

Optimisation de la fermentation en milieu semi-solide pour la production d'ablo, pain cuit a la vapeur d'Afrique de l'ouest

Aboudou AGRO¹; Noel, H. Akissoé^{2a}, John Manful³, Christian Mestres⁴, D. Joseph, Hounhouigan²

¹Département de Biologie Végétale, Faculté des Sciences et Techniques, Université d'Abomey-Calavi, Bénin

²Département de Nutrition et Sciences Alimentaires, Faculté des Sciences Agronomiques, Université d'Abomey-Calavi, Bénin

³Africa Rice Center (AfricaRice), Cotonou, Benin

⁴CIRAD-UMR QualiSud TA B-95 / 16, 73 rue Jean-François Breton, 34398 Montpellier Cedex 5, France

^a Corresponding author e-mail: noel.akis@yahoo.fr ; telephone: (00229) 97512024

Original submitted in on 26th August 2014. Published online at www.m.elewa.org on 31st October 2014.
<http://dx.doi.org/10.4314/jab.v82i1.15>

RÉSUMÉ

Objectif : Evaluer trois équipements pour la fermentation de la pâte destinée à préparer l'ablo (pâte cuite à la vapeur) puis, l'influence de la température, de la durée de fermentation et du taux de levure ajoutée à la pâte.

Méthodologie et résultats : La pâte semi-solide a été fermentée durant quatre heures à température ambiante (26-27 °C) dans du bac en verre, glacière et bassine en aluminium (Témoin). En outre, l'effet de la température, de la durée de fermentation et du taux de levure a été évalué à travers un dispositif factoriel complet dont les niveaux bas et hauts des facteurs rangeaient entre 2 et 6 heures, 22 et 30 °C et 1 et 3 g/Kg de farine. La pousse, le pH, l'acidité titrable et la charge en levures/moisissures ont été déterminés. A l'exception de la quantité de mousse produite et de la matière sèche, aucun effet significatif ($P > 0,05$) du matériel de fermentation n'a été mis en évidence sur les paramètres mesurés. Le taux de levure, la température et la durée de fermentation avaient une influence positive significative ($P < 0,05$) sur la quantité de mousse produite.

Conclusion et application : Le dispositif en verre, suivi de la glacière, avaient généré la plus grande quantité de mousse, probablement à cause d'une relative herméticité ou de la forme géométrique régulière des deux dispositifs. Au rendement en pâte voisin de 180, la fermentation dans les conditions optimales validées exigeait 30 °C, 3 g de levure par Kg de farine de riz et 4 h de conditionnement ; ce qui donne une pâte fermentée possédant un pH compris entre 4,42 et 4,64, une teneur de matière sèche variant entre 29,99 et 38,79% et la variation de hauteur de la mousse comprise entre 4,85 et 5,62 cm. Il serait intéressant de tester ces conditions optima de fermentation sur autres matières premières (maïs, mélange riz-maïs) intervenant dans la production d'ablo.

Mots clés : Ablo, levures, optimisation, fermentation, riz

Optimization of semi-solid state fermentation for processing *ablo*, a wet steamed bread from West Africa

ABSTRACT

Objective: To test three equipments for the fermentation of rice semi-solid dough to produce *ablo* (a steamy and foamy bread) and then, to investigate the effect of fermentation temperature and duration and the rate of yeast on some critical parameters

Methodology and results: The semi-solid dough was fermented for four hours in glass box, icebox and aluminum bowls (Control) at ambient temperature (26-27 °C). In addition, the effect of fermentation temperature and duration and the rate of yeast were investigated using full factorial design, with values ranging between 2 and 6 hours, 22 and 30 °C and 1 and 3 g/Kg flour. The pH, titrable acidity, the dry matter content and the quantity of moss/foam were determined as well as the yeast and fungi counts. Except for the moss produced and the dry matter content, no significant effect was evidenced on all other parameters measured as far as the equipment is considered. Significant and positive effects of temperature, duration and the rate of yeast ($P < 0.05$) were observed on the quantity of moss produced

Conclusion and application: The glass box, followed by icebox were the best fermenting equipments of the dough, giving great amount of moss produced, probably due the airtight or the regular form of both equipments. At the dough yield of 180, the optimal values of these factors for upgrading fermentation of the rice dough included 30 °C, 3 g of yeast per Kg of flour and 4 hours of resting. These conditions was validated and lead to the fermented dough with pH ranging between 4.42 and 4.64, dry matter between 29.99 et 38.79% and moss height varying from 4.85 to 5.62 cm. In further work, it will be appreciated to test these optima conditions on maize or the mix rice-maize flour since they are raw materials for *ablo* production

Keywords: Yeast, optimization, fermentation, *Ablo*

INTRODUCTION

Les céréales constituent une source majeure d'éléments nutritifs et occupent une place de choix dans l'alimentation des peuples africains, en particulier ceux de l'Afrique de l'Ouest (Blandino, 2003). Les céréales les plus cultivées en Afrique de l'Ouest sont le maïs, le sorgho, le riz et le mil. Elles interviennent dans de nombreuses préparations culinaires traditionnelles, notamment les pâtes, les boissons, les snacks (Nago et Hounhouigan ; 1998) et sont souvent utilisées seules, en combinaison ou en substitution. Le maïs demeure la première céréale locale du Bénin, avec une production nationale de 1012630 tonnes en 2010, loin devant le sorgho (168090 tonnes) et le riz (124975 tonnes) (AGRI Stat, 2012). Depuis une dizaine d'années, la production nationale du riz est sans cesse croissante (taux moyen de 8% depuis 2007), et son importation massive fait de lui la céréale la plus consommée après le maïs (AGRI Stat, 2012). Le riz entre dans de nombreuses

recettes culinaires traditionnelles dont l'une des plus connues dans la sous-région ouest-africaine est l'*Ablo*. L'*Ablo* (Abolo « pain en Mina ») est un pain humide légèrement salé-sucré, cuit à la vapeur (Nago et Hounhouigan ; 1998), préparé originellement à partir d'une pâte semi-liquide fermentée de maïs, notamment par les peuples Mina et assimilés du Bénin, du Togo et du Ghana. Il est consommé à tout moment de la journée, particulièrement au déjeuner et au dîner, avec du jus de tomate pimenté ou du mix piment-oignon, accompagné de poisson ou de viande. Le procédé de fabrication se rapproche de celui du pain ordinaire dont les trois principales opérations regroupent le malaxage-pétrissage, la fermentation et la cuisson au four (Sahlström and Bråthen, 1997). Le malaxage-pétrissage affecte la consistance de la pâte. Ainsi, Decock et Cappelle (2005) distinguaient deux catégories d'état physique de pâte panifiable, la pâte ferme à

rendement de 160% et la pâte liquide de rendement 200. Selon ces auteurs, ces états influencent le profil aromatique et l'acidification de la pâte et probablement la quantité de gaz produite durant l'étape de fermentation ; la cuisson au four transforme la pâte embuée en masse spongieuse et alvéolaire. Comme pour le pain, le procédé de fabrication d'*Ablo* comporte des opérations similaires, à la différence que la cuisson à vapeur (humide) remplace la cuisson au four. L'*Ablo* est connu au Ghana, Togo et Bénin comme aliment de rue, mais il intègre de plus en plus la restauration hôtelière, surtout au cours des réjouissances populaires. Au Bénin, depuis environ deux décennies, le riz tend à remplacer le maïs sur toute l'étendue du territoire nationale pour la production d'*Ablo* (Ahokpe, 2005 ; Aholou-Yeyi, 2007). Trois variantes technologiques en ont été décrites : la première qualifiée de traditionnelle et décrite par Nago et Hounhouigan (1998) emploie exclusivement le maïs comme matière première tandis que les variantes dites «modifiée et intermédiaire» utilisent respectivement le riz seul et le mélange riz-maïs (Ahokpe, 2005 ; Aholou-Yeyi, 2007). Ces dernières sont en passe de ravir la vedette à la variante originelle. Dans tous les cas, l'opération unitaire la plus importante au cours de la production de *Ablo* est la fermentation, de type panaire, caractérisée par un moussage (relativement important) de la pâte en fin de fermentation (Ahokpe, 2005 ; Aholou-Yeyi, 2007). Celle-ci se déroule dans une suspension semi-liquide dont le taux d'hydratation est obtenue à l'aveuglette. En effet, la pâte de céréales (maïs et/ou riz) battue et mise en suspension semi-liquide, puis fermentée pour la préparation d'*ablo* est caractérisée par un moussage relativement important obtenu empiriquement dans des conditions variables de taux de levure, de température, de durée de fermentation et du taux d'hydratation. De plus, la pratique traditionnelle consistant à couvrir le récipient de pagnes durant la fermentation ou à le déposer au soleil ou à l'ombre pose un problème d'inadéquation des équipements de fermentation. Celle-ci est relativement courte, en moyenne quatre (4) heures

(amplitude de 2-6 heures) et se déroule dans des bassines ou des seaux en plastiques couverts, souvent revêtus de tissus, tantôt déposés en chambre ou sous l'éclairage solaire. L'impact des matériels/équipements de fermentation mérite d'être élucidé. De plus, les levures utilisées au cours de la fermentation sont prudemment ajoutées à la pâte, à l'aveuglette, à des taux variables d'une production à l'autre. De même, la durée et la température de fermentation sont variables et peuvent influencer le processus de fermentation, probablement les propriétés texturales de la pâte. En exemple, Decock et Cappelle (2005) ont rapporté que la durée de fermentation panaire, variait en fonction de la consistance de la pâte, de la qualité de la farine utilisée, du type et du taux de levures, de la température et du type de pains fabriqués. Bien qu'une similitude existe entre les étapes du procédé du pain et celui de l'*Ablo*, il faut souligner la différence de texture des produits avant et après fermentation : une pâte fluide/coulante dans le cas d'*Ablo* et une pâte malléable (découpée en pâtons) dans le cas du pain. Ce milieu relativement semi-liquide, en fermentation avec des levures, génère de la mousse dont la quantité pourrait être en rapport avec l'équipement utilisé ou avec les variables technologiques. Des informations préliminaires collectées encore non documentées, il semble que la quantité de mousse produite serait en relation avec la qualité texturale de l'*ablo*. Par ailleurs, les bactéries lactiques et les levures se développent naturellement dans la pâte d'*Ablo* (Ahokpe, 2005) bien que les levures y soient encore incorporées. Le taux de levure ajoutée à la pâte peut être déterminant dans le processus de fermentation ou de moussage étant entendu que les levures fermentent les glucides libres en produisant de l'alcool et surtout du gaz carbonique qui fait tripler le volume du pain (Alais et al., 2003) Cette étude vise à tester trois dispositifs/équipements de fermentation, puis à évaluer l'influence de la température et de la durée de fermentation et du taux de levures sur la qualité de la pâte fermentée du riz pour la production de l'*ablo*.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Matériel végétal et biologique : Le riz (*Oryza sativa*) de marque rice master, delta rice ®, «double polished, long grain white» et la farine de blé ainsi que la levure boulangère (*Saccharomyces cerevisiae*) ont été achetés dans le commerce. L'eau courante de consommation de la SONEB (Société Nationale des

Eaux du Bénin) a été utilisée pour la préparation de la pâte à fermenter. En outre, en prélude à l'expérimentation, les échantillons de pâte ont été collectés avant et après fermentation chez trois productrices pour évaluer les métabolites formés au cours de la fermentation

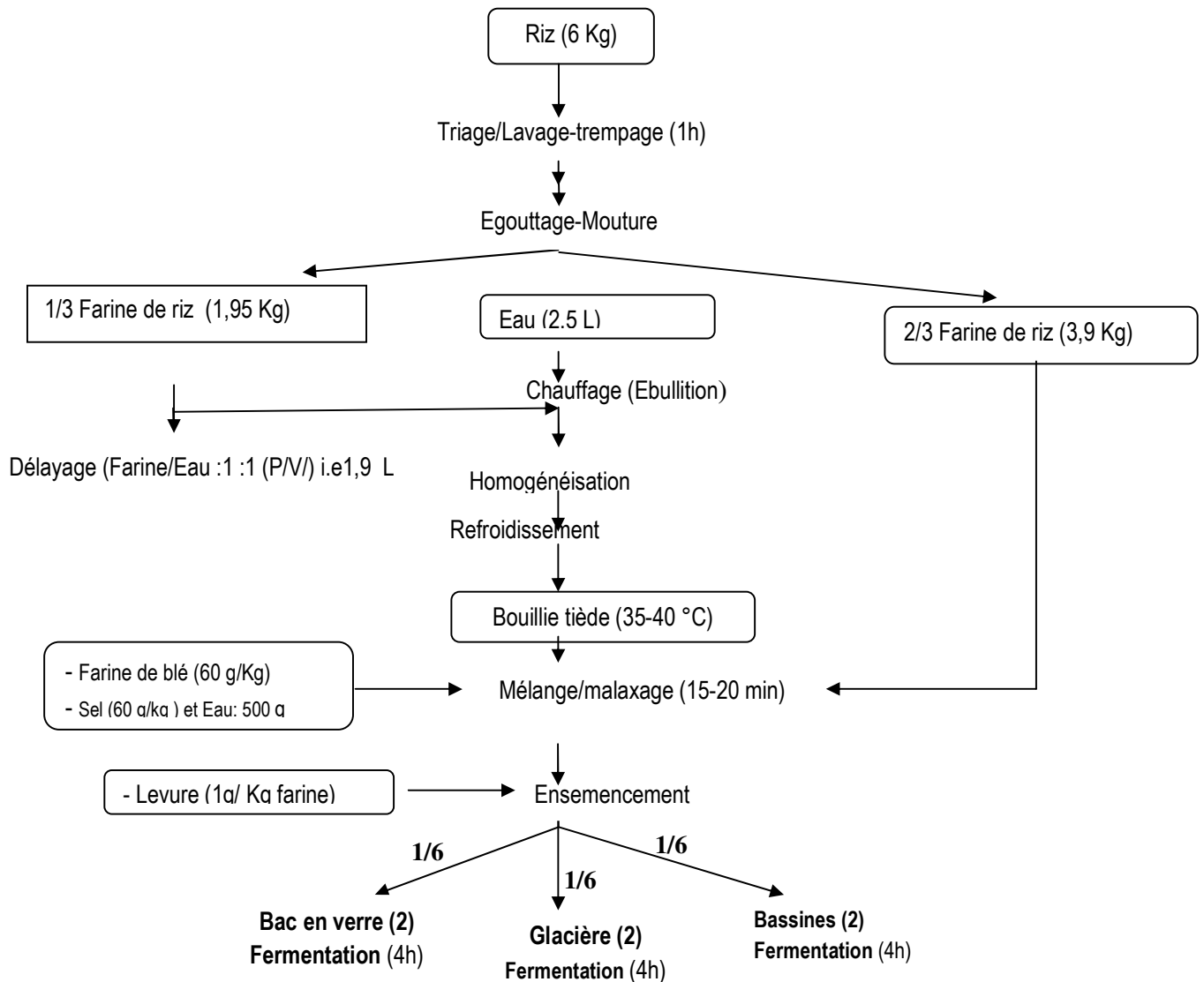


Figure 1: Fermentation de la farine du riz dans trois dispositifs

Expérimentation

• **Test des matériels/équipements de fermentation :** Trois dispositifs ont été testés en deux observations et trois répétitions : bacs en verre(2), glacières (2) et bassines (2) en aluminium

habituellement utilisées par les productrices. Une productrice expérimentée a été sollicitée pour préparer la pâte à fermenter selon le procédé décrit à la Figure 1. Pour ce faire, 6 kg de riz moulus ont été pétris, malaxés, battus à l'état de pâte semi-liquide, avec un

rendement en pâte d'environ 180%. Cette pâte a été répartie équitablement dans les bacs en verre, les glacières et les bassines et mise en fermentation au même endroit à température ambiante (27-28 °C).

• **Optimisation des variables technologiques :** Un plan factoriel complet à trois facteurs (température, taux de levure et durée de fermentation) a été généré à l'aide du logiciel Minitab (version 14). Les niveaux bas et hauts des facteurs provenaient de la littérature (Ahokpe, 2005 ; Aholou-Yeyi, 2007) et des observations préliminaires. La durée de fermentation variait entre 2 et 6 heures, la

température de fermentation entre 22 (période harmattan) et 30 °C et la dose de levure entre 1 et 3 g/Kg de farine (Tableau 1). Le procédé utilisé est celui décrit en Figure 1 avec uniquement le bac en verre. De plus, des échantillons de pâtes prêts à être fermentés ont été introduits dans des petites bouteilles à couvercle à vis graduées de 100 mL pour la fermentation. Le degré de moussage, la hauteur de la mousse (pousse), la matière sèche, le pH, l'acidité titrable et la charge en levures et moisissures de la pâte fermentée ont été déterminés.

Tableau 1 : Points expérimentaux issus du plan factoriel complet

Température (°C)	Durée fermentation (H)	Taux levure (g)
22	6	1
26	4	2
22	2	3
26	4	2
26	4	2
30	2	1
30	6	3

Analyses physico-chimiques et microbiologiques de la pâte de riz.

• **Analyses physico-chimiques :** Le pH et l'acidité titrable ont été déterminés selon la méthode modifiée de Nout (Nout *et al.*, 1989). La teneur en matières sèches a été déterminée après dessiccation de 5 g d'échantillon frais à l'étuve Heraeus T 5042 à 105°C pendant 72h (AOAC, 1984). Les sucres et acides organiques ont été identifiés par HPLC suivant la méthode décrite par Mestres et Rouau (1997). Ils ont été élués avec de l'acide sulfurique 5 mM à un débit de 0.6 mL/min. Les sucres solubles sont quantifiés par réfractométrie et les acides organiques sont détectés par spectrophotométrie UV à 210 nm. Les différents composés ont été identifiés par leur temps de rétention et quantifiés à l'aide des aires des pics par comparaison avec des solutions standards.

• **Rendement en pâte :** Le rendement en pâte, représentant le rapport de la somme de la masse de farine et d'eau à la masse de farine, a été déterminé selon Decock et Cappelle (2005)

• **Détermination de la pousse (variation de hauteur de la mousse) :** Le niveau initial et final du front de la pâte a été marqué de traits horizontaux au niveau des matériels. Après quatre heures (4h) de fermentation (fin), l'écart ou variation de hauteur (cm)

représentant la levée de la pâte i.e le niveau de la mousse a été mesuré à l'aide d'une règle graduée.

• **Degré de moussage :** Le degré de moussage au niveau de chaque dispositif de fermentation a été évalué par un panel de productrices (03) qui ont classé la quantité de mousse produite, en attribuant la note 3 au dispositif qui a donné plus de mousse, 2 au dispositif suivant et 1 au plus faible.

• **Analyses microbiologiques :** Les levures et moisissures ont été dénombrées après incubation des boîtes de pétri à 25 °C pendant 4 jours sur du MEA (Malt Extract Agar) incorporé d'acide lactique stérile à 10%.

Les analyses physico-chimiques et microbiologiques ont été réalisées en trois répétitions sur les échantillons de pâte avant et après fermentation.

• **Analyses statistiques :** Les données issues du test d'équipement de fermentation ont été soumises à l'analyse de variance et les moyennes rangées suivant le test de Dunnett. Le plan factoriel complet a été analysé au moyen de Minitab 14. Ainsi, l'effet des facteurs (température, taux de levure et durée de fermentation) a été évalué par le modèle linéaire.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Impact du dispositif de fermentation sur les caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques de la pâte d'Ablo : Dans cette expérimentation, la pâte préparée selon le diagramme de la Figure 1 a été répartie dans trois types de matériels différents pour la fermentation réalisée à température ambiante. Le rendement en pâte initial était en moyenne 180%, indiquant l'état semi-liquide de la pâte *ablo*, en accord avec la classification de Decock et Cappelle (2005). La fermentation dans un tel milieu, avec la levure produisant du CO₂ ne pourrait donner qu'une masse mousseuse. La matière sèche, le pH, l'acidité totale titrable et la charge en levures/moisissures déterminés au niveau du matériel de fermentation sont présentés dans le tableau 2. La teneur en matière sèche a chuté de 39,8% (base humide) avant la fermentation à des valeurs entre 34,9 et 38,2% (b.h), en fonction du matériel de fermentation. Le matériel utilisé durant la fermentation avait un effet significatif (P<0,05) sur le taux de matière sèche de la pâte fermentée de l'*ablo* du riz, avec la plus forte valeur quand la fermentation a lieu dans un bac en verre et la plus faible dans une bassine en aluminium (témoin). On a observé en parallèle (Tableau 3) un doublement de la teneur en glucose et la formation de divers acides organiques (citrate, lactate, acétate, malate) et de l'alcool (éthanol). En effet, le glucose était le sucre majoritaire avant et après la fermentation tandis que les autres sucres (saccharose, fructose, raffinose)

donnaient une tendance à la baisse en fin de fermentation. Cette chute était attendue puisque, en général, la fermentation naturelle des céréales conduit à la baisse de la teneur en glucides (du fait du métabolisme fermentaire) et autres poly et oligosaccharides non digestifs qui constituent l'essentiel de la matière sèche (Blandino, 2003). Les valeurs moyennes du pH, de l'acidité titrable et de la charge en levures et moisissures de la pâte avant fermentation étaient respectivement 4,92; 0,0046 (% acide lactique) et 6,39 log(cfu/g). Indépendamment du matériel, le pH a diminué tandis que l'acidité totale titrable a doublé et la charge en levures/moisissures multipliée par 10. Cette tendance était attendue et est conforme aux travaux de Hounhouigan (1994). Toutefois, aucun effet significatif du matériel de fermentation n'a été mis en évidence sur le pH, l'acidité titrable et la charge en levures et moisissures de la pâte. Ceci est probablement lié à la courte durée de fermentation (4 heures) pratiquée en général pour la pâte *ablo*. Selon Alais et al. (2003), cette période constitue la phase d'initiation des réactions biochimiques de métabolisme, avec la β-amylase qui attaque les granules d'amidon endommagés en maltose et dextrines et l'α-amylase qui coupe les chaînes d'amidon en substrat pour β-amylase. C'est probablement ce qui explique le doublement de la teneur en glucose bien qu'il soit au même moment utilisé pour les métabolites produits.

Tableau 2 : Effet du matériel de fermentation sur les caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques de la pâte fermentée

Equipement	Matières sèches (% b.h)	pH	Acidité titrable (% acide lactique)	Variation H_mousse (% H_initiale)	Levures et moisissures (log cfu/g)
O*	39,8 ^c	4,92 ^b	0,46 ^b	nd	6,39
Bac en verre	38,2 ^c	4,13 ^a	1,07 ^a	214, 2 ^b	7,44 ^a
Glacière	36,9 ^b	4,07 ^a	1,08 ^a	165,8 ^a	7,35 ^a
Bassine**	34,9 ^a	4,0 ^a	1,05 ^a	nd	7,26 ^a

O*: Echantillon avant fermentation ; ** : Equipement traditionnel ; H : Hauteur

Les valeurs portant différentes lettres dans la même colonne sont significativement différentes au seuil de 5%.

nd : non déterminé

Tableau 3 : Sucres, acides organiques et alcool identifiés avant et après fermentation (Equipement traditionnel)

Métabolites		Avant Fermentation	Après fermentation
Sucres (mg/g, b.s)	Glucose	8,59	15,38
	Fructose	0,45	ni
	Raffinose	1,46	1,41
	Saccharose	7,80	4,14
Acides (mg/g, b.s)	citrate	ni	1,98
	lactate	ni	7,13
	acétate	ni	0,98
Alcool (mg/g)	Ethanol	ni	2,51

ni: non identifié

Par ailleurs, la pousse (variation de hauteur de la mousse) a varié de 4,8-4,9 cm (soit 214,2% de la hauteur initiale ou du volume initial) dans le bac en verre et de 3,2-4,4 cm pour la glacière (soit en moyenne 165,8% de la hauteur initiale ou du volume initial); la pousse au niveau de la bassine (irrégulière) n'a pu être mesurée précisément, mais semblait moins importante que dans les deux premiers cas. L'évaluation du degré de moussage par le panel de productrices a révélé que la pâte fermentée dans le bac en verre a été bien mousseuse (score de 3), moyennement mousseuse (score 2) dans les glacières et peu mousseuse (score 1) dans les bassines en alluminim. Les scores attribués, dans une certaine mesure, pourraient être liés à un effet géométrique du matériel de fermentation: plus la surface de la pâte sera faible, plus forte sera la hauteur de pousse et la contre-pression due à la gravitation sera plus faible. Une autre explication est la température: dans cette expérimentation (température ambiante, 27-28 °C), les matériels à fermeture relativement hermétique (Bac en verre et glacière) auront une tendance à la montée de température (générée par la fermentation) contrairement à la bassine recouverte (Témoin) où la perte de température est partielle. Cette montée de température pourrait améliorer l'activité des levures comme il a été expérimenté à 38 °C (Changhong *et al.*, 2012). Ainsi, le volume de mousse/pâte serait plus important, passant du simple au double (cas bac en verre), du fait l'activité intense des levures. Alais *et al.* (2003) ont indiqué que le volume des pâtons était multiplié par trois à cause de la production importante du CO₂. Selon Sahlströmet Bråthen (1997), les étapes de malaxage et fermentation en particulier assurent la production du gaz, donc la levée de la pâte. A

l'exception de la quantité de mousse produite ie du volume de la pâte et de la matière sèche, aucune différence significative n'a été mise en évidence au niveau des paramètres physicochimiques ; ainsi, tout matériel assurant une relative herméticité peut, à priori, servir pour la fermentation de la pâte pour l'ablo. Toutefois, la quantité de mousse générée étant l'un des paramètres désirés par les productrices d'ablo pour obtenir un produit bien alvéolé, le dispositif traditionnel en bassine reste moins performant.

Effet de la température, de la durée de fermentation et du taux de levure sur la qualité technologique de la pâte fermentée : Le Tableau 4 présente les valeurs moyennes des paramètres de la pâte fermentée du riz dans des conditions de température, de durée et du taux de levure variables. La teneur en matière sèche (MS) de la pâte fermentée a varié de 34,31% à 36,81% (b.h). Ces valeurs paraissent plus faibles que celles rapportées par Wu *et al.* (2012) (i.e 57,2-59,9% de teneur en eau, soit 41,1 - 42,8% MS) sur une pâte similaire du pain chinois cuit à la vapeur (mantou). L'acidité totale titrable, en moyenne de 1,1 (% acide Lactique), était restée presque constante au niveau de tous les essais tandis que le pH variait entre 4,44 et 4,86. Comparativement aux différentes pâtes de mantou chinois dont les pH rangeaient entre 4,10 et 4,54 (Wu *et al.*, 2012), on peut déduire que la pâte fermentée de l'Ablo est relativement acide. Les pousses (variation de hauteurs de mousse dans les bouteilles graduées de 100 mL) observées étaient comprises entre 2,0 et 5,7 cm. La plus forte valeur a été obtenue après une fermentation de 6 heures, à 30 °C avec un taux de levure de 3 g par Kg de farine de riz (essai 7) et la plus faible hauteur de mousse à l'issu de l'essai 1 (22 °C ; 2h ; 1 g de levure par kg de farine

de riz). Les essais des points centraux (2 ; 4 ; et 5) ont donné pratiquement des hauteurs de mousse identiques respectivement autour de 3,4 cm.

En ce qui concerne la charge en levures et moisissures, l'amplitude de variation entre les essais était 1,17log(cfu)/g (soit 19,15% de la charge initiale

6,11 log(cfu)/g), avec la plus faible 6,66log(cfu)/g obtenue à 22°C avec 1 g de levure et 6 h de fermentation et la plus forte charge (7,83log(cfu)/g) enregistrée à l'essai 2 réalisé à 26 °C pendant 4 h de fermentation et 2 g de levure.

Tableau 4 : Caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques de la pâte fermentée de l'ablo du riz.

N °	Température (°C)	Durée (H)	Taux levure (g)	Matière sèche (% , b.h)	Pousse* (cm)	pH	Acidité titrable (% acide Lactique)	Levures et Moisissures (log(cfo)/g)
1	22	6	1	36,80	2,0	4,79	1,09	6,66
2	26	4	2	34,77	3,50	4,71	1,10	7,83
3	22	2	3	35,58	3,3	4,74	1,03	6,41
4	26	4	2	34,70	3,5	4,68	1,14	7,15
5	26	4	2	34,31	3,3	4,74	1,23	6,95
6	30	2	1	36,81	2,5	4,86	1,06	7,60
7	30	6	3	34,80	5,7	4,44	1,17	7,62

* : Variation de la hauteur de mousse

Les effets des facteurs sur les paramètres mesurés au niveau de la pâte fermentée de l'ablo du riz sont consignés dans le Tableau 5.

• **Pousse, pH et acidité titrable de la pâte fermentée :** Les trois facteurs (température, durée de fermentation et le taux de levure) ont eu un effet positif significatif sur la pousse (variation de la hauteur de pâte mousseuse) ($P < 0,001$) mais négatif sur le pH ($P = 0,003$). Les trois facteurs ont favorisé la fermentation, donc la baisse de pH ; les valeurs élevées de l'un des facteurs entraîne la chute du pH de la pâte fermentée. De plus, le modèle linéaire explique bien l'augmentation de la pousse et la chute du pH de la pâte au cours de la fermentation, avec R^2 de 0,99 et 0,98 respectivement. Par ailleurs, aucun effet significatif ($P > 0,05$) n'a été mis en évidence sur l'acidité totale titrable, l'amplitude de variation étant très faible (1,03-1,2% ac. Lactique). Ce résultat sur l'acidité titrable n'était pas attendu et serait probablement dû au bruit de fond (phase initiale de la fermentation). Mis à part la courte durée de fermentation qui pourrait aussi expliquer la faible valeur de l'acidité titrable, la

production d'éthanol et de CO_2 pouvait tamponner le milieu réduisant ainsi l'acidité titrée. La contribution de la levure à l'expression de la pousse (variation de la hauteur de la mousse) était la plus forte et celle de la durée la plus faible (Figure 2). La figure 3 présente les courbes d'égale pousse (isoréponse pour la variation de la hauteur de mousse désirée). La quantité de mousse étant jugée comme le critère prépondérant de la réussite de la fermentation de l'ablo du riz, sa valeur peut être choisie en fonction des combinaisons de température et durée de fermentation et du taux de levure. La tendance positive à l'augmentation de la pousse résultant des combinaisons suggère, à priori, que des valeurs maximales des facteurs soient retenues si on désirait une quantité maximale de mousse. Toutefois, les autres caractéristiques désirées (faible acidité de la pâte) imposent un arbitrage entre les niveaux des facteurs.

Tableau 5 : Effet de la température, de la durée de fermentation et du taux de levure sur les paramètres de la pâte.

Paramètres	Température		Durée		Taux de levure		R ²
	Effet	P	Effet	P	Effet	P	
Matière sèche	-0,38	0,74	-0,39	0,73	-1,6	0,23	0,45
pH	-0,11*	0,02	-0,18*	0,006	-0,23*	0,003	0,98
Acidité titrable	0,05	0,55	0,08	0,33	-0,02	0,74	0,91
Levures et moisissures	1,07	0,08	0,13	0,7	-0,11	0,8	0,7
pousse	14,16*	0,0006	9,16*	0,002	22,5*	0,0001	0,99

R² est le coefficient de détermination de la variable dépendante ;

* indique que l'effet du facteur est significatif sur le paramètre de la pâte fermentée au seuil 5 %.

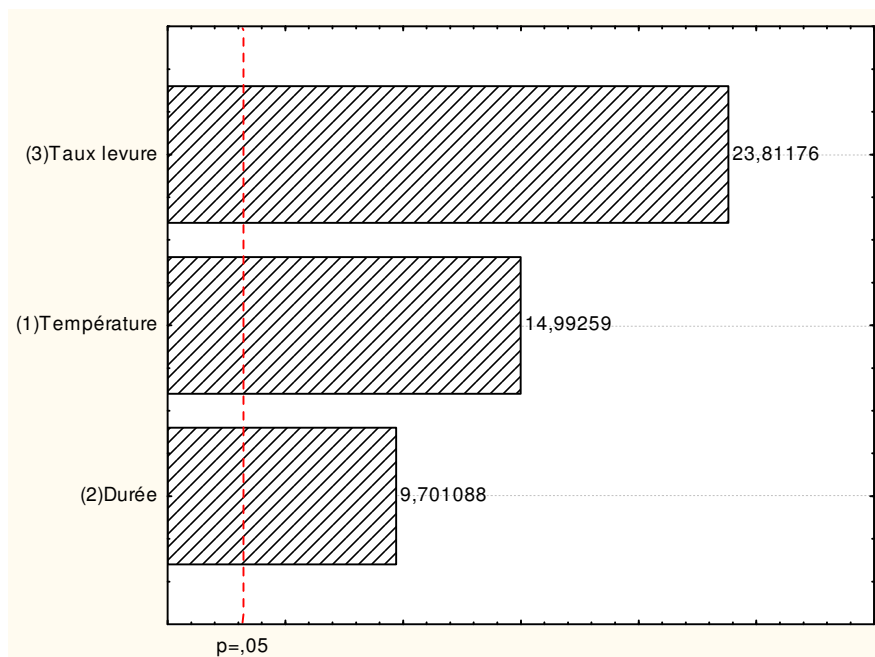


Figure 2 : Effet centré réduit pour la variable pousse (variation hauteur de mousse)

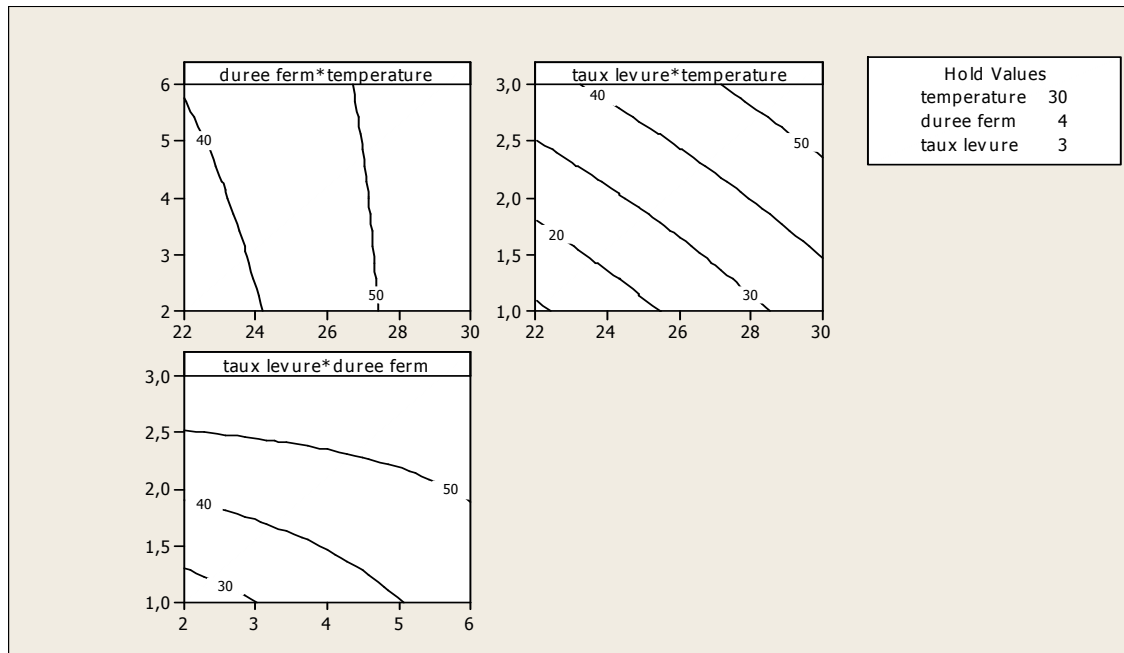


Figure 3 : Courbes d'égalité de la pousse (hauteur de mousse en fonction des facteurs)

• **Matière sèche et Levures et moisissures**

Aucun effet significatif des trois facteurs testés n'a été mis en évidence sur la matière sèche ($P > 0,05$) ni sur la charge en levures/moisissures de la pâte fermentée de l'ablo du riz.

Niveaux optimaux des variables technologiques (température, durée et taux de levure) : Le profil de désirabilité (Figure 4) a été réalisé pour identifier les meilleures conditions pouvant conduire à une bonne pâte fermentée ayant une hauteur de mousse maximale, avec un pH et une teneur en matière sèche relativement faibles. Les conditions optimales de fermentation obtenues étaient 30 °C, avec 3 g de levure par kg de farine de riz et une durée de 4 h de

fermentation. Ainsi, la combinaison 30 °C (max), 3 g de levure (max) et 4 heures de fermentation (intermédiaire) pourrait convenir et donnerait une pâte peu acide et bien mousseuse. Dans ces conditions, les valeurs attendues estimées à partir du modèle donnaient une hauteur de mousse comprise entre 4,85 et 5,62 cm, un pH compris entre 4,42 et 4,64, et une teneur de matière sèche variant entre 30,0 et 38,8% (base humide). L'essai de validation a donné une pâte fermentée bien mousseuse dont la hauteur de la mousse était de 5,2 cm, avec un pH de 4,5 et un taux de matière sèche de 35,9% (b.h). Ces résultats sont conformes aux estimations du modèle.

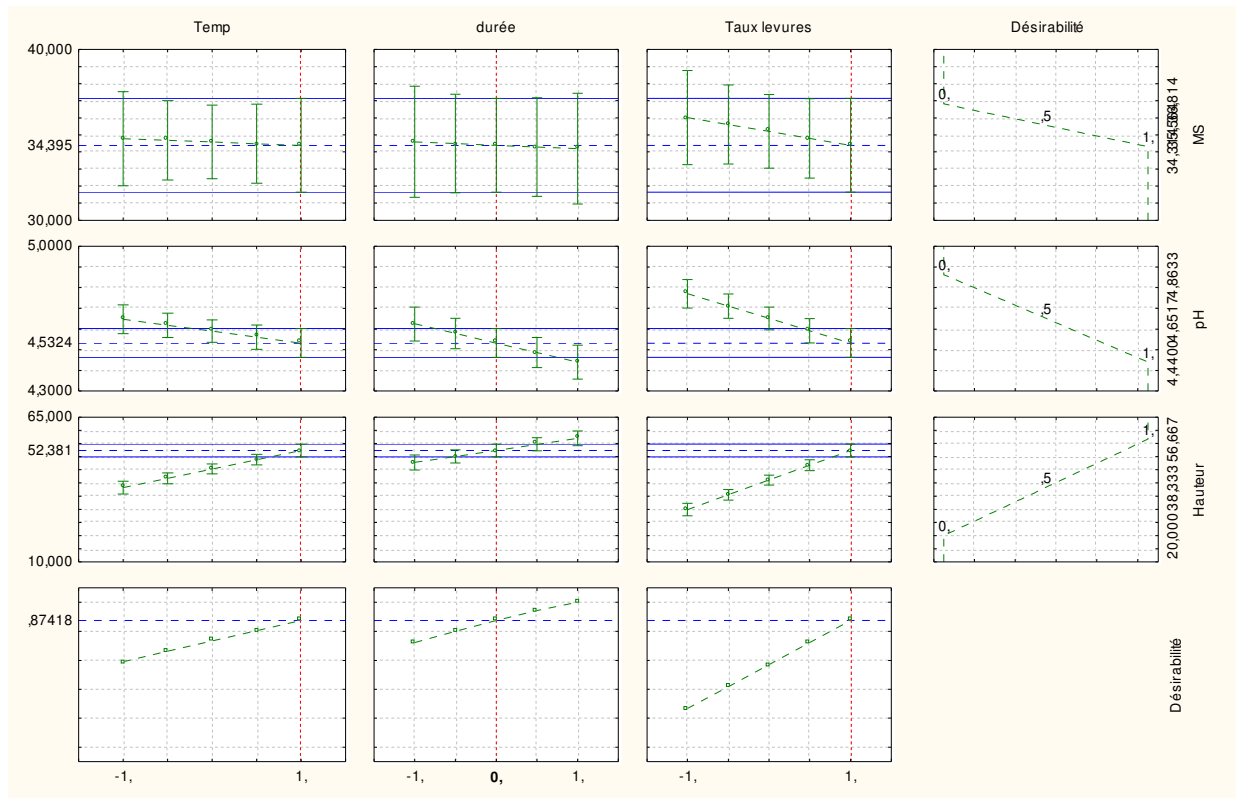


Figure 4 : Profils des valeurs prévues et désirabilité

CONCLUSION

La fermentation en milieu semi-liquide de la pâte d'ablo est fortement influencée par les variables technologiques (température, durée, taux de levure ajoutée à la pâte) et dans une moindre mesure par l'équipement utilisé. Un dispositif de fermentation (bac en verre ou un dispositif métallique similaire) assurant une herméticité est approprié pour la fermentation de la

pâte d'ablo du riz. Les conditions optimales validées permettant une bonne fermentation de la pâte de l'ablo du riz peuvent être utilisées pour la production d'Ablo. Toutefois, l'effet du taux d'hydratation de la pâte semi-liquide sur les caractéristiques du produit fermenté mérite d'être évalué.

REMERCIEMENTS

Nos remerciements à AfricaRice à travers le Projet "Development and evaluation of nutritious and higher value rice-based product from locally parboiled and lower grade milled rice"

RÉFÉRENCES

AACC, 1984. Approved methods of the American Association of Cereal Chemists, 8th edn St Paul, AACC
 Ahokpe KF, 2005. Valorisation des aliments traditionnels locaux : Evaluation des procédés traditionnels de préparation de "Ablo", une pâte fermentée cuite à la vapeur. Mémoire pour l'obtention de la maîtrise professionnelle en Biotechnologies agroalimentaires. Laboratoire de Microbiologie et de

Technologies Alimentaires. Faculté des sciences et techniques. Abomey-Calavi. Bénin. 51p.
 Aholou-yeyi AAM, 2007. Evaluation du système technique artisanal de production d'ablo, un pain béninois cuit à la vapeur. Thèse pour l'obtention du Diplôme d'Ingénieur Agronome Option : Nutrition et Sciences Alimentaires ; Faculté des Sciences Agronomiques. Abomey-Calavi. 69p.

- Alais C, Linden G, Miclo L, 2003. Biochimie alimentaire. 5ème édition de l'abrégé. Dunod, Paris, 250 pages
- Blandino ME, Al-Aseeri, Pandiella SS., Cantero D, Webb C, 2003. Review. Cereal-based fermented foods and beverages. Research Food International, 36, 527-543
- Changhong L, Yanhua C, Zhijian L, Hongmei L, 2012. Effect of ratio of yeast to Jiaozi on quality of Chinese steamed bread. Procedia Environmental Sciences 12, 1203 – 1207
- Decock P and Cappelle S, 2005. Bread technology and sourdough technology. Review. Trends in Food Science and Technology 16, 113–120
- Fao, 2013. Statistiques Agricoles / <http://www.countrystat.org> consulté le 22 février 2013.
- Hounhouigan DJ, 1994. Fermentation of maize (*Zea mays* L.) meal for mawè production in Benin: physical, chemical and microbiological aspects. Ph.D thesis, Agricultural University, Wageningen, The Netherlands, p 83
- Mestres C and Rouau X, 1997. Influence of natural fermentation and drying conditions on the physicochemical characteristics of cassava starch. J Sci Food Agric 74:147-155
- Nago CM and Hounhouigan DJ, 1998. La transformation alimentaire des Céréales au Bénin. Les Publications du CERNA, 150p.
- Nago CM, Hounhouigan DJ, Akissoë N, Zanou E, Mestres, C, 1998. "Characterization of the Beninese traditional ogi, a fermented maize slurry: physico-chemical and microbiological aspects." International Journal of Food Science and Technology 33: 307-315.
- Nout MJR, Rombouts FM, Havelaar A, 1989. Effect of accelerated natural lactic fermentation of infant good ingredients on some pathogenic microorganisms. International Journal of Food Microbiology, 8, 351–361.
- Sahlström S and Brathen E, 1996. Effects of enzyme preparations for baking, mixing time and resting time on bread quality and bread staling. Food Chemistry, 58: 75-80