

USE OF EXPERIMENTAL DESIGN COUPLED TO SRC TO PREDICT BISCUIT FLOUR QUALITY

UTILISATION DES PLANS D'EXPERIENCE COUPLE A LA SRC POUR PREDIRE LA QUALITE DE LA FARINE BISCUITIERE

Mohamed Mamoumi^{*}, Hanane Fikri, Mohamed Zahouily

*Université Hassan II Mohammedia-Casablanca, Faculté des Sciences et
Techniques Mohammadia /Laboratoire de Catalyse, Chimie & Environnement,
URAC 24, BP 146, 20650, Mohammedia, Morocco*

*Corresponding author: mamoumi.mohamed@gmail.com

Received: July, 02, 2011

Accepted: June, 08, 2012

Abstract: We developed an effective predictive tool, reliable, fast and inexpensive, that allows the determination of the flours profiles and their use for different types of biscuits technologies.

We chose an extruded biscuit with organoleptic quality defects (cracks and sticking). We defined first the levels of standards in relation to the SRC (SRC type 4: water, sodium carbonate, lactic acid and sucrose) in order to have cookies without cracks and sticking defects.

We used the design of experiments to optimize the number of industrial tests to be performed on our product: 4 factors (4 SRC) and 2 responses (cracks and sticking). Furthermore, we demonstrated the impact of the presence of each factor on the absence or presence of the above-mentioned defects. So it shows the significant impact generated by the SRC water and sodium carbonate on the crack defect and the SRC sodium carbonate crucial effect on cookies sticking. Furthermore, our research has improved the quality of biscuits sold on the national market. We have increased the industrial production capacity (by 45 %) by reducing stoppages due to poor quality of flour for making these biscuits time.

Keywords: *biscuit industry, design of experiments, economic losses, flour, profiles, SRC*

INTRODUCTION

Face à une population mondiale qui a quadruplé au bout d'un siècle et qui va connaître une augmentation de 50 % dans les 50 prochaines années [1], d'ici là, la population des pays en voie de développement sera probablement de 8,2 milliards [2]. A cet effet, les états auront des priorités d'assurer la disponibilité des aliments pour leur population.

La sécurité alimentaire a une importance cruciale pour l'agro-industrie et l'économie [3]. Elle est devenue un challenge grâce aux changements des habitudes de consommations, développement des technologies, évolution de la réglementation et changement des conditions climatiques [4-7].

La recherche en management de la qualité en agro-alimentaire est nécessairement combinée avec les différentes technologies pour permettre une évolution de la recherche scientifique et ceci peut se faire par l'exploration des théories liées au management [8].

Le biscuit, un aliment historique, est constitué de trois majeurs ingrédients : farine, sucre et matière grasse. Il contient un faible taux d'humidité, se situant entre 1 et 5 %, et la farine représente la matière de base de fabrication du biscuit. En conséquence la qualité des biscuits dépend de la composition de la farine [9].

Depuis la création des industries des céréales, plusieurs méthodes empiriques ont été utilisées pour mesurer les propriétés rhéologiques dans l'industrie des céréales. Il s'agit de : farinographe, amylographe, mixographe, extensographe et alvéographe. [10]

Les propriétés rhéologiques de la farine sont importantes aussi bien pour la qualité des produits que pour l'optimisation des procédés. Il faut savoir comment ils influent sur le volume et la texture nécessaire pour satisfaire les besoins du consommateur. [11]

Slade et Levien ont développé une nouvelle méthode SRC pour l'analyse de la qualité de la farine [12]. Cette méthode a été adoptée par la suite par AACC (American Association of Cereal Chemists) [13].

L'objectif de ce travail de recherche est d'étudier les profils des farines reçues pour valider le modèle type pour prédire les qualités appropriées aux biscuits.

MATERIEL ET METHODES

Origine de la farine

Les farines sont livrées par 4 grands moulins au Maroc (Maghreb, Tria, Berrechid et Bouznika). 294 échantillons ont été analysés sur une période d'une année.

Évaluation et analyse de la farine

Les analyses physico-chimiques de la farine dans la biscuiterie reposent principalement sur des paramètres rhéologiques classiques à savoir : la force de la farine (w), son gonflement (G), son élasticité (P/L), le taux d'hydratation et le taux de cendres.

Ces paramètres classiques permettent, uniquement, la classification des farines. Toutefois, ils ne permettent pas de cibler la farine adéquate pour produire les biscuits extrudés exigeant une qualité spéciale de la farine.

Pour faciliter le choix de la farine nécessaire, aussi bien pour la production des biscuits extrudés que pour l'orientation des farines pour les autres technologies. Nous avons mis en place une méthode efficace et fiable capable de définir la composition et le

comportement de chaque farine livrée, aussi bien en stockage qu'en procès. Cette méthode a permis ainsi d'améliorer la productivité des différentes technologies des biscuits.

Capacité de la rétention des solvants (SRC)

La SRC (Solvent retention capacities) est une technique pratique pour définir la qualité de la farine nécessaire pour prédire les performances de la biscuiterie industrielle [12]. Elle a été décrite par Ram et Singh [14]. Les solvants sont formulés comme défini par Guttieri *et al.* [15]. La SRC acide lactique (LASRC) définit les caractéristiques du glutenin. La SRC carbonate de sodium (SODSRC) est liée au niveau de l'amidon endommagé, la SRC saccharose (SUCSRC) définit le constituant « arabinoxylane » et les caractéristiques du gliadines, et la SRC eau est influencée par tous les constituants de la farine [12]. La SRC eau indique également la capacité de retenir l'eau alcaline (AWRC) selon la méthode approuvée AACC 56-10 (AACC, 1983). La farine (1 g) est solubilisée dans 5 mL des solvants (50 g/kg acide lactique, 50 g/kg carbonate de sodium, 500 g/kg de saccharose) mélangé (5 s), et reposée 20 min avec des mélange intermédiaire (5 s) chaque 5 min. La suspension est centrifugée (centrifugeuse de type SIGMA 2-16P, vitesse 3068 rpm) pendant 15 min à 1000 G et à température ambiante. Les tubes sont dégoutés pendant 10 min à l'angle 90°. Ainsi, les SRC sont calculées et exprimées à l'humidité de 14 % [14].

Humidité

La teneur en eau est déterminée par la méthode AACC 2000. 44-19. Un échantillon de 2g est porté dans une étuve de type Binder (max. 300 °C, 9010-0078) à 130 °C pendant 2h. L'échantillon est refroidi dans un dessiccateur pendant une heure puis pesé. La teneur en eau est mesurée par le taux d'humidité.

Alveographie

Les propriétés rhéologiques de la pâte sont mesurées par l'alveographe Chopin conformément à la méthode AACC (Approved Methodes 54-30A). Les paramètres de la pâte sont : Force (W), ténacité (P), extensibilité (L) et ténacité et extensibilité (P/L).

Propriétés rhéologiques de la pate: Farinographe

Les propriétés rhéologiques de la pâte sont mesurées par l'utilisation du farinographe conformément à la méthode standard AACC 54-21 1999 et AACC 54-10 1995. Les données exprimées sont : l'absorption de l'eau (%) et l'extensibilité.

Taux de cendres

Résidu incombustible, obtenu par incinération d'une prise d'essai dans une atmosphère oxydante. A une température de 550 ± 10 °C jusqu'à combustion complète de la matière organique et l'obtention d'une masse constante. Il est défini conformément à la norme NM. 08.1.211.

Les matériels utilisés pour cette détermination sont : four à moufle (type Buhler), balance analytique (type Mettler Toledo, 1128431204), nacelles et dessiccateur pour refroidir l'échantillon après incinération.

Acidité de la matière grasse

Le taux de la matière grasse dans la farine est défini conformément à la norme NM. 08.1.225. Les équipements utilisés sont : un tamis de 1 mm d'ouverture de maille, une centrifugeuse (type SIGMA 2-16P, vitesse 3068 rpm), une balance (type Mettler Toledo, 1128431204), pipettes de 20 mL et 10 mL, une fiole conique de 250 mL et une micropipette graduée en 0,01 mL.

Les réactifs utilisés sont : l'éthanol 95 % (v/v), l'hydroxyde de sodium 0,05 mol.L⁻¹ (dissout dans l'éthanol à 95 %) et le phénolphtaléine à 1 g/100 mL d'éthanol à 95 % (v/v).

Le mode opératoire consiste à déposer 5 g de la farine dans les tubes de centrifugeuse, verser 30 mL de l'éthanol à 95 %, agiter pendant 1h (20 ± 5 °C, thermomètre de type Testo 30971857/907, -50 °C à 230 °C avec 0,1 °C de précision), prélever 20 mL de surnageant et l'introduire dans la fiole conique, ajouter 5 gouttes de phénolphtaléine et titrer la solution avec de l'hydroxyde de sodium jusqu'à l'apparition de la couleur rose pâle.

Rendement

Le rendement de la ligne des biscuits est calculé par le rapport du poids produit fini et du poids cru de la pâte du même biscuit. Le pesage des poids des pâtons et des biscuits cuit est fait par une balance analytique (type Mettler Toledo, 1128142431).

Elaboration du Plan d'expérience

Le plan d'expérience permet de minimiser le nombre et le temps des essais. C'est un outil primordial pour l'optimisation des essais. Il permet d'étudier plusieurs facteurs tout en gardant un nombre raisonnable des essais.

Le plan choisi est le plan à 4 facteurs qui correspondent aux quatre solvants utilisés par la méthode SRC. Chaque facteur a 2 niveaux (maximal & minimal). Ainsi, nous avons développé un plan à 4 facteurs (2^4) avec 16 essais opérationnels à réaliser.

Les plans d'expérience exigent la définition du facteur et des niveaux choisis. En effet, les facteurs agissent linéairement sur la réponse des essais.

RESULTATS ET DISCUSSION

Le tableau ci-dessous regroupe les facteurs choisis pour le plan d'expérience élaboré avec les niveaux bas et haut définis par une analyse statistique des données des livraisons de plusieurs moulins collectés sous une base de données d'une année.

Tableau 1. Définition des domaines de variation des facteurs de plan d'expérience

Caractéristiques	Facteur 1	Facteur 2	Facteur 3	Facteur 4
	SRC eau	SRC saccharose	SRC carbonate de sodium	SRC acide lactique
Niveau bas	52,7	80,4	70,6	87
Niveau haut	60,6	104,1	80,3	107,6

Analyse sensorielle

Le produit extrudé est un biscuit de qualité technologique supérieure permettant d'avoir des produits de qualité organoleptique élevée. L'analyse sensorielle des biscuits est faite par un panel de 6 techniciennes expérimentées et qualifiées par une formation sur l'analyse sensorielle des biscuits.

Les défauts qualité identifiés par rapport à ce produit sont « collage » & « fêlure ».

Les codages choisis sont compris entre 0 et 3 pour chaque réponse (collage & fêlure).

- Le collage des pâtons sur la bande du four génère des biscuits ayant perdu la surface inférieure (Figure 1).

Le codage des biscuits fut estimé par une note comprise entre 0 et 3 pour cette réponse.

- Le codage 3 est attribué à l'absence de collage
- Le codage 0 est attribué au plus mauvais collage constaté



Figure 1. Photo représentant le collage du biscuit

- La fêlure correspond à des biscuits incomplets (Figure 2). Le codage fut estimé par une note comprise entre 0 et 3.

- 3 est l'absence de la fêlure
- 0 est le biscuit possédant le plus grand nombre de fêlures.

L'objectif chiffré pour une qualité satisfaisante est donc 3 pour le collage et 3 pour la fêlure.

Après cuisson, la qualité de ces biscuits est vérifiée par rapport aux critères : collage et fêlure. Une rangée de biscuits finis a été prélevée correspondant à 18 biscuits dont le nombre de défauts constatés sur le collage et la fêlure est codé entre 0 et 3. Les résultats de ces essais sont illustrés dans le Tableau 2.



Figure 2. Photo représentant la fêlure du biscuit

Tableau 2. Résultats des essais expérimentaux

Essais n°	SRC				Réponse expérimentale	
	eau	saccharose	Carbonate de sodium	acide lactique	Fêlure	collage
1	55,02	86,56	72,98	95,02	2,5	3
2	59,04	86,45	74,57	93,63	0,94	2,88
3	55,28	87,82	72,53	99,45	2,33	3
4	54,83	88,01	72	100,04	2,83	3
5	56,84	87,37	77,88	99,91	2,66	2,83
6	55,9	88,35	72,67	100,5	2,83	3
7	56,35	90,12	75,54	100	2,72	2,94
8	57,13	90	74,43	100,34	2,27	2,94
9	58,16	90,94	72,65	108,27	2,94	2,94
10	57,67	89,76	76,75	107	3	2,94
11	56,4	88,56	71,01	105,65	3	2,72
12	56,84	88,67	73,67	109	2,94	2,88
13	55,54	88,73	71,52	96,82	2,83	2,88
14	54,76	87,32	73,87	97	3	2,94
15	55,01	88,67	72,56	97,78	2,94	3
16	55,98	90,24	75,45	100,14	2,88	2,94

Dans le but de choisir la farine adéquate pour produire les biscuits extrudés. L'effet de chaque facteur sur les réponses : collage et fêlure sont analysés afin d'établir un modèle capable de prédire la qualité de la farine tout en analysant le taux de fêlure et du collage des biscuits finis (Figure 3 et 4).

Les Figures 3 et 4 illustrent, respectivement, le degré de l'effet de chaque facteur sur les réponses collage et fêlure.

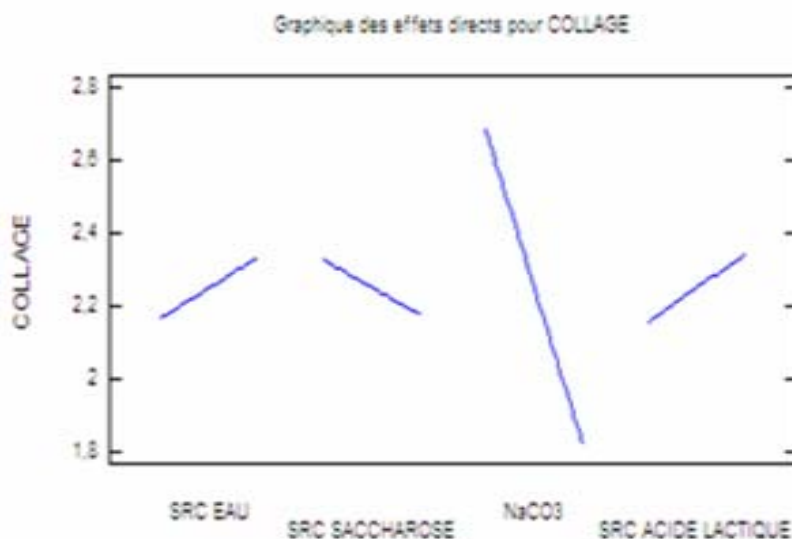


Figure 3. Effet de chaque facteur sur la réponse collage

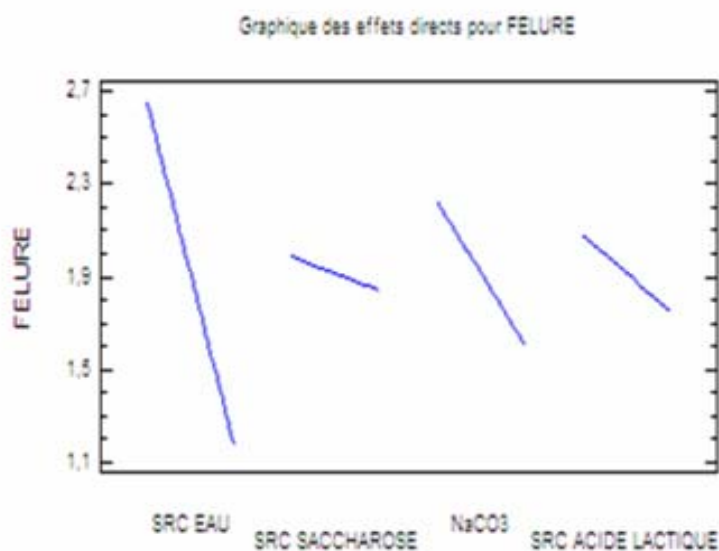


Figure 4. Effet de chaque facteur sur la réponse fêlure

L'analyse de ces figures montre que les facteurs SRC eau et SRC carbonate de sodium ont un effet primordial sur les réponses fêlure et collage.

Ensuite les quatre facteurs utilisés ont été classés par ordre de pertinence:

SRC eau > SRC carbonate de sodium > SRC acide lactique > SRC saccharose

Par ailleurs des tests de validation du modèle ont été réalisés grâce à des essais industriels sur des farines dont les valeurs SRC correspondent aux valeurs proposées par le plan d'expérience théorique (Tableau 2).

Dans les deux cas, collage et fêlure, la comparaison entre les valeurs expérimentales et celles obtenues par notre modèle, respectivement, montre la fiabilité et la robustesse de notre modèle (Figure 5).

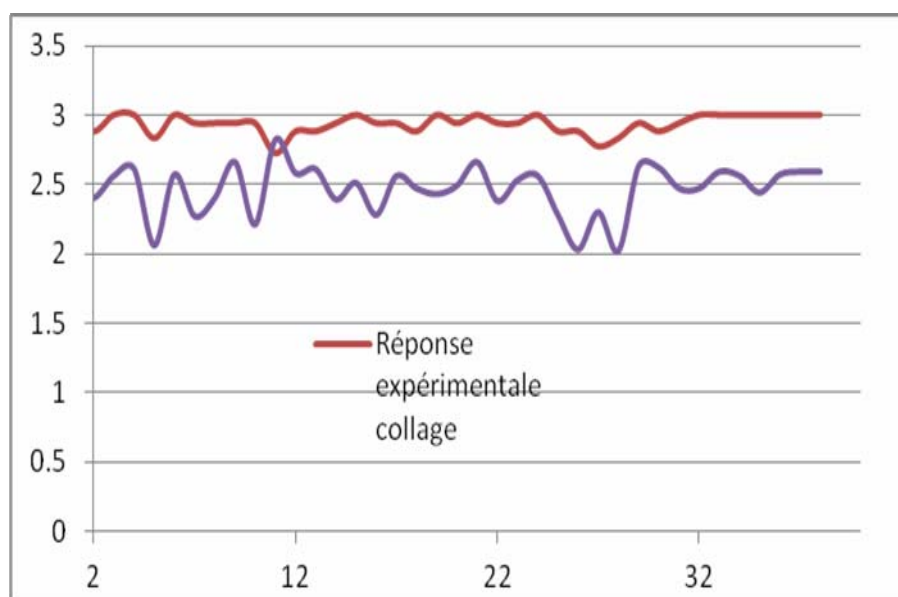


Figure 5. Comparaison des réponses expérimentales et des réponses prédictives par notre modèle

Le Tableau 3 ci-dessous montre la validation du modèle théorique compte-tenu de l'exactitude entre les moyennes des deux modèles.

Tableau 3. Comparaison des moyens arithmétiques collages et fêlure définies par notre modèle et les résultats expérimentaux.

Réponse expérimentale		Réponse modèle	
Fêlure	collage	Fêlure	collage
2,8	2,9	2,8	2,8

Le modèle établi est basé sur l'effet crucial des deux facteurs SRC eau et carbonate de sodium. A cet effet, ces derniers sont fixés afin de tester l'effet d'un nouveau facteur «repos» sur les farines livrées.

En effet, les farines sont stockées dans un local aéré pendant 15 jours, des essais aux laboratoires et des tests de validation industrielle ont été faits permettant ainsi de constater les améliorations ci-dessous :

- Elimination des défauts du collage et de la fêlure au niveau biscuits finis;
- Détermination de l'optimum des SRC eau et SRC carbonate de sodium;

- Augmentation de l'acidité de la farine ayant un effet sur la régularité de la farine en procès.

En plus, la farine en repos génère une grande quantité d'acide linoléique libéré sous l'effet de la lipase sur les lipides de la farine.

Au cours de stockage, l'oxygène favorise la formation de plusieurs liaisons disulfures au niveau des acides linoléiques ce qui accélèrent la maturation.

La Figure 6 illustre l'effet du repos sur l'amélioration des réponses collage et fêlure.

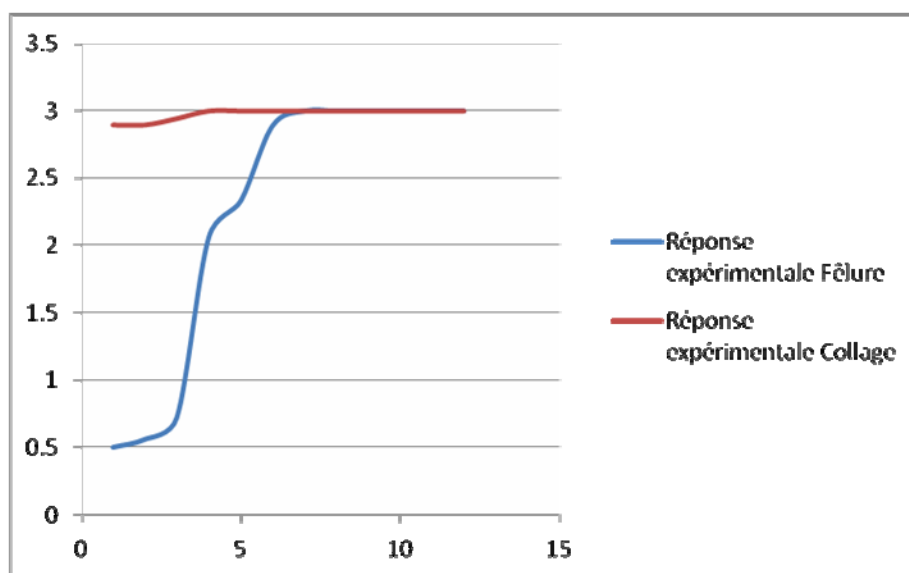


Figure 6. Evolution des défauts collage et fêlure dans le temps (jours) pour les farines en stockage

Ces deux courbes montrent que les défauts du fêlure et du collage des biscuits analysés s'améliorent à partir du 7^{ème} jours. Ensuite, les deux défauts atteignent la note 3 correspondant à l'élimination absolue de ces deux défauts. Ce même résultat demeurent stable jusqu'aux quinze jours.

Egalement, nous avons intégré le repos comme un nouveau paramètre qui a permis d'avoir une stabilité de la farine nécessaire pour avoir une qualité adéquate des biscuits extrudés.

En effet, au cours de stockage de la farine (repos) le phénomène de la maturation se déclenche. Il s'agit des réactions entre les composants de la farine, notamment, les lipides insaturés et l'oxygène. Le total groupement SH présente une grande corrélation avec la qualité des biscuits [16]. Il s'établit des contacts Enzymes-Substrat qui facilitent l'hydrolyse partielle des lipides par la lipase. L'acide linoléique ainsi libéré va, sous l'action de la lipoxigénase (dont l'activité est favorisée en raison du volume d'air important avec lequel il se trouve en contact), être transformé en acide hydroperoxy-octadéca-diénoïque. La réduction de ce constituant entraînerait la formation de liaisons S-S. Par analogie avec l'action des oxydants dans les pâtes, ces réactions provoquent une amélioration des caractéristiques rhéologiques de la pâte et aussi de la qualité des biscuits (Figure 7).

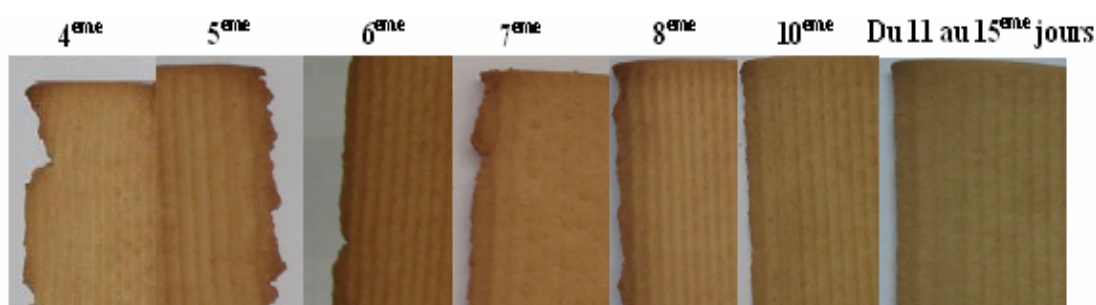


Figure 7. Photos représentant l'amélioration de la qualité des biscuits avec la maturation de la farine utilisée

Ce processus d'oxydation naturelle de la farine a besoin de plusieurs semaines et mois pour se produire. Cela constitue une pratique moderne dans les industries des biscuits. Pour doser au laboratoire ce phénomène de repos, nous avons procédé au test d'acidité grasse des farines pendant les jours du repos.

Effet de l'acidité grasse sur le repos

Les résultats obtenus pendant 15 jours sont illustrés dans la Figure ci-dessous :

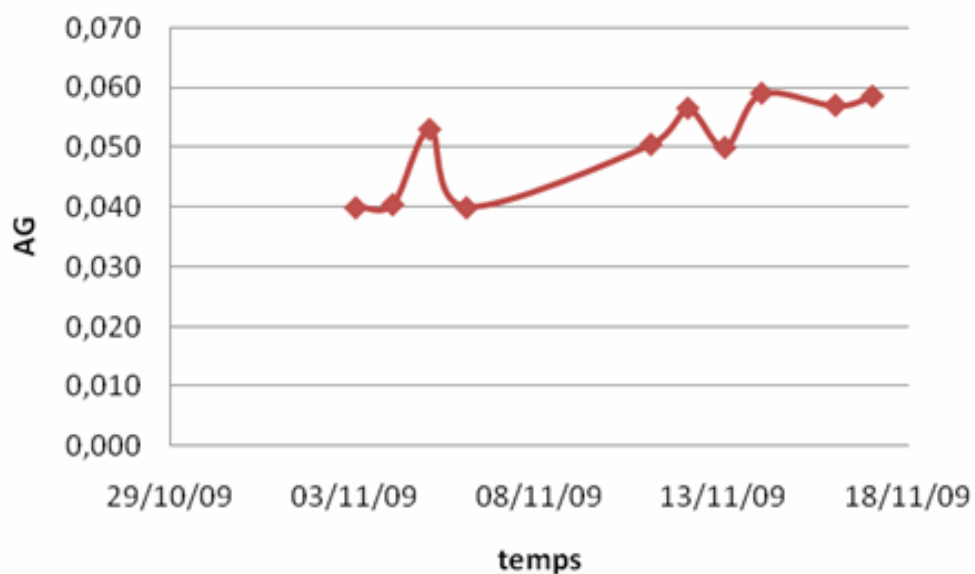


Figure 8. Courbe représentant l'évolution de l'acidité grasse de farine en fonction du repos

D'après la Figure 8, on remarque que l'acidité grasse (AG) de la farine augmente avec le repos. Celle-ci se situe entre 0,04 et 0,06 %. Cette évolution conduit ainsi à la maturation de la farine comme le montrent certains auteurs.

Aussi, la productivité de la ligne d'extrusion a été chiffrée par une efficacité opérationnelle élevée avec augmentation du tonnage de la production (+ 45 %).

CONCLUSION

Les résultats de cette étude nous ont permis de montrer que les facteurs SRC eau et SRC carbonate de sodium influent sur le collage et de la fêlure des biscuits.

Ce modèle a été validé par le plan d'expérience et aussi par des essais industriels.

La validation de notre méthode a été réalisée sur des farines livrées par quatre minoteries différentes.

Par ailleurs, nous avons intégré un autre facteur en occurrence le repos. Ce dernier a permis l'amélioration de la qualité de la farine destinée à la fabrication des biscuits. Le phénomène du repos se caractérise par des réactions d'oxydation des ponts S-S de la farine ce qui améliore la qualité de la pâte.

Compte-tenu des coûts logistiques liées à la surface de stockage à prévoir dans l'entreprise pour avoir la maturation souhaitée de la farine. Une autre étude pourrait être amorcée sur l'utilisation de l'acide ascorbique à une dose de 300 mg/Kg de farine pour accélérer la maturation de la farine.

Ainsi, des recherches pourront être faites pour élaborer un kit pour déduire la qualité du blé biscuitier à l'achat à l'international.

REFERENCES

1. Jaillard, B., Hinsinger, P.: Alimentaion minérale des végétaux dans le sol, in *Ecyclopédie des techniques agricoles.*, **1993**, Vol. 1210, 6;
2. Lal, R.: Soil management in the developping countries, *Soil Science*, **2000**, 165(1), 57-72;
3. Jevšnik, M., Hlebec, V., Raspor, P.: Consumer's awareness of food safety from shopping to eating. *Food Control*, **2008**, 19(8), 737-745;
4. Luning, P.A., Marcelis, W.J.: A techno-managerial approach in food quality management research, *Trends in food science and technology*, **2006**, 17(7), 378-385;
5. Luning, P.A., Marcelis, W.J.: A conceptual model of food quality management functions based on a techno-managerial approach, *Trends in food science and technology*, **2007**, 18(3), 159-166;
6. Luning, P.A., Bango, L., Kussaga, J., Rovira, J., Marcelis, W.J.: Comprehensive analysis and differentiated assessment of food safety control systems: A diagnostic instrument, *Trends in food science et technology*, **2008**, 19(10), 522-534;
7. Motarjemi, Y., Mortimore, S.: Industry's need and expectation to meet food safety, *Food control*, **2005**, 16(6), 523-529;
8. Luning, P.A., Marcelis, W.J.: A food quality management research methodology integrating technological and managerial theories, *Trends in Food Science & Technology*, **2009**, 20(1), 35-44;
9. Pasha, I., Anjum, F.M., Butt, M.S.: Genotypic variation of spring wheats for solvent retention capacities in relation to end-use quality, *LWT - Food Science and Technology*, **2009**, 42(1), 418-423;
10. Menjvar, J.A.: Fundamental aspects in dough reology in: *Dough rheology and baked product texture* (Editors: Faridi, H., Faubion, J.M.): AVI-VAN Nostrand Reinhold, New York, **1990**, 1-28;
11. Razmi-Rad, E., Ghanbarzadeh, B., Mousavi, S.M., Emam-Djomeh, Z., Khazaei, J.: Prediction of rheological properties of Iranian bread dough from chemical composition of wheat flour by using artificial neural networks, *Journal of Food Engineering*, **2007**, 81(4), 728-734.
12. Gaines, C.S.: Report of the AACC committee on soft wheat flours, Method 56-11, solvent retention capacity profile. *Cereal foods world*, **2000**, 45, 303-306;
13. **AACC International**. 2000: Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists, 10th Ed. Methods 22-05, 38-12A, 46-12, 54-30A, 54-40A, 56-11, and 56-70. The Association: St. Paul, MN.
14. Ram, S., Singh, R. P.: Solvent retention capacities of indian wheats and their relationship with cookie-making quality, *Cereal chemistry*, **2004**, 81(1), 128-133;

15. Guttieri, M.J., Bowen, D., Gannon, D., O'Brien, K., Souza, E.: Solvent retention capacities of soft white wheat flours, *Crop science*, **2001**, 41(4), 1054-1061;
16. Graveland, A., Bosveld, P., Marseille, J.P.: Determination of thiol groups and disulphide bonds in wheat flour and dough. *Journal of the science of food and agriculture*, **1978**, 29(1), 53-61.