

ET DEMAIN ?

Les blés européens ont été parfois décrits comme étant de qualité instable et sensibles aux facteurs agro-climatiques. Ces observations ont été à l'origine d'une vaste action de recherche à l'échelle européenne, dans le cadre des programmes agro-industriels ECLAIR (European Collaborative Linkage of Agriculture and Industry through Research), visant à combler l'écart croissant constaté entre l'évolution des technologies du blé, les cahiers des charges industriels et les profils des variétés à sélectionner.

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)



HMW. Aucun marqueur biochimique n'était alors réellement disponible pour la sélection d'autres paramètres de la valeur technologique (valeur meunière, qualité biscuitière, aptitude à la séparation amidon/gluten,...).

Préparer les blés européens de l'an 2000

En dépit du fait qu'ils constituent un élément vital de son agriculture et de son industrie alimentaire, les blés tendres de l'Union Européenne étaient considérés il y a quelques années comme mal adaptés à une large gamme d'utilisations (pain complet, pain au levain, biscuits, amidon, gluten) et, d'une façon générale, mal adaptés à répondre aux demandes de qualité croissantes provenant de l'industrie suite au développement des technologies modernes, telles que le froid en boulangerie, l'utilisation de mixes, la fabrication de produits

de panification nouveaux.

Les blés européens étaient également décrits comme étant de qualité instable et sensibles aux facteurs agro-climatiques : sécheresse dans les régions du Sud, germination sur pied dans les régions côtières du Nord.

Toutes ces observations ont été à l'origine d'une vaste action de recherche à l'échelle européenne, dans le cadre des programmes agro-industriels ECLAIR (European Collaborative Linkage of Agriculture and Industry through Research), visant précisément à combler l'écart croissant constaté entre l'évolution des technologies du blé, les cahiers des charges industriels et les profils des variétés à sélectionner, c'est-à-dire en fait préparer les blés de l'an 2000.

Des concepts nouveaux et des méthodologies de pointe

Au plan scientifique, l'originalité du programme ECLAIR était de reposer sur un ensemble de concepts et de méthodologies de pointe, capables de conduire à des avancées significatives tant dans l'utilisation industrielle que dans la sélection des blés :

- des matériels génétiques sophistiqués (lignées isogéniques, aneuploïdes ou des substitutions chromosomiques) permettant de mieux cibler les marqueurs de la valeur technologique.
- des concepts récents (qualité intrinsèque des génotypes) et des constituants récemment découverts chez les blés (friabilité, puroindoline, LMW-gluténines,...).
- une approche de la qualité reposant non plus uniquement sur la composition protéique, mais également sur l'interaction entre les protéines et les divers autres consti-

Un problème complexe

La création de variétés à la fois productives et de haute valeur technologique a toujours constitué un problème difficile pour les sélectionneurs de blé. Non seulement en raison de l'antagonisme biologique souvent observé entre quantité et qualité (dont le règlement CTPS tient compte), mais pour différentes raisons conceptuelles et techniques :

- Les bases fondamentales de la qualité des blés ne sont toujours pas complètement élucidées et demeurent difficiles à traduire en termes de marqueurs moléculaires exploitables en sélection.
- Le concept de qualité varie entre le meunier, le boulanger

(qualité commerciale d'un échantillon de blé ou de farine) et le sélectionneur (qualité intrinsèque des génotypes), et même au cours de la sélection (stades précoces ou tardifs). Pendant longtemps, en raison des quantités élevées de grains nécessaires à la mise en oeuvre de tests technologiques, toute analyse visant à apprécier la qualité était d'ailleurs reportée aux derniers stades, c'est-à-dire trop tard pour influencer significativement la sélection.

- Les technologies et les cahiers des charges des industriels ont tendance à évoluer rapidement, alors que la sélection ne peut guère travailler que sur des objectifs pérennes.
- Ces dernières années, des progrès considérables ont cependant été

accomplis avec, d'une part, une vaste réflexion sur les tests de prédiction de la qualité qui a permis de connaître leur aptitude à refléter ou non l'influence du génotype et/ou celle du milieu de culture et leur héritabilité (Branlard et coll., 1991) et, d'autre part, le développement de microtests (notamment biochimiques) de prédiction de la valeur technologique (Autran, 1987).

A partir des travaux accomplis sur le polymorphisme des protéines de réserve (gliadines et gluténines), initialement appliqués à l'identification des variétés par électrophorèse, et extrapolant les premiers résultats obtenus sur les gamma-gliadines du blé dur à l'INRA de Montpellier (Damidaux et coll., 1978), les équipes du PBI

(Grande-Bretagne) et de l'INRA-Clermont (sur les blés tendres) ont mis en évidence des relations entre l'électrophorégramme des gluténines et la qualité, relations dont les sélectionneurs ont su rapidement tirer profit, améliorant l'efficacité de la sélection pour la force boulangère des blés tendres. Toutefois, jusqu'à la fin des années 1980, l'application de marqueurs biochimiques en sélection se limitait à la prédiction de la qualité culinaire des blés durs (à partir des gliadines 42 ou 45) et de la force boulangère des blés tendres - particulièrement la ténacité de la pâte dans le pain blanc courant de type anglo-saxon - à partir des électrophorégrammes des fractions gluténines de haut poids moléculaire dites

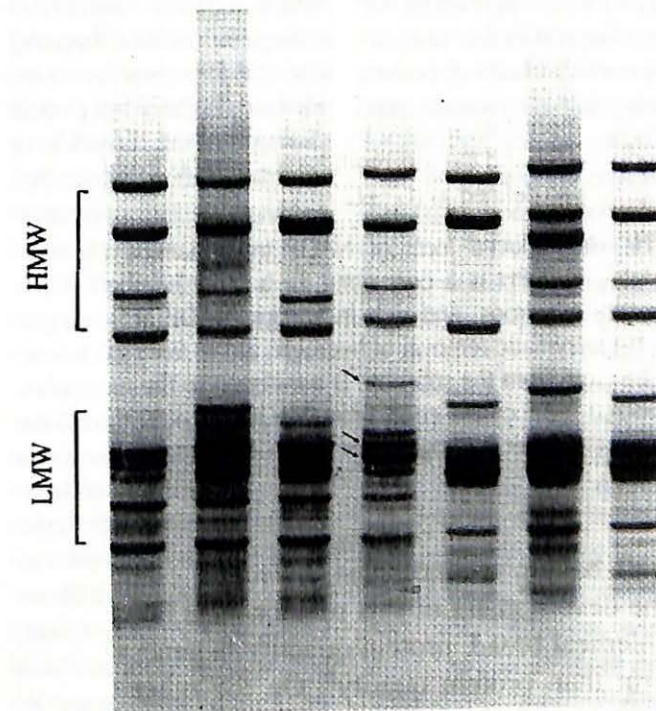


Figure 1 : Electrophorèse en gel de polyacrylamide acide des sous-unités gluténines de 7 variétés françaises de blé tendre. La position des sous-unités de haut (HMW) et de faible (LMW) poids moléculaire est donnée. Les flèches indiquent les types alléliques des loci Glu-A3 et Glu-B3 qui jouent un rôle favorable dans la qualité biscuitière.

Jean-Claude AUTRAN
INRA



Tableau 1 : Les participants du 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
BSN, Branche Biscuit, Athis Mons	France
Champagne Céréales, Reims	France
Club des 5, Paris	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

Les trois sous-programmes et leurs responsables étaient les suivants :

1. Procédés industriels (R.J. Hamer, Institut TNO, Zeist, Pays-Bas).
2. Constituants fonctionnels et leurs interactions (J.J. Plijter, Gist Brocades, Delft, Pays-Bas).
3. Biochimie-Génétique et Physiologie (N.E. Pogna, Institut Expérimental de la Cerealiculture, Rome, Italie). L'ensemble a été coordonné par J.C. Autran (INRA, Montpellier) pour les aspects scientifiques et par Monique Richard (IRTAC, Paris) pour les aspects administratifs.

tuants de la farine (amidon, pentosanes, lipides).

- des méthodes modernes de la physique (spectroscopie, RMN, rayons X, microscopie, rhéologie) et de l'immunochimie (anticorps monoclonaux) permettant de quantifier et d'étudier la dynamique et la distribution des constituants individuels (protéines, pentosanes, lipides) en milieu complexe, par exemple au cours du développement de la pâte de boulangerie.

Outre ces aspects purement scientifiques et techniques, un élément particulièrement innovant de ce programme a été l'établissement d'un programme multidisciplinaire (rassemblant biochimistes, physico-chimistes, immunochimistes, rhéologues, généticiens) et impliquant à la fois sélectionneurs et industriels du blé (meunerie, biscuiterie, amidonnerie-glutennerie, fabricants de produits de cuisson divers). Pendant 4 années (1991-1994), 20 organisations de 7 pays

différents, sous la coordination de l'IRTAC, ont ainsi mis leurs moyens en commun (à un niveau précompétitif), ceci grâce à une subvention de la Commission des Communautés Européennes de 3,6 millions d'euros (tableau 1).

Nous résumons ci-dessous quelques uns des résultats obtenus, qui sont susceptibles de contribuer à des progrès significatifs dans la sélection de blés de qualité.

Réseaux d'expérimentation multilocale des variétés

Un réseau Sud (15 variétés x 7 lieux) et un réseau Nord-ouest (12 variétés x 9 lieux) ont été constitués dans le but d'identifier des génotypes et des pratiques agronomiques maximisant l'expression de la qualité. Grâce aux efforts des stations INRA (Clermont-Ferrand, Montpellier), ITCF, Club des 5, ISC, Produttori Sementi, INIA, ENMP) et aux analyses réalisées chez les partenaires privés industriels (Champagne Céréales, Roquette, BSN, SME Ricerche), des échantillons ont tout d'abord été produits dans des conditions contrôlées et mis à disposition des biochimistes et technologues. L'expérimentation a ensuite permis d'étudier la stabilité de la qualité des génotypes (faible variance des scores de qualité résultant d'une faible interaction génotype x milieu). L'application de traitements azotés différents a également permis d'avancer dans la compréhension de la dynamique d'accumulation de l'azote dans le grain, mettant en évidence des comportements très différents des variétés (Apollo, Talent, Capitole, Camp-Rémy) au niveau de l'allocation de l'azote vers les fractions albumines, gliadines ou

gluténines, ainsi qu'entre le début et la fin de la maturation.

Qualité boulangère

La prédiction de la qualité boulangère a progressé grâce à de nouvelles approches physico-chimiques et notamment grâce au développement du concept-clé de macropolymère gluténine (complexe qui évolue d'une forme linéaire dans la farine vers une structure tridimensionnelle dans la pâte) et à la réactivation du micro-test du "gel protéique". Ce test simple, applicable sur 1 gramme de farine, par simple mise en suspension dans le solvant SDS, peut donner en outre une première estimation du comportement des farines en mélange.

En panification de type pain complet, on sait désormais que le volume du pain dépend davantage de la teneur en protéines que de la qualité de celles-ci et que l'aptitude d'un blé pour la panification de type pain complet ne peut donc pas être déduite des tests réalisés sur des farines de taux d'extraction normal.

Mais les progrès les plus décisifs ont sans doute été accomplis dans le domaine de la panification française (ou sud-européenne) traditionnelle, dans laquelle - à côté du paramètre ténacité actuellement bien maîtrisé - les facteurs limitants restent souvent l'extensibilité de la pâte et sa tolérance. L'extensibilité de la pâte a été ainsi trouvée associée davantage aux gluténines de faible poids moléculaire (LMW) - elles-mêmes génétiquement liées à des gliadines sur les bras courts des chromosomes 1A, 1B et 1D - qu'aux HMW-gluténines.

L'exploitation en sélection de la variation allélique des LMW (par exemple la sélection d'allèles LMW o et m du locus Glu-A3, tout en conservant l'allèle HMW 5+10

du locus Glu-D1 qui détermine une ténacité élevée) devrait désormais contribuer à la sélection de types de blés adaptés aux technologies de la panification française moderne.

Qualité biscuitière

Un facteur essentiel de la qualité biscuitière est la stabilité dimensionnelle du biscuit. Or, la longueur, l'épaisseur et la densité du biscuit sont reliés aux constituants absorbant l'eau : les protéines, mais aussi l'amidon endommagé et les pentosanes insolubles. Par exemple, chez une variété de dureté élevée et/ou riche en pentosanes insolubles, l'hydratation des protéines sera limitée, d'où un effet négatif sur l'épaisseur du biscuit. D'autre part, la présence de complexes protéiques de taille moléculaire élevée (macropolymère gluténine) tend à augmenter l'élasticité de la pâte et donc la rétraction du biscuit. Prenant comme référence le biscuit sec laminé de type Petit Beurre, ceci suggère une sélection de variétés biscuitières de type soft, présentant de faibles proportions de pentosanes insolubles et une composition en sous-unités protéiques différente voire opposée de celle recommandée pour la force boulangère. On peut ainsi recommander la sélection d'allèles LMW-gluténines 'o' ou 'm' du locus Glu-A3 (figure 1), cette fois en association avec des HMW 2-7-12.

Texture du grain et valeur meunière

Par rapport à l'effort considérable dont a fait l'objet la deuxième transformation et notamment la qualité boulangère, l'amélioration génétique des blés pour leur aptitu-

de à la première transformation (et plus généralement au fractionnement par voie sèche) n'a reçu qu'une attention mineure. La valeur meunière n'a pas été prise en compte dans les schémas de sélection, tandis que ses bases physico-chimiques ne sont encore que très mal expliquées. Et pourtant, compte tenu des chiffres de production de blé, on peut aisément calculer que la création de nouveaux types de blé qui permettraient un accroissement de seulement 1% du taux d'extraction des farines constituerait un avantage considérable (40 millions d'euros par an !) pour la meunerie de l'Union Européenne.

Des progrès importants ont pu ainsi être accomplis par les Instituts TNO et FMBRA. L'approche par analyse d'image des paramètres morphométriques des grains n'ayant pas permis d'obtenir une prédiction suffisante de la valeur meunière (sauf dans le cas de grains sérieusement échaudés), la croyance en une relation positive entre taille du grain et proportion d'albumen a été remise en cause. En outre, la valeur meunière a pu être expliquée à 70-80 % à partir d'un modèle simple (que la sélection peut désormais exploiter) qui inclut la teneur en potassium des grains (laquelle permet une excellente prédiction de la teneur en cendres), la friabilité des sons et la largeur des grains. On sait en outre que l'acide férulique constitue un marqueur de la friabilité des sons très supérieur à la teneur en cendres, et que la friabilité des sons peut être ainsi calculée à partir de la différence entre la teneur en acide férulique de l'albumen et celle des fractions de farine.

Dans le même ordre d'idées, il convient de mentionner les travaux relatifs aux protéines associées aux granules d'amidon suite à la découverte par Schofield et Greenwell (1987) de la friabiline,



protéine de surface des granules d'amidon, considérée comme impliquée dans le caractère soft des blés tendres. Bien que la relation exacte entre cette protéine et les formes hard ou soft du gène de dureté ne soit toujours pas clairement établie, on comprend aujourd'hui beaucoup mieux la position de la friabiline en tant que protéine de liaison des lipides. Par exemple, la forte homologie qui existe entre certaines fractions de la friabiline et la protéine découverte par Marion (INRA-Nantes) et nommée puroindoline en raison de sa richesse en tryptophane, permet de penser que la présence de friabiline sur l'amidon n'est qu'un artefact de purification de ce dernier et que les mécanismes de la dureté mettent plutôt en jeu un facteur lipidique à la surface des granules d'amidon.

Bien que la friabiline n'ait pas permis jusqu'ici de développer un test prédictif rapide de la texture des grains, il faut noter qu'une application utile d'un anticorps anti-friabiline a permis à Rhône Poulenc Diagnostics de proposer un test de détection du blé tendre dans les produits de blé dur (pâtes alimentaires).

Génétique des protéines de réserve

Cette étude a été centrée sur les LMW-gluténines, qui sont certainement les moins bien connues de toutes les protéines de réserve du blé. Grâce aux lignées isogéniques italiennes et aux lignées de substi-

tution de chromosomique de Courtot développées par l'INRA-Clermont, la variabilité génétique des groupes LMW B, C et D et leur liaison génétique avec les gliadines ont pu être décrites avec précision. Cette étude a nécessité de développer de nouveaux systèmes électrophorétiques mono et bidimensionnels. Les effets cumulatifs des principaux allèles LMW- et HMW-gluténines sur la qualité du gluten ont alors pu être précisés, de même que certaines des relations entre la qualité boulangère et les nouvelles fractions w-gliadines récemment explorées par l'ISC et l'INRA-Clermont.

Ce qu'il faut retenir

Ce bref résumé n'avait pas la prétention d'être exhaustif. Bien d'autres résultats touchant aux applications industrielles, aux bases physico-chimiques de la qualité des blés ont été obtenus au cours des quatre années du programme ECLAIR. N'oublions pas non plus que d'importants progrès ont été simultanément accomplis dans le cadre d'autres programmes, par exemple les programmes IRTAC : gluten, surgélation des pâtes, ténacité extensibilité, valeurs meunière et semoulière, etc.

Mais, dans l'ensemble, ces quelques exemples montrent que la recherche pluridisciplinaire encouragée par le programme ECLAIR (avec création de la grande famille rassemblant les meilleurs spécialistes européens), a effectivement permis de resserrer le lien entre l'agriculture et l'industrie, en stimulant la sélection et en contribuant au développement de nouvelles variétés combinant des propriétés agronomiques élevées et des qualités technologiques susceptibles de satisfaire aux besoins actuels et futurs de l'industrie. ■