

Améliorer la qualité d'utilisation industrielle des blés européens

Synthèse des résultats du programme CEE «ECLAIR»
(1991-1994)

RÉSUMÉ

Améliorer la qualité d'utilisation industrielle des blés (*T. aestivum*) a été le thème d'une recherche communautaire réalisée entre 1991 et 1994 dans le cadre du programme ECLAIR⁵.

L'approche retenue a permis de couvrir les principaux aspects touchant : (1) aux procédés industriels, (2) aux constituants fonctionnels du blé et leurs interactions, (3) à la biochimie-génétique et la sélection variétale.

Concernant les aspects industriels, l'objectif était d'améliorer les connaissances de base sur les principaux procédés de transformation du blé (mouture, séparation amidon/gluten, panifications traditionnelles et diverses, biscuiterie, etc.) en cherchant à exprimer les principaux paramètres de fabrication en termes de cahiers des charges de la matière première, et à relier ces derniers à des constituants fonctionnels du blé.

Les études de propriétés fonctionnelles ont permis de déboucher sur de nouvelles méthodologies de purification et de caractérisation physico-chimique et rhéologique des fractions natives du gluten et des sous-unités gluténines. De nouvelles homologies entre les protéines de surface des granules d'amidon et les protéines présentant des affinités pour les lipides ont été découvertes, et une meilleure compréhension de la dynamique de développement de la pâte a été obtenue par la combinaison d'approches immunochimiques et microscopiques.

¹ Institut de Recherches Technologiques Agro-Alimentaires des Céréales (IRTAC), 16 Rue Nicolas-Fortin, 75013 Paris, France

² Biochemistry and Physical Chemistry, TNO-Nutrition and Food Research Institute, Utrechtseweg 48, P.O. Box 360, 3700 AJ Zeist, The Netherlands

³ Gist-Brocades N.V. Research and Development, Wateringsweg 1, P.O. Box. 1, 2600 MA, Delft, The Netherlands

⁴ Istituto Sperimentale per la Cerealicoltura
Sezione di Genetica Applicata, 176 Via Cassia, 00191 Rome, Italy

⁵ European Collaborative Linkage of Agriculture and Industry through Research.

par J.C. AUTRAN¹
R.J. HAMER²
J.J. PLIJTER³
N.E. POGNA⁴

Simultanément, une analyse génétique approfondie des principaux déterminants de la qualité identifiés ci-dessus a pu être réalisée grâce à la disponibilité de matériels génétiques sophistiqués (lignées de substitution chromosomique, lignées quasi-isogéniques). De nouveaux microtests de prédiction pour les divers aspects de la qualité (meunière, boulangère, biscuitière, amidonnière, etc., et même germination sur pied) ont été proposés. La création de réseaux internationaux de production d'échantillons de blé en conditions contrôlées et dans divers environnements ont enfin permis de tester de nouveaux génotypes prometteurs en matière de rendement et de qualité, tout en explorant les bases de la stabilité d'expression de la qualité.

Dans son ensemble, ce programme européen ECLAIR a donc contribué : (1) à réduire les écarts entre l'évolution des procédés industriels, leur représentation paramétrique et leur expression en termes de cahiers des charges ; (2) à stimuler la sélection et le développement de nouvelles variétés de blé capables de satisfaire les besoins des demandes futures de l'industrie européenne et des marchés d'exportation.

L'amélioration considérable de la communication entre les groupes de recherche participants, au cours des 4 années du programme, a permis en outre une meilleure coordination entre des programmes de recherches qui étaient auparavant conduits de façon indépendante et souvent concurrente. Au total, les réseaux de science en technologie céréalière d'Europe occidentale ont gagné en puissance et en efficacité.

SUMMARY

Exploring and improving the industrial use of wheat (*T. aestivum*) produced in the European Union is of a key importance and was the topic of a major project in the ECLAIR programme.

The approach has been threefold, i.e. industrial processes; functional components and their interactions; biochemical-genetics.

Concerning industrial processes, a better knowledge of the various applications of wheat (milling, white and wholemeal bread-making, starch/gluten industry, flour blends, fermented products, and biscuit manufacture) was obtained, each main parameter of wheat quality being expressed in terms of functional properties and related to specific constituents and their interactions, resulting in improved wheat uses.

In the study of functional properties, relevant results include the following: new ways of purification and characterisation of LMW subunits of glutenin and of native gluten subfractions, rheological studies after incorporation of protein fractions, NMR characterisation of subunits, description of new homologies between starch granule proteins and lipid binding proteins, better understanding of the dynamics of dough development based on monoclonal antibodies to arabinoxylans and on

immunolocalisation in microscopic studies.

Simultaneously, the genetic variation of the main quality determinants was explored owing to the availability of genetic stocks and wheat samples produced in highly controlled environments of the various EU countries. This allowed identification of improved breeding criteria for milling quality, bread-making or biscuit-making quality, adaptation to starch/gluten separation, and also for sprouting resistance.

As a whole, this ECLAIR programme has contributed (i) to fill the gap between process development and its understanding in terms of processing requirements and wheat quality requirements, and (ii) to stimulate breeding and development of wheats capable of satisfying the present and future demands of European industry and the export market. Due to the increased communication between the participating research groups throughout the four years, research programmes, hitherto driven independently, have become tuned. Hence, the degree of overlap has been considerably decreased, the degree of synergy considerably increased. Overall the Cereal Science network in Europe has increased in effectivity and strength.

Introduction

L'amélioration de la qualité d'utilisation industrielle des blés produits dans l'Union Européenne a été le thème principal d'un programme de recherche communautaire⁶ de grande envergure, préparé en 1989-1990 et réalisé entre 1991 et 1995 dans le cadre des programmes européens ECLAIR. Ce programme européen visait à combler l'écart croissant qui était apparu entre le développement des procédés industriels et leur compréhension en termes de cahier des charges. Un objectif à plus long terme était de stimuler la sélection des variétés afin de créer de nouveaux types de blés (*les blés de l'an 2000*) capables de satisfaire les futures demandes des industries de transformation européennes et des marchés d'exportation (AUTRAN, 1994).

Ce programme était apparu indispensable pour de multiples raisons :

1. En dépit du fait que le blé constitue une culture essentielle pour l'agriculture européenne et pour les industries de transformation, l'un des principaux problèmes limitant encore l'utilisation des blés européens est la difficulté qu'il y a à définir des exigences objectives de qualité des matières premières pour chacun des procédés, particulièrement pour leurs développements récents ou non traditionnels (amidonnerie-glutennerie, panification de farines complètes, pains au levain, mixes, pâtisserie, biscuiterie, etc.).
2. Les industries de la meunerie et de la boulangerie ont besoin de blés de force croissante en raison de l'évolution des technologies (exemple : pâtes surgelées).
3. Les méthodes actuelles de sélection variétale ont été centrées de façon quasi exclusive sur le modèle de la qualité boulangère.

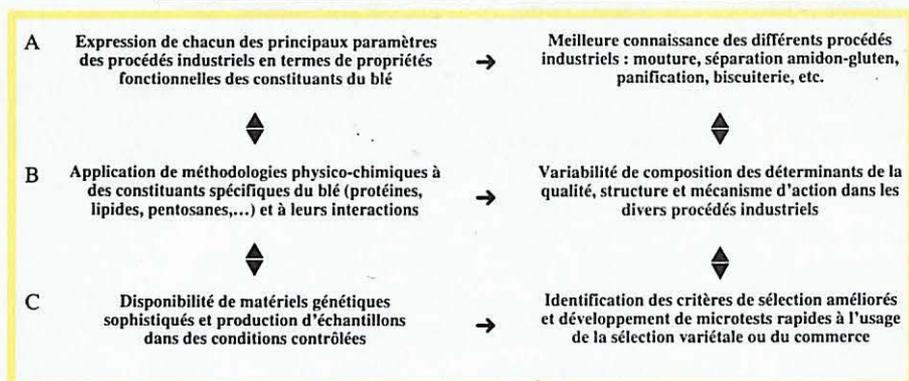
4. Enfin, la stabilité de la qualité d'une part importante des blés actuels pose problème en raison d'une trop grande sensibilité aux facteurs agronomiques et climatiques. Dans l'Europe du Sud, le climat est souvent le facteur limitant à la fois le rendement et la qualité alors que dans les régions côtières du Nord, où le blé peut être cultivé de façon très intensive, c'est la germination sur pied qui peut pénaliser sévèrement à la fois le rendement et la qualité.

Une amélioration significative de la qualité d'utilisation apparaissait donc possible par l'approfondissement des connaissances de base sur les divers procédés de transformation, notamment au travers de la traduction des cahiers des charges industriels en termes de propriétés fonctionnelles et de constituants spécifiques ou d'interactions au sein de la matière première blé. L'application combinée de méthodologies physico-chimiques et biologiques à l'évaluation des déterminants de la

6 Programme AGRE 0052 « To Explore and Improve the Industrial Use of EC Wheats »

Figure 1

Comment améliorer la qualité d'utilisation industrielle des blés européens



qualité devait également permettre une meilleure compréhension de la variabilité de leur composition, de leur structure et de leur mécanisme d'action dans les divers procédés industriels. Enfin, grâce à la disponibilité de matériels génétiques sophistiqués et d'échantillons produits dans des conditions contrôlées dans les différents environnements de l'Union Européenne, on pouvait espérer découvrir de meilleurs critères de sélection pour la qualité meunière, la qualité boulangère, la séparation amidon-gluten, la qualité biscuitière, la résistance à la germination sur pied, etc.) et développer des tests rapides d'évaluation de la qualité en sélection ou dans le commerce du grain (Figure 1).

Un aspect particulièrement innovant du programme a donc été l'établissement d'un vaste programme de recherche pluridisciplinaire (rassemblant technologues, généticiens, biochimistes, physico-chimistes, immunochimistes, rhéologues) et mettant en jeu différentes familles d'industriels (meuniers, boulangers, biscuitiers, amidonniers, sélectionneurs). Le grand nombre de participants à ce programme (Tableau I) était peut-être le prix à payer pour progresser sur un problème aussi complexe que celui de satisfaire année après année les besoins industriels en blés de qualité.

En outre, les principales approches ont été fondées sur des avancées récentes qui avaient le potentiel de

faire accomplir des progrès significatifs tant dans le sens d'une meilleure utilisation industrielle que dans celui du développement de meilleures variétés de blé pour le futur :

- Le développement de matériels génétiques (lignées aneuploïdes, isogéniques, ou de translocation chromosomique) qui permettent de repérer avec précision les produits d'expression des gènes qui sont importants au plan des propriétés fonctionnelles.

- L'introduction d'approches originales, fondées sur de nouveaux concepts (qualité intrinsèque des génotypes), ou de nouvelles fractions protéiques (friabiline, sous-unités gluténines de faible poids moléculaire, albumines de haut poids moléculaire, S protéine,...) qui se démarquent clairement du schéma traditionnel d'Osborne.

- La reconnaissance que la qualité ne repose pas (et ne peut pas être prédite) uniquement sur la seule composition protéique, mais qu'il faut prendre en compte l'interaction des protéines avec les divers consti-

Tableau I
Liste des participants au programme européen ECLAIR «To Explore and Improve the Industrial Use of EU Wheats» (1991-1994)

Nom	Pays
IRTAC, Paris (Coordinateur)	France
AFRC - IACR, Bristol	Angleterre
AFRC - IFR, Norwich	Angleterre
Champagne Céréales, Reims	France
Club des 5, Paris	France
Danone, Branche Biscuit, Athis Mons	France
ENMP, Elvas	Portugal
FMBRA, Chorleywood	Angleterre
Gist Brocades, Delft	Pays-Bas
IATA, Valencia	Espagne
INIA, Jerez de la Frontera	Espagne
INRA (Clermont-Ferrand, Montpellier, Nantes)	France
ISC (S. Angelo Lodigiano, Rome)	Italie
ITCF, Paris	France
Produttori Sementi, Bologna	Italie
Roquette Frères, Lestrem	France
SME Ricerche, Caserta	Italie
Technical University, Berlin	Allemagne
TNO, Zeist	Pays-Bas
Università di Padova	Italie
Università di Viterbo	Italie

tuants de la farine : amidon, pentosanes, lipides.

- Le développement de méthodes physiques et physico-chimiques modernes qui permettent d'observer le comportement de constituants individuels (protéines, lipides) en milieu complexe (RMN *in situ*, spectroscopie de résonance paramétrique électronique, rhéométrie, HPLC, microscopie à effet tunnel, etc.).

- La démonstration du potentiel considérable des anticorps monoclonaux pour quantifier des constituants spécifiques en mélange et pour suivre leur dynamique et leur distribution au sein de systèmes très divers (depuis la maturation du grain et sa dormance, jusqu'aux mécanismes de formation de la pâte).

Quelques résultats majeurs

Il n'est pas possible de présenter ici une analyse détaillée des très nombreux résultats obtenus tout au long de ce vaste programme de recherche. (Rappelons que ces résultats ont fait l'objet à ce jour de près de 140 publications dans la littérature internationale). Nous nous limiterons donc à résumer et illustrer, avec quelques figures et en citant les publications essentielles, les résultats les plus marquants de chacun

des principaux thèmes abordés (qualité meunière, séparation amidon/gluten, qualité boulangère, mélanges de farines, interactions entre farine et microorganismes, qualité biscuitière, protéines associées à la surface des granules d'amidon, interactions protéines-lipides, purification et caractérisation de sous-fractions du gluten, physico-chimie et fonctionnalité des sous-fractions du gluten, dynamique de développement de la pâte, expérimentations multilocales et interactions génotype x environnement, génétique des protéines de réserve, résistance à la germination sur pied).

Qualité meunière

En comparaison de l'effort considérable qui a été consacré à l'amélioration des blés en termes de qualité boulangère, la qualité meunière n'a fait l'objet que d'une modeste attention. Elle a été négligée dans les programmes de sélection, du moins jusqu'aux stades ultimes ; ses bases physico-chimiques demeurent très mal connues. Et pourtant, la qualité meunière est d'une importance économique considérable. Si l'on considère la quantité de blés produits dans l'Union Européenne, *un seul pour cent d'augmentation du rendement meunier représenterait un gain de 40 millions d'écus par an pour la meunerie.*

En conséquence, le projet qualité meunière visait à développer de nouvelles pistes pour la compréhension et la prédiction du rendement, plus particulièrement :

- l'identification de la nature et de l'importance respective des facteurs contrôlant la qualité meunière (dureté de l'albumen, friabilité des sons, teneur en cendres de l'albumen, etc.).

- la recherche des bases morphologiques (par analyse d'images) et chimiques (éléments minéraux, acide férulique, acide phytique, protéines associées à la surface des granules d'amidon) de la qualité meunière.

- le développement d'un test prédictif de la valeur meunière, utilisable en sélection variétale.

Les premières recherches sur les paramètres morphométriques du grain effectuées au CCFRA (ex-FMBRA, Chorleywood, UK) par analyse d'images n'ont pas permis d'atteindre une bonne prédiction de la valeur meunière, sauf dans le cas de grains sérieusement échaudés (EVERS, 1992, 1993a, b, c, 1994 ; EVERS *et al.*, 1994). Ainsi, la proportion d'albumen ne constitue généralement pas un facteur qui limite le rendement en farine et la croyance qu'il existe une corrélation entre la taille du grain et la proportion d'albumen est certainement injustifiée. Des relations bien plus

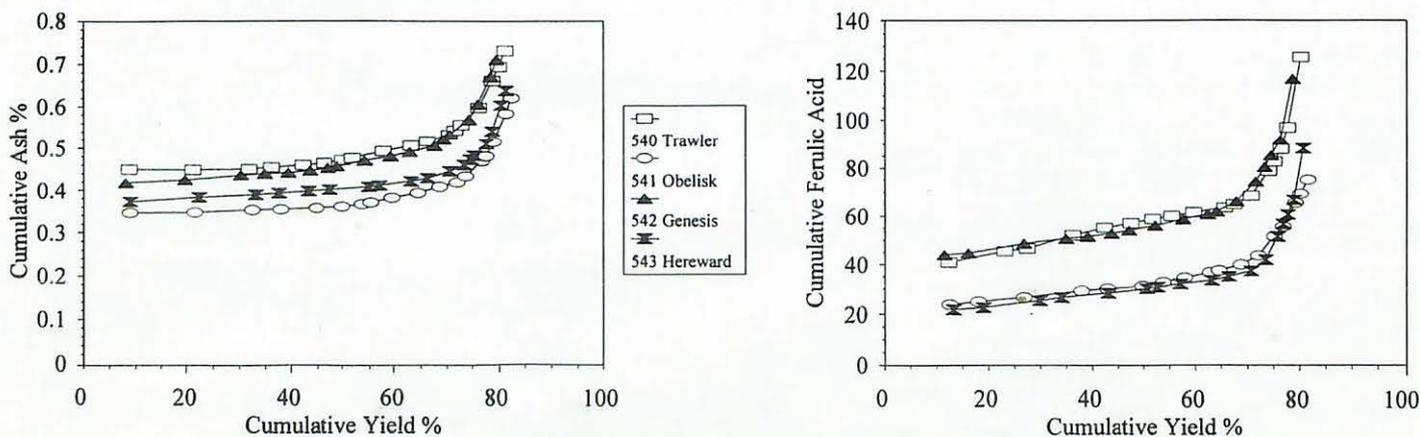


Figure 2. L'acide férulique apparaît comme un bien meilleur marqueur de la friabilité des sons que le taux de cendres (d'après TNO, Pays-Bas)

étroites ont été mises en évidence lorsque la qualité meunière est préalablement décomposée en ses facteurs (friabilité des sons, teneur en albumen, séparabilité péricarpe/albumen...), montrant qu'il est possible de développer un modèle complet de description de l'influence relative des paramètres à la fois chimiques et morphométriques sur la qualité meunière.

Deux découvertes importantes, qui ont attiré l'attention des meuniers et des chercheurs en meunerie, ont été ainsi faites au TNO (Zeist, Pays-Bas) :

- L'acide férulique constitue un bien meilleur marqueur de la friabilité des sons que le taux de cendres (Figure 2), le degré de friabilité des sons pouvant d'ailleurs être calculé par différence entre la teneur en acide férulique de l'albumen pur et celle des fractions de farine.

- Il est possible d'expliquer 70-80 % de la variation de la qualité meunière à partir de 3 facteurs : la teneur en potassium du grain (qui permet de fournir une prédiction de la teneur en cendres et par suite du rendement en farine), la friabilité des sons et la largeur du grain.

D'autre part, une percée importante a été réalisée dans la compréhension des bases physico-chimiques de la texture (dureté) de l'albumen, grâce aux récentes recherches sur les protéines associées à la surface des grains d'amidon (friabiline, puroidoline) dont le statut est aussi celui de protéines interagissant avec des lipides (voir ci-dessous).

Séparation amidon/gluten

Afin de mieux maîtriser les procédés de séparation en amidonnerie/glutennerie, de rechercher l'origine des différences de qualité entre des glutens obtenus à partir de farines et ceux obtenus à partir de moutures complètes, et d'étudier les effets d'auxiliaires technologiques (e.g. hémicellulases), un décanteur centrifuge miniaturisé (Figure 3) a été construit à l'Université Technique de Berlin.

L'intégration de ce décanteur dans un système de séparation à l'échelle du laboratoire a permis de réduire considérablement le temps de séjour du gluten dans le système, ce qui s'est traduit par une nette amélioration des propriétés du gluten, ouvrant la possibilité d'obtenir du gluten et de l'amidon à partir de toutes sortes de matières premières, y compris des moutures complètes de blé (MEUSER, 1993). Les glutens préparés à partir de ces moutures complètes se sont révélés contenir davantage de sous-unités LMW-gluténines et moins de HMW-gluténines que les glutens standard. Toutefois, l'Université Technique de Berlin a démontré que les différences de comportement viscoélastique entre glutens n'étaient pas attribuables à des activités protéolytiques, mais plutôt à un effet très marqué de l'eau utilisée, notamment en raison de l'exposition du gluten aux concentrations acides qui sont produites par des

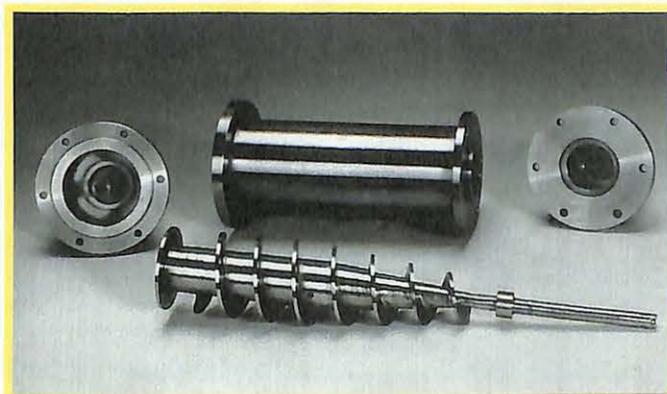
microorganismes lorsque le système travaille en continu.

On a également confirmé que les hémicellulases des farines avaient un fort effet sur le rendement en gluten et que les aptitudes des farines à l'amidonnerie-glutennerie étaient largement influencées par la manière selon laquelle les mélanges de farines étaient constitués, information d'un grand intérêt pratique pour les meuniers produisant des farines destinées à l'amidonnerie-glutennerie. D'ailleurs, il a été montré au TNO que l'addition de 2 % d'hémicellulose à la farine peut abaisser le rendement en gluten de 20 %, sachant que cet abaissement peut être corrigé par ajout d'hémicellulase. Même dans le cas où l'on utilise une farine normale, le rendement en gluten peut être augmenté par addition d'hémicellulase.

Qualité boulangère

L'étude réalisée par l'association CCFRA (Chorleywood, UK) était de déterminer les raisons physico-chimiques des différences de force du gluten et de qualité boulangère, et d'en tirer toutes les conséquences en matière de programmes de sélection et de tests commerciaux d'appréciation de la qualité des blés.

La première partie du travail a consisté à préciser les caractéristiques requises au pétrissage pour les farines de variétés cultivées en Grande-Bretagne. A partir d'une matrice de résultats de panification



3a Figure 3. Détails du nouveau décanteur centrifuge miniaturisé pour la séparation amidon-gluten (d'après l'Université Technique de Berlin). 3a. Corps de l'appareil et vis. 3b. Système permettant l'extraction de l'amidon B. 3b

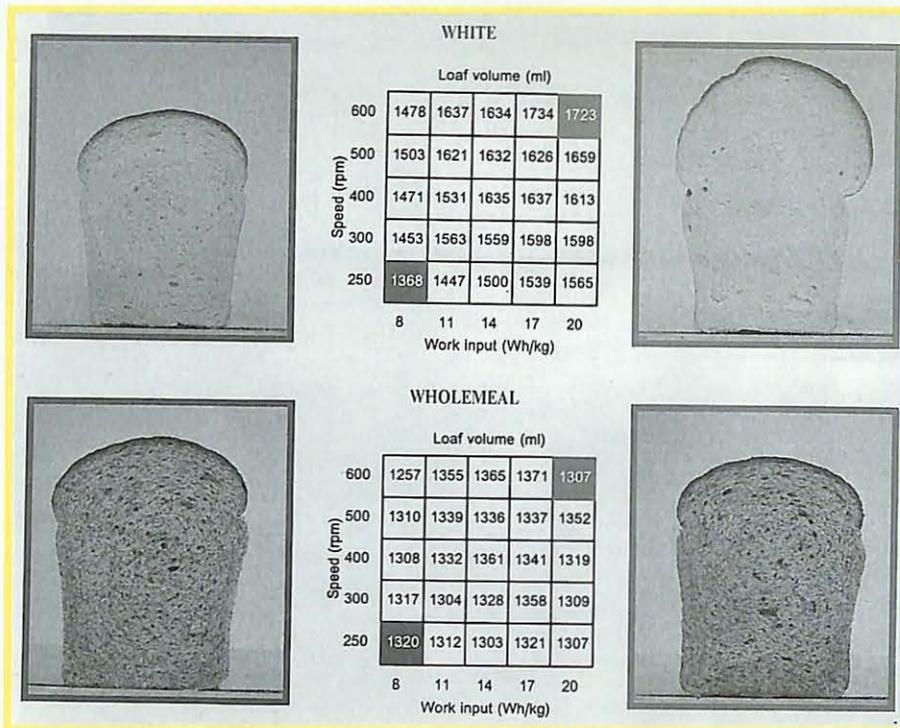


Figure 4. Matrice des résultats de panification (Chorleywood Bread Process) : volume du pain en fonction de l'énergie et de la vitesse de pétrissage pour la variété Fresco (d'après CCFRA, UK).

(Figure 4), il a été notamment montré que l'énergie requise lors de la formation de la pâte peut varier de 5 Wh/kg (18kJ/kg) à 20 Wh/kg (73kJ/kg) selon la variété. Des échantillons (e.g. variété Fresco) dont l'énergie requise dépasse 11 Wh/kg (40kJ/kg) peuvent donc ne pas donner tout leur potentiel dans le procédé CBP (Chorleywood Bread Process) où l'apport d'énergie est fixe, ces variétés devant donc être utilisées en mélange avec d'autres variétés.

Le concept de *glutenin macropolymer* (GMP) a été défini par le TNO (Zeist, Pays-Bas), fournissant une base physico-chimique de la qualité boulangère dans le cadre des procédés anglais CBP ou allemand RMT (Rapid Mix Test). Ce complexe *glutenin macropolymer*, dont le degré de déstabilisation au cours du pétrissage dépend de la force boulangère, joue un rôle clé au cours de la panification. Il évolue en effet depuis une structure linéaire dans la farine vers une structure tridimensionnelle dans la pâte et se trouve relié à la composition initiale - et au taux d'incorporation - des sous-unités HMW-gluténines (PRITCHARD, 1993 ; PRITCHARD et BROCK, 1994).

D'autre part, un nouvel élan a été donné au test du *gel protéique* en tant qu'outil de prédiction de la qualité boulangère. En fait, ce n'est plus simplement la qualité de gel protéique qui est retenue dans le nouveau microtest, mais plutôt le module élastique, ou encore la cinétique de déstructuration du gel au cours du pétrissage (OLIVER et PRITCHARD, 1993 ; PRITCHARD et OLIVER, 1993 ; PRITCHARD *et al.*, 1994).

L'étude de la *panification de farines complètes* a montré qu'il est souvent impossible de prédire le volume des pains obtenus à partir des résultats de panification traditionnelle sans prendre en compte le caractère « hard » ou « soft » des blés. D'autre part, la teneur en protéines apparaît comme un critère plus important que la force boulangère pour l'aptitude des farines en panification pain complet. On peut éventuellement prédire ($r=0.77$) le volume du pain complet que donnera un lot de grains à partir du potentiel de qualité boulangère de l'albumen et de la composition des sons relativement à un témoin (variété Mercia), confirmant que

l'aptitude boulangère des farines complètes repose à la fois sur les caractéristiques de qualité de l'albumen et des enveloppes.

Dans le cas des *procédés de panification français ou sud-Européen*, on a bien confirmé que l'extensibilité de la pâte constitue souvent le paramètre le plus critique. Comme on le verra ci-dessous, l'extensibilité est apparue davantage liée à la variation allélique des sous-unités LMW-gluténines (et des gliadines) qu'à celle des HMW-gluténines.

D'autres usages spécifiques des farines ont été explorés en vue d'une meilleure définition des cahiers des charges. Le cas des produits sucrés et des pâtisseries industrielles a été ainsi étudié par SME-Ricerche (Caserta, Italie) qui a notamment approfondi la caractérisation rhéologique des produits.

Une approche originale pour caractériser les produits a été de travailler sur des suspensions de farines (40 %). La caractérisation rhéologique (rhéomètre Bohlin), fondée sur les spectres de relaxation $H(t)$ en fonction de l'analyse viscoélastique, a montré qu'il existe une région de viscoélasticité linéaire. Comme la gamme de fréquences était limitée, le module G_e n'a pas été seulement utilisé pour représenter le réseau élastique (permanent) mais également pour le réseau (temporaire) viscoélastique. Ce nouveau module G_e , appelé G_e^* , a permis de discriminer les farines pour mesurer la quantité d'unités structurales formées, ainsi que la cinétique de (dé)structuration.

Les résultats obtenus indiquent que les farines possèdent des niveaux de structuration différents et des valeurs différentes d'amplitude de déformation pour laquelle commence la rupture du système. Par exemple, une déformation sous une contrainte de 2,5 % doit être considérée comme très élevée car toutes les farines y sont déstructurées. La dépendance entre la pente de G_e^* et la vitesse angulaire montrent que les farines ont des niveaux très différents de déstructuration.

Dans l'ensemble, l'intégration des résultats rhéologiques avec ceux d'un microtest de cuisson a permis une meilleure définition de l'aptitude des farines de blé à l'utilisation en pâtisserie industrielle, la valeur ajoutée de la méthode rhéologique résidant dans sa simplicité et sa miniaturisation.

Mélanges de farines

Dans le cadre de cette étude visant à prédire et à améliorer l'aptitude à la transformation des mélanges de farines, il a été démontré par le TNO (Zeist, Pays-Bas) que la quantité de *glutenin macropolymer* (GMP) diminue au cours du pétrissage, tandis qu'au cours du repos de la pâte, cette quantité s'accroît de nouveau (HAMER *et al.*, 1994 ; WEEGELS, 1994 ; WEEGELS *et al.*, 1994a, b). Cette décroissance en GMP dans la pâte peut être prédite par un modèle exponentiel en utilisant une variable liée à la farine (sa teneur en GMP) et une variable liée au procédé. En outre, l'accroissement de la teneur en GMP peut être décrit comme une fonction de la teneur en GMP de la farine et du temps de repos. Ces découvertes indiquent d'une part que ce n'est pas tant la composition en sous-unités gluténines qui détermine le réassemblage des molécules au cours du repos, mais bien davantage la quantité de GMP. Ceci est d'un intérêt considérable pour l'industrie de la meunerie car le mélange des farines est encore souvent pratiqué de façon empirique, en fonction de l'expérience du meunier, ce qui rend naturellement difficile de déterminer l'équilibre optimal entre les coûts et la qualité. Les résultats obtenus au TNO ouvrent donc de nouvelles voies à la fois pour améliorer l'efficacité de l'opération de mélange au niveau du meunier et pour donner des indications claires aux sélectionneurs, aux producteurs et aux négociants.

Dans un autre ordre d'idées, différentes familles de protéines de faible poids moléculaire riches en cystéines (distinctes des sous-unités

gluténines de faible poids moléculaire ou LMW) ont été isolées, caractérisées et comparées au TNO (PRIETO *et al.*, 1993 ; WEEGELS *et al.*, 1993, 1995), mais un effet généralement négatif sur les propriétés des pâtes, comparable à celui de la cystéine (obstacle au réassemblage du GMP), a été observé.

Interactions entre les constituants de la farine et les microorganismes au cours de la fermentation (travail sur levain)

Trois approches ont été simultanément développées par l'Institut d'Agrochimie Alimentaire et Technologique de Valence (IATA, Espagne) : 1) le suivi des caractéris-

tiques fonctionnelles, 2) le suivi des constituants biochimiques de la farine et des métabolites de la fermentation, 3) l'étude d'activités enzymatiques spécifiques.

Les résultats principaux montrent que le taux d'extraction des farines est le principal facteur qui détermine l'aptitude à la panification et la composition biochimique (COLLAR et MARTÍNEZ, 1993a, b, 1995). Il n'y a cependant pas de paramètre unique définissant la qualité boulangère car plusieurs aspects différents (physique, sensoriel, chimique, biochimique) interagissent, prouvant que le recours à des techniques sophistiquées d'analyse des données est indispensable (MARTÍNEZ-ANAYA, 1994 ; MARTÍNEZ-ANAYA *et al.*, 1993,

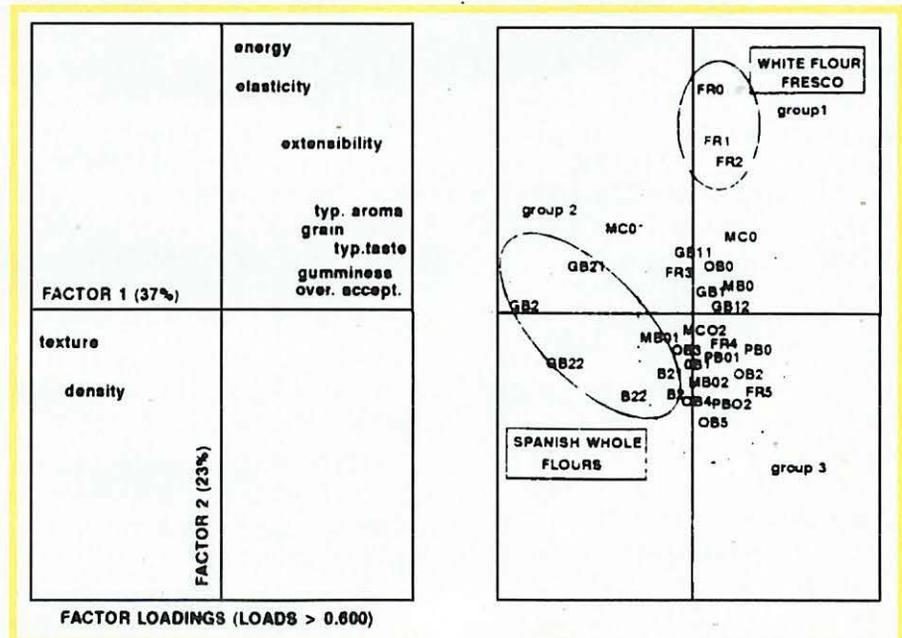


Figure 5a. Exemple d'application de l'analyse factorielle aux propriétés fonctionnelles des farines lors de l'utilisation de *Lactobacillus* congelés dans le procédé de panification au levain (d'après IATA, Espagne).

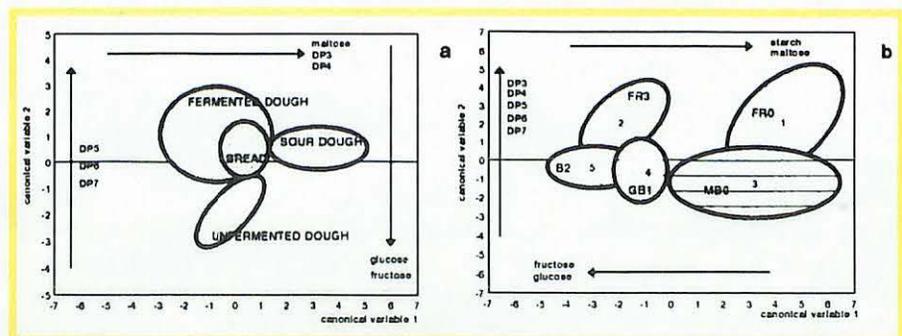


Figure 5b. Application de l'analyse discriminante pas à pas dans l'étude de l'effet des différentes étapes de la panification au levain et du type de farine sur la composition en amidon, sucres et dextrines de faible poids moléculaire.

1995) (Figure 5). Les microorganismes ajoutent de nouvelles différences à celles observées entre les farines, mais leur action d'ensemble reste inférieure à celle attribuable au type de farine utilisé. La performance des microorganismes est également reliée à la méthode d'introduction (procédé au levain ou méthode directe) et au temps de fermentation (COLLAR *et al.*, 1993, 1994).

La fermentation de la pâte fait apparaître des différences au niveau des constituants et les métabolites si l'on compare avec la situation d'une pâte non fermentée, mais ces différences sont plus faibles que celles créées pendant la phase initiale de préparation du levain. Quant à la phase de cuisson, elle n'ajoute aucune différence supplémentaire par rapport à celles apparues jusqu'à la fermentation pour ce qui concerne la rétrogradation de l'amidon et les composés azotés et lipidiques (MARTÍNEZ, 1994). Toutefois, c'est au niveau des dextrines de faible poids moléculaire que semblent se dégager les similarités entre échantillons (ROUZAUD et MARTÍNEZ-ANAYA, 1993a, b ; ROUZAUD, 1994). Ainsi, les pains au levain contiennent des teneurs plus élevées en ces dextrines que les pains obtenus en panification directe, confirmant un rôle possible de l'addition d'une pâte de type levain dans la limitation du rassissement des pains (MARTÍNEZ-ANAYA et ROUZAUD, 1995).

La farine est le principal constituant à contribuer aux activités protéolytique et amylolytique dans les mélanges farine-*Lactobacillus*. L'augmentation du taux de cendres des farines se traduit par une activité enzymatique plus élevée. Les *Lactobacillus* influencent quantitativement la dégradation des constituants azotés et carbonés au cours de la fermentation et l'effet observé est fortement dépendant de la souche ou de l'espèce utilisée. Les réactions métaboliques et enzymatiques modifient la dynamique d'évolution de ces constituants et des régressions significatives ont été

prises en évidence pour les fractions azotées solubles, le maltose et les dextrines. Ce sont les monosaccharides qui subissent les changements les plus complexes en raison de leur participation active au métabolisme.

Cette étude multi paramétrique constitue une base solide à l'établissement d'un système expert pour l'optimisation de la production de pain au levain, système qui serait d'un grand intérêt à la fois pour les meuniers et pour les fabricants de produits nouveaux.

Qualité biscuitière

Le problème était ici de définir les caractéristiques d'une farine adaptée à la fabrication de biscuits secs sucrés (type « Petit Beurre ») et d'améliorer les connaissances du procédé biscuitier afin d'en accroître la productivité et de faciliter la création de produits nouveaux. Les premiers résultats obtenus par le groupe Danone (Branche Biscuits, Athis-Mons) et par l'INRA (Montpellier) ont concerné le comportement rhéologique de la pâte biscuitière, indiquant un comportement viscoélastique aux faibles contraintes et un comportement d'un gel aux contraintes élevées.

Partant de l'idée que le facteur essentiel de la qualité biscuitière est la stabilité dimensionnelle du biscuit, le poids, l'épaisseur et la densité du biscuit ont été reliés aux constituants de la farine absorbant l'eau : protéines, amidon endommagé et pentosanes. En particulier, les *pentosanes insolubles* limitent l'hydratation des autres constituants et ont un effet très négatif sur l'épaisseur du biscuit.

D'autre part, les gluténines les plus insolubles ou les plus agrégées (c'est-à-dire le *glutenin macropolymer*), qui déterminent le caractère élasticité de la pâte et par conséquent le phénomène de rétraction du biscuit, jouent un rôle négatif dans la qualité biscuitière, contrairement au rôle qu'elles jouent dans la force boulangère. Il convient donc de sélectionner les blés biscuitiers sur

la base d'une composition allélique en sous-unités HMW-gluténines telle que 2-7-12, ou en sous-unités LMW de types 'o' or 'm', ou peut-être simplement en retenant un faible rapport gluténines/gliadines (MOREL *et al.*, 1994).

Protéines associées à la surface des grains d'amidon

Des travaux antérieurs réalisés par Schofield and Greenwell au CCFRA (Chorleywood, UK) avaient montré une relation étroite entre la présence d'une petite protéine à la surface des grains d'amidon (poids moléculaire 15 000) et la friabilité de l'albumen du blé tendre. Le rôle fonctionnel de cette « friabiline » et ses relations avec les allèles « hard » ou « soft » du gène de la dureté restaient cependant à élucider.

Dans un premier temps, il est cependant apparu que la friabiline était présente en proportion analogue dans tous les types de *T. aestivum* et que seule son affinité pour d'amidon était différente : chez les types « soft », la friabiline s'associe à la surface des grains d'amidon lors de la purification de ceux-ci, tandis que chez les types « hard », elle reste diluée dans l'ensemble des tissus du grain de blé. Ainsi, l'anticorps monoclonal anti-friabiline F7F n'a pu être utilisé pour réaliser (sur des préparations de grains broyés) un microtest de prédiction de la texture de l'albumen chez les blés tendres, sa principale application ayant finalement été la détection du blé tendre dans les pâtes alimentaires et autres produits du blé dur (*T. durum*) (MACKAY et STIMSON, 1993).

Des progrès majeurs ont été ensuite réalisés grâce au rapprochement effectué entre les constituants basiques de la friabiline (caractérisés par électrophorèse capillaire, électrofocalisation, séquençage des acides aminés N-terminaux, immuno empreintes) et les lipoprotéines extraites par le détergent Triton X-114 à l'INRA (Nantes) (BLOCHET *et al.*, 1993) (Figure 6). Les résultats obtenus ont permis de

N-terminal sequence of GSP and puroindoline-b

EVGGGGGSQEPPQERKLN (GSP)
EVGGGGGSQQCPQERKLS (puroindoline-b)

Partial sequences of major peptides isolated from lysylendoproteinase digests of GSP and their homology with puroindolines

VIQEAQ (GSP)	GGEEHEV (GSP)
VIQEAQ (puroindoline-a)	GGCEHEV (puroindoline-b)
DYVXE (GSP)	NFPV (GSP)
DYVME (puroindoline-b)	DFPV (puroindoline-a and -b)
QLQRAQS (GSP)	EVGGGGGSQEP (GSP)
QLQRAQS (puroindoline-b)	EVGGGGGSQQC (puroindoline-b)

unknown peptides A(L)AFP ; ARTVQTA ; SYVYEQ

Partial sequences of chymotrypsin digests

RGQVFL (GSP)	LGIR (GSP)
RGEVFK (puroindoline-b)	LGIWR (puroindoline-b)

unknown peptide : SQIAPQ

Figure 6. Homologies de séquences entre peptides provenant de la friabiline et des puroindolines-a et -b (d'après INRA-Nantes).

faire considérablement avancer les connaissances sur la nature biochimique de la friabiline et sa localisation dans le grain (SULAIMAN *et al.*, 1993) ; ils ont permis de clarifier le statut de la friabiline en tant que protéine interagissant avec les lipides (MARION *et al.*, 1994). Une forte homologie a ainsi été démontrée entre certaines protéines de surface des grains d'amidon (friabiline basique 2-3) et la principale protéine interagissant avec les lipides, nommée puroindoline-b par D. MARION en raison de son domaine unique riche en tryptophane (BLOCHET *et al.*, 1993 ; GREENWELL et BROCK, 1993).

Ainsi, les friabilines se trouvent impliquées d'une certaine manière dans la texture de l'albumen, mais pas dans un sens qui ait permis jusqu'ici de les utiliser dans un diagnostic rapide et sensible (éventuellement applicable en sélection variétale) de la dureté des grains de blé (GREENWELL, 1993). La présence de friabiline à la surface des grains d'amidon résulte en effet très certainement du procédé de purification de l'amidon et un travail complémentaire reste à mener pour expli-

quer les véritables bases moléculaires de l'interaction friabiline-amidon. Vraisemblablement, les bases explicatives de la dureté mettent en jeu un facteur lipidique responsable de l'accrochage de la friabiline à la surface des grains d'amidon (GREENWELL et BROCK, 1993).

Interactions protéines-lipides

Une première approche de ces interactions a été réalisée par Gist-Brocades (Delft, Pays-Bas) au moyen d'un système de cylindre à débordement, permettant de démontrer que la déstructuration des macropolymères gluténines au cours du pétrissage peut être facilement suivie par les propriétés de surface d'échantillons de pâte, et que l'addition de lipides exerce une forte influence sur ce comportement, sans toutefois qu'il n'apparaisse de différence entre les blés « hard » et les blés « soft ». (PLIJTER, 1994).

Dans le cadre de l'étude générale des interactions entre lipides et autres constituants, l'INRA (Nantes) a plus particulièrement caractérisé les protéines qui s'associent aux lipides, lesquelles sont pour la plupart récupérées dans la phase détergent après partition de phase au Triton X-114 (BLOCHET *et al.*, 1993).

L'une de ces familles de protéines, les *puroindolines*, est apparue posséder des propriétés particulières telles qu'une grande richesse en tryptophane, une structure en hélices

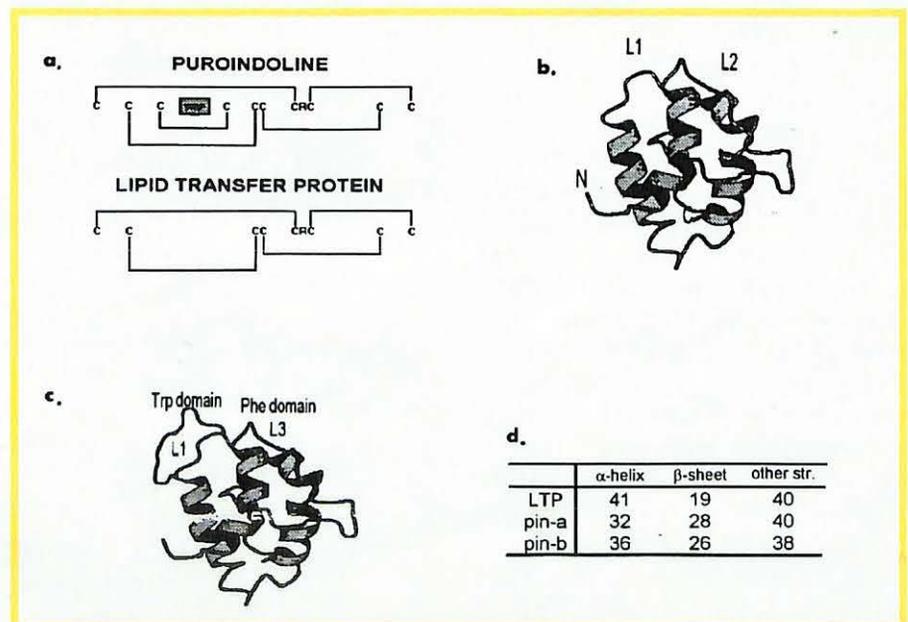


Figure 7. Comparaison des structures de la protéine de transfert des lipides (LTP) et des puroindolines de blé. - a. Localisation des ponts disulfures. - b. Structure de la LTP par RMN multidimensionnelle du proton. - c. Modèle 3D des puroindolines, déduit de la structure 3D de la LTP. d. Structures secondaires déterminées par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) (d'après INRA-Nantes).

à pH 4, stabilisée par cinq ponts disulfures (**Figure 7**), de fortes interactions spécifiques avec les phospholipides anioniques (DÉSORMEAUX *et al.*, 1992 ; GAUTIER *et al.*, 1994 ; GINCEL *et al.*, 1994) et de remarquables propriétés moussantes, avec formation d'un film lipoprotéique très stable aux interfaces air-eau (WILDE *et al.*, 1993 ; COMPOINT *et al.*, 1994 ; SUBIRADE *et al.*, 1995). Cette structure moléculaire des puroindolines joue vraisemblablement un rôle important au cours de la phase d'expansion gazeuse de la fermentation paninaire (MARION, 1992). Grâce à l'emploi d'anticorps monoclonaux, la principale des puroindolines (puro-*a*) a pu également être localisée dans la couche à aleurone des grains, la puro-*b* étant préférentiellement localisée dans l'albumen amylicé (DUBREIL *et al.*, 1994).

Caractérisation et purification de sous-fractions du gluten

La purification de sous-fractions du gluten est une étape essentielle avant toute étude de propriétés physico-chimiques, rhéologiques ou fonctionnelles. Obtenir des « sous-unités » pures constitue cependant une tâche très difficile (particulièrement en ce qui concerne les sous-unités de faible poids moléculaire - LMW - de la gluténine, lesquelles sont délicates à analyser en raison de leur comportement agrégatif et de leurs tailles moléculaires difficiles à distinguer de celles des gliadines classiques). Il est encore plus complexe d'obtenir des fractions « natives », c'est-à-dire ayant conservé leurs propriétés fonctionnelles d'origine. Des résultats remarquables ont été obtenus par l'INRA (Nantes) concernant l'isolement de sous-fractions fonctionnelles du gluten d'état d'agrégation progressivement différent et homogène par adaptation du procédé de MacRitchie de solubilité différentielle dans des concentrations croissantes d'acide.

De nouvelles méthodes de purification des sous-unités ont été également développées tout au long du programme par l'Institute of Arable Crop Research (IACR, Bristol, UK), l'INRA (Montpellier) et les Universités de Viterbo et de Padoue (Italie). Elles ont été réalisées à la fois sur les sous-unités HMW (qui déterminent les caractères ténacité et élasticité d'une pâte, c'est-à-dire les paramètres essentiels de la panification d'Europe du nord) et les sous-unités LMW (dont la variation génétique est vraisemblablement davantage associée aux propriétés d'extensibilité, paramètre davantage critique pour les panifications françaises et sud-Européennes). Citons, par exemple, la précipitation à l'acétone (qui a le potentiel pour préparer de grandes quantités de groupes protéiques pré-purifiés) (MELAS *et al.*, 1994), l'électrophorèse électroendosmotique et l'électrofocalisation préparative (CURIONI *et al.*, 1995), la chromatographie d'adsorption sur billes de verre (PERUFFO *et al.*, 1994).

De nouvelles méthodes de caractérisation ont été également développées à l'INRA (Montpellier), notamment une électrophorèse à pH acide des sous-unités gluténines (MOREL, 1994), une chromatographie d'échanges d'ions IE-FPLC de ces mêmes sous-unités (MELAS, 1994), et la détermination du nombre de cystéines des sous-unités gluténines par simple alkylation et électrophorèse (MOREL et BONICEL, 1994) (**Figure 8**).

Physico-chimie et fonctionnalité des sous-fractions du gluten

Des études physiques et physico-chimiques ont été menées pour acquérir de nouvelles informations sur les structures secondaires des protéines du gluten (BUONOCORE *et al.*, 1994 ; HICKMAN *et al.*, 1994 a, b, 1995 ; TATHAM *et al.*, 1994). Ainsi, l'incorporation de sous-unités HMW purifiées (e.g. 1Bx20) au réseau d'une pâte dans un Micro mixographe de capacité 2 grammes a permis d'observer un accroissement de la force boulangère, une simple addition des mêmes sous-unités conduisant au contraire à une détérioration (IACR, Bristol, UK) (BÉKÉS *et al.*, 1994).

Les propriétés rhéologiques de différentes sous-fractions du gluten ont été étudiées à l'INRA (Nantes) au moyen d'un essai dynamique en cisaillement, révélant un comportement typique d'une structure en réseau transitoire ainsi que de grandes différences au niveau des modules de conservation (G') et de perte (G'') entre les fractions, notamment une forte corrélation entre le module au plateau et la proportion de polymères de haut poids moléculaire (proportion du pic exclu en HPLC d'exclusion-diffusion) (**Figure 9**) (CORNEC, 1994 ; CORNEC *et al.*, 1994a). La détermination de l'effet de différents allèles des HMW-gluténines a été facilitée

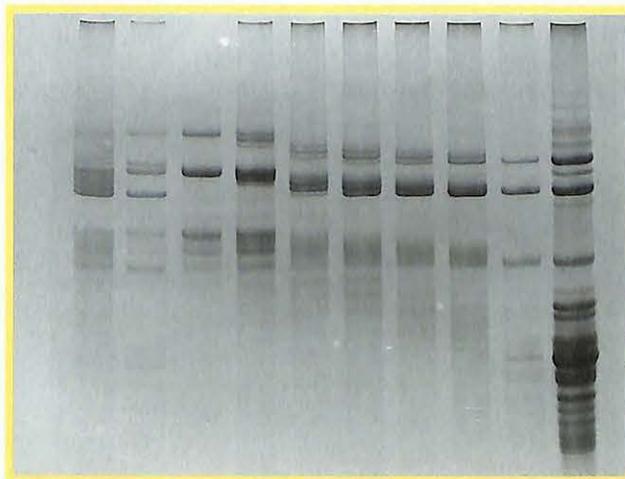


Figure 8. Détermination du nombre de résidus cystéines dans les sous-unités HMW-gluténines (variété Castan) par alkylation mixte et électrophorèse A-PAGE (d'après INRA-Montpellier).

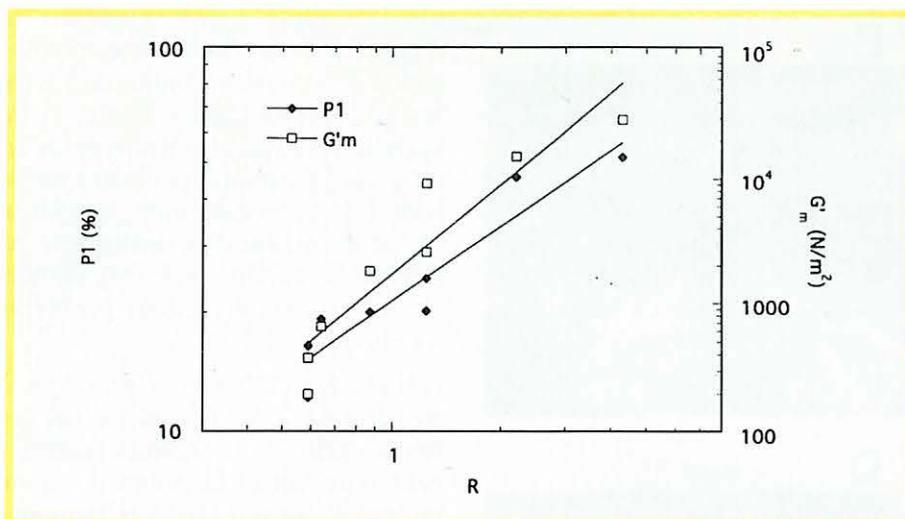


Figure 9. Relations entre la teneur en polymères gluténines de taille élevée des fractions du gluten (P1), leur module plateau ($G'm$), et leur proportion en chaînes peu mobiles (R), déterminées par marquage de spin des résidus cystéines (d'après INRA, Nantes).

par la possibilité de disposer des lignées quasi-isogéniques de la variété Sicco, différant uniquement au niveau de la composition en HMW-gluténines (POPINEAU *et al.*, 1994a, b). La viscoélasticité du gluten semble donc contrôlée par la quantité d'agrégats de taille moléculaire élevée, que l'on peut d'ailleurs déterminer avec précision par diffusion dynamique de la lumière (CORNEC *et al.*, 1994b). Une structure à double niveau dans le gluten a donc été proposée : un niveau agrégat (directement impliqué dans le comportement viscoélastique) et un niveau réseau, résultant lui-même de l'association des gros agrégats entre eux au travers d'interactions non-covalentes. Les facteurs de la viscoélasticité du gluten (*e.g.* la température) ont des actions complexes car ils jouent aux deux niveaux, tandis que les groupements SS/SH ne semblent intervenir qu'au seul niveau de l'état d'agrégation (LEFEBVRE *et al.*, 1994a, b).

La spectroscopie infra-rouge avec transformée de Fourier (FTIR) et la RMN du proton ont été appliquées aux sous-unités HMW-gluténines par l'Institute of Food Research (IFR, Norwich, UK), permettant de démontrer que le comportement de ces sous-unités n'a rien d'élastique pour ce qui concerne leur interaction avec l'eau (BELTON *et al.*, 1993,

1994a, b). Également, le degré d'hydratation accroît la mobilité de la sous-unité HMW 20, ce qui en retour induit des changements dans le sens d'une structure plus étirée et de type feuillet β (BELTON *et al.*, 1994c, 1995). Il a été suggéré que les bases physico-chimiques du caractère viscoélastique des sous-unités HMW se situe plutôt au niveau de l'ensemble des liaisons de type hydrogène qui résulte de la très forte densité de résidus glutamines le long du domaine central répétitif de la molécule (BELTON, 1994).

A l'INRA (Nantes) et à l'ENS-BANA (Dijon), la résonance paramagnétique électronique (RPE) a permis de mieux comprendre la flexibilité moléculaire et de confirmer notamment que la polymérisation des sous-unités gluténines se traduit par la formation de chaînes polypeptidiques moins mobiles et davantage rigides (HARGREAVES *et al.*, 1994a, b, c, 1995 ; HARGREAVES, 1995). Également, grâce au marquage des résidus cystéines et lysines, les résultats de la RPE indiquent la présence de deux phases liquides dans le gluten (la phase des lipides organisés et la phase protéines-eau), lesquelles diffèrent en polarité (HARGREAVES *et al.*, 1994a ; HARGREAVES, 1995). La diffraction des rayons X et la microscopie à effet tunnel réali-

sées à l'IACR (Bristol, UK) (TATHAM *et al.*, 1994) ont permis par ailleurs de déterminer les dimensions et la flexibilité des molécules d'HMW-gluténines, indiquant un comportement en solution analogue à celui de baguettes semi-rigides (HICKMAN *et al.*, 1994, 1995).

Dynamique de développement de la pâte

L'objectif de cette étude était de suivre le comportement et les interactions des constituants du blé dans la pâte et les produits de panification grâce à la mise en œuvre d'anticorps obtenus contre différents constituants (notamment polysaccharides et protéines du gluten), couplés à des techniques de microscopie (HOLDEN *et al.*, 1994 ; MILLS *et al.*, 1994).

A l'IFR (Norwich, UK), des anticorps polyclonaux ont été produits dans des lapins contre des extraits de pentosanes de sons, en utilisant des lectines adsorbées sur des plaques de microtitration pour retenir les pentosanes, lesquels n'auraient pas pu être immobilisés par des méthodes traditionnelles. Deuxièmement, des souris ont été utilisées et la production d'anticorps monoclonaux anti-pentosanes a été réussie pour la première fois. Ces anticorps monoclonaux ont pu être utilisés sur des échantillons de blé, de pâte et de pain, dans une nouvelle technique de microscopie électronique à balayage avec marquage à l'argent (Figure 10) afin de suivre certains changements structuraux intervenant au cours de la panification.

Expérimentations multilocales et interactions génotype x environnement

L'évaluation du potentiel de rendement et l'expression des caractéristiques technologiques des blés dans des environnements différents représente un préalable nécessaire à tout programme d'amélioration de la qualité. Afin de collecter ce type

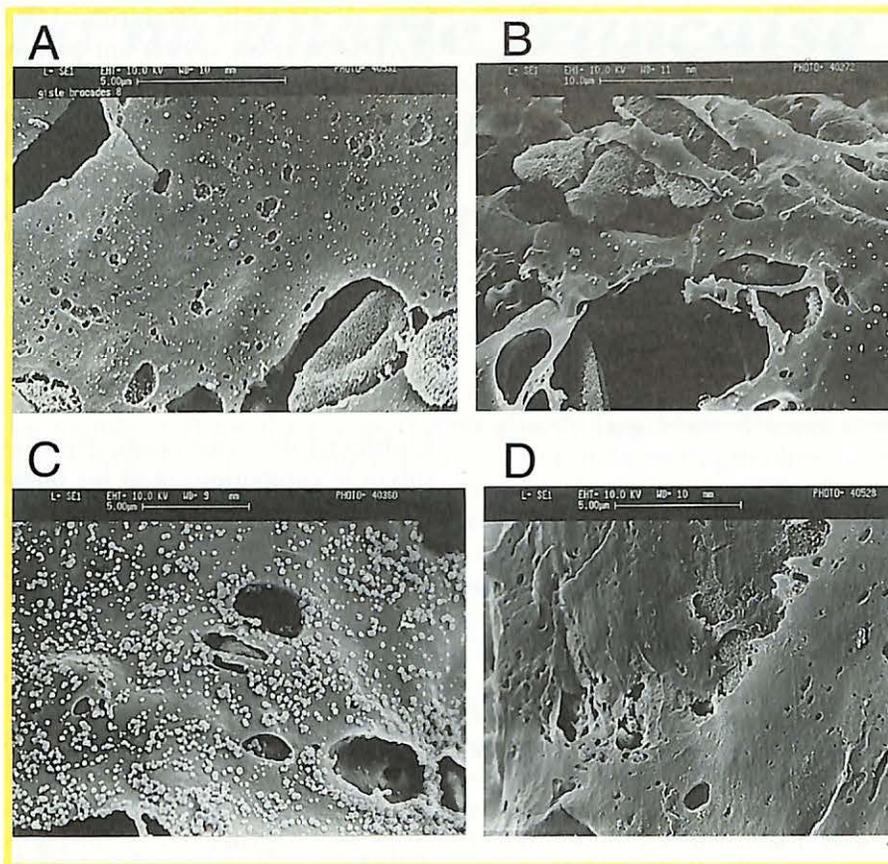


Figure 10. Marquage d'échantillons de pain sans améliorant (A) ou renfermant de la xylanase pure (B, C, D). Le marquage a été effectué, soit au moyen d'anticorps monoclonal anti-arabinoxylane 0418 (A, B), anti-gliadine 0033 (C), ou polyclonal IgM marqué à l'or colloïdal (D) (d'après Institut of Food Research, Norwich, UK).

d'information, un réseau d'expérimentation des variétés, conduit selon une méthodologie rigoureuse et uniforme dans plusieurs régions productrices de blé de l'Europe a été établi (DeAMBROGIO *et al.*, 1992 ; BAGULHO *et al.*, 1995).

Les laboratoires publics et les sélectionneurs privés qui se sont impliqués pendant 3 ans dans les réseaux Nord-Ouest- [INRA (Clermont-Ferrand), ITCF (Paris), Club des 5 (Paris)] et Sud-Européen [Produttori Sementi (Bologna, Italie), Istituto Sperimentale per la Cerealicoltura (ISC, S. Angelo Lodigiano, Italie), INRA (Clermont-Ferrand), ITCF (Paris), Club des 5 (Paris), EERM (Jerez de la Frontera, Espagne), ENMP (Elvas, Portugal)] ont réalisé des analyses technologiques conduisant à des résultats significatifs en termes de : (1) potentiel de rendement dans plusieurs localisations européennes, (2) caractéristiques de qualité, (3) corrélation entre les don-

nées technologiques et les facteurs agronomiques, (4) effet de la fertilisation azotée, et (5) caractérisation des environnements de culture.

Le concept de *stabilité de la qualité* a été également précisé. Il a été observé que plusieurs génotypes cultivés dans le même réseau d'environnements répondaient différemment non seulement en matière de rendement mais aussi de qualité. Ce différentiel de réponse a été appelé stabilité de la qualité (pour le paramètre considéré). Une véritable étude de la qualité n'est possible que si le comportement des variétés est analysé dans le cadre d'une expérimentation multilocale, ce qui était le cas des deux réseaux Sud-Européen et Nord-Ouest-Européen. Considérant que tous les génotypes cultivés dans ces essais ont subi les mêmes effets de l'environnement, il a été possible de définir la stabilité de la qualité selon un concept agronomique ou dynamique. Il a été

ainsi considéré que la variation d'environnement induit une modification de la qualité commune à tous les génotypes testés. Donc, si la variation de qualité observée pour un génotype donné peut être attribuée à l'action conjointe du milieu et de l'interaction génotype x milieu, la stabilité, elle, est fondée sur les seules interactions génotype x milieu.

L'étude des *interactions génotype x milieu* a également permis d'identifier les principaux facteurs déterminant la teneur et la composition en protéines. Ainsi, l'INRA (Clermont-Ferrand) et l'ITCF (Paris) ont accumulé des informations sur la cinétique d'accumulation des protéines et de la matière sèche dans les grains pour des génotypes de qualités très diverses (ROBERT *et al.*, 1994). Les résultats ont mis en évidence des différences au niveau de la vitesse et de la durée du remplissage à la fois pour les protéines et pour la matière sèche.

Génétique des protéines de réserve du blé

Cette recherche s'est concentrée sur les sous-unités gluténines de faible poids moléculaire (LMW), qui demeurent le groupe le plus mal connu de toutes les protéines du gluten. Le développement de lignées quasi-isogéniques par les généticiens italiens (POGNA *et al.*, 1995 ; REDAELLI *et al.*, 1995) et de lignées de substitution chromosomique de la variété Courtot par les généticiens français (BOUGUENEC *et al.*, 1995), a permis les avancées suivantes :

Une description plus complète a été obtenue pour la variabilité génétique des groupes B, C et D et pour la liaison génétique entre les loci codant pour les gliadines et les gluténines sur les chromosomes du groupe 1 (REDAELLI *et al.*, 1992 ; DACHKEVITCH *et al.*, 1993 ; POGNA *et al.*, 1995). Comme aucun système d'électrophorèse à une dimension ne permettait de décrire correctement le polymorphisme des sous-unités



Figure 11. Nouvelle électrophorèse bidimensionnelle (A-PAGE x SDS-PAGE) permettant la description détaillée des sous-unités LMW-gluténines des variétés de blés (d'après Istituto Sperimentale Cerealicoltura, Italie et INRA, Montpellier).

LMW-gluténines entre variétés, l'INRA (Montpellier) et l'ISC (S. Angelo Lodigiano et Rome) ont développé un système utilisant les 3 techniques SDS-PAGE, IEF et A-PAGE en parallèle (MOREL *et al.*, 1994) et un système bidimensionnel (A-PAGE x SDS-PAGE) (REDAELLI *et al.*, 1994, 1995) (Figure 11), tandis qu'une technique en deux étapes (A-PAGE/SDS-PAGE) a été développée à l'INRA (Clermont-Ferrand) pour décrire le polymorphisme des ω -gliadines (BRANLARD *et al.*, 1994).

Les effets cumulés des fractions LMW- et HMW-gluténines, ainsi que gliadines sur les propriétés du gluten sont désormais mieux compris (KHELIFI et BRANLARD, 1992 ; DACHKEVITCH *et al.*, 1993 ; NG *et al.*, 1994). De nouvelles relations entre les allèles γ - ou ω -gliadines et la qualité technologique ont été établies par l'ISC (S. Angelo Lodigiano, Italie) (DACHKEVITCH *et al.*, 1993, POGNA *et al.*, 1993) et l'INRA (Clermont-Ferrand) (KHELIFI *et al.*, 1992 ; BRANLARD *et al.*, 1994 ; NIETO-TALADRIZ *et al.*, 1994). Également, un effet parti-

culier sur la qualité boulangère a été démontré par l'Université de Viterbo (Italie) pour les sous-unités LMW-gluténines de type D (MASCI *et al.*, 1991, 1993, 1994) et pour les fractions contrôlées par les gènes des loci *Gli-D1/Glu-D3* (BENEDETTELLI *et al.*, 1992). Un allèle nul ayant un effet positif sur la qualité a été identifié par l'INRA (Clermont-Ferrand) (BRANLARD et DARDEVET, 1994) et l'Université de Viterbo (LAFIANDRA *et al.*, 1994), tandis que la variation allélique aux loci *Glu-3* a été décrite par l'INRA (Montpellier), en interaction avec celle des loci *Glu-1*, amenant à proposer une sélection des lignées de blé possédant les allèles *Glu-B3* « o » ou « m » pour détecter les lignées de blé ayant un potentiel à donner des pâtes très extensibles (MOREL *et al.*, 1994).

En outre, une nouvelle sous-unité HMW-gluténine codée au locus *Glu-D1*, dénommée 5* (différente de la sous-unité 5 normalement associée à la sous-unité 10) a été découverte à l'Université de Viterbo (Italie) dans la variété Fiorello, qui se caractérise par l'absence du résidu cystéine sup-

plémentaire au début du domaine répétitif, situation typique de la sous-unité 5 normale (LAFIANDRA *et al.*, 1993). Ce résultat remet en doute les précédentes conclusions qui tenaient à enlever toute responsabilité à la sous-unité 5 dans les différences de qualité boulangère observées entre les paires d'allèles HMW-gluténines 5 + 10 et 2 + 12.

Résistance à la germination sur pied

Prévenir les risques de germination sur pied est un objectif à long terme recherché depuis longtemps dans l'Union Européenne. Le coût annuel moyen des dégâts causés par la germination sur pied, dans l'hypothèse où ils se produisent une fois tous les 5 ans (en conduisant à une chute de 10 % du rendement et de 50 % de la qualité boulangère dans les parcelles concernées) peut être évalué à 50-60 millions d'euros. L'approche développée par le TNO dans cette recherche était entièrement originale à la fois en concept et en méthodologie. En effet, au lieu de se limiter à détecter des niveaux d'activités amylasiques, le travail s'est orienté sur :

- le développement d'un bioessai permettant de suivre les inhibiteurs de germination,
- la purification d'une fraction contenant un inhibiteur de germination (dont on a montré qu'il était différent de l'acide abscissique) en vue d'une détection rapide à un stade précoce, et éventuellement d'une prévention (van LAARHOVEN, 1993 ; van LAARHOVEN *et al.*, 1993). En outre, le fait d'avoir déterminé l'étendue de la base génétique de la dormance devrait désormais permettre une véritable sélection pour la résistance à la germination sur pied.

Conclusion

Dans l'ensemble, ce programme ECLAIR a été un programme pré-compétitif réellement intégré (AUTRAN, 1995). Il a clairement contribué : (1) à réduire les écarts

entre l'évolution des procédés industriels, leur représentation paramétrique et leur expression en termes de cahiers des charges au niveau du blé ou de la farine ; (2) à stimuler la sélection et le développement de nouvelles variétés de blé capables de satisfaire les besoins des demandes actuelles et futures de l'industrie européenne.

Ses principaux résultats consistent en :

1. Une meilleure compréhension des bases physico-chimiques des procédés de transformation industrielle des blés et des farines, ce qui va désormais permettre à chacun des pays participants d'appliquer les connaissances acquises dans leur propre secteur industriel.

2. Le développement de méthodes améliorées permettant une analyse plus efficace et plus rapide de la qualité du matériel génétique en cours de sélection. Alors qu'auparavant, la sélection variétale avait comme référence le seul modèle de la qualité boulangère, on dispose aujourd'hui de pistes sérieuses et d'outils originaux pour prendre en compte, par exemple, les qualités meunière ou biscuitière dans les programmes de sélection.

3. Une base génétique constituée de lignées de force élevée que les sélectionneurs peuvent dès à présent utiliser pour développer, à plus long terme, de nouvelles variétés possédant des caractéristiques agronomiques et technologiques à la fois plus stables et mieux adaptées à l'évolution des procédés industriels.

4. Une meilleure identification des déterminants de la qualité dont les gènes devront être identifiés, clonés et éventuellement transférés dans les blés de demain.

Soulignons enfin qu'à côté des résultats scientifiques, une retombée particulièrement significative est l'amélioration de la communication entre les groupes de recherche européens ayant participé au programme. Au cours des quatre dernières années, on est parvenu à une meilleure coordination entre des programmes de recherches qui étaient auparavant conduits de façon indépendante et souvent

concurrente. Le degré de recouvrement de ces programmes a diminué et le degré de synergie a considérablement augmenté. Au total, les réseaux de science et technologie céréalière d'Europe occidentale ont gagné en puissance et en efficacité. ■

Références

- AUTRAN J.C. (1994). Industrial use of EU wheats : Review of a four-year (1991-1994) European (ECLAIR AGRE0052) research programme. In : Wheat Kernel Proteins : Molecular and Functional Aspects, Proceedings of the Symposium at S. Martino al Cimino, Viterbo (Italy), September 28-30, pp. 9-17.
- AUTRAN J.C. (1995). Sélection : comment mieux répondre aux attentes des industriels ? Quelques retombées du programme européen ECLAIR « To Explore and Improve the Industrial Use of EU Wheats (1991-1994). Perspectives Agricoles, 203, 40-43.
- BAGULHO F., MAÇÃS B., BRITES C. and COUTINHO J. (1995). Studies on yield stability and quality parameters on European bread wheats. Brotéria Genética, Lisboa, 16 (41), 35-41.
- BÉKÉS F., GRAS P.W., GUPTA R.B., HICKMAN D.R. and TATHAM A.S. (1994). Effects of a high Mr glutenin subunit (1Bx20) on the dough mixing properties of wheat flour. J. Cereal Sci., 19 (1), 3-7.
- BELTON P.S. (1994). A hypothesis concerning the elasticity of high molecular weight subunits. In : Wheat Kernel Proteins : Molecular and Functional Aspects, Proceedings of the Symposium at S. Martino al Cimino, Viterbo (Italy), September 28-30, pp. 159-165.
- BELTON P.S. and GIL A.M. (1993). Proton nuclear magnetic resonance lineshapes and transverse relaxation in a hydrated barley protein. J. Chem. Soc. Faraday Trans., 89 (23), 4203-4206.
- BELTON P.S., COLQUHOUN, I.J., FIELD J.M., GRANT A., SHEWRY P.R. and TATHAM A.S. (1994a). ¹H and ²H NMR relaxation studies of the high Mr subunits of glutenin and comparison with elastin. J. Cereal Sci., 19 (2), 115-121.
- BELTON P.S., GIL A.M. and TATHAM A.S. (1994b). ¹H NMR relaxation time studies of the hydration of the barley protein C-hordein. J. Chem. Soc. Faraday Trans., 90 (8) 1099-1103.
- BELTON P.S., COLQUHOUN I.J., GRANT A., WELLNER N., SHEWRY P.R. and TATHAM A.S. (1994c). NMR and FTIR studies on the hydration of a high Mr subunit of glutenin. In : Wheat Kernel Proteins : Molecular and Functional Aspects, Proceedings of the Symposium at S. Martino al Cimino, Viterbo (Italy), September 28-30, pp. 210-212.
- BELTON P.S., COLQUHOUN, I.J., FIELD J.M., GRANT A., SHEWRY P.R., TATHAM A.S. and WELLNER N. (1995). FTIR and NMR studies on the hydration of a high Mr subunit of glutenin. Intern. J. Biol. Macromol., 17 (2), 74-80.
- BENEDETTELLI S., MARGIOTTA B., PORCEDDU E., CIAFFI M. and LAFIANDRA D. (1992). Effects of the lack of proteins controlled by genes at the *Gli-D1/Glu-D3* loci on the breadmaking quality of wheat. J. Cereal Sci., 16 (1), 69-79.
- BLOCHET J.E., CHEVALIER C., FOREST E., PEBAY-PEROULA E., GAUTIER M.F., JOUDRIER P., PEZOLET M. and MARION D. (1993). Complete amino acid sequence of puroindoline, a new basic protein with a unique tryptophan-rich domain, isolated from wheat endosperm by Triton X-114 phase partitioning. FEBS Letters, 329 (3), 336-340.
- BOUGUENNEC A., BERNARD M., BRANLARD G., ROUSSET M., GAY G., DARDEVET M., CADALEN T. and BŒUF C. (1995). Characterization of a new set of intervarietal substitution lines of wheat with « Courtot » as recipient variety. Agronomie (sous presse).
- BRANLARD G. and DARDEVET M. (1994). A null *Gli-D1* allele with a positive effect on bread wheat quality. J. Cereal Sci., 20 (3), 235-244.
- BRANLARD G., DARDEVET M., NIETO-TALADRIZ M.T. and KHELIFI D. (1994). Allelic diversity of the ω -gliadins as revealed by SDS-PAGE : Their possible implication in quality variation. In : Gluten Proteins 1993, Proceedings of the 5th International Gluten Workshop, June 7-9, Association of Cereal Research, Detmold (Germany), pp. 234-243.
- BUONOCORE F., LAFIANDRA D., CAPORALE C., PORCEDDU E., HICKMAN D., TATHAM A.S. and SHEWRY P.R. (1994). Structural studies of a high molecular weight glutenin subunit encoded at the *Glu-D1x* locus in bread wheat. In : Wheat Kernel Proteins : Molecular and Functional Aspects, Proceedings of the Symposium at S. Martino al Cimino, Viterbo (Italy), September 28-30, pp. 203-205.
- COLLAR C., and MARTÍNEZ C.S. (1993a). Amino acid profile of fermenting wheat sour doughs performed under different processing conditions. In : Proceedings of Euro Food Chem VII, Progress in Food Fermentation, Vol. 1. Ed. : C. Benedito, C. Collar, M. A. Martínez-Anaya, and R. Morell. IATA (CSIC) ISBN : 84-604-7038-5. Valencia, Spain, September 20-22, pp. 290-295.
- COLLAR C., and MARTÍNEZ C.S. (1993b). Amino acid profile of fermenting wheat sour doughs. J. Food Sci., 58 (6), 1324-1328.

- COLLAR C., and MARTÍNEZ C.S. (1995). Effect of processing conditions on lipidic and nitrogen metabolism of wheat sour doughs. *Int. J. Food Sci. Technol.* (sous presse).
- COLLAR C., MARTÍNEZ-ANAYA M.A. and BENEDITO DE BARBER C. (1993). Interactive effects between microbial bread-making starters and wheat flours. In : *Proceedings of Euro Food Chem VII, Progress in Food Fermentation, Vol. 1.* Ed. : C. Benedito, C. Collar, M. A. Martínez-Anaya, and J. Morell. IATA (CSIC) ISBN : 84-604-7038-5. Valencia, Spain, September 20-22. p. 75-80.
- COLLAR C., MARTÍNEZ-ANAYA M.A. and BENEDITO DE BARBER C. (1995). Interactive effects between microbial bread-making starters and wheat flours. *Rev. Esp. Cienc. Tecnol. Aliment.* (sous presse).
- COMPOINT G., MARION D., NARAHI-SOA H. and HAERTLÉ T. (1994) Role of tryptophan side chains in the interaction of puroindolines 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), September 28-30, p. 201.*
- CORNEC M. (1994). Comportement rhéologique du gluten : influence de la composition en prolamines et de leur état d'association. Thèse de Doctorat, Université de Nantes (France).
- CORNEC M., POPINEAU Y. and LEFEBVRE J. (1994a). Characterisation of gluten subfractions by SE-HPLC and dynamic rheological analysis in shear. *J. Cereal Sci.*, 19 (2), 131-139.
- CORNEC M., ROGER P. and POPINEAU Y. (1994b). Determination of prolamin sizes by dynamic light scattering. In : *Gluten Proteins 1993, Proceedings of the 5th International Gluten Workshop, June 7-9, Association of Cereal Research, Detmold (Germany), pp 483-486.*
- CURIONI A., MOREL M.H., FUREGON L., REDAELLI R., PERUFFO A.D.B. (1995). Purification of wheat glutenin subunits by preparative acid and two-dimensional electrophoresis. *Electrophoresis*, 16, 1005-1009.
- DACHKEVITCH T., REDAELLI R., BIANCARDI A.M., METAKOVSKY E.V. and POGNA N.E. (1993). Genetics of gliadins coded by the group 1 chromosomes in the high-quality bread wheat cultivar Neepawa. *Theor Appl. Genet.*, 86 (2-3), 389-399.
- DeAMBROGIO E., Di FONZO N., ROCCHETTI G. and BORGHI B. (1992). I grani di forza in Europa. *L'informatore Agrario*, 48, 33-37.
- DÉSORMEAUX A., BLOCHET J.E., PÉZOLET M. and MARION D. (1992). Amino acid sequence and conformation from Infrared and Raman spectroscopy of a wheat non-specific phospholipid transfer protein. Role of disulfide bridges and phospholipids in the stabilisation of the alpha helix structure. *Biochim. Biophys. Acta*, 1121 (1-2), 137-152.
- DUBREIL L., QUILLIEN L., COMPOINT J.P. and MARION D. (1994). Variability and location of wheat kernel indolines and lipid transfer proteins. In : *Wheat Kernel Proteins : Molecular and Functional Aspects, Proceedings of the Symposium at S. Martino al Cimino, Viterbo (Italy), September 28-30, pp. 331-333.*
- EVERS A.D. (1992). Predicting milling quality of wheat samples from morphological characteristics of representative grains. *Chorleywood Digest*, 118, 70-73.
- EVERS A.D. (1993a). On-line quantification of bran particles in white flour. *Food Science and Technology Today*, 7, 23-26.
- EVERS A.D. (1993b). Milling for breadmaking. In : *Proceedings of an International Conference on Bread - Breeding to Baking*, FMBRA, Chorleywood, 15-16 June, Chameleon Press Limited, London, pp. 20-30.
- EVERS A.D. (1993c). Shape, size and flour powder. *Cereal Foods World*, 38 (8), 618.
- EVERS A.D. (1994). Does grain size matter. *Chorleywood Digest*, 138, 70-72.
- EVERS A.D., KELFKENS M. and WHITWORTH M.G. (1994). Dusts and ashes. *Chorleywood Digest*, 134, 20-22.
- GAUTIER M.F., ALEMAN M.E., GUIRAO A., MARION D. and JOUDRIER P. (1994). *Triticum aestivum* puroindolines, two basic cysteine-rich proteins : cDNA sequence analysis and developmental gene expression. *Plant Mol. Biol.* 25 (1), 43-57.
- GINCEL E., SIMORRE J.P., CAILLE A., MARION D., PTAK M. and VOVELLE F. (1994) Three-dimensional structure in solution of a wheat lipid transfer protein from multidimensional ¹H-NMR data - a new folding for lipid carriers. *Eur. J. Biochem.* 226, 413-422.
- HAMER R.J., WEEGELS P.L. and ORSEL R. (1994). The polymerisation of glutenin in relation to end use quality. In : *Wheat Kernel Proteins : Molecular and Functional Aspects, Proceedings of the Symposium at S. Martino al Cimino, Viterbo (Italy), September 28-30, pp. 139-144.*
- HARGREAVES J. (1995). Etude physico-chimique de l'organisation du réseau protéique du gluten de blé. Thèse de Doctorat avec Label Européen, Université de Bourgogne, Dijon (France), 20 Avril.
- HARGREAVES J., Le MESTE M. and POPINEAU Y. (1994a). ESR studies of gluten-lipid systems. *J. Cereal Sci.*, 19 (2), 107-113.
- HARGREAVES J., Le MESTE M., CORNEC M. and POPINEAU Y. (1994b). Electron spin resonance studies of wheat protein fractions. *J. Agric. Food Chem.*, 42 (12), 2698-2702.
- HARGREAVES J., POPINEAU Y. and Le MESTE M. (1994c). ESR spectroscopy, its application to gluten systems. In : *Gluten Proteins 1993, Proceedings of the 5th International Gluten Workshop, June 7-9, Association of Cereal Research, Detmold (Germany), pp. 114-123.*
- HARGREAVES J., POPINEAU Y., MARION D., LEFEBVRE J. and Le MESTE M. (1995) Gluten viscoelasticity is not lipid-mediated. A rheological and molecular flexibility study on lipid and non-prolamin protein depleted glutes. *J. Agric. Food Chem.* (sous presse).
- HICKMAN D.R., ROEPSTORFF P., SHEWRY P.R. and TATHAM A.S. (1995). Molecular weights of the high molecular weight (HMW) subunits of glutenin determined by mass spectrometry. *J. Cereal Sci.* (sous presse).
- HICKMAN D.R., ROEPSTORFF P., CLARKE A.R., TATHAM A.S. and SHEWRY P.R. (1994a). Physico-chemical characterisation of high molecular weight subunits of wheat glutenin. In : *Wheat Kernel Proteins : Molecular and Functional Aspects, Proceedings of the Symposium at S. Martino al Cimino, Viterbo (Italy), September 28-30, pp. 75-80.*
- HICKMAN D.R., SHEWRY P.R. and TATHAM A.S. (1994b). The purification of alkylated and unalkylated HMW subunits. In : *Gluten Proteins 1993, Proceedings of the 5th International Gluten Workshop, June 7-9, Association of Cereal Research, Detmold (Germany), pp 460-467.*
- HOLDEN S., MILLS E.N.C., PARKER M.L. and MORGAN M.R.A. (1994). An investigation into the role of gluten components in the development of bread microstructure during baking using immuno-electron microscopy. In : *Gluten Proteins 1993, Proceedings of the 5th International Gluten Workshop, June 7-9, Association of Cereal Research, Detmold (Germany), pp 510-518.*
- KHELIFI D. and BRANLARD G. (1992). The effects of HMW and LMW subunits of glutenin and of gliadin on the technological quality of progeny from four crosses between poor breadmaking quality and strong wheat cultivars. *J. Cereal Sci.*, 16 (3), 195-209.
- KHELIFI D., BRANLARD G. and BOURGOIN-GRENECHE M. (1992). Diversity of some D-zone ω-gliadins of bread wheat as revealed by 2 step A-PAGE/SDS-PAGE technique. *J. Genet. Breed.*, 46 (4), 351-357.
- LAFIANDRA D., CIAFFI M., COLAPRICO G. and MARGIOTTA B. (1994). Comparative effect of null lines at the *Glu-D1* and *Glu-D3* loci on wheat qualitative properties. In : *Gluten Proteins 1993, Proceedings of the 5th International Gluten Workshop, June 7-9, Association of Cereal Research, Detmold (Germany), pp. 255-261.*
- LAFIANDRA D., D'OVIDIO R., PORCEDDU E., MARGIOTTA B. and COLAPRICO G. (1993). New data supporting high Mr glutenin subunit 5 as the determinant of

- qualitative differences in the pairs 5 + 10 vs. 5 + 12. *J. Cereal Sci.*, 18 (2), 197-205.
- LEFEBVRE J., POPINEAU Y. and CORNEC M. (1994a). Viscoelastic properties of gluten proteins : influence of prolamin composition and of temperature. In : *Gluten Proteins 1993, Proceedings of the 5th International Gluten Workshop, June 7-9, Association of Cereal Research, Detmold (Germany)*, pp. 180-189.
- LEFEBVRE J., CORNEC M., PÉZOLET M. and POPINEAU Y. (1994b). The network structure and viscoelasticity of gluten. In : *Wheat Kernel Proteins : Molecular and Functional Aspects, Proceedings of the Symposium at S. Martino al Cimino, Viterbo (Italy), September 28-30*, pp. 227-231.
- MACKAY E.L. and STIMSON W. (1993). Determination of adulteration of durum wheat with anti-friabilin monoclonal antibodies. *Eur. Pat. Appl. EP 540,432*. (Cl. G01N33/569), 05 May 1993, GB Appl. 91/22,775, 26 Oct. 1991 ; 12p.
- MARION D., GAUTIER M.F., JOUDRIER P., PTAK M., PÉZOLET M., FOREST E., CLARK D.C. and BROEKAERT W. (1994). Structure and function of wheat lipid-binding proteins. In : *Wheat Kernel Proteins : Molecular and Functional Aspects, Proceedings of the Symposium at S. Martino al Cimino, Viterbo (Italy), September 28-30*, pp. 175-180.
- MARION D. (1992). Functionality of wheat lipids in breadmaking. In : *Cereal Chemistry and Technology : a Long Past and a Bright Future* (Feillet P., ed.), IRTAC, pp 57-62.
- MARTÍNEZ-ANAYA M.A. (1994). Factors influencing the quality of wheat sourdough processes, and the use of chemometrics in quality assessment. *Rev. Esp. Cienc. Tecnol. Aliment.*, 34 (5), 469-493.
- MARTÍNEZ-ANAYA M.A. and ROUZAUD O. (1995). Influence of flour, bacterial starter and breadmaking stage on total starch, sugars and low molecular weight dextrans. *Z. Lebensm. Unters. Forsch.* (sous presse).
- MARTÍNEZ-ANAYA M.A., COLLAR C. and BENEDITO DE BARBER C. (1995). Comparative study on functionality of Spanish and other EC flours when used in microbiologically started breadmaking processes. *J. Food Sci.* (sous presse).
- MARTÍNEZ-ANAYA M.A., COLLAR C., and BENEDITO de BARBER C. (1993). Comparative study on functionality of Spanish and other EC flours when used in microbiologically started breadmaking processes. In : *Proceedings of Euro Food Chem VII, Progress in Food Fermentation, Vol. I*. Ed. : C. Benedito, C. Collar, M. A. Martínez-Anaya, and J. Morell. IATA (CSIC) ISBN : 84-604-7038-5. Valencia Spain, September 20-22, p. 253-258.
- MASCI S., LAFIANDRA D., PORCEDDU E., LEW E. J.-L., TAO P. and KASARDA D.D. (1993). D-glutenin subunits : N-terminal sequences and evidence for the presence of cysteine. *Cereal Chem.*, 70 (5), 581-585.
- MASCI S., LAFIANDRA D., PORCEDDU E., LEW E. J.-L., TAO P. and KASARDA D.D. (1994). The 1D-coded glutenin subunits from Chinese Spring show 1D-coded w-type N-terminal sequences. In : *Gluten Proteins 1993, Proceedings of the 5th International Gluten Workshop, June 7-9, Association of Cereal Research, Detmold (Germany)*, pp. 227-233.
- MASCI S., PORCEDDU E. and LAFIANDRA D. (1991). Two-dimensional electrophoresis of 1D-encoded B and D glutenin subunits in common wheats with similar omega gliadins. *Biochem. Genet.*, 29 (7-8), 403-413.
- MÉLAS V. (1994). Sous-unités gluténines de faible poids moléculaire du blé tendre. Variabilité génétique, caractérisation biochimique, relation avec la qualité technologique. Thèse de Doctorat, Université des Sciences et Techniques du Languedoc, 92p.
- MÉLAS V., MOREL M.H., AUTRAN J.C. and FEILLET P. (1994). Simple and rapid method for purifying low-molecular-weight subunits of glutenin from wheat. *Cereal Chem.* 71 (3), 234-237.
- MEUSER F. (1993). Möglichkeiten konzeptioneller Veränderungen bei der Stärkegewinnung. In : *Schriftenreihe des Bundesministers für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Reihe A, Sonderheft : Symposium Nachwachsende Rohstoffe - Perspektiven für die Chemie, Landwirtschaftsverlag Münster*, pp. 114-144.
- MILLS E.N.C., BRETT G.M., KAUFFMANN J.A., TATTON M.J., TATHAM A.S., SHEWRY P.R. and MORGAN M.R.A. (1994). Antibody probes for gluten protein structure and conformation - Tools for investigating structure/function relationships. In : *Gluten Proteins 1993, Proceedings of the 5th International Gluten Workshop, June 7-9, Association of Cereal Research, Detmold (Germany)*, pp 67-78.
- MOREL M.H. (1994). Acid-PAGE of wheat glutenins : a new tool for the separation of high and low molecular weight subunits. *Cereal Chem.* 71 (3), 238-242.
- MOREL M.H. and BONICEL J. (1994). Charge-density variations of glutenin subunits upon alkylation. A tool for cysteine determination. In : *Wheat Kernel Proteins : Molecular and Functional Aspects, Proceedings of the Symposium at S. Martino al Cimino, Viterbo (Italy), September 28-30*, pp. 183-188.
- MOREL, M.H., BONICEL, J. MÉLAS V. and AUTRAN, J.C. (1994). Multiple approach (IEF, SDS-PAGE and A-PAGE) of the composition of LMW subunits of glutenin and its effect on dough properties. In : *Gluten Proteins 1993, Proceedings of the 5th International Gluten Workshop, June 7-9, Association of Cereal Research, Detmold (Germany)*, pp. 244-254.
- NG P.K.W., REDAELLI R., VACCINO P., ACCERBI M., POGNA N.E. and BUSHUK W. (1994). Biochemical and genetical characterization of novel HMW glutenin subunits and their effects on breadmaking quality. In : *Gluten Proteins 1993, Proceedings of the 5th International Gluten Workshop, June 7-9, Association of Cereal Research, Detmold (Germany)*, pp. 161-169.
- NIETO-TALADRIZ M.T., BRANLARD G. and DARDEVET M. (1994). Polymorphism of ω -gliadins in durum wheat as revealed by the two-step A-PAGE/SDS-PAGE technique. *Theor. Appl. Genet.*, 87, 1001-1005.
- OLIVER G. and PRITCHARD P.E. (1993). Rheology of the gel protein fraction of wheat flour. *Spec. Publ. - R. Soc. Chem.*, 113 (*Food Colloids and Polymers : Stability and Mechanical Properties*), 255-259.
- PERUFFO A.D.B., CURIONI A., PRESSI G., POGNA N.E. and ZAMORANI A. (1994). Adsorption chromatography on controlled pore glass beads of acetic acid-soluble wheat gluten proteins. *Cereal Chem.* 71 (2), 122-129.
- PLIJTER J.J. (1994). The surface behaviour of dough. In : *Wheat Kernel Proteins : Molecular and Functional Aspects, Proceedings of the Symposium at S. Martino al Cimino, Viterbo (Italy), September 28-30*, p. 181.
- POGNA N.E., METAKOVSKY E.V., REDAELLI R., DACHKEVITCH T. and CHERNAKOV V.M. (1995). The group 1 chromosomes of wheat contain several loci coding for gliadins. *Proc. 8th Int. Wheat Genet. Symp., Beijing, China* (sous presse).
- POGNA N.E., METAKOVSKY E.V., REDAELLI R., RAINERI F. and DACHKEVITCH T. (1993). Recombination mapping of *Gli-5*, a new gliadin-coding locus on chromosomes 1A and 1B in common wheat. *Theor Appl. Genet.*, 87, 113-121.
- POGNA N.E., REDAELLI R., DACHKEVITCH T., CURIONI A. and PERUFFO A.D.B. (1992). Benefits from genetics and molecular biology to improve the end use properties of cereals. Presented at the 9th International Cereal and Bread Congress « Cereal Chemistry and Technology : a Long Past and a Bright Future », Paris, 1-5 June 1992, pp. 83-93.
- POGNA N.E., REDAELLI R., VACCINO P., BIANCARDI A., PERUFFO A.D.B., CURIONI A. and METAKOVSKY E.V. (1995). Production and genetic characterization of near-isogenic lines in the bread wheat variety Alpe. *Theor. Appl. Genet.* (sous presse).
- POPINEAU Y., CORNEC M., LEFEBVRE J. and MARCHYLO B. (1994a). Influence of HMW glutenin subunits on glutenin polymers and rheological properties of gluteins and gluten subfractions of near-isogenic lines of wheat Sicco. *J. Cereal Sci.*, 19 (3), 231-241.
- POPINEAU Y., POGNA N. and LEFEBVRE J. (1994b). Rheological proper-

ties of gluteins differing by their glutenin subunit compositions. In : Wheat Kernel Proteins : Molecular and Functional Aspects, Proceedings of the Symposium at S. Martino al Cimino, Viterbo (Italy), September 28-30, pp. 129-134.

PRIETO J.A., WEEGELS P.L. and HAMER R.J. (1993). Functional properties of low Mr wheat proteins. I. Isolation, characterisation and comparison with other reported low Mr wheat proteins. *J. Cereal Sci.*, 17 (3), 203-220.

PRITCHARD P., OLIVER G. and CURTIS P. (1994). Assessment of wheat protein quality using advanced rheological techniques. In : Gluten Proteins 1993, Proceedings of the 5th International Gluten Workshop, June 7-9, Association of Cereal Research, Detmold (Germany), pp. 576-581.

PRITCHARD P.E. (1993). The glutenin fraction (gel-protein) of wheat protein - a new tool in the prediction of baking quality. *Aspects of Applied Biology*, 36 (Cereal Quality III), pp. 75-84.

PRITCHARD P.E. and BROCK C.J. (1994). The glutenin fraction of wheat protein : The importance of genetic background on its quantity and quality. *J. Sci. Food Agric.*, 65, 401-406.

PRITCHARD P.E. and OLIVER G. (1993). Assessment of wheat protein quality using advanced rheological techniques. In : « Proceedings of an International Conference on Bread - Breeding to Baking », FMBRA, Chorleywood, 15-16 June, Chameleon Press Limited, London, pp. 161.

REDAELLI R., METAKOVSKY E.V., DAVIDOV S.D. and POGNA N.E. (1995). Two-dimensional mapping of gliadins using biotypes and null mutants of common wheat cultivar Saratovskaya 29. *Hereditas* (sous presse).

REDAELLI R., MOREL M.H., AUTRAN J.C. and POGNA N.E. (1994). Two-dimensional (A-PAGE x SDS-PAGE) electrophoresis of *Glu-A3* alleles in some cultivars carrying different *Gli-A1* alleles. In : Wheat Kernel Proteins : Molecular and Functional Aspects, Proceedings of the Symposium at S. Martino al Cimino, Viterbo (Italy), September 28-30, pp. 115-120.

REDAELLI R., MOREL M.H., AUTRAN J.C. and POGNA N.E. (1994). Genetic analysis of low Mr glutenin subunits fractionated by two-dimensional electrophoresis A-PAGE x SDS-PAGE. *J. Cereal Sci.*, 21 (1), 5-13.

REDAELLI R., POGNA N.E., DACHKEVITCH T., CACCIATORI P., BIANCARDI A.M. and METAKOVSKY E.V. (1992). Inheritance studies of the 1AS/1DS chromosome translocation in the bread wheat variety Perzivan-1. *J. Genet. Breed.*, 46, 253-262.

ROBERT N., Le BLEVENNEC L. and TRIBOÏ E. (1994). Accumulation of protein fraction during grain filling : comparison of

four bread wheat varieties. In : Gluten Proteins 1993, Proceedings of the 5th International Gluten Workshop, June 7-9, Association of Cereal Research, Detmold (Germany), pp. 105-113.

ROUZAUD O. and MARTÍNEZ-ANAYA M.A. (1993a). Effect of processing conditions on sugar and oligosaccharide profile of wheat sourdoughs. *Z. Lebensm. Unters. Forsch.*, 197, 434-439.

ROUZAUD O., and MARTÍNEZ-ANAYA M.A. (1993b). Effect of processing conditions on sugar and oligosaccharide profiles of wheat sour doughs. In : Proceedings of Euro Food Chem VII, Progress in Food Fermentation, Vol. 1. Ed. : C. Benedito, C. Collar, M. A. Martínez-Anaya and J. Morell. IATA (CSIC) ISBN : 84-604-7038-5. Valencia, Spain, September 20-22, p 308-313.

SUBIRADE M., SALESSE C., MARION D., PÉZOLET M. (1995) Interaction of a non-specific wheat lipid transfer protein with phospholipid monolayers imaged by fluorescence microscopy and studied by infrared spectroscopy. *Biophys. J.* (sous presse)

TATHAM A., HICKMAN D.R. and SHEWRY P.R. (1994). High molecular weight subunits : a reassessment. In : Gluten Proteins 1993, Proceedings of the 5th International Gluten Workshop, June 7-9, Association of Cereal Research, Detmold (Germany), pp. 38-46.

van LAARHOVEN H. (1993). Purification and characterisation of an endogenous biochemical germination inhibitor from wheat bran (in Dutch). TNO-report B 93.205.

van LAARHOVEN H.P.M., KELFKENS M. and HAMER R.J. (1993). Comparison of two methods to test the level of endogenous wheat germination inhibitors. In : Pre-harvest sprouting in Cereals 1992 (K.K. Walker-Simmons and R.L. Ried, eds.), pp. 280-287.

WEEGELS P.L. (1994). Depolymerisation and repolymerisation of the glutenin macropolymer in dough and effects of low Mr wheat proteins. King's College, University of London, 308 p.

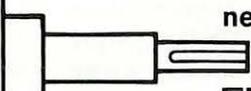
WEEGELS P.L., FLISSEBAALJE Th. and HAMER R.J. (1994a). Factors affecting the extractability of the glutenin macropolymer. *Cereal Chem.* 71 (3), 308-309.

WEEGELS P.L., HAMER R.J. and SCHOFIELD J.D. (1994b). Depolymerisation and polymerisation of individual glutenin subunits *in situ* in dough - Implications for the structure of gluten. In : Gluten Proteins 1993, Proceedings of the 5th International Gluten Workshop, June 7-9, Association of Cereal Research, Detmold (Germany), pp. 57-66.

WEEGELS P.L., ORSEL R., van de PIJPE-KAMP A.M., LICHTENDONK W.J., HAMER R.J. and SCHOFIELD J.D. (1995). Functional properties of low Mr wheat proteins. II. Effects on dough properties. *J. Cereal Sci.*, 21 (2), 117-126.

WILDE P.J., CLARK D.C. and MARION D. (1993). The influence of competitive adsorption of lysopalmitoylphosphatidylcholine on the functional properties of puroindoline, a lipid binding protein isolated from wheat flour. *J. Agric. Food Chem.*, 41, 1570-1576.

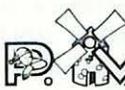
CANNELAGE POLISSAGE



CYLINDRES
neufs et occasions

**ENGRENAGES
DOUILLES**
pour appareils de toutes
marques et tous modèles

- ★ Révision et vente d'appareils à cylindres
- ★ Cylindres émetteurs



P. VALENTIN

13, Av. de la Libération
69110 STE FOY-LÈS-LYON
T. 78.59.18.42
Télécopie : 78.59.87.85.

Aligatore