

## Variation de l'activité $\alpha$ -amylasique et des teneurs en certains nutriments et facteurs anti-nutritionnels au cours de la préparation de farines de céréales germées par les dolotières de Ouagadougou

Traoré<sup>1,2\*</sup> Tahirou, Icard-Vernière<sup>2</sup> Christèle, Mouquet<sup>1,2</sup> Claire, Picq<sup>2</sup> Christian, Traoré<sup>1</sup> Alfred S, Trèche<sup>2</sup> Serge

<sup>1</sup> CRSBAN/UFR-SVT/Université de Ouagadougou, 03 BP 7021 Ouagadougou 03, Burkina Faso.

<sup>2</sup> UR 106 «Nutrition, Alimentation, Sociétés», IRD, BP 64501, 34394 Montpellier Cedex 5, France.

\*Auteur correspondant: [ttahirou@ird.bf](mailto:ttahirou@ird.bf)

### - Résumé -

191 ateliers de maltage de sorgho rouge, 4 de maïs et 3 de mil ont été recensés dans 4 des 30 secteurs de la ville de Ouagadougou. Huit ateliers transformant, soit le sorgho (5 ateliers), soit le mil (2), soit le maïs (1) ont été sélectionnés en fonction de l'efficacité des farines maltées à fluidifier des bouillies et des différences observées au niveau des procédés utilisés. Ces huit ateliers ont été suivis, chacun sur la durée totale de trois productions, et des échantillons ont été prélevés aux principales étapes de la transformation. L'activité  $\alpha$ -amylasique ainsi que la composition globale, les teneurs en sucres solubles, en phytates et en cyanures ont été déterminées selon les méthodes officielles.

Le maltage traditionnel a conféré en moyenne une activité  $\alpha$ -amylasique de, respectivement, 56, 42 et 26 Unités Ceralpha/g MS dans les grains de sorgho, mil et maïs et entraîné une réduction des teneurs en phytates de, respectivement, 52, 65 et 21%. Il s'est traduit, d'une part, par une réduction des teneurs en lipides (16-26% selon l'espèce) et en cendres (41% pour le sorgho) et, d'autre part, par une augmentation considérable des teneurs en saccharose (150-280%), glucose (2140-4480%) et fructose (380-1520%). Une augmentation importante des teneurs en cyanures a été observée au cours du maltage du sorgho (+390 ppm), mais ces cyanures peuvent être facilement éliminés par l'égermage manuel des grains germés. Par ailleurs, une importante variabilité de la composition biochimique et de l'activité  $\alpha$ -amylasique d'un atelier de maltage à l'autre a été observée parmi les 5 ateliers transformant le sorgho. Cette variabilité est probablement due à la nature et à l'origine de la matière première utilisée et aux variantes technologiques observées dans la préparation des farines maltées.

Mots-clés: Maltage – Céréale –  $\alpha$ -amylase – Phytates – Cyanures.

---

- Abstract -

**Changes in  $\alpha$ -amylase activity and some nutrient and anti-nutrient contents during cereal malting in small production units in Ouagadougou**

**Introduction:** Malting of cereals is traditionally used in many African countries for the manufacture of alcoholic drinks. Another potential use of malted cereal flours is their incorporation in infant flours to allow the preparation of energy-rich gruels with a semi-liquid consistency through the action of  $\alpha$ -amylase. This work consisted firstly, in characterizing the different traditional processes used for cereal malting in Ouagadougou, and secondly, in highlighting the different biochemical modifications that occur in seeds during malting.

**Methods:** 191 production units (PU) of malted sorghum, 4 PU of malted maize and 3 PU of malted millet were listed in four sectors out of a total of thirty sectors in Ouagadougou. Eight PU that process either red sorghum (5 PU), or millet (2 PU), or maize (1 PU) were selected depending on the ability of the malt flour to fluidify high-energy density gruels and on differences observed in the processes used. Each of the eight PU was monitored throughout the whole malt production process in order to describe rigorously the various stages of their malting technique and to establish a detailed flow sheet for each. Samples were collected after soaking, germination, maturation, drying and degerming for chemical determination (*nutrient, phytate and cyanide contents and measurement of  $\alpha$ -amylase activity*).

**Results:** Traditional malting gave to malted sorghum, millet and maize flours an average  $\alpha$ -amylase activity of respectively 56, 42 and 26 Ceralpha units/g DM and simultaneously reduced phytate content of respectively 52, 65 and 21%. It also induced, on the one hand a reduction in lipid content (*16-26% depending on the species*) and ash content (*41% in sorghum*), and on the other hand a significant increase in sucrose (*150-280%*), glucose (*2140-4480%*) and fructose (*380-1520%*) contents. A significant increase in cyanide content was also observed, particularly in red sorghum seeds (*+390 ppm*), which, fortunately, can be eliminated by manual degerming of germinated seeds. A significant variability in  $\alpha$ -amylase activity and biochemical composition was noted from one PU of malted sorghum seeds to another. This variability may be due either to the nature and origin of the raw seeds or to the technological variants observed during malted flour preparation.

**Conclusion:** Malt flours of red sorghum and millet presented interesting nutritional and enzymatic characteristics to be incorporated in infant flours produced in small scale production units in order to improve energy density of infant gruels.

Key words: Malting – Cereal –  $\alpha$ -amylase – Phytate – Cyanide.

---

## INTRODUCTION

Le maltage des céréales est une transformation pratiquée traditionnellement dans de nombreux pays africains pour la fabrication de boissons alcoolisées<sup>1</sup>. Au Burkina Faso, le maltage traditionnel des céréales, tel qu'il est réalisé par les dolotières pour la production du *dolo* (bière traditionnelle locale), comprend les étapes de trempage des grains dans de l'eau, de germination, de maturation (au cours de laquelle les grains sont entassés et mis à l'abri de la lumière) et de séchage au soleil. Une autre utilisation possible des farines de céréales maltées est leur incorporation dans les farines infantiles afin de réduire la viscosité des bouillies grâce à l'action des  $\alpha$ -amylases<sup>2</sup> et permettre ainsi une augmentation de leur densité énergétique. La densité énergétique insuffisante des aliments de complément est en effet reconnue comme un facteur étiologique de la malnutrition chez les jeunes enfants<sup>3</sup>. Les  $\alpha$ -amylases sont des amylases liquéfiantes et seraient responsables de la solubilisation de l'amidon grâce à leur mode d'action endolytique. Le maltage des grains de céréales présente aussi l'avantage de réduire les teneurs en phytates<sup>4,5</sup>, ce qui améliorerait la biodisponibilité de certains minéraux essentiels (Fer, Zinc) pour le jeune enfant. Par ailleurs, l'utilisation de farines de céréale germée dans de petites unités de production de farines infantiles ou au niveau des ménages permettrait de respecter les habitudes alimentaires et de bénéficier du savoir-faire technologique des populations. Toutefois, la variabilité de leur activité amylolytique ainsi que la durée de leur préparation et d'éventuels risques de toxicité liés à la présence de cyanures dans les pousses des grains en germination<sup>6,7</sup>, rendent nécessaire une meilleure connaissance des modalités et des effets de leurs modes de production. Notre objectif était de caractériser les procédés de maltage traditionnellement utilisés à Ouagadougou en vue de l'incorporation de farines de céréales germées dans les farines infantiles. Ce travail s'est attaché à mettre en évidence, d'une part, les variantes existant au niveau des procédés traditionnels utilisés à Ouagadougou et, d'autre part, certaines modifications biochimiques intervenant dans les grains au cours du maltage.

## MATÉRIELS ET MÉTHODES

### Les grains de céréales

Les grains de sorgho rouge (*Sorghum bicolor*), de mil (*Pennisetum glaucum*) et de maïs (*Zea mays*) ont été achetés par les productrices chez leurs fournisseurs habituels de la ville de Ouagadougou.

### Sélection des ateliers de maltage et prélèvement d'échantillons

191 ateliers de maltage (AM) de sorgho, 4 AM de mil et 3 AM de maïs ont été recensés dans 4 des 30 secteurs de la ville de Ouagadougou. Concernant les AM de sorgho, des regroupements ont été faits sur la base de similitudes observées au niveau des schémas de production. Ces regroupements ont permis d'obtenir 20 schémas de production présentant des variantes à certaines étapes et, pour chaque schéma, un atelier a été tiré au sort. En revanche, tous les AM de mil et de maïs ont été retenus compte tenu de leur faible nombre. Les farines maltées provenant des 27 ateliers ont été incorporées dans une farine infantile locale au taux de 8%, des bouillies ont été préparées à des concentrations les plus proches possibles de 25 g de farine sèche pour 100 g de bouillie et leur distance d'écoulement (mm/30s) ont été mesurées à l'aide d'un consistomètre de Bostwick selon la méthode utilisée par Bookwalter et al.<sup>8</sup> et Vieu et al.<sup>9</sup>. L'objectif était d'identifier les savoir-faire ou les variantes d'un même schéma général de fabrication susceptibles de conduire à

des farines ayant un effet fluidifiant maximal sur les bouillies. A partir des résultats obtenus, 8 ateliers transformant soit le sorgho rouge (5 AM), soit le mil (2 AM), soit le maïs (1 AM) ont été sélectionnés en fonction de l'efficacité des farines maltées à fluidifier les bouillies et de la description des procédés utilisés.

Ces 8 ateliers ont été suivis, chacun sur la durée totale de 3 productions, dans le but d'étudier les différentes étapes de leur technique de maltage et d'établir un diagramme de production détaillé pour chaque atelier. Au cours de cette phase de suivi, des échantillons ont été prélevés à certaines étapes du procédé. Ces étapes ont été définies d'après les informations obtenues sur les procédés de fabrication lors de la phase de sélection. Les échantillons prélevés ont été congelés, lyophilisés, broyés et stockés dans une chambre froide à 4°C.

### **Méthodes d'analyses biochimiques**

Tous les dosages ont été réalisés en double, excepté ceux de l'activité  $\alpha$ -amylasique qui ont été réalisés en triple.

#### Composition globale

La détermination de la teneur en matière sèche a été faite par dessiccation à l'étuve à 105°C jusqu'à poids constant. La teneur en protéines ( $N \times 6.25$ ) a été déterminée par la méthode de Kjeldahl<sup>10</sup>. La détermination des teneurs en lipides a été réalisée par la méthode d'extraction au Soxtec Tecator (adaptation de la méthode au Soxhlet; avec l'éther de pétrole comme solvant d'extraction). Les fibres totales (solubles et insolubles) ont été dosées par la méthode gravimétrique et enzymatique de Prosky et al.<sup>11</sup>. Les cendres totales ont été déterminées par minéralisation au four à 530°C.

#### Sucres solubles

Les sucres solubles ont été extraits à partir d'une prise d'essai de 0,8 g de farine additionnée de 3 ml de solution d'éthanol à 80% qui est mise à agiter pendant 30 min dans un bain-marie à 90°C, puis centrifugée à 5000 rpm pendant 10 min à 4°C. Le surnageant est récupéré et le même mode opératoire est appliqué sur le culot. Les deux surnageants mélangés sont évaporés à sec, pendant une nuit, à l'aide d'un évaporateur centrifuge Speedvac (JOUAN RC 10-10, Saint Herblain, France), puis stockés à 4°C avant le dosage des sucres. Le culot obtenu après évaporation est repris dans 10 ml d'eau Millipore puis filtré pour servir au dosage des sucres. Le glucose, le fructose et le saccharose ont été dosés par chromatographie ionique à l'aide d'un appareil Dionex DX 500 (Sunnyvale, CA, USA) en utilisant une colonne Carbo PA1. La détection est faite par ampérométrie pulsée et l'éluant utilisé est la soude 90 mM. Les résultats sont exprimés en g/100 g de matière sèche.

#### Activité $\alpha$ -amylasique

L'activité  $\alpha$ -amylasique a été déterminée en utilisant une méthode colorimétrique mise au point par Megazyme (Wickaw, Irlande). Elle consiste en une hydrolyse par l' $\alpha$ -amylase extraite des échantillons à doser d'un substrat spécifique fourni par un kit (AZCL-amylose). L'activité  $\alpha$ -amylasique est exprimée en unités Ceralpha par gramme de matière sèche (U/g de matière sèche; ICC Standard No. 303, Megazyme International, Irlande).

#### Phytates

L'extraction et le dosage des phytates ont été réalisés selon Talamond et al<sup>12</sup>. Après une extraction des phytates en milieu acide (HCl 0,5 M), le dosage de l'inositol-6-

phosphate (IP6) est fait par chromatographie ionique à l'aide d'un appareil Dionex DX 4500i équipé d'une colonne Omnipac pax-100. La détection est faite par conductivité. Les valeurs sont exprimées en g IP6/100 g de matière sèche.

### Cyanures totaux

Les cyanures totaux ont été dosés par une méthode colorimétrique selon Ikediobi et al.<sup>6</sup> et Okoh et al.<sup>7</sup>. Après une extraction dans un tampon phosphate (0,1 M) des cyanures libres des échantillons et une hydrolyse des cyanures liés par la soude (0,1 M), on procède à leur dosage par spectrophotométrie à l'aide du kit Spectroquant (Merck 114800). Les résultats sont exprimés en ppm (mg HCN/kg).

### **Analyses statistiques**

L'analyse statistique des données a été réalisée à l'aide du logiciel Statgraphics Plus 5.1 (Manugistics, Inc., USA). Les niveaux de signification des différences de composition biochimique et d'activité  $\alpha$ -amylasique entre les échantillons provenant des 5 ateliers de transformation du sorgho rouge ont été testés par analyse de variance en utilisant le test des comparaisons multiples de Duncan. Pour toutes les comparaisons, le seuil de signification statistique a été fixé à 0,05.

## **RÉSULTATS ET DISCUSSION**

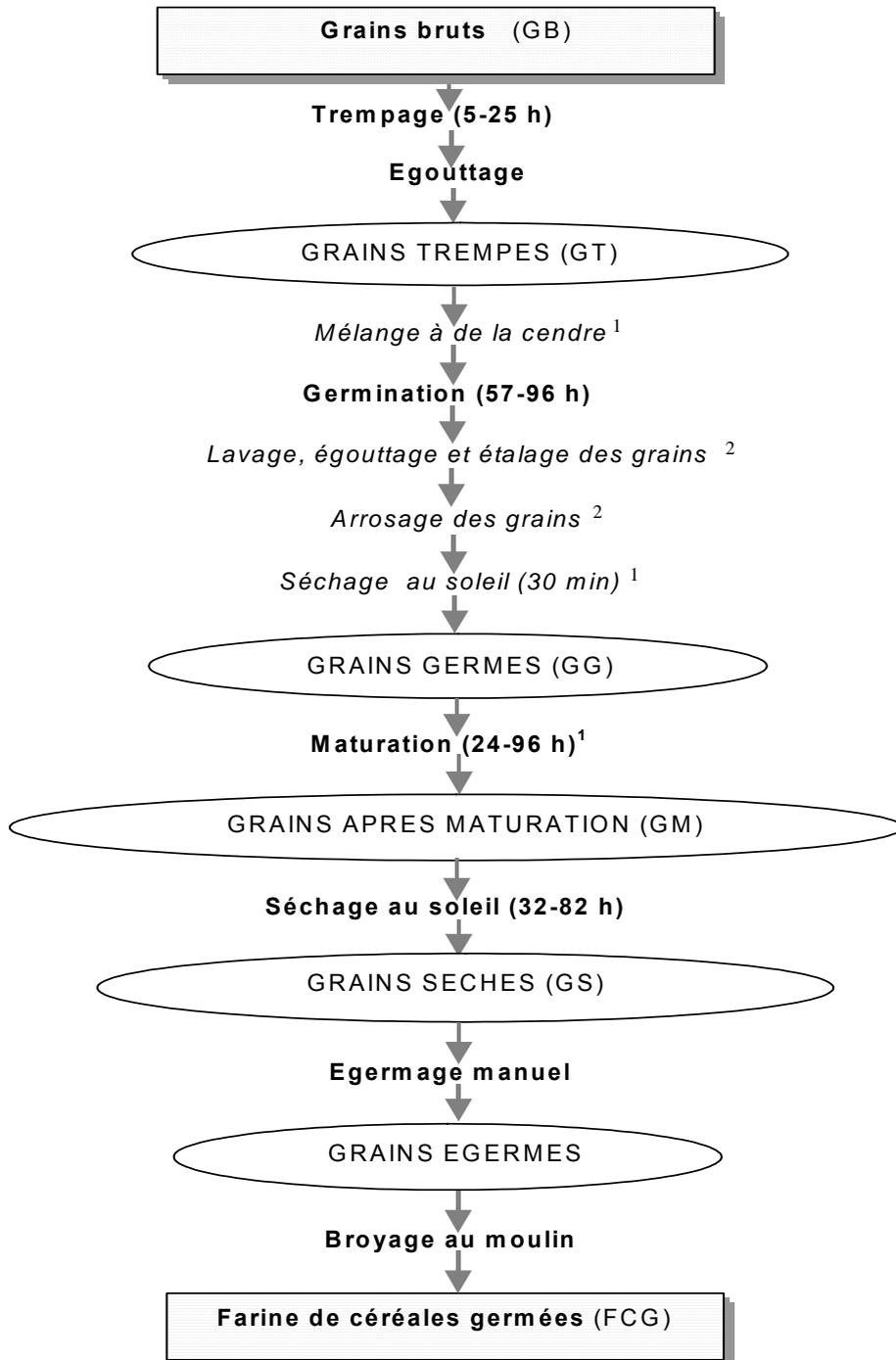
### **Description du procédé de maltage des céréales**

Le schéma général de production des farines de céréales germées ainsi que la nature des différents échantillons prélevés sont présentés dans la figure 1. Après une phase de trempage (5 à 25 h), les grains sont mis à germer (57 à 96 h) dans des canaris, sur une aire cimentée ou sur des sacs en plastique. Après une étape de maturation (dans certains ateliers) où les grains sont placés à l'abri de la lumière ou à l'intérieur de la maison, intervient l'étape de séchage au soleil (32 à 82 h). Les grains séchés sont égermés (dans certains ateliers), broyés et l'on obtient ainsi les farines de céréales germées.

### **Evolution des caractéristiques biochimiques au cours du maltage**

#### Composition globale

Le tableau 1 présente l'évolution de la composition globale au cours du maltage. De façon générale, le maltage améliore légèrement la teneur en protéines (11, 7 et 2% respectivement pour le sorgho rouge, le mil et le maïs). Cette augmentation de la teneur en protéines est attribuée à une perte de matière, particulièrement de glucides, à travers la respiration, causant une augmentation passive de la teneur en protéines<sup>13</sup>. Le maltage entraîne globalement une réduction importante de la teneur en lipides (26, 23 et 16% respectivement pour le sorgho rouge, le mil et le maïs). La germination est l'étape importante dans la réduction de la teneur en lipides (27, 20 et 23% respectivement pour le sorgho rouge, le mil et le maïs). Cette réduction s'expliquerait par le fait que les lipides sont utilisés pour produire de l'énergie nécessaire aux modifications biochimiques et physiologiques intervenant dans la graine au cours de la germination.



1 Opération facultative

2 Nombre de répétitions variables en fonction des ateliers

**Figure 1:** Schéma général du procédé de maltage des grains de céréales observé à Ouagadougou.

**Tableau 1:** Evolution des teneurs en nutriments (*g/100 g de matière sèche*) et variation observée au cours de la préparation de farines maltées, (entre parenthèses: variation par rapport à l'étape précédente).

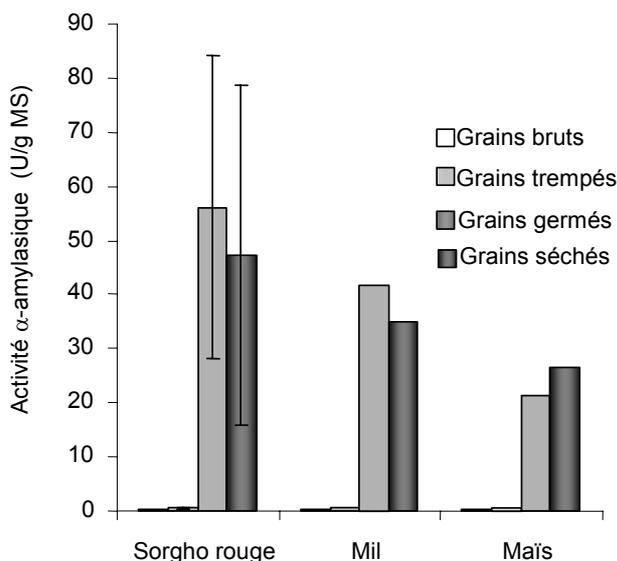
	<b>Grains bruts</b>	<b>Grains trempés</b>	<b>Grains germés</b>	<b>Grains séchés</b>	<b>Variation totale (%)</b>
<b>Composition globale</b>					
<i>Protéines</i>					
Sorgho ( <i>n=5</i> )	8,4±0,3	9,0±0,4 (+6%)	9,5±0,8 (+6%)	9,3±0,5 (-2%)	+11
Mil ( <i>n=2</i> )	9,7	10,0 (+3%)	10,6 (+6%)	10,4 (-2%)	+7
Maïs ( <i>n=1</i> )	7,7	7,7 (-1%)	7,9 (+3%)	7,9 (-1%)	+2
<i>Lipides</i>					
Sorgho ( <i>n=5</i> )	3,4±0,2	3,5±0,3 (+4%)	2,6±0,3 (-27%)	2,5±0,3 (-2%)	-26
Mil ( <i>n=2</i> )	5,2	5,5 (+6%)	4,4 (-20%)	4,0 (-9%)	-23
Maïs ( <i>n=1</i> )	4,2	4,5 (+9%)	3,5 (-23%)	3,5 (0%)	-16
<i>Fibres</i>					
Sorgho ( <i>n=5</i> )	6,0±0,4	5,7±0,6 (-5%)	6,1±0,4 (+8%)	6,2±0,5 (+1%)	+3
Mil ( <i>n=2</i> )	3,6	3,1 (-12%)	3,0 (-4%)	3,7 (+23%)	+4
Maïs ( <i>n=1</i> )	3,9	3,5 (-9%)	3,4 (-4%)	3,6 (+7%)	-7
<i>Cendres</i>					
Sorgho ( <i>n=5</i> )	3,37±0,27	2,41±0,58 (-28%)	2,13±0,46 (-12%)	1,97±0,40 (-8%)	-41
Mil ( <i>n=2</i> )	1,31	1,13 (-14%)	1,95 (+73%)	1,54 (-21%)	+17
Maïs ( <i>n=1</i> )	1,24	1,23 (-1%)	1,40 (+14%)	1,38 (-1%)	+11
<b>Sucres solubles</b>					
<i>Saccharose</i>					
Sorgho ( <i>n=5</i> )	0,64±0,05	0,39±0,21 (-39%)	1,37±0,68 (+251%)	2,45±1,14 (+79%)	+283
Mil ( <i>n=2</i> )	1,26	0,44 (-65%)	2,29 (+420%)	3,88 (+69%)	+208
Maïs ( <i>n=1</i> )	1,34	0,44 (-67%)	3,57 (+711%)	3,32 (-7%)	+148
<i>Glucose</i>					
Sorgho ( <i>n=5</i> )	0,09±0,02	0,17±0,15 (+89%)	3,20±1,88 (+1782%)	3,94±2,81 (+23%)	+4478
Mil ( <i>n=2</i> )	0,06	0,04 (-33%)	1,64 (+4000%)	1,79 (+9%)	+2883
Maïs ( <i>n=1</i> )	0,08	0,06 (-25%)	2,38 (+3867%)	1,79 (-25%)	+2138
<i>Fructose</i>					
Sorgho ( <i>n=5</i> )	0,06±0,02	0,07±0,03 (+17%)	0,73±0,41 (+940%)	0,85±0,44 (+16%)	+1517
Mil ( <i>n=2</i> )	0,05	0,03 (-40%)	0,87 (+2800%)	0,52 (-40%)	+940
Maïs ( <i>n=1</i> )	0,06	0,05 (-17%)	0,42 (+740%)	0,29 (-31%)	+383

### Sucres solubles

L'effet du maltage sur la composition en sucres solubles est présenté dans le tableau 1. Les teneurs en saccharose des grains bruts de maïs et de mil sont plus élevées que celles du sorgho. Les trois types de céréales ont des teneurs en glucose et en fructose comparables. Le maltage a entraîné une augmentation considérable des teneurs en saccharose (150-280%), glucose (2140-4480%) et fructose (380-1520%), à l'origine du développement du goût sucré du malt.

### Activité $\alpha$ -amylasique

L'évolution de l'activité  $\alpha$ -amylasique au cours du maltage du sorgho rouge, du mil et du maïs est présentée dans la figure 2. Les grains bruts et les grains trempés des trois types de céréales ne présentent aucune activité  $\alpha$ -amylasique détectable avec le kit Megazyme. C'est en fin de germination que les plus fortes activités sont observées pour le sorgho rouge et le mil (respectivement 56 et 42 U/g de matière sèche), tandis que pour le maïs, l'optimum d'activité  $\alpha$ -amylasique est observé en fin de séchage (26 U/g de matière sèche). En revanche, le séchage entraîne une diminution de l'activité  $\alpha$ -amylasique de 16% dans le sorgho rouge et le mil. Après germination, le sorgho rouge présente des activités  $\alpha$ -amylasiques plus élevées que le mil et au maïs. Le sorgho rouge germé semble donc plus intéressant comme source d' $\alpha$ -amylases pour la formulation de farines infantiles que le mil germé qui, pour sa part, semble plus intéressant que le maïs germé.



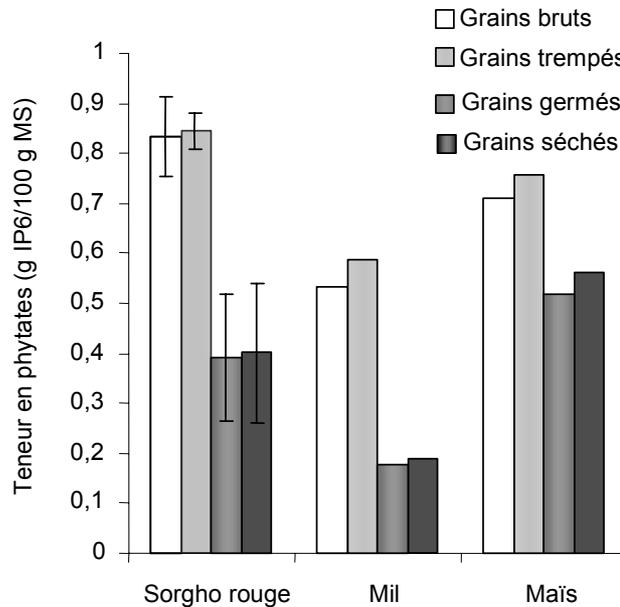
Les valeurs correspondent aux moyennes ( $\pm$  écart-types) pour le sorgho rouge (n=5) et aux moyennes pour le mil (n=2).

**Figure 2:** Evolution de l'activité  $\alpha$ -amylasique au cours de la préparation des farines de céréales germées.

### Phytates

L'évolution de la teneur en phytates au cours du maltage des céréales est présentée dans la figure 3. Les grains bruts de sorgho rouge (0,83 g IP6/100 g de matière sèche) sont ceux qui ont les teneurs les plus élevées, suivis par les grains bruts de maïs (0,71 g IP6/100 g de matière sèche) et de mil (0,53 g IP6/100 g de matière sèche). Le trempage ne réduit pas les teneurs en phytates contrairement aux résultats

obtenus par certains auteurs<sup>4,5</sup>. Ceci laisserait penser qu'il n'y a pas eu de diffusion des phytates au cours du trempage ou que la durée de trempage n'a pas été suffisante pour entraîner la diffusion des phytates dans l'eau. En revanche, la germination réduit considérablement la teneur en phytates. En effet, elle a entraîné une réduction des teneurs en phytates de 53, 67 et 27%, respectivement, dans le sorgho rouge, le mil et le maïs. La dégradation des phytates est plus importante dans le mil que dans le sorgho rouge et le maïs. La réduction de la teneur en phytates dans le sorgho rouge reste faible comparativement à celle rapportée par Mahgoub et Elhag<sup>5</sup> (86% après 96 h de germination). Cette différence est probablement due au fait que dans la présente étude, la durée moyenne de germination observée (74 h) est relativement courte. En revanche, la réduction de la teneur en phytates dans le mil, après 62 h de germination, est plus importante que celle observée par Makokha et al.<sup>14</sup> qui était de seulement 45% après 96 h de germination.



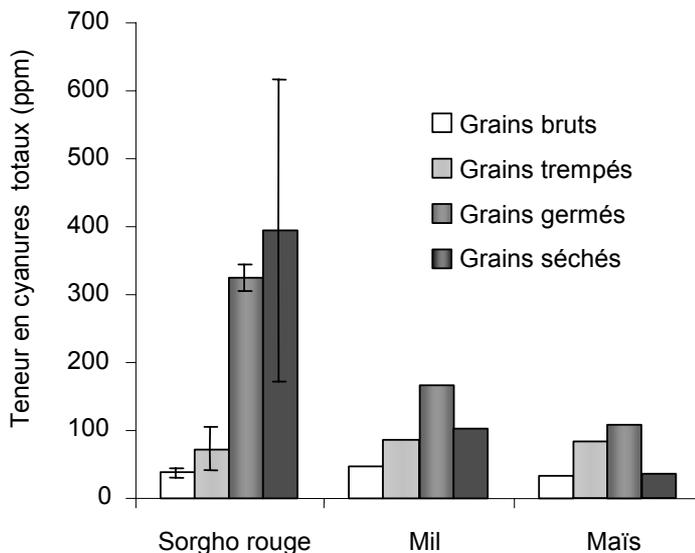
Les valeurs correspondent aux moyennes ( $\pm$  écart-types) pour le sorgho rouge ( $n=5$ ) et aux moyennes pour le mil ( $n=2$ ).

**Figure 3:** Evolution de la teneur en phytates au cours de la préparation des farines de céréales germées.

### Cyanures totaux

L'évolution de la teneur en cyanures totaux au cours du maltage est présentée dans la figure 4. Les teneurs en cyanures totaux dans les grains bruts, relativement très faibles, sont de 38, 46 et 34 ppm, respectivement, dans le sorgho rouge, le mil et le maïs, et sont comparables aux valeurs obtenues par certains auteurs<sup>7,15</sup>. Le trempage des grains entraîne une augmentation de la teneur en cyanures (73, 85 et 84 ppm, respectivement pour le sorgho rouge, le mil et le maïs). Au cours de la germination, les teneurs en cyanures augmentent considérablement pour atteindre 324, 168 et 108 ppm en fin de germination, respectivement, dans le sorgho rouge, le mil et le maïs. Ces valeurs sont bien inférieures à celles rapportées par certains auteurs<sup>16,17</sup>. Le séchage au soleil des grains de mil et de maïs germées entraîne une réduction des teneurs en cyanures de 38 et 67%, respectivement. Les quantités de cyanures susceptibles d'être ingérés à partir de 100 g de céréale germée restent inférieures à la

dose létale pour un adulte qui est de 50-60 mg<sup>18</sup>. Toutefois, la concentration des cyanures dans les grains de sorgho germé est supérieure à la teneur maximale recommandée (200 ppm) dans plusieurs pays en ce qui concerne la teneur en cyanures dans le haricot de lima<sup>18</sup>.



Les valeurs correspondent aux moyennes ( $\pm$  écart-types) pour le sorgho rouge ( $n=5$ ) et les moyennes pour le mil ( $n=2$ ).

**Figure 4:** Evolution de la teneur en cyanures totaux au cours de la préparation des farines de céréales germées.

### Effet de la maturation et de l'égermage

#### La maturation

L'étape de maturation est utilisée dans seulement trois ateliers de maltage de sorgho rouge. Selon les productrices, diverses réactions biochimiques interviennent au cours de cette étape ainsi que le développement de moisissures et, de ce fait, améliorent le goût de la bière traditionnelle. La maturation n'a pas d'effet sur la composition globale, les teneurs en phytates et cyanures totaux et sur l'activité  $\alpha$ -amylasique. En revanche, elle réduit la teneur en saccharose de 30% (de 1,24 à 0,87 g/100 g de matière sèche) et augmente les teneurs en glucose et en fructose de respectivement 89% (de 4,16 à 7,85 g/100 g de matière sèche) et 85% (de 0,82 à 1,52 g/100 g de matière sèche). Cette importante augmentation des teneurs en glucose et en fructose est probablement due à une hydrolyse du saccharose et, surtout, de l'amidon au cours de la maturation et est à l'origine du développement du goût sucré recherché par les productrices de boissons alcoolisées traditionnelles.

#### L'égermage manuel

L'effet de l'élimination des racines et des pousses des grains de céréales germées sur les caractéristiques biochimiques est présenté dans le tableau 2. Les teneurs en fibres, en cendres et en fructose sont diminuées dans les trois types de céréales. L'égermage manuel entraîne une réduction considérable des teneurs en cyanures. En effet, il permet d'éliminer 74, 72 et 52% des cyanures, respectivement, dans le sorgho

rouge, le mil et le maïs. Les cyanures sont donc concentrés dans les racines et les pousses des grains en germination comme l'avaient déjà observé certains auteurs<sup>18,19</sup>. L'égermage pratiqué traditionnellement n'élimine pas totalement les cyanures mais permet de ramener les teneurs (96, 27 et 16 ppm, respectivement pour le sorgho rouge, le mil et le maïs) à un niveau ne présentant aucun danger pour l'alimentation humaine. Il est donc facile de détoxifier les grains de céréales germés par une élimination mécanique complète des racines et des pousses. L'égermage entraîne une baisse non négligeable de l'activité  $\alpha$ -amylasique ce qui semble indiquer qu'une part importante des  $\alpha$ -amylases est localisée dans les pousses.

**Tableau 2:** Effet de l'égermage sur les teneurs en quelques nutriments (g/100 g de matière sèche), en phytates (g IP6/100 g de matière sèche) et en cyanures totaux (ppm) ainsi que sur l'activité  $\alpha$ -amylasique (U/g de matière sèche) des grains de sorgho rouge ( $n=5$ ), de mil ( $n=2$ ) et de maïs ( $n=1$ ) germés.

	Grains séchés	Grains égermés	Variation (%)
<b>Fibres</b>			
Sorgho rouge	6,4 ± 0,5	5,5 ± 0,2	-14%
Mil	3,6	3,2	-10%
Maïs	3,6	3,2	-13%
<b>Cendres</b>			
Sorgho rouge	1,92 ± 0,32	1,61 ± 0,41	-16%
Mil	1,62	1,19	-27%
Maïs	1,38	1,10	-20%
<b>Fructose</b>			
Sorgho rouge	0,92 ± 0,47	0,59 ± 0,24	-36%
Mil	0,56	0,34	-39%
Maïs	0,37	0,23	-3%
<b>Cyanures totaux</b>			
Sorgho rouge	375 ± 210	96,4 ± 24,2	-74%
Mil	95,2	27,1	-72%
Maïs	34,5	16,7	-52%
<b>Activité <math>\alpha</math>-amylasique</b>			
Sorgho rouge	58,0 ± 37,6	43,4 ± 33,5	-25%
Mil	37,6	27,0	-28%
Maïs	13,7	11,6	-15%

### Variabilité des caractéristiques biochimiques dans les ateliers transformant le sorgho rouge

La comparaison des valeurs moyennes des caractéristiques biochimiques des farines maltées issues des cinq ateliers transformant le sorgho rouge montre qu'il existe une variabilité importante des teneurs en saccharose (CV=46%), phytates (CV=29%), en cyanures (CV=52%) et de l'activité  $\alpha$ -amylasique (CV=46%). Par ailleurs, au sein d'un même atelier, il existe également une variabilité au niveau des teneurs en phytates (CV=24%), cyanures (CV=52%) et de l'activité  $\alpha$ -amylasique (CV=46%). La comparaison des caractéristiques biochimiques des farines de sorgho rouge germé provenant de ces cinq ateliers de maltage est présentée dans le tableau 3. Le test des comparaisons multiples de Duncan montre que les teneurs moyennes en saccharose, en phytates et en cyanures ainsi que les activités  $\alpha$ -amylasiques moyennes des farines maltées diffèrent significativement d'un atelier de maltage à l'autre. Les variabilités et les différences de composition biochimique et d'activité  $\alpha$ -amylasique entre les échantillons provenant des cinq ateliers transformant le sorgho rouge est probablement due, d'une part, à la nature et à l'origine de la matière première utilisée et, d'autre part, aux variantes technologiques observées dans la préparation des

farines maltées. La grande variabilité de l'activité  $\alpha$ -amylasique d'un atelier de maltage à l'autre nécessiterait, pour obtenir des bouillies ayant des caractéristiques constantes, de faire varier le taux d'incorporation des farines de sorgho germé dans les farines infantiles en fonction de leur origine. Compte tenu de leurs caractéristiques actuelles, les farines de céréales germées issues des ateliers de production traditionnelle de *dolo* semblent donc difficilement utilisables pour être incorporées dans des farines infantiles permettant de préparer des bouillies ayant à la fois une densité énergétique élevée et une consistance constante et adaptée aux habitudes alimentaires des jeunes enfants. D'autres investigations sont nécessaires pour définir un mode standardisé de production de farine de céréale germée.

**Tableau 3:** Comparaison des caractéristiques biochimiques des farines de sorgho rouge germé provenant des cinq ateliers de maltage.

	<b>Saccharose</b> (g/100 g MS)	<b>Phytates</b> (g/100 g MS)	<b>Cyanures</b> (ppm)	<b>Activité <math>\alpha</math>-amylasique</b> (U/g MS)
AM1	1,42 $\pm$ 0,01 <sup>a</sup>	0,39 $\pm$ 0,11 <sup>a</sup>	157 $\pm$ 25 <sup>a</sup>	51,7 $\pm$ 6,7 <sup>a</sup>
AM2	4,10 $\pm$ 0,06 <sup>b</sup>	0,48 $\pm$ 0,01 <sup>b</sup>	442 $\pm$ 245 <sup>b</sup>	103,1 $\pm$ 9,9 <sup>b</sup>
AM3	1,17 $\pm$ 0,06 <sup>c</sup>	0,36 $\pm$ 0,08 <sup>a</sup>	196 $\pm$ 42 <sup>ac</sup>	40,7 $\pm$ 8,5 <sup>c</sup>
AM4	3,11 $\pm$ 0,05 <sup>d</sup>	0,39 $\pm$ 0,05 <sup>a</sup>	356 $\pm$ 21 <sup>b</sup>	34,8 $\pm$ 8,9 <sup>c</sup>
AM5	2,89 $\pm$ 0,04 <sup>e</sup>	0,59 $\pm$ 0,03 <sup>c</sup>	312 $\pm$ 36 <sup>bc</sup>	54,5 $\pm$ 10,7 <sup>a</sup>
NdS	<10 <sup>-4</sup>	<10 <sup>-4</sup>	<10 <sup>-3</sup>	<10 <sup>-4</sup>

NdS: Niveau de signification – Dans chaque colonne, les moyennes non suivies d'une même lettre sont significativement différentes au niveau indiqué.

## CONCLUSION

Le sorgho rouge est la principale céréale utilisée pour la production de farine maltée et il existe plusieurs variantes au niveau des procédés traditionnels de maltage des céréales à Ouagadougou. Le maltage des céréales entraîne, d'une part, une réduction des teneurs en cendres et en lipides et, d'autre part, une augmentation considérable des teneurs en sucres qui confèrent le goût sucré aux farines maltées. Les procédés traditionnels de maltage des céréales se sont avérés efficaces pour réduire les teneurs en phytates et pour augmenter l'activité  $\alpha$ -amylasique. Toutefois, ils s'accompagnent d'une augmentation importante des teneurs en cyanures qui peuvent, heureusement, être facilement éliminés par l'égermage manuel des grains germés. Les farines de sorgho rouge et de mil germés possèdent des caractéristiques nutritionnelles et enzymatiques intéressantes pour être incorporées dans les farines infantiles. Cependant, dans la perspective d'une incorporation dans des farines infantiles, il est recommandé d'éliminer l'étape de maturation dans la mesure où elle n'introduit pas de modifications souhaitables des caractéristiques biochimiques et d'égermer systématiquement les grains germés après le séchage. D'autres investigations s'avèrent nécessaires pour mettre au point un mode standardisé de production de farines maltées afin de minimiser la variabilité des caractéristiques biochimiques des farines et pour optimiser la production des  $\alpha$ -amylases.

## RÉFÉRENCES

1. Dewar J, Taylor JRN, Berjak P. Determination of improved steeping conditions for sorghum malting. *J Cereal Sci* 1997;26:129-36.

2. Onyeka U, Dibia I. Malted weaning food made from maize, soybean, groundnut and banana. *J Sci Food Agric* 2002;82:513-6.
3. WHO. Complementary feeding of young children in developing countries: a review of current scientific knowledge. Geneva: WHO/NUT/98.1, 1998.
4. Svanberg U, Lorri W, Sandberg AS. Lactic fermentation of non-tannin and high tannin cereals: effects on *in vitro* estimation of iron availability and phytate hydrolysis. *J Food Sci* 1993;58:408-12.
5. Mahgoub SEO, Elhag SA. Effect of milling, soaking, malting, heat-treatment and fermentation on phytate level of four Sudanese sorghum cultivars. *Food Chem* 1998;61:77-80.
6. Ikediobi CO, Olugboji O. Cyanide profile of component parts of sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) sprouts. *Food Chem* 1988;27:167-75.
7. Okoh PN, Ikediobi CO, Olugboji O. The fate in the rat of ingested dhurrin present in sprouted sorghum grain. *Food Chem* 1988;29:299-307.
8. Bookwalter GN, Peplinski AJ, Pfeifer VF. Using a bostwick consistometer to measure consistencies of processed corn meals and their CSM blends. *Cereal Sci Today* 1968;13(11):407-10.
9. Vieu MC, Traoré T, Trèche S. Effects of energy density and sweetness of gruels on Burkinabe infant energy intakes in free living conditions. *Int J Food Sci Nutr* 2001;52:213-8.
10. AFNOR. Dosage de l'azote avec minéralisation selon la méthode de Kjeldahl. 1970. [NF V 03-050].
11. Prosky L, Asp NG, Schweizer TF, de Vries JW, Furda I. Determination of insoluble, soluble, and total dietary fiber in foods and food products: interlaboratory study. *J Assoc Anal Chem* 1988;71(5):1017-23.
12. Talamond P, Gallon G, Trèche S. Rapid and sensitive liquid chromatographic method using a conductivity detector for the determination of phytic acid in food. *J Chromatogr A* 1998;805:143-7.
13. Opuku AR, Ohenhen SO, Ejiogor N. Nutrient composition of millet (*Pennisetum thyphoides*) grains and malts. *J Agric Food Chem* 1981;29:1247-8.
14. Makokha AO, Oniang'o RK, Njoroge SM, Kamar OK. Effect of traditional fermentation and malting on phytic acid and mineral availability from sorghum (*Sorghum bicolor*) and finger millet (*Eleusine coracana*) grain varieties grown in Kenya. *Food Nutr Bull* 2002;23(3):241-5.
15. Aniche GN. Studies on the effects of germination and drying conditions on the cyanide content of sorghum sprouts. *J Food Technol* 1990;27(4):202-4.
16. Ahmed SB, Mahgoub SA, Babiker BE. Changes in tannin and cyanides contents and diastatic activity during germination and the effect of traditional processing on cyanide content of sorghum cultivars. *Food Chem* 1996;56(2):159-62.
17. Shayo NB, Nnko SAM, Gidamis AB, Dillon VM. Assessment of cyanogenic glucoside (cyanide) residues in Mbege: an opaque traditional Tanzanian beer. *Int J Food Sci Nutr* 1998;49:333-8.
18. Panasiuk O, Bills DD. Cyanide content of sorghum sprouts. *J Food Sci* 1984;49:791-3.

19. Dada LO, Dendy DAV. La teneur en cyanures des céréales germées et l'effet des techniques de conditionnement. In: Alnwick D, Moses S, Schmidt OG, eds. Pour améliorer l'alimentation des jeunes enfants en Afrique Orientale et Australe: Une technologie à la portée des ménages, compte rendu d'un atelier tenu à Nairobi, Kenya, 12-16 octobre 1987. Ottawa : IDRC-265 f, 1988:407-14.