

BASES GENETIQUES DE LA QUALITE DES BLES DURS :
VARIABILITE GENETIQUE DE LA COMPOSITION
DIVERSITE ET HETEROGENEITE DU MATERIEL GENETIQUE

Jean-Claude AUTRAN
Laboratoire de Technologie des Céréales I.N.R.A.
9 Place Viala 34060 Montpellier Cedex

RESUME DE LA CONFERENCE

INTRODUCTION

Parmi les différents aspects de la qualité technologique des blés durs, l'exposé sera particulièrement consacré à ceux qui dépendent de la variété, ceux qui sont associés au génotype de la plante en abordant les problèmes de sélection, de création et d'amélioration par voie génétique.

On s'intéressera donc aux bases génétiques de la qualité des blés durs, à la diversité et à l'hétérogénéité du matériel génétique et - comme la qualité est liée à la présence et aux propriétés de certains constituants biochimiques - à la variabilité génétique de la composition.

RAPPELS

Les différentes composantes de la qualité d'un blé dur:

- valeur semoulière (poids du grain: rapport albumen/enveloppes; friabilité de l'albumen: mitadinage; facilité de séparation albumen/enveloppes)

- qualité pastière: aspect (jaune, clair, absence de points noirs) des pâtes crues; qualité culinaire des pâtes (fermeté, élasticité, absence de collant et de délitescence)

Les notions de qualité commerciale et de qualité intrinsèque d'une variété

La qualité et ses différents aspects dépendent à la fois de la variété (génotype) de blé utilisée, de l'environnement de la plante au cours de sa culture et des technologies de transformation. La qualité commerciale d'un échantillon de semoule intègre l'ensemble de ces influences. C'est une notion qui intéresse l'utilisateur. Par contre, le sélectionneur doit pouvoir évaluer seulement la composante de la qualité qui revient au génotype, c'est à dire la qualité intrinsèque (ou valeur potentielle) de la variété.

Le test d'appréciation de la qualité en sélection ne peut donc pas être de même nature que le test commercial lequel doit prendre en compte l'ensemble des composantes (variétale, agronomique, technologique) de la qualité. La notion de qualité intrinsèque et la définition de véritables tests de sélection sont fondamentales et indispensables au progrès génétique.

Dans toute la suite, il sera donc toujours question des bases génétiques des différents aspects de la qualité, des aspects de la qualité propres au génotype, car seuls ces derniers peuvent être pris en compte dans le cadre de l'amélioration génétique des variétés. La composante "qualité culinaire", la plus critique actuellement lors de la sélection de nouvelles variétés, sera plus particulièrement développée.

Les principaux constituants biochimiques du grain de blé. Les bases physico-chimiques de la qualité:

Parmi les constituants intervenant dans la qualité, il faut distinguer ceux qui sont nécessaires à l'élaboration d'un produit fini de ceux qui sont explicatifs des différences génétiques de qualité.

Les différents constituants biochimiques du blé dur interviennent dans la qualité culinaire des pâtes alimentaires: protéines, enzymes, amidon, lipides. Cependant, il n'est pas certain que tous ces constituants possèdent une variabilité génétique et une hérédité telles qu'ils puissent être rendus responsables des différences variétales de qualité. Cela est certainement vrai pour les protéines (dont nous ferons une étude détaillée) et pour certaines enzymes, mais que cela n'est pas véritablement démontré pour les lipides et les glucides.

Les protéines du blé et quelques unes de leurs caractéristiques:

Quelques notions générales sur les différentes fractions protéiques du grain de blé, leur hétérogénéité et leur polymorphisme (d'après les fractionnements par électrophorèse), leurs propriétés physico-chimiques.

Conséquences du polymorphisme: utilisation en tant que marqueurs pour identifier des variétés ou des génotypes en sélection.

Conséquences des propriétés physico-chimiques: rôle dans la qualité technologique: les propriétés viscoélastiques d'un gluten et la qualité culinaire d'une pâte reposent pour l'essentiel sur certaines propriétés physico-chimiques des protéines: capacité à s'associer, à interagir, à former des complexes, des réseaux, des agrégats: existence de longues chaînes linéaires associées par des liaisons S-S et/ou des interactions hydrophobes.

I - LES BASES GÉNÉTIQUES DE CHACUNE DES COMPOSANTES DE LA QUALITÉ

Pour chacun des aspects de la qualité que nous passerons successivement en revue, nous examinerons:

- La diversité du matériel génétique existant (variétés inscrites au Catalogue et lignées en cours de sélection: GIE blé dur) et l'hérédité des caractères technologiques observés.

- Le lien entre la variabilité des caractéristiques technologiques et une variabilité au niveau d'une composition biochimique: recherche des bases biochimiques, physico-chimiques ou moléculaires des caractéristiques technologiques: variabilité et déterminisme génétique des constituants concernés; étude de ces composants dans le but de comprendre la qualité et ses bases fondamentales.

- Les conséquences en sélection: Le sélectionneur ne peut intervenir que si il existe une variabilité génétique pour le caractère étudié et si ce caractère est héréditaire. Difficultés propres au blé dur, espèce tétraploïde, pour laquelle il existe une assez faible variabilité. La sélection d'une nouvelle variété demandant environ 10 ans, le sélectionneur ne peut travailler que sur des objectifs pérennes, ce qui pose un problème lorsque les technologies et les critères de qualité requis évoluent rapidement.

- L'acquisition de connaissances sur les bases fondamentales de la qualité. On maîtrise mieux les problèmes lorsqu'on a su les expliquer en termes physico-chimiques et moléculaires. Compte tenu que les sélectionneurs ne peuvent travailler que sur des objectifs pérennes, les connaissances fondamentales permettent de progresser sur des objectifs généraux, quelle que soit la technologie du moment. L'accumulation de ces connaissances permet de répondre aux questions quand elles se posent.

A) LA QUALITE SEMOULIERE:

Peu de données existent sur le déterminisme génétique des différents paramètres de la valeur semoulière et il est donc difficile pour le sélectionneur de prédire la valeur semoulière à un stade précoce du schéma de sélection.

Le seul aspect pouvant avoir une réelle base variétale est la proportion d'enveloppes par rapport à l'albumen qui est, en principe, d'autant plus faible que le grain est gros. Mais aucune étude n'a permis de conclure que les variétés à petit grain ont une valeur semoulière inférieure. Il existe en effet de nombreuses observations en sens inverse.

Même par des tests indirects, des caractéristiques telles que la facilité de séparation des enveloppes ne sont guère mesurables et seule la mouture d'essai permet en fait une bonne appréciation.

Des progrès sont cependant attendus grâce à la détermination des pourcentages d'enveloppes et d'albumen par des méthodes enzymatiques.

B) L'ASPECT DES PATES CRUES:

En ce qui concerne la couleur jaune, dont on sait qu'elle est associée à une teneur élevée en pigments caroténoïdes et à une faible activité lipoxygénasique, il existe une large variabilité génétique et une hérédibilité élevée.

La teneur en pigments caroténoïdes et l'activité lipoxygénasique sont très significativement reliées à la variété de blé. Les premières variétés cultivées en France étaient soit de type méditerranéen: Bidi 17, Montferrier (pauvres en pigments et avec forte activité lipoxygénasique), soit de type nord-américain: Wells, Lakota (belle couleur jaune, faible activité lipoxygénasique). Aujourd'hui, la situation n'est pas aussi tranchée, car de nombreux croisements ont eu lieu, de sorte qu'on trouve parmi les nouvelles variétés de nombreux types intermédiaires: Blondur, Regal, Primadur, Durelle (à la fois très jaunes avec indice de brun assez élevé), ou: Arcour, Kidur, Chandur (peu de jaune, mais aussi, peu de brun).

En ce qui concerne la couleur brune, liée à de fortes activités peroxydasiques et polyphénoloxydasiques, il existe également une base variétale, mais plus difficile à mesurer compte tenu de l'influence importante des facteurs d'environnement et technologiques. Le brunissement est très influencé par l'humidité en période de maturation (l'indice de brun est d'autant plus faible que la maturation s'est effectuée dans un environnement plus chaud et plus sec).

Le caractère variétal de la couleur brune peut être illustré par les activités peroxydasiques et surtout les isoenzymes peroxydases (détectées par électrophorèse), qui sont utilisables pour sélectionner des variétés à faible indice de brun.

C) LA QUALITE CULINAIRE:

La qualité culinaire d'un blé dur recouvre deux aspects différents : un aspect rhéologique (fermeté et élasticité des pâtes cuites) fortement lié aux caractéristiques viscoélastiques du gluten; et un aspect non rhéologique: l'état de surface de la pâte cuite (caractère collant et délitescent). Ces deux aspects n'étant pas systématiquement liés, nous les considérerons séparément.

1) Aspect rhéologique:

On sait depuis de nombreuses années que cet aspect rhéologique (qualité du gluten) est lié à la variété. Mais une démonstration définitive n'a été apportée que lorsqu'on a pu réaliser des mesures objectives et reproductibles des caractéristiques viscoélastiques des glutens (voir Viscoelastographe, qui permet de mesurer la fermeté et la recouvrance élastique). Comme lors de comparaisons de variétés, la fermeté et la recouvrance élastique des glutens sont généralement très corrélées, on raisonne ci-dessous sur la recouvrance seulement (mais les conclusions sont les mêmes au niveau de la fermeté).

Les propriétés viscoélastiques du gluten sont une caractéristique variétale:

Etendue de variation de la recouvrance élastique du gluten des variétés françaises: de 0.60 mm à 1.80 mm (dans la collection mondiale: de 0.30 à 2.10, soit un rapport de 1 à 7. Le % de la variabilité attribuable au génotype est >> à celui attribuable au milieu. Donc, excellent test d'appréciation de la valeur potentielle des variétés.

La collection mondiale des variétés donne un histogramme bimodal avec un 1° pic vers 0.9 mm de recouvrance et un 2° pic vers 1.7 mm. Différents échantillons d'une variété se situent toujours dans la même région (même abscisse, en mm de recouvrance).

À première vue, une recouvrance élastique élevée permet de séparer les variétés présentant une qualité culinaire intrinsèque élevée, mais la réalité est plus complexe puisqu'il existe une seconde composante de la qualité culinaire (état de surface). La qualité du gluten ne doit donc être considérée que comme une condition nécessaire mais non suffisante.

Remarques: a) Résultats analogues avec sédimentation-SDS, mixographe, aleurographe ou alvéographe. Les valeurs de l'indice de sédimentation-SDS fluctuent davantage au sein d'un génotype (problèmes de granulométrie), mais ce test présente l'avantage de pouvoir travailler sur grain broyé.

b) Par contre, si la viscoélasticité est mesurée sur une pâte cuite (spaghetti, disque de pâte), on ne retrouve pas deux groupes aussi nettement tranchés car dans la pâte d'autres facteurs interviennent: facteur mécanique (extrusion, laminage), facteur temps (durée du séchage). Un gluten trouvé ferme et élastique quand isolé du reste de la semoule peut se dégrader plus ou moins vite lors des processus technologiques.

c) Des différences dues à la teneur en protéines peuvent expliquer certaines fluctuations de qualité culinaire des variétés. Ces fluctuations sont d'autant plus élevées qu'on se situe à un niveau de recouvrance faible. On peut établir une équation de prédiction de la viscoélasticité d'une pâte à partir de la recouvrance du gluten et de la teneur en protéines.

d) Le caractère teneur en protéines a une très faible héritabilité (très forte influence des facteurs agro-climatiques).

2) Etat de surface des pâtes cuites:

Etendue de variation des notes de collant et délitescence des pâtes cuites à partir des blés durs français: 6.08 à 3.80 à T+6 et 4.93 à 1.95 à T+11. Pas d'histogramme à deux pics comme pour visco gluten. Différents échantillons de la même variété n'ont pas du tout la même abscisse: assez grande dispersion des notes (ex: Cargivox, Cargiflash, Agathe). Les bases variétales du caractère état de surface sont plus faibles que pour la viscoélasticité du gluten (plus forte influence du milieu notamment par la teneur en protéines), mais ne sont pas nulles: % de la variance attribuable au génotype comparable à celui attribuable au lieu de culture.

Remarques sur les différents tests d'appréciation de la qualité culinaire: On a ici une illustration des tests pouvant constituer ou non des tests de sélection efficaces. La mesure de la recouvrance élastique du gluten constitue un test quasi idéal de sélection (micro quantités, héritabilité élevée, relation avec le classement hiérarchique des variétés tel qu'il ressort d'une expérience industrielle de plusieurs années des variétés). La viscoélasticité de la pâte fluctue davantage en fonction de la teneur en protéines et est moins directement reliée à la variété (on ne peut prédire le potentiel de qualité d'une variété qu'à condition d'effectuer la moyenne de plusieurs mesures répétées sur plusieurs lieux et plusieurs années). L'état de surface de la pâte est encore plus complexe et est donc plus difficile à prendre en compte en sélection: des composantes autres que le gluten y interviennent, ainsi que des facteurs technologiques (mouture, extrusion, séchage,...).

Illustration des corrélations entre les différents tests d'appréciation de la qualité culinaire par une analyse en composantes principales. Discussion sur la place des variétés dans le plan principal.

II - RELATIONS AVEC LA COMPOSITION BIOCHIMIQUE

A) PROTEINES

Comme, d'une façon générale, on considère que la qualité culinaire des blés durs repose en grande partie sur les propriétés des protéines, les

principales familles protéiques de la semoule ont été étudiées au moyen d'outils biochimiques, notamment l'électrophorèse.

On a plus particulièrement étudié les fractions présentant soit une variabilité génétique élevée, soit des propriétés physico-chimiques et fonctionnelles intéressantes, soit les deux à la fois. C'est surtout le cas des fractions protéiques qui constituent le gluten: gliadines et gluténines.

1) Relation entre la viscoélasticité du gluten et l'électrophorégramme des gliadines:

Existence (dans une collection mondiale de variétés) d'une relation quasi absolue entre une recouvrance élevée du gluten (> 1.30 mm) et les variétés possédant la gamma-gliadine 45 et, inversement, entre une faible recouvrance du gluten (<1.30 mm) et la présence de la gliadine 42.

L'électrophorèse des gliadines constitue donc un autre test de sélection de variétés possédant un gluten ferme et élastique. Ce test est très performant (très miniaturisé, applicables aux premières générations de sélection, grandes séries, ...). Il donne une image exacte du génotype car il ne subit aucune influence des facteurs d'environnement. Ses résultats sont remarquablement nets (pratiquement aucune exception). Il peut présenter l'inconvénient d'être très tranché: aucune nuance entre le bon et le mauvais, contrairement à la viscoélasticité du gluten ou à la sédimentation-SDS.

Illustration de ce résultat à partir de l'analyse en composantes principales.

L'électrophorégramme des gliadines est une caractéristique purement variétale ("empreinte digitale" du génotype) (cf identification des variétés par électrophorèse). Le déterminisme génétique des "bandes" protéiques est assez bien connu, de même que la localisation chromosomique des gènes qui les codent (4 loci au total situés respectivement sur les bras courts des chromosomes 1A, 1B, 6A et 6B). Les types "42" et "45" correspondent à deux allèles d'un même gène situé sur le bras court du chromosome 1B. Ces deux allèles sont de loin les plus répandus dans la collection mondiale des blés durs (les allèles 40 ou 43.5 étant beaucoup plus rares). Dans la descendance d'un croisement entre deux variétés, ces protéines sont transmises en bloc car chaque locus chromosomique constitue une famille multigénique (gènes étroitement liés entre lesquels on n'observe, en principe, aucune recombinaison). Toute variété possède un électrophorégramme gliadine constitué par la redistribution des 4 "blocs" de chacun de ses parents. L'hérédité des gliadines est de type co-dominant.

Discussion sur l'origine de la relation: gliadines 42/45 et viscoélasticité du gluten. Il peut s'agir d'une liaison génétique (proximité d'un gène gliadine et d'un gène X qui détermine la qualité), comme c'est le cas pour les gènes gliadines et couleur des glumes du blé dur. Il peut s'agir d'une relation "fonctionnelle" ou "de cause à effet" dans la mesure où certaines protéines des blocs "42" ou "45" peuvent déterminer directement une caractéristique de qualité grâce à leur structure ou leurs propriétés physico-chimiques (par exemple: capacité à s'agréger ou à s'associer avec des lipides).

Dans le cas des gliadines, il semble qu'il s'agisse plutôt d'une liaison génétique car la purification des gliadines 42 et 45 n'a pas mis en évidence de différence sensible au niveau de leurs propriétés physico-chimiques.

2) Relations entre la viscoélasticité du gluten et l'électrophorogramme des gluténines:

Une relation très étroite a été également observée entre la recouvrance du gluten et le diagramme des gluténines dans la région des sous-unités dites de "faible poids moléculaire" (LMW): recouvrance élevée lorsqu'il y a présence du triplet LMW2, recouvrance faible lorsqu'il y a présence du quadruplet LMW1.

L'explication vient du fait que gamma-gliadines et LMW appartiennent au même "bloc" codé au niveau du locus "Gli-B1" situé sur le bras court du chromosome 1B des blés durs. La bande 45 est l'un des marqueurs de l'ensemble du bloc associé positivement à la viscoélasticité du gluten. Mais, comme les gluténines LMW possèdent une forte capacité à s'agréger (rapide insolubilisation lors des traitements thermiques), on tend actuellement à penser que ce sont elles qui constituent les marqueurs fonctionnels de la qualité du gluten, les gliadines 42 ou 45 n'étant que des marqueurs génétiques.

Il n'est pas certain qu'il existe des différences de fonctionnalité entre les LMW1 et LMW2. La teneur en LMW2 (types "45") par rapport aux protéines totales étant 2 fois plus élevée (environ 30 %) que la teneur en LMW1 (types "42") (environ 15 %), il est possible que cette seule différence quantitative touchant une famille protéique agrégative suffise à expliquer le comportement différent des glutes des variétés "45" et "42".

La même recherche a été réalisée sur les sous-unités gluténines de haut poids moléculaire (HMW), codées par des gènes situés sur les bras longs des chromosomes 1A et 1B. Parmi les blés durs français, on trouve 5 allèles pour le locus Glu-B1 (6-8, 13-16, 20, 7-8 et 7-15) et 2 (2* et nul) pour le locus Glu-A1. La sous-unité 2* provient du blé tendre et n'existe que chez les variétés issues de croisements interspécifiques.

Les relations entre ces différents allèles gluténines HMW et la qualité culinaire des blés durs sont moins nettes que pour les gliadines et gluténines LMW. Certaines sous-unités (6-8 et probablement 7-8) paraissent cependant avoir un effet davantage positif que d'autres (13-16 et 20).

Remarques: a) On rappelle que le polymorphisme des gliadines et des sous-unités gluténines, tel qu'il est mis en évidence par électrophorèse, est actuellement utilisé pour l'identification des variétés de blé dur dans les lots commerciaux.

b) A noter qu'une information comparable à celle de l'électrophorèse, notamment pour la reconnaissance des types "42" et "45" peut être obtenue au moyen des nouvelles techniques de chromatographie liquide à haute performance (HPLC) en un temps plus court (10 mn) et avec un système entièrement automatisé.

c) L'étude très approfondie des différentes familles protéiques, ne peut être réalisée qu'au moyen d'électrophorèses à 2 dimensions.

3) Relations entre l'état de surface des pâtes et la composition biochimique:

Comme cela ressort des A.C.P., il n'existe pas de relation très étroite entre la note d'état de surface des pâtes et l'appartenance au type "42" ou "45" (quasi orthogonalité de l'axe "fermeté du gluten" et de l'axe "état de surface"). Une sélection à partir du type gliadine ne permet donc pas d'isoler

à coup sûr les génotypes ayant un bon potentiel d'état de surface. Cette composante de la qualité doit être sélectionnée indépendamment.

Au niveau des diagrammes de gluténines HMW, une relation faible mais significative a été trouvée entre la présence de certains allèles (6-8) et la note d'état de surface. Il semble qu'au sein de chaque groupe ("42" ou "45"), les meilleures (ou les moins mauvaises) variétés appartiennent plus souvent au type HMW 6-8 qu'aux types 20 ou 13-16.

4) Discussion sur les bases génétiques et biochimiques de la qualité culinaire:

Les propriétés viscoélastiques du gluten de blé dur sont principalement liées au groupe de protéines (gliadines + gluténines LMW) codé par le locus Gli-B1 et, secondairement, au groupe de protéines (gluténines HMW) codé par le locus Glu-B1. Le fait qu'il n'existe dans la collection mondiale que pratiquement deux allèles pour le locus Gli-B1 (le "42" et le "45") explique le caractère bimodal de la répartition des variétés de blé dur pour le caractère viscoélasticité du gluten. Au contraire, chez le blé tendre, ce sont davantage les loci Glu que les loci Gli qui déterminent la force boulangère. Comme il existe de nombreux allèles Glu qui déterminent toute une série de niveaux de qualité, il n'existe pas chez les blés tendres deux familles très marquées comme chez les blés durs.

L'explication fondamentale de l'existence de sous-unités marqueurs (fonctionnels) de qualité réside vraisemblablement sur les propriétés physico-chimiques particulières (notamment capacité d'agrégation) de celles-ci. La présence d'une protéine déterminée est indicative d'un niveau donné de qualité. Toutefois, la taille des agrégats auxquels elle contribue est fortement fonction de facteurs agro-climatiques, notamment les conditions qui règnent en fin de maturation. Cela peut expliquer les différences de qualité observées entre différents échantillons d'une même variété.

La classification des protéines fondée sur la solubilité (albumines, globulines, gliadines, gluténines) est insuffisante pour appréhender les problèmes de qualité technologique. Une classification reposant sur les propriétés agrégatives paraît davantage appropriée (rapport agrégats/monomères plutôt que gluténines/gliadines).

L'électrophorèse permet de mettre en évidence des marqueurs d'une qualité intrinsèque car les diagrammes sont totalement indépendants des facteurs agro-climatiques. Ces résultats doivent donc intéresser avant tout le sélectionneur pour la prédiction d'un potentiel de qualité des génotypes. Il peut être dangereux d'en tirer des conclusions au niveau commercial car ils ne permettent pas d'estimer la qualité d'un lot commercial. D'autre part, l'électrophorèse sépare des constituants protéiques préalablement dissociés. Elle ne permet pas de conserver l'information qui se situe au niveau des agrégats protéiques et ne constitue donc pas un outil adapté à l'étude des propriétés fonctionnelles. Les techniques de chromatographie permettent au contraire de travailler sur des complexes protéiques davantage natifs et sont peut-être plus adaptées à l'évaluation de la qualité "commerciale" d'un échantillon.

B) L'AMIDON

On considère que l'amidon peut jouer un rôle dans l'expression de la qualité culinaire des pâtes à différents niveaux:

- contribution à la viscoélasticité de la pâte cuite et cause fondamentale du collant des pâtes,
- capacité d'absorption d'eau lors de la gélatinisation,
- compétition pour l'eau entre l'amidon et le gluten favorisant une gélatinisation plus rapide aux faibles teneurs en protéines,
- pertes à la cuisson lorsque la gélatinisation de l'amidon a lieu avant la formation par les protéines du gluten d'un réseau insoluble,
- amélioration de la qualité culinaire par la présence de petits granules (différence selon les produits de mouture) dont la température de gélatinisation est supérieure,
- qualité inférieure avec des taux élevés d'amidon endommagé,
- fermeté plus élevée lorsque l'amidon est plus riche en amylose,
- amylose libérée plus rapidement dans l'eau de cuisson chez les mauvais produits, d'où un rapport amylopectine / amylose plus élevé et apparition de pâtes plus collantes.

Cependant, jusqu'ici, aucune différence dans les propriétés de l'amidon pouvant être rendue responsable de différences de qualité n'a été observée entre variétés de blé dur. D'un point de vue génétique ou agronomique, rien ne peut donc être recommandé pour une amélioration de la qualité culinaire par le biais d'une amélioration de certaines caractéristiques de l'amidon.

C) LES LIPIDES

La teneur en lipides totaux des blés durs est de l'ordre de 1.5 à 2.0% selon les variétés. Les lipides libres représentent environ 50% des lipides totaux. Peu de travaux ont étudié l'influence des lipides sur la qualité culinaire et les résultats sont souvent contradictoires. Si l'influence améliorante de certains lipides (monoglycérides) ou surfactants ajoutés est assez bien définie le rôle des lipides natifs du blé dur est très mal compris.

Comme pour l'amidon, l'absence de variabilité génétique connue dans la composition lipidique des blés durs, empêche, pour l'instant, l'établissement de tout programme de sélection pour une composition lipidique spécifique qui serait favorable à une qualité culinaire donnée. Les recherches doivent cependant être poursuivies dans ce sens car on ne peut pas exclure que des différences, même mineures dans la composition en certaines classes lipidiques influence positivement ou négativement la qualité.

CONCLUSIONS

Un progrès considérable dans la qualité des blés durs sélectionnés en France a été accompli. De nouveaux géotypes très prometteurs sont actuellement sélectionnés dans le cadre du GIE Blé Dur.

Les progrès futurs sont liés à l'acquisition de nouvelles connaissances sur les bases physico-chimiques de la qualité.

La qualité, notamment culinaire, est une notion très complexe. Les études actuelles sur les protéines du gluten classiques devront s'accompagner de travaux sur d'autres constituants: amidon, lipides, mais aussi protéines de transfert des lipides et protéines membranaires. Des techniques plus puissantes seront mises en oeuvre: HPLC, électrophorèse bidimensionnelle, RMN,... avec informatisation de la saisie et du traitement des données.

La création de matériels génétiques originaux (lignées de substitution, aneuploïdes, isogéniques) apparaît également indispensable pour progresser dans la compréhension des bases génétiques et biochimiques de la qualité.
