

Mise au point de pains composites à base de mélanges de farines de sorgho-blé et analyse texturale

Abdourahamane Balla ⁽¹⁾, Christophe Blecker ⁽¹⁾, Moussa Oumarou ⁽²⁾, Michel Paquot ⁽³⁾, Claude Deroanne ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Unité de Technologie des Industries agro-alimentaires. Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux. Passage des Déportés, 2. B–5030 Gembloux (Belgique).

⁽²⁾ Laboratoire de Technologie alimentaire. Institut national de Recherches agronomiques du Niger. CERRANiamey, BP 429. Niamey (Niger).

⁽³⁾ Unité de Chimie biologique industrielle. Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux. Passage des Déportés, 2. B–5030 Gembloux (Belgique). E-mail : chimbioindus@fsagx.ac.be

Reçu le 21 septembre 1998, accepté le 22 décembre 1998.

Les propriétés boulangères de farines composites sorgho-blé à différents pourcentages ont été étudiées. Des pains de bonnes qualités (texture, aspect extérieur, cohésion de la mie) et comparables au pain 100 % blé peuvent être obtenus jusqu'à 30 % d'incorporation de sorgho. Au delà de ce taux, le volume des pains décroît et les qualités de la mie (alvéolage, cohésion) se dégradent. Le profil de vieillissement des pains composites est également influencé par le taux de substitution. En effet, plus ce taux est important, plus les pains durcissent vite. L'addition d'émulsifiants, DATEM (esters diacétyl-tartariques de mono- et de diglycérides d'acides gras) et SSL (stéaroyl-2-lactylate de sodium), à dose de 0,5 % améliore les caractéristiques de la mie et retarde le phénomène de rassissement.

Mots-clés. Sorgho, farine, farine de blé, farine composite, boulangerie.

Composite breads based on sorghum-wheat flour blends and textural analysis. Breadmaking properties of flour blends containing various levels of sorghum flour with wheat flour were investigated. Good quality bread (loaf volume, crumb structure, external appearance) comparable to bread entirely made from wheat flour could be produced with a level of incorporation of sorghum flour up to 30%. Beyond this level, the loaf volume decreases and the internal characteristics of crumb are deteriorated. The staling of bread made with composite flour is also influenced by the level of substitution of sorghum flour: the more important this level, the higher the rate of crumb firming. Addition of 0.5% emulsifiers, DATEM and SSL, to the sorghum flour blends improves the crumb characteristics and consequently delays the bread firmness.

Keywords. Sorghum, flour, wheat flour, composite flour, breadmaking.

1. INTRODUCTION

D'importants espoirs ont été placés dans l'utilisation des farines composites en boulangerie durant ces vingt dernières années dans les pays en développement. En effet, une substitution partielle de la farine de blé par celle de céréales locales telles le sorgho peut constituer une alternative intéressante en termes de coûts-bénéfices par rapport aux grains importés.

Les diverses tentatives dans cette voie furent le plus souvent un échec, dû à des faits majeurs tels que l'hostilité de la filière (moulin-boulangerie) classique, l'incertitude d'approvisionnement régulier en céréales locales, et les habitudes alimentaires des consommateurs. Mais aujourd'hui avec la nouvelle donne économique en Afrique (aggravation de la crise, dévaluation du

franc CFA, détérioration des termes d'échange, etc.), tout laisse présager que ces différents obstacles pourraient être franchis en mettant au point un produit acceptable tant sur le plan technologique qu'économique.

Plusieurs auteurs ont en effet travaillé sur le développement des farines composites dans lesquelles une partie de la farine de blé est remplacée par d'autres sources amylacées (Dendy *et al.*, 1973 ; Berthelot, 1990 ; Defloor, 1995). C'est dans cette optique que se situe ce travail qui a pour objectif la mise au point de pains à partir d'un mélange de farines de blé et de sorgho. Le sorgho (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) constitue la céréale la plus importante dans les régions du Sahel. Elle s'adapte bien aux conditions climatiques de cette région semi-aride et couvre les besoins en énergie et protéines de millions de personnes.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. Matériel végétal et chimique

L'étude a été réalisée à partir des grains décortiqués de sorgho (variété Sepon 82) fournis par l'Institut national de Recherches agronomiques du Niger (CERRA de Niamey). Cette variété de sorgho a été choisie pour l'étude parce qu'elle fait l'objet d'une vulgarisation en milieu paysan au Niger, compte tenu de ses caractéristiques agronomiques et technologiques (Oumarou, 1992). Les grains sont moulus à l'aide du Moulin Brabender Quadrumat-Senior (Duisburg, Allemagne). Une farine de blé de type commercial (Surbi) sans additif, fournie par les Moulins de Deinze et d'Anvers, a été utilisée pour réaliser la farine composite. Le choix de cette farine de blé est lié à sa composition (sans additif et teneur en protéines élevée), afin de compenser le déficit de la farine de sorgho utilisée. Les émulsifiants DATEM (esters diacétyl-tartarique de mono- et de diglycérides d'acides gras) et SSL (stéaroyl-2-lactilate de sodium) sont fournis par Puratos Belgique (Groot-Bijgaarden).

2.2. Caractéristiques technologiques des farines

La teneur en protéines des farines a été déterminée par la méthode Kjeldahl ($N \times 5,7$ pour le blé et $N \times 6,25$ pour le sorgho) 44-15A (AACC, 1981). Les caractéristiques farinographiques ont été évaluées à l'aide d'un farinographe Brabender selon la méthode standard 54-21 (AACC, 1984). Les données alvéographiques des farines ont été déterminées à l'alvéographe Chopin suivant la méthode 54-30 (AACC, 1984). L'indice de sédimentation de Zélény et le nombre de chute de Hagberg sont évalués respectivement selon les méthodes 56-60 (AACC, 1983) et 56-81B (AACC, 1982). La teneur en gluten a été déterminée par la méthode "glutomatic" (Perten, 1989). La viscosité d'une solution diluée de la farine de sorgho a été mesurée à l'aide d'un amylographe Brabender selon la méthode 22-10 (AACC, 1983). La teneur en amidon endommagé a été déterminée à l'aide du SD4 Chopin selon la méthode de Medcalf et Gilles (1965).

2.3. Essai de panification

La formulation utilisée au cours du test de panification est la suivante : 1 kg de farine, 17 g de sel, 40 g d'huile d'arachide, 10 g de sucre, 50 g de levure fraîche. Après pétrissage, la pâte est divisée en pâtons de 500 g et ceux-ci sont mis en boule, puis laissés lever à la température ambiante pendant 20 minutes. Les pâtons sont ensuite façonnés et moulés avant d'être placés pendant 40 minutes dans une chambre de fermentation dont l'humidité et la température sont réglées respectivement à 75 % et 35 °C. La cuisson a lieu à

210 °C pendant 40 minutes dans un four à plaque muni d'un système d'injection de vapeur. Les propriétés de rétention de gaz lors de la fermentation sont évaluées à l'aide d'un indicateur de pousse contenant 25 g de pâte soumise à fermentation dans les mêmes conditions que les pâtons. À la sortie du four, les pains sont démoulés, on les laisse ressuyer pendant 24 heures avant de procéder au pesage. La détermination du volume est effectuée à l'aide d'un volumètre (Puratos, Belgique). La densité des pains est donnée par le rapport entre le poids du pain après ressuyage et son volume. Les tests d'appréciation générale de la qualité des pains composites sont réalisés à l'aide de la grille de notation mise au point par Berthelot (1990) au laboratoire de panification de l'ENSAT (Toulouse, France). Les critères retenus sont annotés de la façon suivante sur un total de 100 :

- la densité a une pondération de 40 points ;
- la mie est notée sur 30 points répartis entre l'homogénéité des alvéoles (10), la cohésion (7), le toucher (8) et la couleur (5) ;
- le goût est noté sur 15 points répartis entre la mastication, le goût proprement dit et l'arrière-goût ;
- l'aspect extérieur et la croûte sont notés sur 15 points répartis par tranche de 5 points pour la couleur extérieure du pain, le bombage et le lissage, et pour l'épaisseur de la croûte

2.4. Analyse de texture des pains

L'évaluation de la texture a été réalisée à l'aide de l'analyseur de texture TAXT2 de Stable Micro System (Survey, Grande-Bretagne). Cet appareil permet de faire des tests de compression au centre d'une tranche de pain de 25 mm d'épaisseur à l'aide d'une sonde à extrémité plate de 3,5 cm de diamètre (méthode AACC, 74-09, 1987). Son intérêt est de caractériser le produit à l'aide d'une mesure instrumentale et de permettre de suivre par exemple l'évolution de la souplesse de la mie dans le temps. Le critère de mesure retenu est la force maximale de compression pour une déformation de 40 %. Ce critère permet une bonne discrimination des pains et correspond à des appréciations proches de celles effectuées par le consommateur. Ces mesures ont été effectuées au centre de la tranche et les pains coupés ont été conservés dans un emballage plastique à la température ambiante (25 °C).

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1. Propriétés technologiques des farines utilisées

Les caractéristiques boulangères des farines de sorgho et de blé utilisées lors de cette étude sont présentées au **tableau 1**. Les résultats montrent que la farine Sepon 82 présente une teneur en protéines faible (10,5 %).

Tableau 1. Caractéristiques boulangères des farines expérimentales (moyenne \pm écart-type) — *Breadmaking characteristics of the experimental flours (mean \pm standard deviation).*

Caractéristiques boulangères	Type de farine	
	Sorgho (Sepon 82)	Blé (Surbi)
Protéines (% MS)	10,5 \pm 0,5	13,8 \pm 0,6
Gluten sec (%)	-	12,5 \pm 0,2
Nombre de chute de Hagberg (s)	> 1000	342 \pm 12
Indice de Zélény (ml)	10 \pm 0,4	38 \pm 0,5
Viscosité à 25 °C (UB)	880 \pm 13	212 \pm 11
Amidon endommagé (UCD)	11 \pm 0,8	14 \pm 0,3

- : absence de gluten ; la viscosité est mesurée après refroidissement à 25 °C.

UB = unité Brabender ; UCD = unité Chopin Dubois.

L'ensemble de ces protéines ne forme pas de masse viscoélastique lors de l'extraction au glutomatic, ce qui confirme l'absence du gluten pour la farine Sepon 82. De même, l'indice de sédimentation de Zélény qui renseigne sur la capacité des protéines à former un agrégat en milieu acide (liée à sa teneur en gluténines) est très faible pour la farine Sepon 82. L'activité diastasique de la farine de sorgho est faible comme l'atteste la très grande valeur (>1000 s) de l'indice de Hagberg. Cette faible activité diastasique conduit à un minimum de liquéfaction de l'amidon et à une très grande capacité de rétention d'eau, ce qui explique que comparée à la farine de blé, celle de sorgho présente une grande viscosité lors de la cuisson. La conséquence de cette forte viscosité sur les pains composites est un faible volume car une viscosité élevée s'oppose à la levée sous l'effet de la poussée gazeuse (Launay, Buré, 1974).

La teneur en protéines de la farine de blé utilisée lors de cette étude est égale à 13,8 % et la teneur en gluten sec de 12,5 %, ce qui va permettre de compenser le déficit protéique de la farine de sorgho. Mais, l'activité amylasique de la farine de blé (Surbi) déterminée par l'indice de chute de Hagberg n'est pas suffisamment élevée pour redresser le niveau enzymatique des farines composites à constituer.

Les propriétés rhéologiques des farines composites, appréciées par les essais farinographiques et alvéographiques sont présentées au **tableau 2**. Le temps de développement de la pâte composite augmente avec le taux de substitution, ce qui signifie une augmentation du temps de pétrissage. L'absorption d'eau et la stabilité au pétrissage des pâtes des farines composites diminuent lorsque le taux d'incorporation de la farine de sorgho augmente jusqu'à 20 %. Ces résultats s'expliquent d'une part par la faible teneur en protéines de la farine de sorgho et d'autre part par le faible niveau d'endommagement des grains d'amidon de la farine de sorgho (Dubois, 1988 ; Torres *et al.*, 1993 ; Torres *et al.*, 1994). L'augmentation de la stabilité au pétrissage à 30 % de substitution est due au fait qu'à partir de ce taux, le mélange composite ne forme pas une véritable pâte homogène. La pâte obtenue est très dure car elle est mal hydratée.

L'effet d'une substitution partielle de la farine de blé par celle du sorgho induit aussi des modifications des caractéristiques alvéographiques. Lorsque le taux de substitution augmente, la ténacité de la pâte (P) augmente aussi. Ceci est la conséquence de la mauvaise hydratation de la pâte composite. Par contre, le travail de déformation (W) et l'extensibilité (L) de la pâte diminuent, ce qui traduit des mauvaises propriétés de levage de la pâte. Quant au rapport P/L traduisant l'équilibre de l'alvéogramme, il augmente avec l'incorporation de farine de sorgho et démontre des pâtes peu extensibles.

Tableau 2. Caractéristiques rhéologiques des farines composites sorgho/blé — *Rheological characteristics of sorghum/wheat composite flours.*

	Caractéristiques rhéologiques	Taux d'incorporation de farine de sorgho				
		0 %	10 %	20 %	30 %	40 %
Mesures farinographiques	A (%)	59	58	57	54	50
	B (min)	2	2	2	2	-
	CD (min)	17,5	14	7	17,5	-
Mesures alvéographiques	P (mm d'eau)	105	110	135	150	160
	L (mm)	95	70	50	30	13
	P/L	1,1	1,6	2,7	5	12,3
	W (10 ⁻⁴ J)	340	260	210	160	130

A = absorption d'eau ; B = temps de développement de la pâte ; CD = stabilité ou tolérance au pétrissage ;

P = ténacité de la pâte ; L = extensibilité de la pâte ; W = travail de déformation de la pâte.

Le coefficient de variation est inférieur à 1 %.

Les résultats des tests technologiques montrent d'une part que la farine de sorgho (Sepon 82) n'est pas panifiable et d'autre part que les farines composites blé-sorgho conduisent à des pâtes mal hydratées pour des taux d'incorporation supérieurs à 20 %. Ainsi, lors des essais de panification, le taux d'hydratation sera ajusté de manière à trouver une pâte façonnable.

3.2. Essai de panification en mélange

3.2.1. Influence du type de mélange de farines. Des essais ont été conduits pour comparer l'intérêt d'une hydratation préalable séparée de la farine de sorgho avant l'addition de la farine de blé, avec la méthode consistant à mélanger dès le départ les deux types de farine. L'expérimentation a été effectuée à un taux de substitution de 50 % car c'est avec des taux élevés que la panification devient impossible. Lorsqu'on réalise le mélange des farines avant hydratation, la pâte obtenue a une texture courte, c'est-à-dire qu'elle se déchire facilement (faible extensibilité). Lors de la fermentation, cette pâte gonfle moins bien, le volume maximum de pousse est plus faible et pendant la cuisson, elle s'affaisse lors de la mise au four. Par contre, lorsque l'on réalise une hydratation séparée, c'est-à-dire en préparant tout d'abord une pâte de sorgho avant d'ajouter la farine de blé par la suite, la pâte obtenue est plus extensible, gonfle mieux lors de la fermentation (**Figure 1**). Le pain obtenu par ce type d'hydratation est plus volumineux (**Figure 2**).

Le **tableau 3** montre les résultats des tests d'appréciation des pains obtenus selon les deux types d'hydratation. La densité du pain composite s'améliore

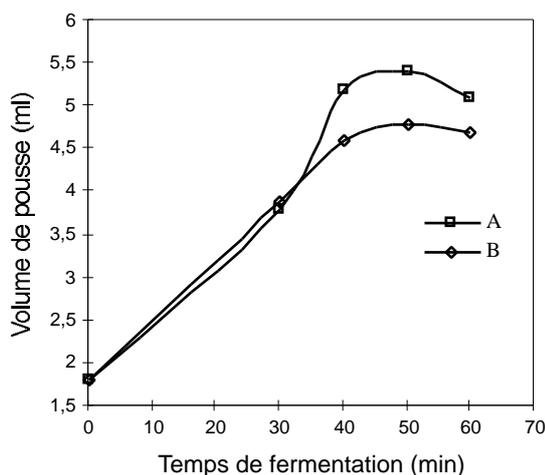


Figure 1. Profils de rétention de gaz des pâtes réalisées (A) par hydratation séparée et (B) par mélange préalable des deux farines — *Gas retention profiles of composite doughs (A) from separate hydration and (B) from common hydration.*

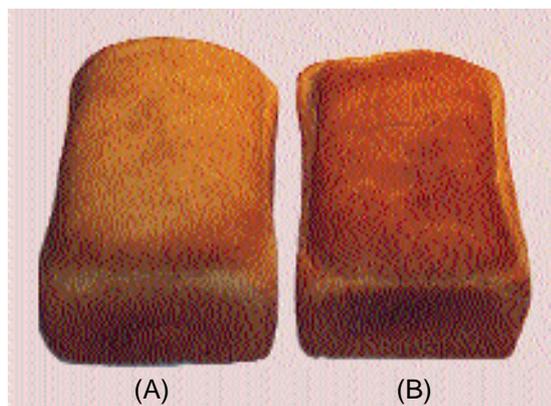


Figure 2. Comparaison des pains composés de sorgho/blé (50–50) à partir de pâte réalisée (A) par hydratation séparée et (B) par mélange préalable des deux farines — *Comparison of breads from sorghum/wheat blend flour (50–50) (A) from a dough made by separate hydration and (B) from a dough made by common hydration.*

d'au moins 10 % quand on passe d'une hydratation commune à une hydratation séparée préalable des farines. La structure de la mie et l'aspect extérieur du pain (bombage, lissage) se trouvent aussi améliorés (**Figure 2**).

L'utilisation de l'hydratation commune du mélange des farines conduit à une dilution du gluten dans le milieu farineux. Les protéines du gluten se trouvent alors dispersées et ont moins de chance de s'associer et de former un réseau viscoélastique capable de retenir le gaz de fermentation, ce qui donne un pain moins développé. En revanche, bien que la quantité totale du gluten lors des deux types de mélange soit la même, une hydratation préalable de la farine de sorgho avant ajout de celle du blé améliore le réseau protéique car la dispersion du gluten est moindre. Des résultats identiques ont été rapportés par Berthelot (1990) sur des mélanges de farines de blé et de maïs où la densité est améliorée d'au moins 40 % lorsqu'on passe d'une hydratation commune à une hydratation séparée.

Tableau 3. Influence du type d'hydratation sur la qualité des pains à base de sorgho/blé (50–50) — *Influence of hydration kind on quality of sorghum/wheat (50–50) composite bread.*

Critères d'appréciation	Type d'hydratation	
	Hydratation séparée	Hydratation commune
Densité (g/cm^3)	0,36	0,40
Densité	34	30
Mie	16	14
Goût	9	9
Aspect extérieur	9	5
Total	68/100	58/100

Ces premières observations, nous ont conduit à poursuivre nos essais de panification selon la méthode d'hydratation séparée.

3.2.2. Influence du taux de substitution. Afin de connaître le taux maximum d'incorporation de la farine de sorgho dans la farine composite, une série de tests utilisant les proportions sorgho/blé 0/100, 10/90, 20/80, 30/70, 40/60, 50/50, 60/40 a été réalisée. Le taux d'hydratation augmente avec l'élévation du taux d'incorporation du sorgho et a été fixé de manière à obtenir une pâte assez molle, mais qui reste façonnable manuellement.

Les propriétés de rétention de gaz au sein des pâtes composites ont été suivies par mesure du volume des pâtes lors de la fermentation à l'aide de l'indicateur de pousse.

Les résultats obtenus montrent que les pâtes incorporant jusqu'à 30 % de farine de sorgho lèvent bien lors de la fermentation et sont comparables à celles obtenues avec 100 % de blé (**Figure 3**). Par contre à partir de 30 % d'incorporation, le volume de pousse lors de la fermentation diminue, ce qui conduit à des pains de densité élevée c'est-à-dire présentant donc un volume faible. Ces derniers sont fort différents du pain de référence (100 % blé) (**Figure 4**).

Plus la capacité de rétention d'air dans la pâte est élevée, plus important est le volume du pain. La

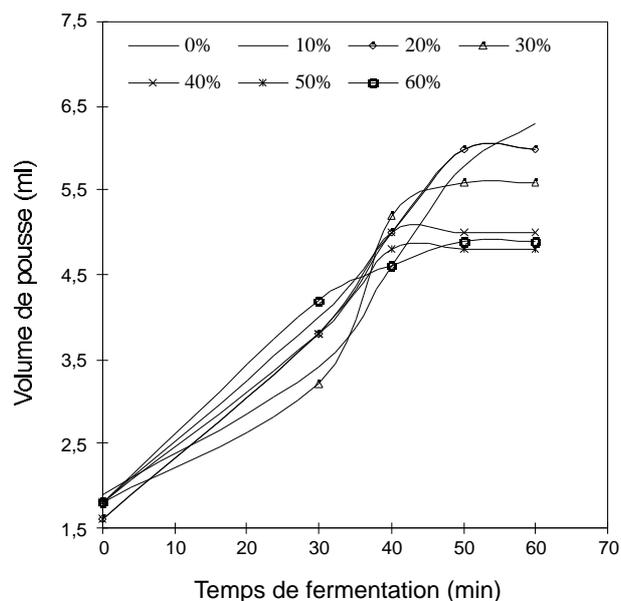


Figure 3. Influence du taux d'incorporation de sorgho sur les profils de rétention de gaz des pâtes sorgho/blé lors de la fermentation — *Influence of incorporation rate of sorghum on the gas retention profiles of sorghum/wheat doughs during the fermentation.*

capacité de rétention de CO_2 est liée à la quantité d'air incorporée lors du pétrissage. En effet, c'est à partir de nuclei d'air que le CO_2 produit par la levure va



Figure 4. Comparaison des pains composites à différents pourcentages de sorgho — *Comparison of breads at different percentages of sorghum.*

diffuser et faire lever la pâte, Il faut aussi noter que la levure est incapable de produire de nouvelles alvéoles d'air (Baker, Mize, 1941).

L'influence du taux d'incorporation de sorgho sur la densité des pains composites est illustrée à la **figure 5**. La densité qui représente le rapport du poids au volume des pains augmente de façon linéaire avec le taux d'incorporation. En effet, une relation linéaire positive est observée entre la densité des pains et le taux d'incorporation de sorgho ($r = 0,98$; $p < 0,001$). La densité est fortement influencée par la quantité de gaz retenue par la pâte. En effet, chaque alvéole d'air est caractérisée par une taille critique au-delà de laquelle la rétention du CO_2 est aléatoire car le plus souvent il diffuse dans l'atmosphère (Handlemann *et al.*, 1961 ; Delcour *et al.*, 1991). Le **tableau 4** donne les résultats du test d'appréciation de la qualité des pains composites. Les pains incorporant 10 à 30 % de sorgho sont d'excellente qualité. Ils sont bien gonflés avec un bel aspect extérieur (**Figure 4**). La mie est de bonne qualité avec des petites alvéoles très homogènes (**Figure 6**). La texture est fine et le goût est acceptable. Ces qualités sont attestées par les notes élevées de 97, 95 et 85 points pour les taux de 10, 20 et 30 % respectivement.

Lorsque le taux de substitution est compris entre 40 % et 50 %, la note descend jusqu'à 68 points. Le défaut majeur des pains obtenus dans cette gamme d'incorporation est le manque de cohésion de la mie. Cette dernière a une structure grossière, non homogène et qui présente une rupture au niveau de sa structure. La dilution du gluten dans la farine composite peut difficilement faire face à l'expansion au four des pâtons, si bien que les grosses alvéoles d'air présentent des déchirures par lesquelles le gaz

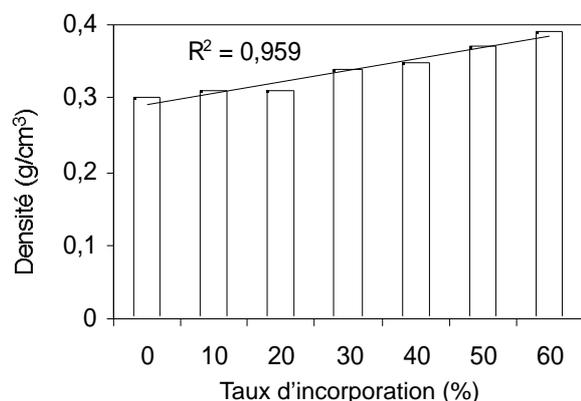


Figure 5. Densité des pains composites en fonction du taux d'incorporation — *The composite breads densities as a function of sorghum incorporation rate.*

Tableau 4. Résultats des tests d'appréciation de la qualité des pains composites — *Results quality appreciation tests of composite breads.*

Critères d'appréciation	Composition sorgho/blé						
	0/100	10/90	20/80	30/70	40/60	50/50	60/40
Densité	40	39	39	37	36	34	33
Mie	30	28	28	21	18	16	13
Goût	15	15	14	12	9	9	7
Aspect extérieur	15	15	15	15	12	9	6
Total	100	97	96	85	75	68	59

s'échappe. L'aspect extérieur du pain est passable, il n'apparaît cependant plus lisse, mais fendillé (**Figure 4**). Enfin, les pains à 60 % de sorgho présentent les notes les plus basses. En plus des défauts enregistrés au niveau des substitutions de 40 et 50 %, les pains à 60 % d'incorporation présentent une mie compacte et humide.

Pour corriger ces défauts et améliorer la qualité des pains à forts taux de substitution, nous avons envisagé l'ajout d'émulsifiants dans la formulation.

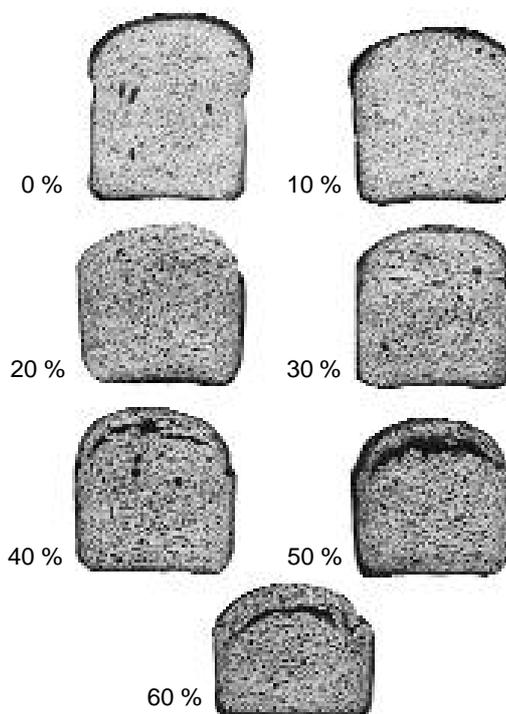


Figure 6. Structure de la mie des pains composites à différents pourcentages de sorgho — *Crumb structure of composite breads at different percentages of sorghum.*

3.2.3. Influence d'émulsifiants sur la qualité des pains composites. L'influence de deux émulsifiants (DATEM et SSL) sur la qualité des pains à base de sorgho a été étudiée. Le DATEM et le SSL sont les émulsifiants les plus couramment utilisés en boulangerie. Ils agissent en tant qu'agent renforceur de la structure de la pâte et aussi du moelleux de la mie (Stampfli, Nersten, 1995). Ces émulsifiants exercent leur effet durant tout le processus de la panification. Ils ont été utilisés à raison de 0,5 % de la farine. Les essais ont été réalisés sur des farines composites 50/50 sorgho/blé. Le **tableau 5** donne les résultats du test d'appréciation de la qualité des pains composites en présence et absence des deux émulsifiants. La densité des pains composites en présence des deux émulsifiants ne varie presque pas. Les émulsifiants utilisés et surtout à cette dose ne sont pas efficaces sur la levée de la pâte lors de la fermentation. Le volume des pains obtenus n'augmente pas par rapport au témoin (**Figure 7**). Ceci peut s'expliquer par la faible dose utilisée. En effet, la dose de 0,5 % est celle préconisée pour la farine de blé. Vu les caractéristiques boulangères médiocres de la farine de sorgho Sepon 82, il serait nécessaire d'augmenter la dose d'émulsifiants dans le mélange. Il apparaît toutefois que même pour cette dose de 0,5 % des modifications positives au niveau de la structure de la mie des pains ont été observées (**Figure 8**). En effet, on note un déchirement moindre de la mie lors de l'expansion au four, particulièrement avec le DATEM. Au toucher, la mie contenant l'émulsifiant est moins collante et moins humide. L'aspect extérieur des pains est plus lisse et régulier. Ainsi, bien qu'il n'y ait pas eu d'amélioration du volume des pains, l'ajout des émulsifiants a entraîné une modification positive de la qualité des pains composites qui devient comparable à celle des pains 40/60. L'aspect bénéfique de ces améliorants serait dû à une réduction de la tension interfaciale au sein de la pâte composite, ce qui a pour

effet une incorporation plus importante et/ou une réduction de la taille des alvéoles d'air lors du pétrissage (Hoseney, 1994).

3.2.4. Profil du vieillissement des pains composites sorgho/blé. Le rassissement est l'une des propriétés texturales les plus importantes liées à la qualité des pains. D'après Bechetel *et al.*, (1953), le rassissement est un terme qui traduit la décroissance d'acceptabilité d'un produit de cuisson, en raison de modifications de la mie autres que celles résultant d'une action de micro-organismes.

La **figure 9** représente les différents profils de fermeté obtenus en fonction du taux de substitution de la farine de sorgho. Au fil des jours, la fermeté de chaque pain augmente, car les tranches de pain durcissent. Dès le premier jour, les pains composites incorporant plus de 20 % de sorgho présentent un niveau de durcissement plus important que celui du pain 100 % blé, tandis que ceux à 10 et 20 % ont presque le même niveau de fermeté. L'état de rassissement des pains augmente lentement pour les incorporations inférieures à 30 %, tandis que cet état évolue très vite et surtout à partir du 3^e jour pour les fortes incorporations. Cette différence d'évolution de l'état de fermeté est liée à la structure de la mie, qui à son tour est influencée par le degré de gélatinisation de l'amidon. Inagaki et Seib (1992) ont démontré que la gélatinisation poussée de l'amidon est corrélée avec l'état de rassissement du pain. Étant donné que l'amidon de sorgho présente une forte gélatinisation (**Tableau 1**), les pains incorporant une grande quantité de sorgho durcissent plus vite.

L'action des émulsifiants (DATEM et SSL) sur le profil de vieillissement des pains composites est représentée à la **figure 10**. L'ajout des émulsifiants diminue le taux de rassissement. Ce retardement du vieillissement observé au niveau des pains composites (50/50) est lié à la capacité de ces deux émulsifiants à former un complexe amidon-émulsifiant qui interfère avec la rétrogradation de l'amylopectine (Martin *et al.*, 1991 ; Defloor, 1995). Les émulsifiants favorisent en général la réduction de l'humidité de la mie lors de la conservation des pains. Pisesook-Bunterngr et D'Appolinia (1983) ont suggéré que l'adsorption des émulsifiants à la surface des granules d'amidon diminue la prise d'eau (libérée par le gluten) par l'amidon durant le vieillissement du pain. Ce phénomène qui a été confirmé par Xu *et al.*, (1992) permet donc à l'eau libérée par le gluten de migrer vers la croûte. Selon le modèle de Martin *et al.* (1991) et de Defloor (1995), lors de la cuisson, les émulsifiants interagissent avec les molécules d'amidon et diminuent de ce fait leur gélatinisation. Il a en effet été établi que les émulsifiants complexent les molécules d'amidon (Krog, 1981 ; Eliasson, 1985). La

Tableau 5. Influence des émulsifiants sur les qualités des pains composites sorgho/blé (50/50) — *Influence of emulsifiers on sorghum/wheat (50/50) composite bread qualities.*

Critères d'appréciation	Témoin	DATEM	SSL
Densité (g/cm ³)	0,36	0,35	0,36
Densité	34	36	34
Mie	16	18	18
Goût	9	9	9
Aspect extérieur	9	12	12
Total	68	75	73

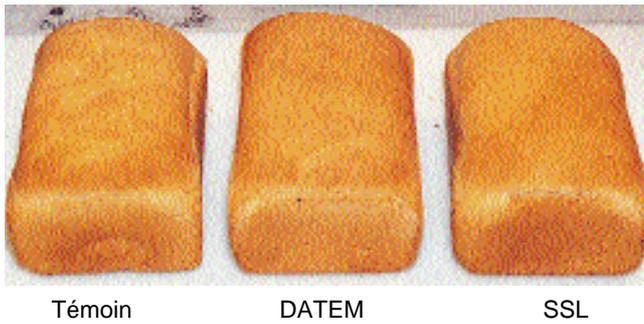


Figure 7. Influence des émulsifiants sur les pains composites sorgho/blé (50/50) — *Influence of emulsifiers on the composite breads (50/50).*

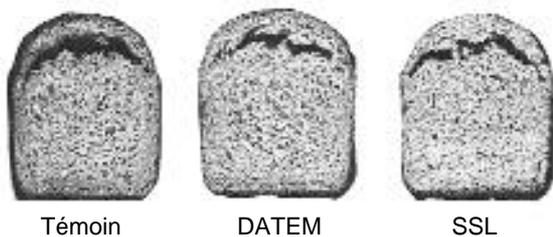


Figure 8. Influence des émulsifiants sur la structure de la mie des pains composites sorgho/blé (50/50) — *Influence of emulsifiers on the crumb structure of composite breads sorghum/wheat (50/50).*

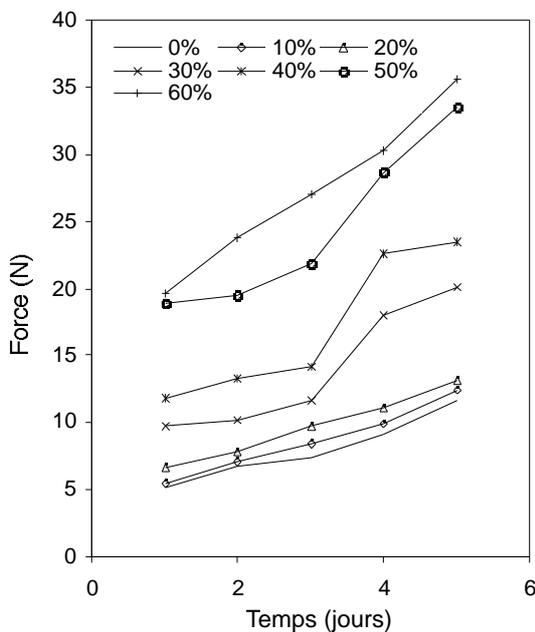


Figure 9. Profils de vieillissement des pains composites en fonction du taux d'incorporation de sorgho — *Rate of firming of composite breads as a function of incorporation rate of sorghum.*

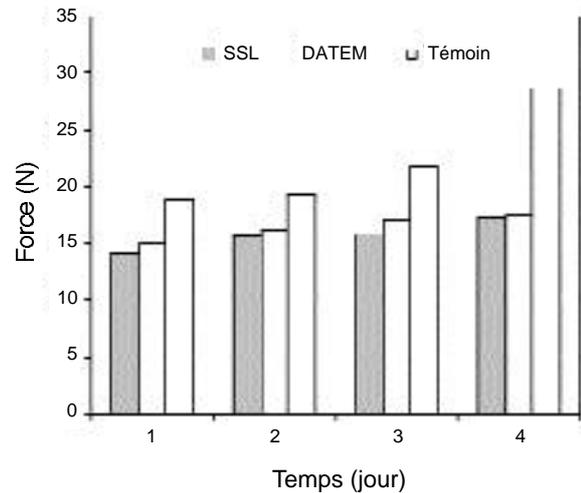


Figure 10. Influence des émulsifiants sur le vieillissement des pains composites sorgho/blé (50/50) — *Influence of emulsifiers on the rate of firming of sorghum/wheat (50/50) composite breads.*

diminution de la solubilisation de l'amylose durant la panification et de la rétrogradation d'amylopectine durant le vieillissement par les émulsifiants et les lipides, contribue à la fraîcheur de la mie et au retardement du rassissement (Knightly, 1988 ; Krog *et al.*, 1989). Après complexation des molécules d'amidon, la surface exposée par ces molécules devient faible ainsi que les interactions et par conséquent, le taux de rassissement est réduit.

4. CONCLUSIONS

La farine de sorgho Sepon 82 à elle seule n'est pas panifiable. Elle peut toutefois être associée à une farine de blé commerciale pour produire des pains de qualité acceptable.

Nos essais de panification ont montré que jusque 30 % de farine de sorgho pouvaient être incorporés sans dépréciation notable des caractéristiques des pains. La qualité des pains composites dépend en outre du mode d'hydratation des farines. Il apparaît dans notre étude que l'hydratation séparée préalable des farines est préférable à l'hydratation commune du mélange des deux farines.

Au-delà du taux de substitution de 30 %, les pains composites présentent certaines imperfections : forte densité, mauvaise cohésion de la mie. Dans ce cas, l'ajout d'émulsifiants tels le DATEM et le SSL permet de corriger partiellement ces défauts et de ralentir le phénomène de rassissement.

La perspective de substitution d'une partie de blé par du sorgho nous semble intéressante à deux titres. D'une part, elle s'intègre dans les politiques de valorisation des céréales indigènes en Afrique afin de

produire des pains à moindre coût. D'autre part, vu la faible activité enzymatique des farines de sorgho, elle pourrait dans les pays d'Europe, permettre de corriger les activités enzymatiques de certaines farines comme celles des blés pré-germés, difficilement utilisables en boulangerie. Il serait dans tous les cas opportun d'étendre cette étude à d'autres variétés de sorgho.

Remerciements

Les auteurs remercient vivement l'Administration Générale de la Coopération au Développement (AGCD) pour l'octroi de la bourse d'étude de M. Balla.

Bibliographie

- AACC (1981–1987). Approved Methods of the AACC. Method 44–15A, approved October 1975, revised October 1981; Method 54–30 approved October, 1984; Method 54–21 approved October 1984; Method 56–60 approved 1983; Method 56–81B approved 1982; Method 74–09 approved October 1987; Method 22–10 approved 1983; St Paul, MN: *Am. Assoc. Cereal Chem.*
- Baker JC., Mize MD. (1941). The origin of the gas cell in bread dough. *Cereal Chem.* **18**, p. 19–34.
- Bechetel WG., Meisner DF., Bradley WB. (1953). The effect of crust on the staling of bread. *Cereal Chem.* **30**, p. 160–166.
- Berthelot J. (1990). *La panification des céréales tropicales : mise au point de recettes de brios à dominance de maïs ou de mil aisément transférables en Afrique noire. Rapport de fin de programme.* Paris : Ministère de la coopération et du développement, 64 p.
- Defloor I. (1995). *Factors governing the breadmaking potential of Cassava (Manihot esculenta Crantz) flour.* Ph.D. thesis University of K.U. Leuven, Leuven, Belgium, 155 p.
- Delcour JA., Defloor I., De Geest C., Schelkens M., Martens A. (1991). Emulsifiers and/or extruded starch for the production of breads from cassava. *Cereal Chem.* **68**, p. 323–327.
- Dendy DAV., Clarke PA., James AW. (1973). The use of blends of wheat and non wheat flours in breadmaking. *In Composite Flour Program.* Rome: Food and Agriculture Organisation (FAO) of the United Nations, p. 134.
- Dubois M. (1988). Contribution de la rhéologie empirique à la détermination de la qualité des blés et des farines dans le monde. L'alvéographe Chopin. *Ind. Céréales* **53**, p. 15–25.
- Eliasson AC. (1985). Starch gelatinization in the presence of emulsifiers. A morphological study of wheat starch. *Starch/Staerke* **37** (12), p. 411–415.
- Handelmann AR., Conn JF., Lyons JW. (1961). Bubble mechanics in thick foams and their effects on cake quality. *Cereal Chem.* **38**, p. 294–305.
- Hoseney RC. (1994). Yeast-leavened products. *In Principles of Cereal Science and Technology.* 2nd edition. St Paul, MN: *Am. Assoc. Cereal Chem.* p. 229–273.
- Inagaki T., Seib PA. (1992). Firming of bread crumb with cross-linked waxy barley starch substituted for wheat starch. *Cereal Chem.* **69** (3), p. 321–325.
- Knightly WH. (1988). Surfactants in baked foods: Current practice and future trends. *Cereal Foods World*, **33** (5), p. 405–412.
- Krog N. (1981). Theoretical aspects of surfactants in relation to their use in breadmaking. *Cereal Chem.* **58** (3), p. 158–164.
- Krog N., Olesen SK., Toernaes H., Joensson T. (1989). Retrogradation of the starch fraction in wheat bread. *Cereal Foods World* **34** (3), p. 281–285.
- Launay B., Buré J. (1974). Étude de certaines propriétés rhéologiques des pâtes de farine, influence de la durée du pétrissage sur ces propriétés. *Dechema Monographien* **77**, p. 137–152.
- Martin M., Zelznak KJ., Hoseney RC. (1991). A mechanism of bread firming. I: Role of starch swelling. *Cereal Chem.* **68** (5), p. 498–503.
- Medcalf D., Gilles K. (1965). Determination of starch damage by rate of iodine absorption. *Cereal Chem.* **42**, p. 546–557.
- Oumarou M. (1992). *Étude sur les caractéristiques morphologiques et physico-chimiques de la variété de sorgho Sepon 82.* Rapport d'activité 1992, INRAN, CERRA. Niamey, 25 p.
- Perten H. (1989). Gluten Index : Une méthode rapide pour la mesure des caractéristiques du gluten humide. *Ind. Céréales* **61**, p. 25–29.
- Pisesook-Bunterng W., D'Appolinia BL. (1983). Bread staling studies. I: Effect of surfactants on moisture migration from crumb to crust and firmness values of bread crumb. *Cereal Chem.* **60** (4), p. 298–300.
- Stampfli L., Nersten B. (1995). Emulsifiers in bread making. *Food Chem.* **52**, p. 353–360.
- Torres PI., Ramirez-Wong B., Serna-Saldivar SO., Rooney LW. (1993). Effect of sorghum flour addition on the characteristics of wheat flour tortillas. *Cereal Chem.* **70** (1), p. 8–13.
- Torres PI., Ramirez-Wong B., Serna-Saldivar SO., Rooney LW. (1994). Effect of decorticated sorghum addition on the rheological properties of wheat tortillas dough. *Cereal Chem.* **71** (5), p. 509–512.
- Xu A., Ponte Jr JG., Chung OK. (1992). Bread crumb amylograph studies. II: Cause of unique properties. *Cereal Chem.* **63** (5), p. 407–411.