

# La filière blé dur – pâtes alimentaires :

apports complémentaires de la technologie et de la génétique  
dans l'amélioration de la qualité

par Joël ABECASSIS, Marie-Françoise GAUTIER et Jean Claude AUTRAN\*

*L'activité des industries agro-alimentaires se caractérise par la nécessité de transformer une production agricole de composition variable en des aliments de qualités organoleptique, nutritionnelle et hygiénique définies, ces transformations étant réalisées par des traitements physiques ou biologiques, avec ou sans ingrédients optionnels. Ainsi, la qualité des aliments résulte tout à la fois des procédés de transformation mis en œuvre et des caractéristiques des matières premières fournies par l'agriculture (Feillet, 1989).*

**T**oute stratégie visant à produire des aliments de qualité doit prendre en compte les problèmes spécifiques relevant non seulement de la technologie alimentaire et du génie industriel (transformation), mais aussi de la génétique et de l'agronomie (production des matières premières).

Ce qui est vrai pour l'ensemble des industries alimentaires s'applique naturellement aux industries du blé dur et des pâtes alimentaires.

En effet, l'objectif de fabriquer des pâtes alimentaires de qualité satisfaisante pour le consommateur (voir encadré 1), tant du point de vue de leur aspect (belle couleur jaune ambré, sans piquures ni gerçures) que de leur comportement pendant et après la cuisson (fermeté, absence de collant) ne peut être atteint qu'à la condition d'intégrer au sein d'un même programme l'ensemble des disciplines suivantes : étude des procédés de transformation, génie industriel, méthodes analytiques, biochimie et physico-chimie des protéines et de l'amidon, génétique, biologie moléculaire, agronomie, création variétale.

\* Laboratoire de Technologie des Céréales, I.N.R.A.  
2 Place Viala, 34060 Montpellier Cedex 1

Pour leur part, les industriels visent à tirer le meilleur parti possible des blés disponibles sur le marché et essayent de corriger les défauts de certains lots commerciaux en intervenant sur les procédés de transformation.

Parallèlement, les généticiens et sélectionneurs vont chercher à modifier le patrimoine génétique des variétés de blé dur de manière à rassembler dans l'albumen du grain (qui deviendra la semoule) les multiples constituants (protéines, amidon, pigments, enzymes,...) qui contribuent à l'obtention d'une pâte alimentaire appréciée du consommateur.

L'objet de cet article est d'illustrer, au moyen de quelques exemples récents, cet apport complémentaire de différentes disciplines dans l'amélioration de la qualité des blés durs et des pâtes alimentaires. Nous examinerons successivement :

– Les derniers progrès technologiques : le séchage des pâtes à haute température et les nouvelles recherches sur la mise en forme de la pâte.

– Les progrès accomplis dans la connaissance biochimique et génétique des blés durs, en relation avec la qualité des pâtes alimentaires.

## 1 – Les derniers progrès technologiques :

### 1.1 – Le séchage des pâtes à haute température (THT) :

L'introduction des hautes températures dans le séchage des pâtes alimentaires au cours de ces dix dernières années a représenté une percée technologique importante, tant pour l'augmentation de la productivité des lignes de fabrication (Pavan, 1979 ; Frances et Ollivier, 1985), que pour l'amélioration de la qualité des produits finis (Manser, 1981 ; Dalbon, 1983). Cependant, la température maximale, sa durée d'application et surtout le moment le plus opportun de son application au cours du cycle de séchage sont restés longtemps controversés. En effet, selon l'humidité de la pâte au moment du traitement thermique, des résultats divergents peuvent être obtenus au niveau de la qualité des produits (Dexter et al., 1981 ; Resmini et Pagani, 1983 ; Abecassis et al., 1984. Manser, 1986).

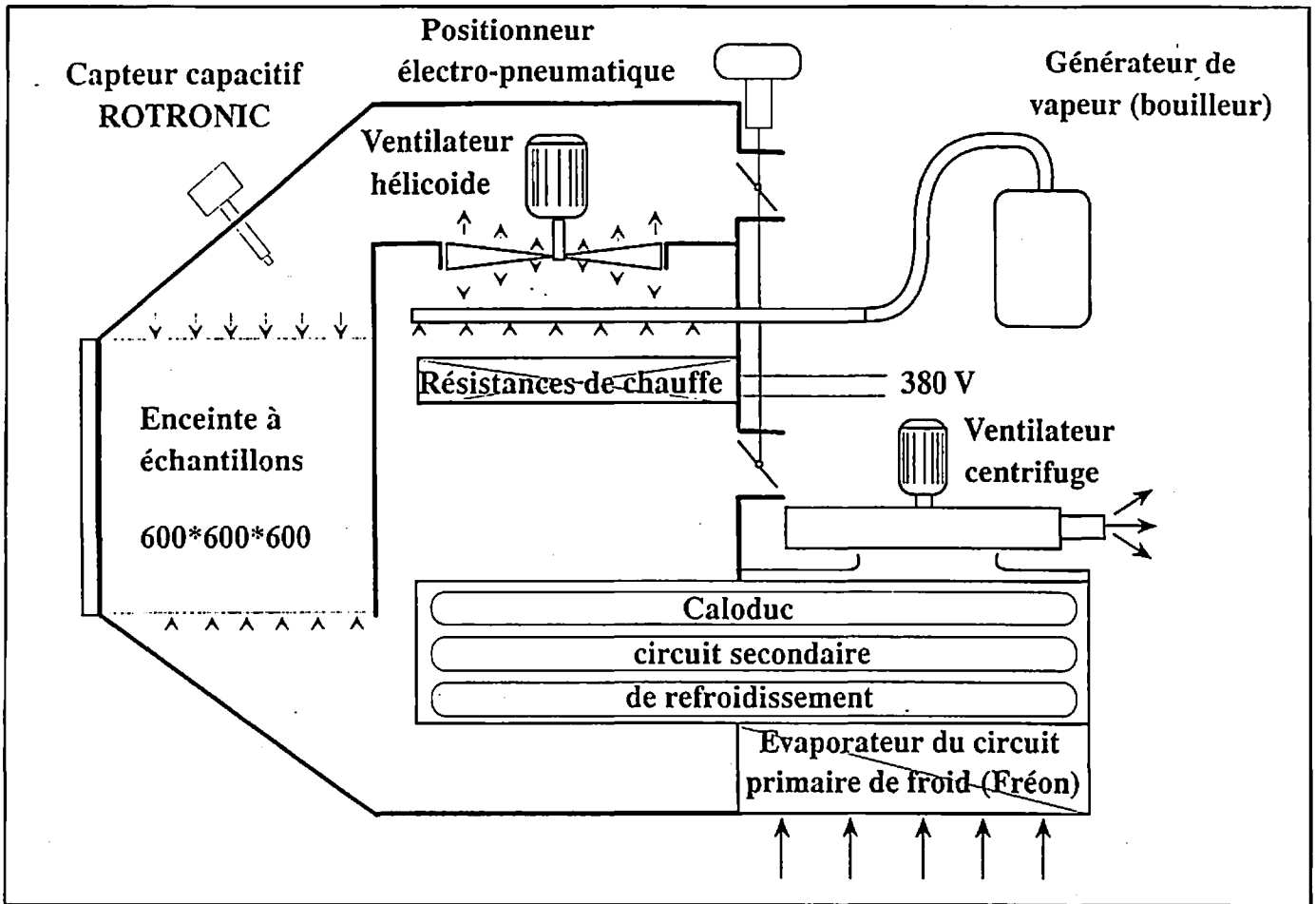


Figure 1 : Schéma de principe de la boucle de séchage AFREM.

Pour préciser ces effets, un programme de recherche a été mis en place par l'I.N.R.A. et l'U.S.T.L. avec l'aide du Ministère de l'Agriculture (D.I.A.A. et O.N.I.C.) et des organisations professionnelles (C.F.S.I., I.T.C.F. et S.I.F.P.A.F.).

La méthodologie retenue a eu pour but de dissocier les deux fonctions du séchage : l'élimination de l'eau d'empâtage d'une part et le traitement hydrothermique de la pâte d'autre part. Pour ce faire, un séchoir expérimental a été spécialement conçu de manière à pouvoir faire varier très rapidement la température des pâtes alimentaires sans modifier leur teneur en eau et limiter ainsi l'effet de la haute température à la seule fonction de traitement thermique de la pâte. La réalisation de ce séchoir pilote a été confiée à la société AFREM Ingénierie (12 Quai du Commerce, 69336 Lyon Cedex 09). Son principe de fonctionnement est représenté sur la figure 1.

Outre sa capacité à simuler des cycles de séchage industriels, cet équipement permet de réaliser des diagrammes de traitement thermique schématisés sur la figure 2. Ainsi, au cours du séchage des pâtes alimentaires à basse température (55° C), lorsque la teneur en eau atteint une valeur prédéterminée (entre 30 et 12 % m.h.), la température peut être augmentée jusqu'à la valeur désirée et maintenue pendant une durée variable sans que la teneur en eau ne soit modifiée. En pratique, cela est rendu possible en compensant le déplacement des courbes de désorption sous l'effet de la température par une augmentation de l'humidité relative de l'air. En fin de traitement, la température est ramenée à 55° C en maintenant les pro-

duits toujours à la même teneur en eau. Le cycle de séchage est enfin poursuivi jusqu'à ce que la teneur en eau des pâtes alimentaires soit ramenée à 12 % m.h. Les conclusions de ces travaux démontrent clairement que le séchage à haute ou à très haute tempé-

rature (70 à 100° C) se traduit par des effets technologiques différents selon l'humidité à laquelle les températures sont appliquées (Abecassis et al., 1989) :  
- Appliquées en début de séchage (c'est-à-dire à humidité élevée), les hautes températures en-

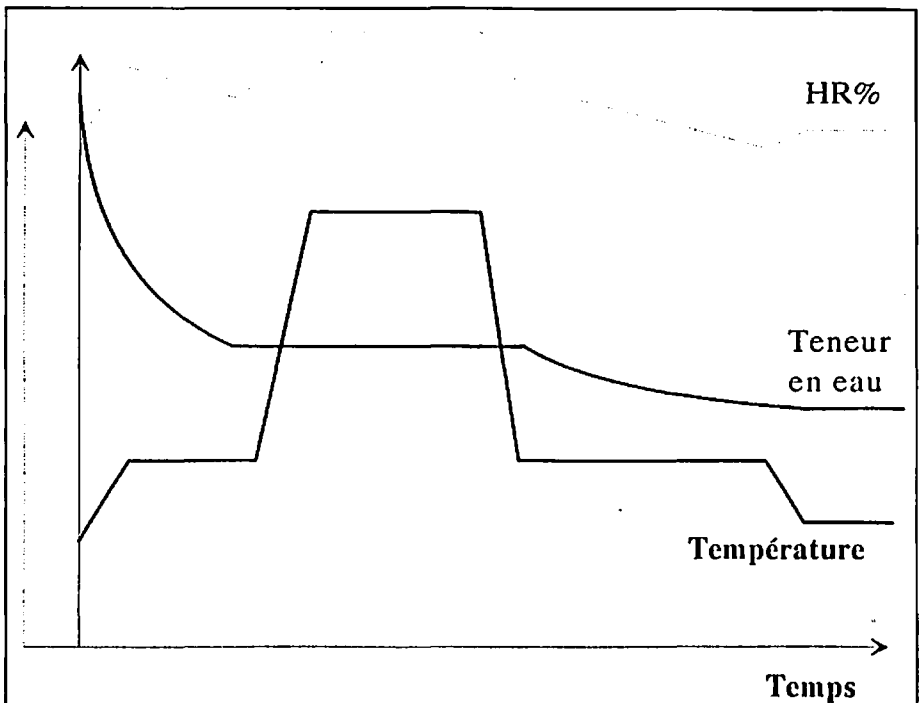


Figure 2 : Schéma de principe du traitement thermique des pâtes alimentaires.

trainent une amélioration de la couleur des produits finis mais n'ont guère d'effet bénéfique sur la qualité culinaire.

- Par contre, lorsque les hautes températures sont appliquées en fin de séchage (donc à de faibles humidités), on observe une amélioration très sensible de la qualité culinaire, tandis que peut apparaître un nuance rouge dans la couleur de la pâte dont le développement excessif diminue l'attrait du produit fini.

- Les deux phénomènes semblent cumulatifs.

L'ensemble des phénomènes physico-chimiques qui pourraient intervenir lors de l'application d'un séchage à haute température en fonction de la teneur en eau de la pâte est schématisé sur la figure 3 et appelle les commentaires suivants :

- Quelles que soient les conditions de traitement thermique ( $< 100^{\circ}\text{C}$ ), l'amidon resterait non gélatinisé mais se « fragiliserait » pour les humidités élevées ( $> 24\% \text{ m.h.}$ ). Cette fragilisation, dont la signification n'est pas claire, se traduirait par un éclatement plus rapide des granules d'amidon au cours de la cuisson des pâtes et par une diffusion de ses constituants dans l'eau de cuisson.

- Au cours du séchage, une proportion importante des lipides libres se lie à d'autres constituants des semoules et notamment à des protéines. Cette fixation interviendrait rapidement et pourrait être indépendante des teneurs en eau.

- Les traitements thermiques ont pour effet d'insolubiliser les protéines qui s'associent entre elles par des interactions hydrophobes et des liaisons disulfures. Cette dénaturation est d'autant plus marquée que la teneur en eau est plus élevée. Elle serait néanmoins déjà suffisamment importante aux faibles humidités pour contribuer à la formation d'un réseau protéique efficace. Les travaux les plus récents laissent supposer que la conformation de certains groupes protéiques (notamment la fraction LMWG) pourraient être modifiée par le couple température - hygrométrie.

- On comprend ainsi que l'application de hautes températures à faible teneur en eau exerce un effet plus favorable sur la qualité culinaire des produits finis par rapport à des traitements réalisés à haute humidité. Un traitement thermique à faible humidité peut en effet induire la formation d'un réseau protéique stable sans que l'amidon ne soit dégradé.

- Enfin, les effets favorables de l'application des hautes températures en début de séchage sur l'indice de jaune et l'indice de brun des pâtes alimentaires s'expliquent aisément par une inactivation rapide (en raison des humidités élevées) des enzymes qui contribuent à la destruction des pigments jaunes (lipoxygénases) et au développement du brunissement (peroxydases). Par contre, l'apparition d'une nuance rouge lorsque la haute température est appliquée à faible humidité reste à expliquer (Réaction de Maillard ? Dégradation d'autres constituants tels que des caroténoïdes ?)

Les travaux sont actuellement poursuivis par une collaboration entre la société AFREM, l'E.N.S.I.A. et l'I.N.R.A. Le programme a pour objectif général de modéliser simultanément : le séchage proprement dit, les contraintes internes du produit (défauts de fissuration) et la qualité des produits fi-

SECHAGE DES PATES ALIMENTAIRES A HAUTE TEMPERATURE (2 heures à $90^{\circ}\text{C}$ )		
H <sub>2</sub> O%	12	30
AMIDON	NON GELATINISE	FRAGILISATION
LIPIDE	LIAISON AVEC D'AUTRES CONSTITUANTS	
PROTEINE	DENATURATION (insolubilisation) :	FORMATION DE LIAISONS HYDROPHOBES ET DISULFURES
LIPOXYGENASE	:	INACTIVATION
PEROXYDASE	:	

Figure 3 : Ensemble des phénomènes physico-chimiques pouvant intervenir lors de l'application d'un séchage à haute température (2 heures à  $90^{\circ}\text{C}$ ) en fonction de la teneur en eau de la pâte.

nis. A long terme, la réunion de ces trois modèles devrait permettre une optimisation globale des diagrammes de séchage et des matériels pour répondre aux désirs des fabricants de pâtes alimentaires.

La technologie du séchage THT a conduit également à ouvrir de nouveaux champs d'investiga-

tion pour la sélection variétale car elle n'est pas sans effet sur le profil des futurs blés durs à sélectionner. Tout en maintenant la qualité de base et un taux de protéines suffisant, l'effort devra certainement porter désormais sur l'amélioration de la présentation du produit : absence de moucheure, indice de jaune élevé, faible brunissement.

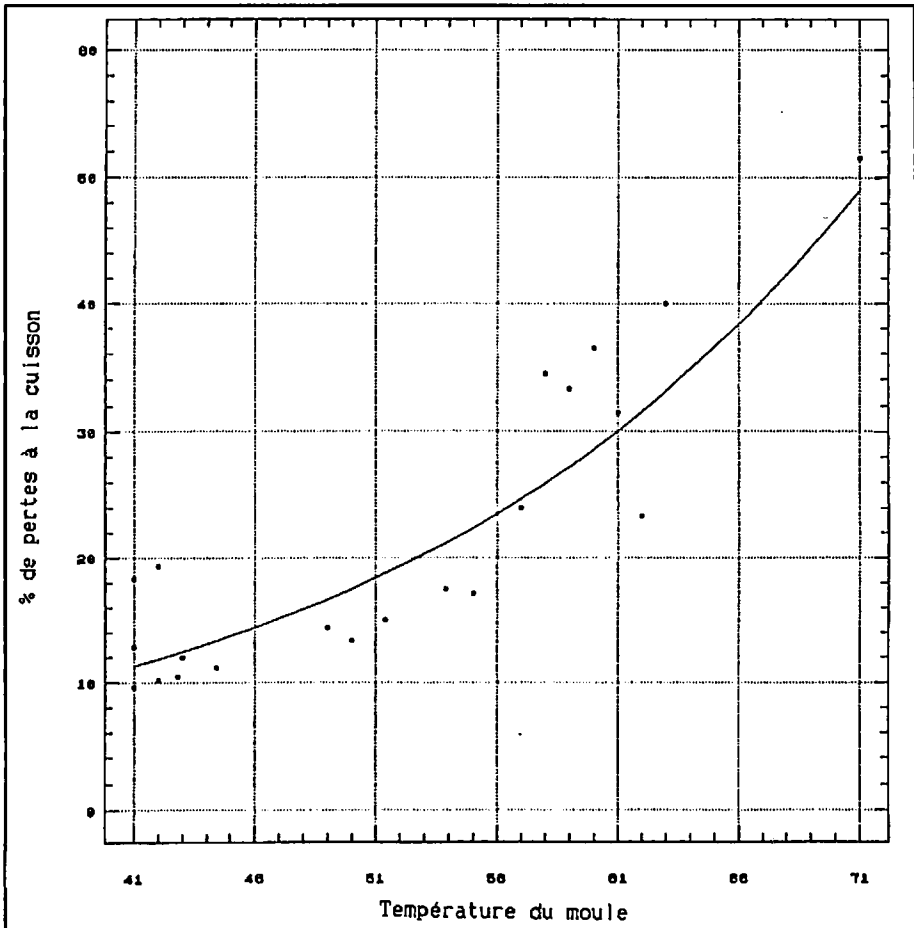


Figure 4 : Evolution des pertes à la cuisson en fonction de la température d'extrusion.

Une tout autre retombée des travaux sur le séchage THT concerne la possibilité d'utiliser d'autres matières premières pour la fabrication des pâtes alimentaires. C'est ainsi qu'il a été possible de développer un nouveau procédé de fabrication de pâtes alimentaires de bonne qualité à base de maïs (à partir d'un mélange d'un tiers de semoule de blé dur et de deux tiers de farine de maïs). Ce procédé consiste à soumettre à la haute température (90 à 120° C, pendant 90 à 180 minutes) les pâtes fabriquées et séchées dans des conditions habituelles (Abecassis et al., 1988). Ce traitement, qui intervient en fin de séchage, présente l'avantage de pouvoir être réalisé sans avoir à renouveler la totalité du matériel existant. Ces résultats sont donc d'un grand intérêt pour les pays où le blé dur n'est pas cultivé, en particulier dans les pays tropicaux en développement. La valorisation de ces recherches est en cours au C.I.R.A.D.-I.R.A.T.

## 1.2. Les nouvelles recherches sur la mise en forme de la pâte

Les recherches les plus récentes dans le domaine de la technologie de fabrication concernent la mise en forme des pâtes alimentaires. En effet, la méconnaissance des phénomènes physico-chimiques intervenant au cours de l'extrusion nécessite un nouvel effort de recherches pour remettre au même niveau les deux étapes de la fabrication des pâtes alimentaires. Les syndicats professionnels (S.I.F.P.A.F.) se sont donc associés à l'I.N.R.A. (Laboratoire de Technologie des Céréales de Montpellier et Centre de Recherches de Nantes), à AFREM et à l'Ecole des Mines de Paris (C.E.M.E.F.) dans le cadre du programme ALIMENT 2000 pour mener cette étude. Dans la phase actuelle, une priorité a été donnée à l'étude du malaxage et de l'extrusion au cours de la fabrication des pâtes alimentaires, l'objectif étant de déterminer l'influence des paramètres teneur en eau, température et cisaillement sur les caractéristiques organoleptiques (qualité culinaire) et rhéologiques (débit, pression) des pâtes alimentaires. La méthodologie et les connaissances acquises dans le domaine de la cuisson-extrusion ont été utilisées.

A partir d'une presse pilote instrumentée par des capteurs de couple, de pression et de température, une étude paramétrique a été réalisée pour déterminer l'effet des principaux facteurs et des interactions agissant sur les propriétés d'écoulement de la pâte et ses caractéristiques qualitatives. En ce qui concerne la qualité culinaire, les résultats préliminaires de cette étude font ressortir une influence négative d'une température d'extrusion élevée (Figure 4). Par contre, une amélioration peut être obtenue en agissant sur l'hydratation de la semoule et la vitesse de rotation de la vis d'extrusion.

Les études se poursuivent pour caractériser le comportement viscoélastique de la pâte pendant l'extrusion à l'aide d'une filière rhéométrique et suivre l'évolution de la transformation des constituants biochimiques au cours de la mise en forme afin d'identifier des marqueurs d'intensité des traitements mécaniques et thermiques.

L'ensemble de ces travaux devrait conduire à établir un modèle prédictif de l'extrusion en vue du

## La qualité technologique des blés durs et des pâtes alimentaires

Les pâtes alimentaires constituent (à l'exception de quelques produits secondaires tels que le cous-cous et les pâtes à potage), le seul produit fini représentant un débouché pour les blés durs. Il est donc nécessaire que la qualité de ces derniers satisfasse les besoins des industries semoulières et pastières (Feillet et Abecassis, 1976).

On regroupe sous le terme de qualité technologique des blés durs :

- d'une part, la valeur semoulière,
- d'autre part, la valeur pastière, ou aptitude d'une semoule à être transformée en pâtes alimentaires dont l'aspect et la qualité culinaire répondent aux désirs des consommateurs.

### 1. La valeur semoulière :

La valeur semoulière d'un blé dur dépend :

- du rapport albumen/enveloppes
- de la friabilité de l'albumen
- de la facilité de séparer l'albumen et les enveloppes.

On considère souvent que la proportion d'enveloppes est d'autant plus grande que le poids du grain est petit. Mais cette affirmation doit être nuancée car aucune étude n'a permis de conclure que toutes les variétés à petits grains ont une valeur semoulière systématiquement inférieure. Par contre, un faible poids de 1000 grains consécutif à l'échaudage a toujours des conséquences désastreuses sur le rendement semoulier. La densité des enveloppes étant inférieure à celle de l'albumen, on apprécie souvent ce degré d'échaudage par la mesure du poids à l'hectolitre.

Le taux de mitadinage rend compte des proportions d'amande farineuse et vitreuse. L'influence défavorable exercée par un fort taux de mitadinage sur le rendement en semoule n'est guère discutée. Toutefois, son incidence réelle aurait tendance à s'estomper avec l'évolution de la semoulerie vers des produits de plus en plus fins. D'autre part, il n'est pas le seul facteur de la friabilité du grain car la texture de l'amande vitreuse joue un rôle non négligeable.

La facilité de séparation de l'albumen et des enveloppes traduit la difficulté rencontrée par le semoulier à « épuisser » convenablement les sons.

Rappelons enfin que la réglementation française associe la pureté des semoules (taux de contamination de l'albumen par des produits issus des enveloppes et de la couche à aleurone) à leur teneur en matières minérales. Mais la seule connaissance du taux de cendres ne permet pas de chiffrer avec précision le taux d'extraction de la semoule correspondante car tous les blés durs n'ont pas la même teneur en cendres, ni la même répartition des matières minérales à l'intérieur du grain (Abecassis et Feillet, 1985). Pour éviter de pénaliser injustement les blés durs français, davantage minéralisés que d'autres, de nouveaux critères de pureté devraient être adoptés en faisant notamment appel au dosage des constituants pariétaux et aux méthodes de spectroscopie dans le proche infra-rouge (Bertrand et al., 1987 ; Renard et al., 1987).

### 2. La valeur pastière :

Sous le terme de valeur pastière peuvent être regroupées deux notions très distinctes : d'une part la facilité de transformation des semoules en pâtes (machinabilité) ; d'autre part, la qualité organolep-

veloppement de nouveaux extrudeurs à grand débit garantissant la qualité des pâtes alimentaires. A plus long terme, on pourrait envisager de créer un logiciel d'optimisation des conditions de pressage des pâtes en fonction des caractéristiques des matières premières.

## 2. De meilleures connaissances biochimiques et génétiques des blés durs

### 2.1. Composition protéique des blés durs et qualité des pâtes alimentaires

La cuisson d'une pâte alimentaire a pour but de gélatiniser l'amidon pour le rendre digestible, de modifier la texture des pâtes de manière à leur

conférer les caractéristiques souhaitées par le consommateur et d'amener les produits à la température désirée. Cependant, le comportement des pâtes au cours de la cuisson peut être très différent d'un produit à un autre.

Selon Feillet (1989), la notion de qualité culinaire des pâtes alimentaires regroupe, dans son acception la plus large, l'ensemble des caractéristiques suivantes : temps de cuisson, absorption d'eau pendant la cuisson, texture des produits cuits (fermeté et élasticité), état de surface des produits cuits, arôme et goût (voir encadré 1).

Si l'on excepte ce dernier caractère, il est clairement démontré que la teneur et la composition protéique des blés durs constituent les facteurs les plus déterminants de la qualité des produits cuits. En effet :

- Les propriétés rhéologiques des pâtes sont principalement sous la dépendance de la teneur en protéines et de la viscoélasticité du gluten : plus

tique des produits finis (Feillet et Abecassis, 1976 ; Feillet, 1977, 1986). Nous nous limiterons à examiner ici le second point. Ainsi, pour le consommateur, deux points sont essentiels : l'aspect des pâtes à l'état cru et leur comportement durant et après la cuisson (qualité culinaire).

## 2.1. L'aspect des pâtes alimentaires :

Il est déterminé par quatre groupes de facteurs. Le premier, la coloration, dépend en grande partie des caractéristiques des blés mis en œuvre. Les trois autres (piqûres, texture superficielle, gerçures) dépendant avant tout des conditions de travail des semouliers ou des pastiers.

- *La coloration* : On considère généralement qu'une pâte alimentaire doit être claire et de couleur jaune-ambri. La coloration est la somme d'une composante jaune, que l'on souhaite élevée, et d'une composante brune ou grise, que l'on souhaite faible. L'indice de jaune dépend de la quantité de pigments caroténoïdes présents dans la semoule et de l'activité d'enzymes (lipoxygénases) susceptibles de détruire les pigments au cours de la pastification. L'indice de brun est fonction de l'activité d'une autre catégorie d'enzymes (peroxydases, polyphénoloxydases). La coloration peut être améliorée en jouant soit au niveau de la mouture (réduction de la contamination des semoules par les parties périphériques du grain et les germes), soit par la sélection de nouvelles variétés riches en pigments et possédant de faibles activités enzymatiques.

- Les *gerçures* constituent un grave accident de fabrication, dû à un séchage défectueux, qui se traduit par l'apparition de fêlures dans les pâtes sèches, d'où un aspect déplaisant et une faible résistance à l'emballage.

- Les *piqûres* ont une toute autre origine. Blanches, elles proviennent de mauvaises conditions de pastification (hydratation, malaxage, séchage). Brunes, ce sont des particules de sons non éliminées au cours de la mouture. Noires, elles peuvent provenir de blés ergotés, ou de grains mouchetés (grains présentant une coloration brune ou noire dans le sillon ou sur le germe : signe d'une réaction de défense de la plante à des agresseurs multiples).

- Enfin, la *texture superficielle* des pâtes, lisse ou brillante, dépend surtout de la nature des moules utilisés (téflon, bronze).

## 2.2 La qualité culinaire des pâtes alimentaires :

La notion de qualité culinaire des pâtes alimentaires regroupe, l'ensemble des caractéristiques suivantes : temps de cuisson, absorption d'eau pendant la cuisson, texture des produits cuits (fermeté et élasticité), état de surface des produits cuits, arôme et goût (Feillet, 1986).

- Les temps minimal, optimal et maximal de cuisson correspondent respectivement au temps à partir duquel l'amidon est gélatinisé, le temps nécessaire pour donner à la pâte cuite la texture recherchée et le temps au delà duquel les produits se désintègrent dans l'eau de cuisson.

- Le gonflement et l'absorption d'eau pendant la cuisson se mesurent en déterminant le poids des pâtes avant et après cuisson. D'une manière générale, 100 grammes de pâtes sèches fixent 160 à 180 grammes d'eau.

- La texture des produits cuits rend compte de la fermeté et de la masticabilité des pâtes après cuisson. On peut déterminer ces caractéristiques par des mesures rhéologiques (fermeté, viscoélasticité).

- L'état de surface ou de désintégration des produits recouvre les notions de collant (prise en masse, degré d'adhésion des brins entre eux) et de délitescence (aspect plus ou moins lisse des produits cuits).

celles-ci sont élevées, plus les pâtes sont fermes (Feillet, 1984, 1988a).

- La viscoélasticité du gluten est sous contrôle génétique. Il a été montré que la nature de certaines  $\gamma$ -gliadines présentes dans le grain de blé dur et dans la semoule (gliadine = protéine soluble dans l'alcool) était en relation étroite avec la viscoélasticité du gluten (Damidaux *et al.*, 1980 ; Autran et Feillet, 1987), ces gliadines pouvant être repérées par simple électrophorèse. Par exemple, les variétés de blé dur possédant la  $\gamma$ -gliadine 45 (selon la nomenclature universellement utilisée pour caractériser les gliadines par électrophorèse en gel de polyacrylamide) se caractérisent par des valeurs élevées de fermeté et de recouvrance élastique du gluten (exemple : Ambral, Mondur, Néodur, Primadur), tandis que les variétés possédant la  $\gamma$ -gliadine 42 (exemple : Calvinor, Cando, Régala, Tomclair) se caractérisent par des glutens insuffisamment fermes et élastiques.

- Des travaux récents (Autran *et al.*, 1987 ; Pogna

*et al.*, 1988, 1990) ont montré que cette  $\gamma$ -gliadine 45 n'est que le marqueur génétique de la fonctionnalité d'une autre famille de protéines : les *gluténines de faible poids moléculaire* (ou LMW).

- Ces LMW-gluténines possèdent un fort pouvoir agrégatif se manifestant au cours des processus de transformation de la semoule et de la pâte. Ces propriétés agrégatives contribuent à la formation du réseau protéique qui confère à la pâte ses propriétés viscoélastiques. D'ailleurs, les plus fortes teneurs en LMW-gluténines (type électrophorétique LMW2) se retrouvent précisément chez les variétés de blé dur du type  $\gamma$ -gliadine 45 (dont le gluten est de bonne qualité), tandis que la présence de faibles teneurs en LMW-gluténines (type LMW1) caractérise les blés du groupe  $\gamma$ -gliadine 42 (gluten de qualité médiocre ou mauvaise) (Figure 5).

En revanche, les bases physico-chimiques de l'aptitude des pâtes à conserver un bon état de sur-

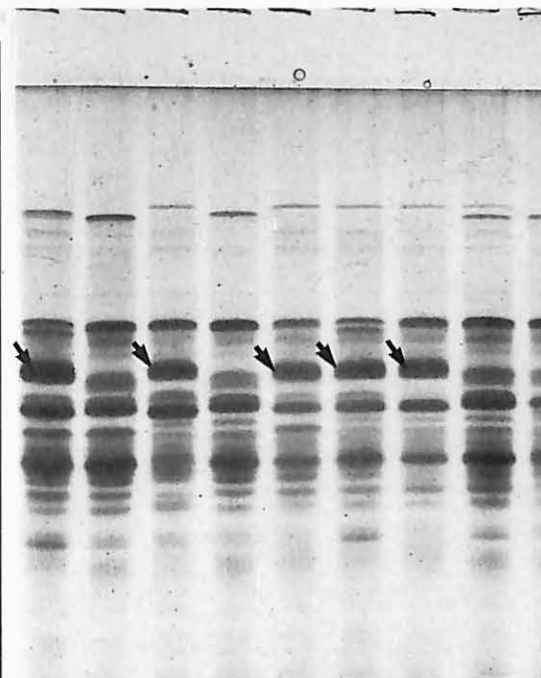


Figure 5 : Electrophorèse en gel de polyacrylamide - SDS, des protéines de différentes variétés de blé dur, avec identification des sous-unités gluténines de faible poids moléculaire (LMW2) qui caractérisent une qualité élevée du gluten.

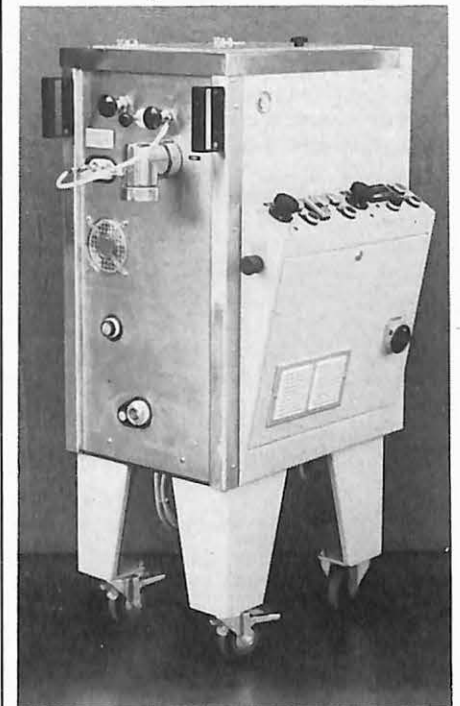
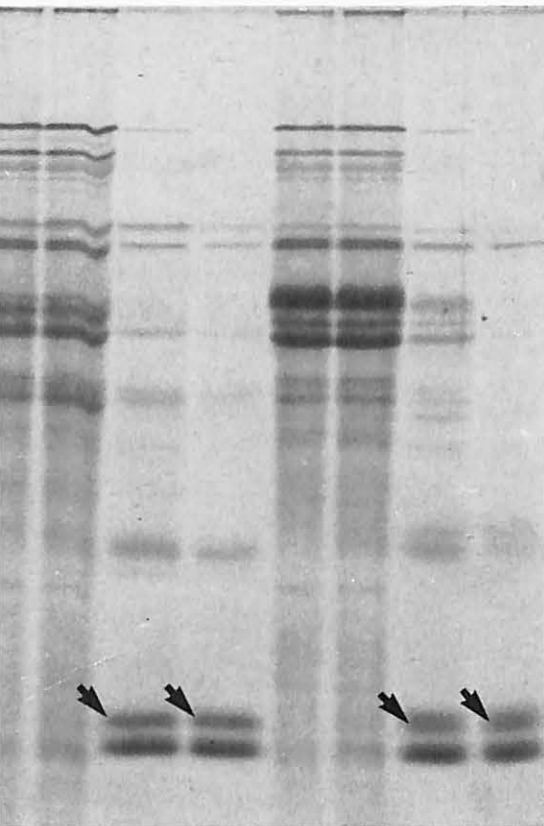


Figure 6 : Extrudeur pilote SERCOM permettant de réaliser des mini-fabrications de pâtes alimentaires.

face (absence de collant et de délitescence) après cuisson sont moins connues. Les valeurs de l'état de surface d'une pâte après cuisson ne sont en effet pas toujours corrélées à celles de la viscoélasticité du gluten (Autran *et al.*, 1986), ce qui a dû entraîner une évaluation séparée de ces deux caractéristiques. Actuellement, pour évaluer l'état de surface, on procède à une mini-fabrication de pâtes à partir de 750 grammes de semoule à l'aide d'un extrudeur mis au point par l'INRA en collaboration avec la société SERCOM (766 Avenue Emile





**Figure 7 : Electrophorèse des protéines du blé dur en gel de polyacrylamide - SDS, avec identification des constituants CM-protéines associés à l'état de surface des pâtes cuites (d'après Alary, 1988).**

Jeanbrau, 34000 Montpellier) (figure 6). Les produits obtenus après séchage dans des conditions déterminées sont cuits et les paramètres « collant » et « délitescence » sont estimés par analyse sensorielle (jury de dégustation). C'est ainsi qu'est réalisée l'évaluation finale de la qualité culinaire des lignées de blé dur dans le cadre du GIE blé dur et dans celui du C.T.P.S. Ce procédé, qui ne nécessite que la mise en œuvre de 1,5 kg de blé, ne peut cependant pas être appliqué à la prédiction précoce du caractère « état de surface » dans les programmes de sélection variétale.

La principale piste actuellement poursuivie pour identifier les bases physico-chimiques de l'état de surface des pâtes cuites (et en déduire un micro-test de prédiction à l'usage des sélectionneurs) découle des travaux réalisés par Kobrehel et Alary au Laboratoire de Technologie des Céréales (Alary et Kobrehel, 1987 ; Alary, 1988 ; Kobrehel et al., 1988 ; Kobrehel et Alary, 1989) sur une autre famille de protéines de faible poids moléculaire riches en soufre (figure 7). Les composants majeurs de cette fraction protéique appartiennent au groupe des CM-protéines (solubles dans les mélanges chloroforme-méthanol) (Gautier et al., 1989). Ces protéines joueraient un rôle déterminant dans l'état de surface des spaghetti cuits. Des études biochimiques récentes (Feillet et al., 1989) ont indiqué que ces protéines de faible poids moléculaire seraient capables de s'associer à d'autres protéines du blé ('LMW' et 'HMW-gluténines') par l'intermédiaire d'interactions hydrophobes et de liaisons disulfures. Ce phénomène contribuerait alors à la création d'un maillage pro-

téique serré qui maintiendrait un bon état de surface des pâtes cuites en s'opposant à la désagrégation (« leaching ») des granules d'amidon en cours de cuisson.

Au delà de la contribution de telles études à une meilleure connaissance des interactions des protéines entre elles (ou avec d'autres constituants : protéines, lipides,...) au cours des traitements mécaniques et thermiques de la semoule et de la pâte, il est clair qu'une des retombées les plus importantes de ces travaux est de mettre à la disposition des sélectionneurs des méthodes d'analyses rapides de prédiction de la qualité technologique des lignées en cours de sélection ; ils doivent également permettre de mieux comprendre l'incidence des traitements technologiques sur la qualité des produits finis et d'orienter des travaux visant à améliorer les procédés de transformation.

## 2.2 - Apport potentiel de la biologie moléculaire à l'amélioration de la qualité des blés durs :

Il est clair qu'on maîtrisera d'autant mieux les problèmes de qualité qu'on saura mieux les comprendre et les expliquer en termes physico-chimiques et moléculaires. En effet, on ne connaît pas les mécanismes de régulation de la biosynthèse des protéines impliquées dans la qualité, ni les facteurs qui influencent favorablement ou défavorablement l'expression de la qualité. Pour répondre à ces questions, mais plus encore pour être capable d'intervenir sur ces mécanismes, il est nécessaire d'étudier les gènes qui codent pour les marqueurs protéiques (gliadines, gluténines, CM-protéines,...) de la qualité. Les outils de la biologie moléculaire nous donnent aujourd'hui les moyens d'y parvenir. Notre objectif est donc de *cloner, d'isoler, de séquencer les gènes des protéines directement impliquées dans la qualité* : les gènes de structure qui codent pour ces protéines, mais aussi les gènes de régulation qui modulent leur expression.

Comme le rappellent Joudrier et al. (1987), Joudrier et Gautier (1987), et Feillet (1988b), la démarche concernant le problème de la qualité des blés durs doit être analogue à celle retenue pour d'autres problèmes : résistance des plantes aux herbicides, au froid, au milieu salin, ou aux agresseurs biologiques, ou encore, modification de la composition en acides aminés en vue de rééquilibrer la valeur nutritionnelle.

En ce qui concerne l'isolement des gènes qui codent pour les CM-protéines, la stratégie retenue a été la suivante :

- Une banque d'ADNc (ADN complémentaire) a été construite à partir d'ARNm (ARN messenger) isolés du grain de blé à mi-maturation, stade qui correspond à la synthèse maximale des protéines de réserve.

- A partir de la séquence N-terminale des CM-protéines, des oligonucléotides de synthèse ont été synthétisés et utilisés comme sondes pour cribler la banque d'ADNc.

Parmi les clones d'ADNc isolés, nous avons caractérisé et séquencé ceux codant pour les 3 CM-protéines du blé dur (Gautier et al., 1990, résultats non publiés).

Une première retombée concrète de ces travaux est l'accès à la structure primaire des protéines, qui est traduite de la séquence nucléotidique du gène correspondant. Par exemple, les CM-protéines contiennent 10 résidus cystéine pour un poids moléculaire variant de 13 000 à 17 000 daltons. Il est intéressant de noter qu'elles possèdent un squelette cystéine fortement conservé, ce qui laisse penser que les liaisons disulfures doivent jouer un rôle important dans leur conformation. A partir des séquences protéiques, il est possible d'effectuer des prédictions de structure (secondaire et tertiaire) et d'étudier les relations entre la structure et les propriétés fonctionnelles de ces protéines.

En utilisant les clones d'ADNc comme sondes, nous allons isoler (à partir d'une banque génomique) les gènes codant pour les CM-protéines, ce qui nous permettra d'étudier leurs séquences régulatrices. D'une part, les séquences responsables de la spécificité d'expression dans l'albumen et d'autre part, les séquences responsables du taux élevé d'expression pendant une courte période du développement de la plante. Ce point apparaît d'autant plus important que, dans de nombreux cas (celui des 'LMW'-gluténines (Auran et Galterio, 1989) et celui de la plupart des HMW-gluténines (Singh et al., 1990), la qualité semble d'abord liée à un aspect quantitatif (quantité de protéine synthétisée par la plante).

Un travail similaire est actuellement en cours sur les gènes qui codent pour les 'LMW'-gluténines, protéines qui déterminent la composante fermeté de la qualité culinaire, ainsi que sur les gènes qui codent pour des lipides transférases, lesquelles

## Liste des abréviations

a) *Sigles d'organismes* : C.E.M.E.F., Centre de Mise en Forme des Matériaux (Ecole des Mines de Paris) ; C.F.S.I., Comité Français de la Semoulerie Industrielle ; C.I.R.A.D., Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement ; D.I.A.A., Direction des Industries Agricoles et Alimentaires ; E.N.S.I.A., Ecole Nationale Supérieure des Industries Agricoles et Alimentaires ; I.N.R.A., Institut National de la Recherche Agronomique ; I.R.A.T., Institut de Recherche Agronomiques Tropicales et des Cultures Vivrières ; I.T.C.F., Institut Technique des Céréales et Fourrages ; O.N.I.C., Office National Interprofessionnel des Céréales ; S.I.F.P.A.F., Syndicat des Industriels Fabricants de Pâtes Alimentaires de France ;

b) *Termes scientifiques* : CM-protéines, protéines solubles dans les mélanges Chloroforme-Méthanol ; HMW, High Molecular Weight (sous-unités gluténines de haut poids moléculaire ; LMW, Low Molecular Weight (sous-unités gluténines de faible poids moléculaire ; SDS, dodecyl sulfate de sodium ; THT, très haute température.

pourraient jouer un rôle dans les mouvements de lipides au cours de certaines étapes de la pastification.

A plus long terme se pose naturellement le problème de la modification des plantes par génie génétique, en particulier le transfert de gènes qui déterminent la qualité technologique (sans pour autant imaginer que cette nouvelle voie puisse se substituer totalement à la sélection classique actuelle). Aujourd'hui, le problème majeur de la transformation des céréales se situe au niveau de la régénération de plantes entières à partir de protoplastes. Des résultats très prometteurs ont été obtenus chez une autre céréale, des plantes transgéniques de riz ayant été régénérées à partir de protoplastes (Shimamoto et al., 1989). De plus, des techniques de transformation directe (injection d'ADN dans les inflorescences, dans le tube polinique) sont en bonne voie d'être maîtrisées. On peut donc penser que dans un proche avenir la transformation des principales céréales cultivées sera possible. Il convient, en attendant, de poursuivre les travaux en cours sur l'isolement et la régulation des gènes afin d'être prêt à créer des plantes transgéniques de blés. L'espèce blé dur, qui constitue un cas unique par la simplicité de la relation existant entre un paramètre essentiel de la qualité technologique (viscoélasticité du gluten) et un marqueur protéique parfaitement identifié (LMW-gluténine), constitue à cet égard, un modèle extrêmement intéressant à tester.

### 3. Conclusions et perspectives

Dans cet article, nous avons cherché à illustrer les récents progrès obtenus dans l'amélioration de la qualité des blés durs et des pâtes alimentaires

grâce aux apports complémentaires de la technologie et de la génétique.

Bien que, pour plus de clarté, nous ayons présenté les résultats en deux parties successives, il faut bien considérer que les différentes approches suivies n'ont cessé d'être étroitement imbriquées. En effet, face à la complexité et l'interdépendance des problèmes rencontrés par chacun des acteurs, la filière blé dur a toujours su intégrer l'ensemble de ses partenaires, en particulier dans les commissions C.T.P.S., I.R.T.A.C. et, depuis 1984, dans le cadre d'un GIE BLE DUR.

L'amélioration technologique, génétique et agromique du blé dur en France constitue ainsi un remarquable modèle de travail concerté de toute une filière dans l'approche problèmes et pour la mise en œuvre de recherches de pointe.

Aujourd'hui, grâce aux progrès technologiques et génétiques, on dispose de blés durs satisfaisant tant les industriels que les consommateurs, et capables de bien valoriser l'image de marque de la pâte.

Rappelons que les surfaces ensemencées en blé dur ont augmenté (9.000 ha en 1957, 100.000 ha en 1977, 300.000 ha en 1989). Mais cette augmentation considérable de la production (15.300 tonnes en 1957 ; 0.4 million de tonnes en 1983 ; 1.3 million de tonnes en 1989) s'est accompagnée d'une remarquable amélioration de la qualité et, face à une consommation française quasi stable depuis de nombreuses années (environ 550.000 tonnes par an), a permis une réduction totale des importations (qui étaient de 450.000 tonnes en 1958/59), la France devenant aujourd'hui un grand pays exportateur de blé dur (435.000 tonnes en 1986/87), surtout à destination de la CEE.

Même les Italiens, que l'on sait particulièrement

amateurs des bonnes pâtes, viennent aujourd'hui chercher en France les meilleurs blés durs.

Dans les prochaines années, les études devront être poursuivies sur deux axes principaux : celui de la moucheture du blé dur et celui du dosage du blé tendre dans les pâtes alimentaires ayant subi des traitements à très haute température.

La moucheture (voir encadré) est un défaut qui pénalise gravement certains lots de blé dur (préjudice estimé en France à 10 millions de francs en moyenne annuelle). Son étude demeure complexe car la moucheture peut être la manifestation d'une réaction de défense de la plante à des agresseurs d'origine multiple (thrips, alternaria,...). La recherche des causes du phénomène en vue de sa maîtrise vient d'être très récemment reprise dans le cadre de l'I.R.T.A.C.

La détection de blé tendre dans les pâtes alimentaires était un problème résolu depuis une quinzaine d'années, mais qui s'est posé de nouveau avec l'introduction des nouvelles technologies (séchage des pâtes à haute température, pâtes pré-cuites). En effet, les méthodes officielles utilisées jusqu'ici sont mises en défaut dans le cas de produits traités thermiquement, car elles reposent sur le dosage de constituants protéiques (albumines) ou enzymatiques (peroxydases) spécifiques du blé tendre, mais thermosensibles. D'où un nouveau programme de recherche soutenu par la C.E.E. (Bureau Communautaire de Référence) et associant plusieurs équipes européennes (France, Italie, Grande Bretagne) et destiné à mettre au point une ou plusieurs méthodes (exemple : électrophorèse ou HPLC des ométagliadines, détermination immunochimique des albumines même dénaturées,...) permettant un dosage fiable du blé tendre y compris dans le cas de produits de blé dur traités à haute ou à très haute température.

### Bibliographie

ABECASSIS J., ALARY R. et FEILLET P., 1984. Influence des températures de séchage sur l'aspect et la qualité culinaire des pâtes alimentaires. *Industries des Céréales*, 31, 13-18.

ABECASSIS J., CHAURAND M., MATENCIO F. und FEILLET P., 1989. Einfluss des Wassergehaltes der Teigwaren bei der Hochtemperaturtrocknung. *Getreide, Mehl und Brot*, 43 (2), 58-62.

ABECASSIS J., FAURE J. and FEILLET P., 1989. Improvement of cooking quality of maize pasta products by heat treatment. *J. Sci. Food Agric.*, 47, 475-485.

ABECASSIS J. et FEILLET P., 1985. Pureté des semoules de blé dur, taux de cendres et réglementation. *Industries des Céréales*, 36, 13-18.

ALARY R., 1988. Isolement, caractéristique et importance technologique de deux gluténines de faible poids moléculaire chez le blé dur. Thèse, Université des Sciences et Techniques du Languedoc, 148p.

ALARY R. and KOBREHEL K., 1987. The sulphhydryl plus disulphide content in the proteins of durum wheat and its relationship with the cooking quality of pasta. *J. Sci. Food Agric.*, 39, 123-136.

AUTRAN J.C., ABECASSIS J. and FEILLET P., 1986. Statistical evaluation of biochemical and technological tests for durum wheat quality assessment in breeding. *Cereal. Chem.*, 63 (5), 390-394.

AUTRAN J.C. and FEILLET P., 1987. Genetic and technological basis of protein quality for durum wheat in pasta. In : « Protein evaluation in cereals and legumes », Seminar in the CEC programme of coordination of agricultural research on plant productivity (V. Pattakou, Ed.), Thessaloniki, Greece, 23-24 October 1985, pp.59-71.

AUTRAN J.C. and GALTERIO G., 1989. Association between electrophoretic composition of proteins, quality characteristics and agronomic attributes of durum wheats. II. Protein-Quality associations. *J. Cereal Sci.*, 9 (3), 195-215.

AUTRAN J.C., LAIGNELET B. and MOREL M.H., 1987. Characterization and quantification of low-molecular-weight glutenins in durum wheats. *Biochimie*, 69 (6-7), 699-711.

BERTRAND D., ROBERT P., DEVAUX M.F. and ABECASSIS J., 1987. Assignment of near infrared absorption bands by multidimensional analyses of spectral data : application to the estimation of purity in durum wheat products. *Anal. Appl. Spectrosc. (Proc. Int. Conf.) (Pub. 1988)*, 450-456.

DALBON G., 1983. Fattori che influiscono sulle caratteristiche di cottura delle paste alimentari e possibilità di migliorare le qualità con opportune tecnologie. *Tecnica Molitoria*, 34 (8), 553-563.

DAMIDAUX R., AUTRAN J.C. and Feillet P., 1980. Gliadin electrophoregrams and measurements of gluten viscoelasticity in durum wheat. *Cereal Foods World*, 25 (12), 754-756.

DEXTER J.E., MATSUO R.R. and MORGAN B.C., 1981. High temperature drying : effect on spaghetti properties. *J. Food Sci.*, 46, 1741-1746.

FEILLET, 1977. La qualité des pâtes alimentaires. *Ann Nutr. Diet.*, 12, 299-310.

FEILLET P., 1984. The biochemical basis of pasta cooking quality. Its consequences for durum wheat breeders. *Sciences des Aliments*, 4, 551-566.

## STAPHYLOCOQUES : AVEZ-VOUS LES BONS OUTILS DU CONTROLE QUALITE ?



Les tests immunologiques révolutionnent aujourd'hui le contrôle qualité.

Fiables, spécifiques, faciles à mettre en oeuvre, ils sont adaptés aux exigences industrielles.

Cependant en contrôle qualité, dans l'agro-alimentaire, il y a une grande diversité de produits alimentaires et de situations industrielles.

Rien n'est donc vraiment simple.

Aussi, pour mettre en oeuvre ces nouveaux tests, mieux vaut compter sur un spécialiste.

A TRANSIA, nous travaillons depuis cinq ans sur les tests agro-alimentaires.

Exclusivement.

Par exemple, notre laboratoire a développé un test de détection des entérotoxines de staphylocoques : une des premières causes d'intoxication alimentaire.

Maintenant, vous pouvez facilement vérifier l'innocuité de vos produits.

En une heure et demie. Quelle sécurité pour vous !

Nous avons d'autres tests pour vous aider à vérifier l'absence de contaminants :

Salmonelles, Listeria, mycotoxines, antibiotiques, pesticides...

Et notre service d'assistance est unique.

Voilà pourquoi nous sommes les leaders de ce marché !



8, rue St Jean de Dieu - 69007 LYON  
Tel. 72 73 03 81  
Fax. 72 73 43 34

FEILLET P., 1986. L'industrie des pâtes alimentaires : technologies de fabrication, qualité des produits finis et des matières premières. *Ind. Alim. Agric.*, 103 (10), 979-989.

FEILLET P., 1988a. Protein and enzyme composition of durum wheat. In « Durum Wheat : Chemistry and Technology » (G. Fabriani and C. Lintas, Ed.), A.A.C.C., St Paul, Minnesota, USA, Chap. V. pp. 93-119.

FEILLET P., 1988b. L'apport de la biologie moléculaire à l'amélioration de la valeur technologique des plantes. *C.R. Acad. Agric. Fr.*, 74 (7), 51-56.

FEILLET P., 1989. Progrès génétiques, progrès technologiques : des approches complémentaires d'amélioration de la qualité des pâtes alimentaires. Conférence présentée à la Journée AFREM, 21 avril (Lyon).

FEILLET P. et ABECASSIS J., 1976. Valeur d'utilisation des blés durs. In : C.R. des Séances de la Semaine d'Etude sur la Céréaliculture, 6-10 septembre, Gembloux (Belgique), pp. 551-560.

FEILLET P., AIT-MOUH O., KOBREHEL K. and AUTRAN J.C., 1989. The role of low molecular weight glutenins in the determination of cooking quality of pasta products : An overview. *Cereal Chem.*, 66 (1), 26-30.

FRANCES Y. et OLLIVIER J.L., 1985. L'utilisation des très hautes températures pour le séchage des pâtes alimentaires. *Ind. Agric. Alim.*, 102 (5), 471-475.

GAUTIER M.F., ALARY R., KOBREHEL K. and JOUDRIER P., 1989. Chloroform/methanol-soluble proteins are the main components of Triticum durum sulfur-rich glutenin fractions. *Cereal Chem.*, 66 (6), 535.

GAUTIER M.F., ALARY R. and JOUDRIER P., 1990. Cloning and characterization of a cDNA encoding the wheat (Triticum durum Desf.) CM 16 protein. *Plant Mol. Biol.*, 14 (3), 313-322.

JOUDRIER P., AUTRAN J.C. et GAUTIER M.F., 1987. Pourquoi cloner les gènes des protéines de réserve du blé. *Biofutur*, 60, 46-54.

JOUDRIER P. et GAUTIER M.F., 1987. Le clonage des gènes des protéines de réserve des céréales. Actes des 3<sup>e</sup> Rencontres Internationales d'Agropolis : « Semences et Qualité des produits transformés », 9-11 septembre, Montpellier, pp. 133-151.

KOBREHEL K., REYMOND C. and ALARY R., 1988. Low molecular weight durum wheat glutenin fractions rich in sulfhydryl plus disulfide groups. *Cereal Chem.*, 65 (1), 65-69.

KOBREHEL K. and ALARY R., 1989. The role of a low-molecular-weight glutenin fraction in the cooking quality of durum wheat pasta. *J. Sci. Food Agric.*, 47 (4), 487-500.

MANSER J., 1981. Optimale parameter für die teigwarenherstellung am Beispiel von longwaren. *Getreide, Mehl und Brot*, 35 (3), 75-83.

MANSER J., 1986. Einfluss von Trocknung-hochst-temperaturen auf die Teigwarenqualität. *Getreide, Mehl und Brot*, 40 (10), 309-315.

PAVAN G., 1979. L'impiego dell'alta temperature nel processo di essiccazione delle paste alimentari. *Tecnica Molitoria*, 30, 362-370.

POGNA N., LAFIANDRA D., FEILLET P. and AUTRAN J.C., 1988. Evidence for a direct causal effect of low molecular weight subunits of glutenins on durum viscoelasticity in durum wheats. *J. Cereal Sci.*, 7, 211-214.

POGNA N., AUTRAN J.C., MELLINI F., LAFIANDRA D. and FEILLET P., 1990. Chromosome-1 $\beta$  encoded gliadins and glutenin subunits in durum wheat : genetics and relationship to gluten strength. *J. Cereal Sci.*, 11 (1), 15-34.

RENARD C., ROBERT P., BERTRAND D., DEVAUX M.F. and ABECASSIS J., 1987. Qualitative characterization of the purity of milled durum wheat products by multidimensional statistical analysis of their mid-infrared diffuse reflectance spectra. *Cereal Chem.*, 64 (3), 177-181.

RESMINI P. and PAGANI M.A., 1983. Ultrastructure of pasta. *Food Microstructure*, 2, 1, 1-12.

SHIMAMOTO K., TERADA R., IZAWA T. and FUJIMOTO H., 1989. Fertile transgenic rice plants regenerated from transformed protoplasts. *Nature*, 338, 274-276.

SINGH N.K., DONOVAN G.R., and MacRITCHIE F., 1990. Use of sonication and size-exclusion high-performance liquid chromatography in the study of wheat flour proteins. I. Relative quantity of glutenin as a measure of breadmaking quality. *Cereal Chem.*, 67 (2), 161-170.