

GIE BLÉ DUR

VOLET DE RECHERCHE MÉTHODOLOGIQUE SUR LES ANALYSES DE QUALITÉ ET LEURS FACTEURS DE VARIATION

RÉSULTATS DE LA TROISIÈME ANNÉE D'ÉTUDES (1992-1993)

Jean-Claude AUTRAN et Rémy AUTRAN
I.N.R.A., Unité de Technologie des Céréales
2 Place Viala. 34060 Montpellier Cedex 1

1. OBJECTIFS DE LA RECHERCHE

Au cours des deux premières années d'étude, on a établi un référentiel de qualité (6 variétés récentes x 2 lieux de cultures x 2 années) grâce à des analyses semi-industrielles. Sur cette base, on a mis en œuvre comparativement un ensemble de tests (y compris les mini-essais de type C.T.P.S.) et microtests pour apprécier les différentes composantes de la qualité culinaire, dans le but d'identifier ceux qui présentaient les meilleures corrélations avec les résultats de la méthode de référence.

Cette première phase a conduit à identifier plusieurs microtests

Au cours de la dernière année, on a débuté les études de validation

- échantillons CTPS, récolte 1993
- échantillons CTPS, récolte 1994
- échantillons du programme IRTAC Valeur Semoulière

corrélations avec méthode CTPS actuelle
classement des variétés d'après leur cotation moyenne, reconnue par l'industrie

En outre, ont commencé les essais de validation des microtests à une échelle miniaturisée, c'est-à-dire leur applicabilité à des échantillons de quelques dizaines grammes de grains.

2. APPROCHE DU PROBLÈME

Comme lors de la première année d'études, la recherche a été effectuée à partir d'un référentiel de qualité sur lequel on a appliqué des méthodes de référence et un ensemble de microtests :

A - Constitution d'un *référentiel de qualité* à partir d'un ensemble représentatif des variétés actuelles de blés durs (incluant des échantillons de différents teneurs en protéines) avec mise en œuvre de transformations semi-industrielles : fabrication de semoules dans une semoulerie expérimentale, fabrication de spaghetti dans une presse pilote, séchage dans un séchoir pilote, à deux températures différentes.

B - Sur l'ensemble des échantillons de semoules et de spaghetti obtenus, détermination des principaux paramètres de la qualité (plus particulièrement culinaire) au moyen de *méthodes de référence* : cuisson, évaluation de la viscoélasticité (Viscoélastographe) et de l'état de surface (collant et délitescence, par un jury de dégustation).

C - Sur les mêmes échantillons, *mise en œuvre comparative de l'ensemble de tous les tests* (y compris les mini-essais de type C.T.P.S.) et microtests possibles, utilisés en France ou publiés dans la littérature internationale, pour apprécier les différentes composantes de la qualité culinaire, dans le but d'identifier ceux qui présentent les meilleures corrélations avec les résultats de la méthode de référence.

3. DESCRIPTION DU MATÉRIEL D'ÉTUDE

4. RAPPEL DES MICROTTESTS UTILISÉES

4.1. Méthode de référence : essais semi-industriels

4.1.1 Comportement en mouture semi-industrielle

200 kg de blés nettoyés et conditionnés sont écrasés dans une *semoulerie semi-industrielle* (débit horaire : environ 130 kg). On détermine les rendements en semoules, farines et issues (gros sons, fins sons S, fins sons D, remoulages (en p. 100 des produits de mouture totaux).

4.1.2 Aspect des pâtes fabriquées sur presse pilote

Les pâtes ont été fabriquées dans une presse AFREM (15 kg/h). Le moule a été choisi de manière à fabriquer des spaghetti dont le diamètre soit 1,5 mm (produit sec). Le séchage a été réalisé dans une enceinte SECASI dans deux conditions différentes : 1) à *basse température*, selon un cycle de 16 heures à 55° C et, 2) à *haute température*, selon un cycle de 10 heures à 70° C, de manière à ramener leur teneur en eau à 12.5 %.

4.1.3 Essai de cuisson

4.2 Mini-essais (= protocole actuel C.T.P.S. d'appréciation de la valeur technologique des variétés de blé dur proposées à l'inscription)

4.2.1 Fabrication des semoules

Après nettoyage de 2,5 kg de blé dans un nettoyeur PETKUS, 2 kg de blé propre sont conditionnés par addition de la quantité d'eau nécessaire pour porter l'humidité du grain à 17 % (matière humide), agités pendant 1 heure et laissés au repos pendant 24 heures.

Les blés ainsi préparés sont transformés en semoules dans les conditions suivantes :

- Broyage dans un moulin BUHLER MLU 202 en trois passages. Cette opération sépare les semoules bises des sons et des farines.

- Les semoules obtenues au broyage sont ensuite désagrégées dans un moulin CHOPIN-DUBOIS CD2. Les semoules fines ($< 250 \mu$) sont récupérées.
- Les grosses semoules ($> 250 \mu$) sont purifiées sur un microsasseur DOUMAS et ensuite mélangées aux fines semoules pour constituer la semoule totale.

Le rendement en semoules totales est généralement compris entre 60 et 65 %.

4.2.2 Fabrication des spaghetti

Les semoules sont transformées en spaghetti dans une mini-presse SERCOM : 800 g sont hydratés à 45-48 % (matière sèche), malaxés 20 min à 120 tours/min et extrudés à 35° C sous une pression de 100 bars environ et sous vide partiel.

Après extrusion, les pâtes sont séchées sur canne dans une enceinte selon un cycle de 10 heures à 70° C de manière à ramener leur teneur en eau à 12,5 %.

4.2.3 Aspect et couleur des pâtes alimentaires

Les indices de brun (IB) et de jaune (IJ) sont déterminés à l'aide d'un spectro colorimètre HUNTERLAB modèle LABSCAN (géométrie 0/45, illuminant D 65, angle d'observation 10°). Ces conditions sont celles retenues par la Commission Internationale de l'Éclairage. Les résultats sont exprimés en fonction du système d'unité de mesure C.I.E. L.a.b. (racine cubique).

4.2.4 Essais de cuisson

Les spaghetti obtenus dans les conditions décrites ci-dessus sont mis à cuire de la manière suivante : 100 grammes de pâtes sèches coupées en brins de 20 cm environ sont versés dans 3 litres d'eau d'Evian salée à 7 g par litre et maintenue à franche ébullition. Le temps minimum de cuisson T est déterminé en prélevant des brins de spaghetti en cours de cuisson, en les écrasant entre deux plaques de verre et en suivant la disparition d'une ligne centrale blanche dont la présence témoigne de ce que l'amidon situé au cœur de la pâte est encore cru. La cuisson est poursuivie jusqu'à des temps : T+6 et T+11 minutes de cuisson.

a) Appréciation de l'état de surface

Aux temps de cuisson T+6 et T+11 les pâtes sont notées de 1 à 9 (1 : très mauvais, 9 : excellent) par un jury spécialisé de 3 personnes minimum sur la base des seuls caractères considérés globalement : délitescence (par référence à des photos témoins) et tendance à coller. Il n'est pas tenu compte de la couleur. On calcule la valeur moyenne de l'état de surface (ES).

$$ES = (ES (T+6) + ES (T+11))/2.$$

b) Appréciation de la viscoélasticité (fermeté des pâtes cuites).

On mesure à l'aide d'un Viscoélastographe l'épaisseur (E) des spaghetti cuits, l'épaisseur (e1) après écrasement sous une charge constante (M = 500 g) et l'épaisseur (e2) après retrait de cette charge. Les mesures sont faites aux temps T+6 et T+11 sur 5 brins de spaghetti.

Des valeurs moyennes obtenues, on déduit :

- la compressibilité ou tendreté de la pâte : $C = (E - e1)/E$
- la recouvrance relative : $R = (e2 - e1) / (E - e1)$
- l'indice de viscoélasticité : $IV = R/C \times 10$

La moyenne des valeurs des indices de viscoélasticité aux deux temps (T+6) et (T+11) est utilisée pour exprimer le résultat final, soit :

$$IV = ((IV (T+6) + IV (T+11)) / 2$$

c) Appréciation des pertes à la cuisson

La méthode consiste à cuire 50 g (P cru) de pâtes dans 1.5 litres d'eau d'Evian salée à 7 g/l pendant des temps T+6 et T+11 min. Les pâtes sont alors égouttées pendant 1 min, puis pesées (P cuit). L'eau de cuisson est homogénéisée pendant 30 sec. (Ultra Turrax) et transférée dans une éprouvette de 2 litres (Volume Vf). 25 ml de Vf sont prélevés et transférés dans une coupelle en verre tarée. Après séchage durant 2 heures dans un four infra-rouge puis 1 heure dans une étuve à 130° C, l'extrait sec est pesé (ES). Les pertes à la cuisson sont mesurées par la formule :

$$PC = \frac{(Vf/25 \times ES) - 10,5}{P \text{ cru} \times MS^*} \times 100^2$$

(MS = % de matière sèche des pâtes crues)

4.2 Microtests

4.3.1 Analyses sur les grains

a) Poids de 1000 grains

On détermine la masse en grammes de 1000 grains entiers par comptage de 30 g de blé. Le comptage est effectué à l'aide de l'appareil automatique NUMIGRAL. Les résultats sont exprimés en poids de grains secs.

b) Poids spécifique (ou poids à l'hectolitre)

c) Mitadinage

La détermination est faite sur 600 grains en comptant les grains mitadinés après les avoir coupés transversalement à l'aide du farinotome de Pohl.

d) Moucheture

On détermine le poids de grains mouchetés présents dans 20 grammes de grains propres : l'appréciation de la moucheture est visuelle. Seuls sont considérés comme mouchetés les grains qui présentent à d'autres endroits que sur le germe des colorations situées entre le brun et le noir-brunâtre (méthode BIPEA). Les résultats sont exprimés en grammes de grains mouchetés pour 100 grammes d'échantillon.

e) Teneur en protéines des grains (méthode KJELDAHL)

f) Indice de sédimentation SDS (selon AXFORD *et al.*, 1978)

4.3.2 Analyses sur les semoules :

a) Granulométrieb) Teneur en protéines (méthode KJELDAHL)c) Indice de sédimentation SDS (selon AXFORD *et al.*, 1978)d) Viscoélasticité du gluten

Extraction manuelle sur 10 g de semoule, thermoformage de l'éprouvette de gluten, mesure au Viscoélastographe (charge de 600 g) de l'épaisseur après écrasement (ou fermeté, e1), de l'épaisseur après retrait de la charge e2, de la recouvrance élastique (e2-e1), de la recouvrance relative Rr, de l'indice de Viscoélasticité IV (cf § 4.1.3 ci-dessus).

e) Glutomatic

Extraction automatique du gluten à partir de 10 g de semoule. Centrifugation du gluten obtenu dans le rotor perforé de l'appareil. Pesée de la fraction (1) du gluten qui traverse la grille du rotor et de la fraction (2) du gluten qui ne traverse pas la grille. Le total des deux fractions (1) + (2) correspond au gluten humide total. Le rapport de la fraction (2) au total (1) + (2) donne le gluten index. La masse de gluten sec total peut être également calculée après dessiccation du gluten humide.

f) Farinographe Brabender

La courbe de pétrissage est enregistrée à partir de différentes semoules auxquelles on a ajouté la même quantité d'eau (5.1 ml / 10 g de semoule). On détermine alors les paramètres classiques de la courbe du Farinographe (Figure 2).

A : consistance de la pâte, mesurée par l'ordonnée de la courbe

B : développement de la pâte (temps de formation à consistance constante)

C : stabilité de la pâte (temps pendant lequel la consistance reste constante)

D : résistance de la pâte (= B + C)

E : affaiblissement de la pâte après 12 minutes.

g) Alvéographe Chopin

La méthode utilisée est du type de celle utilisée sur les blés tendres, légèrement modifiée au niveau de l'hydratation (250 g de semoules auxquels on ajoute la quantité d'eau salée à 2.5 % nécessaire pour obtenir une hydratation finale de 42.86 %) et des conditions de pétrissage (4 min de pétrissage + 18 min de repos + 4 min de pétrissage), selon le laboratoire de la Société BARILLA. On mesure également les paramètres P, G, P/L et W.

h) Ténacité à l'Alvéographe

Méthode PANZANI, sur disques de pâtes cuits.

(Analyses réalisées par la Semoulerie de Bellevue)

i) Composition en complexes protéiques ou "profil d'agrégation"

Méthode par chromatographie d'exclusion-diffusion (ou SE-HPLC), selon DACHKEVITCH et AUTRAN (1989).

5. RÉSULTATS LA TROISIÈME ANNÉE D'ÉTUDES

5.1. Caractéristiques physiques des grains (Tableau I)

5.1.1 Masse de mille grains

Les résultats confirment que PRIMADUR, ARCOUR et CANDO sont des variétés à petits grains ; que AMBRAL a des grains moyens à assez gros ; que ARDENTE, NEODUR et surtout AGRIDUR sont des variétés à gros grains.

5.1.2 Poids spécifique ou poids à l'hectolitre

Il présente davantage de variation que l'année précédente : depuis des valeurs de l'ordre de 75 pour PRIMADUR et ARDENTE, jusqu'à plus de 85 pour AGRIDUR . CANDO se situe autour de 80, tandis que le comportement de NEODUR et AMBRAL est davantage irrégulier (76 à 85 selon les provenances).

5.1.3 Moucheture

Un degré de moucheture considérable a été trouvé chez les deux échantillons de NEODUR, ainsi que chez ceux de PRIMADUR et celui AGRIDUR 1902. Il est plus faible, mais non négligeable, chez AMBRAL et CANDO . Il est très faible chez les deux échantillons d'ARDENTE.

5.1.4 Mitadinage

Des taux élevés n'ont été observés que chez ARDENTE et PRIMADUR, ainsi que chez CANDO 118S626.

D'une façon générale, ces taux de mitadinage sont négativement corrélés à la teneur en protéines des blés (- 0,78) ou des semoules (- 0,74) (voir Tableau IX ci-dessous). Chez les variétés PRIMADUR et ARDENTE, pour lesquelles on disposait d'échantillons ayant des teneurs en protéines très différentes, on observe qu'un accroissement de la teneur en protéines correspond d'une façon générale à une baisse du taux de mitadinage. Mais le phénomène ne présente pas la même ampleur selon les variétés. Par exemple, avec des teneurs en protéines voisines de 16 %, les deux échantillons de CANDO ont des taux de mitadinage différents (18,5 et 9,8 %).

5.2. Résultats des tests technologiques (Tableaux II à VIII)

5.2.1 Rendements en semoules, farines et issues après mouture semi-industrielle (Tableau II)

La plupart des échantillons donnent des rendements en semoules de l'ordre de 75 à 80 % (maximum observé avec AGRIDUR). Comme l'année précédente, c'est la variété PRIMADUR qui donne les rendements les plus faibles (72,4 et 73,5 %). Le fait que PRIMADUR soit une variété à petits grains contribue à expliquer la légère corrélation positive (0,70) entre rendement en semoule et poids de 1000 grains. On sait toutefois, que le fait d'avoir de petits grains ne conduit pas systématiquement à un faible rendement semoulier. Ainsi, les deux échantillons de CANDO dont les masses de mille grains sont comparables à ceux de PRIMADUR donnent des rendements en semoules beaucoup plus élevés (+ 3 à + 5 %) que ceux de PRIMADUR et tout aussi élevés (75 à 78 %) que ceux de variétés à gros grains telles que ARDENTE et NEODUR.

5.2.2 Granulométrie moyenne des semoules (Tableau III)

Une certaine variabilité de ce paramètre est observée entre les semoules semi-industrielles (de 274 à 307 μm), avec des valeurs qui sont négativement corrélée ($r = -0,728$) au taux de mitadinage. En ce qui concerne les semoules des mini-essais, la granulométrie est naturellement plus faible et ne présente, entre les variétés, aucune différence significative ($253 \pm 4,9 \mu\text{m}$).

5.2.3 Couleur des spaghetti semi-industriels (Tableau IV) et mini-essais (Tableau V)

Globalement, les indices de jaunes sont beaucoup moins élevés (- 5 points) et les indices de brun plus élevés (+ 3 points que l'année précédente).

On confirme, dans une certaine mesure, les caractéristiques de coloration habituelles des variétés étudiées : indices de jaune très élevés, avec de faibles indices de brun (pâtes claires), chez CANDO et AGRIDUR ; faible indice de jaune avec un indice de brun élevé chez ARDENTE. Par contre, le comportement de PRIMADUR (indices de jaune de 40-45) est inhabituel, tandis que NEODUR a un comportement irrégulier entre ses deux échantillons. Les indices de jaune mesurés sur les différentes pâtes (pâtes industrielles séchées à 55° C, pâtes industrielles séchées à 70° C, pâtes des mini-essais séchées à 70° C) restent cependant très corrélés entre eux ($r = 0,87$ à $0,96$).

L'*indice de brun* des pâtes semi-industrielles séchées à 70° C est également bien corrélé ($0,94$) à celui des pâtes séchées à 55° C, mais apparaît, comme l'année précédente, assez peu corrélé à celui des pâtes des mini-essais ($0,67$), très probablement en raison de la différence importante de taux d'extraction des semoules entre les deux types de moutures.

L'*indice de rouge* demeure assez faible dans les conditions de séchage utilisées ($6,7$ à $8,1$ pour un séchage à 70° C) et ne permet pas de véritable discrimination entre les échantillons.

5.2.4 État de surface des spaghetti cuits (Tableau VI)

Les notes d'état de surface s'échelonnent entre 5,41 et 7,02 (semoules semi-industrielles, séchage 55° C) ; 6,59 et 7,18 (semoules semi-industrielles, séchage 70° C) ; 6,20 et 7,21 (semoules mini-essais, séchage 70° C).

Les notes sont globalement plus élevées (+ 0,6 point) dans le cas des séchages à 70° C des pâtes semi-industrielles par rapport aux séchages à 55° C. Le séchage à 70° C a cependant pour effet d'"écraser" les notes aux environs de 7,0 et de limiter ainsi la possibilité de discrimination des échantillons. S'il existe une corrélation significative ($r = 0,72$) entre les notes des spaghetti semi-industriels séchés respectivement à 55 et à 70° C, il n'y a par contre que très peu de concordance entre les essais semi-industriels et les mini-essais en raison de la faible signification des écarts de notes pour chacune de ces fabrications séchées à 70° C. Par exemple, l'échantillon PRIMADUR 2 (11,9 % de protéines) obtient la plus faible note (5,41) dans le cas du séchage à 55° C, alors que l'échantillon PRIMADUR 1 (14,9 % de protéines) obtient la meilleure note (7,02). Dans le cas du séchage à 70° C, l'écart se réduit à 0,5 point, tandis que sur les pâtes des mini-essais le classement des deux échantillons s'inverse. Mais, sur ces pâtes de mini-essais, il n'y a que 1 point d'écart entre les échantillons extrêmes, rendant le classement observé peu significatif.

5.2.5 Indice de viscoélasticité des spaghetti cuits (Tableau VII)

Les indices de viscoélasticité s'échelonnent entre 4,96 et 9,80 (semoules semi-industrielles, séchage 55° C) ; 7,26 et 12,47 (semoules semi-industrielles, séchage 70° C) ; 4,98 et 12,15 (semoules mini-essais, séchage 70° C).

Comme pour l'état de surface, les notes sont globalement plus élevées (+ 2.2 points) dans le cas du séchage à 70° C des pâtes semi-industrielles par rapport au séchage à 55° C. Cependant,

les notes moyennes sont plus faibles (- 1,4 point) chez les mini-essais par rapport aux essais semi-industriels (séchage à 70° C dans les deux cas). Contrairement à ce qui a été signalé ci-dessus pour l'état de surface, il est cependant intéressant d'observer qu'il existe ici des corrélations significatives entre les indices de viscoélasticité trouvés sur les pâtes obtenues dans les 3 types de fabrications (0,63 à 0,96).

Aussi, l'ordre de classement des variétés pour l'indice de viscoélasticité est-il très voisin entre les pâtes semi-industrielles séchées à 55 ou à 70° C (malgré le décalage des notes vers le haut pour le séchage à 70° C) : ARDENTE 4 obtient la meilleure place au classement, AMBRAL 2 la deuxième, etc. PRIMADUR 1 la onzième, PRIMADUR 2 la douzième.

5.2.6 Pertes à la cuisson et pourcentage de gonflement de la pâte (Tableau VIII)

On confirme que le niveau des pertes à la cuisson est beaucoup plus élevé dans le cas d'un séchage des pâtes à 55° C que dans le cas d'un séchage à 70° C, particulièrement pour les échantillons AGRIDUR 1902 et PRIMADUR 2, qui sont également ceux dont les notes d'état de surface sont les plus faibles. Après séchage à 55° C, le % de pertes à la cuisson est très corrélé (négativement) aux notes d'état de surface (-0,85 et -0,86) des spaghetti semi-industriels. Après séchage à 70° C, les % de pertes à la cuisson ne sont plus que de 5,9 % en moyenne, avec un très faible écart-type (1,5), de sorte qu'elles ne présentent plus de corrélation significative avec les notes de qualité culinaire.

Le pourcentage de gonflement de la pâte cuite varie naturellement de façon inverse des pertes à la cuisson ($r = -0,87$) avec également une bonne discrimination des échantillons et une corrélation très significative ($r = 0,79$) avec l'état de surface, dans le cas d'un séchage à 55° C. Par contre, pour les pâtes séchées à 70° C, les pourcentages de gonflement ($213 \% \pm 9$) ne permettent plus de différencier les échantillons.

5.3 Résultats des microtests (Tableaux IX à XVIII)

5.3.1 Teneur en protéines des blés et des semoules (Tableau IX)

L'année précédente, la teneur en protéines des blés avait été le principal critère de choix des deux échantillons de chacune des variétés à partir d'un ensemble de pré-échantillons. Dans la mesure du possible, il avait été retenu deux échantillons différant d'environ deux points de teneur en protéines, de manière à pouvoir observer des différences dans l'expression de la qualité au sein de chacune des variétés. Cette année, un tel choix n'a pas été possible pour toutes les variétés (en particulier CANDO et AGRIDUR), car le nombre d'échantillons disponibles n'était pas suffisant et que la plupart des lots (à l'exception de PRIMADUR) présentaient d'assez fortes teneurs en protéines. D'où les résultats rappelés dans le tableau IX : 15,2 % de teneur moyenne en protéines pour les blés, 14,8 % pour les semoules semi-industrielles, 14,2 % pour les semoules des mini-essais.

Comme l'année précédente, les valeurs trouvées entre ces trois séries d'échantillons sont très bien corrélées entre elles ($r = 0,983, 0,984$ et $0,985$).

5.3.2 Indice de sédimentation - SDS (Tableau X)

Mesuré sur grains broyés, sur semoules semi-industrielles, ou sur semoules mini-essais, l'indice de sédimentation - SDS permet une meilleure discrimination des échantillons que l'année précédente. Les valeurs s'échelonnent en effet de 20,0 à 40,0 ml, avec des C.V. de 22 à 26 %.

Les indices sont légèrement plus élevés (+ 1,6 ml) dans le cas des semoules semi-industrielles que sur les blés et sont également encore plus élevés (+ 1,8 ml) sur les semoules mini-essais que sur les semoules semi-industrielles. Cela n'est pas surprenant compte tenu que les valeurs absolues de cet indice demeurent toujours très influencées par la granulométrie des produits.

Comme l'année précédente, il est intéressant d'observer que les écarts entre les deux échantillons de chacune des variétés sont faibles, en dépit des différences de teneurs en protéines (voir les indices trouvés sur les grains broyés de PRIMADUR qui restent voisins malgré l'écart de près de 3 % entre les teneurs en protéines de ces grains).

Cela explique que, dans la limite de l'échantillonnage retenu cette année, il n'ait pas été trouvé de corrélation significative entre les différents indices de sédimentation et les teneurs en protéines. D'autre part, contrairement à l'année précédente, le classement des blés dans les trois séries de mesures n'est pas exactement le même. Sur grains broyés, l'ordre décroissant des indices donne le classement suivant : PRIMADUR, AGRIDUR, ARDENTE, CANDO, AMBRAL, NEODUR, sur semoules semi-industrielles : PRIMADUR, ARDENTE, AMBRAL, AGRIDUR, NEODUR, CANDO, et sur semoules mini : PRIMADUR, ARDENTE, AGRIDUR, AMBRAL, NEODUR, CANDO.

5.3.3 Viscoélasticité du gluten et "Gluten Index" (Tableaux XI et XII)

Sur les glutens extraits des semoules de mini-essais, et contrairement à ce qui a été souvent observé sur les anciennes variétés de blé dur, la recouvrance élastique e_2-e_1 ne paraît pas discriminer très nettement les échantillons entre eux. L'épaisseur après écrasement (e_1), ou encore l'épaisseur finale (e_2), ainsi que les autres modes de calcul de la viscoélasticité (R_r , recouvrance relative, ou IV, indice de viscoélasticité) opèrent une meilleure discrimination. En particulier, les valeurs de e_2 séparent très nettement les deux échantillons de CANDO (type $\gamma-42$) des autres blés durs (tous de type $\gamma-45$, tandis que IV moyen permet d'accroître encore le coefficient de variation entre les scores des différents échantillons et fait clairement apparaître :

- des échantillons à faible viscoélasticité : les deux CANDO, NEODUR V,
- des échantillons moyens : AGRIDUR 1770 et AMBRAL E,
- des échantillons à viscoélasticité élevée : les deux PRIMADUR, les deux ARDENTE, AGRIDUR 1902, NEODUR 1954 et AMBRAL V.

L'interprétation de ce classement doit cependant rester prudente car la viscoélasticité du gluten subit une influence non négligeable de la teneur en protéines des échantillons. Des corrélations négatives entre l'indice de viscoélasticité et les teneurs en protéines des blés ou des semoules ont ainsi été trouvées entre ($r = - 0,650$ à $- 0,718$), avec ainsi une viscoélasticité élevée chez les échantillons pauvres en protéines. Ce fait n'est pas surprenant puisque, à faible teneur en protéines, on a tendance à observer un rapport gluténines/gliadines plus élevé, et en conséquence, un gluten plus ferme et élastique, caractère propre aux gluténines.

Grâce à l'emploi de l'appareil Glutomatic, on a pu déterminer les pourcentages de gluten sec total et de gluten humide total (masse de gluten obtenu à partir de 10 g de semoules), ainsi qu'un "Gluten Index" (rapport entre la masse de gluten restant sur la grille de la centrifugeuse et la masse de gluten total).

Les pourcentages de gluten apparaissent naturellement corrélés aux teneurs en protéines des échantillons. Par contre, le *Gluten Index* présente des valeurs qui, tout en étant globalement corrélées (négativement) aux teneurs en protéines, discriminent fortement certains échantillons. En particulier, les deux PRIMADUR présentent des Gluten Index très élevés : 65,7 (14,9 % de protéines) et 92,6 (11,9 % de protéines), de même que les deux Agridur à 15 % de protéines (43,3

et 51,8). À l'exception de ARDENTE 4, tous les autres échantillons ont des Gluten Index proches de zéro, qu'ils aient 14% de protéines comme Ardente 4, ou 16,5 % comme Ambral E. Le gluten index paraît donc bien être un paramètre lié à la force du gluten et il est d'ailleurs positivement corrélé à la recouvrance relative et à l'indice de viscoélasticité du gluten. Mais le Gluten Index ne semble pas présenter le même type de liaison avec la teneur en protéines que ces deux derniers paramètres du gluten puisqu'il discrimine avant tout certaines variétés, même si les échantillons concernés ont des teneurs en protéines extrêmement différentes. Le Gluten Index semble donc fournir une indication davantage intrinsèque de la force du gluten.

5.3.4 Farinographe (Tableau XIII)

Parmi les 5 paramètres mesurés, il est intéressant d'observer que la consistance maximale A , la résistance ($D = B + C$), ainsi que l'affaiblissement E sur 12 min, permettent tous une bonne discrimination des échantillons. Contrairement à l'année précédente, il n'apparaît pas de corrélation nette entre le paramètre A et la teneur en protéines (bien que A soit corrélé à la masse de gluten sec). Par contre, la résistance D reste très corrélée négativement avec la teneur en protéines et l'affaiblissement E , très corrélé (positivement) avec la teneur en protéines chez les semoules des mini-essais seulement.

Dans la limite de l'échantillonnage de blés retenu, le paramètre D se trouve par ailleurs corrélé négativement à tous les paramètres qui varient comme la teneur en protéines (gluten sec et gluten humide), et positivement à tous les paramètres qui varient à l'inverse de la teneur en protéines (sédimentation-SDS, gluten index, recouvrance élastique et indice de viscoélasticité du gluten). On note également que le paramètre E est négativement relié au Gluten Index.

Le classement obtenu pour les 12 échantillons selon ces différents paramètres est intéressant. Avec la consistance maximale A , CANDO, ARDENTE et PRIMADUR n'obtiennent que de faibles valeurs (300 à 400), tandis que de fortes valeurs sont trouvées chez AGRIDUR (440-480) et surtout NEODUR (500-520) et AMBRAL (550-580). Avec la résistance D , ce sont au contraire PRIMADUR et AGRIDUR qui obtiennent de fortes valeurs (4 à 7,6), alors que AMBRAL et NEODUR ont les plus faibles (1,8 à 2,0). Avec l'affaiblissement E , le classement est inversé : faibles valeurs (<100) pour PRIMADUR et AGRIDUR, valeurs moyennes (100-125) pour CANDO, NEODUR V et ARDENTE, fortes valeurs (120-153) pour AMBRAL et NEODUR 1954.

5.3.5 Alvéographe sur semoules (type blé tendre) (Tableau XIV)

Variante de l'Alvéographe sur farine de blé tendre, la méthode utilisée ici permet de mesurer également les paramètres P , G , P/L et W d'une pâte préparée à partir de semoule de blé dur. L'expérience, réalisée seulement sur les 12 semoules semi-industrielles a conduit aux observations suivantes :

- Bonne discrimination des échantillons (P varie de 35 à 84 ; G , de 17,8 à 24,6 ; W , de 58 à 176).
- *Au sein de chacune des variétés*, W mais plus spécifiquement G , varie dans le sens de la teneur en protéines, bien que, sur l'ensemble des valeurs (lorsqu'on ne distingue pas entre les variations d'origine génétique et agronomique), il n'y ait pas de corrélation avec les teneurs en protéines.
- Le paramètre W permet de discriminer très nettement le groupe : PRIMADUR, AGRIDUR, et ARDENTE 4 ($W \geq 135$), des autres variétés : CANDO, AMBRAL, NEODUR, ARDENTE 2 ($W < 95$). Ce classement est identique à celui observé ci-dessus avec le Gluten Index. Le W de l'Alvéographe et le Gluten Index sont d'ailleurs très corrélés ($r = 0,829$). Les valeurs de W sont également positivement corrélées au paramètre D du Farinographe, à l'indice de Sédimentation-SDS, à la recouvrance du gluten ; elles sont négativement corrélées au paramètre E du Farinographe, ainsi qu'à la teneur en gluten sec.

- Le paramètre G n'est significativement corrélé à aucun des autres microtests. Il apparaît cependant très lié à la teneur en protéines de l'échantillon (variation intravariétale de la teneur en protéines), ce qui confirme les relations entre un excès de protéines obtenu par la fertilisation azotée, une synthèse accrue de fractions gliadines, et une extensibilité plus élevée de la pâte).

5.3.6 Ténacité (Alvéographe sur pâte cuite, PANZANI) (Tableau XV)

Les deux séries de résultats (semoules Panzani et semoules semi-industrielles INRA) sont en bon accord ($r = 0,82$), conduisant à un classement comparable des échantillons. Les valeurs s'échelonnent entre 16 (CANDO S864) et 50 (AMBRAL E et V, PRIMADUR 1) pour les analyses sur semoules Panzani et entre 38 (CANDO S864) et >50 (AMBRAL E et V, AGRIDUR 1770 et 1902, ARDENTE 4 et PRIMADUR 1) pour les analyses sur semoules INRA.

Avec les deux types de moutures, c'est la variété CANDO qui, en moyenne, possède les valeurs les plus faibles, bien que les échantillons à plus faibles teneurs en protéines (ARDENTE 2, PRIMADUR 2), ainsi que les deux NEODUR, présentent également des valeurs plus faibles (de 23 à 28, pour les semoules Panzani, de 42 à 46 pour les semoules INRA).

Selon la ténacité à l'Alvéographe, le classement des variétés s'établit donc de la façon suivante : CANDO < NEODUR < ARDENTE < PRIMADUR < AGRIDUR < AMBRAL. Comme dans l'Alvéographe sur semoules (§ 5.3.5 ci-dessus), la ténacité, au sein de chacune des variétés, varie dans le sens de la teneur en protéines bien que, sur l'ensemble des valeurs, il n'apparaisse pas non plus de corrélation significative avec les teneurs en protéines. A noter également la corrélation significative entre la ténacité à l'Alvéographe et le paramètre A (consistance) du Farinographe.

Comme cela ressortait de la récolte précédente, ces résultats confirment donc que le test peut discriminer, d'une part, les *géotypes ayant une faible qualité de gluten* (γ -42) et, d'autre part, les *lots de blé ayant de plus faibles teneurs en protéines*, sans pour autant que la valeur de ténacité ne soit associée à un niveau bien déterminé de teneurs en protéines.

5.3.7 Ténacité mbar (Aleurographe, I.T.C.F) (Tableau XVI)

Une interprétation parallèle à la précédente peut être faite :

- Les valeurs obtenues dans les différentes conditions (cuisson, surcuisson, ou cuisson+surcuisson ; semoules ITCF ou semoules semi-industrielles INRA) sont très corrélées entre elles : 0,708 à 0,967.

- Le classement des échantillons est assez bien conservé entre les deux types de moutures, ainsi qu'entre cuisson ou surcuisson. Les échantillons donnant les ténacités les plus élevées sont : les deux CANDO, AMBRAL E et AGRIDUR 1770 (cas des moutures ITCF) et CANDO S864, ARDENTE 4 et PRIMADUR 1 (cas des moutures INRA).

- Comparativement à la ténacité à l'Alvéographe, les résultats de l'Aleurographe sont, comme l'année précédente, tout aussi influencés par la teneur en protéines des échantillons, mais la corrélation d'ensemble avec la teneur en protéines est davantage significative (0,687 à 0,780) que dans le cas de la ténacité à l'Alvéographe.

5.3.8 Chromatographie (SE-HPLC) des protéines solubles dans le tampon phosphate-SDS (Tableau XVII)

Comme dans le cas des blés tendres, la distribution des complexes protéiques, notamment ceux de taille moléculaire élevée (pics n°1 et n°2) a été trouvée liée à la qualité technologique. Toutefois, comme chez les blés durs la solubilisation des protéines dans le tampon phosphate-

SDS est beaucoup plus complète que chez les blés tendres, on a signalé des corrélations positives et non négatives (AUTRAN *et al.*, 1988). Toutefois, en 1993, les relations trouvées sont loin d'être aussi nettes qu'en 1992. La proportion des pics 1 ou 2 n'est guère reliée qu'à l'indice de brun des pâtes, au paramètre *A* du farinographe et au % de gluten sec, la proportion du pic 3 (gliadines) étant négativement reliée à ces mêmes paramètres.

6. RELATIONS ENTRE LES TESTS DE RÉFÉRENCE DE LA QUALITÉ CULINAIRE ET LES MICROTESTS

6.1 Coefficients de corrélations entre les données brutes

Une matrice de corrélations totales est donnée sur le Tableau XVIII. Seuls les coefficients compris entre 0,553 et 1,000 y figurent (risque $\leq 5\%$).

On s'est particulièrement intéressé ci-dessous aux corrélations entre les paramètres de la qualité culinaire (déterminés au moyen des tests de référence que sont les essais technologiques semi-industriels) et l'ensemble des résultats des mini-tests et des microtests, en rappelant également les corrélations signalées dans le rapport de la campagne précédente.

6.1.1 Corrélations avec l'indice de viscoélasticité des spaghetti semi-industriels

a) Séchage à 55° C

	r = (1993)	r = (rappel 1992)
Teneur en protéines du blé	0,616	0,852
Teneur en protéines de la semoule	0,571	0,886
Indice de brun des pâtes séchées à 55° C	N.S.0,642	
Indice de brun des pâtes séchées à 70° C	N.S.0,769	
Aleurographe (cuisson)	N.S.0,692	
Aleurographe (surcuisson)	N.S.0,723	
Farinographe (consistance A)	N.S.0,889	
Farinographe (résistance D)	- 0,586	- 0,679
Farinographe (affaiblissement E)	N.S.0,601	
Gluten Index (Glutomatic)	- 0,575	-
Gluten total (Glutomatic)	0,606	-
Granulométrie des semoules	0,628	N.S.
Mitadinage	N.S.- 0,773	
Rendement en semoules	0,741	0,660
Poids de 1000 grains	0,623	0,620

b) Séchage à 70° C

	r = (1993)	r = (rappel 1992)
Teneur en protéines du blé	0,596	0,883
Teneur en protéines de la semoule	0,569	0,936
Indice de brun des pâtes séchées à 70° C	N.S.0,635	

Aleurographe semoule INRA (cuisson)	N.S.0,748	
Aleurographe semoules INRA (surcuisson)	N.S.0,719	
Aleurographe blé (cuisson)	N.S.0,727	
Aleurographe blé (surcuisson)	N.S.0,753	
Farinographe (consistance A)	N.S.0,759	
Farinographe (durée D)	- 0,648	- 0,790
Farinographe (affaiblissement E)	0,576	N.S.
Gluten Index (Glutomatic)	- 0,647	-
Gluten total (Glutomatic)	0,557	-
Rendement en semoules	0,583	0,786
Mitadinage	N.S.- 0,767	

On observe sur les résultats 1993 que la teneur en protéines de l'échantillon de blé ou de semoule apporte toujours une contribution importante à l'explication du paramètre viscoélasticité du spaghetti cuit, mais à un niveau sensiblement plus faible qu'en 1992. Cela vient du fait que les échantillons de 1993 ont un niveau moyen de teneur en protéines de 15 %, beaucoup plus élevé qu'en 1992 (13,5 %) et que, d'autre part, les échantillons de trois des six variétés de 1993 ont des teneurs en protéines très peu différentes. Des teneurs moyennes aussi élevées en protéines ne sont pas limitantes pour la qualité culinaire, ce qui explique pourquoi l'effet de la teneur en protéines n'est pas sensiblement différent entre les séchages à 55° et à 70°, contrairement à ce qui est généralement observé (voir résultats de 1992).

6.1.2 Corrélations avec l'état de surface des spaghetti semi-industriels

a) <u>Séchage à 55° C</u>	r = (1993)	r = (rappel 1992)
Teneur en protéines du blé	N.S.0,768	
Teneur en protéines de la semoule	0,608	0,747
Indice de viscoélasticité (55° C)	N.S.0,852	
Indice de viscoélasticité (mini-essais) 70° C	0,664	0,825
Aleurographe sem. (c+sc)	0,568	N.S.
Aleurographe blé (surcuisson)	N.S.0,606	
Consistance au Farinographe (A)	N.S.0,650	
Résistance au Farinographe (D)	N.S.-0,646	
Affaiblissement au Farinographe (E)	0,571	N.S.
Pertes à la cuisson (séchage 55° C)	- 0,853	N.S.
Gonflement de la pâte (séchage 55° C)	0,787	N.S.
Sédimentation SDS	N.S.-0,566	
Rendement en semoules	N.S.0,636	
Mitadinage	N.S.- 0,843	
b) <u>Séchage à 70° C</u>		
	r = (1993)	r = (rappel 1992)
Note d'état de surface 55° C	0,724	0,691
Indice de viscoélasticité (semi-ind.) 70° C	N.S.0,733	

Indice de viscoélasticité (mini-essais) 70° C	0,720	0,713
Teneur en protéines du blé	0,712	0,857
Teneur en protéines de la semoule	0,748	0,713
Aleurographe (cuisson)	0,714	0,652
Résistance au Farinographe (D)	-0,554	N.S.
Affaiblissement au Farinographe (E)	0,598	N.S.
Gluten Index	-0,675	-
Indice de viscoélasticité du gluten	N.S.- 0,570	
Pertes à la cuisson (séchage à 55° C)	-0,658	-
Gonflement de la pâte (séchage à 55° C)	0,737	-
Mitadinage	N.S.	- 0,677

A partir des résultats de 1993, dans la limite de l'échantillonnage utilisé, et compte tenu du niveau moyen élevé de teneurs en protéines, s'il apparaît bien une relation entre l'état de surface des pâtes semi-industrielles séchées respectivement à 70° C et à 55° C, aucune relation significative n'a été trouvée entre les notes de pâtes semi-industrielles 70° C et les notes de pâtes des mini-essais 70° C. Mis à part le dosage des protéines du blé ou de la semoule, les tests dont les résultats sont corrélés avec l'état de surface des pâtes semi-industrielles sont les suivants : le gonflement de la pâte ($r = 0,737$), les pertes à la cuisson ($r = -0,658$), la ténacité à l'Aleurographe ($r = 0,714$), le Gluten Index ($r = -0,675$), l'affaiblissement au Farinographe ($r = 0,598$).

6.2 Influence de la teneur en protéines

Cette année, compte tenu de son niveau globalement élevé, la teneur en protéines n'a pas un poids aussi considérable qu'en 1992 sur les écarts de notes de qualité culinaire entre les échantillons analysés. D'autre part, on ne retrouve pas que la teneur en protéines ait un effet plus fort sur l'indice de viscoélasticité que sur l'état de surface.

Comme en 1992, on peut cependant distinguer entre :

- les tests dont les résultats sont très corrélés positivement à la teneur en protéines :

- Ténacité mbar Aleurographe (cuisson)	0,750	
- Ténacité mbar Aleurographe (surcuisson)	0,753	
- Ténacité mbar Aleurographe (cuisson + surcuisson)	0,774	
- Gluten sec	0,687	
- Gluten humide		0,859
- Farinographe (affaiblissement E)	0,716	

- les tests dont les résultats sont très corrélés (mais négativement) à la teneur en protéines de la semoule ou du grain :

- Farinographe (résistance D)	- 0,753
- Indice de viscoélasticité du gluten	- 0,672
- Gluten Index	- 0,735
- Mitadinage	- 0,778

- les tests dont les résultats n'apparaissent pas très corrélés *globalement* à la teneur en protéines mais qui, au sein de chaque variété, réagissent à la teneur en protéines de l'échantillon. C'est notamment le cas de :

- Ténacité à l'Alvéographe
- W , P et G de l'Alvéographe sur semoules
- Indice de sédimentation - SDS.

6.3 Tentative d'élimination de l'effet de la teneur en protéines

Compte tenu que l'objectif principal de ce travail concerne les méthodes d'appréciation de la qualité à l'usage de la sélection, il convenait de pouvoir *distinguer clairement entre la qualité culinaire de l'échantillon de blé ou de semoule, et la part de cette qualité revenant purement au génotype ou "potentiel culinaire" de la variété.*

Les principaux résultats des tests visant à l'appréciation de la qualité culinaire ont donc été réexaminés en faisant le rapport entre chacune des valeurs et la teneur en protéines de l'échantillon de blé initial (sur la base d'une hypothèse de linéarité de réponse du test par rapport à la teneur en protéines). Plus exactement, les notes ont été recalculées pour une teneur en protéines équivalente à la teneur moyenne de 15 %.

Une autre matrice de corrélations a donc été obtenue (Tableau XX), faisant apparaître des résultats totalement différents de celle obtenue à partir des données brutes non corrigées des différences de teneur en protéines.

6.3.1 Corrélations entre les résultats des différents microtests

Des corrélations positives très significatives entre les résultats de plusieurs microtests d'appréciation de la "qualité" des protéines peuvent être observées, confirmant les résultats de 1992. Le paramètre D (résistance au Farinographe sur semoules mini-essais apparaît ainsi corrélé avec les résultats de : sédimentation-SDS sur blé ($r = 0,839$) et sur semoules ($r = 0,928$), de l'Aleurographe cuisson+ surcuisson ($r = 0,814$), du Gluten Index ($r = 0,959$), de l'indice de viscoélasticité du gluten ($r = 0,810$), du W ($r = 0,869$) ou du G ($r = 0,785$) de l'Alvéographe sur semoules, etc.

Les paramètres de viscoélasticité du gluten sont très corrélés aux différents résultats de la sédimentation SDS sur blé ou sur semoules ($r = 0,833$ à $0,851$), au Gluten Index ($r = 0,749$), à la ténacité à l'Alvéographe ($r = 0,765$, au W ($r = 0,772$) ou au P ($r = 0,811$) de l'Alvéographe sur semoules, au % de pic n° 2 de l'HPLC ($r = 0,754$), etc.

La ténacité (Alvéographe sur pâte cuite) est corrélée aux résultats des paramètres A ($r = 0,669$) et D ($0,731$) du Farinographe, à la sédimentation-SDS ($r = 0,742$), au Gluten Index ($r = 0,783$), à la recouvrance relative du gluten ($r = 0,788$).

La ténacité à l'Aleurographe -cuisson+surcuisson- donne des résultats également très corrélés avec le paramètre D du Farinographe ($0,814$), la sédimentation-SDS ($0,861$ à $0,886$), au W ($r = 0,734$) et au G ($r = 0,796$) de l'Alvéographe (sur semoules).

6.3.2 Corrélations avec les notes de référence de la qualité culinaire

a) Indice de viscoélasticité des spaghetti

Abstraction faite de la teneur en protéines du blé, l'indice de viscoélasticité des pâtes semi-industrielles ne présente de corrélation significative qu'avec l'indice G de l'alvéographe sur semoules ($r = -0,682$) et avec le poids de 1000 grains ($r = 0,569$). D'autres tendances, qui sont à la limite de la signification statistique et qui n'apparaissent pas sur le Tableau XX, ont été décelées ; en particulier, une relation négative entre l'indice de viscoélasticité et les paramètres D du Farinographe, le Gluten Index, l'indice de sédimentation-SDS et la ténacité à l'Aleurographe, tout ceci confirmant les observations effectuées en 1992. Par contre, pour un séchage à 70°C , aucune corrélation significative n'est observée et seules les tendances signalées ci-dessus pour les pâtes séchées à 55°C se retrouvent.

Si l'on examine cependant les notes obtenues sur les pâtes des mini-essais (bien que celles-ci ne puissent être considérées comme des notes de référence), de nombreuses relations sont observées, la plupart négatives, avec notamment : le paramètre D du Farinographe, le Gluten Index, le W de l'Alvéographe sur semoules, la ténacité à l'Aleurographe, etc.

b) État de surface des spaghetti

Si l'on prend comme référence les notes d'état de surface des pâtes séchées à 70°C , de nombreuses corrélations significatives (positives) sont observées : avec la ténacité à l'Aleurographe - cuisson ($r = 0,813$), le paramètre D du Farinographe ($r = 0,824$), la sédimentation-SDS ($r = 0,788$ à $0,828$), le Gluten Index ($r = 0,704$), l'indice de viscoélasticité du gluten ($r = 0,796$), le W ($0,610$) ou le G ($0,798$) de l'Alvéographe sur semoules, les % des pics 2 et 3 de l'HPLC ($r = 0,633$ et $0,661$), et même avec des critères comme le rendement semoulier, la granulométrie des semoules, le poids à l'hectolitre, etc. On observe aussi (même abstraction faite de la teneur en protéines) des relations étroites entre l'état de surface et les pertes à la cuisson et le gonflement des pâtes. Il est enfin intéressant d'observer qu'aucune des mesures de l'état de surface des spaghetti n'est corrélée aux indices de viscoélasticité de ces mêmes spaghetti. La relation (par exemple dans les cas d'un séchage à 70°C), qui était légèrement positive avec les notes brutes, tend à devenir légèrement négative ($r = -0,493$) lorsqu'on fait abstraction des teneurs en protéines.

Indépendamment de la teneur en protéines du blé, on confirme donc les observations de 1992, à savoir que les paramètres de la qualité culinaire apparaissent dans une certaine mesure explicables par les résultats de plusieurs tests de nature rhéologique, qui visent habituellement à apprécier la "qualité" des protéines.

En fait, et contrairement à ce qu'on observe sur les notes brutes non corrigées des différences de teneur en protéines, la plupart des microtests utilisés montrent des corrélations à tendance plutôt *négative* avec les notes de viscoélasticité de la pâte et à tendance plutôt *positive* avec les notes d'état de surface de la pâte, comme cela avait d'ailleurs été noté en 1992.

Compte tenu de l'effet globalement positif de la teneur en protéines sur l'indice de viscoélasticité et sur l'état de surface, on doit faire une distinction claire entre les microtests qui sont explicatifs du *potentiel culinaire* des variétés, et les microtests qui sont explicatifs de la qualité culinaire simplement en raison de leur relation propre avec la teneur en protéines des échantillons.

Ainsi, la *teneur en gluten sec* ou en *gluten humide*, de même que le *paramètre E (affaiblissement) du Farinographe* sont des facteurs favorables à l'état de surface et à la viscoélasticité en raison de leur forte liaison avec la teneur en protéines. Ils ne permettent cependant aucune prédiction du potentiel culinaire des variétés.

Au contraire, le *G* de l'Alvéographe ou l'indice de sédimentation-SDS, qui sont relativement peu liés à la teneur en protéines des échantillons et qui n'apparaissent pas nettement corrélés aux notes brutes de qualité culinaire, permettent une bonne prédiction du potentiel culinaire, des valeurs élevées étant favorables à un bon état de surface de la pâte, quoiqu'également liées à une plus faible viscoélasticité du spaghetti dans le cas du *G*.

De la même façon, le paramètre *D* du Farinographe, le *Gluten Index* et la viscoélasticité du gluten (au Viscoélastographe), bien qu'étant influencés de manière significative (et négative) par la teneur en protéines, permettent néanmoins une bonne prédiction du potentiel culinaire. Des valeurs élevées de ces paramètres sont favorables à un bon état de surface de la pâte, tout en étant relativement neutres quant à la viscoélasticité du spaghetti.

Tous les résultats ci-dessus confirment pleinement les conclusions de la première année d'études pour tout ce qui concerne la prédiction de l'état de surface. Pour ce qui concerne la composante viscoélasticité de la pâte, les résultats corrigés des écarts de teneurs en protéines sont moins nets qu'en 1992. Mais cela n'en est que plus encourageant en raison du fort antagonisme entre l'état de surface et la viscoélasticité qui se dégageait des résultats de la première année d'études. Des résultats de 1993, il apparaît en effet possible de s'appuyer sur un ou plusieurs microtests pour prédire l'état de surface, sans avoir d'effet opposé sur la viscoélasticité.

D'autres critères pourraient également contribuer à une prédiction de la qualité, par exemple le *W* de l'Alvéographe ou encore le pourcentage des pics 2 et 3 de l'HPLC, mais la faible signification des résultats de 1993 impose de garder encore ces tests "en observation".

7. CONCLUSIONS À L'ISSUE DE LA DEUXIÈME ANNÉE

Des difficultés comparables à celles de 1992 dans l'évaluation de la qualité culinaire, et surtout dans la discrimination des échantillons, ont été notées. Contrairement au panorama traditionnel des variétés des années 70-80, on n'est plus actuellement en présence d'une distribution bimodale entre variétés de types γ -42 et γ -45 dont la qualité (couleur, qualité du gluten) était bien typée. Le niveau général de qualité (couleur et qualité culinaire) s'est accru et les différences entre lignées - toutes de type γ -45 - est faible. En outre, l'introduction du séchage des pâtes à 70° C dans l'industrie, ainsi que dans le protocole d'évaluation C.T.P.S., a encore contribué à réduire les écarts de notes de qualité culinaire.

Il était donc bien nécessaire de reprendre une telle étude de réactualisation des méthodes en intégrant à la fois les nouvelles variétés et les nouvelles technologies.

Les conclusions, doivent naturellement rester encore prudentes. Toutefois, les recoupements de tendances observés entre les deux années d'étude permettent d'avancer des conclusions plus précises qu'après la seule année 1992.

Une appréciation satisfaisante de la qualité culinaire des échantillons de blés examinés dans ce programme apparaît possible à partir des protéines et de un ou deux microtests complémentaires, tandis qu'une prédiction du potentiel culinaire des génotypes apparaît *a priori* également possible à partir de microtests tels que le Farinographe (paramètre *D* : résistance), l'Alvéographe sur semoules (paramètre *G*) et la sédimentation-SDS.

8. PERSPECTIVES

A court terme, nous allons travailler à affiner les conclusions précédentes en réalisant des simulations plus précises intégrant les résultats des deux années :

- moyennes des notes obtenues sur les deux années,
- classement comparatif des variétés à partir des notes de référence de la qualité culinaire et à partir des microtests proposés,
- étude de l'intérêt de calculer des équations de prédiction.

Une synthèse de ces résultats pourra être présentée prochainement au cours d'une réunion commune GIE Blé Dur / CTPS.

La question se pose cependant de pouvoir extrapoler avec certitude les relations trouvées à partir du plan d'expérience limité mis en œuvre en 1992-1993 (6 variétés x 2 origines x 2 années) à des échantillons en cours de sélection ou d'inscription.

C'est pourquoi la *phase suivante du programme* de recherche sur la qualité culinaire doit avoir pour objectif numéro 1 de rechercher la *validation* des résultats obtenus à partir des microtests les plus prometteurs sur un grand nombre d'échantillons incluant les lignées en cours d'étude au CTPS ou au GIE Blé Dur, les variétés en cours d'étude dans les programmes IRTAC, des échantillons industriels. Un autre objectif doit être également l'étude approfondie du pouvoir prédictif de méthodes rapides telle que la sédimentation-SDS, la seule (avec le dosage des protéines) à pouvoir être appliquée en grandes séries sur des grains de blés et donc en sélection précoce et sur des ressources génétiques.

TABLEAU XVIII

Matrice des corrélations avec sélection des coefficients compris entre 0,553 et 1,000 (risque ² 5 %)

(Données brutes, non corrigées par la teneur en protéines)

TABLEAU XX

ABRÉVIATIONS UTILISÉES DANS LA MATRICE DES CORRÉLATIONS

TABLEAU I	TABLEAU II	TABLEAU III
TABLEAU IV	TABLEAU V	TABLEAU VI
TABLEAU VII	TABLEAU VIII	TABLEAU IX
TABLEAU X	TABLEAU XI	TABLEAU XII
TABLEAU XIII	TABLEAU XIV	TABLEAU XV
TABLEAU XVI	TABLEAU XVII	TABLEAU XVIII
TABLEAU XIX	TABLEAU XX	TABLEAU XXI
TABLEAU XXII	TABLEAU XXIII	TABLEAU XXIV
TABLEAU XXV	TABLEAU XXVI	TABLEAU XXVII
TABLEAU XXVIII	TABLEAU XXIX	TABLEAU XXX
FIGURE 1	FIGURE 2	FIGURE 3

TABLEAU XX

Matrice des corrélations entre les résultats des principaux tests d'appréciation de la qualité culinaire

(Données corrigées par la teneur en protéines)

FIGURE 2

**Interprétation de la courbe du Farinographe Brabender
(d'après MAUZE et al., 1972)**

TABLEAU XIX

ABRÉVIATIONS UTILISÉES DANS LA MATRICE DE CORRÉLATIONS

1.	ES 55	État de surface	pâtes semi-industrielles, séchage 55° C
2.	ESI70	"	" " " 70° C
3.	ESM70	"	pâtes mini-essais " " 55° C
4.	IVI55	Indice de viscoélasticité	pâtes semi-industrielles, séchage 55° C
5.	IVI70	"	" " " " 70° C
6.	IVM70	"	pâtes mini-essais " " 70° C
7.	IJI55	Indice de jaune	pâtes semi-industrielles, séchage 55° C
8.	IJI70	"	" " " 70° C
9.	IJM70	"	"pâtes mini-essais " 70° C
10.	IBI55	Indice de brun	pâtes semi-industrielles, séchage 55° C
11.	IBI70	"	" " " 70° C
12.	IBM70	"	"pâtes mini-essais " 70° C
13.	PROTB	Taux de protéines	blé
14.	PROTI	"	semoule semi-industrielle
15.	PROTM	"	semoule mini-essais
16.	ALSC	Aleurographe	semoule semi-industrielle cuisson
17.	ALSS	"	semoule semi-industrielle surcuisson
18.	ALSCS	"	semoule semi-industrielle cuisson+surcuisson
19.	ALBC	"	blé cuisson
20.	ALBS	"	blé surcuisson
21.	ALBCS	"	blé cuisson+surcuisson
22.	FSI-A	Farinographe	semoule semi-industrielle : A, consistance
23.	FSI-D	"	" " : D, durée de résist.
24.	FSI-E	"	" " : E, affaiblissement
25.	FSM-A	"	semoule mini-essais : A, consistance
26.	FSM-D	"	" " : D, durée de résist.
27.	FSM-E	"	" " : E, affaiblissement
28.	SDSBL		blé
29.	SDSSI	Sédimentation-SDS	semoule semi-industrielle
30.	SDSSM		semoule mini-essais
31.	GLSGI	Gluten, semoule semi-indus.	Gluten Index
32.	GLSGS	"	Gluten sec
33.	GLSGT	"	Gluten total
34.	GLMEE	Gluten, semoule mini-essais	e2-e1, recouvrance élastique
35.	GLMRR	"	Rr, recouvrance relative
36.	GLMIV	"	IV, indice de viscoélasticité

37.	TENBL	Ténacité, Panzani	blé
38.	TENSI	"	semoule semi-industrielle
39.	AVSIW	Alvéographe, semoule semi-industrielle	<i>W</i>
40.	AVSIG	"	<i>G</i>
41.	AVSIP	"	<i>P</i>
42.	GRANI	Granulométrie, semoule semi-industrielle	
43.	GRANM	"	mini-essais
44.	RDT-S	Rendement semoulerie	
45.	MITAD	Taux de mitadinage	
46.	MOUCH	Taux de moucheture	
47.	P1000	Poids de 1000 grains	
48.	P-HL	Poids à l'hectolitre	
49.	PCI55	Pertes à la cuisson, pâtes semi-industrielles, séchage	55° C
50.	PCI70	"	70° C
51.	PCI55	Gonflement, pâtes semi-industrielles, séchage	55° C
52.	PCI70	"	70° C
53.	HPCI1	SE-HPLC semoule semi-industrielle	% pic 1
54.	HPCI2	"	% pic 2
55.	HPCI3	"	% pic 3