

1. Les variétés

On utilise les 2 variétés suivants: Blé dur (*Triticum durum*), Blé tendre (*Triticum sativum*).

2. Déroulement des essais

2.1. La mouture

La mouture, opération centrale de la transformation des blés en farines et en semoules, repose sur la mise en œuvre de deux opérations unitaires; une opération de fragmentation-dissociation des grains et une opération de séparation des constituants. La première permet de dissocier l'amande et les enveloppes (broyage), de fractionner les semoules vêtues (désagrégage) et de réduire l'amande en farine (convertissage); la seconde assure la séparation des sons et des enveloppes sur la base de leur granulométrie (division par tamisage) et de leurs propriétés aérodynamiques (épuration des semoules par sassage) (Pierre, 2000).

Les moulins possèdent deux séries d'appareils à cylindres (broyeurs et convertisseurs /claqueurs) à travers lesquels les blés ou les produits de mouture doivent successivement passer afin d'être réduits en farine. Chaque opération de broyage est suivie d'une opération de séparation par tamisage, qui permet de classer les produits avant de les enveloppes sur l'appareil à cylindres suivant (Pierre, 2000).

Le *broyage* est une opération qui permet d'ouvrir mécaniquement le grain, par cisaillement, choc ou compression, et de détacher plus ou moins complètement l'amande qui se brise alors que les enveloppes, plus élastiques, résistent. Il est réalisé entre des cylindres cannelés tournant en sens inverse et à des vitesses différentes; le rapport des vitesses est d'environ 2,5 (Pierre, 2000).

Les cannelures possèdent une petite et une grande face, respectivement le tranchant et le dos; elles se caractérisent par leur profondeur, l'angle que forment les deux faces et la longueur du méplat qui sépare chaque indentation (Pierre, 2000).

La position des cannelures les unes par rapport aux autres a un effet important sur les caractéristiques des produits isolés après broyage; en position tranchant sur tranchant, elles exercent une action de cisaillement et, en position dos sur dos, une action d'écrasement (Pierre, 2000).

Le *convertissage* et le claquage sont effectués des appareils à cylindres lisses, respectivement des convertisseurs et des claqueurs. Ces deux opérations visent à réduire la granulométrie des semoules qui les alimentent et ne se différencient l'un de l'autre que par l'origine et la nature des produits

traités; les convertisseurs reçoivent des semoules purifiées, les claqueurs des semoules vêtues (Pierre, 2000).

Le *tamissage*, ou blutage permet de séparer les produits en provenance des cylindres lisses et des cylindres cannelés en fonction de leur granulométrie. L'opération est réalisée dans des plansichters, appareils formés d'un assemblage de tamis superposée et soumis à un mouvement rotatif et de va-et-vient permanent sous l'action d'un moteur excentrique (Pierre, 2000).

Le *sassage* assure également la séparation des produits de mouture: les produits sont maintenus en suspension par un courant d'air ascendant au dessus de tamis dont largeur de maille diminue au fur et à mesure de la progression des produits, celle-ci étant assurée par l: les produits sont maintenus en suspension par un courant d'air ascendant au dessus de tamis dont largeur de maille diminue au fur et à mesure de la progression des produits, celle-ci étant assurée par l: les produits sont maintenus en suspension par un courant d'air ascendant au dessus de tamis dont largeur de maille diminue au fur et à mesure de la progression des produits, celle-ci étant assurée par l'inclinaison et le mouvement de va et vient des tamis .la ségrégation des produits repose sur leurs différences de densité et de propriétés aérodynamique: les particules d'albumen amylicé, plus denses($d = 1,4$) que celles d'enveloppe ($d = 1,2$), retombent plus rapidement sur les tamis et sont extraites en premier (Pierre, 2000).

A. La mouture de blé tendre

A.1. Principes

Théoriquement on peut résumer la mouture du blé en deux phases:

- séparer l'amande farineuse du son et du germe;
- réduire cette amande en granules suffisamment fins.

Le son - le son parfait du moins - est constitué. Rappelons- le:

- d'une part par les enveloppes du fruit ou péricarpe et par celles de la graine;
- d'autre part par l'assise protéique. Cette dernière constitue en fait la première assise de l'endosperme; mais par la nature "cellulosique " de ses parois elle s'apparente beaucoup plus aux enveloppes, auxquelles elle est intimement soudée, qu'à l'amande farineuse (Abdelhamaid, et al, 1996).

Dans la réalité, c'est principalement au broyage qu'il appartient de séparer le son de l'amande farineuse: ce serait exclusivement à lui qu'incomberait cette opération s'il était capable de la réaliser parfaitement du même coup le rôle du convertissage (nous comprenons sous ce terme le claquage et le convertissage proprement dit) serait plus nettement délimité et celui du sassage disparaîtrait complètement (Abdelhamaid, et *al*, 1996).

C'est pourquoi l'on peut dire que le sassage est l'expression de l'imperfection du broyage ou, sous un angle moins absolu, que l'importance du sassage est fonction de cette imperfection (Abdelhamaid, et *al*, 1996).

A.2. Caractéristiques technologiques des produits de mouture

La qualité technologique d'une semoule pour la fabrication de pâtes alimentaires est définie par son aptitude à donner des produits finis dont l'aspect et la qualité culinaire répondent aux désirs des consommateurs. Ces deux caractéristiques sont influencées par la composition biochimique et l'état physique (granulométrie) des semoules, eux-mêmes liés à l'origine histologique des produits (Abdelhamaid, et *al*, 1996).

B. La mouture de blé dur

B.1. Le principe

Dans le cas de céréales dépourvues de sillon, la première transformation est réalisée grâce au procédé de décortilage par abrasion qui consiste à user progressivement le grain de l'extérieur vers l'intérieur de manière à éliminer les parties périphériques. Pour le blé, en revanche, avec un tel procédé, il n'est pas possible d'atteindre les enveloppes qui se trouvent à l'intérieur du sillon (Abdelhamaid, et *al*, 1996).

Le procédé de mouture repose sur un principe totalement différent. Il faut tout d'abord ouvrir le grain et récupérer ensuite, étape par l'albumen amylicé en commençant par extraire les parties les plus internes pour se rapprocher progressivement de la périphérie du grain (Abdelhamaid, et *al*, 1996).

Il existe des problèmes spécifiques de la transformation du blé dur en semoule:

- les opérations de nettoyage doivent être très efficaces, beaucoup plus qu'en minoterie, tout simplement parce que la taille des particules de semoule étant beaucoup plus élevée; les impuretés qu'elle contiendra seront également plus grosses et par conséquent plus visibles que dans la farine,

- la opération du blé à la mouture doit être réalisée de manière à rendre les enveloppes plus tenaces et plus élastiques tout en maintenant une structure vitreuse de l'albumen- au cours des opérations de mouture, il conviendra de rechercher à obtenir une production maximum de semoules devront, en outre, possible avec un minimum de farine. Les semoules devront, en outre posséder des caractéristiques physicochimiques (granulométrie, coloration, etc.) qui répondent aux besoins de leurs utilisateurs (Abdelhamaid, et *al*, 1996).

Nous allons maintenant décrire chacune de ces trois étapes de la première transformation du blé dur (Abdelhamaid, et *al*, 1996).

3. L'analyse technologique et physicochimique

3.1. Détermination de la teneur en eau

Si l'on ne tient pas compte de l'eau fixée par liaisons covalentes aux autres molécules présentes dans le milieu, on peut définir la teneur en eau d'un blé ou d'une farine comme étant la quantité d'eau éliminée après maintien du produit dans une atmosphère où la pression de vapeur d'eau est égale à zéro pendant un temps suffisant pour atteindre un équilibre en poids. Une de deux méthodes de référence utilisée pour réaliser cette mesure repose sur ce principe. Elle est très longue (six jours et plus) et difficile à mettre en œuvre; sa reproductibilité est excellente mais à la condition de s'assurer de l'absence de substances volatiles dans les conditions de l'essai (Pierre, 2000).

Des méthodes pratiques d'analyse ont donc été développées. Elles se classent en trois catégories: mesure de perte de poids après séchage, spectroscopie dans l'infrarouge et mesure de constantes physiques (conductivité et constante diélectrique) (Pierre, 2000).

3.2. Détermination de la teneur en cendre

Le taux de cendres des farines dépend non seulement de leur taux d'extraction, mais également de la minéralisation des grains mis en mouture. Les conditions de croissance de la plante peuvent avoir pour conséquence une évolution de la teneur en matières minérales des grains qui se répercute sur celle des farines. Il est souhaitable, dans la mesure du possible, qu'il soit tenu compte de cette éventualité lors des contrôles de la teneur en cendres des farines (Chehat, 1994).

3.3. Détermination de la teneur en protéine

Trois méthodes sont utilisées pour déterminer la teneur en protéines du blé et des farines: la méthode Kjeldahl, la méthode Dumas et la spectroscopie dans le proche infrarouge (Pierre, 2000).

On sait que la panification devient impossible lorsque la teneur des farines en protéines est inférieure à 7%. La quantité de protéines exerce donc un rôle important vis-à-vis de la qualité boulangère, ce rôle pouvant d'ailleurs être plus ou moins marqué, selon le plan quantitatif, on lui préfère le dosage des protéines, et sur le plan qualitatif, les essais rhéologiques sur pâtes (Pierre, 2000).

Quoiqu'il en soit, le rôle exercé par la teneur en protéines des farines sur leur qualité technologique est essentiellement fonction de la nature du produit fini. D'une façon générale, les fabrications nécessitant des pâtes à levée lente, fermentées biologiquement (pains et biscottes), réclament des farines à teneur en protéines toujours (Pierre, 2000).

Plus élevée que celles dont la levée rapide est provoquée par des adjuvants chimiques (articles de biscuiterie et de pâtisserie) (Pierre, 2000).

Extraction des protéines et préparation des échantillons

La protéomique exige l'utilisation d'échantillons biologiques de qualité. L'extraction de protéines à partir de tissus, de cellules isolées ou de liquides physiologiques est réalisée à l'aide de tampons appropriés, mis au point en considérant la nature des protéines à étudier (protéines cytosoliques, membranaires, nucléaires...) (Chehat, 1994).

Les tampons d'extraction à pH bien déterminé, sont constitués dans des proportions variables, de mélanges d'agents réducteurs, de détergents, voire de solvants organiques. Ils sont généralement supplémentés d'inhibiteurs de protéases. Les protocoles expérimentaux doivent éviter les contaminations par des acides nucléiques, des lipides et les sels (Chehat, 1994).

Ces contaminants peuvent perturber la séparation des protéines par électrophorèse bidimensionnelle ou par chromatographie liquide. Les protéines hydrophobes telles que les protéines membranaires sont difficiles à solubiliser. De même, les protéines très basiques, telles que les histones et les protéines ribosomales, sont peu visibles sur un gel 2D après une isoélectrofocalisation (Chehat, 1994).

De façon générale, la protéomique fait appel à l'utilisation de l'électrophorèse bidimensionnelle (2D) hautement résolutive et la spectrométrie de masse qui associée à l'analyse informatisée des gels, permet de visualiser et de mesurer des variations de quantité de protéines entre différents échantillons. Les protéines identifiées par spectrométrie de masse sont comparées aux protéines des banques de données disponibles sur internet (Chehat, 1994).

Intérêt nutritionnel

Les protéines sont les molécules de grande taille qui caractérisent les êtres vivants et qui sont présentes dans toutes les cellules. D'un point de vue nutritionnel, les protéines, parfois appelées protides, sont avec les glucides et les lipides, un des trois nutriments essentiels à notre alimentation. Elles sont sources d'acides aminés.

Les protéines assurent de nombreuses fonctions dans notre corps:

- elles jouent un rôle structural et participent au renouvellement des tissus musculaires, des cheveux, des ongles, des poils, de la peau, etc.
- elles assurent de nombreuses fonctions physiologiques, par exemple sous la forme d'enzymes, d'hormones...

Intérêt technologique

Les protéines sont classées selon leur degré de solubilité dans l'eau. De 10 à 20 % des protéines du lé sont solubles dans l'eau. Ce sont des protéines cytoplasmiques ou métaboliques. On trouve également des enzymes. Elles sont situées en périphérie du grain de blé (Chehat, 1994).

Les 80 à 90 % restantes sont insolubles dans l'eau et sont capables de s'associer pour former un réseau, une charpente, que l'on appelle le gluten. Il existe pour le blé deux familles de protéines insolubles: les gliadines et les gluténines. Les premières sont responsables de l'extensibilité et du collant des pâtes. Les secondes sont responsables de la ténacité et de l'élasticité des pâtes. Selon le rapport gliadines sur gluténines, les caractéristiques des pâtes seront donc différentes (Chehat, 1994).

3.4. Détermination de la teneur en amidon

La détermination de la teneur en amidon du blé ou des produits de mouture repose sur le dosage du glucose libéré après hydrolyse enzymatique. La méthode décrite dans la norme NF03-606 préconise la dispersion de l'amidon dans une solution NAOH 0.5 M après extraction des glucides solubles dans l'éthanol 80 GL, un ajustement du PH à 4.7 par acide acétique, l'hydrolyse à 60 par l'amyloglucosidase de l'amidon ainsi dispersé et le dosage du glucose libre (dosage

enzymatique par la glucose oxydase) le facteur de conversion du glucose en amidon est 0.9. Une autre méthode préconise l'hydrolyse de l'amidon par une amylase avant l'attaque par l'amyloglucosidase (Chehat, 1994).

3.5. Détermination de la teneur en gluten

La teneur en gluten est généralement déterminée après extraction par lixiviation (lavage par l'eau) d'un pâton sous un mince filet d'eau désionisée ou salée (Pierre, 2000).

Des appareils permettant une extraction mécanique et automatique du gluten sont également utilisés. Le plus courant d'entre eux est le glutomatic 22200 (Perten instruments, Huddinge, Suède). Les conditions d'utilisation sont les suivantes: 10g de farine sont placés dans un pétrin, puis mélangés avec 5,2 ml d'une solution à 2 % de Na Cl; après 20 sec de pétrissage, la pâte est automatiquement lavée pendant 5 min avec la solution à 2% de Na Cl (débit de lavage: 50- 60 ml /min); le gluten isolé est essoré dans une centrifugeuse (6000 tr/min pendant 1 min), pesé (gluten humide) et séché entre deux plaques chauffantes pendant 4 min (gluten sec) (Pierre, 2000).

Des techniques immuno-chimiques (immuno-électrophorèse) et, plus récemment immuno-enzymatique (plus sensible et plus rapide que les précédentes), commencent à être utilisées pour doser de manière spécifique les protéines du gluten (Pierre, 2000).

Rôle de gluten en panification

- rôle de fixateur d'eau.
- Amélioration de la tenue et de la résistance élastique de la pâte.
- Amélioration de la rétention gazeuse.
- Retard du rassissement du pain.

4. Les caractéristiques rhéologiques des pâtes

4.1. Définitions

La rhéologie est la science qui étudie les propriétés d'écoulement des corps soumis à des forces ou des contraintes extérieures, et des déformations.

On distingue 3 types de comportements:

- La viscosité
- L'élasticité
- La viscoélasticité

La pâte à pain possède à la fois les propriétés des liquides (viscosité) et des solides (élasticité), elle est viscoélastique. L'analyse des qualités rhéologiques de la pâte à pain consiste en des mesures (ou constat) de consistance, collant, relâchement, lissage, extensibilité, élasticité, tolérance et développement (pousse) de la pâte (Zikara, 2002).

La pâte subit une série de déformation dont la l'intensité différent d'une étape à l'autre de la panification. La mesure de l'évolution des propriétés rhéologiques de la pâte est donc particulièrement importante pour optimiser les conditions de fabrication et la qualité du pain (Pierre, 2000).

La consistance

C'est une état de fermeté de la pâte (Zikara, 2002).

Le collant

Est une force d'adhérence de la pâte (Zikara, 2002).

Le lissage

Aspect lisse de la pâte en fin de pétrissage (Zikara, 2002).

L'extensibilité

Capacité d'allongement ou de déformation de la pâte (Zikara, 2002).

L'élasticité

Capacité de la pâte à reprendre totalement ou partiellement sa forme après une déformation donnée (\pm intense) et l'arrêt de cette déformation (Zikara, 2002).

Il existe deux familles d'appareils:

- ceux qui mesurent l'évolution des caractéristiques de la pâte au cours de sa formation: farinographe et mixographe,
- ceux qui déterminent la consistance, la ténacité, l'extensibilité, l'élasticité ou la viscosité de la pâte une fois formée: alvéographe, extensographe, pénétromètre, viscoélastographe (Pierre, 2000).

- Farinographe

Le farinographe Brabender appartient à la première famille. Inventé par un chercheur hongrois en 1927, c'est un pétrin enregistreur thermostaté (la température est généralement fixée à 30C) équipé d'un système de mesure de la résistance à la rotation des bras du pétrin au sien de la pâte en fonction du temps. Il a été conçu pour déterminer le temps de développement de la pâte, le taux d'absorption d'eau par les farines et, d'une manière plus générale, ce qu'il est convenu d'appeler la

force des blés et des farines. La capacité de la cuve est de 50g (micro-farinographe) ou de 300g de farine. Les bras du pétrin, de forme sigmoïde, tournent en sens inverse, à la vitesse respective de 63 et 93 rotations par minute. Les mesures sont réalisées dans des conditions telles que la consistance maximale obtenue au cours de l'essai soit égale à 500 UB (l'UB, ou unité Brabender, est une unité arbitraire fixée par le constructeur) (Pierre, 2000).

- Mixographe

Permet également de mesurer la consistance de la pâte au cours du pétrissage. Mis au point à l'université du Kanas (KSU) au début des années 1930 pour apprécier la qualité des blés de force riches en protéines (alors que le farinographe serait plus adapté à la caractérisation des blés européens, plus faibles), c'est un pétrin à aiguilles dont le couple moteur est enregistré pendant la formation de la pâte (Pierre, 2000).

- Extensographe et alvéographe

L'extensographe est d'usage courant aux Etats- Unis; la quantité nécessaire d'une solution saline (2 % de NaCl) est ajoutée à la farine (300g) pour que la consistance de la pâte formée dans le pétrin d'un farinographe atteigne 500UB à son maximum de développement; après boulage, façonnage et repos, la pâte est fixée sur un support par ses extrémités et soumise à une déformation exercée par un crochet placet en son milieu et qui descend à vitesse constante. On enregistre fonction du temps la résistance opposée par la pâte à cette déformation . Les paramètres mesurés au cours de cet essai sont les suivants;

- L'absorption d'eau, égale à la quantité d'eau salée ajoutée à la pâte au cours de l'essai;
- La résistance maximale R_m (unité extensographe, ou UE) mesurée au cours de la déformation
- la résistance R_{50} , égale à la résistance mesurée après une élongation de la pâte de 50 mm;
- l'énergie E , assimilée à la surface de l'aire comprise entre l'abscisse (axe des temps) et la courbe enregistrée (résistance opposée par la pâte à l'étirement);

L'alvéographe est un appareil inventé en 1923 pour apprécier l'état de la pâte après pétrissage il repose sur l'appréciation de la résistance à la déformation d'un disque de pâte soumis à une extension bi axiale. L'intérêt de cette mesure réside dans la similitude de la déformation observée avec celles qui s'exercent au cours de la formation et de l'expansion des alvéoles de gaz au sein de la pâte pendant la fermentation sous la pression du carbonique et la cuisson (Zikara, 2002).

La pâte est pétrie après avoir ajouté à la farine un volume constant d'eau sans tenir compte des différentes capacités d'absorption d'eau des produits (la quantité d'eau ajoutée est seulement corrigée en fonction de la teneur en eau de la farine) (Zikara, 2002).

Laminée et découpée à l'emporte-pièce de manière à former une éprouvette de pâte d'épaisseur déterminée. Cette éprouvette est soumise à déformation. L'essai consiste à former une bulle de pâte en insufflant de l'air à débit constant sous l'éprouvette de pâte et à mesurer en fonction du temps l'évolution de la pression d'air P résultante, jusqu'à la rupture de la bulle (Zikara, 2002).

Le domaine d'utilisation de l'alvéographe Chopin est ainsi élargi à la mesure de ces courbes de relaxation par l'addition d'un microprocesseur (le relaxo-calculateur) qui permet leur tracé automatique (Pierre, 2000).