

Quelles caractéristiques pour une farine biscuitière ?

Influence de la dureté des blés et de la composition biochimique des farines sur leur aptitude biscuitière

E.P.J. CHARUN¹ et M.-H. MOREL²

Résumé

La dureté du blé, caractéristique essentiellement génétique, influence la friabilité des grains, déterminant ainsi leur comportement en mouture et les caractéristiques des farines obtenues, tels la distribution de taille particulaire et l'endommagement de l'amidon. Ces deux caractéristiques sont des facteurs déterminants de la qualité biscuitière. Une forte quantité d'amidon endommagé (tendance des blés « hard ») induit une augmentation de l'adsorption d'eau et a un effet négatif sur la qualité biscuitière (plus forte rétraction des biscuits après cuisson). Outre ces facteurs liés à la dureté des blés d'origine, la composition de la farine en protéines, pentosanes et lipides affecte la qualité des biscuits soit directement, soit par effet d'interaction avec l'eau (capacité d'adsorption, compétition et cinétiques d'hydratation, transition vitreuse). La situation actuelle, très défavorable du fait des faibles surfaces de blés « soft » emblavées, pourrait cependant évoluer si les sélectionneurs, les producteurs et les meuniers prenaient en compte la spécificité de la demande des industries biscuitières.

Abstract

Wheat hardness, essentially a genetic factor, affects grains crumbliness, thus determining milling characteristics as well as some attributes of the flours obtained, such as their particle size distribution and starch damage, both primary factors controlling biscuit quality. A high proportion of damaged starch (a common trend among hard wheats) induces an increase in water adsorption and has a detrimental effect on biscuit quality (more shrinkage of the biscuits after baking). Apart from these factors related to wheat hardness, biscuit quality is also determined by flour biochemical composition. Proteins, pentosans and lipids affect quality of end products, either directly or through their interaction with water (adsorption capacity, competition and kinetics, glass transition). Current status, unfavorable to French biscuit manufacturers due to the minor superficies grown with soft wheats, could change if plant breeders, farming and milling industries acknowledged the specificity of biscuit manufacturers.

La spécificité des biscuits par rapport à d'autres produits céréaliers comme le pain réside dans leur faible teneur en eau et le nombre important d'ingrédients entrant dans leur composition. Outre l'eau et la farine, la matière grasse et le sucre sont des constituants importants tant du point de vue quantitatif que fonctionnel. La classification des différents types de biscuits est généralement réalisée en fonction de leurs proportions relatives en matières grasses, sucres et eau (**figure 1**). La farine reste le

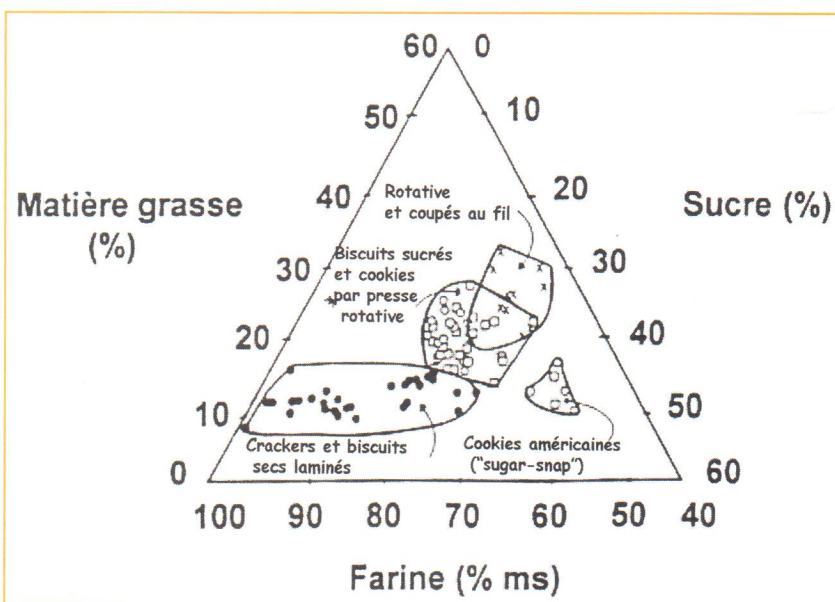


Figure 1 : Composition de différents types de biscuits en fonction du pourcentage relatif de farine, sucre et matière grasse (d'après Wade, 1988).

¹ United Biscuit, Group Technical, Lane End Road, High Wycombe, HP12 4JX, Grande-Bretagne

² INRA-ENSA, Unité de Technologie des Céréales et des Agropolymères, 2 place P. Viala, 34060 Montpellier Cedex.

Communications scientifiques & technologiques

plus souvent l'ingrédient majeur des pâtes biscuitières et ses caractéristiques exercent un effet significatif sur les propriétés des pâtes et des biscuits, particulièrement dans le cas des pâtes dures et semi-dures où elle représente plus de 50 % du poids des ingrédients (Wade, 1988).

Un certain nombre d'opérations fortement mécanisées convertissent progressivement les ingrédients en produits finis. Le pétrissage est encore très fréquemment conduit en « batch », mais les étapes suivantes de mise en forme (laminage, presse rotative, découpe, etc.) et cuisson se font généralement en continu. On peut distinguer deux types de procédés relatifs aux pâtes dures et semi-dures ou aux pâtes plus grasses (« short » et « soft » selon la terminologie anglo-saxonne). Dans les pâtes dures et semi-dures (par exemple, les pâtes de type « crackers »), les protéines de la farine s'associent sous l'effet des traitements thermo-mécaniques subis pour former un réseau de gluten : on parle alors de pâte « développée ». Dans le second groupe, les conditions de fabrication sont choisies de façon à limiter la formation de ce réseau en minimisant les apports d'énergie. Un temps de repos de la pâte, souvent de durée variable en fonction des contingences des étapes ultérieures du procédé, est observé avant la mise en forme (laminage, pressage rotatif, extrusion) et la découpe. L'opération de laminage consiste essentiellement à façonner le produit en formant un ruban de pâte d'une épaisseur déterminée. La presse rotative permet la formation de pâtons par compression dans des moules. Les pâtes les plus souples et grasses sont généralement mises en forme par extrusion. Enfin, l'étape de cuisson est aujourd'hui universellement conduite en four-tunnels, de 30 à 150 mètres de longueur, à des températures très variables selon les produits, depuis 200 °C environ pour les pâtes les plus grasses jusqu'à 300-350 °C pour les produits de type « crackers » (Wade, 1988).

Cette évolution industrielle vers une forte mécanisation, alors même qu'elle a grandement fait évoluer la capacité de production, a imposé une adaptation des matières premières vers plus de régularité. De nombreuses études se sont alors attachées à cerner les paramètres de composition critiques des farines. L'intérêt s'est porté soit sur les effets de l'état particulière des farines (influence de la dureté des blés sur la mouture, granulométrie et endommagement de l'amidon), soit sur les effets de leur composition biochimique, à la fois sur la rhéologie des pâtes et sur les caractéristiques dimensionnelles et de texture des produits finis.

Les farines utilisées dans les produits de biscuiterie sont dérivées de variétés de blé tendre de type « hard » ou « soft ». Les variétés « soft » sont généralement mieux adaptées à la fabrication de biscuits ou cookies (Wade, 1972 ; Wainwright *et al.*, 1985 ; Finley, 1989 ; Kulp et Olewnik, 1989). Des farines issues de variétés de type « hard », utilisées couramment pour la fabrication des crackers, peuvent être utilisées pour d'autres applications biscuitières mais des changements importants de formulations et/ou de process sont alors nécessaires. L'appréciation de la qualité du blé et son adéquation à un procédé donné ont toujours été au cœur des préoccupations des industriels du secteur biscuitier. De nombreuses méthodes physico-chimiques ou rhéologiques ont été retenues afin de disposer d'outils objectifs et rapides d'évaluation de la valeur d'utilisation des blés. Ces techniques, utiles dans un objectif de sélection variétale, se sont souvent révélées insuffisantes pour prévoir le comportement réel des farines en production.

Les différences d'aptitude biscuitière ont aussi été reliées à des différences de composition biochimique des farines. Les constituants de celles-ci sont, à l'exception de l'eau, un mélange complexe de molécules : amidon,

protéines, pentosanes et lipides dont les relations composition/fonctionnalité en liaison avec la fabrication des biscuits ont fait l'objet de travaux peu nombreux, essentiellement réalisés sur les cookies américains, à très haute teneur en sucre et en matière grasse (figure 1).

Des caractéristiques du blé à celles de la farine

En France, la sélection génétique a été, durant ces vingt dernières années, largement orientée vers la production de variétés « hard » destinées à la panification (Autran *et al.*, 1995), qui représente au niveau national environ 75 % des débouchés de la farine (Decourcelle, 1991). Au début des années 60, la sélection s'est attachée à retenir les génotypes présentant un fort W à l'alvéographe Chopin (utilisé comme référence de qualité par l'interprofession boulangère en France). En raison du poids de la dureté des farines dans le déterminisme de la valeur du W, la dureté a *de facto* été utilisée comme un marqueur de la force boulangère des blés destinés à la panification française. La dureté influence le W essentiellement par sa relation avec la ténacité P de l'alvéographe Chopin et ainsi, l'extensibilité L n'a pas été un facteur pris en compte dans la sélection génétique (Abecassis *et al.*, 1997). Cette orientation a favorisé l'apparition de variétés de dureté et ténacité croissantes et une forte diminution de surfaces emblavées en variétés de type « soft ». Les procédés industriels biscuitiers ont ainsi été adaptés de manière relativement empirique à l'utilisation des farines disponibles sur le marché pour obtenir des produits finis satisfaisants. Cette situation évolue actuellement puisque le CTPS (Centre Technique Permanent de la Sélection des variétés) a introduit récemment une nouvelle catégorie de blés dits « biscuitiers », définie en fonction

Communications scientifiques & technologiques

de critères de qualité établis par l'interprofession. Cette situation est très différente de celle observée en Grande-Bretagne, où la demande en blés « soft » tels que Consort ou Riband est importante, non seulement du fait des biscuitiers, mais aussi parce que ces blés s'exportent bien et peuvent, dans certains cas, être adaptés aux procédés de panification anglais de type *Chorleywood Bread Process*.

Méthodes d'évaluation de la qualité biscuitière

Les tests rhéologiques utilisés pour caractériser les farines biscuitières ont généralement été adaptés des techniques d'évaluation utilisées en boulangerie mais leur portée reste très limitée pour prédire les performances biscuitières. Ainsi, en Grande-Bretagne, l'inscription d'une variété « biscuitière » est basée sur sa réponse à l'extensographe, alors que le degré de corrélation entre cette valeur analytique et la qualité biscuitière reste discutable.

La pérennité de certaines corrélations reste également un point d'interrogation. Aux États-Unis, la capacité de rétention d'eau alcaline a longtemps été considérée comme un outil de prédiction de la qualité des cookies, en raison de sa corrélation négative avec le diamètre des « Sugar-snap cookies » (Yamazaki, 1953 ; 1954), mais des travaux plus récents n'ont pas confirmé la pertinence de ce facteur pour les blés « soft » actuels (Finney, 1989 ; Gaines *et al.*, 1996 ; Yamamoto *et al.*, 1996).

Malgré les difficultés de mise en œuvre, les essais ou microtests reproduisant les procédés industriels apparaissent comme le moyen le plus fiable pour apprécier la valeur d'utilisation des farines. Des microtests de cuisson de « cookies » ont été mis au point dès les années 50 (Finney *et al.*, 1950) et repris dans de nombreux travaux ultérieurs (Yamazaki *et al.*, 1977 ; Abboud *et al.*, 1985a, b ; Doescher *et al.*, 1987a, b ; Gaines *et al.*, 1996).

Plusieurs de ces tests ont été acceptés par l'AACC (*American Association of Cereal Chemists*). En France, l'interprofession à travers le CTCPA (ex-CTUC), a également mis au point un micro-test réalisant une évaluation de la qualité biscuitière des farines d'après les caractéristiques d'un goûter sec non fourré : l'aptitude d'une farine est ainsi définie par l'adéquation des biscuits obtenus à une fourchette de caractéristiques dimensionnelles, de masse volumique et d'aspect de surface (Tharrault, 1994). Ce test est à la base de la classification biscuitière actuelle du CTPS.

Influence de la dureté des blés sur leur comportement en mouture et les caractéristiques physico-chimiques des farines

La texture de l'endosperme est une caractéristique variétale, qui peut être modifiée partiellement par des facteurs environnementaux (Hoseney *et al.*, 1988). Ainsi, au sein d'un groupe de blés ayant reçu des apports azotés croissants en cultures, la dureté des blés (évaluée le plus souvent par spectroscopie infrarouge) semble augmenter parallèlement au taux de protéines pour toutes les variétés testées (Willm, 1995a). Globalement, les blés « soft » auraient une dureté inférieure à celle des blés « hard » (Williams, 1979 ; Miller *et al.*, 1982 ; Wade, 1988).

La mouture, par une série de traitements mécaniques, sépare les diverses parties du grain de blé pour réduire l'endosperme en une fine poudre, constituée d'un mélange de fragments d'albumen, de granules d'amidon libres et de fragments de matrice protéique. Les différences de comportement à la mouture des blés « hard » et « soft » ont pour résultat une farine constituée de particules plus grossières contenant beaucoup plus d'amidon endommagé dans le cas des blés « hard » (Wade, 1988).

L'endommagement mécanique de l'amidon lors des opérations de mouture est directement influencé par :

- **le type et la sévérité du broyage** : l'augmentation de la pression de broyage augmente la teneur en amidon endommagé (Jones, 1940 ; Wade, 1988). Une augmentation du rendement a le même effet, cette fois-ci par l'incorporation de proportions plus importantes de farines de « queues » de claquage et de convertissage ;
- **la teneur en eau des blés à la mouture** : une mouture plus sèche induit une augmentation de l'amidon endommagé (Viot, 1992) ;
- **la structure vitreuse de l'amande** : une amande dure et vitreuse, caractéristique des blés « hard », induit une plus grande sensibilité à l'endommagement mécanique qu'une amande tendre et farineuse de blés « soft » (Hoseney *et al.*, 1988 ; Wade, 1988). Lors de la mouture de grains de blé « soft », l'endosperme tend à se fracturer à la jonction intercellulaire et à l'interface amidon/protéine, avec pour conséquence une farine contenant davantage de granules d'amidon libres et des fragments de protéines libres. En revanche, l'endosperme des blés « hard » se rompt à la mouture en de plus larges fragments, la cassure intervenant fréquemment à travers les cellules de l'endosperme.

La taille particulière plus faible et la surface irrégulière des particules font que les blés « soft » s'agglomèrent plus facilement et se tamisent moins bien (Neel et Hoseney, 1984a, b). De manière générale, les profils de fréquence de distribution en taille des farines « soft » (nombre de particules en fonction du diamètre particulière) présentent une forme bimodale, avec des pics de taille similaire dont les maxima sont à 20-30 µm et 100 µm. En revanche, les profils de fréquence de distribution en taille des blés de type « hard » ne présentent qu'un seul pic vers 100 µm (Willm, 1995b, Devaux *et al.*, 1998).

Communications scientifiques & technologiques

Relations entre la dureté des blés et la qualité biscuitière

La dureté des variétés apparaît comme le critère le plus important influençant la qualité biscuitière. Les biscuits obtenus à partir de blés « soft » sont, de manière générale, moins denses que les produits fabriqués à partir de blés « hard ». Ces différences de densité ont été attribuées à une plus grande expansion des pâtes de blés « soft » lors de la cuisson (Wainwright *et al.*, 1985 ; Wade, 1988). Les biscuits issus de farines « soft » sont également plus friables (Wainwright *et al.*, 1985 ; Wade, 1988). Cette caractéristique est positive :

des biscuits denses ont une texture en bouche plus dure même si, industriellement, la densité peut s'ajuster dans une certaine mesure par une augmentation de la quantité de poudres levantes.

Pour des produits contenant plus de matière grasse et de sucre tels que les cookies américains, l'utilisation de blés « soft » permet d'obtenir des biscuits plus épais et plus étalés ayant une structure interne plus uniforme (Hoseney *et al.*, 1988). L'étalement des cookies est corrélé positivement avec le caractère « soft » des blés (Gaines, 1985 ; Gaines et Donelson, 1985). Yamazaki (1956) et Abboud *et al.* (1985a) ont clairement montré, à

partir d'enregistrements photographiques lors de la cuisson, que les pâtes de cookies obtenues à partir de farines de blés « soft » s'étaient plus rapidement et plus longtemps que les mêmes pâtes obtenues à partir de farines de blés « hard » (**figure 2**). Yamazaki (1959a) a également montré que la viscosité de pâtes de cookies préparées à partir de farines de blés « hard » augmentait plus tôt au cours de la cuisson et à une température plus basse que la viscosité des pâtes issues de farines de blés « soft ».

En ce qui concerne les propriétés rhéologiques des pâtes biscuitières, la quantité d'eau nécessaire pour obtenir une pâte de consistance satisfaisante est plus importante avec des blés « hard » (Wainwright *et al.*, 1985 ; Wade, 1988). La réduction de taille particulaire moyenne augmenterait les quantités d'eau nécessaires pour obtenir une consistance donnée de pâte aussi bien parmi les blés « hard » que les blés « soft » et ce, quel que soit le type de formulation considéré (Wainwright *et al.*, 1985). Mais comme, en général, la granulométrie et l'amidon endommagé sont des variables intrinsèquement liées (**figure 3**), il est difficile de déterminer s'il s'agit

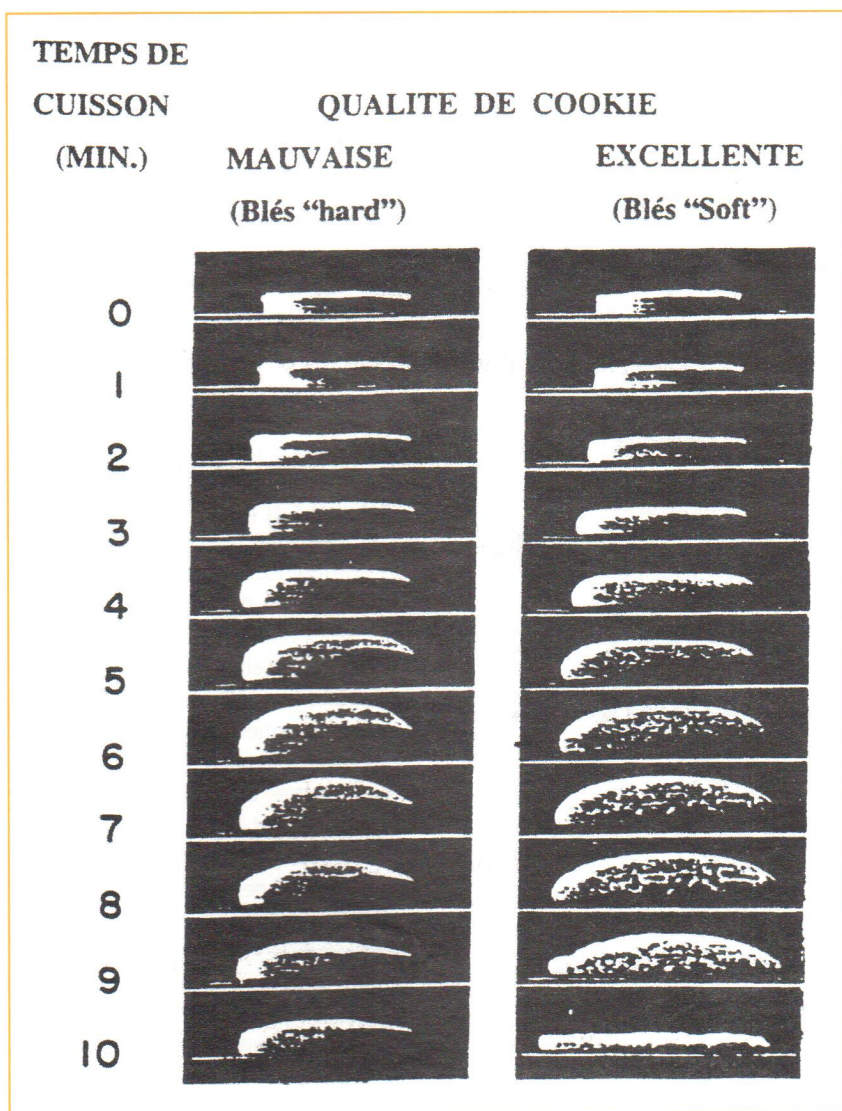


Figure 2 : Effet de la qualité des farines utilisées sur l'étalement des cookies (type « sugar-snap ») lors de la cuisson (Document Yamazaki, W.T. & US Department of Agriculture, reproduit par Wade, 1988).

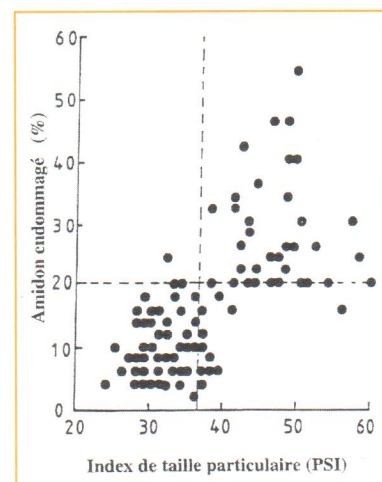


Figure 3 : Relation entre amidon endommagé et index de taille particulaire pour des farines obtenues dans des conditions de mouture standard à partir de lots de blés de variétés pures (Récoltes 1981-1983), (d'après Wainwright *et al.*, 1985).

Communications scientifiques & technologiques

là d'un effet de l'endommagement d'amidon ou de la diminution de taille particulière proprement dite.

Clairement, cette corrélation négative entre dureté et qualité biscuitière semble bien intégrée par la profession aussi bien en Grande-Bretagne qu'en France si l'on considère les variétés inscrites aux catalogues respectifs : Riband, Consort ou Claire en Grande-Bretagne et Scipion, Ami, Albinoni, ou Beauchamps en France sont tous des blés « soft ».

Origines physico-chimiques des différences d'aptitude biscuitière liées à la dureté des blés

La meilleure qualité des biscuits obtenus à partir de farines de blés « soft » peut être reliée à de multiples facteurs physico-chimiques : **leur faible adsorption d'eau, leur granulométrie plus fine et leur quantité d'amidon endommagé** (Hoseney *et al.*, 1988 ; Wade, 1988). De plus, peut-être indirectement en relation avec leur utilisation finale, les blés « soft » ont généralement un taux de **protéines plus faible**.

La capacité d'adsorption d'eau

La capacité d'adsorption d'eau des farines est influencée essentiellement par trois types de composants biochimiques que sont les protéines, les pentosanes, et l'amidon endommagé (Hoseney *et al.*, 1988). Le pouvoir d'adsorption d'eau des granules d'amidon endommagé est très supérieur à celui des granules intacts (*cf. supra*). La présence de « queues » de mouture diminue l'étalement des cookies (Yamazaki, 1955 ; Sollars, 1956), effet attribué ultérieurement aux quantités importantes de pentosanes de ces fractions (Upton et Hester, 1966).

La distribution en taille des particules

La **répartition granulométrique** de la farine détermine sa surface spécifique totale qui est un des principaux facteurs influençant la cinétique d'hydratation d'une pâte : une plus grande surface de contact pourrait favoriser une hydratation plus rapide. La répartition granulométrique d'une farine ne se caractériserait pas tant par la dimension des plus grosses particules que par le degré de dissociation et l'homogénéité de composition de ses particules, plus élevés pour les blés « soft ».

Après séparation par **tamissage** des différentes fractions granulométriques d'une farine, les fractions les plus fines donnent globalement les meilleurs biscuits, qu'il s'agisse de leurs caractéristiques organoleptiques (couleur, texture, etc., Badei *et al.*, 1992) ou de leurs caractéristiques dimensionnelles (en l'occurrence, des cookies de diamètre plus élevé selon Yamazaki, 1959b ; Gaines, 1985 ; Yamamoto *et al.*, 1996). Ces conclusions doivent être nuancées par le fait que la répartition granulométrique n'est pas le seul facteur variable entre les différentes fractions, dont la composition biochimique est également différente.

La diminution de taille particulière moyenne due à un rebroyage de la farine provoquerait une diminution de l'étalement (Yamazaki, 1959b ; Brenneis, 1965 ; Gaines, 1985 ; Wainwright *et al.*, 1985 ; Wade, 1988), effet imputable aux méthodes de **rebroyage** des farines qui augmenteraient l'endommagement de l'amidon. La réduction de taille particulière par rebroyage de semoules provoque également une augmentation de la quantité d'eau nécessaire pour obtenir une consistance donnée, et ce, quel que soit le type de blé utilisé (Wainwright *et al.*, 1985 ; Wade, 1988). Elle provoque aussi bien dans le cas des blés « hard » que dans celui des blés « soft », une diminution de densité des biscuits de type *Lincoln* (pâtes sablées) alors

qu'au contraire, les biscuits de type « semi-sweet » voient leur densité augmenter (Wainwright *et al.*, 1985). D'après Wade (1988), la répartition granulométrique aurait plus d'importance dans des pâtes de type sablées (« short doughs ») alors que l'amidon endommagé serait plus important dans les pâtes dures et semi-dures (« hard doughs »).

La teneur en protéines

Les blés « hard » présenteraient une tendance à contenir une plus grande quantité de fractions de gluténines de fort encombrement moléculaire (*cf. infra*) que les blés « soft », sans qu'il soit possible d'avancer une conclusion définitive à ce sujet (Kul et Olewnik, 1989). Cette corrélation pourrait être une conséquence du processus de sélection, une haute teneur en protéines étant généralement recherchée pour les blés « hard » utilisés en boulangerie alors qu'elle est généralement négative en biscuiterie.

Effet de la composition biochimique et des propriétés fonctionnelles des différents constituants de la farine

Les différences physiques entre farines issues de variétés de blés tendres « hard » et « soft » sont parfois directement induites par la mouture, par exemple du fait d'un endommagement plus ou moins important des granules d'amidon. Mais d'autres différences d'aptitude biscuitière ont été reliées à des différences de composition biochimique des farines. Les constituants de celles-ci sont, à l'exception de l'eau, un mélange complexe de molécules : amidon, protéines, pentosanes et lipides. Les travaux concernant les relations composition/fonctionnalité en relation avec la fabrication des biscuits sont peu nombreux et

Communications scientifiques & technologiques

essentiellement réalisés sur les cookies de type « sugar-snap » (c'est-à-dire dont le « croustillant » est obtenu par la haute teneur en sucres). Si la farine reste l'ingrédient majoritaire dans ce modèle de biscuit, l'influence de ses composants est fortement réduite par rapport à d'autres types de formulations (Slade et Levine, 1995). Devant ce manque de données relatives aux produits de biscuiterie, un grand nombre d'études réalisées en panification apportent un éclairage complémentaire, en particulier en ce qui concerne les effets attribués aux protéines et aux lipides. Les résultats de ces études sont toujours à considérer avec prudence car la composition de ces pâtes (farine et quantité d'eau importante) maximise les effets de la fraction protéique.

L'amidon

L'amidon (**Encadré 1**) joue un rôle important dans la structure des pâtes et des biscuits en tant que constituant majoritaire de la farine (70-75 %). S'il est parfois décrit comme un composant inerte ayant essentiellement un rôle de remplissage de la matrice constituée par le gluten et les pentosanes, de nombreux auteurs lui accordent un rôle essentiel sur l'adsorption d'eau au cours du pétrissage (Wade, 1988). Les granules endommagés lors de la mouture voient leurs propriétés physico-chimiques modifiées, avec une sensibilité accrue aux enzymes amylolytiques et une perte de structure organisée notable (Kent et Evers, 1994). De plus, leur capacité d'adsorption d'eau s'accroît

L'amidon

L'amidon est présent dans la farine sous forme de granules intacts ou endommagés lors de la mouture. Pour plus d'informations sur la composition (amylose / amylopectine) et les principaux modèles structuraux actuels de l'amidon, voir Kent et Evers (1994).

Encadré 1.

considérablement : selon les auteurs, de 0,3 à 1 g H₂O/g amidon (Farrand, 1964), ou de 0,5 à 3-4 g H₂O/g amidon (Kent et Evers, 1994). Certains auteurs suggèrent même que l'amidon endommagé, du fait des quantités présentes par rapport aux autres constituants de la farine, serait le principal facteur contrôlant la consistance de la pâte, et ce, même en tenant compte de la capacité d'adsorption d'eau beaucoup plus élevée des pentosanes insolubles (10 à 11 g H₂O/g pentosanes insolubles) (Evers et Stevens, 1985 ; Wade, 1988). Une quantité importante d'amidon endommagé, facteur souvent lié au caractère « hard » des blés utilisés, joue indubitablement un rôle néfaste, nous l'avons vu précédemment à propos de la fabrication des cookies (Evers et Stevens, 1985 ; Gaines *et al.*, 1988 ; Hosney *et al.*, 1988 ; Wade, 1988 ; Faridi, 1990).

À la cuisson, contrairement aux pâtes boulangères, une faible partie de l'amidon est gélatinisée (Varriano-Marston *et al.*, 1980 ; Abboud et Hosney, 1984). Même si une faible perte de biréfringence est observée, les granules conservent pour la plupart leur intégrité (Flint *et al.*, 1970 ; Burt et Fearn, 1983 ; Wade, 1988), du fait de la faible quantité d'eau présente (environ 20 % au maximum).

Les pentosanes

Les arabinoxylanes (**Encadré 2**) ont une forte capacité d'adsorption d'eau et influencent donc les propriétés rhéologiques des pâtes (MacCleary, 1986). De par l'augmentation de viscosité qu'ils confèrent à la pâte boulangère, ils contribuent à stabiliser les alvéoles gazeuses au cours de la montée en température (Izydorczyk et Biliaderis, 1995).

Les pentosanes

Les cellules de l'albumen des grains de blés sont entourées d'une fine paroi cellulaire, composée de polysides non-amylacés, formés principalement d'unités d'anhydropentososes, d'où leur nom de « pentosanes » (Wade, 1988). La farine de blé contient de 1 à 4 % de pentosanes totaux, la majorité s'accordant sur une teneur de 1,5 à 2 % de la m.s. (Hashimoto *et al.*, 1987 ; Michniewicz *et al.*, 1990 ; Izydorczyk *et al.*, 1991b). Le contenu en pentosanes des blés peut varier en fonction du lieu de culture, mais cette variabilité reste inférieure à la variabilité génétique (Hong *et al.*, 1989).

Les deux principaux polymères constitutifs des pentosanes du blé sont les arabinoxylanes et les arabinogalactanes (Neukom, 1976). Les arabinoxylanes, constituant majeur (70 %) sont composés de xylose, d'arabinose et d'acide férulique. Les unités xylose liées en β 1-4, constituent une chaîne linéaire qui est partiellement substituée par des arabinoses au niveau des carbones 2 et 3 du xylose. Le rapport arabinose/xylose est pour les arabinoxylanes de blé compris entre 0,5 et 1. Certaines unités arabinose sont porteuses d'un ester d'acide férulique. Par dimérisation des acides féruliques, deux chaînes d'arabinoxylane peuvent se combiner pour donner un complexe de masse moléculaire plus importante.

Les arabinoxylanes se présentent sous forme soluble ou insoluble, en liaison avec leur encombrement moléculaire et leur degré d'imbrication physique avec les autres polymères pariétaux. Selon les variétés et la technique d'extraction retenue, les arabinoxylanes solubles représenteraient 0,5 à 1,5 % de la farine, soit 30 à 40 % des arabinoxylanes totaux (Hosney, 1986 ; Hashimoto *et al.*, 1987 ; Michniewicz *et al.*, 1990 ; Izydorczyk *et al.*, 1991b).

Pour plus d'informations sur la structure et le poids moléculaire des pentosanes, voir notamment Meuser et Suckow (1986), Fincher et Stone (1986), Amado et Neukom (1985), Gruppen *et al.* (1992) et Rouau (1996).

Encadré 2.

Communications scientifiques & technologiques

Ils adsorbent environ 10 à 11 fois leur masse d'eau (Bushuk, 1966 ; Kulp, 1968) et joueraient un rôle majeur dans l'hydratation de la farine malgré leur faible quantité. Bushuk (1966) estime que les pentosanes, qui ne représentent que 1,5 % de la farine, sont responsables de 23 % de l'eau adsorbée.

Une corrélation négative a depuis longtemps été mise en évidence entre la quantité de fractions de « queues » de mouture, riches en pentosanes insolubles, et l'étalement des cookies (Yamazaki, 1955 ; Sollars, 1956 ; Gilles, 1960 ; Upton et Hester, 1966). D'autres travaux ont depuis confirmé le rôle négatif des pentosanes insolubles (Yamazaki et Donelson, 1976 ; Yamazaki *et al.*, 1977 ; Abboud *et al.*, 1985a). Les résultats concernant l'effet des fractions solubles sont plus divergents : elles augmenteraient le diamètre des cookies dans le cas des blés « soft » et le diminueraient dans le cas des blés « hard » (Sollars, 1959 ; Yamazaki *et al.*, 1977) mais Kaldy *et al.* (1991), en comparant les compositions et les aptitudes biscuitières de 20 variétés de blé, ont mis en évidence une corrélation négative entre les pentosanes solubles et aussi bien le volume des cakes que le diamètre des cookies.

Certains auteurs estiment que le potentiel biscuitier des farines serait essentiellement déterminé par la capacité d'adsorption d'eau des pentosanes (Kissel et Yamazaki, 1975 ; Jeltama *et al.*, 1983 ; Cottenet, 1986) mais le doute subsiste : cette affirmation pourrait-elle être basée sur l'échantillonnage des blés ? D'autres facteurs potentiels n'ont-ils pas été nivelés (c'est possible quand, par exemple, tous les blés sont de type « soft » et à faible teneur en protéines) ? Plus récemment, Bettge et Morris (2000) attribuent aux pentosanes (et plus particulièrement ceux associés aux membranes) des propriétés de modification de la dureté qui affectent significativement l'utilisation finale des blés « soft » alors qu'au contraire, ils semblent avoir un rôle minimal dans les

variations de dureté des blés « hard ». Dans cette étude, les pentosanes totaux, pour 13 échantillons de blés « soft », étaient ainsi à l'origine de 87 % des variations de diamètre des cookies.

À l'état isolé et en présence d'agents oxydants (par exemple, les radicaux peroxydes générés par la lipoxygénase), les arabinoxylanes peuvent former des gels covalents. L'acide férulique associé aux arabinoxylanes est responsable de cette gélification oxydative : de nombreux mécanismes moléculaires ont été proposés (Izydorczyk et Biliaderis, 1995). Seules les fractions d'arabinoxylanes possédant un contenu élevé en acide férulique, une forte masse moléculaire et une chaîne de xylanes relativement peu substituée, seraient capables de former un nombre suffisant de pontages permettant l'obtention d'un gel tridimensionnel très structuré (Izydorczyk et Biliaderis, 1992a, b). Dans la mesure où les protéines modifient les caractéristiques physiques des gels d'arabinoxylanes (Neukom et Markwalder, 1978 ; Hoseny et Faubion, 1981),

les chaînes latérales de la tyrosine ou de la cystéine des protéines et l'acide férulique des pentosanes pourraient théoriquement interagir, bien que de telles liaisons n'aient pas été isolées à ce jour (Izydorczyk et Biliaderis, 1995 ; Figueroa-Espinoza *et al.*, 1998).

La réticulation des groupes féruloyl augmente considérablement la capacité d'adsorption d'eau des pentosanes de 10-11 g à plus de 100 g H₂O/g (Izydorczyk *et al.*, 1991a ; Izydorczyk et Biliaderis, 1995). Dans la pâte boulangère et sous l'effet oxydant d'enzymes endogènes ou exogènes, le couplage covalent des arabinoxylanes, en augmentant la taille moyenne des pentosanes solubles contribuerait à l'accroissement de la viscosité des pâtes et à une rétention d'eau accrue.

Les lipides endogènes

La farine de blé contient des lipides endogènes (environ 2 %) (**Encadré 3**) qui participent à l'expression de la qualité intrinsèque des farines. Même si les formulations des biscuits contiennent des

Les lipides endogènes de la farine de blé

Ces lipides sont associés à deux des constituants majeurs de la farine : ils forment des complexes avec l'amylose ou sont insérés dans la matrice protéique (Drapron et Génot, 1979 ; Berger, 1983). La localisation des lipides dans le grain est très liée à ces associations (Hargin et Morrison, 1980) et les conditions de mouture sont donc déterminantes pour le contenu lipidique de la farine. Des différences importantes ont été observées entre variétés en fonction de l'année de récolte (Davis *et al.*, 1980).

Les lipides endogènes sont généralement classifiés en deux groupes présentant des fonctionnalités différentes selon leur polarité :

- les lipides de réserve, apolaires ou légèrement polaires (triglycérides, diglycérides, monoglycérides) ;
- les lipides de structure, polaires (glycolipides, phospholipides).

L'extraction des lipides libres de la farine entraîne généralement une modification des propriétés rhéologiques des pâtes. L'élimination de ces lipides par le pentane se traduit par une augmentation d'environ 20 % du module d'élasticité et du seuil de déformation et de 110 % de la viscosité d'une pâte de farine (Germain *et al.*, 1968).

Le volume du pain est fortement corrélé à la teneur en lipides polaires, au ratio lipides polaires/apolaires et au contenu en galactolipides extraits à l'éther de pétrole (Chung *et al.*, 1980 ; MacCormick *et al.*, 1991).

Communications scientifiques & technologiques

quantités importantes de matière grasse exogène, les lipides de la farine ont une fonctionnalité propre, mise en évidence par les études sur des farines délipidées (Le Roux, 1987). Une dégradation de qualité est observée sur les biscuits obtenus avec ces farines : couleur plus foncée, diamètre réduit, détérioration de l'aspect de surface (Cole *et al.*, 1960 ; Kissel *et al.*, 1971 ; Clements, 1980). De plus, une modification de la structure interne des produits est notable (Yamazaki et Donelson, 1976 ; Clements, 1980). Les effets décrits pourraient résulter de l'effondrement et de la coalescence des bulles d'air pendant l'expansion de la pâte. Les biscuits obtenus à partir de farines délipidées présentent de larges vides alors que la structure interne normale est plus uniforme, avec de petites bulles régulières. La reconstitution de la farine délipidée permet une restauration des qualités originales du biscuit. Des études conduites sur d'autres produits céréaliers de cuisson ont abouti aux mêmes conclusions. Les différents auteurs s'accordent pour reconnaître l'effet positif des lipides libres sur le volume du pain et le diamètre des biscuits (Pomeranz *et al.*, 1981 ; Le Roux, 1987). L'addition de lipides libres (*i.e.* extractibles par l'éther de pétrole à moins de 35 °C) dans des farines de qualité médiocre, jusqu'à trois fois la concentration initiale, améliore leurs performances biscuitières (Kissel *et al.*, 1971).

Dans les travaux cités, les auteurs se sont également intéressés aux rôles des fractions polaires et non polaires. Kissel *et al.* (1971) affirment que les deux types de lipides sont nécessaires à la restauration complète des qualités des biscuits alors que Cole *et al.* (1960) ainsi que Clements et Donelson (1981) suggèrent que la fraction non polaire aurait une contribution négligeable.

Ces divergences peuvent s'expliquer par la variabilité des protocoles et des méthodes d'extraction/reconstitution utilisées par les différents auteurs ; ce type d'approche méthodologique

étant susceptible d'induire une dénaturation des composants de la farine.

L'importance des lipides de la farine sur l'expression de ses propriétés fonctionnelles a été recherchée au niveau des interactions qu'ils peuvent avoir avec les protéines du gluten. Certaines méthodes structurales (comme la Résonance Magnétique Nucléaire du Phosphore et la MET associée à la cryofracture), qui n'altèrent pas la physico-chimie du système, ont permis de montrer que les lipides endogènes se trouvaient sous forme de vésicules, qui n'interagissent pas avec les protéines de stockage mais seraient piégées physiquement dans le réseau de gluten, en raison des propriétés physiques particulières de certaines protéines. Le gluten pourrait donc être considéré comme un système contenant des microémulsions stabilisées (Marion *et al.*, 1987). Le principal effet fonctionnel des lipides endogènes est lié à la formation et à la stabilité des cellules de gaz de la pâte. Les lipides polaires endogènes contribueraient à la rétention de gaz en stabilisant le film liquide interfacial, qui aurait ainsi la capacité de s'étirer sans rupture. Les molécules s'orientent pour former une monocouche lipidique à l'interface gaz/eau. La pression grandissante du film crée une force qui neutralise la tension à l'interface liquide/gaz et donc stabilise les cellules de gaz. Les lipides, notamment la fraction polaire prennent donc part au foisonnement de la pâte, et, s'ils ne semblent pas essentiels à la rétention des gaz (les protéines et les pentosanes les remplacent dans des farines délipidées), ils contribuent néanmoins grandement à l'amélioration de celle-ci (Gan *et al.*, 1995).

Les protéines

La teneur en protéines

L'importance de ce facteur est controversée. Cependant, la grande majorité des cahiers des charges de farines biscuitières imposent aux

meuniers un pourcentage relativement faible en protéines (la limite supérieure se situant généralement au plus vers 10,5/11 % de protéines). Cette précaution s'avère particulièrement importante dans le cas des pâtes dures et semi-dures car une augmentation de la teneur en protéines peut favoriser la formation d'un réseau de gluten plus dense conduisant à une pâte plus élastique, donc à l'origine d'une rétraction plus importante des pâtons après laminage et découpe ou lors de la cuisson.

Au sein de la classe des blés de type « soft », un contenu limité en protéines et un gluten faible sont donc souhaitables pour un bon comportement à la cuisson des cookies de type « sugar-snap » (Wade, 1988 ; Gaines et Finney, 1989 ; Kulp et Olewnik, 1989 ; Gaines, 1990 ; Kaldy *et al.*, 1993 ; Souza *et al.*, 1994). La teneur en protéines est négativement corrélée au diamètre des biscuits mais cette corrélation devient néanmoins faible au sein du groupe des blés « soft » (Abboud *et al.*, 1985a).

Composition de la fraction protéique

La composition de la fraction protéique est un facteur tout aussi important, sinon plus, que la teneur globale. La majorité des travaux mettant en relation la composition protéique et la qualité biscuitière a été effectuée sur le modèle « sugar-snap cookies », une formulation qui minimise l'influence de la farine du fait de sa très haute teneur en sucre (30-40 % de la m.s. de la formule) et matière grasse (40-50 % de la m.s.). La plus importante source bibliographique reste bien sûr le grand nombre d'études réalisées en relation avec les farines de panification.

Un des obstacles majeurs de la caractérisation des protéines du blé est le manque de méthodes permettant leur solubilisation totale, nécessaire pour mesurer des propriétés comme le poids

Communications scientifiques & technologiques

moléculaire ou la distribution en taille des agrégats protéiques. En l'absence d'une rupture de liaisons covalentes, 10 à 30 % des protéines de la farine restent insolubles même dans les milieux les plus dénaturants (MacRitchie, 1992).

L'évolution des techniques de fractionnement et d'analyse a permis l'isolement de nouvelles fractions protéiques qui se démarquent clairement du schéma traditionnel d'Osborne (1907), séparant les protéines d'après leurs caractéristiques de solubilité. Une nouvelle classification (**Encadré 4**), basée sur les caractéristiques structurales et génétiques des protéines de la farine a été depuis proposée (Mifflin *et al.*, 1983 ; Shewry *et al.*, 1986).

Il n'existe que peu d'informations disponibles sur la contribution de chaque fraction protéique à la qualité biscuitière. Selon Payne *et al.* (1987), le score de qualité Glu-1 (dit « de Payne ») serait négativement corrélé avec la qualité biscuitière des blés britanniques. Mais, selon Souza *et al.* (1994), seule la présence de la sous-unité 13 + 19 serait négativement corrélée au diamètre des cookies. Des travaux récents (Hou *et al.*, 1996a, b) présentent quelques pistes, avec les limites des corrélations obtenues avec un nombre restreint de variétés (17 blés « soft » appartenant à 4 classes) ; elles restent donc à confirmer. Ces auteurs suggèrent que les quantités de certains sous-groupes de gliadines et gluténines seraient fonctionnels lors de la fabrication de cookies mais les conclusions sont différentes d'une classe de blés « soft » à l'autre (Hou *et al.*, 1996a, b). L'un de leurs résultats le plus évident reste que les farines des blés « soft » contenant la sous-unité 1 conduisent globalement à des diamètres de « sugar-snap cookies » plus élevés que celles contenant la sous-unité 2* (16 variétés sur 17 contiennent l'une de ces 2 sous-unités). Les corrélations de ces deux sous-unités avec les caractéristiques alvéographiques de la pâte sont

également opposées, la sous-unité 1 étant corrélée positivement avec l'extensibilité (L). Globalement, aucune conclusion n'est aussi clairement établie en relation avec la qualité biscuitière que ne l'est la présence de sous-unités SG-HPM 5 + 10 pour l'amélioration de la qualité boulangère en comparaison des sous-unités 2 + 12 ou 3 + 12 (Payne *et al.*, 1987 ; MacRitchie, 1992 ; Bedo *et al.*, 1995).

L'eau

Quelques travaux semblent indiquer que la teneur en eau de départ de la farine, dans une formule à teneur en eau totale constante, n'est pas sans effet sur les propriétés des pâtes et biscuits obtenus. Ainsi, une plus grande teneur en eau de la farine augmenterait l'extensibilité et la souplesse de pâtes grasses (« short doughs ») et diminuerait

Classification des protéines de blé tendre.

- Les **albumines/globulines** correspondent à des protéines de structure et fonctionnelles : bien que n'intervenant pas dans la composition du gluten, certaines peuvent, par leur activité enzymatique, influencer les propriétés viscoélastiques de celui-ci (comme la lipoxygénase, une oxydoréductase catalysant une série de réactions radicalaires conduisant, selon Potus *et al.* (1994), à un hydroperoxyde instable qui contribue, en panification, à former des ponts disulfures, et à favoriser ainsi l'oxydation du gluten, augmentant la tolérance de la pâte au surpétrissage). De nombreuses autres enzymes sont présentes dans la farine telles que les amylases, importantes en panification, mais qui le sont beaucoup moins en biscuiterie du fait de l'absence de fermentation.
- Les **protéines amphiphiles** constituent le second groupe, extrait de la farine avec des solvants organiques ou des détergents non ioniques. Ces protéines sont accompagnées de grandes quantités de lipides polaires (Redman et Fisher, 1968 ; Frazier *et al.*, 1981 ; Zawistowska *et al.*, 1985), bien que la non-spécificité des méthodes d'extraction ne garantisse pas que les protéines ainsi isolées soient encore dotées de propriétés de liaison avec les lipides. Une extraction spécifique préservant les structures natives au sein de la farine de blé a depuis lors permis d'isoler des protéines qui s'associent aux lipides (Blochet *et al.*, 1990). L'une de ces familles de protéines, les puro-indolines, s'est avéré posséder des propriétés moussantes remarquables, avec formation d'un film lipoprotéique très stable aux interfaces air-eau (Wilde *et al.*, 1993 ; Compoin *et al.*, 1994), propriétés qui pourraient jouer un rôle dans le « foisonnement » des pâtes.
- Les **prolamines**, protéines de réserve, constituent le **gluten**, masse viscoélastique obtenue après lixiviation d'un pâton et qui contient 75 à 85 % de protéines, 4 à 9 % de lipides et des traces d'amidon, de fibres et de sucres. Les prolamines rassemblent *grasso modo* à la fois les gliadines et les gluténines de la classification d'Osborne. La dénomination de polymères de gluténines se réfère à des structures basées sur des liaisons disulfures intermoléculaires entre sous-unités de gluténines. Ces polymères, que certains auteurs dénomment les macropolymères de gluténine (Weegels *et al.*, 1996), constituent des macromolécules dont le poids moléculaire peut atteindre plusieurs millions de Da. La nomenclature usuelle est fondée sur une numérotation allant de 1 à 22, en fonction de leur distance de migration électrophorétique en PAGE-SDS et de leur date de mise en évidence (Payne *et al.*, 1981).

Pour plus d'information sur les caractéristiques (poids moléculaire, composition, structure, etc.) des protéines du blé et les différentes techniques de caractérisation, voir la très complète revue de MacRitchie (1992).

Encadré 4.

Communications scientifiques & technologiques

la rétraction à la cuisson (Hodge et James, 1981). La teneur en eau de la farine aurait également un effet sur l'état de surface des cookies : une haute teneur en eau de la farine, à hydratation constante de la pâte, empêcherait le craquellement de surface (Doescher et Hoseney, 1984). Le mécanisme sous-jacent pourrait être associé à une hystérésis prononcée des isothermes de désorption-adsorption de la farine (Hoseney *et al.*, 1988).

Interaction des composants de la farine avec les autres constituants de la pâte. Transition vitreuse et plastification par l'eau et la matière grasse

Les polymères, tels que les protéines ou l'amidon dans le cas de la farine, peuvent exister sous plusieurs états : cristallin, liquide ou vitreux (amorphe). La transition vitreuse correspond à la zone de passage de l'état vitreux à l'état liquide (ou inversement) de matériaux amorphes et traduit une propriété cinétique globale de ce matériau. Elle se caractérise par une température de transition vitreuse (T_g). En dessous de cette température, les molécules sont figées et seuls des mouvements locaux non coopératifs, de faible amplitude sont permis. Au-dessus de la T_g , des mouvements moléculaires de plus grande amplitude, à caractère coopératif, mettent en jeu des segments moléculaires ou des molécules entières (Lemeste et Simatos, 1990). Ces mouvements suivent une loi polynomiale différente de la loi d'Arrhénius dans l'intervalle $T_g / T_g + 100$ °C : la loi WLF (Williams-Landel-Ferry).

L'hydratation a un impact très important sur la fonctionnalité des macromolécules. L'effet de l'eau est celui d'un **plastifiant** : la T_g diminue

fortement avec le taux d'hydratation du matériau. Ainsi, dans les produits céréaliers cuits à faible teneur en eau (10-15 %), la zone de T_g des différents matériaux vitreux, en particulier le gluten, se situe environ à une température voisine de 20 °C (Lemeste *et al.*, 1992). Lorsqu'un produit est soumis à des températures supérieures à sa température de transition vitreuse, les propriétés mécaniques et rhéologiques changent (**figure 4**) : sa viscosité diminue, faisant passer le produit par une texture caoutchouteuse et son élasticité diminue également (Levine et Slade, 1990).

La température de transition vitreuse est spécifique d'un matériau donné, de sa composition et de sa teneur en plastifiant (eau, eau + sucre, matière grasse, etc.). Dans la farine de blé, deux types de polymères peuvent être considérés comme des polymères, respectivement amorphe (le gluten de blé) et semi-cristallin (partiellement amorphe : l'amidon). Les changements d'hydratation et de

température et leurs cinétiques au cours de l'ensemble du procédé peuvent concerner non seulement ces composés mais également d'autres composants comme les sucres (en particulier, lors de la cuisson). Sous l'angle des sciences des polymères, les « **cookies** » classiques seraient composés d'une matrice vitreuse eau/saccharose contenant des granules d'amidon, de gluten non-développé et de matière grasse alors que les produits de type « **crackers** » seraient composés d'un réseau vitreux continu d'amidon partiellement gélatinisé, de gluten partiellement développé, de saccharose amorphe et de matière grasse (Levine et Slade, 1990 ; Slade et Levine, 1995).

Les phénomènes de transition vitreuse du gluten pourraient être impliqués dans les différences de comportement entre les farines de bonne et de mauvaise qualité biscuitière au cours de la cuisson (Kulp et Olewnik, 1989 ; Slade *et al.*, 1989 ; Levine et Slade, 1990).

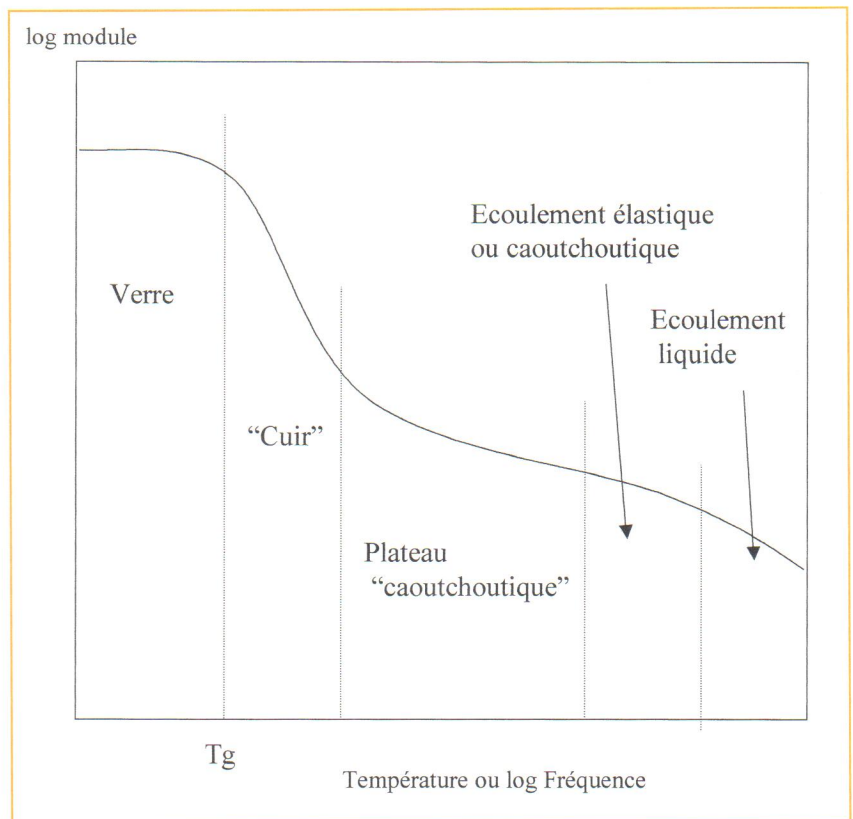


Figure 4 : Diagramme illustrant les 5 régions caractéristiques du comportement visco-élastique des polymères synthétiques (d'après Levine et Slade, 1990)

Communications scientifiques & technologiques

Selon ces auteurs, le gluten de farines issues de blés « hard » thermodurcirait dans la pâte à une température plus basse que celui de blés « soft », qui resterait thermoplastique plus longtemps au cours du cycle de cuisson, permettant ainsi un étalement plus important des biscuits avec ces farines.

Conclusions

La revue de l'ensemble des travaux publiés à ce jour en relation avec la qualité biscuitière souligne l'importance fondamentale de la dureté des blés d'origine, qui s'exprime essentiellement à travers l'état particulaire créé par la mouture (granulométrie, endommagement de l'amidon). D'après Wade (1988), la répartition granulométrique aurait plus d'importance dans des pâtes grasses (« short doughs ») alors que l'amidon endommagé serait plus important dans les pâtes dures et semi-dures, mais il reste difficile de se faire une opinion définitive, du fait de la forte corrélation entre amidon endommagé et répartition granulométrique dans des conditions standard de mouture.

Par ailleurs, l'identification des effets quantitatifs et qualitatifs de chacun des constituants biochimiques de la farine (protéines, lipides, pentosanes, etc.) reste difficile à cause de la complexité des milieux étudiés et des éventuelles interactions entre ces composants. La relation entre dureté des blés et composition biochimique des farines est encore imparfaitement établie. À cet égard, le cas des puro-indolines est révélateur. Celles-ci sont le principal composant de la friabiline, protéine associée à la surface des granules d'amidon des blés « soft » alors qu'elle se retrouve associée à la matrice protéique dans le cas des variétés « hard » (Darlington *et al.*, 2000). Les *loci* des puro-indolines sont situés sur le bras court du chromosome 5D, où se trouve également le gène majeur

contrôlant la dureté. Mais les fonctions biologiques de ces protéines, leur relation avec la dureté des blés et leur rôle éventuel dans l'expression du caractère « soft » ne sont pas encore complètement élucidés (Douliez *et al.*, 2000).

Du point de vue des industriels, il serait également souhaitable que les meuniers prennent en compte de manière plus importante la dureté dans leurs critères de sélection des blés destinés aux biscuitiers. L'orientation de la sélection variétale française vers des variétés de dureté et ténacité croissantes a rendu la disponibilité de blés « soft » faible. Le biscuitier doit parfois acquérir ces blés « soft » à un prix plus élevé que la moyenne du marché car leurs rendements sont souvent plus faibles (un exemple typique de ce type de prime est la variété Scipion dans le Nord de la France). Aucun blé biscuitier ne semble pour le moment à même de remplacer Scipion dont les surfaces cultivées baissent chaque année. Il pourrait cependant s'avérer intéressant pour les sélectionneurs de s'appliquer à obtenir des blés « soft » à hauts rendements pour alimenter une « niche » de blés biscuitiers à l'instar de la situation prévalant en Grande-Bretagne. Une telle impulsion pourrait être motivée par la récente introduction d'une catégorie « blés biscuitiers » au catalogue CTPS, définie en fonction de critères de qualité établis par l'interprofession.

Globalement, nos connaissances restent très incomplètes et les futurs travaux devront considérer davantage les interactions, à la fois entre les constituants et avec les procédés qui modifient leur fonctionnalité, comme la plastification lors du pétrissage (par l'eau ou la matière grasse selon les formulations). ■

Bibliographie

- Abboud, A.M., Hosene, R.C. (1984).** Differential scanning calorimetry of sugar cookies and cookie dough. *Cereal Chem.*, **61**, 34-37.
- Abboud, A.M., Hosene, R.C., Rubenthaler, G.L. (1985a).** Factors affecting cookie flour quality. *Cereal Chem.*, **62**, 130-133.
- Abboud, A.M., Rubenthaler, G.L., Hosene, R.C. (1985b).** Effect of fat and sugar in sugar-snap cookies and evaluation of tests to measure cookie flour quality. *Cereal Chem.*, **62**, 124-129.
- Abecassis, J., Mabilie, F., Haddad, Y., Autran, J.-C., Benet, J.-C. (1997).** La dureté des blés : état des connaissances actuelles. *Industries des Céréales*, **101**, 11-18.
- Amado, R., Neukom, H. (1985).** Minor constituents of wheat flour: the pentosans. In *New approaches to research on cereal carbohydrates*, Hill R.D., Munck L. Eds., 241-251.
- Autran, J.-C., Hamer, R.J., Plijter, J.J., Pogna, N.E. (1995).** Améliorer la qualité d'utilisation industrielle des blés européens. Synthèse des résultats du programme CEE « Eclair » (1991-1994). *Industries des Céréales*, **94**, 11-27.
- Badei, A.Z.M., Raouf, M.S., Wasfy, A.S. (1992).** Sieve fractionated wheat flours: II. Improved physical and baking properties for biscuit making. *Egypt. J. Food Sci.*, **20**, suppl., 85-97.
- Bedo, Z., Karpati, M., Vida, G., Kramarik-Kissimon, Lang, L. (1995).** Good breadmaking quality wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes with 2 12 subunit composition at the Glu-D1 locus. *Cereal Res. Com.*, **23** (3), 283-289.
- Berger, M. (1983).** Les lipides du blé tendre. 2. Composition lipidique des farines de moutures d'essai de huit variétés françaises de blé tendre. *Sci. Aliments*, **3**, 181-217.
- Bettge, A.D., Morris, C.F. (2000).** Relationships among grain hardness, pentosan fractions, and end-use quality of wheat. *Cereal Chem.*, **77**(2), 241-247.

Communications scientifiques & technologiques

Blochet, J.E., Kaboulou, A., Compoint, J.P., Marion, D. (1990).

Amphiphilic proteins from wheat flour : specific extraction, structure and lipid binding properties.

In « *Gluten Proteins 1990* », *Proceedings of the 4th International Workshop on Gluten proteins*, June 27-29, in Winnipeg, MB, Canada ; Amer. Assoc. Cereal Chem., Bushuk W., Tkachuk R. Eds., 314-325.

Brenneis, L.S. (1965).

Flour granulation vs. cookie spread. Biscuit Bakers Inst., Annu. Training Conf., 40th, Montreal. Biscuit and Cracker Manuf. Assoc., Washington, DC.

Burt, D.J., Fearn, T. (1983).

A quantitative study of biscuit microstructure. *Die Stärke*, **35**, 351-354.

Bushuk, W. (1966). Distribution of water in dough and bread. *Baker's Digest*, **40**, 38-40.

Chung, O.K., Pomeranz, Y., Joacob, R.M., Howard, B.G. (1980).

Lipid extraction conditions to differentiate among hard red winter wheats that vary in bread making. *J. Food Sci.*, **45**, 1168-1174.

Clements, R.L. (1980). Note on the effect of removal of free flour lipids on the internal structure of cookies observed by a resin-embedding method. *Cereal Chem.*, **57**, 445-446.

Clements, R.L., Donelson, J.R.

(1981). Functionality of specific flour lipids in cookies. *Cereal Chem.*, **58**, 20-206.

Cole, E.W., Mecham, D.K., Pence, J.W. (1960). Effect of flour lipids and some lipid derivatives on cookie-baking characteristics of lipid-free flours. *J. Sci. Food Agric.*, **7**, 72-87.

Compoint, G., Marion, D.,

Narahisoa, H., Haertlé, T. (1994). Role of tryptophan side chains in the interaction of puuroindolines and their related synthetic tryptophan-rich peptides with phospholipids. In « *Wheat Kernel Proteins: molecular and functional aspects* ». *Proceedings of the Symposium at S. Martino al Cimino, Viterbo (Italy)*, 201.

Cottenet, M. (1986).

Les constituants biochimiques de la farine de blé tendre en relation avec la qualité biscuitière. *Sci. Aliments*, **6**, 305-332.

Darlington, H.F., Tecsí, L., Harris, N., Griggs, D.L., Cantrell, I.C., Shewry, P.R. (2000). Starch granule associated proteins in barley and wheat. *J. Cereal. Sci.*, **32**, 21-29.

Davis, K.R., Littneker, N., Le Tourneau, D., Cain, R.F., Peters, L.J., McGinnis J. (1980). Evaluation of the nutrient composition of wheat. I. Lipid constituents. *Cereal Chem.*, **57**, 178-184.

Decourcelle, G. (1991). Équilibre et dynamisme économiques des Industries Céréalières de la première transformation. In « *Les industries de première transformation des céréales* » Godon B., Willm Cl., coord. Eds Lavoisier, Paris. 27-57.

Devaux, M.-F., Le Descault De Monredon, F., Guibert, D., Novales, B., Abecassis, J. (1998). Particle size distribution of break, sizing and middling wheat flour by laser diffraction. *J. Sci. Food Agric.*, **78**, 237-244.

Doescher, L.C., Hoseneý, R.C. (1984). Factors affecting surface cracking of sugar-snap cookies. In « *Abstracts of Amer. Assoc. Cereal Chem. annual meeting* », *Cereal Foods World*, **29**, 491.

Doescher, L.C., Hoseneý, R.C., Milliken, G.A. (1987a). A mechanism for cookie dough setting. *Cereal Chem.*, **64**, 158-163.

Doescher, L.C., Hoseneý, R.C., Milliken, G.A. (1987b). Effects of sugars and flours on cookie spread evaluated by time-lapse photography. *Cereal Chem.*, **64**, 163-167.

Douliet, J.-P., Michon, T., Elmorjani, K., Marion, D. (2000). Structure, biological and technological functions of lipid transfer proteins and indolines, the major lipid binding proteins from cereal kernels. *J. Cereal Sci.*, **32**, 1-20.

Drapron, R., Génot, C. (1979). Les lipides des céréales. *Ind. Alim. Agric.*, **96**, 1257-1273.

Evers, A.D., Stevens, D.J. (1985). Starch damage. In « *Adv. Cereal Sci. Technol.* », Y. Pomeranz, Ed. Amer. Assoc. Cereal Chem. St-Paul, MN, **7**, 321-349.

Faridi, H. (1990). Application of rheology in the cookie and cracker industry. In « *Dough rheology and baked product texture* ». Faridi, H., Faubion, J.M., Van Nostrand Reinhold Eds. New-York, 363-384.

Farrand, E.A. (1964). Flour properties in relation to the modern bread processes in the United Kingdom, with special reference to alpha-amylase and starch damage. *Cereal Chem.*, **41**, 98-111.

Figueroa-Espinoza, M.-C., Morel, M.H., Rouau, X. (1998). Effect of lysine, tyrosine, cysteine and glutathione on the oxidative cross-linking of feruloylated arabinoxylans by a fungal laccase. *J. Agric. Food Chem.*, **46**, 2583-2589.

Fincher, G.B., Stone, B.A. (1986). Cell walls and their components in cereal grain technology. *Adv. Cereal Sci. Technol.*, **3**, 207-295.

Finley, J.W. (1989). Effects of processing on proteins: an overview. In « *Protein quality and the effects of processing* » Phillips, R.D., Finley J.W., Eds. Marcel Dekker Inc., New-York and Basel, 1-7.

Finney, K.F. (1989). Soft wheat: view from the eastern United States. *Cereal Foods World*, **34**, 682-687.

Finney, K.F., Morris, V.H., Yamazaki, W.T. (1950). Micro versus Macro cookie baking procedures for evaluating the cookie quality of wheat varieties. *Cereal Chem.*, **27**, 42-49.

Flint, O., Moss, R., Wade, P. (1970). A comparative study of the microstructure of different types of biscuits and their doughs. *Food Trade Rev.*, **40**, 32-39.

Frazier, P.J., Daniels, N.W.R., Russell Eggitt, P.W. (1981). Lipid-protein interaction during dough development. *J. Sci. Food Agric.*, **32**, 877-897.

Gaines, C.S. (1985). Associations among soft wheat flour particle size, protein content, chlorine response, kernel hardness, milling quality,

Communications scientifiques & technologiques

- white layer cake volume, and sugar-snap cookie spread. *Cereal Chem.*, **62**, 290-292.
- Gaines, C.S. (1990)**. Influence of chemical and physical modification of soft wheat protein on sugar-snap cookie dough consistency, cookie size, and hardness. *Cereal Chem.*, **67**, 73-77.
- Gaines, C.S., Donelson, J.R. (1985)**. Evaluating cookie spread potential of whole wheat flours from soft wheat cultivars. *Cereal Chem.*, **62**, 134-136.
- Gaines, C.S., Donelson, J.R., Finney, P.L. (1988)**. Effects of damaged starch, chlorine gas, flour particle size, and dough holding time and temperature on cookie dough handling properties and cookie size. *Cereal Chem.*, **65**, 384-389.
- Gaines, C.S., Finney, P.L. (1989)**. Effects of selected commercial enzymes on cookie spread and cookie dough consistency. *Cereal Chem.*, **66**, 73-78.
- Gaines, C.S., Kassuba, A., Finney, P.L. (1996)**. Using wire-cut and sugar-snap formula cookie test baking methods to evaluate distinctive soft wheat flour sets: Implications for quality testing. *Cereal Foods World*, **41**, 155-160.
- Gan, Z., Ellis, P.R., Schofield, J.D. (1995)**. Minireview: Gas cell stabilisation and gas retention in wheat bread dough. *J. Cereal Sci.*, **21**, 215-230.
- Germain, B., Perret, G., Poma, J., Buré, J. (1968)**. Rôle des lipides et de leur évolution dans le comportement technologique des farines. *Ind. Alim. Agric.*, 803-810.
- Gilles, K.A. (1960)** The present status of the role of pentosans in wheat flour quality. *Baker Dig.*, **34**, 47-52.
- Gruppen, H., Hamer, R.J., Voragen, A.G.J. (1992)**. Water-unextractable cell wall material from wheat flour. II. Fractionation of alkali-extracted polymers and comparison with water-extractable arabinoxylans. *J. Cereal Sci.*, **16**, 53-67.
- Hargin, K.D., Morrison, W.R. (1980)**. The distribution of acyl lipids in the germ, aleurone, starch and non-starch endosperm of four wheat varieties. *J. Sci. Food Agric.*, **31**, 877-888.
- Hashimoto, S., Shogren, M.D., Pomeranz, Y. (1987)**. Cereal pentosans: their estimation and significance. I. Pentosans in wheat and milled products. *Cereal Chem.*, **64**, 30-34.
- Hodge, D.G., James, C.D. (1981)**. Pastry technology: factors affecting the consistency of short paste. *FMBRA Report*, **96**, 1-45.
- Hong, B.H., Rubenthaler, G.L., Allan, R.E. (1989)**. Wheat pentosans. I. Cultivar variation and relationship to kernel hardness. *Cereal Chem.*, **66**, 369-373.
- Hoseney, R.C. (1986)**. Minor constituents of cereals. In « *Principles of Cereal Science and Technology* », Amer. Assoc. Cereal. Chem., St-Paul, Minnesota, USA, 89-94.
- Hoseney, R.C., Faubion, J.M. (1981)**. A mechanism for the oxydative gelation for wheat flour water soluble pentosans. *Cereal Chem.*, **58**, 421-427.
- Hoseney, R.C., Wade, P., Finley, J.W. (1988)**. Soft wheat products. In « *Wheat: Chemistry and Technology* », Pomeranz Y. (Ed.), Amer. Assoc. Cereal. Chem., St-Paul, Minnesota, USA, vol. II, 407-456.
- Hou, G., Yamamoto, H., Ng, P.K.W. (1996a)**. Relationships of quantity of gliadin subgroups of selected U.S. soft wheat flours to rheological and baking properties. *Cereal Chem.*, **73**, 352-357.
- Hou, G., Yamamoto, H., Ng, P.K.W. (1996b)**. Relationships of quantity of glutenin subunits of selected U.S. soft wheat flours to rheological and baking properties. *Cereal Chem.*, **73**, 358-363.
- Izydorczyk, M., Biliaderis, C.G., Bushuk, W. (1990)**. Oxidative gelation studies on water soluble pentosans from wheat. *J. Cereal Sci.*, **11**, 153-169.
- Izydorczyk, M., Biliaderis, C.G., Bushuk, W. (1991a)**. Physical properties of water soluble pentosans from different wheat varieties. *Cereal Chem.*, **68**, 145-150.
- Izydorczyk, M., Biliaderis, C.G., Bushuk, W. (1991b)**. Comparison of the structure and the composition of water soluble pentosans from different wheat varieties. *Cereal Chem.*, **68**, 139-144.
- Izydorczyk, M., Biliaderis, C.G. (1992a)**. Influence of structure on the physico-chemical properties of wheat arabinoxylans. *Carbohydr. Polym.*, **17**, 237-247.
- Izydorczyk, M., Biliaderis, C.G. (1992b)**. Effect of molecular size on physical properties of arabino-xylans. *J. Agric. Food Chem.*, **40**, 561-568.
- Izydorczyk, M., Biliaderis, C.G. (1995)**. Cereal arabinoxylans: advances in structure and physicochemical properties. *Carbohydr. Polym.*, **28**, 33-48.
- Jeltema, M.A., Zabik, M.E., Thiel, L.J. (1983)**. Prediction of cookie quality from dietary fiber components. *Cereal Chem.*, **60**, 227-230.
- Jones, C.R. (1940)**. The production of mechanically damaged starch in milling as a governing factor in the diastasic activity of flour. *Cereal Chem.*, **17**, 133-169.
- Kaldy, M.S., Rubenthaler, G.I., Kereliuk, G.R., Berhow, M.A., Vandercook, C.E. (1991)**. Relationships of selected flour constituents to baking quality in soft white wheat. *Cereal Chem.*, **68**, 508-512.
- Kaldy, M.S., Kereliuk, G.R., Kozub, G.C. (1993)**. Influence of gluten components and flour lipids on soft wheat quality. *Cereal Chem.*, **70**, 77-80.
- Kent, N.L., Evers, A.D. (1994)**. Chemical components (Chap. 3) In « *Technology of cereals* », Elsevier Sc. Ltd, Pergamon Press. 53-77. Flour Quality - Quality control and flour testing (Chap.7) In « *Technology of cereals* ». Elsevier Sc. Ltd, Pergamon Press. 182.
- Kissel, L.T., Pomeranz, Y., Yamazaki, W.T. (1971)**. Effects of flour lipids on cookie quality. *Cereal Chem.*, **48**, 655-662.

Communications scientifiques & technologiques

- Kissel, L.T., Yamazaki, W.T. (1975).** Protein enrichment of cookie flours with wheat gluten and soy flour derivatives. *Cereal Chem.*, **52**, 655-662.
- Kulp, K. (1968).** Pentosans of wheat endosperm. *Cereal Sci. Today*, **13**, 414-417, 426.
- Kulp, K., Olewnik, M.C. (1989).** Functionality of protein components of soft wheat flour in cookie applications. In « *Protein quality and the effects of processing* » Phillips R.D., Finley J.W., Eds. Marcel Dekker Inc., New-York and Basel, 371-388.
- Lemeste, M., Simatos, D. (1990).** La transition vitreuse : incidences en technologie alimentaire. *Ind. Alim. Agric.*, Janv-Fév, 5-12.
- Lemeste, M., Nuang, V.T., Paneana, J., Anderson, G., Leutz, R. (1992).** Glass transition in bread. *Cereal Foods World*, **37**, 264-267.
- Le Roux, C. (1987).** Contribution à l'étude des interactions lipides-protéines dans les produits céréaliers de cuisson : propriétés physico-chimiques des lipides endogènes et exogènes dans les pâtes et le gluten de blé tendre. Thèse de doctorat, Université de Nantes (1987).
- Levine, H., Slade, L. (1990).** Influences of the glassy and rubbery states on the thermal, mechanical, and structural properties of doughs and baked products. In « *Dough rheology and baked product texture: Theory and practice* ». Faridi H., Faubion J. Eds, NY. 157-330.
- MacCleary, B.V. (1986).** Enzymic modification of plant polysaccharides. *Int. J. Biol. Macromol.*, **68**, 349-354.
- MacCormick, G., Panozzo, J., MacRitchie, F. (1991).** Contributions to bread making of inherent variations in lipid-content and composition of wheat cultivars. 2. Fractionation and reconstitution studies. *J. Cereal Sci.*, **13**, 263-274.
- MacRitchie, F. (1992).** Physicochemical properties of wheat proteins in relation to functionality. *Adv. Food Nutr. Res.*, **36**, 1-87.
- Marion, D., Le Roux, C., Akoka, S., Tellier, C., Gallant, D. (1987).** Lipid-protein interactions in wheat gluten: a phosphorus Nuclear magnetic Resonance Spectroscopy and Freeze-fracture electron microscopy study. *J. Cereal Sci.*, **5**, 101-115.
- Meuser, F., Suckow, P. (1986).** Non-starch polysaccharides In « *Chemistry and Physics of baking* ». Blanshard, J.M.V., Frazier, P.S., Gailliard, T. Eds., **4**, 42-61.
- Michniewicz, J., Biliaderis, C.G., Bushuk, W. (1990).** Water insoluble pentosans: composition and physical properties. *Cereal Chem.*, **67**, 434-439.
- Mifflin, B.J., Field, J.M., Shewry, P.R. (1983).** Cereal storage proteins and their effect on technological properties. In « *Seed Proteins* », Daussant J., Mosse J., Vaughans J., Eds. Academic Press, New-York, 255-319.
- Miller, B.S., Afework, S., Pomeranz, Y., Bruinsma, B.L., Booth, G.D. (1982).** Measuring the hardness of wheat. *Cereal Foods World*, **27**, 61-64.
- Neel, D.V., Hosene, R.C. (1984a).** Sieving characteristics of soft and hard wheat flours. *Cereal Chem.*, **61**, 259-261.
- Neel, D.V., Hosene, R.C. (1984b).** Factors affecting flowability of hard and soft wheat flours. *Cereal Chem.*, **61**, 262-266.
- Neukom, H. (1976).** Chemistry and properties of the NSP of wheat flour pentosans. *Lebensm.-Wiss. u.-Technol.*, **9**, 143-148.
- Neukom, H., Markwalder, H. (1978).** Oxydative gelation of wheat flour pentosans. A new way of cross-linking polymers. *Cereal Foods World*, **23**, 374-376.
- Osborne, T.B. (1907).** The proteins of wheat kernel, Publ. N° 84, Carnegie Inst., Washington, D.C.
- Patil, S.K., Tsen, C.C., Lineback, D.R. (1975).** Water-soluble pentosans of wheat flour. II. Characterization of pentosans and glycoproteins from wheat flour and dough mixed under various conditions. *Cereal Chem.*, **52**, 57-69.
- Payne, P.I., Holt, L.M., Law, C.N. (1981).** Structural and genetical studies on the high-molecular-weight subunits of wheat glutenin. *Theor. Appl. Genet.*, **60**, 229-236.
- Payne, P., Nightingale, M.A., Krattiger, A.F., Holt, L.M. (1987).** The relationship between HMW glutenin subunit composition and the bread-making quality of british-grown wheat varieties. *J. Sci. Food Agric.*, **40**, 51-65.
- Pomeranz, Y., Huang, M., Rubenthaler, G.L. (1981).** Steamed bread. III. Role of lipids. *Cereal Chem.*, **68**, 353-356.
- Potus, J., Drapron, R., Poiffait, A. (1994).** Les enzymes. In « *La panification française* ». Guinet R., Godon B., Eds Lavoisier, Paris. 429-451.
- Redman, D.G., Fisher, N. (1968).** Fractionation and comparison of purothionin and globulin components of wheat. *J. Sci. Food Agric.*, **19**, 651-655.
- Rouau, X. (1996).** Les hémicellulases en panification. *Industries des Céréales*. **96**, 13-19.
- Shewry, P.R., Tatham, A.S., Forde, J., Kreis, M., Mifflin, B.J. (1986).** The classification and nomenclature of wheat gluten proteins: a reassessment. *J. Cereal Sci.*, **4**, 97-106.
- Slade, L., Levine, H., Finley, J.W. (1989).** Protein-Water interactions: water as a plasticizer of gluten and other protein polymers. In « *Protein quality and the effects of processing* » Phillips R.D., Finley J.W., Eds. Marcel Dekker Inc., New-York and Basel, 9-124.
- Slade, L., Levine, H. (1995).** Water and the glass transition. Dependence of the glass transition on composition and chemical structure: special implications for flour functionality in cookie baking. *J. Food Engineer.*, **24**, 431-509.
- Sollars, W.F. (1956).** Evaluation of flour fraction for their importance to cookie quality. *Cereal Chem.*, **33**, 121-128.
- Sollars, W.F. (1959).** Effects of the water soluble constituents of wheat flour on cookie diameter. *Cereal Chem.*, **36**, 498-513.

Communications scientifiques & technologiques

Souza, E., Kruk, M., Sunderman, D.W. (1994). Association of sugar-snap cookie quality with high molecular weight glutenin alleles in soft white spring wheats. *Cereal Chem.*, **71**, 601-605.

Tharrault, J.F. (1994). Actualisation d'un test de cuisson biscuitier. *Industries des Céréales*, **87**, 36-39.

Upton, E.M., Hester, E.E. (1966). Nonstarchy polysaccharides and proteins of soft wheat flour tailings. *Cereal Chem.*, **43**, 156-168.

Varriano-Marston, E., Ke, V., Huang, G., Ponte, J. Jr. (1980). Comparison of methods to determine starch gelatinization in bakery foods. *Cereal Chem.*, **57**, 242-248.

Viot, D. (1992). Amidons endommagés, ni trop, ni trop peu. *Industries des Céréales*, **76**, 25-28.

Wade, P. (1972). Flour properties and the manufacture of semi-sweet biscuits. *J. Sci. Food Agric.*, **23**, 737-744.

Wade, P. (1988). *Biscuits, Cookies and Crackers (Vol. 1: the principles of the Craft)*. Elsevier Applied Science, London, UK.

Wainwright, A.R., Cowley, K.M., Wade, P. (1985). Biscuit making properties of flours from hard and soft milling single variety wheats. *J. Sci. Food Agric.*, **36**, 661-668.

Wall, J.S. (1971). A review of the composition, properties, and distribution of some important wheat flour constituents. *Cereal Sci. Today*, **16**, 412-417, 429.

Weegels, P.L., Van de Pijpekamp, A.M., Graveland, A., Hamer, R.J., Schofield, J.D. (1996).

Depolymerisation and re-polymerisation of wheat glutenin during dough processing. I. Relationships between glutenin macropolymer content and quality parameters. *J. Cereal Sci.*, **23**, 103-111.

Wilde, P.J., Clark, D.C., Marion, D. (1993). The influence of competitive adsorption of lysopalmitoylphosphatidyl-choline on the functional properties of puroindoline, a lipid binding protein isolated from wheat flour. *J. Agric. Food Chem.*, **41**, 1570-1576.

Williams, P.C. (1979). Screening wheat for proteins and hardness by near infrared reflectance spectroscopy. *Cereal Chem.*, **56**, 169-172.

Willm, C. (1995a). Comportement en mouture de 9 variétés de blés tendres. Influence de la dureté et de l'apport d'azote (1^{re} partie). *Industries des Céréales*, **92**, 18-29.

Willm, C. (1995b). Comportement en mouture de 9 variétés de blés tendres. Influence de la dureté sur la granulométrie des farines (2^e partie). *Industries des Céréales*, **94**, 2-9.

Yamamoto, H., Worthington, S.T., Hou, G., Ng, P.K.W. (1996). Rheological properties and baking quality of selected soft wheats grown in the United States. *Cereal Chem.*, **73**, 215-221.

Yamazaki, W.T. (1953). An alkaline water retention capacity test for the evaluation of cookie baking potentialities of soft winter wheat flours. *Cereal Chem.*, **30**, 242-246.

Yamazaki, W.T. (1954). Interrelations among bread dough absorption, cookie diameter, protein content, and alkaline water retention capacity of soft winter wheat flours. *Cereal Chem.*, **31**, 135-142.

Yamazaki, W.T. (1955). The concentration of a factor in soft wheat flours affecting cookie quality. *Cereal Chem.*, **32**, 26-37.

Yamazaki, W.T. (1956). Recent soft wheat quality research. *Baker's Digest*, **30**, 35, 36, 64.

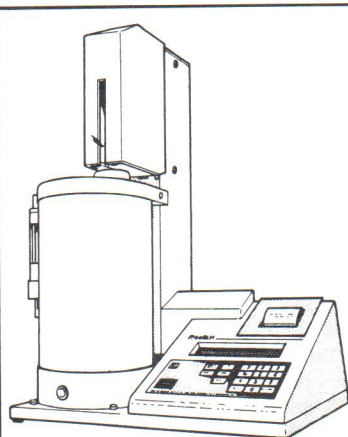
Yamazaki, W.T. (1959a). Application of heat in the testing of flours for cookie quality. *Cereal Chem.*, **36**, 59-69.

Yamazaki, W.T. (1959b). Flour granularity and cookie quality I. Effect of wheat variety on sieve fraction properties. II. Effects of changes in granularity on cookie characteristics. *Cereal Chem.*, **36**, 42-59.

Yamazaki, W.T., Donelson, J.R. (1976). Effects of interactions among flour lipids, other flour fractions and water on cookie quality. *Cereal Chem.*, **53**, 998-1005.

Yamazaki, W.T., Donelson, J.R., Kwalek, W.F. (1977). Effect of flour composition on cookie diameter. *Cereal Chem.*, **54**, 352-360.

Zawistowska, U., Bekes, F., Bushuk, W. (1985). Gluten proteins with high affinity to flour lipids. *Cereal Chem.*, **62**, 284-289.



Systèmes Falling Number

Méthodes Falling Number et « Fungal Falling Number »

Mesure rapide de l'activité alpha-amylasique des blés
et des farines additionnées ou non de malt ou
d'amylases fongiques

Perten
INSTRUMENTS

PARIS NORD II 13, rue de la Perdrix
BP 40038 Tremblay en France
95912 ROISSY CDG CEDEX
Tél. : 01 48 17 04 80 - Fax : 01 48 17 04 89

Spécialistes du contrôle qualité des grains et des farines