pour évaporer l'eau. Le produit est étalé sur un bol de grand diamètre et recouvert d'un morceau de tissu propre pour protéger contre la poussière.

La mouture : elle est faite à l'aide d'un moulin à marteaux muni d'un système de ventilation, d'anneaux, d'un tamis et d'un levier qui contrôle le passage des grains. La farine ainsi obtenue est recueillie dans un bol. La farine est ensuite tamisée traditionnellement (*tamis sanqal*), ce qui permet d'éliminer les refus.

La farine est ensuite brassée avec de l'eau javellisée par jets dans une calebasse. Le brassage effectué à la main permet d'obtenir une farine humidifiée qui sera ensuite tamisée avec un tamis plus fin (*tamis cere*). Le refus est encore broyé à la main. Un autre tamisage est de

nouveau fait avec un tamis à mailles rectangulaires et plus larges⁵ pour récupérer davantage de produit.

La cuisson : elle s'est fait à l'aide d'une marmite à moitié remplie d'eau réchauffée par un gaz. Une passoire est posée dessus et reliée à la marmite par de la farine mouillée. Un tissu léger est étalé sur la passoire et le produit y est versé. Ce dernier est cuit par la vapeur d'eau jusqu'à l'obtention de couscous (précuit) qui est prélevé à l'aide d'une écumoire et mis dans un bol pour ensuite être écrasé par un pilon. Puis le couscous est étalé sur des plaques à l'air ambiant afin d'être refroidi. Enfin, par le biais d'une tamiseuse électrique, du couscous prêt à la consommation est obtenu.

Pour une conservation durable et un bon conditionnement, le couscous est placé dans un séchoir alimenté par un gaz pendant quelques heures (2 à 4H) puis emballé dans des sachets en plastique.

D'après TINE et al.(2001), le couscous cuit à la vapeur est d'une qualité sanitaire satisfaisante du point de vue microbiologique, puisque la cuisson détruit les micro-organismes et stoppe la fermentation. La cuisson permet d'obtenir un produit dont la flore est \leq à 10 ufc/g⁶. Or, la phase de séchage est source de contamination puisque la teneur en mésophiles aérobies varient entre 3.10^4 et 10^5 (valeur inférieure aux charges limites admises pour ce type de produit).

IV. 2- L'analyse sensorielle

L'analyse sensorielle est une science multidisciplinaire qui fait appel à des dégustateurs et à leur sens de la vue, de l'odorat, du goût, du toucher et de l'ouïe pour mesurer les caractéristiques sensorielles et l'acceptabilité des produits alimentaires ainsi que de nombreux autres produits (WATT et al, 1991).

L'analyse sensorielle a pour ambition d'utiliser l'être humain comme instrument de mesure. Il s'agit d'une démarche naturelle. Cet instrument humain présente la particularité de fournir une mesure dépendante non seulement et bien évidemment du produit, mais aussi de la spécificité neurobiologique de l'être humain qui l'évalue.

IV. 3- Evaluation des paramètres organoleptiques

Pour étudier les paramètres organoleptiques, nous nous sommes référés à la méthode d'analyse du Projet P5 des pays membres du R OCAFREMI, qui avait retenu pour des

⁵ Tamis modifié par le service

⁶ ufc/g = unité formant colonies par gramme

produits tels que le couscous comme composantes essentielles : la couleur, le goût, la texture, la granulométrie et l'odeur. Nous avons utilisé les fiches types d'analyses sensorielles proposées à cet effet (Annexe IV).

Pour la préparation des tests sensoriels, nous avons utilisé 100 g de couscous, 100 ml d'eau et deux cuillérées de gomme esterculia ou « *lalo mbepp* ». La durée de cuisson est de 5 à 7 min.

Les tests sensoriels ont été réalisés avec un panel de douze (12) dégustateurs, instruits et provenant des agents de l'ITA. La dégustation s'est fait sur des plats à jeter avec les trois échantillons séparés et codés aléatoirement I, II, III comme le montre la figure 3.

Les fiches d'appréciation remplies par les dégustateurs permettent de recueillir les informations nécessaires sur les paramètres recherchés grâce à une échelle de notation variable de 1 à 5 où 1 correspond à « très mauvais » et 5 à « très bon ».

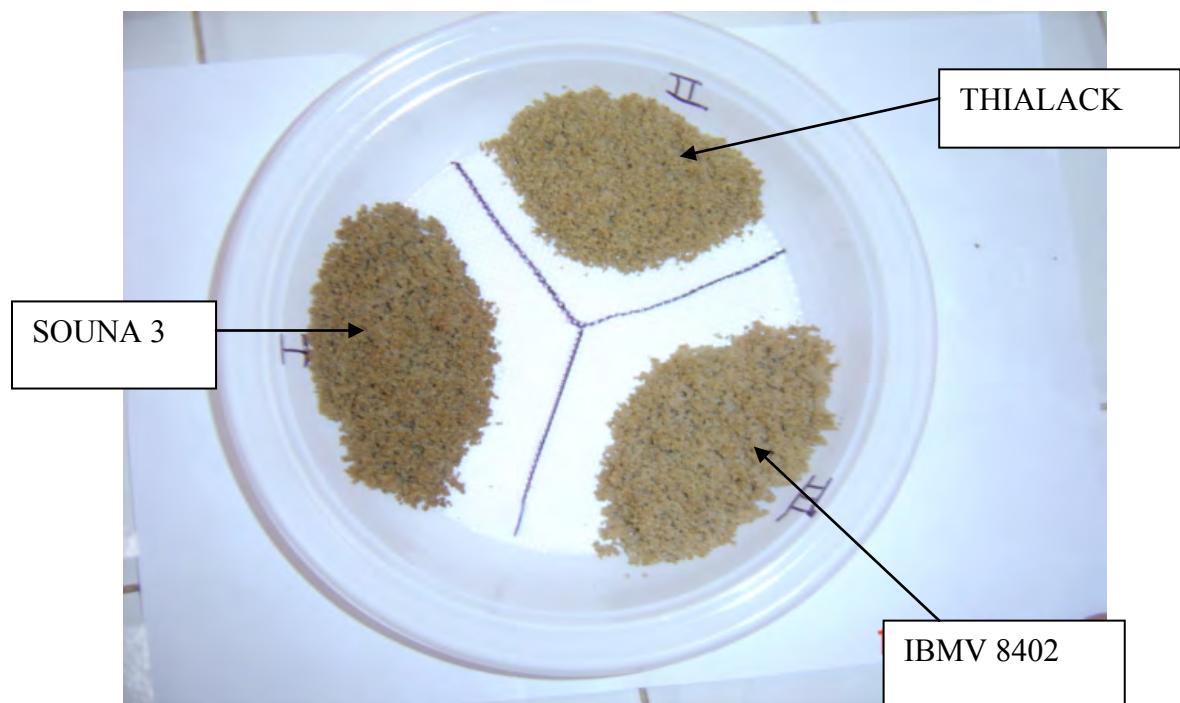


Figure 3 : Plat de dégustation avec les codes des trois échantillons

Chapitre 3 :

RESULTATS ET

DISCUSSIONS

I- ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES

I. 1- Sur mil brut

Pour chaque analyse, nous avons effectué cinq (5) répétitions. Les résultats obtenus traduisant la moyenne des valeurs, montrent des teneurs en matière sèche variables selon la variété et le paramètre étudié comme le montre le tableau 5.

Tableau 5 : Résultats des analyses physico-chimiques sur le mil brut

Paramètres	Unité ⁷	SOUNA 3	THIALACK	IBMV 8402
Humidité	%	9,03 ± 0,06	7,46 ± 0,26	9,24 ± 0,15
Cendres	%	1,74 ± 0,05	1,63 ± 0,04	1,62 ± 0,03
	g/100g M.S.	1,91	1,76	1,78
Acidité grasse	%	0,28 ± 0,01	0,24 ± 0,02	0,22 ± 0,01
	g/100g M.S.	0,30	0,26	0,24
Cellulose	%	2,29 ± 0,33	3,13 ± 0,23	2,92 ± 0,10
	g/100g M.S.	2,51	3,38	3,21
Amidon	%	43,17 ± 0,28	32,07 ± 0,20	42,21 ± 0,73
	g/100g M.S.	47,45	34,65	46,50
Matières grasses	%	3,51 ± 0,07	4,26 ± 0,35	4,67 ± 0,06
	g/100g M.S.	3,85	4,60	5,14
Protéines	%	13,04 ± 0,11	11,45 ± 0,05	8,53 ± 0,07
	g/100g M.S.	14,33	12,37	9,40
Glucides totaux	%	70,39	72,07	73,01
	g/100g M.S.	77,38	77,88	80,44
Valeur énergétique	Kcal/100g	365,31	372,42	368,18
Minéraux	Zinc	mg/100g	1,34 ± 0,20	2,25 ± 0,63
	Calcium	mg/100g	6,61 ± 0,16	5,51 ± 0,33
	Fer	mg/100g	8,28 ± 0,46	8,32 ± 0,43
	Phosphore	mg/100g	37,60 ± 1,46	36,98 ± 1,83
	Magnésium	mg/100g	130,89 ± 6,49	146,64 ± 10,14
	Potassium	mg/100g	414,67 ± 11,63	428,07 ± 18,10
				432,19 ± 41,55

⁷ % (pourcentage) ; g (grammes) ; M.S. (matière sèche) ; Kcal (kilocalories) ; mg (milligrammes)

Il ressort que la variété SOUNA 3 présente le taux de protéine le plus élevé surtout comparée à la variété IBMV. La variété THIALACK quant à elle, montre une importante teneur en cellulose et présente les taux les plus faibles en eau et en amidon par rapport aux deux autres variétés. Par contre la IBMV 8402 montre les teneurs en matières grasses et en zinc les plus importantes et un taux en calcium plus faible que les deux autres variétés. L'acidité, les glucides totaux et les cendres sont quasiment dans les mêmes proportions pour les trois variétés. Les valeurs énergétiques ne montrent non plus de variations sensibles.

I. 2- Sur couscous

Les résultats obtenus sur le couscous montrent des teneurs en acidité et en eau peu différentes pour les trois variétés (tableau 6).

Tableau 6 : Résultats des analyses chimiques sur le couscous

Paramètres	SOUNA 3	THIALACK	IBMV 8402
Humidité (%)	$5,42 \pm 0,02$	$6,01 \pm 0,51$	$4,54 \pm 0,22$
Acidité grasse (%)	$0,015 \pm 0,01$	$0,020 \pm 0,00$	$0,010 \pm 0,00$

I. 3- Discussion

Les teneurs en eau observées sont toutes basses ($\leq 9,5\%$). En effet, il est recommandé d'avoir une teneur en eau dans le cas des grains de mil sec destinés à la consommation humaine inférieure ou égale à 13% (ANONYME, 1998). C'est donc dire que les grains transformés sont dans un état de siccité suffisant pour permettre une bonne conservation. La primauté de la teneur en eau dans la conservation de denrées est relatée dans bon nombre d'études. Plus l'humidité est basse, mieux le produit se comporte lors de la conservation, surtout si elle est de longue durée.

La variété SOUNA 3 présente une teneur en cendres légèrement plus élevée qui peut être liée à un nombre plus élevé de grains immatures. On a constaté que c'était la variété la plus hétérogène lors de l'approvisionnement. Cela a fait qu'elle a nécessité plus d'eau pour son lavage au cours de la transformation. Les autres variétés révèlent approximativement la même teneur. Le taux de cendres renseigne sur la qualité du décorticage, la présence de sels

minéraux, et sur la proportion de son contenu dans le produit qui est relative à la maturité des grains. Plus le taux de cendres est élevé, plus il y a de matières minérales et plus les grains sont immatures.

L'acidité grasse ne montre pas de grandes variations entre les trois échantillons. Les valeurs obtenues sont du même ordre que celles données par DIATTA (2006) sur trois échantillons de sorgho. L'acidité constitue un bon indicateur de l'état de conservation des grains car la dégradation des lipides par oxydation ou bien par hydrolyse entraîne un accroissement du niveau d'acidité. Pour les farines, (LECOQ, 1965) indique qu'il varie en fonction de l'âge et du taux d'extraction de la farine.

La teneur en cellulose ou fibres alimentaires évalue la quantité de matières organiques, qui chez l'homme, restent indigestes par défaut d'enzymes glycolytiques spécifiques. Elle est plus élevée pour la variété THIALACK suivie de IBMV 8402 et enfin de SOUNA 3. Les résultats obtenus sont largement supérieurs à ceux de JAMBOUNATHAN et SUBRANIAN (1988) qui situent la teneur dans l'intervalle [1,1-1,8].

L'amidon constitue une source de glucose et est généralement stocké sous forme de réserve glucidique dans les graines. La variété THIALACK présente le taux le plus faible par rapport aux variétés IBMV 8402 et SOUNA 3 sensiblement comparables. D'après NDIAYE (2004), cette faible teneur serait synonyme d'une bonne aptitude au maltage et donc conduirait à l'augmentation de la proportion de sucres réducteurs et totaux. Toutefois, les teneurs en glucides totaux sont sensiblement égales pour les trois variétés. L'estimation de la teneur en glucides totaux et de la valeur énergétique permet entre autres d'apprécier la qualité nutritionnelle des produits.

Les résultats montrent des teneurs croissantes en matières grasses respectivement pour les variétés SOUNA 3, THIALACK et IBMV 8402. Les taux ainsi obtenus sont situés dans l'intervalle proposé par JAMBOUNATHAN et SUBRANIAN (1988) (tableau 3). La teneur en matières grasses revêt une importance capitale au plan technologique. Car au moment de la conservation, il peut y avoir un phénomène de rancissement qui serait dû à leur oxydation. Cette dégradation augmenterait l'acidité grasse et aboutirait à une détérioration des produits conservés.

Les protéines sont déterminantes pour quantifier la valeur nutritionnelle des aliments. Elles demeurent un indicateur de qualité pour les grains de céréales. La variété SOUNA 3 se révèle comme étant celle contenant le plus de matières protéiques. Après, c'est la variété THIALACK qui montre le taux le plus important. Les valeurs obtenues sont dans la fourchette proposée par JAMBOUNATHAN et SUBRANIAN (1988).

Il est nécessaire de quantifier la présence d'éléments minéraux dans la chaîne alimentaire pour rechercher ceux qui perturbent ou catalysent les processus enzymatiques. Les minéraux étudiés s'avèrent intéressantes dans l'évaluation de la valeur nutritive des céréales.

Ainsi, la variété SOUNA 3 s'erait pauvre en potassium et riche en phosphore. La variété IBMV 8402 est pauvre en phosphore, magnésium et fer par contre riche en potassium, zinc et calcium. Quant à la variété THIALACK, elle est riche en fer et magnésium mais pauvre en zinc et calcium.

En ce qui concerne le couscous, les teneurs en eau et en acidité sont quasiment égales pour les trois variétés (tableau 6). La détermination du taux d'humidité renseigne sur la possibilité de conservation durable des produits. D'après TINE et *al.* (2001), cette teneur doit être inférieure à 10% pour une longue conservation sous emballage hermétique. Ce qui est le cas généralement au niveau des marchés urbains. Du couscous préparé dans les mêmes conditions que celles de notre étude se conserverait alors normalement sous emballage hermétique (humidité $\leq 6\%$).

La teneur en acidité est relativement faible pour les trois échantillons. Elle serait fonction de la fermentation après lavage des grains au cours de la transformation. La façon d'apprêter le couscous diffère suivant les ethnies. L'acidité influerait sur certains paramètres sensoriels des aliments tels que le goût.

II- TESTS DE FONCTIONNALITE

II. 1- Résultats

Le tableau 7 indique la moyenne des valeurs obtenues après une double répétition. On observe que le coefficient d'imbibition et l'indice de gonflement varient parallèlement et sont plus élevées pour la variété SOUNA 3, suivie respectivement des variétés THIALACK et IBMV 8402. Le taux de délitescence est plus important pour la variété THIALACK, suivie respectivement des variétés IBMV 8402 et SOUNA3.

Tableau 7 : Résultats des tests de fonctionnalité

Paramètres	SOUNA 3	THIALACK	IBMV 8402
Coefficient d'imbibition	249,95 ^a	270,98 ^b	264,57 ^b
Indice de gonflement	274,51 ^a	277,73 ^a	296,75 ^b
Taux de délitescence	15,61 ^a	23,04 ^b	16,46 ^a

NB : Les valeurs ayant des lettres communes sont statistiquement identiques

II. 2- Discussion

D'après l'ITA (1986), l'indice de gonflement du couscous précuit est de $400 \pm 5\%$, ce qui est largement supérieur aux résultats obtenus. Des travaux récents réalisés par DIATTA (2006) sur trois variétés de sorgho montrent un indice de gonflement et un coefficient d'imbibition compris respectivement dans les intervalles [320-362] et [322-405], ce qui est en nettement supérieure aux résultats obtenus sur le mil. Ces paramètres évaluent l'aptitude du produit à absorber l'eau d'où leur importance du point de vue quantitatif pour les préparations ménagères.

Le taux de délitescence qui mesure la capacité de désintégration du couscous dans l'eau est plus important pour la variété THIALACK, viennent ensuite IBMV 8402 puis SOUNA3. Le taux de délitescence du couscous précuit doit être $\leq 80\%$ selon ITA (1986). Ce taux plus élevé pour la première variété est synonyme d'une cuisson plus rapide.

III- TESTS SENSORIELS

III. 1- Résultats

Les données obtenues à l'issu des tests sensoriels, présentées dans le tableau 8, montrent la moyenne des valeurs des différentes variétés selon les critères d'appréciation considérés.

Tableau 8 : Résultats des analyses sensorielles

Echantillons		Couleur	Granulo-métrie	Texture	Goût	Acceptabilité générale
SOUNA 3	Nombre	144	144	144	144	144
	Moyenne	3,09	3,48	3,53	3,53	3,37
	Ecart type	0,91	0,88	0,74	0,88	0,89
THIALACK	Nombre	144	144	144	144	144
	Moyenne	4,13	3,89	3,88	3,92	3,95
	Ecart type	0,77	0,77	0,83	0,84	0,82
IBMV 8402	Nombre	144	144	144	144	144
	Moyenne	3,93	3,75	3,63	3,62	3,72
	Ecart type	0,94	0,84	0,81	0,88	0,89

a) Test d'égalité des variances

Les données sensorielles sont étudiées au moyen d'analyse de variance (ANOVA) pour déterminer s'il y a des différences significatives dans le degré d'appréciation entre les échantillons. Le test de LEVENE permet de comparer les variances selon les paramètres sensoriels (tableau 9).

Tableau 9 : Test de LEVENE

Paramètres sensoriels	Statistiques de LEVENE	Signification
Couleur	1,809	0,165
Granulométrie	2,740	0,066
Texture	0,365	0,694
Goût	0,980	0,376
Acceptabilité générale	1,339	0,263

Tous les seuils de signification obtenus sont supérieurs à 5 %, donc les variances ne sont pas homogènes.

D'après WATT et *al.* (1991), la valeur critique pour 12 dégustateurs de 3 échantillons est 12. Ceci signifie en d'autres termes que seules les différences entre échantillons supérieures à 12 sont significatives. Les données sensorielles indiquées dans le tableau 10 montrent statistiquement des différences significatives entre échantillons.

Tableau 10: Caractéristiques des variances

Paramètres sensoriels		Somme des carrés	ddl ⁸	Moyenne des carrés	F ⁹	Signification
Couleur	Inter-groupes	88,765	2	44,383	65,592	0,000
	Intra-groupes	290,281	429	0,677		
Granulométrie	Inter-groupes	12,505	2	6,252	9,212	0,000
	Intra-groupes	291,160	429	0,679		
Texture	Inter-groupes	9,241	2	4,620	7,174	0,001
	Intra-groupes	276,313	429	0,644		
Goût	Inter-groupes	11,931	2	5,965	7,877	0,000
	Intra-groupes	324,882	429	0,757		
Acceptabilité générale	Inter-groupes	24,875	2	12,438	16,724	0,000
	Intra-groupes	319,042	429	0,744		

La comparaison de tous les paramètres sensoriels pour les trois échantillons est caractéristique car toutes les significations sont inférieures à 0,05. Ce qui veut dire que toutes les valeurs de F sont supérieures à la valeur critique (2,6866)¹⁰ estimée pour ce coefficient au seuil de 5%.

L'analyse des données par le test de STUDENT-NEWMAN-KEULS permet de dégager les groupes distincts au niveau du tableau 11. Les résultats montrent trois sous-ensembles de groupe différent selon la couleur et l'acceptabilité générale qui évoluent de manière parallèle. Cependant, pour les autres paramètres sensoriels tels que la granulométrie, la texture et le goût, nous avons deux groupes homogènes distincts.

⁸ ddl= degré de liberté

⁹ F= rapport moyenne des carrés inter et intra-groupes

¹⁰ WATT et al. (1991),

Tableau 11 : Test de STUDENT-NEWMAN-KEULS des analyses sensorielles

Variétés	Paramètres sensoriels	Moyennes et sous-ensembles homogènes pour alpha= 0,05
THIALACK	Couleur	4,13 ^a
IBMV 8402		3,93 ^b
SOUNA 3		3,09 ^c
THIALACK	Granulométrie	3,89 ^{ab}
IBMV 8402		3,75 ^{ba}
SOUNA 3		3,48 ^c
THIALACK	Texture	3,88 ^a
IBMV 8402		3,63 ^{bc}
SOUNA 3		3,53 ^{cb}
THIALACK	Goût	3,92 ^a
IBMV 8402		3,62 ^{bc}
SOUNA 3		3,53 ^{cb}
THIALACK	Acceptabilité générale	3,95 ^a
IBMV 8402		3,72 ^b
SOUNA 3		3,37 ^c

NB : Les lettres alphabétiques en exposées (**a** ; **b** ; **c**) traduisent les sous-ensembles.

Les valeurs ayant des lettres communes sont considérées statistiquement comme des groupes homogènes

b- Diagramme des moyennes

Les résultats obtenus sont représentés sous forme d'histogramme représenté dans la figure 3 qui présente aussi les différents sous-ensembles obtenus.

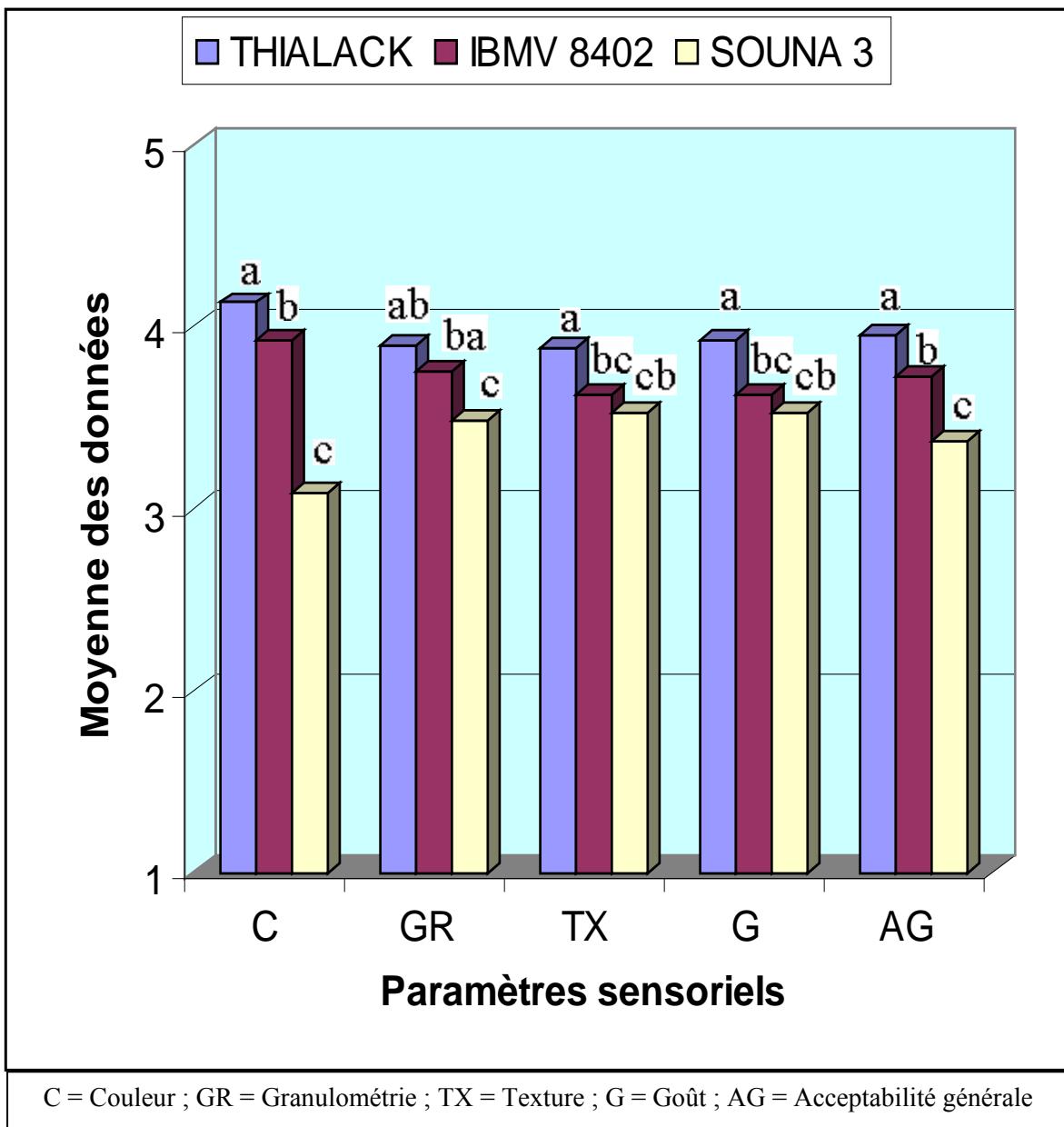


Figure 4 : Diagramme des données sensorielles

III. 2- Discussion

Les résultats des études sensorielles révèlent des différences entre les trois échantillons. Même si l'analyse descriptive ne renseigne pas sur l'ampleur de la distinction notée, elle donne une discrimination perceptible d'un attribut selon les trois échantillons.

Pour l'appréciation de la couleur et de l'acceptabilité générale, aucun des échantillons n'est statistiquement égale à l'autre. En effet, la variété THIALACK présente la meilleure couleur

avec une moyenne de 4,13, suivie respectivement des variétés IBMV 8402 (3,93) et SOUNA 3 (3,09). Il en est de même pour l'acceptabilité générale avec dans l'ordre 3,95 ; 3,72 ; 3,37 pour les variétés THIALACK, IBMV 8402 et SOUNA 3.

Selon la granulométrie, la variété SOUNA 3 (3,48) se distingue avec une moyenne inférieure aux deux autres variétés THIALACK et IBMV 8402 (3,75 & 3,89), considérées comme semblables statistiquement. Ceci montre l'importance du diamètre des grains lors des opérations de transformation où il est généralement recherché une certaine homogénéité au niveau de la taille des grains. L'importance de ce phénomène est davantage mise en exergue lors des phénomènes de mouture. BROUTIN et al. (2003) ont insisté sur la nécessité d'un bon calibrage dont les conséquences sont entre autres : décorticage non réalisé pour les grains de plus petits calibres où l'élimination de ceux-ci avec les sous produits, ce qui amoindrit la qualité des produits transformés.

En ce qui concerne la texture et le goût, c'est la variété THIALACK qui se discrimine des deux autres avec des moyennes supérieures respectivement 3,88 et 3,92. Les variétés IBMV 8402 et SOUNA 3 qui sont statistiquement similaires présentent respectivement 3,63 ; 3,62 et 3,53 ; 3,53.

Les résultats montrent que pour chaque paramètre sensoriel étudié, la variété THIALACK donne la meilleure moyenne. Il ressort clairement sur la figure 3 et le tableau 11 que la variété THIALACK a été nettement préférée suivie de IBMV 8402 et de SOUNA 3 sur le plan statistique.

En effet, cette variété s'avère être la plus appréciée par les dégustateurs du fait surtout de sa couleur plus claire. Par ailleurs, ce paramètre constitue le facteur principal pour la préférence du couscous du point de vue visuel. Ceci a fait que la couleur a beaucoup influencé sur la notation des autres paramètres lors de l'étude sensorielle. Il y a eu plus de corrélation entre la couleur et l'acceptabilité générale qu'avec les autres paramètres qui sont la texture, la granulométrie et le goût. Cela montre l'intérêt que représente la couleur parmi les critères de choix des produits. D'ailleurs, pour obtenir une apparence jaune pâle du couscous, certaines unités de production mélangeant le mil avec quelques grains de maïs, du sorgho ou du riz avant la transformation alimentaire.

Au cours de la préparation, la variété THIALACK s'est révélée comme facile à manier, assez propre car ne présentant pas beaucoup de sable ou débris...

La variété IBMV 8402, qui du point de vue granulométrie est classée dans un même sous-ensemble que la variété THIALACK, est celle qui vient après. Cette variété présente des grains plus gros et homogènes que les autres. Sa couleur est plus appréciée que celle de la SOUNA, il en est de même pour tous les autres paramètres sensoriels étudiés.

La variété SOUNA 3 est dépréciée du fait notamment de sa couleur qui est plus sombre. Elle a été la plus hétérogène après l'approvisionnement, ce qui a fait que lors de la transformation elle a nécessité plus d'eau pour son lavage.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Au Sénégal, le mil demeure la céréale de base la plus importante dans l'alimentation des populations tant par les surfaces cultivées que par sa production. De plus en plus, on assiste à une baisse de la production liée à un certain nombre de problèmes qui peuvent être d'ordre naturel ou économique.

Le mil présente une diversité d'espèces et du point de vue physico-chimique, il est source de protéines, d'énergie et de sels minéraux.

Chez l'homme, cette céréale nécessite au préalable une transformation avant d'être consommée ; une étape qui est souvent pénible et qui ne facilite pas son utilisation courante. Ceci montre l'importance qu'il sied d'accorder au développement de nouvelles technologies de transformation, mais aussi d'identifier parmi les variétés cultivées, celles qui sont plus rentables pour la fabrication de produits surtout prêts à être utiliser.

Certains produits traditionnels tels que le couscous occupent une place de choix dans les préparations quotidiennes des ménages sénégalaises selon l'étude réalisée par GAYE et *al.*, 2003.

L'intérêt de cette étude était de comparer trois variétés de mil connues au Sénégal et de voir leur aptitude pour la production de couscous.

Des analyses chimiques ont été effectuées pour chacune des variétés et des tests sensoriels ont permis d'édifier sur la préférence des consommateurs pour les couscous préparés à partir des trois variétés.

Ainsi, sur le plan chimique, les analyses révèlent un potentiel énergétique et une teneur en cellulose plus marquée respectivement pour la variété THIALACK, SOUNA 3 et IBMV 8402.

Le taux de cendres est légèrement plus important pour la variété SOUNA 3 suivie respectivement des variétés IBMV 8402 et THIALACK. Par contre, la variété Thialack a révélé un taux d'amidon bien plus faible que celui des deux autres variétés. En ce qui concerne les protéines, il existe une opposition nette entre la variété Souna 3 avec un taux très appréciable et IBMV qui en est bien moins pourvu. Les teneurs en acidité sont quasiment dans les mêmes proportions pour les trois variétés.

Lipides et glucides totaux sont dominants respectivement pour la variété IBMV 8402, THIALACK et SOUNA. L'humidité des trois variétés lors de l'approvisionnement est suffisamment basse pour assurer une conservation correcte.

Les éléments minéraux étudiés (Zn, Ca, Fe, P, Mg, K) sont tous présents dans les trois variétés de mil avec des proportions variables.

Au plan fonctionnel, le coefficient d'imbibition, l'indice de gonflement et le taux de délitescence sont respectivement de 393,24 ; 347,75 et 10,02 pour THIALACK, 361,59 ; 341,26 et 9,71 pour IBMV 8402 et 398,99 ; 360,57 et 9,08 pour SOUNA 3.

Enfin les tests de dégustation ayant comme critère d'appréciation la couleur, la granulométrie, le goût, la texture et l'acceptabilité générale, selon une échelle de notation allant de 1 à 5, ont montré statistiquement une nette préférence des dégustateurs pour la variété THIALACK, ceci quel que soit le paramètre considéré et particulièrement pour sa couleur plus claire et l'acceptabilité générale. Elle est suivie respectivement des variétés IBMV 8402 et SOUNA 3. Toutefois, il faut constater que ce choix est fait compte tenu de la qualité nutritionnelle des différentes variétés.

La variété THIALACK s'est donc révélée comme étant la variété de mil la plus apte à faire du couscous tant par son potentiel énergétique plus important, son coefficient d'imbibition et son indice de gonflement appréciables synonyme d'un bon comportement au cours de la préparation des mets à base de couscous, que par sa préférence nette par les dégustateurs dont le critère déterminant a été l'aspect visuel. La préférence des consommateurs pour une telle variété n'est pas dictée par ses propriétés intrinsèques mais par les résultats que leur donnent les organes de sens et particulièrement la vue et l'odeur.

Ensuite vient la variété IBMV 8402 avec un potentiel énergétique, une teneur en lipides et en cellulose supérieure par rapport à la variété SOUNA 3 même si cette dernière est plus riche en protéines, amidon et cendres.

Il serait intéressant de pousser plus loin le niveau de comparaison en recherchant la variété qui présente le meilleur rendement en culture et en étudiant d'autres paramètres écologiques et climatiques afin de savoir le mieux adapté pour une production plus efficiente.

De plus, il serait nécessaire de mener des études sur la farine de mil obtenue après décorticage afin d'évaluer qualitativement la valeur nutritive du couscous fabriqué avec les différentes variétés.

Par ailleurs, des perspectives d'amélioration végétale pourraient être envisagées entre les variétés THIALACK et IBMV 8402 pour sa qualité organoleptique d'une part et entre THIALACK et SOUNA 3 pour sa richesse en protéines d'autre part, dans le souci de mettre sur le marché des types riches en nutriments et appréciés par les consommateurs.

BIBLIOGRAPHIE

1. **ABDELRAHMAN A., HOSENEY, R.C., VARRIANNO. MARSTON, E., 1984.** *The proportions and chemical compositions of hand-dessected anatomical parts of pearl millet.* J. Cereal. Sci., 2 : 127-133.
2. **ALIYA S., GEERVANI P., 1981.** *An assessment of the protein quality and vitamin B of commonly used fermented products of legumes and millets.* J. Sci. Food Agric., 32 : 837-842.
3. **AOAC, 1995.** *Official Methods of Analysis of AOAC International.* 16 th edition. Vol. I.
4. **ASIEDU J.J., 1991.** *Transformation des produits agricoles en zone tropicale approche technologique.* Collection Economie et développement. Edité par CTA; Khartala.
5. **BADJECK B., AMEZIANE EL HASSANI T., GASCON J.F., WANE B., 2004.** *Rapport spécial, mission FAO/PAM pour l'évaluation des récoltes et des disponibilités alimentaires au Sénégal.* 22p.
6. **BISMUTH E., LAVERGNE D., CHAMPIGNY M.L. 1979.** *Physiological studies on two cultivars of *Pennisetum* : *P. americanum*, cultivated species and *P. mollisum*, a wild species. Photosynthetic carbon metabolism.* Z. Pflanzenphysiol. 91: 291-303.
7. **BROUTIN C., SOKONA K., TANDIA A., 2000.** *Aperçu de la filière céréale au Sénégal.* 19p.
8. **BROUTIN C., TOTTE A., TINE. E, FRANCOIS M., CARLIER R., BADINI Z. 2003.** Transformer les céréales pour les nouveaux marchés urbains. Opportunités pour les petites entreprises en Afrique. *Collection le point sur.* GRETB, 296 p.
9. **CEA/NU, 1998.** *Manuel technique des farines composées. Transformation des farines tropicales.* Ethiopie. 182p.
10. **CHEFTEL J-C., CHEFTEL H., DESNUELLE P., 1977.** *Introduction à la biochimie et à la technologie des aliments.* In : *Biochimie Aliments Technologie.* Collection Ingénieurs Praticiens. Paris vol 1.
11. **DIATTA A., 2006.** *Caractérisation de trois variétés de sorgho, *Sorghum bicolor* (L.) Moench : composition et aptitude à la fabrication de produits roulés.* Mém. DEA Chimie et Biochimie des Produits Naturels., UCAD, 58p.
12. **FAO, 1995.** *Le sorgho et les Mils dans la nutrition humaine.* Collection FAO : Alimentation et Nutrition n°27, Rome.
13. **FAO, 1997.** *Economie mondiale du sorgho et du mil : faits tendances et perspectives.* FAO, Rome, 68p.
14. **FAYE I., 2004.** *Caractérisation des réponses racinaires au phosphore chez le mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.).* Mém. DEA Biol.Vég., UCAD, 51p.

15. GAYE I., THIAM A., SALL N.D., 2003. *Etude de marché des produits transformés du mil et du sorgho.* Projet initiative pour le développement des mil et sorgho en Afrique de l'Ouest et du Centre : un pilotage par l'aval. CNCS. 63p.

16. GUEYE M. T., 1997. *Impact de quatre insectes ravageurs du mil stocké (Pennisetum typhoides L.), de ses dérivées et du fonio (Digitaria exilis stapf).* Contribution à l'inventaire des prédateurs des stocks de mil au Sénégal. Mémoire de D.E.A de Biologie Animale, UCAD, 73p.

17. HORTON, MORAN, OCHS, RAWN, SCRIMGEOUR., 1994. *Principes de Biochimie.* Ed. DeBoeck Universités.

18. HULSE J.H., LIANG E.M., PEARSON O.E., 1980. *Sorghum and the millet: their composition and nutritive value.* New York, Academic press. 997p.

19. ITA, 1986. *Transformation du mil - Etudes techniques.* Projet PL 480. Rapport ITA, 115p.

20. JAMBUNATHAN R., SINGH U., SUBRAMANIAN V., 1984. *Grain quality of sorghum, pearl millet, pigeonpea and chickpea.* In: K.T, éd. *Interfaces between agriculture, nutrition and food science.* Proceedings of a workshop, Patancheru, Inde, 10-12 Nov 1981. Tokyo, Japon, Université des Nations Unies.

21. JAMBUNATHAN R., SUBRAMANIAN V., 1988. *Grain quality and utilization of sorghum and pearl millet.* In: *Biotechnology in tropical crops improvement.* Proceeding of the International Biotechnology Workshop, Patancheru, Inde, 12-15 janv.1987: 13- 139. Patancheru, ICRISAT.

22. KENT N.L., 1982. *Chemical Composition of Cereal.* P27- 47. Technology of Cereal, Third edition.

23. LECOQ R., 1965. *Manuel d'analyses alimentaires et d'expertises usuelles.* Ed. DOIN

24. MAITI P.K., BISEN S.S. 1990. *L'anatomie du mil.* ICRISAT Bull. d'infor., (6).

25. MALLESHI N., DESIKACHAR H.S.R., 1986. *Studies on comparative malting characteristics of some tropical cereals and millets.* J.Inst.Brew., 92 : 174-176.

26. McPHERSON H.G., SLATYER R.O., 1973. *Mechanisms regulating photosynthesis in Pennisetum typhoides.* Aust. J. Biol. Sci. 66: 341-344.

27. NAGO C.M., 1992. *Street food in West Africa.* FAO, Rome, 89p.

28. NAGO C.M., 1997. *La transformation alimentaire traditionnelle du maïs au Bénin : détermination des caractéristiques physico-chimiques des variétés en usage ; relation avec l'obtention de la qualité des principaux produits dérivés.* Thèse Doctorat d'Etat es-Sciences. Université Paris 7 – Denis Diderot, UFR de Biochimie. 226p.

29. NDIAYE C., 2004. *Influence du malteage de mil (P.typhoides) et de sorgho (S.bicolore) sur la réduction du temps de cuisson du « arrow » sénégalais.* Mém. DEA Chimie et Biochimie des Produits Naturels., UCAD, 94p.

30. NDIAYE K., 1999. *Un granulateur pour réhabiliter les céréales locales.* Publication CRDI.

31. NDIR B., NGING R.D., 1989. *Etudes de deux procédés de fermentation traditionnelles du couscous de mil (P. Thypoides).* In : PARMENTIER, M., FOUA-BI, K. *Céréales en régions chaudes : conservation et transformation.*

32. OMS, 1985. *Besoins énergétiques et besoins en protéines.* Rapport consultation conjointe d'experts FAO / OMS / ONU. Série de rapports techniques 724. Genève.

33. PUSHPAMMA S., PARRISH D.B, DEYOE C.W., 1972. *Improving protein quality of millet, sorghum and maize diets by supplementation.* Nutr. Rep. Int., 5 : 93 -100.

34. ROCAFREMI, 2001. *Rapport annuel d'activités.* Projet P5, Sénégal.

35. SALEY K., DRAME D., NDOYE A., 2002. *Recueil des méthodes d'analyses du mil.* Projet P5, ROCAFREMI. 98p.

36. TINE E., LEITE N., TOTTE A., 2001. *Comparaison de deux variétés de mil du Sénégal (Sosat C et Souna 3) pour leur aptitude technologique à la fabrication de produits roulés.* Rapport d'expertise pour le programme P5 ROCAFREMI-ITA (Sénégal), 36p.

37. TOTTE A., TINE E., SEYE N., MATHIAM J.M., ROBLAIN D., THONART P., 2003. *Innovation et transfert de technologie: cas du contrôle de la fermentation du mil par l'utilisation d'un starter lactique.* (2 ^{ème} Atelier international. Voies alimentaires d'amélioration des situations nutritionnelles Ouagadougou, 23-28 / 11 / 2003).

38. URL : http://www.diawara.org/Senegal/Senegal_agriculture_cereales.php. «*La culture céréalière au Sénégal* ». (mise à jour 09/07/2005).

39. URL : http://www.ici.cegep-ste-foy.qc.ca/.../glucides_3.htm (consulté le 23/01/2006).

40. URL : <http://www.intsormil.org> (consulté le 30/11/2006).

41. WATTS B.M., YLMAKI G.L., JEFFERY L.E., ELIAS L.G., 1991. *Méthodes de bases pour l'évaluation sensorielle des aliments.* Ottawa, Ont., CRDI, 145p.

ANNEXES

Annexe I : Préparation du réactif de Luff-Schoorl

- Solution de carbonate de sodium : Dissoudre 143,8g de carbonate de sodium anhydride (Na_2CO_3) dans environ 300ml d'eau distillée chaude, laisser refroidir ensuite ;
- Solution d'acide citrique : Dissoudre 50g d'acide citrique ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) dans 50ml d'eau distillée ;
- Solution de sulfate de cuivre : Dissoudre 25g de sulfate de cuivre ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) exempt de fer, dans 100ml d'eau distillée.

Verser tout en agitant prudemment la solution d'acide citrique dans la solution de carbonate de sodium. Ajouter ensuite du sulfate de cuivre et compléter à 1 litre avec de l'eau distillée. Laisser reposer une nuit et filtrer. Contrôler la normalité du réactif ainsi obtenu (Cuivre 0,1N ; Na_2CO_3 2N). Le pH de la solution doit être environ de 9,4.

Annexe II : Quantité (Y) de sucre en mg correspondant à la différence entre les volumes des deux titrations (Vs-Vb)

Volume (Vb-Vs) de Thiosulfate 0,1N (ml)	Quantité (Y) Saccharose (mg)	Volume (Vb-Vs) de Thiosulfate 0,1N (ml)	Quantité (Y) Saccharose (mg)
0,20	0,456	0,36	0,820
0,22	0,502	0,38	0,864
0,24	0,547	0,40	0,912
0,26	0,599	0,42	0,958
0,28	0,638	0,44	1,003
0,30	0,684	0,46	1,034
0,32	0,330	0,48	1,048
0,34	0,775	0,50	1,140

Annexe III : Lecture du Phosphore

Méthode spectrophotométrie molybdo-vanado-phosphate

*Appareil :

Spectrophotomètre avec des cellules de 1 centimètre.

*Réactif :

a) Réactif de Molybdovanadate

- dissoudre 20g d'ammonium molybdate dans 400ml d'eau (50°C), laisser refroidir ;
- dissoudre 1 g d' ammonium vanadate dans 300 ml d'eau bouillante, laisser refroidir puis ajouter graduellement 140 ml d'HNO₃ concentré ;
- ajouter graduellement la solution de molybdate à la solution de vanadate en agitant ; compléter à 1 litre.

b) Solution standard de phosphate

- dissoudre 3,834 g de KH₂PO₄ dans 1 litre d'eau ;
- diluer 25 ml de cette solution dans 250 ml.

1 ml de standard = 0,2 mg P₂O₅.

*Préparation de courbe standard

Dans une série de fioles de 100 ml, mettre 0 - 2,5 - 5 -10 – 20 – 50 ml de la solution standard (0 – 10 mg de P₂O₅) et diluer à 50 ml d'eau distillée ;

Additionner quelques gouttes de HNO₃ ½ puis quelques gouttes de NH₃ (0,88) ;

Ajouter 25 ml de réactif vanadate molybdate ;

Compléter à 100 ml et agiter ;

Laisser reposer 10 minutes et lire l'absorbance à $\lambda = 470$ nm.

*Préparation de la solution d'essai

Procéder de la même manière que pour la préparation de la courbe standard.

*Expression des résultats

$$\text{Phosphore (mg/100g)} = \frac{\text{Concentration} \times 50 \times 0,061 \times 100}{P_{\text{e}} \times 20}$$

0,061 = Pente de la droite

P_e = Prise d'essai

Annexe IV : Fiche d'appréciation sensorielle

FICHE DE TRAVAIL / ANALYSE SENSORIELLE

N° Test:

Date:

ECHANTILLON : COUSCOUS

C = Couleur

Gr = Granulométrie

Tx = Texture

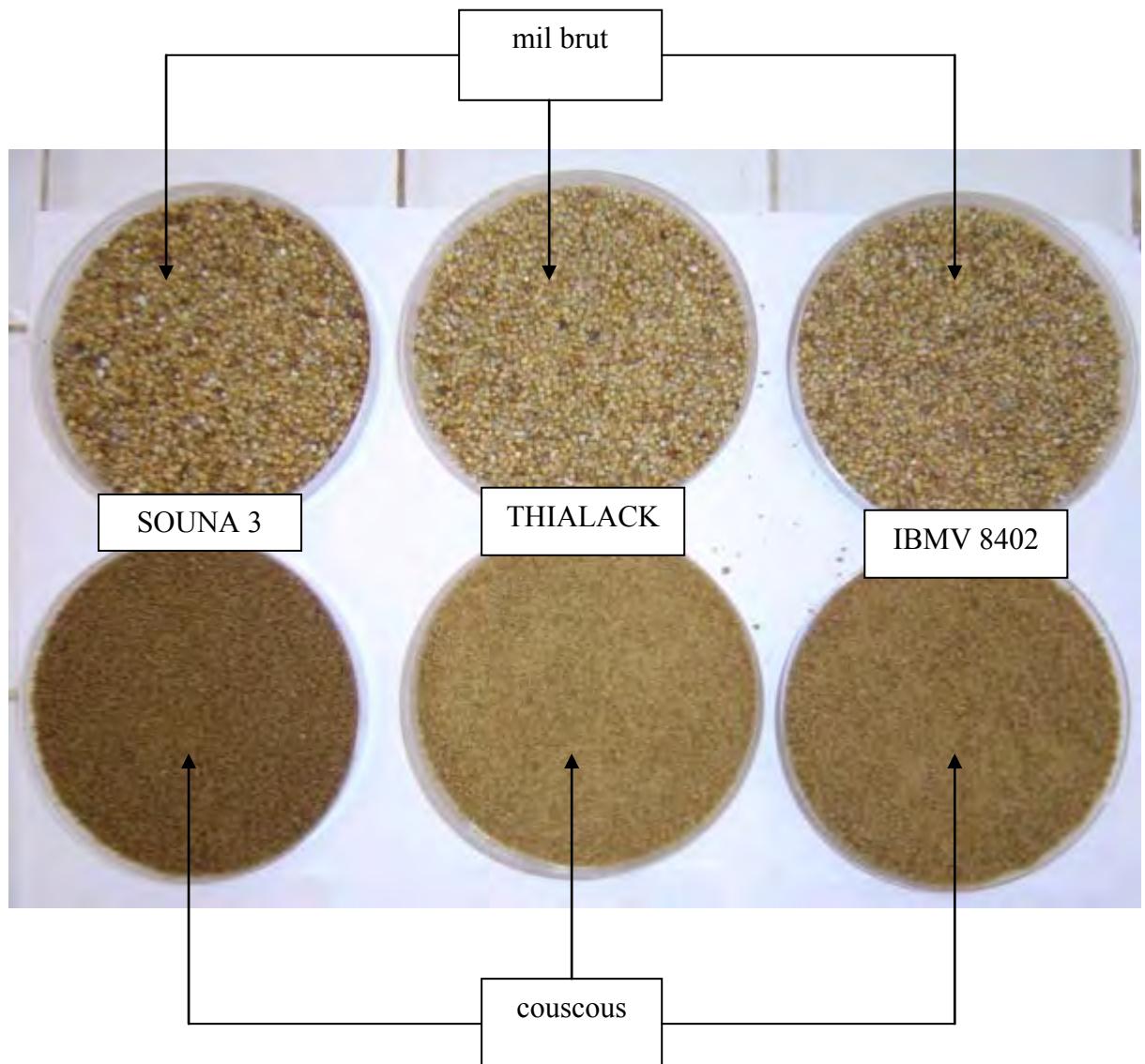
G = Goût

AG = Acceptabilité générale

Echelle de notation : Très bon = 5 Bon = 4 Moyen = 3 Mauvais = 2 Très mauvais = 1

Sujet	Code d'échantillon					
	I					II
	C	Gr	Tx	G	AG	
5 (T,Bon)						
4 (Bon)						
3 (Moyen)						
2 (Mauvais)						
1 (T, Mauvais)						
III						
	C	Gr	Tx	G	AG	

Annexe V : Comparaison du mil brut et du couscous des variétés



RESUME :

Le mil est la céréale de base au Sénégal ; sa culture couvre l'ensemble du territoire et a représenté 33% de la production céréalière en 2004. La consommation des céréales locales a pris un essor sans précédent favorisé par la crise économique des dernières années. On a assisté à un développement fulgurant de plusieurs unités de transformation qui ont mis sur le marché plusieurs produits dont le couscous.

Le présent travail a pour motivation de comparer l'aptitude technologique de trois variétés de mil (SOUNA 3, THIALACK, IBMV 8402) de consommation courante pour la fabrication du couscous.

Des analyses chimiques ont été effectuées pour chacune des variétés et des tests sensoriels ont permis d'édifier sur la préférence des consommateurs entre les couscous des trois variétés.

Ainsi, sur le plan chimique, les analyses révèlent pour la variété THIALACK un potentiel énergétique et une teneur en acidité grasse respectivement de 372,42kcal/100g et 0,02%. La variété SOUNA 3 a une valeur énergétique de 365,31 kcal/100g et une teneur en acidité de 0,015% contre 368,23kcal/100g et 0,010% pour la variété IBMV 8402.

Au plan fonctionnel, le coefficient d'imbibition, l'indice de gonflement et le taux de délitescence sont respectivement de 270,98 ; 277,73 et 23,04 pour THIALACK, 264,57 ; 296,75 et 16,46 pour IBMV 8402 et 249,95 ; 274,51 et 15,61 pour SOUNA 3.

Enfin les tests de dégustation ayant comme critère d'appréciation la couleur, la granulométrie, le goût, la texture et l'acceptabilité générale, selon une échelle de notation allant de 1 à 5 ont montré statistiquement une nette préférence des dégustateurs pour la variété THIALACK, ceci quel que soit le paramètre considéré et particulièrement pour sa couleur plus claire et l'acceptabilité.

La variété THIALACK s'est donc montrée comme étant la variété de mil la plus apte à faire du couscous tant par son potentiel énergétique plus important, son coefficient d'imbibition et son indice de gonflement appréciables synonymes d'un bon comportement au cours de la préparation des mets à base de couscous, que par sa préférence nette par les dégustateurs dont le critère déterminant a été l'aspect visuel. Elle est suivie respectivement de la variété IBMV 8402 et de la variété SOUNA 3.