

**Caractérisation biochimique du Mil et effet du décorticage sur cette composition**

## DEDICACES

*Je dédie ce mémoire*

*A **ma mère** et à **mon père** pour tout ce qu'ils m'ont donné et appris depuis mon enfance, pour leur présence permanente,*

*A tous mes frères et sœurs pour leur soutien permanent et sincère,*

*A **Moussa BALDE** et **Aminata GANO** pour leur immense soutien depuis mon accession à l'université, mes sincères remerciements,*

*A toute la famille : mes cousins et cousines, mes oncles, mes tantes que j'estime beaucoup,*

*A tous mes camarades de promotion pour les merveilleux instants passés ensemble,*

*A tous ceux qui m'ont aidé d'une manière ou d'une autre dans ma carrière et que je ne pourrai tous citer.*

## **REMERCIEMENTS**

*Après avoir rendu grâce à DIEU,*

*J'adresse mes sincères remerciements à :*

*Ma famille,*

*Monsieur le Directeur Général de l'ITA pour m'avoir permis d'allier le travail et les études,*

*Dr Amadou KANE, Directeur de la Recherche et du Développement de l'ITA pour l'encadrement et pour tout le soutien apporté depuis le début de mon master,*

*Monsieur Fallou SARR, Chef de l'atelier Céréales et Légumineuses de l'ITA pour son précieux encadrement, ses conseils et pour m'avoir permis de faire tous les tests grâce au projet WAAPP/Etuvage qu'il coordonne,*

*Mme Ndeye T.T.SEYE Doumouya, Directrice des Relations Extérieures de l'ITA et Monsieur Abdoulaye MBAYE, pour leurs soutien et conseils,*

*Professeur Abdoulaye SAMB, Responsable de la formation Master Chimie et Biochimie des Produits Naturels à la Faculté des Sciences et Techniques de l'UCAD pour m'avoir autorisé à suivre ce master,*

*Tous les professeurs qui m'ont enseigné durant ce master pour le savoir qu'ils m'ont délivré,*

*Tous mes collègues de travail notamment ceux de l'Atelier Céréales et Légumineuses et du Laboratoire de Chimie Alimentaire de l'ITA,*

*Tous mes amis notamment Maguette MBOUP, pour leur aide,*

*Tous ceux qui ont participé d'une quelconque manière à la réalisation de ce travail.*

## Liste des tableaux

Tableau I : Superficies emblavées et production mondiale de mil .....	4
Tableau II : Composition biochimique des grains de mil .....	11
Tableau III : Composition en éléments nutritifs des mils (pour 100 g et 12% d'humidité) ....	11
Tableau IV: Composition biochimique de 100g de mil, de riz et de blé respectivement .....	12
TableauV: Conditions expérimentales de la décortiqueuse à meules .....	23

## Liste des figures

Figure 1 : coupe longitudinale de grain de mil.....	7
Figure 2 : Vibro-tamiseur de marque « SOWECO » .....	20
Figure 3 : Diagramme de préparation des échantillons.....	21
Figure 4: Décortiqueur à disques .....	23
Figure 5: variation de la teneur en protéines .....	29
Figure 6 : les teneurs moyennes en cendres totales du standard et du mil décortiqué.....	30
Figure 7: variation de la teneur en amidon.....	31
Figure 8: Teneur moyenne en Fibres brutes du standard et du mil décortiqué .....	32
Figure 9: Variation des teneurs Fer, en Calcium et en Zinc.....	32
Figure 10: variation des teneurs en Phosphore, en Potassium et en Magnésium.....	33

# SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>1</b>
<b>I. SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE</b> .....	<b>3</b>
I.1 : Le Mil dans le Monde et au Sénégal .....	4
I.2. Amélioration variétale du mil .....	5
I.3. Anatomie du grain de mil .....	7
I.4. système de culture .....	8
I.5. La protection des stocks .....	8
I. 6. Composition biochimique des grains de mil .....	10
I.7. La post récolte .....	11
I.8. Décortilage.....	13
<b>II. MATERIEL ET METHODES</b> .....	<b>15</b>
<b>II.1. MATERIEL</b> .....	<b>16</b>
II.1.1 : Cadre de l'étude .....	16
II.1.2. Matériel végétal.....	19
II.1.3. Matériel d'ateliers et de laboratoire.....	19
II.1.3.1. Matériel d'atelier.....	19
II.1.3.2. Matériel de laboratoire.....	19
<b>II.2. METHODES</b> .....	<b>20</b>
<b>II.2.1. Procédé technologique</b> .....	<b>20</b>
II.2.1.1. Nettoyage –calibrage .....	20
II.2.1.2. Préparation des échantillons .....	21
II.2.1.3.Lavage.....	22
II.2.1.4. Séchage .....	22
II.2.1.5. Décortilage .....	22
<b>II.2.2. Caractérisation technologique</b> .....	<b>24</b>
II.2.2.1. Taux de décortilage .....	24
II.2.2.2. Taux de grains entiers .....	24
<b>II.2.3. Caractérisation biochimique</b> .....	<b>24</b>
II.2.3.1. Teneur en eau (humidité).....	24
II.2.3.2. Teneur en protéines.....	25
II.2.3.3. Teneur en cendres .....	26

II.2.3.4. Teneur en amidon .....	26
II.2.3.5. Teneur en fibres .....	27
II.2.3.6. Teneur en minéraux (fer, calcium, zinc, Phosphore, potassium, magnésium).....	27
<b>III. RESULTATS ET DISCUSSIONS .....</b>	<b>28</b>
<b>IV. PRESENTATION DES RESULTATS ET DISCUSSION.....</b>	<b>29</b>
<b>IV.1. Résultats de la caractérisation technologique.....</b>	<b>29</b>
<b>IV.1.2. Résultats de la caractérisation biochimique .....</b>	<b>29</b>
IV.1.2.1. Résultats sur la teneur en Protéines.....	29
IV.1.2.2. Résultats sur la teneur en Cendres totales .....	30
IV.1.2.3. Résultats sur la teneur en Amidon.....	30
IV.1.2.4. Résultats sur la teneur en Fibres brutes .....	31
IV.1.2.5. Résultats sur la teneur en Fer, en Calcium et en Zinc .....	32
IV.1.2.6. Résultats sur la teneur en Phosphore, en Potassium et en Magnésium.....	33
<b>CONCLUSION ET PERSPECTIVES .....</b>	<b>35</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....</b>	<b>37</b>

## **SIGLES ET ABBREVIATIONS**

**ITA** : Institut de Technologie Alimentaire

**UCAD** : Université Cheikh Anta DIOP

**ACL**: Atelier Céréales et Légumineuses

**FAO**: Food and Agriculture Organization of the United Nations

**ANSD** : Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie

**CNRA** : Centre national de recherches agronomiques

**IRAT** : Institut de recherches agronomiques tropicales et des cultures vivrières

**SODEFITEX** : Société de Développement des Fibres Textiles

**ICRISAT** : International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics

**ROCAFREMI** : Réseau ouest et centre africain de recherche sur le mil

**INSAH** : Institut du Sahel

**AOAC** : Association of Official Analytical Chemists

# **INTRODUCTION**

Au Sénégal, les principales cultures vivrières sont les céréales (mil, maïs, sorgho, fonio, riz, etc.). Elles constituent la base de l'alimentation en milieu rural et péri-urbain. Selon les statistiques, le mil est largement la spéculacion la plus importante. En effet, à la campagne 2010/2011, la production du mil était de 813 295 tonnes et la moyenne des cinq dernières années, de 622 950 tonnes (ANSD, 2012).

Il est consommé sous différentes formes mais les plus répandues sont la farine, les produits roulés, et la farine de panification qui sont obtenus grâce à des opérations de transformation artisanales ou semi-industrielles.

Les teneurs en micronutriments étant déjà faibles pour certains, les opérations de transformation du mil (décorticage en particulier) ont également pour conséquence de les réduire d'avantage car beaucoup de ces composants restent au niveau du son.

L'objectif de cette étude est de montrer les effets du décorticage sur la composition biochimique du mil.

La présente étude est subdivisée en trois parties :

- Une étude bibliographique portant sur les généralités sur le mil et sur le décorticage ;
- Une partie décrivant les matériels et méthodes utilisés ;
- Une présentation des résultats et leur discussion.

## **I. SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE**

## I.1 : Le Mil dans le Monde et au Sénégal

Le terme « mil » regroupe un ensemble de graminées alimentaires caractérisées par la petitesse 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).

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).

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 FAO, 1997). Au Sénégal, les céréales représentent 65% des apports énergétiques et 61% des apports en protéines. Le mil représentait 50% de l’ensemble de la production céréalière sénégalaise dans la période 1999-2003, d’où sa place de choix dans l’alimentation des populations sénégalaises (NDIAYE, 2004).

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

**Tableau I : Superficies emblavées et production mondiale de mil**

Région	Superficie (milliers d’hectares)	Production (milliers de tonnes)
Asie	20 853	16 767
Afrique	13 548	9 066
URSS	2 903	3 647
Amérique	205	271
Océanie	34	30
<b>Total dans le Monde</b>	<b>37 565</b>	<b>29 817</b>

**Source FAO (1995)**

Situé à l’ouest du continent africain, le Sénégal est un pays plat d’une superficie totale d’environ 197 000 km<sup>2</sup>, dont 54 500 km<sup>2</sup> 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 céréalières 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 représentait 33% de la production totale en 2004 contre 43% en 2003 et 52% entre 1999 et 2003. La région de Kaolack représente 26 % des superficies cultivées et 39 % de la production nationale qui est estimée à plus de 528 000 tonnes (ANSD, 2012). Les rendements moyens en milieu paysan varient entre 0,5 et 0,6 t/ha. La faiblesse de ces rendements résulte de la combinaison de plusieurs contraintes d'ordre abiotique, essentiellement la sécheresse, et d'ordre biotique : maladies (mildiou, charbon et ergot), insectes (mineuses, foreurs et cantharides) et occasionnellement mauvaises herbes (*Striga hermonthica*).

A ces contraintes, s'ajoutent un épuisement progressif des sols, la non-utilisation de technologies appropriées et le manque d'encadrement des producteurs.

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

## **I.2. Amélioration variétale du mil**

De 1960 à 1974, la recherche agronomique sur les céréales a été dirigée et animée par le CNRA de Bambey, géré par un institut français, l'IRAT. Des acquis non négligeables ont été obtenus par les chercheurs, notamment des solutions techniques permettant d'accroître la productivité : gamme de variétés pour les différentes espèces, fumures minérales, techniques culturales, matériels agricoles, protection des cultures et des stocks, technologie post-récolte.

Loin de dresser la liste exhaustive des techniques et produits engendrés par ces recherches, ce chapitre se propose de les illustrer par quelques acquis essentiels, dont l'impact est toujours perceptible sur le développement agricole du Sénégal.

Les premiers travaux ont débuté en 1931 et concernaient l'amélioration des mils traditionnels : le mil hâtif ou Souna, et le mil tardif ou Sanio. La sélection récurrente appliquée par Etasse (1965) sur trois populations locales de mil Souna à partir 1961 a abouti successivement à la création de la variété synthétique Souna-2 en 1965, puis Souna-3 en 1969, vulgarisée dans la zone centre-sud en 1972. Cette variété de 90 jours de structure traditionnelle se caractérise par des épis cylindriques et compacts, un assez bon tallage, une résistance au charbon, une tolérance au mildiou et un rendement de l'ordre de 2,5 à 3 t/ha en station mais seulement 0,77 t/ha en milieu réel.

A partir de 1968, le programme d'amélioration variétale s'est orienté vers l'amélioration du rapport grain/paille par un raccourcissement de la tige, parfois très grande chez les mils traditionnels, au profit de la taille et du nombre de grains de l'épi. Cette sélection a produit des populations naines à moitié et aux trois quarts Souna (90-95 jours) avec une nette amélioration des caractères de l'épi et du grain et de la résistance aux maladies.

En 1970, les travaux sur la création de variétés naines par le GAM ont abouti à deux synthétiques expérimentales, GAM-73 et GAM-75, de taille courte et d'architecture fine, qui donnent de bons résultats en conditions d'irrigation et de forte fertilisation mais qui sont moins performantes que les variétés traditionnelles dans les conditions paysannes (Bilquez, 1975).

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

Appelé *Pennisetum glaucum*, il 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) ;

### I.3. Anatomie du grain de mil

La structure anatomique du grain de mil selon *Abdelrahman, Hoseney et Varriano-Marston (1984)*, est composée de :

- **Péricarpe :**

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

- **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.

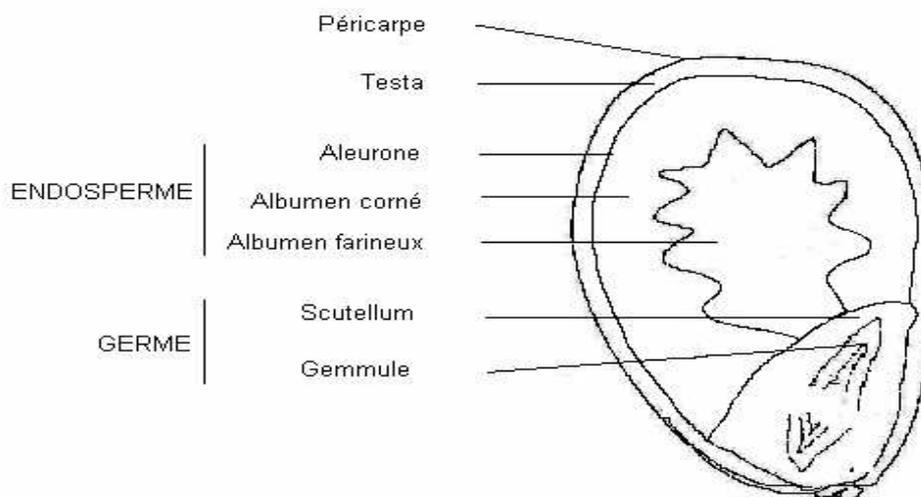
- **endosperme**

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 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.

- **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. Pour le mil Chandelle, le germe représente 16,5% du poids total du grain.

L'ensemble de ces éléments est illustré par le schéma ci-dessous :



**Figure 1 : coupe longitudinale de grain de mil**

#### **I.4. système de culture**

Le mil est cultivé soit en culture pure continue dans les champs de case ou en rotation avec l'arachide dans les champs de brousse, soit en culture associée avec le niébé dans le centre-nord du pays.

Les premières études sur la fertilisation du mil entreprises au CNRA de Bambey en 1951 (Tourte, 1952) ont permis de recommander, d'une part, la formule 14-7-7 NPK à la dose de 150 kg/ha pour la fumure minérale légère à rentabilité immédiate, d'autre part, une fumure forte de 10-21-21 NPK à la dose de 150 kg/ha pour les thèmes dits lourds avec phosphatage de fond de 400 kg/ha de phosphate tricalcique (Nicou, 1976). Pour optimiser le rendement et tenir compte des besoins instantanés en azote de la céréale, un apport fractionné en bandes localisées de 100 kg/ha d'azote (50 % à la montaison et 50 % à la floraison) sous forme d'urée a été préconisé (Ganry et Siband, 1974).

La courbe de réponse du mil à des doses croissantes de fumier indique qu'une dose de 1 à 3 t/ha donne une plus-value de 20 à 35 % et même double le rendement par rapport au témoin sans fumier (Badiane, 1988). L'utilisation agricole des résidus de poisson fumé à la dose de 4 t/ha tous les deux ans permet d'augmenter le rendement par rapport à la fumure minérale recommandée (Ndiaye, 1996).

L'arachide, le niébé, la jachère enfouie et le maïs sont les meilleurs précédents culturels pour le mil.

Deux sarco-binages sont essentiels pour lutter contre les mauvaises herbes. La récolte est effectuée à maturité et le séchage se fait soit à même le sol, soit sur un lit de paille, soit sur des claies surélevées (perroquets) où les bottes sont entreposées, soit sur des séchoirs (cribs) orientés perpendiculairement à la direction des vents dominants.

#### **I.5. La protection des stocks**

Une bonne production n'est envisageable qu'avec une protection efficace contre les ennemis. Les insectes sont les plus importants du fait des dégâts qu'ils occasionnent depuis le semis jusqu'à la récolte et même pendant le stockage (Ndoye, 1979 ; Ndoye et al., 1984 ; Ndoye et Gahukar, 1987 ; Bal, 1986).

Ces insectes attaquent généralement les tiges (foreurs de tiges) ou l'épi (mineuse de l'épi). On peut citer les lépidoptères (*Lema planifrons* Ws, *Coniesta (Acigona) ignefusalis* Himps., *Spodoptera exempta* Wlk, *Amsacta moloneyi* Drc., *Heliothis armigera* Hbn., *Sesamia* sp., *Raghuva albipunctella* Joan) et certains diptères dont *Oedaleus senegalensis* Uv. Les

cantharides sont les plus redoutables ravageurs et provoquent des pertes qui peuvent atteindre 80 à 100 %. La lutte contre ces ravageurs passe par l'utilisation de variétés tolérantes et la lutte intégrée. Les variétés les plus performantes pour leur tolérance sont IBV-8001, Souna-3, 3/4HK-78 et ICMS-7819. Les lâchers de *Bracon hebetor*, ennemi naturel de *Heliocheilus albipunctella*, sont efficaces dans certaines conditions (Bhatnagar, 1986 ; Bal, 1986). Au cours du stockage, plusieurs techniques de lutte sont proposées : les mesures prophylactiques, l'hygiène des locaux et de la sacherie, l'utilisation des insecticides et le stockage en milieu autoconfiné (Seck, 1992).

Parmi les techniques de lutte, on peut citer la résistance variétale, la lutte chimique par traitement des semences à l'Apron-plus et les techniques culturales, comme l'arrachage et l'incinération des plants malades.

Le mil est généralement concurrencé par trois groupes d'adventices dont les dicotylédones annuelles (*Cassia obtusifolia*, *Commelina benghalensis*, *Corchorus tridens*, *Zornia*), qui apparaissent au début de la culture, les graminées annuelles (*Cenchrus biflorus*, *Digitaria* spp., *Brachiaria* spp., *Dactyloctenium aegyptium*, *Pennisetum pedicellatum*, *Eragrotis tremula*) et les cyperacées (*Kyllenga squamulata*, *Cyperus amabilis*, *Bulbostylis barbata* et *Fimbristylis* spp.), qui forment le groupe le moins important. *Striga hermonthica* peut provoquer des dégâts importants sur cette culture, de l'ordre de 24 à 76 % (Diallo, 1985).

Pour une meilleure protection du stock, généralement, deux types de stockage sont utilisés.

#### Le stockage hermétique

Le principe est basé sur l'étanchéité et le confinement du milieu qui ne permet pas un renouvellement de l'air à l'intérieur de l'enceinte. Cela entraîne une privation d'oxygène empêchant les insectes nuisibles de respirer d'où leur mort par asphyxie. Plusieurs types de conteneurs peuvent jouer ce rôle : fûts, bidons, sacs, etc.

#### Le stockage non hermétique

Il se fait en case, en greniers et dans des bâtiments aménagés ou magasins où les grains sont disposés en vrac ou sacs. Le grenier peut être en banco, en ciment ou en claies ou cribs ; ici le mil est disposé en grains.

## **I. 6. Composition biochimique des grains de mil**

Une céréale est dite complète lorsqu'on a conservé le germe (riche en vitamines du groupe B, de la vitamine E, des acides gras essentiels et des minéraux), l'amande (composée de glucides complexes, et de protéines) et les enveloppes (riche en fibres).

Les céréales possèdent une teneur élevée en glucides, elles apportent des sucres lents, source d'énergie qui alimente le corps de façon lente et durable, des protéines végétales, des sels, des vitamines A, B1, B2, B12, E, K, D, PP.

- Les enveloppes des céréales sont riches en fibres.
- L'amande" est composée d'amidon et de protéines.
- Le germe contient des lipides, protéines, vitamines et sels minéraux.

Les céréales offrent des sucres complexes, des protéines (8 à 15% contre 18 à 22% pour la viande), des fibres, peu de lipides qui, de plus sont de bonne qualité (acides gras insaturés), des sels minéraux (phosphore, potassium, magnésium, calcium, ...), des oligo-éléments (manganèse, cuivre, zinc, fer ...), des vitamines (B et E), et les enzymes nécessaires pour la bonne assimilation de ces différents constituants. Les fluctuations de la composition des grains dépendent généralement plus de facteurs environnementaux et génétiques que du type de variétés de mil.

Le mil est une grande source de vitamines B1, B2, A et C, de calcium, de potassium, de magnésium, d'acide silicique, de sodium, de fluor et de fer.

Les protéines constituent la deuxième composante principale des graines de mil mais comme toutes les céréales, le mil est déficient en lysine un acide aminé indispensable. Les fluctuations de la teneur en protéines s'accompagnent généralement de changements de la composition en acides aminés des protéines (Waggle et Deyoe, 1966).

Exempt de gluten, la farine de mil est incorporée à des taux variant de 15 à 30% dans la fabrication du pain, elle est par contre utilisée telle quelle dans la préparation de bouillies, de couscous de beignets etc.

Il est à noter que la concentration de ces divers composants nutritionnels, fluctuent sensiblement d'une céréale à l'autre, mais aussi au sein d'une même famille de céréale: en fonction de la variété, du sol, du climat, de la méthode culturale et, surtout, du processus de transformation. Les tableaux II et III montrent la composition biochimique du mil.

**Tableau II : Composition biochimique des grains de mil**

Paramètre	Composition
Calories	349
Humidité (g/100g)	10,4 (7- 12,7)
Protéines (g/100g)	9,6 (7,6 – 12, 7)
cellulose (g/100g)	2,1 (0,8 – 4,1)
Cendres (g/100g)	1,6 (1,2 -2,2)
Phosphore (mg/100g)	307 (134 – 391)
Fer (mg/100g)	7,5 (2,4 - 11)
Calcium (mg/100g)	23 (13- 36)

**Source : FAO (1970)**

**Tableau III : Composition en éléments nutritifs des mils (pour 100 g et 12%d'humidité)**

Céréale	Protéines(g)	Matière grasse	Cendres (g)	Fibre brute	Hydrates de carbone	Energie (kcal)	Ca (mg)	Fe (mg)
Mil chandelle	11,8	4,8	2,2	2,3	67,0	363	42	11,0
Mil commun	12,5	3,5	3,1	5,2	63,8	364	8	2,9
Petit mil	9,7	5,2	5,4	7,6	60,9	329	17	9,3

**Source :** <http://www.fao.org/docrep/T0818F/T0818F08.htm>

### **I.7. La post récolte**

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, arraw...) 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, 2002) exécuté par ENDAGRAF 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).

Le mil renferme généralement, du fait des opérations de battage, des impuretés dont la présence peut affecter, non seulement l'odeur et le goût des produits finis, mais aussi leur stabilité et leur acceptabilité par les consommateurs.

La transformation du mil est réalisée selon deux processus. La transformation primaire comprend les opérations de battage, de tamisage et calibrage, d'épierrage, de piégeage des débris métalliques, de séparation des grains de sable, de décorticage et de mouture pour la production de semoules et de farines conformes aux besoins des consommateurs.

La transformation secondaire, qui est issue des travaux de l'ITA (Institut de technologie alimentaire), repose sur des unités semi-industrielles dotées d'équipements appropriés pour la première transformation du mil en farines et semoules diverses (Ndoye, 2001). Il ya en plus des technologies visant à obtenir des granulés traditionnels (couscous, *arraw* et *tiacry*).

Une classification détaillée des aliments traditionnels préparés à partir du mil et du sorgho a été établie (Vogel et Graham, 1979 ; Rooney, Kirleis et Murty, 1986).

Comme les autres céréales, le mil est essentiellement constitué d'amidon (60% MS). L'une des caractéristiques de la composition du grain de mil est sa forte teneur en cendres (M'Pouok, 1999) De même que pour le sorgho, le grain de mil est riche en vitamines surtout celles du groupe B. Sa valeur énergétique est voisine de celle du sorgho. Comme pour le sorgho, la présence des tanins dans le grain de mil déprime la digestibilité de l'amidon.

Le mil, *Pennisetum glaucum*, est la céréale la plus tolérante à la sécheresse. La valeur nutritionnelle du grain de mil est supérieure à celle du riz et du blé, qui constitue le principal produit de la culture (ANDREWS et KuMAR, 1992) comme le montre le tableau IV.

**Tableau IV: Composition biochimique de 100g de mil, de riz et de blé respectivement**

	<b>Mil</b>	<b>Riz</b>	<b>Blé</b>
Protéines (g)	10,6	8,3	13
Lipides (g)	4,1	1,6	1,8
Glucides (g)	73,2	75	61,6
Vitamine B2 (mg)	0,22	0,06	0,12
Phosphore (mg)	286	250	312
Fer (mg)	20,7	2	7,6

*FAO (1974)*

Il représente souvent la base de l'alimentation et se consomme alors sous la forme de pâte, de bouillie, de couscous ou de galettes, etc. Il peut également entrer dans la fabrication de boissons alcoolisées comme la bière de mil.

Selon les travaux de Davis et Hosmey rapportés par Loul (1998), les tanins isolés du grain de mil inhibent l'amylase salivaire et réduisent en conséquence la digestibilité de l'amidon.

Le mil présente de la lignine et des polysaccharides non hydrolysables par les enzymes endogènes du tube digestif de la volaille d'où une mauvaise digestibilité des éléments nutritifs.

Cependant, certains travaux ont montré que le mélange mil-maïs ou mil-sorgho donne de meilleures performances que l'une ou l'autre de ces deux céréales employées seules (Gohl, 1982 ; Cissé et al., 2003).

### **I.8. Décortilage**

La plupart des producteurs et consommateurs de sorgho et de mil doivent se livrer chaque jour à un travail manuel de décortilage et de pulvérisation des grains avant de pouvoir préparer le repas quotidien. Le sorgho et le mil sont traditionnellement décortiqués pour enlever les enveloppes, qui contiennent surtout des fibres et dont la présence affecte la qualité de cuisson du produit, son goût et sa texture, tout en ajoutant du volume au repas quotidien pour éliminer les sources de goût amer (polyphénols ou tanins) qui se trouvent souvent dans l'enveloppe extérieure ou immédiatement au-dessous dans le testa (ou tégument). Le décortilage consiste à éliminer l'enveloppe externe appelée péricarpe et une partie du germe.

Les transformations primaires, notamment le décortilage font subir à des niveaux différents, aux céréales des pertes plus ou moins importantes en nutriments comme les minéraux et les vitamines emportés dans le son.

En effet, l'enveloppe (appelée également péricarpe) renferme la majeure partie de la cellulose brute. Elle est particulièrement riche en éléments minéraux et souvent les protéines de l'enveloppe sont de bonne qualité (ADRIAN, 1965). Autrement dit, le décortilage du grain apparaît bénéfique dans le domaine de la digestion et plus au moins préjudiciable au point de vue de l'apport nutritionnel puisque les éléments nutritifs du son ne sont pas récupérés pour l'alimentation humaine. ADRIAN (1965) a rapporté que, selon certains nutritionnistes, l'optimum se situerait dans un juste milieu entre la farine "entière" et la farine "blanche".

Le raffinage des céréales amoindrit considérablement leur valeur nutritionnelle même si il permet une augmentation relative de leur pouvoir calorique. Le raffinage consiste à enlever les enveloppes adhérant aux grains qui perdent ainsi une bonne partie de ses constituants selon la durée et la nature des techniques utilisées. Or, ces enveloppes concentrent l'essentiel des protéines, fibres, minéraux et vitamines des céréales.

Sur le plan nutritionnel il est recommandé de consommer des céréales complètes pour bénéficier de toutes leurs vertus.

Au niveau artisanal, le décortilage se fait au mortier et au pilon et généralement en humidifiant le mil. Au niveau semi-industriel et industriel, l'opération a été mécanisée avec la mise au point de plusieurs types de décortiqueurs parmi lesquels nous citerons le décortiqueur « Engelberg », le décortiqueur à disque abrasif et le décortilage par variations brusques de pressions.

## **II. MATERIEL ET METHODES**

## **II.1. MATERIEL**

### **II.1.1 : Cadre de l'étude**

Le travail de cette étude a été réalisé à l'Institut de Technologie Alimentaire (ITA) de Dakar au Sénégal.

Le décorticage a été réalisé dans l'Atelier Céréales et Légumineuses tandis que les analyses pour déterminer la composition biochimique ont été effectuées dans le Laboratoire de Chimie Alimentaire du même institut.

#### **❖ Présentation de l'ITA**

**L'Institut de Technologie Alimentaire (I.T.A.)** est un Établissement Public œuvrant dans le secteur de la Recherche-Développement en Alimentation et Nutrition.

Il a été créé par la loi 63-11 du 5 février 1963 et n'a connu un véritable essor qu'à partir de 1968, avec l'assistance de la FAO. Cet organisme a fourni entre 1968 et 1974 des infrastructures (laboratoires et ateliers pilotes), des équipements et les experts nécessaires à la mise en route des programmes de recherche. Jusqu'en 1985, l'Institut jouissait du statut d'Établissement Public à caractère administratif, puis d'un statut d'Établissement Public à caractère Industriel et Commercial de 1986 à 1997.

De 1994 à 1998, l'I.T.A. a bénéficié d'un important Projet d'appui institutionnel destiné à la restructuration et financé par l'ACDI.

Depuis 1998, l'Institut jouit d'un statut d'Établissement Public à caractère Scientifique et Technologique. Il est actuellement placé sous la tutelle du Ministère des Mines, de l'Industrie, de l'Agro-industrie et des PME.

#### **✓ Missions :**

Différentes missions ont ainsi été assignées à l'ITA parmi lesquelles, Générer une valeur ajoutée aux produits alimentaires locaux à travers leur transformation et l'assurance qualité pour atteindre la sécurité alimentaire et augmenter les exportations ;

Il a principalement pour mission de valoriser les ressources alimentaires locales :

- ✓ guider et coordonnant les études de traitement, la transformation, le conditionnement et l'utilisation des produits alimentaires locaux ;

- ✓ développer de nouvelles ressources alimentaires dérivées des productions locales avec une bonne valeur nutritionnelle et adapté au pouvoir d'achat des populations ;
- ✓ aider au contrôle qualité des produits alimentaires allant du stade de production à celui de la commercialisation ;
- ✓ participer à la formation des corps de métier de l'alimentation et appuyer l'installation d'unités de transformation industrielle ou artisanale.
- ✓ Etc.

✓ **Ateliers (unités pilotes) et laboratoires**

Dans sa recherche, l'Institut dispose d'infrastructures adaptées et très équipées. Ainsi, la plus part les domaines des secteurs alimentaires est prise en compte.

- Atelier Céréales, Légumineuses et Tubercules ;
- Atelier Fruits et Légumes ;
- Atelier Poisson et produits halieutiques
- Atelier des produits de l'élevage (lait et viande) ;
- Division biotechnologie ;
- Division nutrition.
- 4 laboratoires modernes de contrôle de qualité: Chimie, Microbiologie, Mycotoxines et Analyses phytosanitaires;

L'ITA est aussi doté d'un Centre de Documentation et d'Information Scientifique et Technique et d'un Centre de formation aux métiers de l'alimentation;

✓ **Services offerts**

Dans le cadre de son volet « Transfert de Technologie », l'ITA met ses résultats de recherche à disposition des populations par différentes méthodes :

- La formation aux techniques de transformations alimentaires à des promoteurs privés, des groupements de femmes, des associations de transformateurs/trices, des ONG, etc. (méthodes de transformation, bonne pratique de fabrication, le respect des normes d'hygiène, etc.) ;
- L'assistance technique aux transformateurs/trices à l'installation et au démarrage d'unités de transformation (étude technique, informations utiles pour acquérir des équipements et des emballages adaptés, contrôle qualité des produits finis, etc.) ;

- La fourniture de produits semi-finis aux transformateurs/trices (préparation des fruits pour certains GIE, le concentré de bissap pour les industries etc.) ;
- Le contrôler de la qualité des produits agroalimentaires provenant des industries et PME agroalimentaires par des analyses chimiques, microbiologiques, phytosanitaires et des mycotoxines ;
- L'incubation au sein de l'ITA, des PME désireuses d'investir dans l'agroalimentaire.

#### ❖ **Présentation de l'Atelier Céréales et Légumineuses (ACL)**

l'ACL est le département à l'ITA qui s'occupe de la valorisation des céréales et légumineuses par la conservation et la transformation. L'atelier a développé plusieurs produits à base de céréales et mis en place beaucoup de procédés. Equipé d'une ligne de transformation primaire, d'une ligne de transformation secondaire, d'une unité de boulangerie, d'une mini-extrudeuse (pour la cuisson-extrusion) et d'un laboratoire d'analyse des farines, cet atelier présente toutes les commodités pour des recherches approfondies sur les céréales. Il accueille en stage chaque année des dizaines d'étudiants venant des universités et des instituts supérieurs de formation dans la préparation de mémoire ou lors des travaux pratiques. En outre, l'ACL intervient à la formation de professionnels du secteur agroalimentaire sur les techniques et bonnes pratiques de transformation des céréales et légumineuses. L'ACL coordonne plusieurs de recherche dont celui en cours sur l'étuvage des céréales locales, financée par le PPAAO/WAAPP (Programme de Productivité Agricole en Afrique de l'Ouest) de Banque Mondiale ; projet grâce auquel, ce travail de recherche a été réalisé.

#### ❖ **Présentation du Laboratoire de Chimie Alimentaire**

Entité de l'ITA à l'instar de l'ACL, ce laboratoire est spécialisé dans la caractérisation chimique et biochimique des aliments et leur contrôle qualité. Plusieurs dizaines de paramètres sont analysés parmi lesquels, ceux listés dans la partie méthodes d'analyse, les métaux lourds, l'acidité, les matières grasses, les indices de saponification, de peroxyde, d'iode, etc.

Les deux orientations majeures du laboratoire sont d'abord d'appuyer les autres services de l'ITA (à l'instar de l'ACL) dans leurs activités de recherche en participant à l'exécution des projets de recherches et d'assister les industries, PME/PMI et les GIEs du secteur agroalimentaire dans le contrôle qualité de leurs produits. Il accueille chaque année des

dizaines d'étudiants également dans le cadre de leurs mémoires, lors des travaux pratiques ou pour des stages d'apprentissage.

### **II.1.2. Matériel végétal**

Nous avons utilisé le mil qui a été acheté au marché Castor (marché traditionnel de Dakar). Il s'agit d'un mil souna, mais l'origine n'a pu être identifiée. Cent kilogrammes ont été achetés pour effectuer cette étude.

### **II.1.3. Matériel d'ateliers et de laboratoire**

Le matériel d'atelier et de laboratoire utilisé pour les expérimentations est essentiellement constitué de :

#### **II.1.3.1. Matériel d'atelier**

- ✓ Matériel de nettoyage-calibrage : vibro-calibreur de marque SOWECO,
- ✓ Matériel de lavage (bassines, etc.), plateaux pour le séchage
- ✓ Matériel de transformation primaire : décortiqueur à disques de fabrication locale
- ✓ Balance ménagère de portée 20 kg
- ✓ Humidimètre

#### **II.1.3.2. Matériel de laboratoire**

Il s'agit du matériel commun d'un laboratoire d'analyse de chimie alimentaire. On peut citer entre autres :

- Eprouvettes
- Balance de précision (marque et précision)
- Béchers
- Erlenmeyers,
- Burette,
- Hotte de minéralisation
- Distillateur de protéines
- Pipettes de 25 et 10ml
- Etuve
- Spectrophotométrie d'Absorption Atomique
- Plaque chauffante
- Dessiccateur
- Four à muffle
- Etc.

## II.2. METHODES

### II.2.1. Procédé technologique

#### II.2.1.1. Nettoyage –calibrage

Il ya d’abord la préparation des échantillons par les opérations préliminaires.

Le nettoyage-calibrage consiste à éliminer les impuretés présentes dans le mil et d’avoir des grains de même taille. Il est réalisé à l’aide d’un vibro-tamiseur « SOWECO » qui comporte trois compartiments séparés par deux tamis de 1,5mm (tamis supérieur) et 1mm (tamis inférieur) d’ouverture des mailles pour le mil. Le premier tamis retient les grosses particules, dont le gros mil, et laisse passer les particules dont la granulométrie est inférieure à 1,5mm pour le mil.

L’opérateur enlève manuellement les grosses particules étrangères (brindilles, cailloux, bois,...) Le deuxième tamis sous jacent retient les particules de granulométrie supérieur à 1mm pour le mil et laisse passer les fines particules (sable, poussières...). Chacune de ces trois catégories de particules est récupérée dans un bac à la sortie de chaque compartiment.

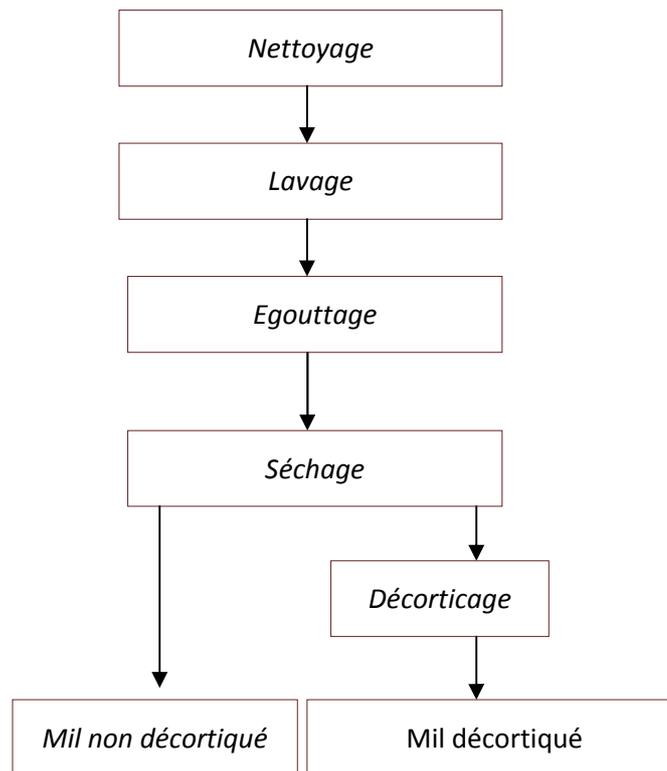
Cette étape est nécessaire et permet de limiter considérablement le passage des impuretés dans les produits finis et d’avoir un décorticage efficace. Un nettoyage-calibrage insuffisant peut compromettre la stabilité des produits de mouture.



### II.2.1.2. Préparation des échantillons

Le mil a été nettoyé et calibré à l'aide d'un vibro-calibreur de marque « SOWECO » pour avoir une bonne qualité de produit. 14 kg du mil nettoyé et calibré sont prélevés et divisés en deux parties égales dont l'un servira de standard et l'autre sera décortiqué.

Le digramme suivant résume le processus de préparation des échantillons.



**Figure 3 : Diagramme de préparation des échantillons**

**NB : Dans certains cas, le mil non décortiqué est appelé standard.**

Ces échantillons obtenus sont envoyés au laboratoire de chimie où ils seront broyés en farine en vue de l'analyse.

Les grains de mil sont nettoyés à sec puis calibrés. Après cette étape, on procède au lavage à grande eau de ces grains pour enlever toutes autres impuretés ou saletés au niveau du produit. La dernière phase du nettoyage est l'égouttage. Il s'ensuit le séchage jusqu'à une humidité comprise entre 10 et 13% en moyenne.

Le mil calibré est divisé en deux lots dont l'un de 7kg (lot 1) sert de témoin et l'autre de 7 kg (lot 2) va subir l'opération de décortiquage.

### **II.2.1.3. Lavage**

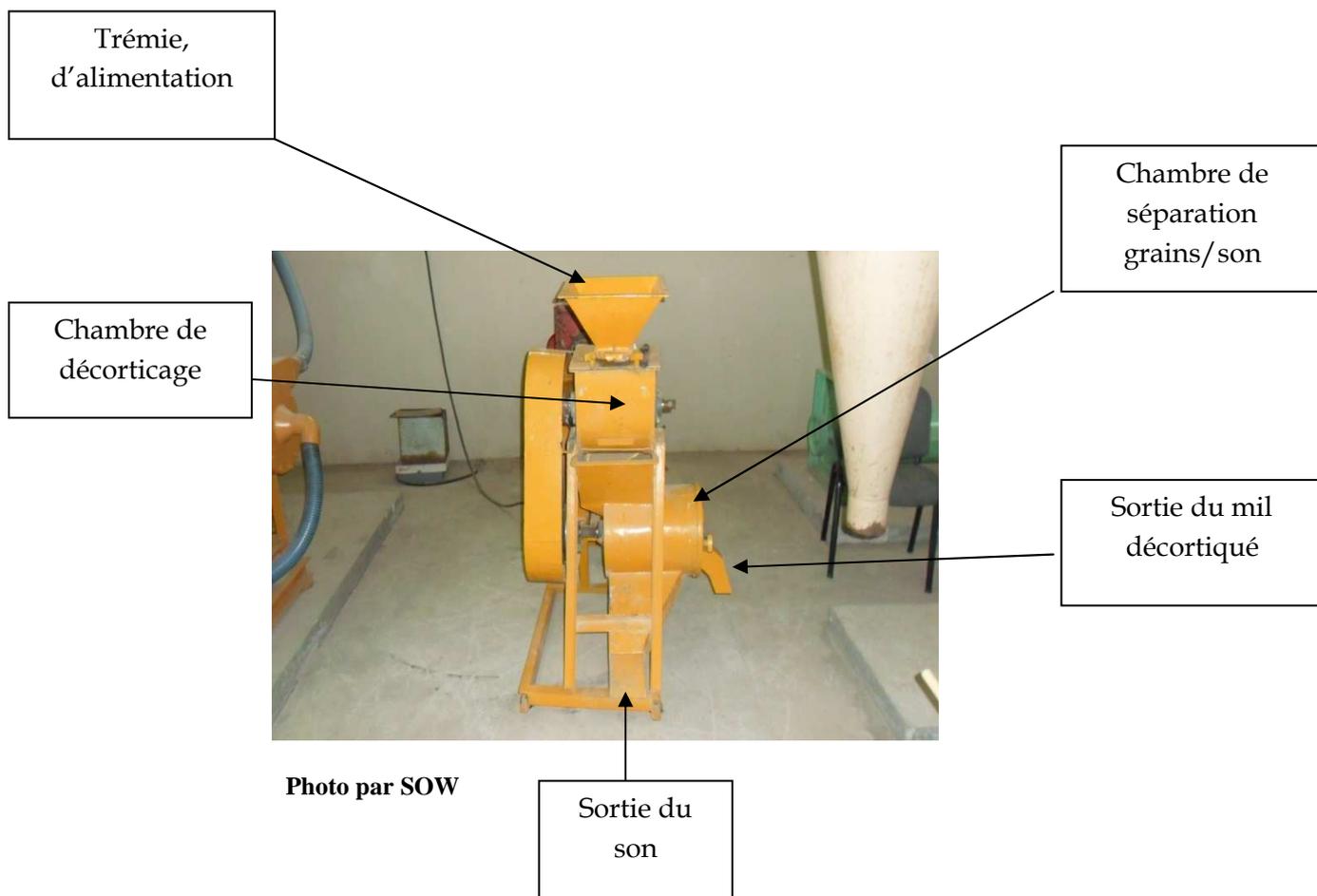
Cette opération concerne tour à tour les échantillons standard et décortiqué de 7 kg chacun. Nous avons complété le nettoyage par un lavage pour enlever les pailles, la poussière et de toutes autres saletés externes contaminantes. Cette opération qui a été effectuée en utilisant des récipients des bassines en plastique permettent d'éliminer les impuretés. Chaque lot de 7 kg de mil est trempé dans une quantité d'eau (bassine) qui submerge les grains. Les mauvais grains, les pailles et les petites pierres flottent en surface. Ensuite, un lavage avec ajout de quelques gouttes d'eau de javel puis d'un lavage à grande eau sont opérés. En fin, on égoutte pour que toute la quantité d'eau de lavage puisse s'écouler. Pour cette phase d'égouttage, le mil lavé est transvasé dans un panier perforé pour laisser passer l'eau de lavage.

### **II.2.1.4. Séchage**

C'est la réduction de la teneur en eau du mil lavé pour le décortilage. Le mil est pré-séché au soleil pendant 1 heures 30 avant de continuer le processus à l'ombre pour équilibrer le taux d'humidité. Le séchage est un processus important qui permet de baisser progressivement la teneur en eau jusqu'à une humidité comprise entre 10 à 13%, permettant ainsi un bon décortilage et une bonne conservation éventuelle du produit.

### **II.2.1.5. Décortilage**

Il est réalisée à l'aide d'une décortiqueuse à disques, fabriquée par la Société SISMAR qui permettent d'enlever les enveloppes et une partie du germe. Munie de disques, elle a une capacité par batch comprise entre 6 et 10 kg pour le mil et avec une chambre de séparation du son et des grains de mil décortiqué. Le principe est de mettre le produit (7 kg de mil) dans la chambre de décortilage pendant 3 mn. Au bout de ce temps, l'ensemble passe à la chambre de séparation où le son et le grain décortiqué sont séparés par l'intermédiaire d'un tamis de 1mm de diamètre de maille.



**Figure 4: Décortiqueur à disques fabriqué par SISMAR**

**Tableau V: Conditions expérimentales du décortiqueur**

Le tableau suivant donne les conditions d'utilisation du décortiqueur.

Quantité de mil introduite	7kg
Temps de séjour (décortilage)	3minutes

## **II.2.2. Caractérisation technologique**

### **II.2.2.1. Taux de décortilage**

Le taux de décortilage ou taux de récupération ou encore taux d'extraction (TE) est égal au pourcentage de graines décortiquées par rapport aux graines avant décortilage.

Il est défini par la formule :

$$\text{Taux de décortilage\%} = \frac{\text{Masse de graines brutes} - \text{masse de son}}{\text{masse de graines brutes}} * 100.$$

Dans la pratique, nous avons déterminé le pourcentage de sons obtenus par rapport aux graines avant décortilage.

### **II.2.2.2. Taux de grains entiers**

Dans la pratique, nous avons utilisé le tamiseur de tamis 1,5 mm.

Le refus du tamis 1,5 mm sera assimilé dans ce document comme grains entiers et le passant du même tamis comme brisures.

Il est calculé selon la formule :

$$\text{Taux de grains entiers \%} = \frac{\text{Masse du refus de tamis 1,5mm}}{\text{masse totale de grains décortiqués}} * 100.$$

## **III.2.3. Caractérisation biochimique**

### **II.2.3.1. Teneur en eau (humidité)**

La teneur en eau est déterminée selon la méthode décrite dans AOAC (2007).

Il s'agit d'une dessiccation à l'étuve à 105°C jusqu'à poids constant.

Le mode opératoire est le suivant :

- Dans une capsule préchauffée et refroidie tarée à 0,1mg près, peser 5g d'échantillon (homogène) ;
- Mettre la capsule dans l'étuve (105°C) pendant 4 heures ;
- Laisser refroidir au dessiccateur et effectuer la pesée ;

- Remettre à sécher 1 heure et vérifier de nouveau la stabilité du poids, jusqu'à ce qu'il soit constant.

L'expression des résultats

$$\%H = \frac{(M_1 - M_2) \times 100}{PE}$$

H : pourcentage d'humidité

M1 : masse de l'échantillon brut+ capsule (g)

M2 : masse de l'échantillon sec + capsule (g)

PE: prise d'essai(g)

### II.2.3.2. Teneur en protéines

La teneur en protéines est déterminée selon la méthode décrite dans AOAC (2007). La méthode Kjeldahl dont la technique consiste à doser l'azote dans le produit est utilisée. l'échantillon finement broyé est minéralisé à chaud par l'acide sulfurique concentré en présence d'un catalyseur (100 g de sulfate de potassium, 10 g de sulfate de cuivre et 1 g de sélénium). L'azote après plusieurs processus de transformation donne de l'ammoniac qui est distillé, récupéré dans une solution d'acide borique et titré par une solution d'acide sulfurique. La teneur en azote multiplié par un coefficient(6,25) donne la teneur en protéines.

$$\% \text{ Azote} = \frac{(V - V_0) \times N \times 14}{PE \times 10}$$

$$\% \text{ Protéines} = \% \text{ Azote} \times F$$

$V_0$  = Volume titrage blanc en ml

V = Volume titrage échantillon en ml

N = Normalité exacte de l'acide chlorhydrique ou sulfurique

14 = masse molaire de l'azote

F = facteur de conversion de l'azote en protéines

### II.2.3.3. Teneur en cendres

La teneur en cendres est déterminée selon la méthode décrite dans AOAC (2007).

Cette méthode consiste à calciner sur plaque chauffante l'échantillon finement broyé contenu dans un creuset. Puis il est incinéré au four à 550°C jusqu'à l'obtention de cendres blanches ou légèrement grises selon la nature de l'échantillon. La différence de poids donne le taux de cendres.

$$\% \text{ Cendres brutes} = \frac{(P_2 - P_1) \times 100}{PE}$$

P1: masse du creuset vide

P2 : masse creuset + échantillon après incinération.

PE : prise d'essai.

### II.2.3.4. Teneur en amidon

La teneur en amidon est déterminée selon la méthode Luff Schoorl. Après élimination des sucres directs facilement solubles, l'amidon est extrait par hydrolyse acide et à chaud. L'hydrolysate filtré est ensuite oxydé à chaud en présence d'une solution cupro-alkaline. Après ajout d'une solution d'iodure de potassium et d'une solution d'acide sulfurique, l'excès de liqueur cuprique est titré par iodométrie. Parallèlement, on titre la liqueur cupro-alkaline.

$$\% \text{ Amidon} = \frac{X * 250 * 100}{PE * Vp * 1000} * 0,95$$

PE : prise d'essai(g)

Vp=volume de filtrat prélevé (ml)

X= quantité de sucres (en mg) correspondant à la différence des volumes de thiosulfate versés respectivement pour le blanc et pour l'échantillon. Cette Valeur est obtenue à l'aide

d'une table donnant la quantité de saccharose (en mg) en fonction du nombre de ml de thiosulfate 0,1N.

#### **II.2.3.5. Teneur en fibres**

La teneur en cendres est déterminée selon la méthode décrite dans AOAC (2007). Après deux hydrolyses acide et basique de l'échantillon suivies d'une complexation par l'EDTA, le résidu est filtré et séché à l'étuve à 130°C puis calciné au four à 400°C. La différence de poids entre les deux étapes (étuve et four) donne la teneur en fibres.

$$\% \text{ Celluloses brutes} = \frac{(M_1 - M_2)}{M} * 100$$

**M<sub>1</sub>** = masse du creuset + matière après séchage à l'étuve

**M<sub>2</sub>** = masse du creuset + matière après incinération au four

**M** = masse de l'échantillon.

#### **II.2.3.6. Teneur en minéraux (fer, calcium, zinc, Phosphore, potassium, magnésium)**

La teneur des minéraux est déterminée selon la méthode décrite dans AOAC (2007). Elle consiste à doser les éléments par Spectrophotométrie d'Absorption Atomique après incinération des échantillons et dissolution des cendres avec de l'acide chlorhydrique. Les concentrations des minéraux dans les échantillons sont déterminées à partir de courbes d'étalonnage établies avec une gamme de solutions standards caractéristiques de chaque élément.

$$ELEMENT \text{ en mg / 100g (de produit)} = \frac{C \times 50 \times 100 \times F.d}{PE \times 1000}$$

PE = prise d'essai en g

[C] en mg/l = concentration de l'élément à doser dans la solution finale

F.d = facteur de dilution

### **III. RESULTATS ET DISCUSSION**

## IV. PRESENTATION DES RESULTATS ET DISCUSSION

### IV.1. Résultats de la caractérisation technologique

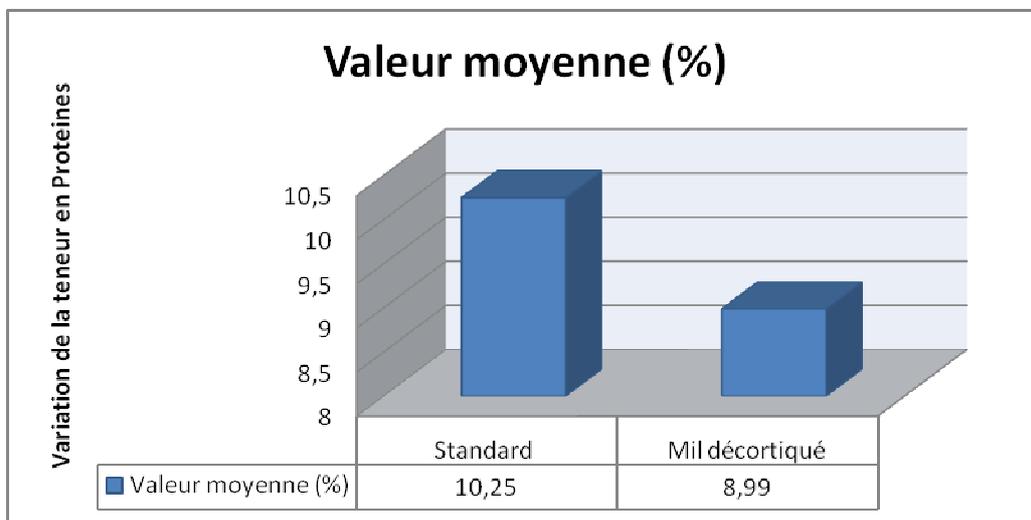
Le rendement au décortilage est de 79,11% ; soit un taux de sons estimé à 20,89%. Ce taux de sons est proche de la plage [18-20%] recommandée pour un bon taux de sons après décortilage à sec du mil nettoyé et calibré.

Le taux de grains entiers obtenu est de 67%, contre 33% de brisures dues au décortilage.

### IV.1.2. Résultats de la caractérisation biochimique

#### IV.1.2.1. Résultats sur la teneur en Protéines

Les résultats obtenus pour le dosage des protéines sont présentés dans Figure 5.



**Figure 5: variation de la teneur en protéines**

L'analyse de Figure 5 montre que la teneur en protéines du mil brut est de 10,25% contre 8,99% pour le mil décortiqué. Le taux de réduction des protéines due au décortilage est alors de 12,27%.

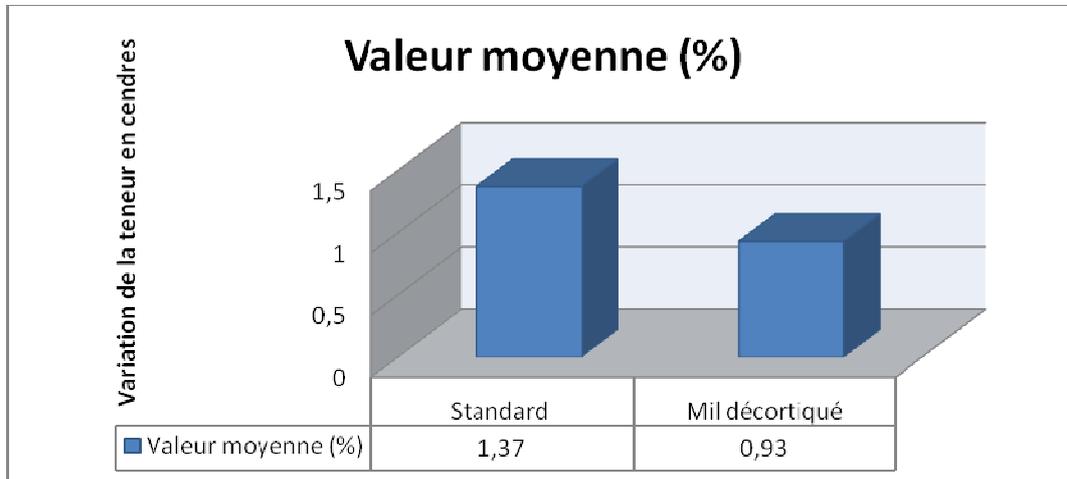
La structure anatomique du grain de mil montre que l'essentiel des protéines se trouvent dans le péricarpe et le germe. Par ailleurs, le décortilage consistant à enlever le péricarpe et une partie du germe réduit alors la teneur en protéines de 12,27%.

Par ailleurs, la teneur en protéines du mil brut étudié (10,25%) serait proche de celle trouvée par *Hulse, Laing et Pearson (1980)* qui est de 9,7%. La légère différence entre ces deux valeurs pourrait être due à des facteurs génétiques et environnementaux et à des conditions agro-climatiques diverses qui influent sur la composition du grain (*Burleson, Cowley et Oley, 1956 ; Waggle, Deyoe et Smith, 1976 ; Deosthale, Nagarajan et Wisweswar Rao, 1972*).

En outre, *Sema Saldivar, McDonough et Rooney (1991)* ont montré que cette teneur peut varier de 6 à 21% mais tourne le plus souvent entre 9 et 13%.

#### IV.1.2.2. Résultats sur la teneur en Cendres totales

La teneur en cendres des échantillons étudiés est présentée dans la figure suivante.



**Figure 6 : les teneurs moyennes en cendres totales du standard et du mil décortiqué**

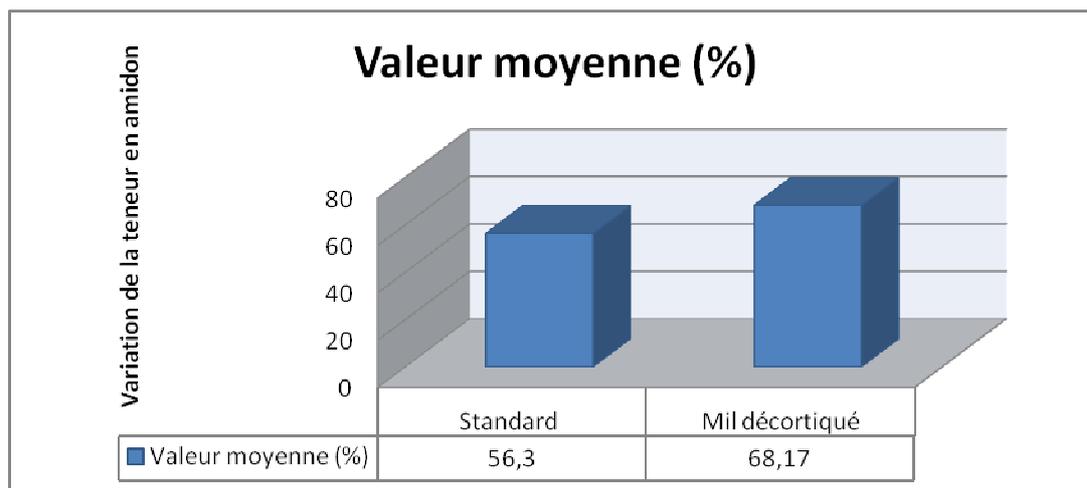
La teneur en cendres du mil brut est de 1,37% alors que celle du mil décortiqué est de 0,93%. L'analyse statistique de Fig 6 indique également que près de 35% des cendres totales sont éliminées au cours du décortiquage.

Le péricarpe constitue l'essentiel de la matière minérale des grains de mil. Au cours du décortiquage, une bonne partie de ce péricarpe est éliminée pour constituer l'élément principal du son. A cet effet, le décortiquage du grain de mil peut être considéré comme responsable d'une réduction de 35% du taux de cendres.

Le taux de cendres du mil brut trouvé (1,37%) est compris dans l'intervalle [1,2 - 2,2] indiquée par la FAO (1974).

#### IV.1.2.3. Résultats sur la teneur en Amidon

La figure suivante représente les teneurs moyennes en amidon du standard et du mil décortiqué.



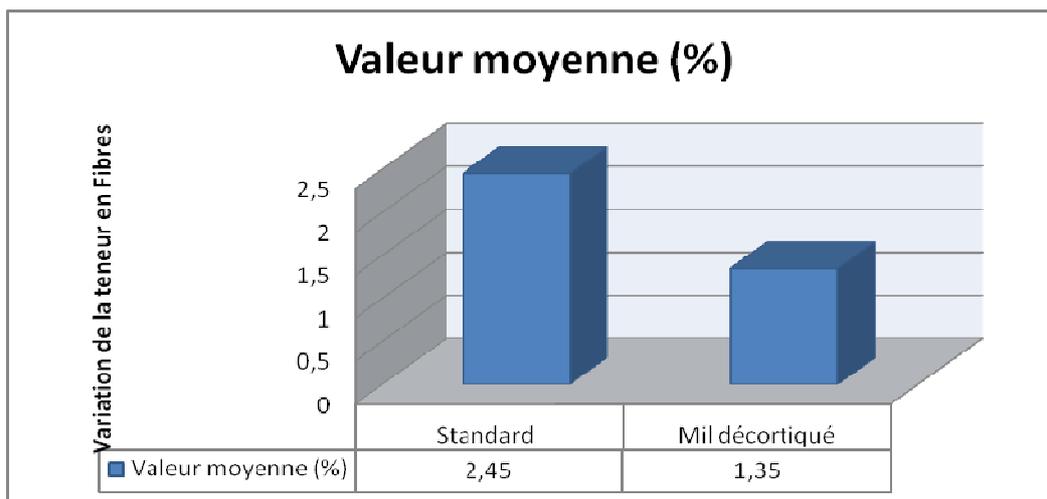
**Figure 7: variation de la teneur en amidon**

La figure 7 confirme que plus de la moitié du grain de mil est constituée d'amidon. En effet, la teneur en amidon passe de 56,30% pour le mil brut à 68,17% pour le mil décortiqué ; soit une augmentation du taux d'amidon de 21,08%.

L'amidon, qui est la principale forme de stockage des hydrates de carbone dans les céréales, est constitué d'amylopectine, polymère à chaînes ramifiées, et d'amylose, polymère à chaîne linéaire. IL se trouve dans l'endosperme appelé également l'albumen. Cette partie constituant le noyau du grain de mil n'est pas touché par le décortilage. Cependant le décortilage subi par le grain enlève les enveloppes et une partie du germe diminuant ainsi la masse totale du grain. En conséquence le taux d'amidon exprimé par le rapport de sa masse (constante) et de la masse totale du grain devient alors plus important du fait de la diminution de cette dernière. La teneur en amidon du standard est inférieure à la valeur de 63,8% trouvée par *Hulse, Laing et Pearson (1980)*.

#### **IV.1.2.4. Résultats sur la teneur en Fibres brutes**

Les teneurs en fibres brutes du standard et du mil décortiqué sont représentées par la figure suivante.

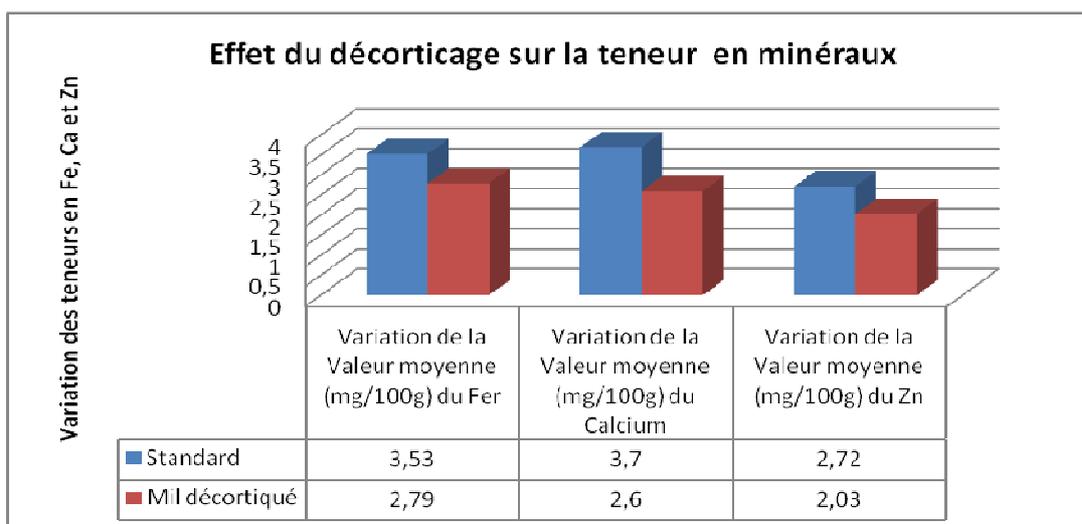


**Figure 8: Teneur moyenne en Fibres brutes du standard et du mil décortiqué**

Dans la figure ci-dessus, nous remarquons que la teneur en fibres brutes du standard est à 2,45% tandis que celle du mil décortiqué est de 1,34%. Le taux des pertes s'élève à 45%. Les fibres sont majoritairement au niveau du péricarpe. Après décortication, elles constituent la partie dominante du son ; ce qui fait passer la teneur de 2,4 à 1,34%. La teneur du standard est supérieure à la valeur indiquée par la FAO (1970) qui est de 2,1% mais elle se trouve dans la plage [0,8-4,1] toujours définie par la même source.

#### IV.1.2.5. Résultats sur la teneur en Fer, en Calcium et en Zinc

Les teneurs moyennes en Fer, en Calcium et en Zinc du standard et du mil décortiqué sont représentées dans la figure suivante.



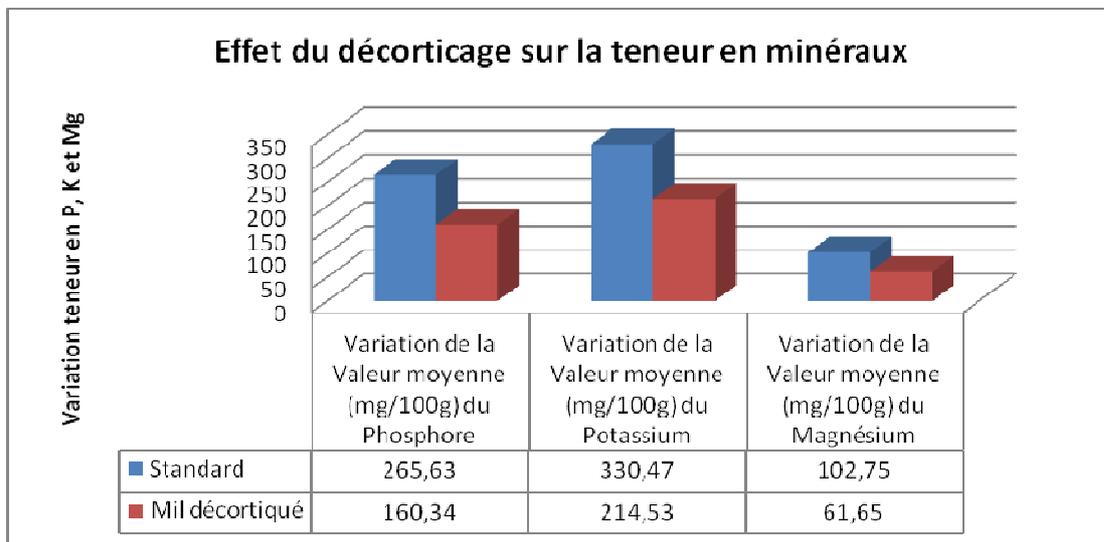
**Figure 9: Variation des teneurs Fer, en Calcium et en Zinc**

L'analyse de la figure 11 montre que :

- ✓ la teneur en fer du standard est de 3,53 mg/100g alors que celle du mil décortiqué est de 2,79 mg/100g ; soit une perte d'environ 21%.
- ✓ la teneur en Calcium (Ca) du standard est 3,69 mg/100g contre 2,60 mg/100g pour le mil décortiqué ; soit une perte d'environ 30%.
- ✓ le Zinc est présent dans le mil brut à une teneur de 2,721 mg/100g contre 2,026mg/100g au niveau du mil décortiqué. Le taux de perte s'élève ainsi à 26%.

#### IV.1.2.6. Résultats sur la teneur en Phosphore, en Potassium et en Magnésium

Les teneurs moyennes en phosphore, en potassium et en magnésium du standard et du mil décortiqué sont représentées dans la figure suivante.



**Figure 10: variation des teneurs en Phosphore, en Potassium et en Magnésium**

La figure 12 nous montre que :

- ✓ la teneur en phosphore du standard est de 265,63 mg/100g alors que celle du mil décortiqué est de 160,34 mg/100g ; soit près de 40% de pertes ;
- ✓ la teneur en potassium du standard est 330,47 mg/100g contre 214,53 mg/100g pour le mil décortiqué ; Cette teneur chute de plus de 35% ;
- ✓ le magnésium est présent dans le mil brut à une teneur de 102,751 mg/100g contre 61,651 mg/100g pour le mil décortiqué; soit un taux de perte qui s'élève à 40%.

Les minéraux sont généralement concentrés au niveau du péricarpe et du germe. Au cours du décorticage, une bonne partie des minéraux est perdue dans le son par la dégradation du péricarpe et une partie du germe. Ainsi on enregistre lors de cette étude des pertes de 21% pour le fer, 30% pour le calcium, 26% pour le zinc, 40% pour le phosphore, 35% pour le potassium et 40% pour le magnésium.

Pour le fer, le standard a une teneur différente de la valeur donnée par la *table de composition des aliments en Afrique de l'Ouest de 2012* qui est de 9,5mg/100g

Au niveau du calcium, la teneur dans le mil étudié est largement inférieure à 17 mg /100g qui est la valeur trouvée par *Hulse, Laing et Pearson (1980)*.

Concernant le zinc, la teneur dans le mil étudié est supérieure à celle de 1,47 mg/100g indiquée dans la *table de composition des aliments en Afrique de l'Ouest de 2012*.

La teneur en phosphore du mil brut analysé (265,631mg/100g) n'est pas loin de celle donnée par *FAO (1970)* qui est de 286 mg/100g.

Pour le potassium, elle est de 330,474 mg/100g qui est comprise dans la fourchette [134 – 391] donnée par la *FAO (1970)*.

Les différences entre les teneurs en minéraux du mil étudié et celles publiées par la FAO ou par *Hulse, Laing et Pearson (1980)* pourrait s'expliquer car la composition du grain en sels minéraux est influencée d'avantage par le lieu que par la variété (*Deosthale et Belavady, 1978*). Par ailleurs, d'autres facteurs comme la densité de population de plants, la saison et les contraintes hydriques contribuent aussi aux variations de cette composition.

## **CONCLUSION ET PERSPECTIVES**

Le mil, comme les autres céréales est très riche en amidon, avec une teneur moyenne en protéines mais peu riche en minéraux hormis le phosphore, le potassium et le magnésium qui sont à des teneurs relativement élevées. Le mil à l'instar des autres céréales apparaît comme un aliment essentiellement énergétique avec environ 330 à 385 Kcal/100g (FAO, 1970).

Au bout de cette étude, nous pouvons retenir que la composition biochimique du mil étudié est de 10,52% pour les protéines, 1,37% pour les cendres, 56,30% pour l'amidon, 2,45% pour les fibres brutes. Pour les minéraux, ces teneurs sont 3,53 mg/100g pour le fer, 3,69 mg/100g pour le calcium, 2,72 mg/100g pour le zinc, 265,63 mg/100g pour le phosphore, 330,47 mg/100g pour le potassium et 102,75 mg/100g pour le magnésium.

Par ailleurs, le décortilage du mil a permis de constater des taux de réduction de 12,27% des protéines, de 35% pour les cendres et de 45% pour les fibres brutes contre une augmentation de 21,08% de la proportion de l'amidon. Les teneurs en minéraux suivent les mêmes tendances à la baisse avec des taux de réduction de 21% pour le fer, 30% pour le calcium, 26% pour le zinc, 30% pour le potassium et 40% pour le phosphore et le magnésium chacun.

Pour palier la réduction des teneurs en micronutriments du mil due au décortilage, plusieurs procédés comme le trempage en milieu acide, le maltage et l'étuvage ont été déjà étudiés sur les céréales. Ainsi dans une perspective de fabrication de farines enrichies à base de mil, il serait intéressant d'expérimenter l'étuvage dont les résultats ont été obtenus sur le riz par *Houssou (2002)* et *Manful et al. (2005)*.

## **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

**Adrian J. et Gast M. (1965)**- Mils et Sorgho en Ahaggar. Etude ethnologique et nutritionnelle. Mémoires du Centre'de recherches anthropologiques, préhistoriques et ethnographiques.

**Andrews, D. J. ; Kumar, K. A., 1992.** Pearl millet for food, feed and forage. In: Advances in agronomy, vol. 48, ed. D. L. Sparks, Academic Press, p. 90-139.

**ANSD, Aout 2012.** (Agence Nationale de Statistiques et de la Démographie) : Bulletin mensuel des statistiques économiques.

**ANSD, Aout 2012.** (Agence Nationale de Statistiques et de la Démographie) : Bulletin mensuel des statistiques économiques.

**Bal A.B., 1986.** L'entomofaune nuisible de l'agrosystème mil-niébé au Sénégal : statut et perspectives de contrôle. ISRA, Dakar.

**Bhatnagar V.S., 1986.** Rapport d'activité du programme de lutte biologique. Projet CILSS de lutte intégrée contre les ravageurs des cultures vivrières dans le Sahel.

**Benefice E., Maire B., Chevassus-Agnes S. et Ndiaye A.M. (1981)**- Dimensions de la malnutrition au Sénégal : Séminaire sur la planification multisectorielle de la nutrition et le développement rural au Sénégal.

**Bilquez A.F., 1975.** Amélioration des mils au Sénégal : synthèse des résultats obtenus au cours des quatre années de travail et conclusions générales. ISRA, CNRA, Bambey, 52 p.

**Blondel D., 1971.** Contribution à l'étude de la croissance en matière sèche et de l'alimentation azotée des céréales sèches au Sénégal. L'Agronomie tropicale, 26 : 707-720.

**Broutin C., Sokona K., Tandia A., 2000.** Aperçu de la filière céréale au Sénégal. 19p.

**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. GRET, 296 p.

**Chevassus-Agnes S. et Ndiaye A.M. (1980)** - Enquêtes de consommation alimentaire de l'ORANA de 1977 à 1979: méthodologie, résultats.

Séminaire sur l'état nutritionnel de la population rurale du Sahel Paris.

**Collectif, 2002. Mémento de l'agronome.** GRET, CIRAD, ministère des Affaires étrangères, Paris, 1 692 p.

**Diallo Y.**, Mémoire pour l'obtention d'un Diplôme d'Etudes Approfondies (DEA) sur la « caractérisation de trois variétés de mil cultivées au Sénégal (*souna 3, thialack et IBMV 8402*) pour la production de couscous », FST/UCAD, 2006, 61p.

**Etasse C., 1965.** Amélioration du mil, *Pennisetum*, au Sénégal. L'Agronomie tropicale, 20 : 976-980.

**FAO, 1987.** Manuel d'informations technique et économiques sur les procédés et le matériel employés pour l'étuvage du riz.

**FAO. (1986).** L'étuvage du riz. Bull Service agric FAO n°56. FAO, Rome.

**Gupta S.C., 1984.** Programme d'amélioration du mil : développement des pratiques culturales pour les nouvelles variétés. *In* : Rapport annuel 1983-1984. ISRA, CNRA, Bambey, 32 p.

**Gupta S.C., Lambert A., Ndoye A.T., 1991.** Registration of IBV-8001 pearl millet. Crop Science, 31 : 1382.

**Gupta S.C., Ndoye A.T., 1991.** Yield stability analysis of promising pearl millet genotypes in Senegal. Maydica, 36 : 83-86.

Havard M., 1986. Le semis du mil au Super-Eco en culture attelée. Machinisme agricole tropical, 93 : 15-20.

**Hulse, J. H.; Laing, E. M.; Pearson, O. E.;** Book: Sorghum and the millets: their composition and nutritive value. 1980 pp. xiii + 997pp.

**Jacquinet L., 1964.** Contribution à l'étude de la nutrition minérale du sorgho Congossane, Bambey. Bulletin agronomique IRAT-CNRA, 21 : 18-30.

Jacquinet L., 1972. Résultats et perspectives des recherches effectuées au Sénégal sur la potentialité du mil céréalière (*P. typhoides*). L'Agronomie tropicale, 25 : 1088-1095.

**Mbaye I., 1999.** Etude sur le conditionnement et la conservation de produits issus de la transformation primaire du maïs. *In* : Regional maize workshop, 4-7 mai 1999. IITA, Cotonou.

**Ndiaye A., 1987.** La sélection du maïs au Sénégal et l'étude de l'organisation de la variabilité génétique des populations. ISRA, Dakar.

**Ndiaye M., 1996.** Valorisation agricole de résidus de poisson fumé : synthèse des travaux réalisés dans le cadre de la subvention de recherche R01 (projet NRBAR). ISRA, CNRA, Bambey, 30 p.

**Ndoye A., 2001.** Importance des équipements de transformation primaire et secondaire dans la promotion des produits à base de sorgho : expérience de l'ITA

du Sénégal. *In* : Atelier technique du Réseau ouest et centre africain de recherche sur le sorgho.

**Ndoye A.T., 1977-1987.** Amélioration du mil : rapports 1975-1986. ISRA, CNRA, Bambey.

**Ndoye A.T., Gupta S.C., 1987a.** La culture du mil face aux contraintes de l'agriculture intensive au Sénégal. *In* : International pearl millet workshop, 7-11 avril 1986. ICRISAT, Patancheru, 285 p.

**Ndoye A.T., Gupta S.C., 1987b.** Research on pearl millet hybrids in Senegal. *In*: International pearl millet workshop, 7-11 avril 1986. ICRISAT, Patancheru, 285 p.

**Ndoye M., 1979.** Contrôle cultural et lutte aménagée dans la protection des cultures céréalières contre les principaux déprédateurs dans le Sahel. ISRA, CNRA, Bambey, 61 p.

Official Methods of Analysis of **AOAC** International 18<sup>th</sup> Ed 2005, Rev 2007