



Site de Rennes

Formation agroalimentaire

65, Rue de St Brieuc – CS 84215 – 35042 RENNES cedex

Tél : 02.23.48.58.83



RAPPORT DE STAGE EN ENTREPRISE

Etude du collant des pâtes de farine de blé



Remerciements

Je tiens à remercier dans un premier temps, toute l'équipe Recherche et Développement de l'entreprise La Boulangère pour leur accueil, leurs conseils, leur soutien et leur bonne humeur.

Je tiens à témoigner toute ma reconnaissance à Mme Florence Hugon Bodart, responsable de la R&D du groupe **La Boulangère**, pour l'expérience enrichissante et pleine d'intérêt qu'elle m'a fait vivre durant ces mois au sein de l'entreprise La Boulangère, pour son attention, ses enseignements et pour m'avoir intégré rapidement au sein de l'entreprise et m'avoir accordé toute sa confiance ; pour le temps qu'elle m'a consacré tout au long de cette période, sachant répondre à toutes mes interrogations ; sans oublier sa participation au cheminement de ce rapport; ainsi que Mme Eugénie Gaborieau et Mme Anne-Laure Moizan pour leur disponibilité et leurs conseils.

Un grand merci à M. Jérôme Rapin et M. Christian Rambaud, Boulangers R&D, pour m'avoir fait partager un peu de leur art et pour leur bonne humeur sans faille. Ils m'ont tout enseigné sur, comme ils le disent si bien, « la vie de la pâte ».

Je remercie par ailleurs l'équipe qualité au complet pour m'avoir très souvent accueilli au sein de leur laboratoire, ils ont su me conseiller et m'ont beaucoup appris.

Je remercie également Mme Marie-Hélène Famelart (UMR STLO INRA) pour l'aide précieuse qu'elle m'a apportée ; Messieurs Laurent Gauly, Philippe Albert ainsi que l'ensemble du personnel de La Boulangère pour leur accueil sympathique et leur coopération professionnelle tout au long de ces cinq mois et demi.

Glossaire

Acide férulique : acide organique hydrosoluble de formule $C_{10}H_{10}O_4$ présent, lui ou ses esters dans de nombreuses graines comme le riz, le blé, l'avoine. Ce dérivé de l'acide cinnamique participe à la synthèse de la lignine et est un précurseur de molécules aromatiques. C'est par ailleurs le principal acide phénolique dans le blé et le seigle.

BVP : sigle désignant le secteur de la boulangerie-viennoiserie-pâtisserie chez les industriels de l'agroalimentaire.

Fleurage : désigne en boulangerie le fait de déposer de la farine sur une surface en prévision d'un contact avec une pâte. Il peut être fait à la main par le boulanger, ou par des machines spéciales sur les lignes de production et a pour but de prévenir l'adhésion des pâtes.

Hydrocolloïdes : famille de macromolécules hydrosolubles qui, en solution aqueuse, gênent la mobilité de l'eau et déterminent ainsi le comportement rhéologique du produit auquel ils sont additionnés. Ce sont majoritairement des polysaccharides extraits d'algues, de graines ou fabriqués par des organismes vivants.

Lécithine : terme qui désigne les phosphatidylcholines (lipides formés à partir d'une choline, un phosphate, un glycérol et deux acides gras). Il est utilisé par extension pour désigner l'ensemble des phospholipides extraits du vivant (par exemple le soja), dans la mesure où ils sont majoritairement constitués de phosphatidylcholine.

Liaison hydrophobe : type de liaison non covalente unissant deux molécules ou groupements ayant très peu d'affinité pour le solvant dans lequel elles sont. Elles concernent notamment les acides aminés à chaîne latérale non polaire.

Machinabilité : la machinabilité d'une pâte est une propriété physique de celle-ci, en rapport avec sa rhéologie, qui autorise l'utilisation des machines (diviseuse, façonneuse) et un certain degré d'automatisation.

Mono et diglycérides d'acides gras : ou E471, additifs alimentaires fréquemment utilisés en panification comme émulsifiants. Ils sont obtenus par hydrolyse, soit à partir de graisses et produits animaux (panses de bœuf, etc.) soit à partir d'huiles végétales (huile de palme, etc.)

Pâton : morceau de pâte façonné, s'utilise pour désigner tous morceaux de pâte.

Plage de gélatinisation : intervalle de température dans lequel un amidon subit une gélatinisation (gonflement des grains et perte de la structure cristalline). Chaque amidon a sa plage de gélatinisation propre, en fonction de son origine et des traitements dont il a fait l'objet.

Pont disulfure (S-S) : liaison covalente qui se forme par oxydation au niveau des atomes de soufre des fonctions thiol (-SH) de deux cystéines. Elles sont intra ou intercaténaires.

Prise de force : la prise de force, c'est l'évolution physique de la pâte, lors de laquelle la perte d'extensibilité et le gain de ténacité sont constatés

Rhéologie : branche de la mécanique qui étudie l'écoulement ou la déformation des corps sous l'effet des contraintes qui leur sont appliquées

Taux de cendre de la farine : le taux de cendre est la quantité de matières minérales, principalement contenues dans le son et encore mélangées à la farine. Plus la farine est pure, plus le taux de cendres est faible. Ce taux est réglementé par les pouvoirs publics. Une farine très pure par exemple, destinée à la pâtisserie (Type 45) aura un taux de cendre inférieur à 0.5%, tandis qu'une farine complète (Type 110) contiendra entre 1.00% et 1.50% de minéraux du fait de sa teneur élevée en sons.

Références bibliographiques

- Leblanc (2007-2008) ENSMIC – Alimentation humaine – Condensé de cours, Les matières premières [en ligne], consulté le 19/11/2012, disponible http://lamainalapate.asso-web.com/uploaded/Cours2-1_Les%20matieres%20premières.pdf
- Leblanc (2007-2008) ENSMIC – Alimentation humaine – Condensé de cours, Les caractéristiques rhéologiques des pâtes [en ligne], consulté le 19/11/2012, disponible au http://lamainalapate.asso-web.com/uploaded/Cours2_rhéologie.pdf
- Leblanc (2007-2008) ENSMIC (École Nationale Supérieure de Meunerie et des Industries Céréalières) – Alimentation humaine – Condensé de cours, Les Améliorants [en ligne], consulté le 19/11/2012, disponible au http://lamainalapate.asso-web.com/uploaded/Cours2_Les%20additifs.pdf
- Rossignol-Castera (2008), Contexte technologiques des matières grasses alimentaires [en ligne], consulté le 19/11/2012, disponible au http://www.sante.gouv.fr/IMG/pdf/Presentation_lipides_technologique_ITERG.pdf
- A-M. Filloux (2008) Evaluation de la qualité technologique d'une pâte feuilletée. Industries Alimentaires et Agricoles. 2008. Janvier/Février 2008 p. 22-27
- Chene (2001), La Farine 2^{ème} partie [En ligne]. ADRIANOR 12 p. Consulté le 04/01/2013, disponible au <http://goo.gl/WNsWf>
- GHORBEL & B. LAUNAY (1999) Sciences des Aliments 19(1999), Propriétés d'adhésion des pâtes de farine de blé : description et mise en œuvre d'une méthode instrumentale améliorée, Lavoisier, 559-578
- J. Bouton (2001), LES MESURES RHÉOLOGIQUES, COMPLEXES MAIS PAS INSURMONTABLES [en ligne], Mesures n° 736 juin 2001 consulté le 19/11/2012, disponible au http://www.mesures.com/archives/081_086_SOL.pdf
- J-L Doublier (2009), Rappels sur les amidons et la farine de blé, INRA Nantes [en ligne], consulté le 19/11/2012, disponible au http://gmouest.fr/public/Seminaire_III/Presentation_Doublier_sauces_-1.pdf
- J-P. Barreau (2007), Extraction du Gluten : Examen et appréciations [en ligne], Centre de ressources nationales : métiers de l'alimentation, Analyse des farines. Méthodes de laboratoire, consulté le 19/11/2012, disponible au http://www.metiers-alimentation.ac-versailles.fr/IMG/ppt/Extraction_du_gluten.ppt

- L. Levavasseur (2007), SUIVI SIMULTANÉ DE LA CONSOMMATION D'OXYGÈNE ET DE LA CONSISTANCE DES PÂTES DE FARINE DE BLÉ À L'AIDE D'UN PÉTRIN INSTRUMENTÉ (LE SITOXYGRAPHE) : TENTATIVE D'EXPLICATION BIOCHIMIQUE ET RHÉOLOGIQUE. APPLICATION À L'AJOUT DE LACCASES. Thèse de Doctorat : AgroParis Tech [Référence du 03/04/2007]. Disponible au : <http://pastel.archives-ouvertes.fr/docs/00/50/10/11/PDF/2007AGPT0086.pdf>
- N. Haegens , Bread and the Technology of Bread Production, The raw materials [en ligne], consulté le 19/11/2012, disponible au <http://www.classofoods.com/ukindex.html>
- N. Lassoued – Oualdi (2005), Structure alvéolaire des produits céréaliers de cuisson en lien avec les propriétés rhéologiques et thermiques de la pâte : Effet de la composition. Thèse de DOCTORAT : ENSIA (AgroParis Tech) [Référence du 02/12/2005]. Disponible au <http://tel.archives-ouvertes.fr/docs/00/50/08/11/PDF/2005EIAA0155.pdf>
- Ontario Cereal Industry Research Council, OCIRC INDUSTRY DAY AUGUST 17, 2009 INGREDIENT INTERACTIONS, 1.Structured monoglyceride-stabilized oil in water emulsion interactions with flour –Brittany Huschka, 2.Cellulose fiber interactions with starch, gluten and flour-Avi Goldstein [En ligne], consulté le 19/11/2012, disponible au www.ocirc.org/default_files/OCIRC%20Ing't%20Interactions%20august%2015.pdf
- P. Feillet (2000) Le grain de blé. Composition et utilisation. [En ligne] France : éditions INRA Quae [référence du 17 Mai 2000] disponible au : <http://goo.gl/puVG1>
- T.R.A. Magee, G.Neill, (2011) Effects of heat treatment on protein denaturation and starch gelatinisation in wheat flour [en ligne], Athènes Grèce, ICEF 11 (International Congress on Engineering and Food 2011), consulté le 19/11/2012, disponible au <http://www.icef11.org/content/papers/epf/EPF493.pdf>
- W. Kim (2004) Agronomic Effect of Wheat-Rye Translocation Carrying Rye Chromatin (1R) From Different Sources [En ligne] Crop Science. Crop Sci. 44:1254–1258 (2004) Consulté le 03/01/2013, disponible au <http://naldc.nal.usda.gov/download/8463/PDF>

Sommaire

Introduction	1
I. Synthèse Bibliographique	2
1. Le gluten, élément central de la rhéologie* des pâtes	2
1.1. De la farine au gluten	2
1.2. Propriétés	3
2. Le collant : généralités	3
2.1. Définition	3
2.2. Le collant : problèmes posés	4
2.3. Enjeux et intérêt de l'étude	4
3. Le collant : Causes possibles	5
3.1. Les ingrédients	5
a. L'eau	5
b. La matière grasse	6
c. Le sel	6
d. La farine	7
3.2. Les paramètres de procédé	8
e. La maîtrise des temps de pétrissage	8
f. Ordres d'incorporation des ingrédients	8
II. Contexte et problématique	9
1. Le collant à La Boulangère	9
1.1. Politique palm-free	9
1.2. Utilisation de l'huile végétale	9
1.3. Manifestation du collant	9
2. La mission	10
2.1. Recette modèle d'étude	10

III.	Matériels et méthodes	11
1.	Le test gluten	11
2.	La procédure TPA	12
IV.	Résultats et discussion	14
1.	Variations des ingrédients de base	14
1.1.	La matière grasse	14
A.	<i>Aspects qualitatifs</i>	14
B.	<i>Aspects quantitatifs</i>	15
1.2.	La farine	16
2.	Autres ingrédients fréquents	18
2.1.	Le sucre	18
2.2.	L'œuf	19
2.3.	La crème fraîche	20
3.	Variations de procédé	20
3.1.	Températures des ingrédients	20
3.2.	Ordres d'incorporation : Autolyses et prémélanges	21
4.	Essais d'additifs correcteurs	22
4.1.	Les Hydrocolloïdes	22
4.2.	Les amidons	22
4.3.	Les émulsifiants	23
Bilan		24
Conclusion		25
Annexe 1 : La fabrication des produits briochés.		
Annexe 2 : La translocation chromosomique 1B/1R.		
Annexe 3 : Le test de mesure d'extensibilité.		
Annexe 4 : Le raffinage industriel des huiles.		

Table des tableaux

- *Tableau 1 Recette modèle d'étude (Source personnelle).*
- *Tableau 2 Tableau comparatif des différentes matières grasses présentes à La Boulangère (sources fournisseurs).*
- *Tableau 3 Analyse statistique pour le type de matière grasse (Source personnelle).*
- *Tableau 4 Analyse statistique pour la quantité d'huile (Source personnelle).*
- *Tableau 5 Tableau comparatif des trois farines testées (Source fournisseur).*
- *Tableau 6 Résultats des tests gluten pour les trois farines testées (masses en grammes) (Source personnelle).*
- *Tableau 7 Analyse statistique pour le type de farine.*
- *Tableau 8 Analyse statistique pour la teneur en sucre.*
- *Tableau 9 Analyse statistique pour la teneur en œuf.*
- *Tableau 10 Analyse statistique pour la crème fraîche.*
- *Tableau 11 Analyse statistique pour le traitement thermique de la farine.*
- *Tableau 12 Analyse statistique pour la « variation de mode opératoire : ordres d'incorporation ».*
- *Tableau 13 Analyse statistique pour les hydrocolloïdes.*
- *Tableau 14 Analyse statistique pour les amidons.*
- *Tableau 15 Analyse statistique pour la lécithine.*

Table des figures

- *Figure 1 Le Processus de pétrissage (Source : Lalos, 2003).*
- *Figure 2 Les étapes de la vie du gluten lors du pétrissage (Source : <http://www.boulangerie.net>).*
- *Figure 3 Montage de mesure de l'adhérence par arrachement (Source personnelle).*
- *Figure 4 Une pâte qui colle à la cuve du pétrin (Source personnelle).*
- *Figure 5 Diagramme secteurs : exemple de composition d'une farine T55 (Source : <http://www.boulangerie.net/mp/infoblefar.html#ble>).*
- *Figure 6 Evolution de la force (valeur W de l'alvéographe) et de la teneur en protéines des blés entre 1980 et 1996 (Source : http://librairie.immateriel.fr/fr/read_book/9782738008961/e9782738008961_c01).*
- *Figure 7 Brioche tressée BIO La Boulangère (Source : Site www.laboulangere.com).*
- *Figure 8 Le gluten humide intact (Source personnelle).*
- *Figure 9 Le gluten sec (Source personnelle).*
- *Figure 10 Profil d'analyse de texture (TPA) annoté (Source : laboratoire R&D La Boulangère).*
- *Figure 11 Outils utilisés pour mettre en forme la pâte pour le test TPA (Source personnelle).*
- *Figure 12 Le texturomètre Zwick/Roell équipé d'un capteur de 250N (Source personnelle).*
- *Figure 14 Graphique de l'évolution des paramètres dureté et adhésion en fonction du % d'huile dans la pâte (Source personnelle).*
- *Figure 15 Graphique de l'adhésion en fonction de la teneur en sucre (pourcentages en poids de farine) (Source personnelle).*
- *Figure 16 Graphique de l'adhésion en fonction de la teneur en œuf (pourcentages en poids de farine) (Source personnelle).*
- *Figure 17 Formule chimique d'une molécule de carraghénane kappa (Source : <http://tpegelification.e-monsite.com>, formule vérifiée sur biochim-agro.univ-lille1.fr).*

Introduction

Depuis sa création en 1985 par M. et Mme Fillon, artisans boulangers aux Herbiers en Vendée, La Boulangère a connu une expansion rapide. Petite entreprise artisanale, il y a seulement 25 ans, elle dépasse désormais les 120 millions de chiffre d'affaire annuel, emploie plus de 500 personnes et confectionne aussi bien des produits sous sa marque que sous la plupart des marques de distributeurs. La Boulangère SAS est en effet le 4^{ème} acteur sur le marché français de la Boulangerie-Viennoiserie-Pâtisserie et se rattache au Groupe Norac (Daunat, Whaou !, Dessaint, Le Ster notamment). L'activité est déployée sur 3 sites de production : Ouest Boulangère (Les Herbiers, 85), Beaune Brioches (Beaune, 21) et Viennoiserie Ligérienne (Mortagne-sur-Sèvre, 85). La Boulangère contribue par ailleurs activement au statut français de premier exportateur européen de viennoiseries.

S'inscrivant depuis ses débuts dans une démarche privilégiant l'authenticité, la gourmandise et le savoir-faire, l'entreprise véhicule les notions de tradition et de terroir en s'inspirant fortement des recettes de la boulangerie artisanale pour créer des produits adaptés à la demande actuelle, avec les moyens de l'industrie. Néanmoins, l'adaptation des différentes recettes pour correspondre aux exigences de prix, de conservation et de qualité, ainsi que la production sur lignes industrielles soulèvent certains problèmes.

On observe en effet sur le site des Herbiers, et c'est particulièrement le cas depuis la suppression de l'huile de palme, l'apparition de problèmes de pâtes collantes, qui ont pour effet d'entraver le processus productif à différents niveaux et d'en perturber le cours. Véritable cauchemar du boulanger, le collant rend la pâte difficile à travailler et semble être un phénomène multifactoriel fréquent qui implique, entre autres choses, des relations entre ingrédients. La mission qui m'a été confiée consiste justement à étudier ce phénomène de collant sous plusieurs angles, en rapport avec les interactions eau/huile/farine.

Afin d'étudier la question, trois missions principales m'ont été confiées : fixer une recette modèle de pâte témoin et la faire varier, ce qui constituera la base de l'étude, développer des méthodes de mesure sur pâte crue permettant des comparaisons, et pour finir, expérimenter différents ingrédients fonctionnels et évaluer leur efficacité.

Pour présenter de manière globale le travail que j'ai mené pendant 5 mois et demi au sein du service Recherche & Développement de la société, je présenterai dans un premier temps un compte rendu de recherche bibliographique au travers d'une synthèse avant d'explicitier contexte et problématique de l'étude. Dans une 3^{ème} partie seront exposés les méthodes et le matériel employés puis je m'intéresserai enfin à l'analyse et la discussion des divers résultats obtenus.

I. Synthèse Bibliographique

1. Le gluten, élément central de la rhéologie* des pâtes

1.1. De la farine au gluten

a. Définition et composition

Voulant dire « colle » en latin, le gluten est une structure tridimensionnelle protéique insoluble formée lors du pétrissage à partir des protéines de réserve de la farine que sont les gluténines et les gliadines. Ces protéines constituent environ 80% des protéines contenues dans le blé, les 20% restants étant des protéines solubles (albumines et globulines) et se trouvent dans les farines de céréales dites « panifiables » comme le blé et le seigle. Les propriétés technologiques de la farine de blé sont la conséquence de la composition en acides aminés remarquable de ses protéines de réserve.

Les gliadines tout d'abord, ou prolamines sont des protéines monomériques au polymorphisme génétique important. Présentes sous 4 formes dans le blé (α , β , γ , ω), elles sont caractérisées par une forte teneur en glutamine (37 à 56%) et en proline (15 à 30%) mais une faible teneur en acides aminés basiques (0.1 à 0.7%). Elles se singularisent aussi de la majorité des autres protéines par le fait qu'elles associent une faible charge à une forte hydrophobicité, ce qui explique leurs propriétés de solubilité particulières. Les gliadines α et γ peuvent s'associer par des liaisons non covalentes. Elles ont un comportement agrégatif fort prononcé et forment des associations avec les gliadines de haut poids moléculaire (les ω -gliadines).

Les gluténines quant-à-elles présentent une forme allongée et une masse moléculaire importante (500 kDa à 10000 kDa). Elles sont considérées comme responsables de l'élasticité des pâtes boulangères. Les propriétés fonctionnelles des gluténines s'expliquent par leur aptitude à se lier entre elles par des ponts disulfures* formés par oxydation entre chaînes latérales de cystéine et des interactions hydrophobes*. Sur cet ensemble viennent s'additionner les gliadines par des liaisons de faible énergie.

b. Mise en place

Le gluten est mis en place lors de cette étape oxydante qu'est le pétrissage (*fig. 1*). Le travail mécanique de malaxage et l'hydratation sont donc à l'origine de la réorganisation des protéines précurseurs du gluten, préalablement dispersées dans la farine. Le gluten va se réticuler et donner du corps au mélange qui se transforme peu à peu en pâte élastique et bien liée. D'abord en forme de « pelotes »(1), les protéines se « déroulent »(2) mécaniquement puis commencent à créer un réseau de fibres alignées(3) (*fig. 2*), qui deviendra ensuite de plus en plus résistant et de plus en plus lié sous l'effet du mouvement du bras pétrisseur.

*Voir Glossaire

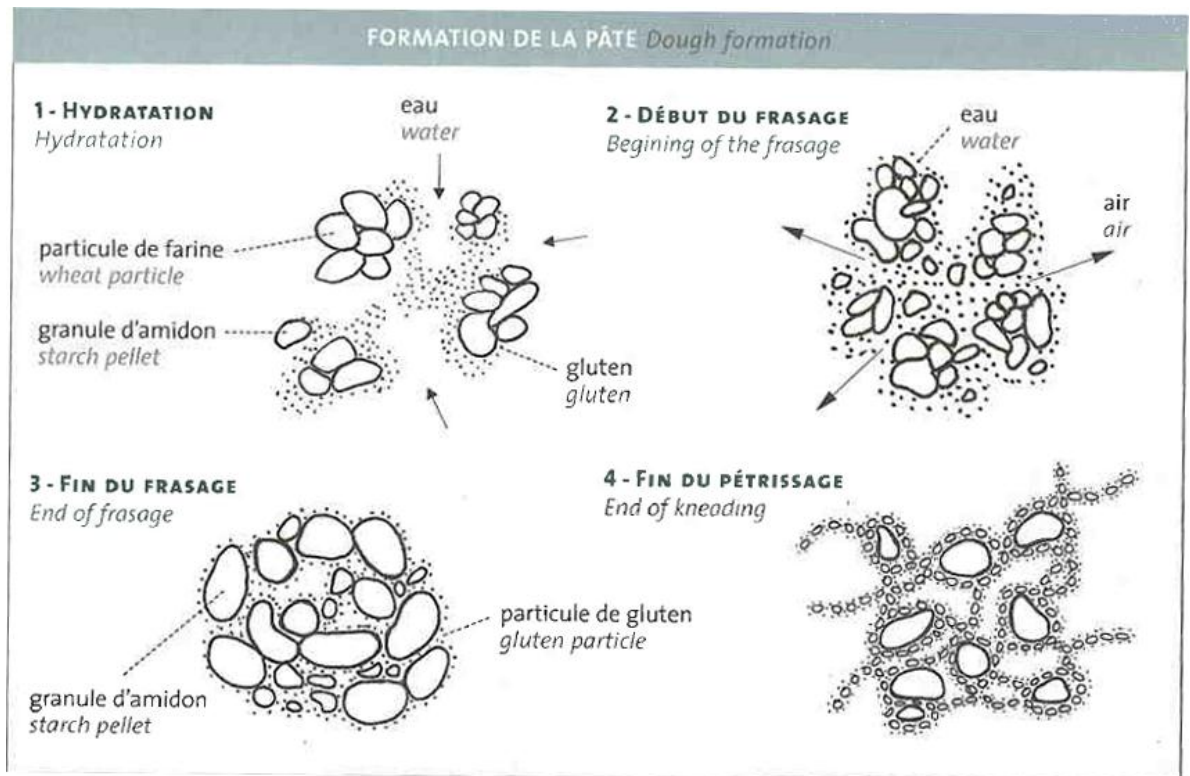


Figure 1 Le Processus de pétrissage (Lalos, 2003)

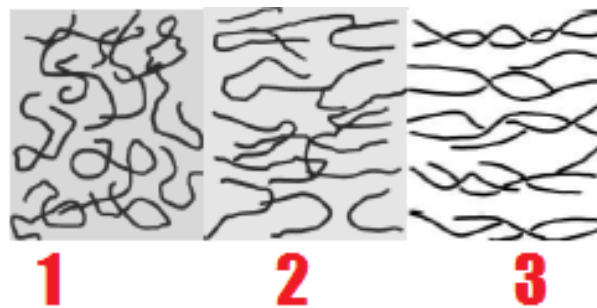


Figure 2 Les étapes de la vie du gluten lors du pétrissage (Source : boulangerie.net, 2012)

1.2. Propriétés

Le résultat en sortie de pétrissage est une pâte lisse, élastique et souple en même temps. Plusieurs modèles structuraux ont été imaginés pour expliquer les propriétés fonctionnelles de ce réseau; celui d'Ewart (The glutenin macropolymer of wheat flour doughs: structure function perspectives, 1999) explique l'élasticité du gluten par la cassure des ponts disulfure entraînant un allongement des gluténines et la reformation des ponts qui permet un retour à la forme initiale.

Les pâtes de farine de blé présentent ainsi un comportement rhéologique de type viscoélastique complexe mêlant les propriétés d'un fluide visqueux à celles d'un solide élastique, ce qui les rend aptes à développer au four et lors de la fermentation, c'est-à-dire à gonfler et prendre du volume sans déchirer, ce qui assure l'alvéolage et la légèreté de la mie ; l'imperméabilité du gluten aux gaz aidant.

Le gluten, par ailleurs, a la capacité d'absorber et de retenir 2 à 3 fois son poids en eau (en comparaison, l'amidon absorbe le tiers de son poids en eau et l'amidon endommagé une fois son poids), d'où son importance dans la cohésion des pâtes, et par-dessus tout dans le collant. Notons au passage que la capacité d'absorption en eau d'une farine détermine le rendement en produits : plus elle est élevée, plus la quantité de pain obtenue avec la même quantité de farine est élevée. Bien sûr, le gluten retient aussi dans ses mailles le constituant principal d'une pâte : les granules d'amidon gonflés.

Seulement, les choses ne se passent pas toujours comme souhaité et il arrive que le pétrissage aboutisse à une pâte qui, pour une raison ou pour une autre, pose problème. Un des soucis les plus fréquents, facilement contournable dans un contexte domestique mais particulièrement problématique quand il s'agit de production industrielle de masse (La Boulangère tourne en trois-huit, sept jours par semaine, sur plusieurs lignes en même temps) est Le Collant.

2. Le collant : généralités

2.1. Définition

Le collant est une propriété des pâtes traditionnellement appréciée par contacts successifs et réguliers entre le dos de la main (au niveau des doigts) et la pâte. La quantité de pâte restant collée aux doigts et la force requise pour arracher la main déterminent l'intensité du collant. Ce caractère est toujours jugé en excès. L'absence d'adhérence est le caractère voulu et recherché.

Cependant, n'ayant pas la main d'un boulanger et ayant besoin de chiffres à comparer, il a bien fallu formaliser cette notion de collant et la rattacher à une grandeur quantifiable. La première idée qui m'est venue était une mesure d'arrachement, comme celles effectuées pour mesurer la tension superficielle de solutions liquides (*fig. 3*). Seulement, après plusieurs essais infructueux, la méthode s'est révélée être aléatoire et trop peu précise car dépendant directement de l'opérateur. J'ai dû alors me tourner vers la mesure de texture automatisée et la rhéologie.

Le collant est traduit en rhéologie par le paramètre Adhésion (ou Adhérence, Stickiness, Tackiness dans la littérature), il correspond alors à l'énergie nécessaire à décoller un produit d'une paroi. Celui-ci est mesurable, nous le verrons plus tard, comme la force subie par la sonde d'un texturomètre en cours de remontée (ce qui revient à faire une mesure d'arrachement mais de façon précise et automatisée) lors d'une mesure en double compression.

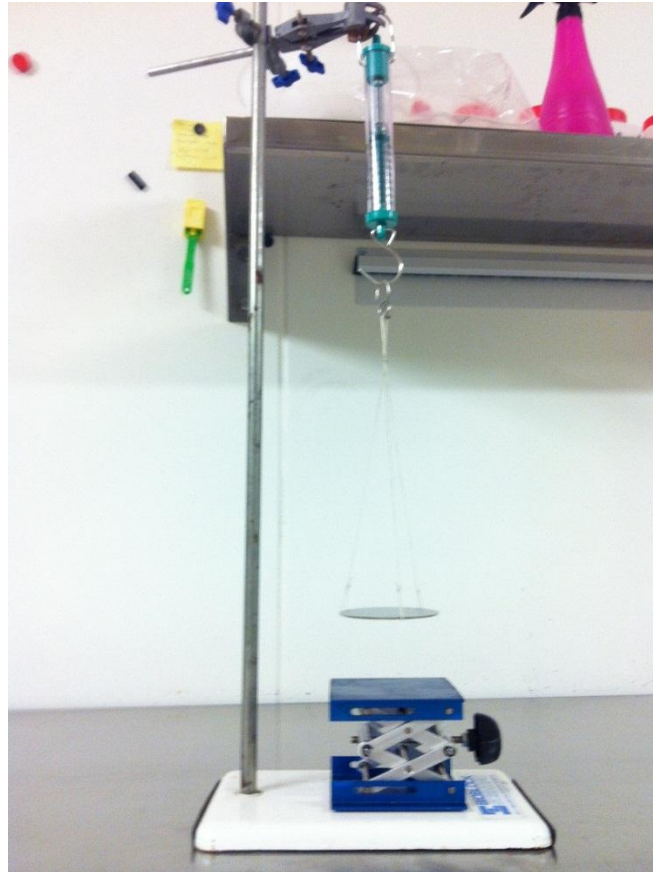


Figure 3 Montage de mesure de l'adhérence par arrachement : constitué d'un boy et d'un dynamomètre relié à une plaque métallique.

2.2. Le collant : problèmes posés

Dans les industries de cuisson des céréales (panification et biscuiterie en particulier), les opérations de mise en forme et de transfert des pâtes peuvent être ralenties, voire parfois empêchées, par un excès d'adhésion des pâtes aux matériaux en contact avec elles (*fig. 4*). En outre un tel excès peut provoquer un encrassement accéléré des équipements. De nombreux facteurs interviennent dans l'adhésivité des pâtes : leur **formulation** (la teneur en eau, mais aussi la présence d'autres ingrédients, tels que les sucres et les matières grasses, et de certains additifs oxydants et réducteurs, ou d'enzymes amylolytiques ou protéolytiques), **les conditions de pétrissage et la température** (MARTIN et STEWART, 1986a ; SELVA-RAJ et al., 1986a, 1986b, 1990 ; DHALIWAL et al., 1988, 1990 ; DHALIWAL et MACRIT-CHIE, 1990 ; BARNES, 1990 ; FENN et al., 1994 ; HUSSAUN et al., 1997).

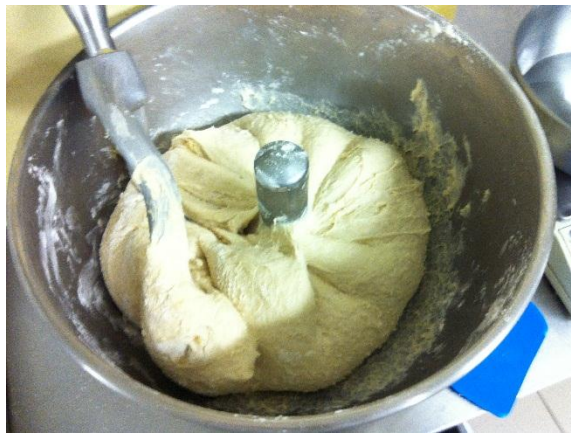


Figure 4 Une pâte qui colle à la cuve du pétrin

En effet l'adhésion des pâtes aux équipements modernes automatisés engendre de nombreuses difficultés : interruption de la production, pertes considérables et contamination du matériel, ce qui peut en faire un facteur limitant à l'échelle industrielle. Il apparaît donc que l'étude et la compréhension de ce phénomène comporte des enjeux importants et peut déboucher sur des applications intéressantes. En somme, un excès de collant de la pâte affecte fortement sa machinabilité* et handicape le processus productif.

2.3. Enjeux et intérêt de l'étude

Il faut tout d'abord noter que la connaissance des facteurs contrôlant **l'adhésion des pâtes de farine de blé** est encore très limitée, contrairement à d'autres domaines, comme l'industrie des polymères, où ce phénomène a fait l'objet de nombreux travaux. L'étude des interactions entre les propriétés rhéologiques, thermodynamiques et de surface a permis une meilleure compréhension des mécanismes contrôlant l'adhésion dans les systèmes constitués de *polymères* (Gent & Schultz, 1972 ; Aubrey, 1979 ; Kinloch, 1987 ; Sandars, 1992 ; Yang 1995); une analogie peut être établie entre les comportements de pâtes collantes et les adhésives PSA (Pressure Sensitive Adhesives) qui se caractérisent, tout comme les pâtes de farine de blé par une viscosité moyenne de type viscoélastique. Kinloch (1987) a montré que l'adhésion des PSA (et donc celle des pâtes) ne dépend pas seulement des propriétés de surface du matériel mais résulte également des propriétés rhéologiques et de surface de l'adhésif ainsi que des caractéristiques de la surface « support ». Cependant, de nombreuses études relatives aux industries alimentaires insistent sur le rôle joué par

un composé hydrosoluble spécifique provenant de la farine, qui perd sa capacité à produire des pâtes collantes après saponification. La spectrométrie de masse a montré que ce composé qui absorbe dans l'UV était en fait de **l'acide férulique* (trans)** associé à un **polymère de glucose** (Mixed-Linkage β -glucan). L'élimination de ce composé semblerait résoudre le problème de l'adhésion de la pâte (*Chen et Hosseney, 1995 ; W.N. Huang et Hosseney, 1999*). L'acide férulique est en fait un phénol antioxydant susceptible d'interférer avec la formation du gluten.

L'étude du collant dans l'industrie de la viennoiserie (brioches, pains au lait..) s'avère, en revanche, être bien plus délicate vue la **complexité des recettes** (jusqu'à une quinzaine d'ingrédients pour certaines recettes, chacun apportant un ensemble de molécules agissant sur les mécanismes du collant dans la pâte), la **diversité des ingrédients utilisables** (des différences de collant sont observées avec le même ingrédient de deux fournisseurs différents), et des **paramètres de procédé** (vitesses et temps de pétrissage, durée des fermentations, température et humidité dans l'usine, températures et ordres d'incorporation des ingrédients...etc.).

Une grande diversité de causes s'offre donc à nous, le but étant avant tout d'aboutir à une meilleure compréhension du collant, pour mieux l'appréhender par la suite et mieux l'éviter. Les propriétés mécaniques des pâtes étant corrélées à la qualité des produits finis, il s'agit aussi d'améliorer le processus productif pour avoir des meilleurs produits.

3. Le collant : Causes possibles

Commençons tout d'abord par identifier clairement les causes possibles de l'adhésion d'une pâte laboratoire, en gardant à l'esprit ce qui a pu être observé par les responsables de la Production et de la R&D sur lignes (Voir Annexe 1). Vraisemblablement, ces causes sont de deux types : premièrement, la formulation et les ingrédients employés, avec toutes les caractéristiques qui leurs sont propres, liées à leur mode de production et les traitements divers qu'ils ont subi depuis, et deuxièmement, les paramètres de procédé.

Une multitude de choses, sont donc soupçonnées de générer, ou au moins d'interférer avec le collant dans une pâte « laboratoire » simple contenant de la farine, de l'eau, de l'huile et du sel. Un point important et qui revient souvent dès qu'il s'agit de défauts de texture de pâte est le gluten, du fait de son incidence décisive sur ses propriétés. C'est en effet, comme dit précédemment, la matrice qui retient tous les ingrédients ensemble et limite la mobilité de l'eau.

3.1. Les ingrédients

Les propriétés intrinsèques (la composition chimique, la provenance, le circuit dont ils sont issus, les traitements dont ils ont fait l'objet lors de la fabrication...) ainsi que le dosage de chacun des ingrédients a un impact sur la pâte obtenue.

a. L'eau

L'hydratation est sûrement la plus évidente des causes du collant, les pâtes molles (très hydratées) sont plus difficiles à travailler ; elles sont collantes, fragiles et moins plastiques. Une farine dont le potentiel d'hydratation est dépassé va tendre vers un comportement liquide. De surcroît, l'excès d'eau semble créer un effet de dilution qui ne favorise pas le développement du réseau gluténique. En effet, le cisaillement et la compression, nécessaires à l'extension des protéines et provoqués par le pétrissage, ne sont pas efficaces car moins intenses en milieu trop fluide.

Moins on mettra d'eau, plus la pâte aura de tenue et de cohésion ; cependant, les impératifs de production imposent de trouver un juste milieu ; un taux d'hydratation suffisamment élevé pour que la pâte développe bien au four et donne lieu à un produit moelleux et volumineux, mais tout en gardant une bonne texture de pâte, suffisamment tenace et peu collante. En conclusion, l'eau détermine en grande partie les propriétés rhéologiques de la pâte et doit être dosée de manière précise. Le collant est par ailleurs fonction croissante de la température de l'eau utilisée, du fait de la viscosité apportée.

b. La matière grasse

Ayant un effet visible sur la consistance et la cohésion des pâtes, elle a également été soupçonnée d'être impliquée dans le collant. Qu'elle soit solide ou liquide, animale ou végétale, les recherches ont montré qu'elle avait effectivement un impact sur la rhéologie des pâtes du fait des interactions qu'elle entretient avec l'amidon de la farine et de son effet lubrifiant. Il semble en effet que la matière grasse se comporte différemment selon son profil en acides gras. L'amidon de blé forme des complexes avec les acides gras (appelés Amidon V) selon les modalités suivantes :

- La présence d'acides gras à courte chaîne (C4-C6) permet d'augmenter l'hydratation des complexes (et de ce fait de diminuer la plage de gélatinisation*).
- La présence d'AG à chaîne moyenne (C10-C16) donne des complexes forts avec l'amidon et diminue le gonflement des grains.
- La présence d'AG à longue chaîne (C18 et plus) forme des complexes très stables et augmente la plage de gélatinisation, entraînant de ce fait une diminution de la viscosité des empois. Ces interactions fortes empêchent que les hélices simples de l'amylose ne se mettent sous la forme de double hélice, et ne donnent des zones de jonction étendues propices à la rétrogradation de l'amidon. Ces associations peuvent être utilisées comme antirassissant (*Polysaccharides alimentaires, Rhéologie de l'amidon. biochim-agro.univ-lille1.fr, 2012*).

Des différences de collant ont également été observées en production entre pâtes contenant le même type d'huile (Colza ou Tournesol), et entre huile standard et huile Bio. Enfin, la température à laquelle se trouve la matière grasse modifie le collant, vu qu'elle détermine en partie la température finale de la pâte et sa viscosité.

Ainsi, selon la source et le type de la matière grasse utilisée, des pâtes aux propriétés d'adhésion différentes sont obtenues.

c. Le sel

Ayant une grande affinité pour l'eau, il est habituellement ajouté plutôt en fin de pétrissage (3min avant la fin en ce qui nous concerne), la décoloration de la pâte est ainsi plus forte et la prise de force* plus marquée (développement de la structure gluténique favorisée) ; **les phénomènes de collant sont en outre diminués.**

Le sel donne aux pâtes une plus grande fermeté et une meilleure élasticité (formation de liaisons de type ionique → meilleure stabilité des protéines et meilleure résistance du gluten,

aptitude à la rétention gazeuse accrue). Il contribue à une plus forte hydratation du fait de son comportement vis-à-vis de l'eau, freine l'action des levures (quand il y en a), améliore le goût du produit et agit sur sa conservation (en baissant l' a_w).

d. La farine

Commençons par nous intéresser à la composition de cet élément (*fig. 5*). La farine est constituée de fines particules d'albumen amyloacé de blé (30 à 200 μm). Elle semble avoir une importance capitale pour étudier l'adhérence des pâtes.

Le blé qui a servi à faire la farine, la variété dont il est issu, les conditions de culture et de climat dans lesquelles il a poussé vont déterminer une bonne partie de la composition chimique et donc de la qualité technologique d'une farine destinée aux industries de la panification. Les problèmes de collant sont en effet plus récurrents certaines années, et dépendent vraisemblablement des livraisons.

Ensuite, la durée et les conditions de stockage de la farine (température, humidité...) vont modifier considérablement certaines de ses propriétés. Un stockage en environnement chaud ou trop humide, en plus de présenter un risque sanitaire majeur, conduit à une dégradation rapide de la qualité de la farine par l'effet de ses propres enzymes (la température et l'humidité influencent la cinétique et l'activité enzymatiques). L'ADRIANOR conseille de stocker la farine à une température constante (15-18°C) dans un environnement sec (65% d'humidité relative), La farine ayant besoin d'un temps de repos avant utilisation (appelé « temps de plancher »). Meilleures seront les conditions de son stockage, et plus elle sera stable (le vieillissement de la farine augmente sa ténacité par l'oxydation des protéines du gluten, la conséquence est une augmentation de l'hydratabilité).

Par ailleurs, le taux de protéines varie d'une farine à l'autre et il existe des farines à fort taux protéique dites farines de gruau (ou farines de force). Seulement, cette valeur n'a de réel intérêt, lorsqu'on travaille avec des pâtes levées, que lorsque l'on a également le taux de protéines insolubles (gliadines et gluténines) ; le reste des protéines (albumines, globulines) n'ayant pas de réel intérêt technologique. Logiquement, plus la farine contient de protéines insolubles, et plus le réseau formé sera dense, les gluténines ayant la première importance dans la panification. Cependant, un autre critère important est la qualité de ces protéines et leur capacité à se combiner pour former un réseau viscoélastique efficace. Il a en effet été prouvé que l'adhésivité des pâtes était étroitement liée au taux de groupes -SH (thiol) dans les protéines de la farine, sachant que ce sont les ponts disulfure qui font le lien le plus fort entre les « fibres » du gluten. De même, le taux de protéines d'une farine donnée est fonction des conditions climatiques de l'année de culture (*fig. 6*).

En outre, le stockage de la farine sur le site de production est aussi important. Il doit se faire dans un silo isolé. On observe à La Boulangère, lors des périodes de froid extrême (-10°C lors de l'hiver 2011 aux Herbiers) ou de chaleur excessive en été, l'apparition de pâtes collantes car il faut alors contrebalancer la farine trop chaude ou trop froide par une eau froide ou chaude, pour arriver à une température de pâte raisonnable (23-26°C). C'est une tâche très compliquée vu le nombre de recettes existantes et la multiplicité des ingrédients dans chacune d'elles.

Concernant les farines biologiques (La Boulangère a lancé en premier les produits de viennoiserie certifiés Bio), les variétés de blés utilisées en agriculture biologique sont des souches sélectionnées pour leurs propriétés de résistance aux adventices et aux maladies, au profil génétique

Composition d'une farine T55 (%)

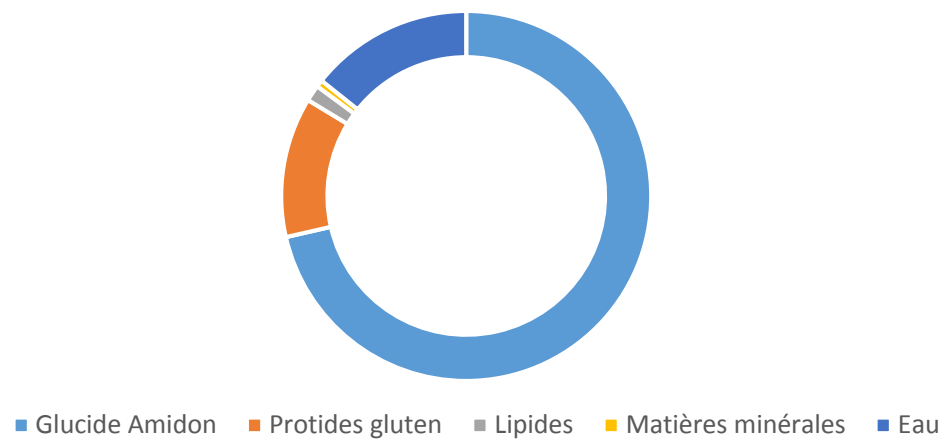


Figure 5 Diagramme secteurs : exemple de composition d'une farine T55 (Amidons 70%, eau 14%, protéines du gluten 12%, lipides 1,4%, minéraux 0.6%). (Source personnelle).

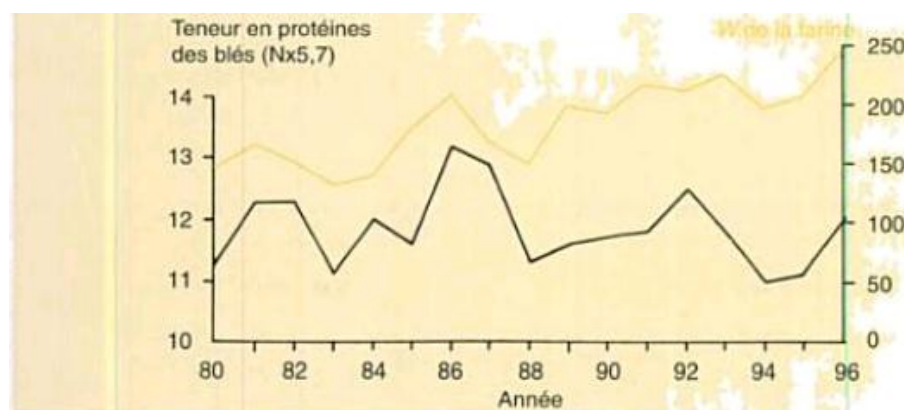


Figure 6 Evolution de la force (valeur W de l'alvéographe) et de la teneur en protéines des blés entre 1980 et 1996



Figure 7 Brioche tressée BIO La Boulangère (Source : laboulangère.com)

légèrement différent de celui des variétés cultivées dans le circuit conventionnel. L'exemple qui revient souvent est celui des blés à destination du Bio portant la **translocation chromosomique 1B/1R (ou 1BL/1RS)** destinée à augmenter la valeur agronomique, le rendement et la résistance aux maladies. Cependant les farines issues de ces blés ont tendance à être collantes et très difficiles à travailler (S.M. WANG, B.M. WATTS, O.M. LUKOW, L. SCHLICHTING, and W. BUSHUK, 1996). C'est le cas des variétés de blé contenant du génome de la variété Verry's. C'est la raison pour laquelle la variété (ou le mélange variétal) ayant servi à faire la farine est un point clé dans la fabrication d'une pâte de qualité, car le génome des plants détermine en grande partie la qualité des grains (Voir Annexe 2).

3.2. Les paramètres de procédé

Tous ne seront bien sûr pas traités, seuls deux seront évoqués. Le premier car il semble être d'une importance capitale et le second car il semble particulièrement intéressant du point de vue de l'étude des interactions et de leurs modalités.

a. La maîtrise des temps de pétrissage

Le pétrissage conditionne pour beaucoup la qualité d'une pâte briochée. Il texture la pâte et met en place le réseau glutineux. Notons que les différents types de pétrins existants (bras plongeants – ARTOFEX, axe oblique, spirale, double spirale...) associés aux différents diagrammes de pétrissage possibles (vitesses, durée de travail et de repos) conduisent à une grande diversité de productions réalisables.

Le boulanger, tout d'abord, doit avoir une parfaite maîtrise du processus de pétrissage (c'est une des raisons pour laquelle le pétrissage de toutes les pâtes est effectué et supervisé par une équipe de boulangers), et notamment les durées et températures de pâtes finales. Le boulanger doit pouvoir se rendre compte de l'état d'avancement du pétrissage et de développement du gluten simplement en regardant, en touchant la pâte, ou en écoutant les bruits qu'elle produit (une pâte proche de l'optimum de pétrissage produit des petits claquements indiquant que le gluten est bien formé et capable de retenir les bulles de gaz). Il faut savoir qu'une pâte sur-pétrée est une pâte qui se « relâche » et qui n'a plus de tenue, elle va chauffer (jusqu'à plus de 30°C en fin de pétrissage) et se déstructurer ; tandis qu'une pâte sous-pétrée aura un gluten mal formé et manquera de lissage, elle sera incapable de retenir les ingrédients ensemble. Dans les deux cas, on obtient des pâtes plus collantes que prévu.

b. Ordres d'incorporation des ingrédients

L'ordre d'incorporation des ingrédients est pris en compte lorsqu'il s'agit de pétrir une pâte. Le sel est par exemple toujours ajouté en fin de pétrissage par les boulangers à La Boulangère tandis que le reste des ingrédients est habituellement mélangé au tout début, mis à part quelques rares exceptions. On observe néanmoins certaines pratiques comme l'autolyse, qui consiste, dans l'optique d'obtenir une pâte et un produit de meilleure qualité, à mélanger l'eau et la farine avant le pétrissage et à laisser reposer le tout pendant une durée choisie pouvant aller jusqu'à plusieurs heures. Les enzymes naturelles (protéases et amylases) de la farine effectuent alors un travail de lyse sur ses constituants, l'effet attendu étant un gain d'extensibilité et de facilité de façonnage (entre autres). Nous reviendrons plus tard sur l'intérêt de l'autolyse pour ce qui est de notre étude.

II. Contexte et problématique

1. Le collant à La Boulangère

La société La Boulangère rencontre depuis quelques temps des problèmes de pâtes très collantes qui provoquent entre autres des soucis de micro-arrêts de production fréquents, car les opérations de transfert des pâtons* des tapis de convoyage vers les moules sont suivies par une étape qui vérifie de manière automatique que tous les emplacements sont bel et bien occupés chacun par un pâton, et si ce n'est pas le cas, la plaque concernée est alors mise en attente de l'arrivée d'un opérateur. S'ajoute à cela l'encrassement marqué des équipements (donc risques microbiologiques).

1.1. Politique « palm-free »

Dans le cadre de sa politique qualité et authenticité, après avoir éliminé les huiles végétales hydrogénées (problématiques des acides gras trans), et pour mieux répondre aux exigences des consommateurs, La Boulangère s'est engagée il y a quelques années dans une démarche de suppression de l'utilisation de la matière grasse de palme. Très utilisée auparavant, elle a progressivement été remplacée par des huiles végétales (colza et palme) seules ou complétées par du beurre concentré.

Le palme, pourtant un excellent ingrédient de par ses propriétés technologiques (goût neutre une fois raffiné, bonne conservation, bonne stabilité à la cuisson et texture solide appréciable sans hydrogénation) a mauvaise réputation auprès du public. Celui-ci a tendance à l'accuser de tous les torts (obésité et maladies cardiovasculaires, déforestation sauvage, menace pour la biodiversité) à tel point que même le palme certifié durable a aujourd'hui du mal à trouver un acheteur. Le palme, ingrédient solide à température ambiante ayant une température de fusion se situant entre 35 et 42°C, se comporte exactement comme le beurre (Il y a bien moins de problèmes de collant avec le beurre). L'introduction de l'huile végétale a ainsi marqué le début des problèmes de collant sur certains produits « La Boulangère », qui restent à clarifier.

1.2. Utilisation de l'huile végétale

L'utilisation des huiles végétales s'explique aussi par les prix élevés du beurre dans un contexte industriel extrêmement concurrentiel et des clients de plus en plus exigeants sur les prix de vente. Cet ingrédient cher représente jusqu'à 40% du prix de revient d'un croissant aujourd'hui.

1.3. Manifestation du collant

Le collant s'observe à des degrés différents sur des recettes relativement diverses mais est récurrent et marqué en ce qui concerne les recettes de brioche tranchée Bio, et certaines recettes de pain au lait 100% huile végétale. Notez que certaines recettes 100% matière grasse végétale liquide ne collent bizarrement pas du tout (serait-ce un effet de dose ?).

2. La mission

Ma mission consiste à étudier les bases du collant, en prenant en compte les ingrédients incorporés et le mode opératoire suivi. Nous nous intéresserons plus spécifiquement aux aspects biochimiques et aux interactions entre les composants de la pâte.

Il s'agit d'abord de mettre au point, en adaptant des techniques existantes au matériel présent aux laboratoires R&D et qualité, des moyens de mesure fiables sur pâtes crues qui permettent de quantifier le collant et de récolter des informations sur la pâte. Le but est de pouvoir se rendre compte de ce qui a un effet positif ou négatif sur le collant à partir de comparaisons.

Ensuite, je ferais fluctuer la formulation d'une pâte dite « basique » (Eau, Huile, Farine & Sel) en mesurant l'impact de chacun des changements, avant d'étendre l'étude à d'autres ingrédients soupçonnés d'intervenir dans les mécanismes du collant.

Enfin, avec les résultats obtenus en tête, sera testée l'efficacité de divers ingrédients fonctionnels qui semblent intéressants avant de focaliser mon travail sur la recette la plus collante produite sur le site des Herbiers, pour essayer de la corriger.

2.1. Recette modèle d'étude

Afin de mener mon étude sur le collant, il a été convenu que je commence par formuler une recette modèle. Le but est d'avoir accès aussi simplement que possible à des informations concernant les bases du collant, c'est-à-dire la manière dont celui-ci est généré sur toutes les pâtes, même les plus simples, toujours en rapport avec les relations qu'entretiennent les composants de la farine avec l'eau et l'huile. Une recette simple donc, avec le minimum d'ingrédients possible pour éviter d'éventuelles interférences ; et rapide, pour ne pas perdre de temps.

Ainsi, après plusieurs tests, la recette « pâte laboratoire » (*Tab. 1*) a été retenue. Elle est effectuée sur un petit pétrin à axe oblique de marque VMI, avec le diagramme de pétrissage suivant : 5 minutes de frassage + 6 minutes de pétrissage. Le pétrin est équipé de deux minuteurs digitaux et opère le basculement entre frassage et pétrissage de manière autonome. Bien sûr, j'ai veillé à ce que les vitesses de rotation de la cuve et du bras de la machine ne changent pas d'un essai à l'autre. Le sel est ajouté à exactement 3 minutes de la fin du pétrissage. On s'assure aussi que les températures des ingrédients principaux (farine, eau, huile) sont à peu près constantes d'une série d'essais à une autre et on les note (tout comme sont notées la température de la pâte obtenue et l'heure de la fin du pétrissage).

Le résultat est une pâte qui colle peu, mais à laquelle on va faire subir une batterie de tests afin d'observer comment la modification de certains paramètres influence son comportement, toujours du point de vue du « collant ».

Remarquez que la pâte ne contient pas de levure ; c'est un choix délibéré qui permet d'avoir davantage de flexibilité dans l'exécution des essais et de réduire la contrainte temps. En effet en supprimant la levure de la recette, on peut faire plusieurs pâtes à la suite (je travaille sur un seul pétrin pour obtenir un pétrissage inchangé), sans s'inquiéter de l'évolution des premières. La levure en effet est le principal ingrédient responsable des changements de structure de la pâte (aération, gain de volume et de légèreté).

Tableau 1 Recette modèle d'étude

ingrédient	Quantité (g)	% par rapport à la farine
Farine Type55	2000	100
Eau	1020	51
Huile de colza	400	20
sel	50	2.5

III. Matériels et méthodes

N'ayant pas l'œil ou la main d'un boulanger, et vu la nécessité de pouvoir effectuer des mesures chiffrées et des comparaisons, il m'a fallu trouver des méthodes de mesure sur pâte crue.

1. Le test gluten

a. Utilité et principe

Comme vu précédemment, le gluten est un élément central lorsqu'il s'agit de collant et il est très intéressant de pouvoir mesurer directement sa formation et la quantifier à partir de la pâte. De même en panification, comparer des farines différentes, sur la base de leur aptitude à former du gluten, peut largement influencer l'acte d'achat indépendamment des chiffres fournis par les meuniers.

En partant du postulat selon lequel les propriétés de rétention d'eau d'une pâte sont conditionnées par la formation d'un réseau de gluten de qualité et en quantité, et sachant que ce processus ne dépend pas uniquement du taux protéique de la farine (fourni par les meuniers), il devient alors très intéressant d'estimer la quantité de protéine mobilisée lors du pétrissage pour effectivement former du gluten utile.

La méthode de mesure concernée consiste en une extraction du gluten dit humide de la pâte (*fig. 8*), suivie par un séchage complet pour arriver au résidu de gluten sec, qui correspond à la quantité de gluten initialement présente dans la pâte. Il suffit alors de peser le résidu ainsi obtenu (*fig. 9*) et de comparer le chiffre obtenu avec la masse du pâton initial. C'est la même suite d'opérations qui est effectuée de manière automatisée par l'appareil Glutomatic. Cela donne accès à un chiffre qui représente un aspect essentiel de la qualité boulangère de la farine, indépendamment de ce qu'avancent les meuniers.

b. Protocole expérimental

- Le test est fait sur un pâton de 40g, récupéré sur la pâte en fin de pétrissage et pesé avec autant de précision que possible (erreur 0.1g)
- Le pâton est ensuite lixivié* sous un filet d'eau tiède (~20-25°C), pendant 3 à 5 min jusqu'à ce que l'eau qui s'en dégage devienne limpide. Il s'agit d'éliminer tous les éléments solubles (principalement l'amidon, les sucres et les protéines hydrosolubles) afin d'obtenir un résidu protéique insoluble le plus pur possible, qui représente notre gluten (les protéines de réserve du blé, les gliadines et gluténines). Le résidu est grisâtre, souple, compact et particulièrement élastique, à l'apparence proche de celle d'un chewing-gum, et contient toujours quelques traces de lipides.



Figure 8 Le gluten humide intact.



Figure 9 Le gluten sec.

- Le résidu de gluten est séché délicatement sur un tissu, puis découpé en fines lamelles (c'est la manière testée qui permet le séchage le plus franc et le plus rapide) réparties sur la surface d'une coupelle en aluminium que l'on pèse. C'est la mesure de « gluten humide ».
- La coupelle est mise au four pour une durée de 35min à une température de 150°C environ, suffisante pour que le résidu soit complètement débarrassé de son eau et bien sec. On obtient alors le « gluten sec », devenu solide et cassant qu'il suffit de peser et comparer avec la masse du pâton initiale pour se faire une idée chiffrée de la masse de gluten qui s'est formée dans notre pâte à l'issue du pétrissage.
- Pour chaque pâte, et vu le nombre élevé de manipulations potentiellement sources d'imprécision, l'expérience est répétée en trois exemplaires au moins, afin de pouvoir calculer une moyenne qui se rapproche autant que possible de la réalité.

2. La procédure TPA : Texture Profile Analysis

a. Utilité et principe

Ce test de texture, effectué au moyen d'un texturomètre Zwick Roell sur de la pâte crue extrudée donne une valeur chiffrée du collant via le paramètre rhéologique Adhésion (*fig. 10*). Le test est rapide (40s par cycle de mesure), répétable (coefficients de variation de l'ordre de 10% pour la même pâte) et discriminant pour rendre possible une caractérisation fiable du collant de différentes formulations de pâte. De plus, il a l'avantage d'être quasi totalement mécanisé, ce qui exclut une bonne partie de l'erreur due à l'opérateur et le rend bien plus fiable.

Dite test d'Analyse de Profil de Texture (TPA : Texture Profile Analysis), cette méthode s'inspire des travaux des scientifiques Chen et Hosney (Cellule de CHEN&HOSENEY, commercialisée par SMS) ainsi que ceux de D. Ghorbel & B. Launay et consiste à préparer par extrusion une surface de pâte dite « fraîche », sur laquelle le collant sera bien mis en valeur, avant d'effectuer une mesure par double compression dessus.

Le collant est assimilé au paramètre **Adhésion** fourni par le logiciel TestXpert de gestion du texturomètre, qui correspond à la mesure sur le profil de texture de l'aire sous la courbe, quand celle-ci se trouve sous l'axe des abscisses, c'est en fait l'énergie nécessaire pour retirer la sonde de l'échantillon après avoir appliqué une force de compression (surface A3 ci-contre). La valeur du paramètre « Adhésion » est, du point de vue physique, un travail et se chiffre en Millijoules (mJ).

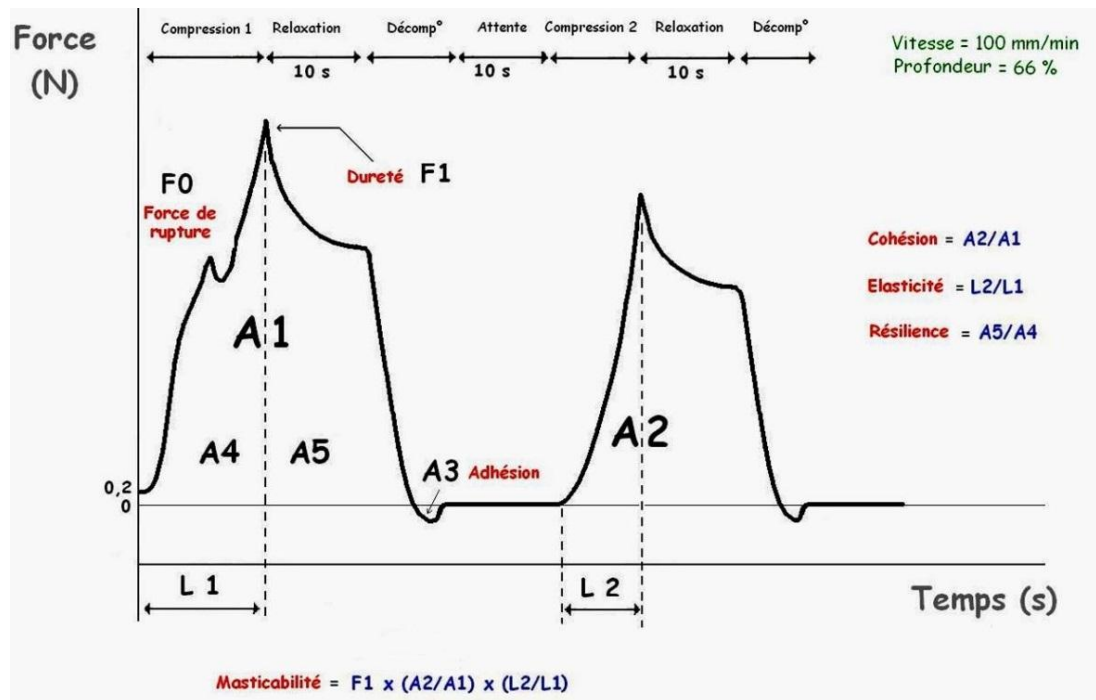


Figure 10 Profil d'analyse de texture (TPA) annoté.

b. Protocole expérimental

- On utilise le texturomètre Zwick Roell avec la plaque de compression métallique 11x11 cm et la procédure que nous avons créée « texture pâte crue double compression ».
- Les éprouvettes sont mises en forme grâce à une seringue de pâtisserie (*fig. 11*) qui a une ouverture de 2 cm de diamètre et qui permet d'extruder la pâte, de manière à avoir une surface dite « fraîche » sur laquelle le caractère collant sera plus mis en valeur. Un cylindre de pâte est donc déposé à l'aide de cette seringue selon les repères donnés par la platine (*fig. 12*) du texturomètre (selon le diamètre du cercle, perpendiculairement à l'avant de la machine), on a ainsi toujours la même quantité de pâte dans l'échantillon.
- On laisse la pâte reposer pendant 30 secondes pour relaxer les contraintes (pendant ce temps, le reste de pâte qui va servir à faire les autres essais est conservé sous plastique pour éviter le dessèchement).
- On lance ensuite le cycle de mesure, après avoir pris soin de remettre le zéro de force et ramené le palpeur à sa position de référence.
- Le palpeur revient automatiquement à la position de référence à la fin du cycle de mesure. Entre temps, on essuie le palpeur et la platine avec une éponge humide puis on sèche bien le tout avec du papier absorbant.

Les valeurs d'adhésion obtenues se distribuent comme suit :

- En dessous de 30 mJ : Collant considéré comme nul.
- Autour de 30/31 mJ : Collant normal, ne posant pas de problème.
- Au-delà de 34 mJ : pâtes collantes ou très collantes pour les valeurs dépassant 35 mJ.

La mesure est effectuée 6 fois sur chaque pâte (au-delà de 6 répétitions, la perte d'écart type est négligeable), en vue d'un futur traitement statistique. Cette méthode de mesure est particulièrement intéressante car donnant accès aux valeurs du paramètre qui nous importe le plus.

Remarque : Un test de mesure d'extensibilité de la pâte qui peut être intéressant a également été mis au point mais n'a pas été retenu du fait d'un manque de répétabilité. Les différences d'extensibilité entre pâtes sont souvent fines, et donc difficilement décelables (Voir Annexe 3)



Figure 11 Outils utilisés pour mettre en forme la pâte pour le test TPA.



Figure 12 Le texturomètre Zwick/Roell équipé d'un capteur de 250N.

IV. Résultats et discussion

Plus de 110 pétrins ont été réalisés lors des 5 mois et demi de stage, avec un témoin effectué pour chaque série. On utilise toujours les mêmes ingrédients, avec les mêmes vitesses de rotation de la cuve du pétrin : 20 tours/min pour le frasage et le double pour le pétrissage. Je n'ai par ailleurs utilisé qu'un seul des deux pétrins présents au laboratoire pour avoir un pétrissage similaire d'un essai à l'autre. On note les observations visuelles et tactiles faites sur chacune des pâtes. Vous remarquerez que le témoin ne donne pas exactement la même valeur d'adhésion d'une série à l'autre. Cela est dû aux températures des ingrédients (farine et eau) qui diffèrent légèrement d'un jour à l'autre et à une multitude de petits paramètres que l'on ne peut contrôler comme l'humidité ambiante. Le témoin fournit cependant une référence au sein d'une même série, et les variations demeurent dans un intervalle très réduit.

Commençons par nous intéresser à notre recette de base.

1. Variations des ingrédients de base

L'eau, qui doit bien entendu être d'excellente qualité et bien dosée, ainsi que le sel présentent peu ou pas de marge de manœuvre. Nous allons donc nous soucier des deux ingrédients véritablement complexes de notre pâte que sont la matière grasse et la farine.

1.1. La matière grasse

A. Aspects qualitatifs

Comme exprimé précédemment, il semble que le type de matière grasse joue un rôle déterminant dans la texture et l'adhésion des pâtes. Le personnel de l'entreprise s'en est rendu compte lors du passage aux huiles végétales liquides, et on s'en aperçoit aisément grâce au [Tab. 2](#). La composition en acides gras détermine largement les propriétés physiques (plus une huile contient d'AG saturés, et plus elle a un point de goutte élevé). Il faut savoir que la recette modèle réalisée en remplaçant l'huile de colza par du palme ou encore du beurre ne colle absolument pas.

a. Résultats

Six mesures de texture sont effectuées sur chaque pâte et permettent, pour chacune d'elle, le calcul d'une moyenne d'adhésion, qui est assimilée au collant et qui constitue notre critère de comparaison.

Un test d'analyse de variance est ensuite effectué pour démontrer l'effet du facteur qualitatif « Matière grasse utilisée » sur la variable quantitative réponse « Adhésion ». Un test des étendues multiples sert ensuite à comparer les moyennes deux à deux et d'identifier la présence (ou non) de différences significatives entre elles ([Tab. 3](#)).

Tableau 2 Tableau comparatif des différentes matières grasses présentes à La Boulangère (sources fournisseurs).

	TOURNESOL (Liquide à 20°C)	COLZA (Liquide 20°C)	BEURRE (Solide 20°C)	PALME (Solide 20°C)
AG Courts	0	0	6,42	0
AG Moyens	6	6	34,26	45
AG Longs	91,7	94	32,69	53
AG Saturés	11,5	7	51	49,5
AG Insaturés :	84,4	93	35-40	48,5
AGMI	20	61	26	38
AGPI	64,4	32	3,7	10,5
point de fusion (°C)	-15	-2 à -10	33	38

Tableau 3 Analyse statistique pour le type de matière grasse.

Statistiques résumées pour ADHESION

ESSAI	Effectif	Moyenne	Ecart-type	Coef. de variation	Minimum	Maximum	Etendue	Asymétrie std.
1	6	35,7067	2,35073	6,58346%	32,71	39,95	7,24	1,13568
2	6	30,5233	2,24478	7,3543%	27,29	33,42	6,13	-0,0556078
3	6	31,585	1,49463	4,73208%	29,29	33,46	4,17	-0,458539
4	6	28,2267	0,605662	2,14571%	27,46	29,28	1,82	0,92685
5	6	16,1733	3,10077	19,1721%	13,61	22,13	8,52	1,85837
Total	30	28,443	6,99561	24,5952%	13,61	39,95	26,34	-2,22538

Tests des étendues multiples pour ADHESION par ESSAI

Contraste	Sig.	Différence	+/- limites
1 - 2	*	5,18333	2,53809
1 - 3	*	4,12167	2,53809
1 - 4	*	7,48	2,53809
1 - 5	*	19,5333	2,53809
2 - 3		-1,06167	2,53809
2 - 4		2,29667	2,53809
2 - 5	*	14,35	2,53809
3 - 4	*	3,35833	2,53809
3 - 5	*	15,4117	2,53809
4 - 5	*	12,0533	2,53809

1. MG Colza Bio
2. MG Colza standard (témoin)
3. MG Tournesol standard
4. MG Tournesol Bio
5. Beurre concentré non coloré (98%MG)

* indique une différence statistiquement significative.

b. Interprétation

Le beurre (5 dans Tab. 3), avec une valeur d'adhésion de 16.1 mJ ne colle absolument pas, par contre la pâte à base d'huile de colza biologique présente une valeur de collant qui s'élève à 35,7 mJ par rapport à la même huile en standard (30.5 mJ) (est-ce à relier avec les problèmes récurrents de collant sur les brioches Bio ?). Il n'y a pas de différence cependant entre le tournesol bio et le standard. La question qui se pose alors est celle qui suit : le bénéfice apporté par le beurre (et le palme) est-il simplement de l'ordre de la physique (apport de viscosité à température ambiante) ? Ou existe-t-il d'autres paramètres qui influent sur l'adhésion de la pâte ?

Nous avons vu précédemment que les amidons du blé étaient capables, lorsque mis en présence d'acides gras courts, de former des complexes dits Amidon V, ce qui en augmente l'hydratabilité. Le beurre contient 6.42% d'AG courts (contre 0% pour les autres matières grasses) ; on peut supposer que cela joue légèrement sur la perte de collant observée. Cependant, c'est son point de fusion élevé (et donc son profil d'AG) qui explique l'apport de viscosité et l'effet remarquable de diminution du collant exercé par le beurre et la matière grasse de palme.

Ensuite, des différences de collant sont constatées entre huiles de Colza biologique et standard. Des différences de génotypes de plants sources étant exclues (le fournisseur a confirmé que les huiles standard et bio étaient issues des mêmes plants, de mêmes variétés), la dissimilitude observée entre les deux huiles de colza a deux causes envisageables. Premièrement, une différence de composition due aux méthodes culturales spécifiques au circuit biologique (absence de fertilisation ou de traitements synthétiques...) qui produiraient une accumulation inégale de constituants dans la graine. Deuxièmement, les fournisseurs ont confirmé que les huiles destinées au circuit biologique n'étaient pas extraites et raffinées de la même manière que les autres. Tout d'abord, la réglementation Bio interdit l'usage de solvants organiques apolaires comme l'hexane (C_6H_{16}) en complément de l'extraction mécanique. Ensuite, La Boulangerie utilisant des huiles raffinées (« nettoyées », purifiées par une suite d'étapes qui en éliminent les composants qui génèrent des odeurs et des goûts indésirables), il faut savoir que le raffinage en biologique est exclusivement physique et se fait par entraînement à la vapeur d'eau tandis qu'il s'accomplit chimiquement avec de la soude caustique en conventionnel. Le résultat obtenu est évidemment différent. Les fournisseurs n'ont pas tenu à fournir plus de détails sur le sujet (Voir Annexe 4).

B. Aspects quantitatifs

Le dosage de la matière grasse semble également avoir une importance quand il s'agit de formuler des recettes de qualité. Ce paramètre a-t-il un effet sur le collant ? Cinq pâtes avec des teneurs croissantes en huile de colza (15% à 32,5%) ont été pétries et leurs paramètres rhéologiques mesurés.

a. Résultats

Voir graphique (*fig. 14*) et résultats d'analyse statistique (*Tab. 4*) ci-contre.

b. Interprétation

L'huile, curieusement, exerce un effet significatif de diminution du collant qui peut s'interpréter par ses propriétés lubrifiantes. Néanmoins, il se produit également un affaiblissement de consistance qui se traduit par une baisse de dureté, associé à une facilité augmentée de la capture de l'air et une stabilisation accrue des bulles. Ainsi, les pâtes obtenues à partir de 22,5% d'huile sont de piètre qualité, manquent de lissage et de consistance et ne sont clairement pas panifiables. Il faut donc faire attention, tout comme pour l'eau, à bien doser la matière grasse.

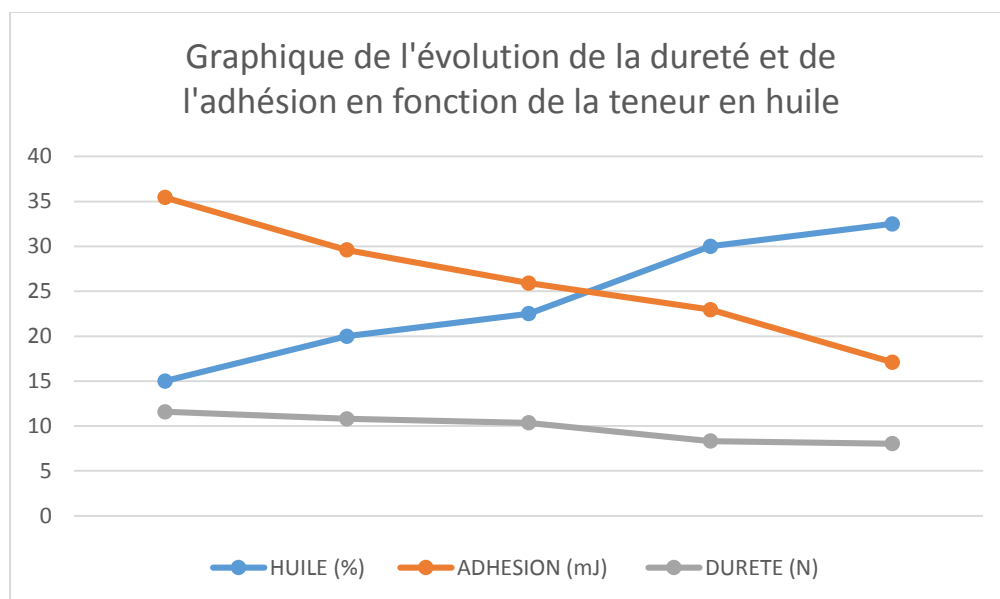


Figure 14 Graphique de l'évolution des paramètres dureté et adhésion en fonction du % d'huile dans la pâte.

Tableau 4 Analyse statistique pour la quantité d'huile.

Statistiques résumées pour ADHESION

ESSAI	Effectif	Moyenne	Ecart-type	Coef. de variation	Minimum	Maximum	Etendue	Asymétrie std.
1	6	35,3117	2,58214	7,31243%	33,45	40,51	7,06	2,29202
2	6	29,595	2,87159	9,70296%	26,62	33,65	7,03	0,647982
3	6	25,91	2,36502	9,12783%	22,95	29,81	6,86	0,732735
4	6	22,945	2,78784	12,1501%	20,56	27,0	6,44	0,859929
5	6	17,1083	2,88075	16,8383%	13,75	21,83	8,08	0,722669
Total	30	26,174	6,72151	25,6801%	13,75	40,51	26,76	0,0789182

1. Huile : 15%
2. Huile : 20% (Témoin)
3. Huile : 22.5%
4. Huile : 30%
5. Huile 32.5%

Tableau de l'ANOVA pour ADHESION par ESSAI

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	Probabilité
Inter-groupes	1127,3	4	281,824	38,52	0,0000
Intra-groupes	182,888	25	7,31551		
Total (Corr.)	1310,18	29			

1.2. La farine

La farine est l'élément central de la pâte. Elle fournit, de par ses protéines, le gluten. L'amidon, par ailleurs, en vertu de son abondance (plus de 70% du poids de la farine), assure l'absorption d'une grande partie de l'eau incorporée dans une recette quelconque et apporte de la viscosité. La farine fournit donc la matrice qui garantit la cohésion générale de la pâte, comme elle assure l'absorption de l'eau.

J'ai donc effectué des tests avec les deux types de farines utilisées en production : La farine Type 65 biologique, et la Type 55 standard. J'ai par ailleurs commandé une farine supérieure « de gruau » Type 45 Label Rouge, plus riche en protéines et réputée comme donnant des pâtes à très bonnes textures, qui est plutôt utilisée en pâtisserie. Chacune des farines est accompagnée de sa fiche technique complète. Notez que le type (45, 55, 65 ...) est lié au taux de cendres* de la farine.

L'alvéographe est un appareil permettant de déterminer en boulangerie le comportement d'une pâte de farine. Il utilise pour cela la déformation par pression d'air. Il procure notamment le W (Work) de la farine qui est le travail nécessaire pour déformer le pâton jusqu'à son éclatement, on parle également de « force boulangère » et c'est le critère le plus utilisé car il synthétise la qualité d'une farine. Pour un W supérieur à 300, on parlera de blé de force et la plupart des variétés cultivées aujourd'hui donnent des farines dont le W va de 220 à 300.

L'indice de chute de Hagberg est un des critères de sélection des lots de blés destinés à la panification. Pour détecter une activité enzymatique excessive, on mesure le temps de chute d'une tige dans une pâte fluide et chaude obtenue en mélangeant de la farine et de l'eau. Plus il y a eu de germination sur épi, plus l'activité enzymatique est intense et plus l'amidon est dégradé en sucres. La pâte contenant moins d'amidon est plus fluide, par conséquent, la tige y descend plus rapidement. Ce temps de chute est mesuré en secondes. A un temps de chute trop court sont associées des pâtes collantes, un produit qui se déchire ou manque de tenue et une mie d'apparence grasse. Les caractéristiques intéressantes d'après les sources fournisseurs des trois farines sont résumées au sein du tableau ci-contre ([Tab. 5](#)).

Tableau 5 Tableau comparatif des trois farines testées (Source fournisseur).

	T45 Label Rouge	T55 Standard	T65 Bio
Protéines :			
Mini	12%	11,50%	13%
Obj	12,90%	11.65%	13,60%
Max		11,80%	14,20%
Indice de chute Hagberg :			
Mini	220s	340s	250s
Obj	361s	420s	375s
Max		500s	500s
W :			
Mini	250	260	310
Obj	415	280	340
Max		300	370
Origine :	France	France et/ou Allemagne	Agriculture UE et non UE

a. Résultats

Un changement de farine influence grandement la texture générale de la pâte obtenue et il est important d'inclure ici les perceptions visuelles et tactiles ressenties pour chacune. La farine T45 donne une pâte d'une remarquable qualité, parfaitement lisse et homogène, extensible et qui ne colle pas du tout, bien plus belle que celle obtenue avec la T55 malgré des valeurs d'adhésion très proches. La pâte à base de farine T65 en revanche donne une pâte qui colle beaucoup à la cuve du pétrin et aux mâchoires du texturomètre ; Elle manque de lissage et présente une surface luisante caractéristique.

Le test gluten a été effectué pour chacune des farines, ainsi que les mesures d'adhésion habituelles et leur analyse (*Tab. 6 & 7*). Comment se rapportent les résultats obtenus en laboratoire aux chiffres donnés par les fournisseurs ?

b. Interprétation

La farine T65 bio est d'après le fournisseur la plus riche en protéines parmi les trois inspectées avec un taux annoncé de 13.60% de protéines (contre 12.90% pour la T45 et 11.65% seulement pour la T55). Cependant les chiffres de la T45 et la T65 contredisent les résultats du test gluten (4.6g de gluten sec pour la T45, 3.8 pour la T65 et 3.2 pour la T55), ce qui montre que la teneur en protéines totale n'est pas forcément gage de performance des farines et que la qualité de celles-ci est ce qui prime : La certification Label Rouge semble bien méritée.

Par ailleurs, malgré sa teneur en protéines et le fait qu'elle forme plus de gluten que la T55 (qui ne colle pourtant pas) la farine biologique aboutit à des pâtes très collantes (35,47mJ). De plus, cette dernière a une valeur de W élevée qui indique une bonne ténacité et un indice de chute de 375s qui est dans les normes.

Hypothèses : La qualité de la pâte obtenue avec la farine T45 s'explique par un produit de qualité supérieure et sélectionné avec soin dont les protéines sont efficaces du point de vue fonctionnel. La cause du collant provoqué par la farine biologique serait quant à elle à rechercher du côté de la composition chimique et du bouquet de variétés de blés choisies pour faire la farine (présence d'acide férulique, ou de translocation 1B/1R ?), à mettre en relation avec la provenance des lots de blés. Le taux d'amidons endommagés dans la farine a un rôle dans son hydratabilité (les amidons endommagés interagissent plus avec l'eau, ils en absorbent jusqu'à une fois leur poids) et dépend de la mouture (Elle est identique pour les trois farines, sur cylindres), de la variété des blés ainsi que de la dureté de l'amande, elle-même liée aux conditions de culture.

Tableau 6 Résultats des tests gluten pour les trois farines testées (masses en grammes).

Farine utilisée :	Farine T45	Farine T55	Farine T65
Poids de pâte initial (g)	40	40	40
Gluten humide (g)	10.7	8.3	9.3
Gluten après séchage manuel (g)	10.3	8.0	9.1
Gluten après séchage au four (g)	4.6	3.2	3.8

Tableau 7 Analyse statistique pour le type de farine.

Statistiques résumées pour ADHESION

ESSAI	Effectif	Moyenne	Ecart-type	Coef. de variation	Minimum	Maximum	Etendue	Asymétrie std.
1	6	30,4983	2,89115	9,47969%	26,06	35,08	9,02	0,109234
2	6	35,4767	3,68189	10,3783%	31,98	41,79	9,81	1,0724
3	6	30,5617	1,81828	5,94954%	28,34	33,32	4,98	0,388981
Total	18	32,1789	3,62991	11,2804%	26,06	41,79	15,73	1,76387

1. Farine Type 45 Label Rouge
2. Farine Type 65 Biologique
3. Farine Type 55 (utilisée pour tous les produits de La Boulangère non Bio)

Tableau de l'ANOVA pour ADHESION par ESSAI

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	Probabilité
Inter-groupes	97,8901	2	48,945	5,82	0,0134
Intra-groupes	126,106	15	8,40706		
Total (Corr.)	223,996	17			

Tests des étendues multiples pour ADHESION par ESSAI

Contraste	Sig.	Différence	+/- limites
1 - 2	*	-4,97833	3,5681
1 - 3		-0,0633333	3,5681
2 - 3	*	4,915	3,5681

2. Autres ingrédients fréquents

2.1. Le sucre

Le sucre, du fait de son aspect gluant en milieu humide, a été suspecté de générer du collant. Il est en effet habituellement présent dans les produits de viennoiserie (brioches et gâches) et représente jusqu'à 25% du poids de farine dans certaines recettes.

Existe-t-il un effet « concentration de sucre » sur l'adhésion ?

a. Résultats

Différentes pâtes ont été réalisées en augmentant le taux de sucre, afin d'apprécier l'évolution de l'adhésion (Tab. 8). 8.7% est la teneur en sucre au-delà de laquelle la pâte devient beaucoup trop collante et la valeur d'adhésion difficile à mesurer (fig. 15) et c'est donc la valeur de concentration en sucre à laquelle nous nous sommes arrêtés. Les mesures effectuées sur des pâtes trop collantes aboutissent en effet à des valeurs à haute dispersion (écart type élevé) du fait de l'apparition de valeurs extrêmes, d'où une perte de précision à éviter.

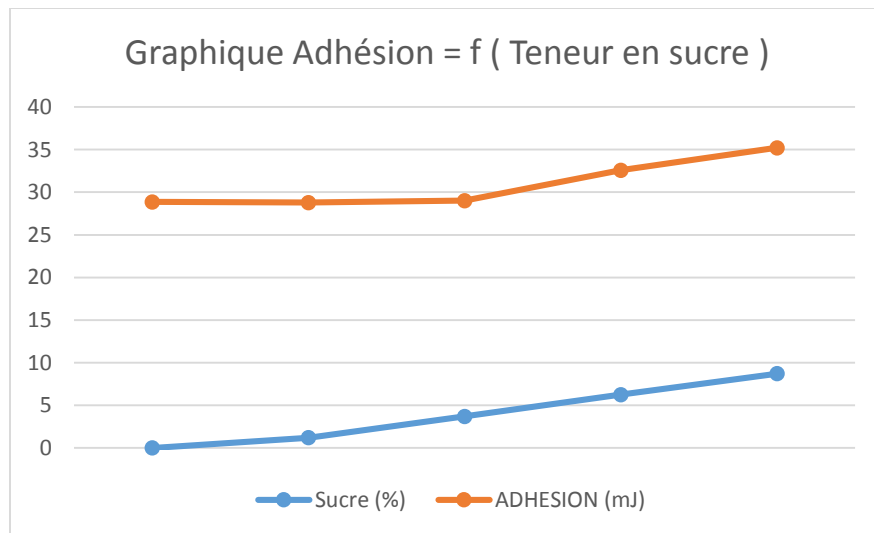


Figure 15 Graphique de l'adhésion en fonction de la teneur en sucre (pourcentages en poids de farine).

Tableau 8 Analyse statistique pour la teneur en sucre.

Statistiques résumées pour ADHESION								
ESSAI	Effectif	Moyenne	Ecart-type	Coef. de variation	Minimum	Maximum	Etendue	Asymétrie std.
1	6	28,745	1,7887	6,22263%	25,98	30,91	4,93	-0,425247
2	6	29,335	2,20528	7,51758%	26,46	32,49	6,03	0,192158
3	6	32,955	1,84724	5,60535%	30,66	35,98	5,32	0,570755
4	6	35,2	1,74771	4,96508%	33,53	37,49	3,96	0,423747
Total	24	31,5588	3,23749	10,2586%	25,98	37,49	11,51	0,183646

1. Sucre : 1.2%
2. Sucre 3.7%
3. Sucre 6.25%
4. Sucre 8.7%

Tableau de l'ANOVA pour ADHESION par ESSAI

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	Probabilité
Inter-groupes	168,423	3	56,1409	15,46	0,0000
Intra-groupes	72,6474	20	3,63237		
Total (Corr.)	241,07	23			

b. Interprétation

Il existe bel et bien une influence de la teneur en sucre sur l'adhésion des pâtes confirmée par une analyse de variance, avec ce qui ressemble à effet de seuil. En effet, en dessous d'une concentration de 3.7%, le sucre ne semble pas augmenter le collant. En revanche, ce dernier augmente brutalement au-delà de 3.7% jusqu'à devenir intolérable. La conclusion est que le sucre produit et favorise le collant, et il faut donc en tenir compte.

2.2. L'œuf

L'œuf a-t-il un effet sur le collant, malgré ses propriétés fonctionnelles intéressantes ? La démarche est la même que pour le sucre, hormis que la teneur est poussée jusqu'à 20% du poids de farine (soit 400g d'œuf pour 2kg de farine), ce qui dépasse les taux pratiqués sur les recettes La Boulangère. L'hydratation est gardée constante en réajustant l'eau pour éviter un éventuel biais lié à l'excès d'eau qui on l'a vu provoquait du collant (l'œuf est à 23% de matière sèche).

a. Résultats

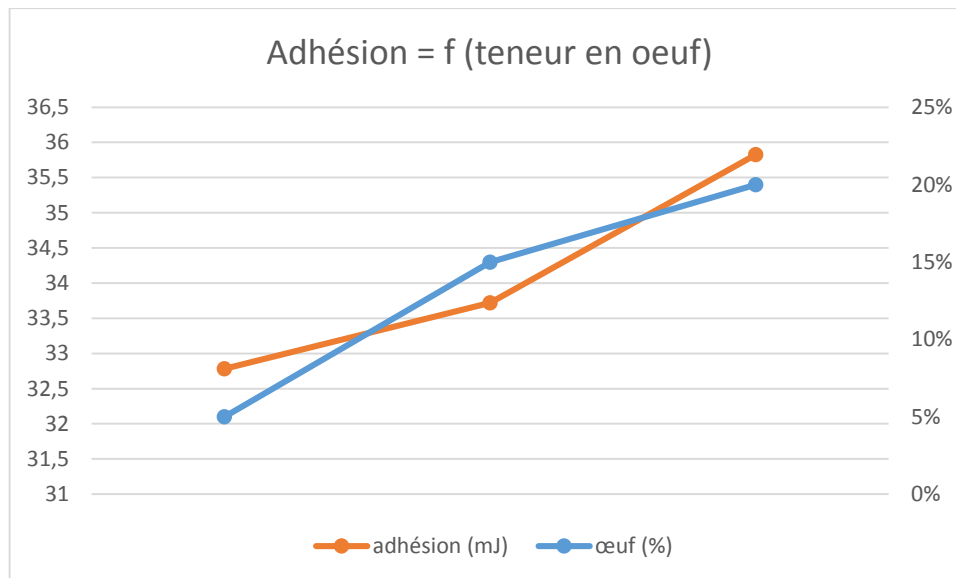


Figure 16 Graphique de l'adhésion en fonction de la teneur en œuf (pourcentages en poids de farine).

Voir Résultats d'analyse statistique ci-contre (Tab. 9).

b. Interprétation

L'augmentation de teneur en œuf de 5 à 20% de poids de farine produit une augmentation d'adhésion minime, et qui est statistiquement non significative. L'œuf n'est donc pas directement impliqué dans les phénomènes d'adhésion, il est même réputé comme ayant un côté « améliorant » en panification, car il émulsifie l'eau et la matière grasse améliorant ainsi la cohésion des pâtes, et aère la pâte.

Tableau 9 Analyse statistique pour la teneur en œuf.

Statistiques résumées pour ADHESION								
ESSAI	Effectif	Moyenne	Ecart-type	Coef. de variation	Minimum	Maximum	Etendue	Asymétrie std.
1	6	32,7833	3,03543	9,25906%	27,54	36,34	8,8	-1,02136
2	6	33,72	3,458	10,255%	30,19	38,99	8,8	0,853941
3	6	35,8283	3,5535	9,91812%	De 31,15	41,85	10,7	0,735326
Total	18	34,1106	3,41436	10,0097%	27,54	41,85	14,31	0,634597

1. Teneur en œuf : 5%
2. Œuf : 15%
3. Œuf : 20%

Tableau de l'ANOVA pour ADHESION par ESSAI					
Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	Probabilité
Inter-groupes	29,1889	2	14,5944	1,30	0,3027
Intra-groupes	168,995	15	11,2663		
Total (Corr.)	198,183	17			

2.3. La crème fraîche

Présente dans une grande partie des produits « La Boulangère », la crème fraîche est un produit riche en lipides. La crème a été testée dans la recette modèle, à une teneur de 10% du poids de farine, selon la démarche habituelle et à la température de 4.3°C.

a. Résultats

Voir Résultats d'analyse statistique ci-contre (*Tab. 10*).

b. Interprétation

La crème fraîche semble diminuer les phénomènes de collant, une valeur d'adhésion de 24.78 mJ est obtenue avec cet ingrédient, contre 30.73 mJ sans. Cela peut être attribué aux propriétés émulsifiantes des protéines laitières, mais surtout, au regard de ce qui a été montré précédemment concernant la teneur en matière grasse de la pâte, à la richesse de la crème en matière grasse.

3. Variations de procédé

3.1. Températures des ingrédients

Des manifestations de collant sur les pâtes ont été observées lors des périodes de chaud ou de froid extrêmes. Les silos de farine se trouvant en extérieur, la température de celle-ci a été soupçonnée d'être responsable de ces variations. Cependant, il est légitime de se poser la question suivante : La température affecte-t-elle définitivement les composants de la farine (modification thermique des protéines et des amidons), ou est-ce encore une fois simplement un effet physique lié à la viscosité de la pâte ? Des essais préliminaires en laboratoire avec de la farine à -20°C (stockée en sac hermétique pendant 48H au congélateur) et à +40°C (48H dans une tempéreuse sous sac hermétique pour éviter toute dessiccation) ont tout d'abord confirmé les observations faites en production. La farine trop froide donne une pâte froide (19/20°C) trop tenace, dont le gluten manque d'extensibilité et qui déchire facilement sous la contrainte avec un collant légèrement supérieur à celui du témoin habituel. La farine chaude quant à elle aboutit à une pâte chaude (30°C) trop extensible, et qui colle à la cuve du pétrin et y laisse des résidus (bien plus qu'avec la farine froide). Pour répondre à la question, une farine T55 a été conservée pendant 30 jours dans une tempéreuse à bain marie réglée sur 40°C, puis ramenée en une nuit à 20°C, température habituelle du laboratoire.

a. Résultats :

Voir résultats d'analyse statistique ci-contre (*Tab. 11*).

b. Interprétation

La farine ayant été chauffée et ramenée à 20°C donne une pâte aux mêmes propriétés que le témoin. Les effets de perte de fonction des protéines à cause de la dénaturation ou de pré-gélatinisation de l'amidon qui auraient pu être attendus n'ont vraisemblablement pas eu lieu dans les conditions d'un traitement prolongé, dans des conditions proches de celles rencontrées dans un silo de farine lors des canicules. On en déduit que, comme c'est le cas pour l'eau, la farine chaude va apporter de la chaleur, et donc de la fluidité et de l'extensibilité, tandis qu'une farine froide donnera une pâte au gluten peu extensible, qui déchire donc sous la contrainte car manquant de fluidité.

Tableau 10 Analyse statistique pour la crème fraîche

Statistiques résumées pour ADHESION								
ESSAI	Effectif	Moyenne	Ecart-type	Coef. de variation	Minimum	Maximum	Etendue	Asymétrie std.
1	6	24,7867	2,03473	8,20895%	21,52	26,84	5,32	-0,710928
2	6	30,7317	2,58205	8,40192%	28,0	35,08	7,08	0,969215
Total	12	27,7592	3,81462	13,7418%	21,52	35,08	13,56	0,412237

1. Pâte à 10% de crème fraîche
2. Témoin

Tableau de l'ANOVA pour ADHESION par ESSAI

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	Probabilité
Inter-groupes	106,029	1	106,029	19,62	0,0013
Intra-groupes	54,0354	10	5,40354		
Total (Corr.)	160,064	11			

Tableau 11 Analyse statistique pour le traitement thermique de la farine.

Statistiques résumées pour ADHESION								
ESSAI	Effectif	Moyenne	Ecart-type	Coef. de variation	Minimum	Maximum	Etendue	Asymétrie std.
1	6	30,9667	2,84942	9,20157%	27,07	34,62	7,55	-0,198083
2	6	30,7317	2,58205	8,40192%	28,0	35,08	7,08	0,969215
Total	12	30,8492	2,59539	8,41316%	27,07	35,08	8,01	0,378568

1. Farine stockée à 40°C pendant 30j puis ramenée à 20°C.
2. Témoin (Farine à 21°C)

Tableau de l'ANOVA pour ADHESION par ESSAI

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	Probabilité
Inter-groupes	0,165675	1	0,165675	0,02	0,8840
Intra-groupes	73,9308	10	7,39308		
Total (Corr.)	74,0965	11			

3.2. Ordres d'incorporation : Autolyses et prémélanges

Afin de voir l'effet de l'ordre d'incorporation des ingrédients, une série d'essais a été réalisée avec la recette modèle simplement en rajoutant chacun des différents ingrédients : l'eau et l'huile à la farine en début ou fin de frasage et le sel en début ou fin de pétrissage. On en conclut ce qui suit : Premièrement, le sel, trop avide d'eau, empêche la formation et l'assouplissement du gluten si rajouté trop tôt, on obtiendra alors une pâte beaucoup trop collante dont le gluten ne joue pas son rôle agglutinant attendu. Cela explique pourquoi le sel est ajouté toujours à la fin en pétrissage intensifié. Ensuite, lorsqu'on rajoute l'eau (ou l'huile) seule au début, qu'on applique les 5 minutes de frasage avant d'ajouter le deuxième ingrédient liquide, ce dernier a alors beaucoup de mal à s'incorporer dans le réseau et la pâte obtenue colle fortement (pâte luisante, grasse ou qui relargue de l'eau) du fait du déséquilibre d'absorption vis-à-vis de la farine que l'on produit en favorisant l'un des ingrédients par rapport à l'autre. Le phénomène est exacerbé par la non miscibilité de l'eau et de l'huile.

Trois recettes ont, en outre, été testées au regard de cela : une autolyse eau et farine d'une durée d'une heure, un prémélange eau et huile qui se fait dans le pétrin et qui consiste en un début d'émulsion des liquides (il s'agit de voir si le fait de les émulsifier diminue le collant ou pas) et une recette spéciale proposée par la R&D.

a. Résultats

Voir résultats d'analyse statistique ci-contre ([Tab. 12](#)).

b. Interprétation

Il faut noter tout d'abord, comme conjecturé, que le fait de mixer mécaniquement l'huile et l'eau (un mélange laiteux est obtenu où les gouttes d'huile sont fines et dispersées dans la phase aqueuse) provoque un collant inférieur à celui observé sur le témoin. Ceci va dans le sens de l'utilisation très fréquente d'émulsifiants tels quels ou inclus dans les mix améliorants dans les industries de panification pour améliorer la qualité de la pâte et des produits finis. On a ainsi une meilleure dispersion des matières grasses qui augmentent la viscosité de la phase aqueuse.

Pour ce qui est de l'autolyse et de la recette 4, étant donné que l'eau est mélangée préférentiellement à la farine qui s'en imbibe alors et devient lipophobe, on obtient des pâtes qui collent plus que le témoin. Il faut en effet un équilibre d'absorption de la matière grasse et de l'eau par la farine pour obtenir une pâte cohésive et homogène, à la surface lisse. Il faudra donc préférer, lorsqu'on utilise de l'huile, mélanger les liquides à la farine dès le début et en un seul coup.

Tableau 12 Analyse statistique pour la « variation de mode opératoire : ordres d'incorporation ».

Statistiques résumées pour ADHESION

ESSAI	Effectif	Moyenne	Ecart-type	Coef. de variation	Minimum	Maximum	Etendue	Asymétrie std.
1	6	35,2383	3,05221	8,66161%	32,6	39,95	7,35	1,01128
2	6	25,3167	0,842655	3,32846%	24,11	26,3	2,19	0,0154806
3	6	27,8617	2,23874	8,03518%	26,64	32,37	5,73	2,3114
4	6	31,8817	1,44993	4,54785%	29,39	33,31	3,92	-1,11672
Total	24	30,0746	4,32631	14,3853%	24,11	39,95	15,84	1,03416

1. Autolyse : farine + eau mélangés, on applique 4 min de frassage puis 1h d'attente avant de rajouter l'huile. On lance un cycle habituel (5+6min).
2. Emulsion eau + huile dans le pétrin pendant 4 min à vitesse 2 (40 tours/min), puis ajout de farine et cycle habituel.
3. Témoin
4. Eau + farine, 5 min de frassage et 3 min de pétrissage, puis l'huile, 8 min de pétrissage, puis le sel et 3min de pétrissage.

Tableau de l'ANOVA pour ADHESION par ESSAI

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	Probabilité
Inter-groupes	344,788	3	114,929	26,82	0,0000
Intra-groupes	85,7014	20	4,28507		
Total (Corr.)	430,489	23			

Contraste	Sig.	Différence	+/- limites
1 - 2	*	9,92167	2,49302
1 - 3	*	7,37667	2,49302
1 - 4	*	3,35667	2,49302
2 - 3	*	-2,545	2,49302
2 - 4	*	-6,565	2,49302
3 - 4	*	-4,02	2,49302

* indique une différence statistiquement significative

4. Essais d'additifs correcteurs

Aujourd'hui devenus indispensables dans les industries alimentaires, les texturants présentent un intérêt dans notre étude en vertu de leur aptitude à influencer sur la rhéologie des produits auxquels ils sont ajoutés (apport de viscosité, en l'occurrence), sans en altérer les propriétés organoleptiques. Hormis les mono et diglycérides d'acides gras employés comme antirassissants, La Boulangerie reste sur sa politique d'authenticité « clean label » et inclut le moins possible d'additifs dans ses recettes.

4.1. Les Hydrocolloïdes*

Polysaccharides ou d'origine protéique (gélatines), ils sont employés à faible dose pour obtenir des produits visqueux à gélifiés. Deux additifs commerciaux seront présentés pour l'exemple : de la gomme xanthane (polyoside obtenue en fermenteur grâce à la bactérie *Xanthomonas campestris*) dosée à 0.5 % en remplacement de la farine, ainsi qu'un mélange de carraghénanes (extraites d'algues rouges voir [Fig. 15](#)) et de dextrose dosé à 1.5 % en remplacement de farine également.

a. Résultats

Voir résultats d'analyse statistique ci-contre ([Tab. 13](#)).

b. Interprétation

La gomme xanthane est active à froid et présente un fort pouvoir épaississant et une grande affinité pour l'eau, même à faible dose (ici 10g pour 2kg de farine). Ceci fait qu'elle entre directement en compétition avec le gluten en formation. Ce dernier a alors énormément de mal à se former, et il faut alors rallonger le temps de pétrissage (il a fallu multiplier le temps de pétrissage par cinq pour arriver à un gluten assez correct, ce qui a comme inconvénient mis à part la perte de temps inutile, de chauffer la pâte et de la liquéfier). L'avis d'un boulanger a permis de confirmer que la valeur de 34.7 mJ obtenue était due à un gluten mal formé. Quant au mélange Carraghénanes/dextrose, il ne semble pas provoquer de réel effet, sa valeur d'adhésion n'étant pas significativement différente de celle du témoin (elle est de 29.09 mJ contre 29.74 mJ pour le témoin). Cela s'explique par l'efficacité accrue des carraghénanes plutôt à chaud (formation de gel à 60°).

4.2. Les amidons

Natifs ou modifiés par des procédés physiques et chimiques, ils sont très utilisés comme épaississants alimentaires. Deux amidons du même fournisseur sont soumis aux tests habituels : un amidon natif de maïs cireux et un amidon modifié de pomme de terre (un phosphate de diamidon acétylé obtenu par une estérification par le trimétaphosphate de sodium ou l'oxychlorure de phosphore en combinaison avec une estérification par l'anhydride acétique ou l'acétate de vinyle. On le note E1414). Les deux sont utilisés à hauteur de 2% en remplacement du poids de farine, ce qui veut dire qu'au lieu d'avoir 2000g de farine, nous en aurons 1960g, complétés avec 40g d'amidon.

Tableau 13 Analyse statistique pour les hydrocolloïdes.

Statistiques résumées pour ADHESION

ESSAI	Effectif	Moyenne	Ecart-type	Coef. de variation	Minimum	Maximum	Etendue	Asymétrie std.
1	6	34,7683	1,05007	3,0202%	33,44	35,96	2,52	-0,35148
2	6	29,0967	3,21136	11,0369%	25,14	32,5	7,36	-0,475829
3	6	29,7483	2,17271	7,30363%	27,13	32,22	5,09	-0,235215
Total	18	31,2044	3,39781	10,8889%	25,14	35,96	10,82	-0,687406

1. Gomme xanthane 0.5% (10g)
2. Carraghénanes + dextrose 1.5% (30g)
3. Témoin

Tableau de l'ANOVA pour ADHESION par ESSAI

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	Probabilité
Inter-groupes	115,586	2	57,7929	10,74	0,0013
Intra-groupes	80,6807	15	5,37871		
Total (Corr.)	196,266	17			

Contraste	Sig.	Différence	+/- limites
1 - 2	*	5,67167	2,854
1 - 3	*	5,02	2,854
2 - 3		-0,651667	2,854

* indique une différence statistiquement significative.

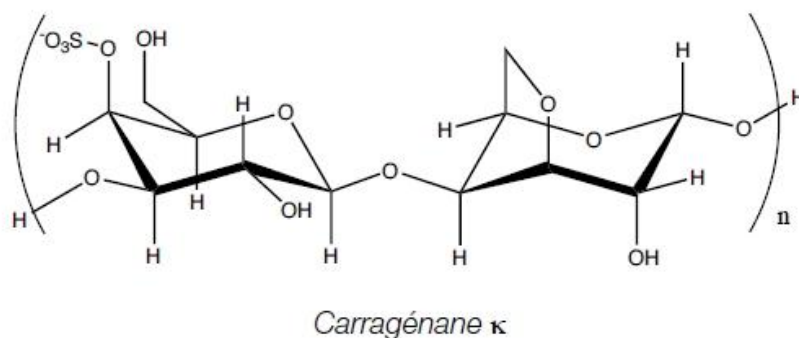


Figure 17 Formule chimique d'une molécule de carraghénane kappa.

a. Résultats

Voir Résultats d'analyse ci-contre ([Tab. 14](#)).

b. Interprétation

Dans les deux cas un effet positif visible dû à l'usage d'amidon est obtenu. L'amidon modifié reste cependant bien plus efficace que le natif, à doses égales, du fait qu'il ait reçu un certain nombre de modifications qui le rendent plus actif, plus stable et moins dépendant de la température. Les amidons semblent être une solution crédible lorsqu'il s'agit de produire des pâtes à l'huile végétale hautement hydratées, et ils sont d'ailleurs déjà utilisés par plusieurs industriels concurrents de l'entreprise La Boulangère (comme Pasquier).

4.3. Les émulsifiants

Plusieurs émulsifiants ont été testés : caséinates de calcium, poudre de lactosérum, poudres d'E471 et E472e (DATEM) (chacune dans deux versions à base de colza et de palme), mais j'ai décidé ici de ne présenter que l'ingrédient qui présente un intérêt en ce qui concerne l'amélioration de la texture des pâtes, à savoir la lécithine* de soja. En effet, les E471 et E472 sont habituellement utilisés dans le but d'optimiser le moelleux des produits lors du vieillissement et les caséinates de calcium et la poudre de lactosérum sont peu adaptés en panification et n'apportent aucun bénéfice. En revanche, utilisée à seulement 0.3 % du poids de farine, la lécithine de soja a la réputation de diminuer la porosité des pâtes et d'améliorer l'extensibilité des pâtons.

a. Résultats

Voir Résultats d'analyse ci-contre ([Tab. 15](#)).

b. Interprétation

L'ajout d'une très petite quantité de lécithine permet l'obtention d'une pâte qui ne colle absolument pas (25,6 mJ), lisse et bien extensible, au détriment, cependant, d'une légère odeur typique du soja. Cela explique l'usage fréquent de la lécithine en tant qu'améliorant de panification. De bons résultats sont par ailleurs obtenus en faisant un couplage avec un prémélange huile eau dans le pétrin et de la lécithine.

Tableau 14 Analyse statistique pour les amidons

Statistiques résumées pour ADHESION

ESSAI	Effectif	Moyenne	Ecart-type	Coef. de variation	Minimum	Maximum	Etendue	Asymétrie std.
1	6	25,1833	2,46969	9,80683%	21,61	28,95	7,34	0,0754298
2	6	20,065	3,14491	15,6736%	16,3	23,97	7,67	0,510919
3	6	30,5617	1,81828	5,94954%	28,34	33,32	4,98	0,388981
Total	18	25,27	5,01226	19,8348%	16,3	33,32	17,02	-0,373368

1. Amidon natif de maïs 2%
2. Amidon modifié de pomme de terre 2%
3. Témoin

Tableau de l'ANOVA pour ADHESION par ESSAI

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	Probabilité
Inter-groupes	330,608	2	165,304	25,70	0,0000
Intra-groupes	96,4798	15	6,43198		
Total (Corr.)	427,087	17			

Contraste	Sig.	Différence	+/- limites
1 - 2	*	5,11833	3,12096
1 - 3	*	-5,37833	3,12096
2 - 3	*	-10,4967	3,12096

Tableau 15 Analyse statistique pour la lécithine.

Statistiques résumées pour ADHESION

ESSAI	Effectif	Moyenne	Ecart-type	Coef. de variation	Minimum	Maximum	Etendue	Asymétrie std.
1	6	25,6467	1,99711	7,78703%	22,94	28,66	5,72	0,303698
2	6	31,5733	2,63011	8,33016%	29,04	36,49	7,45	1,61177
Total	12	28,61	3,81273	13,3266%	22,94	36,49	13,55	0,656926

1. Lécithine de soja (0.3%)
2. témoin

Tableau de l'ANOVA pour ADHESION par ESSAI

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	Probabilité
Inter-groupes	105,376	1	105,376	19,32	0,0013
Intra-groupes	54,5297	10	5,45297		
Total (Corr.)	159,906	11			

Bilan

Cette étude du collant des pâtes, en rapport avec les interactions entre l'eau, l'huile et la farine, a permis d'arriver à un nombre certain de conclusions qui se rapportent, non seulement à la formulation (ingrédients inclus et leurs teneurs respectives), mais qui prennent également en considération le mode opératoire suivi lors du pétrissage. La pâte est une entité « vivante » dont la formulation a autant d'importance que le procédé de fabrication. La qualité du produit fini est en effet largement liée à celle de la pâte crue ; elle-même résultant de ses propriétés rhéologiques acquises par le biais du pétrissage. Chacun des ingrédients de base d'une pâte doit être choisi soigneusement parmi l'offre extrêmement diversifiée et faire l'objet de contrôles/tests avant adoption. De même, les dosages doivent être fixés avec soin et être en adéquation avec le reste de la formulation : par exemple, une pâte très sucrée sera moins collante si l'on réduit un peu l'eau. Par ailleurs, le travail effectué sur les méthodes de mesure fournit des moyens fiables pour évaluer expérimentalement la machinabilité d'une nouvelle formulation de pâte autant de fois que souhaité avant de lancer des essais industriels. Le test gluten, quant à lui, peut servir pour comparer des lots de farine et en évaluer la qualité boulangère. La difficulté qui demeure est que la majorité des produits fabriqués à La Boulangerie le sont selon les cahiers des charges définis par des enseignes de grande distribution françaises ou étrangères et qui ne peuvent être modifiés simplement sans accord des commanditaires.

Pour récapituler, les points qualitatifs importants, quand il s'agit de mettre au point ou d'optimiser une recette destinée à passer sur ligne automatisée, sont le point de fusion de la matière grasse, la force et la qualité des protéines de la farine, ainsi que la température des ingrédients. Du point de vue quantitatif, il faut veiller à équilibrer les teneurs en sucre, eau et matière grasse de la pâte en sachant que l'eau et le sucre augmentent le collant tandis que l'huile le réduit en lubrifiant la pâte, mais au prix d'une perte de qualité, et augmente la porosité. L'œuf et la crème fraîche ne semblent pas, quant à eux, influencer sur le collant. Ensuite, pour ce qui est du mode opératoire, le sel doit être ajouté en fin de pétrissage pour permettre la bonne mise en place du gluten, alors que l'huile et l'eau doivent être mises en contact avec la farine en même temps pour garantir un équilibre de liaison avec cette dernière. Enfin, les ingrédients doivent être conservés à température ambiante (la farine surtout) vu que la viscosité de la pâte est fonction de sa température en sortie de pétrissage, elle-même dépendant des températures initiales des ingrédients pour un diagramme de pétrissage donné.



Conclusion

Finalement, ce stage, effectué en entreprise avec une problématique de « recherche » scientifique relativement large a soulevé de nombreux défis. Il a donc fallu faire un ensemble de choix et adopter un angle d'étude, tout en gardant le même cap. Cela n'a pas toujours été facile et il a parfois fallu revenir en arrière ou répéter des phases de tests pour le rectifier. Cependant, l'expérience a été pour le moins stimulante et formatrice. Il a été question de saisir la complexité d'une problématique scientifique, avec tout ce que cela implique au niveau des recherches bibliographiques, des contacts avec les professionnels, des planifications d'expériences, des mesures et des travaux d'interprétation et d'analyse critique. Adopter une organisation stricte (prescrite par ma maître de stage Mme Florence Hugon Bodart, et je l'en remercie) avec un plan d'action, un rétroplanning, des comptes rendus hebdomadaires, etc., fût un point fondamental pour mener à bien ma mission. Un certain nombre de choix ont été faits (en connaissance de cause) et ont déterminé la conduite du projet, mais il est certain que le traitement aurait pu être différent. Par ailleurs, du matériel de mesure plus sophistiqué (comme un dispositif de mesure de l'extensibilité des pâtes) et des séries d'expériences répétées deux ou trois fois chacune auraient permis d'obtenir plus de résultats et avec une précision accrue. De plus, une multitude de pistes n'a pas été explorée par manque de temps.

Mon sujet de stage étant directement en rapport avec un problème de production, il a donc fallu apprécier la pluralité d'une problématique industrielle et la multiplicité des acteurs en jeu quand il s'agit de la traiter, avec tout ce que cela revêt comme enjeux économiques et techniques. Apparaît alors l'importance de la communication intra et interservices dans l'entreprise et avec les agents externes que sont les clients, les fournisseurs, les GMS et les prestataires.

Enfin, au cours de ces cinq mois, j'ai pu assister à la vie quotidienne d'une équipe R&D extrêmement dynamique, en voir le fonctionnement, les démarches et les rapports étroits qu'elle entretient avec l'extérieur (fournisseurs et clients) et l'intérieur de l'entreprise. J'ai également pu côtoyer la production et suivre des essais industriels (estimation et comparaison du collant sur une série de formulations de brioche tranchée en test). J'ai aussi eu l'occasion de visiter le site de Mortagne-Sur-Sèvre, spécialisé dans la fabrication de viennoiseries feuilletées (pains au chocolat et mini-chinois) et sur lesquelles des problèmes de collant ont également été notés, pour échanger avec les responsables à ce sujet.

Ce fut au final une expérience très intéressante et qui m'a beaucoup appris au sujet du secteur des industries de la panification et notamment de la fabrication de viennoiseries. Celle-ci est une activité mettant en jeu des produits complexes et sensibles que sont les pâtes et laissant une large place au travail de l'artisan boulanger. Ce fut également très enrichissant du point de vue scientifique et technique car les sujets que j'ai traités sont très diversifiés et touchent à des domaines comme la statistique, la rhéologie, l'agronomie et la biochimie. Enfin, ce stage m'a conforté dans mes choix de formation et m'a permis de clairement identifier mes points d'intérêt ; j'en tiendrais sans doute compte lors de mes choix futurs.

Annexe 1 : La fabrication de la brioche

a. Les principaux ingrédients de la pâte à brioche :

Profondément enracinée dans les habitudes de consommation françaises, la viennoiserie désigne une boulangerie de fantaisie dont la technique de fabrication se rapproche de celle du pain ou de la pâte feuilletée mais qui inclut des ingrédients qui lui donnent un caractère plus gras, plus riche et plus sucré qui la rapprochent de la pâtisserie. Les pâtes sont levées ou feuilletées. Voici une rapide présentation des ingrédients les plus fréquemment rencontrés dans une pâte à brioche, nous reviendrons plus tard sur certains :

- *La farine de blé* : ingrédient de base des produits de panification. Outre l'abondance de cette céréale, son utilisation très répandue est liée à la capacité de la pâte qu'elle donne à retenir les gaz permettant, ainsi, son expansion lors de la cuisson. La farine est un ingrédient complexe contenant différents constituants (protéines, lipides, glucides...) qui jouent un rôle direct ou indirect dans les caractéristiques de la pâte. Le gluten que forme la farine à l'issue de son imbibition forme un réseau tridimensionnel souple et élastique à la fois (on parle alors de viscoélasticité), imperméable aux gaz.
- *L'eau* : également indispensable pour occasionner une pâte, elle provoque le gonflement des grains d'amidon et l'assouplissement du gluten, elle est aussi nécessaire à l'activité des levures (autrement dit au développement de la fermentation panaire) comme elle forme une phase « solvant » assurant la dissolution des composés solubles (Sel, sucres...). De plus, les liaisons hydrogène mises en jeu lors de la formation du réseau de gluten semblent participer, pour beaucoup, au comportement rhéologique de la pâte. Elle va par ailleurs déterminer en grande partie les propriétés rhéologiques de la pâte (cohésion, consistance, viscoélasticité...) : l'énergie nécessaire à la déformation de la pâte diminue de manière exponentielle avec l'augmentation de l'eau ajoutée (Webb et al., 1970). L'excès d'eau en revanche semble créer un effet de dilution qui ne favorise pas la formation du réseau gluténique.

- *La matière grasse* : Sur le plan organoleptique, les corps gras confèrent au produit une saveur et un arôme particuliers. Le beurre français est l'ingrédient de prédilection en viennoiserie du fait de sa flaveur très appréciée, mais il est fréquemment substitué par des matières grasses d'origine végétale (Huiles de Colza, Tournesol et Palme). Elle entraîne la lubrification des constituants du milieu, notamment les protéines et les grains d'amidon, influençant ainsi largement la consistance et les propriétés rhéologique de la pâte en sortie pétrissage. Cet affaiblissement de consistance a pour conséquence une facilité de capture de l'air.
- *Les matières sucrantes* : Elles ont un intérêt pour ce qui est de la coloration de la croûte, la levée de la pâte et pour le goût. Le saccharose est bien sûr le plus utilisé sous sa forme « cristal », en raison de son faible coût et sa pureté. Le sucre inverti (Un mélange équimolaire de glucose et de fructose obtenu par hydrolyse du saccharose) quant à lui présente un pouvoir sucrant plus élevé que le saccharose (pouvoir sucrant de 1.73 ; 1 étant celui du saccharose), un fort pouvoir hygroscopique permettant de conserver le moelleux plus longtemps et un pouvoir anti-cristallisant. Autre avantage non négligeable du sucre inverti : il est très fermentescible (facilement assimilable par les levures).
- *L'Œuf de poule* : Livré en Big Bag (poches de 1000L), cet ingrédient riche en protéines est ce qui donne la teinte légèrement jaune à la mie de la brioche et l'aspect doré (Réaction de Maillard avec le sucre) de la croûte. Il a un effet foisonnant/émulsifiant qui donne une structure aérée à la pâte. De même, sa richesse en lécithine assouplit la pâte et la rend plus tolérante. La Boulangère utilise de l'œuf frais, de l'œuf « plein air », de l'œuf « poule au sol », du blanc d'œuf pour confectionner les différentes recettes.
- *La Crème fraîche* : Elle apporte une plus grande richesse, rend la croûte plus fondante et la mie plus moelleuse. Elle a également un effet émulsifiant du fait de son apport en protéines lactières.
- *Les agents levants* : Un groupe d'ingrédients vivants, contenant des levures et/ou des bactéries lactiques. Ils sont préparés à partir de bases fournies par l'entreprise Lesaffre, sur le site des Herbiers. La levure diluée est un liquide constituée d'une certaine quantité d'eau mélangée à de la levure émietlée (un gramme contenant 10^{10} cellules d'une souche pure de *Saccharomyces cerevisiae*), elle est utilisée dans tous les produits La Boulangère et est responsable de la levée des pâtes par la production abondante de gaz carbonique issu de la dégradation partielle des sucres.

Le levain quant à lui est un ingrédient spécial issu de la boulangerie artisanale qui a un impact très positif sur l'arôme par la production de dizaines de molécules aromatiques parallèles (des alcools, aldéhydes, acides pour la plupart identifiées dans la mie) participant aux qualités organoleptiques. La durée de conservation des produits est aussi rallongée de plusieurs jours, car l'activité acidifiante de la flore lactique induit une baisse de pH. Le levain présente par ailleurs un intérêt nutritionnel en dégradant de manière optimale l'acide phytique (contenu principalement dans le péricarpe du grain de légumineuse et de céréale) qui a la fâcheuse tendance à aller complexer certains minéraux (Ca, Mg...) dans l'intestin, supprimant ainsi leur biodisponibilité.

- *Le sel alimentaire* : présent dans la plupart des produits de panification, son rôle principal se situe au niveau gustatif, il exalte la saveur des autres ingrédients, et rend le pain meilleur. On considère que le sel diminue les arrière goûts

À ces éléments qu'on qualifierait de basiques s'ajoutent d'autres ingrédients minoritaires : ce sont les mix améliorants (Ils se présentent sous forme de poudres contenant un mélange d'enzymes, agents d'oxydation, Hydrocolloïdes, émulsifiants.) destinés à agir sur le comportement de la pâte (Rhéologie, fermentation et prise de volume), les émulsifiants (E471 sous forme poudre ou pâte), le colorant bêta-carotène, les arômes (beurre, vanille ...).

b. Procédé suivi :

Le procédé de fabrication d'un produit brioché La Boulangère passe par la suite d'étapes suivantes :

- Tout commence par **la pesée** des ingrédients, effectuée de manière autonome par un système Guérin après que le boulanger ait composé son code recette. Les ingrédients sont déversés directement dans la cuve amovible du pétrin (tous, à part le sel qui est pesé indépendamment et qui est rajouté en fin de pétrissage pour permettre un développement optimal du gluten).
- Vient ensuite la phase de **frasage**, c'est un mélange à vitesse lente des ingrédients, elle marque le passage de l'état pulvérulent à l'état pâteux de la farine sous l'action de l'eau ; les grains d'amidons, tout comme les protéines insolubles de la farine commencent à gonfler et à devenir collants. Un début de maillage protéique apparaît.
- **Le pétrissage** quant à lui se fait à vitesse plus élevée, il se traduit par le développement du réseau glutineux, la structuration et l'incorporation d'air dans la pâte. C'est une étape de cisaillement, extension, compression et soufflage. Le but est d'obtenir en sortie de pétrin une pâte homogène, lisse avec un réseau extensible et lié.

- Il faut ensuite un temps de **pointage**, également appelé première fermentation et qui se fait en masse (~30min). La pâte repose, prend de « la force » et ses arômes se développent.
- Suit **le façonnage**, c'est-à-dire **la division** de la pâte en pâtons de taille adaptée à celle du produit fini, puis **le boulage** qui assure l'obtention de produits réguliers. Les pâtons façonnés sont fin prêts à être déposés dans les moules !
- **L'étuvage** (ou apprêt) est la deuxième phase de fermentation qui dure de une à trois heures. Il se fait dans des conditions de température proche de 30°C et à hygrométrie suffisante (80% HR) pour éviter le « croûtage » des pâtes. Le volume est démultiplié. Cette étape est suivie, quand c'est nécessaire d'une phase de **scarification** des produits, qui a lieu grâce à des jets d'eau mobiles sous haute pression.
- **Le dorage** se fait par pulvérisation d'œuf à 30% de MS sur la surface des produits juste avant cuisson. Le résultat attendu est une croûte fine, dorée.
- **La cuisson** a une durée qui varie en fonction de la taille des produits et est assurée en production par des fours tunnel à trois temps dont on peut régler tous les paramètres de manière précise.

Toutes ces étapes doivent prendre en compte la texture de la pâte, et notamment son caractère « collant », en effet, la pâte fait l'objet de plusieurs opérations de transfert et de mise en forme qui impliquent des contacts directs avec les équipements (pétrin, tapis roulants, plaques, paniers). Un excès de collant va à l'encontre du déroulement normal des opérations. C'est la raison pour laquelle les pâtons et certains tronçons des lignes subissent un « fleurage* » à plusieurs reprises lors du processus de fabrication, censé diminuer les phénomènes d'adhérence.

Annexe 2 : La Translocation 1B/1R

Une translocation chromosomique désigne dans le domaine de la génétique un échange de matériel chromosomique entre deux chromosomes non homologues, c'est-à-dire n'appartenant pas à la même paire. Normalement considérée comme une anomalie lorsqu'elle se produit naturellement, elle peut être volontairement sélectionnée et fixée dans le génome de plantes lorsqu'elle apporte une amélioration.

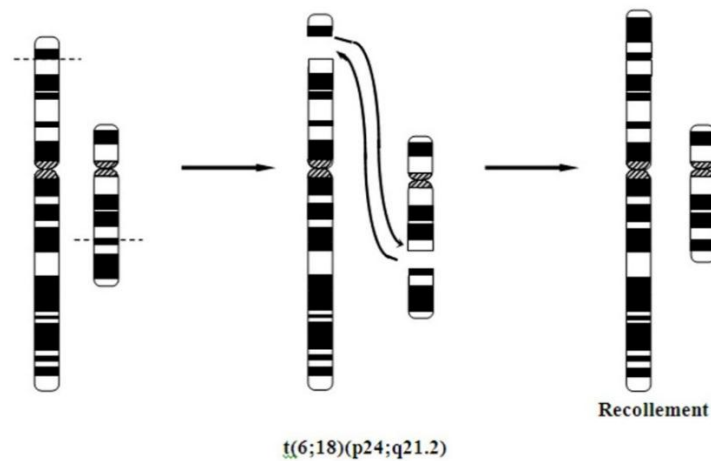


Figure 1 mécanisme de formation d'une translocation réciproque (source UMVF Université de Nantes)

La translocation 1B/1R est une translocation chromosomique impliquant l'implantation de matériel chromosomique du bras court du chromosome 1R du seigle (*Secale Cereale L*) dans le bras court du chromosome 1B du blé. La manipulation est complexe et présente plusieurs variantes, dont je n'exposerais pas les détails ici mais qui ont été largement étudiés.

Elle a été utilisée dans des programmes d'amélioration du blé comme source de gènes pour l'amélioration des cultivars. Le bras court du chromosome 1R de seigle porte en effet les gènes de résistance à quatre maladies fongiques majeures des céréales : l'oïdium (causé par le champignon *Erysiphe graminis*), la rouille Jaune (*Puccinia striiformis*) la rouille brune (*Puccinia recondita*), et la rouille noire (*Puccinia graminis*) (Dhaliwal et al., 1987). Un gain de rendement moyen a également été observé dans les conditions choisies, tout comme une augmentation globale et considérable des qualités agronomiques des blés portant la translocation ; Toutes ces particularités les rendent donc très intéressantes en agriculture biologique.

Malheureusement, les blés portant le segment de chromosome 1R ont une faible valeur boulangère, et ont tendance à donner des pâtes avec un collant marqué dans les conditions de pétrissage intensifié (pratiqué en industrie), associé à des valeurs basses de force boulangère et une intolérance au surpétrissage (Dhaliwal et al., 1987).

Annexe 3 : Le test d'extensibilité

a. Utilité et principe

Un autre aspect important de la qualité d'un réseau gluténique est sa capacité à se déformer sans casser, C'est l'extensibilité. Cette caractéristique est d'autant plus importante qu'elle est sollicitée lors de la pousse de la pâte (fermentation panaire), puis lors de la cuisson. La pâte doit pouvoir se déformer sous la prise de volume des bulles de gaz qu'elle emprisonne sans rompre.

Cette méthode s'appuie sur l'utilisation d'un texturomètre en mode « traction », ce qui veut dire que la sonde ne descend pas pour aller exercer une force sur l'éprouvette de pâte, mais que la pâte à tester est fixée à la platine de l'appareil et en contact avec la sonde qui va remonter en mesurant la force qu'elle subit en continu, exercée par la pâte.

On s'inspire d'une solution commerciale proposée par Stable Microsystems, sauf que l'on fabrique nous même le nécessaire : le crochet rattaché au capteur de force du texturomètre, et la platine, constituée de deux parties en plastiques, amovibles entre lesquels on bloque l'échantillon de pâte à tester.

Un texturomètre Zwick Roell est employé, en mode traction. La sonde utilisée est un simple crochet métallique fabriqué au laboratoire ; qui va s'adapter sur le capteur. La platine est quant à elle remplacée par un couple de plaques usinées pour l'occasion dans du plexiglas (épaisseur de 4mm) de mêmes dimensions.

b. Protocole expérimental

Une fois le matériel mis en place (le crochet et l'une des plaques de plexiglas), on commence par sélectionner et ouvrir la procédure « extension pâte crue » paramétrée et enregistrée en mémoire. Il faut ensuite régler la distance entre les mâchoires de la machine pour que le crochet soit juste au niveau de la plaque en place. La pâte, après avoir été mise en forme à l'aide de la seringue de pâtisserie est posée sur le crochet et la plaque. La deuxième plaque sert pour bloquer l'échantillon à tester. On bloque ensuite le tout (l'ensemble plaques + pâte) avec une main pour être sûr que rien de bouge. On peut alors lancer le cycle de mesure. Les résultats de mesure obtenus sont bel et bien en accord avec les observations évidentes que l'ont fait en étirant la pâte manuellement, mais ne permettent malheureusement pas de déceler des différences fines entre pâtes proches. Le test est donc trop peu discriminant en raison d'un capteur de force peu sensibles ou d'un matériel inadapté par rapport à ce que seraient des pièces vendues par des constructeurs spécialisés.

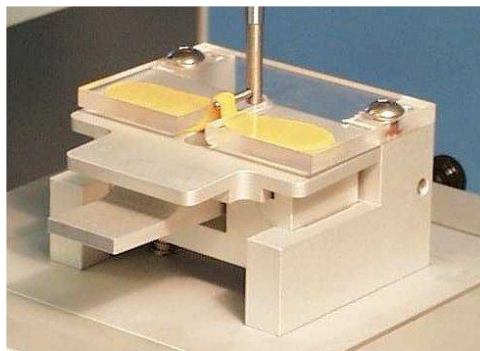


Figure 1 Solution commerciale de mesure de l'extensibilité des pâtes proposée par Chatillon Force Measurement
(Source : www.chatillon.com)

Annexe 4 : Le raffinage des huiles alimentaires

Le raffinage est l'ensemble des opérations qui servent à transformer l'huile brute en un produit comestible en éliminant les impuretés qui le rendent impropres à la consommation en l'état.

En effet, les huiles contiennent de nombreux composés : certains sont très utiles (vitamines, insaponifiables, ...), d'autres sont nuisibles à leur qualité (gommes, acides gras libres, pigments, agents odorants, ...).

Le raffinage consiste donc à éliminer au mieux ces composés afin d'obtenir une huile aux qualités organoleptiques et chimiques satisfaisantes. Il comprend plusieurs opérations :

- Démucilagination (ou dégommage) : elle permet de débarrasser les huiles des gommes après leur hydrolyse par un acide.
- Neutralisation : les acides gras libres sont les impuretés les plus représentées dans les huiles à raffiner. L'étape de neutralisation sert à éliminer ces composés susceptibles d'accélérer l'oxydation de l'huile. Elle se fait à l'aide de soude caustique et est suivie d'un lavage à l'eau et d'un séchage.
- Décoloration : elle sert à éliminer les pigments contenus dans l'huile.
- Filtration : cette étape permet d'obtenir une huile limpide après élimination de la terre décolorante.
- Désodorisation : cette étape permet de débarrasser, l'huile de son odeur désagréable par distillation sous vide poussé à température élevée (180°C-200°C).

Source : <http://www.azaquar.com/doc/raffinage-de-huile-brute>, *Sciences et techniques des aliments*