

## La dureté des blés : état des connaissances actuelles

J. ABECASSIS<sup>1</sup>, F. MABILLE<sup>1,2</sup>, Y. HADDAD<sup>2</sup>, J-C. AUTRAN<sup>1</sup>, J-C. BENET<sup>2</sup>

### Résumé

En France, la notion de dureté des blés reste encore difficile à appréhender. Elle est souvent confondue avec la vitrosité et parfois même avec la force d'une farine. En fait, la dureté dépend essentiellement de l'origine génétique des blés et correspond à la plus ou moins grande friabilité de l'albumen des grains. C'est pourquoi, la dureté exerce une influence très importante sur le comportement en mouture des blés ainsi que sur le rendement de chaque fraction. Toutefois, le rendement en farine totale ne dépend pas de la dureté des blés. En agissant sur le degré de dissociation des particules, la granulométrie et le taux d'amidon endommagé de la farine, ce caractère exerce aussi une influence primordiale sur les propriétés d'hydratation des farines, en particulier dans le cas de pâtes peu hydratées. Cependant la dureté n'influe pas directement sur la force des farines qui reste déterminée principalement par les protéines de réserve. Compte tenu de la mondialisation des marchés, il apparaît aujourd'hui inévitable de prendre en compte la dureté comme critère de classement des blés.

### Summary

*In France, the concept of grain hardness still remains to be fully elucidated. It was often mistaken for vitreousness and even for strength of a flour. In fact, hardness essentially depends on genetic origine of wheats and is defined as the more or less friable characteristics of endosperm. Consequently, hardness strongly influences the milling behaviour of wheats as well as the yield in each milling fraction, although the yield in total flour is not associated with kernel hardness. By acting on the degree of disaggregation of particles, granulometry and starch damage, hardness primarily affects flour hydration, especially in low-hydration doughs. However, hardness does not influence flour strength, which remains mainly determined by the composition in storage proteins. Taking into account the world-wide market, it is highly recommended to include hardness in the system of wheat grading.*

### Introduction

Les bases biochimiques de la dureté des blés représentent un des quelques problèmes de la chimie céréalière qui restent encore énigmatiques et sujets de controverse. Ces propos tenus par Pomeranz

(1990) restent encore d'actualité mais ne suffisent pas à illustrer la difficulté des milieux céréalières français pour appréhender le problème de la dureté des blés. En effet, en France, la dureté reste un terme mal défini et une certaine confusion existe entre les termes dureté, vitrosité et même blé de force.

Vitrosité et dureté sont les deux termes utilisés pour caractériser la texture et la structure de l'albumen. Mais la dureté qui est une propriété mécanique ne découle pas directement de la vitrosité qui est une propriété optique. Il suffit pour s'en convaincre de comparer les proprié-

tés mécaniques d'un blé dur (*durum*) avec celle d'un blé tendre même entièrement vitreux. En fait, la vitrosité est fortement liée aux conditions de culture alors que la dureté reste, elle, une caractéristique essentiellement contrôlée par le patrimoine génétique de la plante. On confond également « dureté » et « blé de force », mais la force d'un blé ne se rapporte pas à ses propriétés mécaniques mais davantage aux propriétés fonctionnelles de la farine qui en est issue.

Plusieurs propriétés texturales ainsi que le comportement en mouture dépendent directement de la dureté des blés, en particulier le mode de

1 - INRA Unité de Technologie des Céréales  
2, place P. Viala 34060 Montpellier Cedex.

2 - CNRS Laboratoire de mécanique et  
génie civil - UM II - Place E. Bataillon  
34090 Montpellier.

propagation de la fracture dans le grain, la taille des particules obtenues, ainsi que le comportement des produits au cours du tamisage. Cependant, il n'existe pas de terminologie française pour distinguer les blés suivant leur dureté. On doit faire appel à une terminologie anglo-saxonne qui, elle, distingue traditionnellement les blés « hard », des blés « soft ». Cette absence de vocabulaire est significative de la méconnaissance que nous avons en France de cette caractéristique, mais en se plaçant d'un strict point de vue meunier, il conviendrait pourtant de distinguer les blés friables (ou soft) des blés non friables ou résistants (hard), c'est cette terminologie que nous adopterons dans le texte.

Après quelques rappels généraux, l'objet de cette communication visera à discuter l'incidence de la dureté des blés sur leur valeur meunière, puis sur la valeur d'utilisation des farines avant de faire le point sur les recherches en cours et proposer quelques recommandations. Les résultats présentés dans cet article ont été obtenus pour l'essentiel dans le cadre d'un programme interprofessionnel coordonné par l'IRTAC et financé par le Ministère de la Recherche et de l'Enseignement Supérieur.

## Influence des facteurs génétiques et agronomiques

Un très grand nombre de méthodes d'appréciation ont été décrites, notamment dans les pays anglo-saxons pour mesurer la dureté des blés (Mahaut, 1993). Mais, aujourd'hui deux méthodes sont devenues d'usage courant. Ce sont le PSI et la dureté mesurée par spectroscopie infrarouge. Le PSI est mesuré en broyant les blés dans des conditions standardisées et en mesurant le pourcentage de produit qui a traversé le tamis de 75 µm (AACC, 1980). Par spectroscopie infrarouge, la dureté est déterminée sur blé broyé suivant une équation qui prend en compte 2 longueurs d'onde à 1680 et à 2230 nanomètres (AACC, 1989). Ces deux méthodes

sont fortement corrélées. La **figure 1** montre la relation entre les 2 méthodes pour quelques variétés françaises. Quelle que soit la méthode utilisée, on dispose d'une échelle d'évaluation de la dureté qui peut s'étaler sur 6 à 8 classes.

La **figure 2** montre l'influence des facteurs génétiques et agronomiques sur la dureté des blés. La dureté est une caractéristique qui dépend principalement du patrimoine génétique. Placée dans les mêmes conditions agronomiques, la variété Delfi possède une dureté systématiquement plus élevée que la variété Artaban, qui elle-même possède une dureté plus élevée qu'Apollo. Cependant, il ressort aussi qu'un accroissement de l'apport azoté entre 0 et 240 kg/ha entraîne une augmentation de la dureté des blés. La réponse en seuil observée – pas de modification de la dureté en-deçà d'un apport de 50 unités d'azote et au-delà de 180 uni-

Relation entre les mesures de dureté suivant les méthodes PSI et NIR

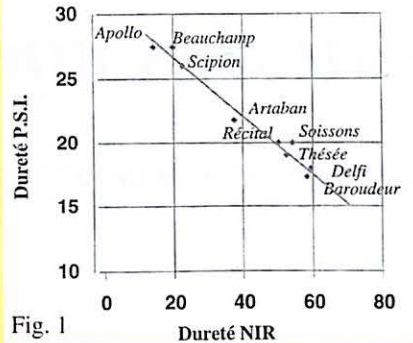


Fig. 1

tés avec une transition nette entre 50 et 180 unités d'azote – met en évidence une probable modification de la structure de l'albumen des grains avec l'accroissement de la teneur en protéines (Willm, 1995). Cette augmentation qui peut faire passer les échantillons dans la classe adjacente ne remet cependant pas en cause le classement variétal.

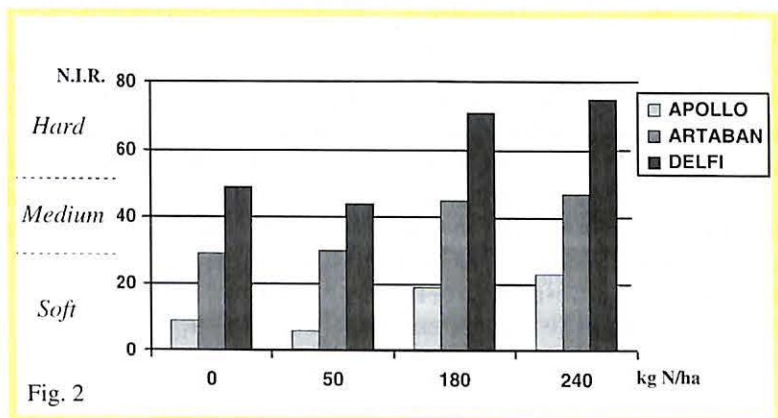


Fig. 2

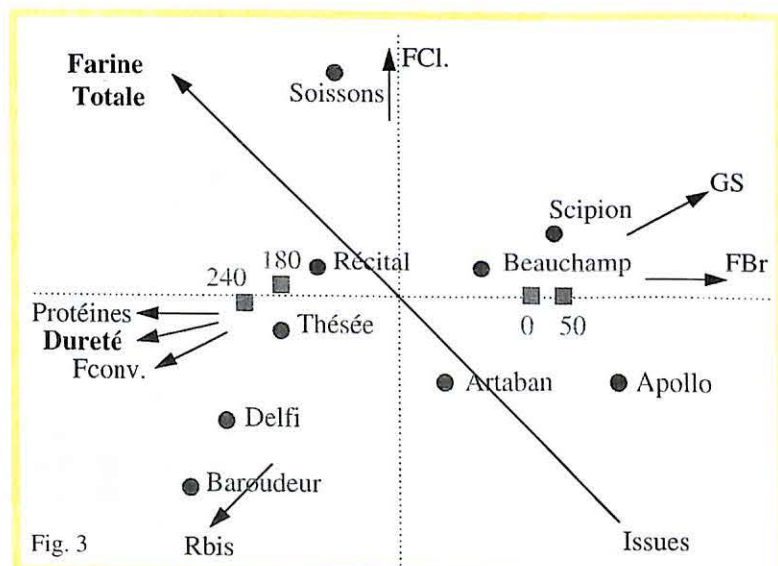


Fig. 3

## Comportement en mouture et rendement en farine

La texture des grains exerce une grande influence sur la première transformation des blés, en particulier sur leur mode de préparation, leur comportement en mouture et les caractéristiques des produits finis.

En ce qui concerne la préparation des blés, la dureté n'exerce qu'une influence modérée sur la vitesse de pénétration de l'eau dans le grain (Hinton, 1955). Celle-ci dépend davantage de la vitrosité et de la teneur en protéines des blés. Les blés vitreux et riches en protéines ont une plus forte capacité d'hydratation mais une vitesse d'hydratation plus lente (Stenvert et Kingswood, 1976). Les blés à teneur en protéines élevée nécessitent donc une teneur en eau plus élevée et un temps de repos plus long. Toutefois, dans les conditions de préparation industrielle, il ne semble pas possible de modifier la texture de l'albumen de manière à amener les propriétés mécaniques de tous les grains dans un même état. Si bien qu'au moment de la mouture, des comportements différents subsisteront en fonction de la dureté des blés.

La première différence significative suivant la texture du blé, apparaît dans le mode de propagation de la fracture dans le grain. Au cours du broyage avec les blés résistants, la ligne de fracture suit les parois cellulaires de l'albumen, alors qu'avec un blé friable, la fracture se fait au travers des cellules (Davis et Eustace, 1984). Dans les derniers

passages, quand les cannelures sont près de la couche à aleurone, la séparation entre l'amande et la couche à aleurone est plus nette dans le cas du blé résistant, mais avec le risque qu'une partie des enveloppes se trouve réduite en particules plus fines. Dans le cas des blés friables, la fracture passant au travers des cellules, une partie de l'albumen va rester adhérente aux enveloppes et limiter parfois l'épuisement des issues.

Il existe une relation entre la dureté et la facilité de tamisage. Les blés les plus durs donnent un spectre granulométrique étendu de particules de forme régulière s'écoulant bien. Les blés friables conduisent à un grand nombre de très petites particules (Berg, 1947). En dessous d'un certain seuil de dureté, la densité apparente diminue, ce qui entraîne une mobilité moindre des particules et donc une moins bonne aptitude au tamisage. La présence de particules de taille inférieure à 10 µm est souvent considérée comme la cause première d'une porosité élevée et de mauvaises propriétés d'écoulement.

Les blés les plus résistants requièrent néanmoins une plus grande dépense énergétique pour être réduits en farine. Selon Kilborn et al. (1982), l'énergie de mouture passerait de 12,9 Wh/kg pour un blé friable à 34,5 Wh/kg pour un blé dur (CWAD). Même si ces valeurs mesurées sur des moulins de laboratoire doivent être minimisées en passant sur des moulins industriels, il n'en demeure pas moins que la mise en mouture de blés résistants nécessite à la fois un plus grand nombre de

machines de réduction et une plus grande dépense énergétique.

Mais la question de l'influence de la dureté sur le rendement en mouture reste aujourd'hui encore controversée. Les travaux rapportés par différents auteurs présentent des résultats souvent contradictoires (Bolling et Zwingelberg, 1965 ; Chesterfield, 1970 ; Fowler et de la Roche, 1975). Cet aspect a été plus particulièrement étudié dans le cadre du programme IRTAC sur la valeur meunière et la valeur semoulière des blés (Abecassis et Willm, 1996). Le **figure 3** présente un résumé des principaux résultats obtenus. Une analyse en composantes principales a été réalisée à partir des valeurs moyennes de 9 variétés cultivées suivant 4 modalités d'apports d'azote et des valeurs moyennes de l'ensemble des blés pour un même apport azoté. Sur l'axe 1, très lié à la teneur en protéines, se placent les 4 lieux de culture. Le rendement en farine totale est représenté par la 3<sup>e</sup> bissectrice. Les variétés se répartissent de part et d'autre de cet axe : à gauche, les variétés résistantes, à droite les variétés friables. La projection des variétés sur l'axe du rendement en farine totale ne fait pas apparaître de différence significative en fonction de la dureté en ce qui concerne le rendement en farine totale. Néanmoins, il apparaît de grandes différences de rendement entre les variétés que ni la dureté, ni la taille des grains ne permettent d'expliquer. En particulier, la variété Soissons se démarque nettement des autres variétés en procurant un rendement supérieur à 81 %. A l'inverse, la variété Apollo n'obtient qu'un rendement moyen de 77.5 % ce qui est largement inférieur à celui des autres variétés (moyenne = 79.5 %). En outre, ce graphique fait ressortir des différences importantes de comportement en mouture en fonction de la dureté des blés. Ces différences vont se traduire par des écarts de rendement entre les fractions de mouture, c'est notamment le cas pour les gros sons et remoulages bis ainsi que les pourcentages de farine de broyage et de convertissage (**Tableau I**).

**Tableau I :**  
Influence de la dureté et de l'apport azoté sur le comportement en mouture des blés

APPORT AZOTÉ (kg Azote/ha)	% Gros Sons / Remoulages			% Farine de Broyage / Farine Convertissage			% Farine Claquage / Farine Totale		
	Hard <sup>1</sup>	Soft <sup>2</sup>	Soissons	Hard <sup>1</sup>	Soft <sup>2</sup>	Soissons	Hard <sup>1</sup>	Soft <sup>2</sup>	Soissons
0	43	86	58	63	90	63	36	34	40
50	37	77	88	71	97	76	37	36	43
180	32	56	86	30	64	46	34	39	42
240	32	60	77	25	51	40	33	38	44

(1) Valeur moyenne des lots des variétés : Apollo, Beauchamp et Scipion

(2) Valeur moyenne des lots des variétés : Delfi, Récital et Thésée

- Le rapport gros son sur remouillage apparaît beaucoup moins élevé avec les variétés résistantes qu'avec les variétés friables. Ce résultat est en accord avec l'observation que la séparation entre l'amande et les enveloppes s'effectue plus facilement dans le cas des blés non friables. Cependant cet avancement plus rapide conduit une partie des enveloppes à se réduire en particules plus fines et venir contaminer les semoules et les finots. Soissons, variété de type résistant, présente toutefois un comportement qui l'apparente davantage aux variétés friables probablement en raison de la grande élasticité de ses enveloppes.

- Le rapport entre la production de farines de broyage et de convertissage peut varier dans de très larges limites suivant la dureté des blés considérés et suivant les conditions de culture. Avec les blés les plus friables, on obtient quasiment le même pourcentage de farine de broyage que de convertissage alors que pour les blés les plus résistants, les farines de broyage ne représentent plus qu'un quart du rendement des farines de convertissage.

- Le pourcentage de farine de claquage par rapport à la farine totale apparaît aussi comme un bon indicateur du comportement en mouture. Pour les blés friables, le rendement de cette fraction augmente avec la fumure azotée alors qu'il a tendance à diminuer pour les variétés les plus dures. Ce résultat corro-

bore les travaux d'autres auteurs qui indiquent que le rendement meunier augmente avec la fumure azotée pour les blés friables alors qu'il diminue dans le cas des blés résistants (Williams et Sobering, 1984).

En résumé et compte tenu des observations précédentes, on peut dire qu'un bon blé meunier possède un grain qui a un comportement de blé résistant au broyage mais dont les enveloppes restent élastiques. Au convertissage, son comportement est plutôt de type friable ; ses semoules se réduisent facilement en farine. Bien que la dureté du blé exerce une influence très importante sur le comportement en mouture et le rendement de chaque fraction, le rendement en farine totale n'apparaît guère influencé par la dureté.

## Valeur d'utilisation des farines

La dureté constitue-t-elle un critère d'évaluation de la qualité d'utilisation des blés et des farines ? Aux USA, le classement des blés suivant la dureté correspond à une utilisation particulière des farines pour la deuxième transformation. C'est ainsi que les blés Durum sont destinés aux pâtes alimentaires, les Hard Red Spring à la panification anglosaxonne, les Hard Red Winter aux autres usages comme la panification orientale alors que les Soft Red Winter sont réservés à la biscuiterie. Peu ou prou les autres pays anglo-

saxons, le Canada et l'Australie ont organisé leur production et leur commercialisation suivant le même modèle. Ainsi ce modèle, largement admis dans le monde, est devenu dominant au niveau du commerce international. Toutefois, il s'applique mal dans un pays comme la France, et de manière plus générale en Europe occidentale, où les blés sont traditionnellement de type friable et ont probablement été progressivement adaptés aux techniques de panification en usage. Par ailleurs, l'attribution d'une valeur d'utilisation d'un blé en fonction de sa dureté accrédite de manière pernicieuse la confusion entre blé résistant et blé de force ; il convient donc d'examiner l'influence réelle de la dureté des blés sur les propriétés des farines en considérant plus particulièrement la granulométrie, le taux d'amidon endommagé ainsi que la force des farines.

En ce qui concerne la granulométrie des farines, il apparaît des différences très importantes entre les farines suivant qu'elles sont issues d'un blé friable ou résistant. Comme le montre la **figure 4**, les variétés friables présentent une distribution bimodale dont le premier mode se situe aux alentours de 25  $\mu\text{m}$ . Ce mode correspond probablement à des grains d'amidon individualisés alors que les farines de blés hard n'ont qu'un mode aux alentours de 125  $\mu\text{m}$  qui correspond davantage à des agrégats cellulaires. Ainsi que le montre la **figure 5**, le degré de dissociation de la farine dépend pour une part très importante de la dureté des blés. C'est ainsi qu'environ 50 % de la farine totale a une taille inférieure à 50  $\mu\text{m}$  dans le cas des blés friables, alors qu'il n'y en a que 25 % dans le cas des blés résistants. Ces écarts relèvent bien de différence variétale puisque la variété Soissons dont les semoules semblent se dissocier plus facilement pendant le claquage, ne se singularise pas et se comporte bien comme les autres variétés de type résistant. Par ailleurs, il est à noter que l'apport azoté n'exerce pratiquement pas d'influence sur la granulométrie de la farine totale.

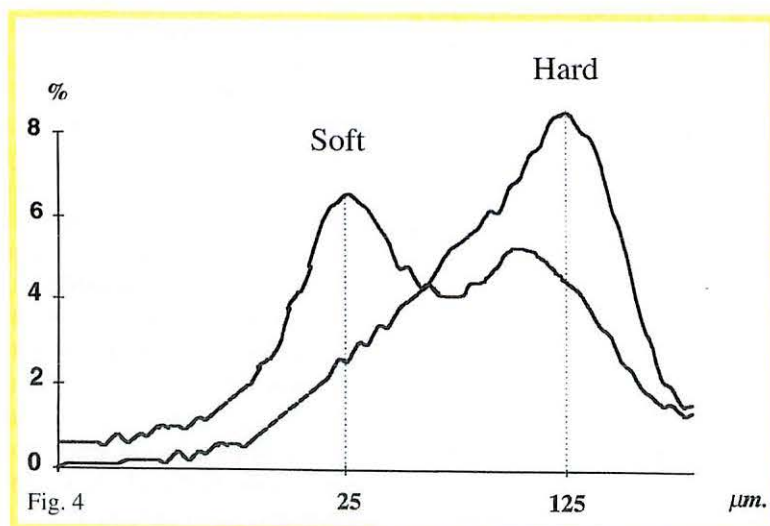


Fig. 4

L'influence de la texture du grain sur le taux d'amidon endommagé pendant la mouture est bien connu. Jones (1940) considère deux facteurs pour la production d'amidon endommagé : un « facteur de surface » qui rend compte de l'abrasion des granules d'amidon par la surface des cylindres ou d'autres particules et un « facteur interne » dû aux forces exercées à l'intérieur de la particule par la pression des cylindres. Selon cet auteur, les différences de taux d'amidon endommagé entre blé résistant et friable seraient principalement dues au facteur interne. Greer et Stewart (1959) puis, par la suite, de nombreux autres auteurs ont observé une augmentation du taux d'amidon endommagé avec les farines de blé résistant. Les résultats obtenus dans le cadre du programme IRTAC confirment ces résultats et montrent que le taux d'amidon endommagé tout comme la granulométrie des farines ne sont que peu influencés par l'apport azoté.

Ainsi la dureté des blés apparaît comme un caractère irréductible qui confère aux farines des propriétés particulières. Mais, ces propriétés sont-elles susceptibles de modifier la force des farines ? Les résultats de travaux réalisés à l'INRA de Clermont-Ferrand par G. Branlard (1996) sur plus de 300 génotypes couvrant toute la gamme de dureté indiquent que les blés résistants possèdent des W en moyenne plus élevés d'environ 80 points à ceux obtenus avec des variétés friables. Dans la mesure où la valeur du W a été retenue comme un des principaux critères d'inscription des variétés, on comprend que les sélectionneurs aient été tenté d'utiliser la dureté en tant que marqueur de la force des blés. En effet, il est très difficile de maîtriser l'héritabilité de la valeur du W. Par contre, on sait que la dureté des grains dépend d'un gène majeur Ha localisé sur le bras court du chromosome 5D. C'est pourquoi les sélectionneurs ont beaucoup utilisé le critère dureté et sa corrélation avec le W pour chercher à améliorer la force des blés français. La conséquence directe de ces efforts a

entraîné une évolution spectaculaire de la dureté des blés au cours de ces dernières années puisque aujourd'hui les blés de type friable ne représentent plus que 20 % des inscriptions au catalogue du CTPS alors qu'ils en constituaient les trois quarts au début des années 60.

Cependant, il convient d'examiner plus précisément l'influence réelle de la dureté sur l'alvéogramme. Il ressort de la **figure 6** que l'augmentation du W observée en passant des blés friables aux blés non friables est due essentiellement à un accroissement de la valeur de la pression P. Il est probable que cet accroissement de la pression relève davantage du taux d'amidon endommagé plus élevé des farines de blé résistant plutôt que de différences de propriétés rhéologiques des protéines. De plus, il n'apparaît aucune relation entre la dureté et l'extensibilité mesurée par la valeur de L de

l'alvéogramme. L'augmentation de la dureté va donc entraîner une diminution du rapport P/L avec les conséquences que l'on connaît sur les propriétés rhéologiques des pâtes.

En résumé, la dureté des blés, caractère déterminé génétiquement, exerce une grande influence sur le degré de dissociation des particules et sur le taux d'amidon endommagé de la farine. Ceci a pour conséquence de modifier de façon notable les propriétés d'hydratation des farines, tout particulièrement dans le cas de pâtes peu hydratées comme par exemple en biscuiterie. Toutefois, il convient de ne pas confondre la dureté des blés avec la force des farines. Cette dernière reste, en effet, principalement déterminée par les propriétés rhéologiques et la composition des protéines de réserve de la farine.

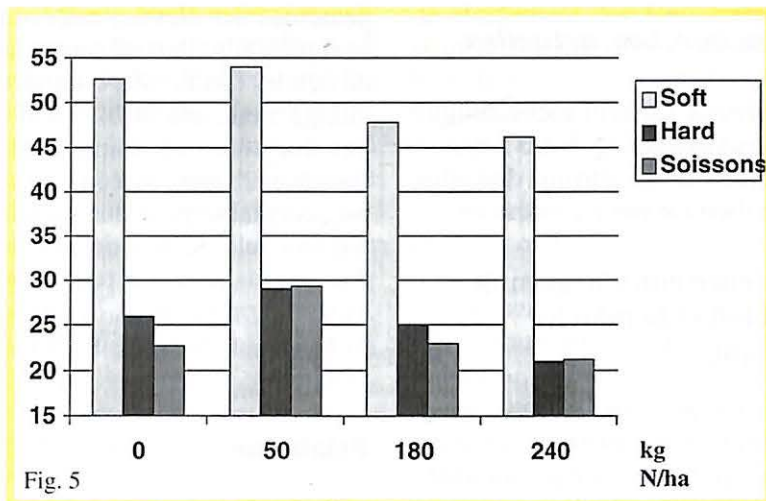


Fig. 5

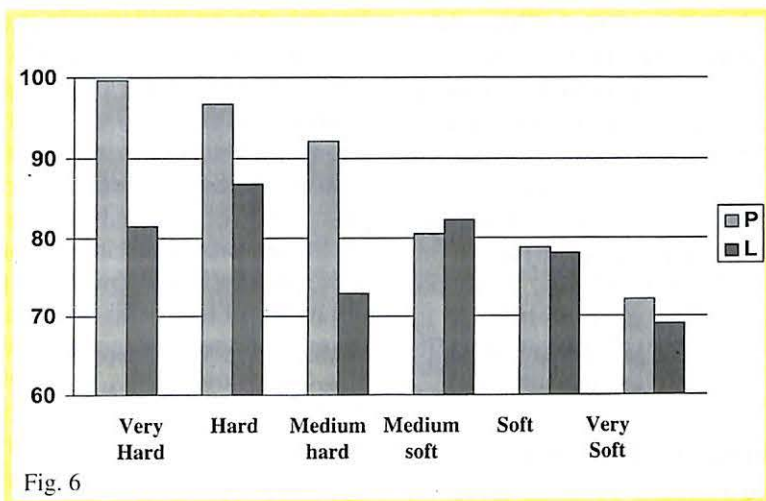


Fig. 6

## Recherches actuelles

Les travaux de recherche actuels visent à expliquer les bases physico-chimiques de la dureté des blés. Quatre théories ont été avancées :

### Adhérence entre le granule d'amidon et la matrice protéique

Cette hypothèse résulte des travaux de Barlow et al. (1970). Après avoir montré qu'il n'y avait pas de différence de dureté entre les protéines et entre les amidons des blés résistants et friables, ils ont émis l'hypothèse que la dureté du grain dépendait de la force de liaison entre les granules d'amidon et les protéines. Cette hypothèse suggère qu'il existe un facteur qui contrôle la liaison entre les protéines et l'amidon. Toutefois, les travaux poursuivis par Simmonds et al. (1973) n'ont pas réussi à mettre en évidence ce « ciment » qui expliquerait les différences qualitatives entre blés.

### Continuité de la matrice protéique

Selon Stenvert et Kingswood (1977), il n'est pas nécessaire de faire appel à la théorie de l'adhérence pour expliquer la dureté des blés. Il suffit que la matrice protéique ne soit pas continue autour des grains d'amidon pour que la résistance mécanique des grains diminue sensiblement. Bien que plausible, cette théorie qui met en avant les interactions physiques entre l'amidon et les protéines conduit à privilégier l'influence des facteurs d'environnement au détriment des facteurs génétiques.

### Charges électriques des protéines de l'albumen immature

Cette hypothèse est la moins connue, elle a été émise par Doekes (1985). L'origine des différences de dureté dépendrait des charges électriques des protéines dans l'albumen immature. Si la charge nette des

protéines est élevée, celles-ci vont se replier sur elles-mêmes et le grain deviendra friable. Au contraire, si la charge nette est faible, il n'y aura pas une telle répulsion et le grain restera résistant. Si cette hypothèse est acceptable pour des protéines en solution, elle reste à démontrer dans des grains dont la teneur en eau diminue rapidement de 40 à 12 % pendant la maturation (Hoseney, 1987).

### Friabiline

La dernière hypothèse a été proposée par Greenwell et Schofield (1986). Ils ont mis en évidence la présence d'une protéine de faible poids moléculaire (15 kDa) qui reste fixée à la surface des grains d'amidon lorsqu'on les purifie. Cette protéine n'est pas le ciment que recherchaient Simmonds et coll. Au contraire, ce serait une protéine dotée de propriétés "antiadhésives" (protéine téflon) qui réduirait la liaison entre l'amidon et les protéines et donnerait au grain son caractère friable, d'où son nom de friabiline. Cette hypothèse est apparue très séduisante car les blés durs en sont dépourvus et les blés résistants en contiendraient moins que les blés friables. Pourtant, cette hypothèse ne s'est pas confirmée. En effet, Greenwell (1991) en utilisant un anticorps monoclonal pour mesurer la teneur globale en friabiline de l'albumen a observé que les blés résistants et friables en possédaient à peu près autant les uns que les autres.

Même si aucune des quatre théories proposées ci-dessus n'a pu être validée, il est clair que le cœur de la question de la dureté se situe à l'interface moléculaire entre le grain d'amidon et la matrice protéique. Il s'agit de comprendre comment cet interface peut être le site d'une différence chimique qui serait à l'origine des propriétés de dureté de l'albumen. Ce que l'on ignore, c'est si la nature de la liaison concerne un facteur d'adhésion qui serait alors plus important dans les blés résistants, ou au contraire, un facteur de répulsion qui empêcherait l'adhésion entre les protéines et l'amidon.

En fait, la connaissance de l'interface entre les protéines et l'amidon couvre un grand nombre de questions qui chacune mériterait une approche spécifique :

D'un point de vue physico-chimique, on connaît mal l'état de la surface du grain d'amidon. On le décrit comme une « boule de billard chevelue » (Lineback et Rasper, 1988) laissant émerger des chaînes d'amylose et d'amylopectine, mais on ne connaît pas la nature des liaisons qui pourraient s'établir entre le grain d'amidon et les autres constituants. On peut penser à des liaisons hydrogènes dont on sait qu'elles peuvent être facilement rompues par de l'eau en excès, comme c'est le cas en amidonnerie. Cependant, on ne peut exclure les interactions hydrophobes puisque les protéines sont capables de se lier aux lipides adhérents à la surface des grains d'amidon lorsqu'on les purifie. Par ailleurs, les liaisons ioniques pourraient elles aussi intervenir dans la mesure où l'on connaît les difficultés de tamisage des produits de mouture des blés les plus friables.

D'un point de vue biologique, il semble que les différences de dureté entre les blés résistants et les blés friables interviennent assez rapidement au cours de la formation du grain, mais le moment précis où intervient cette liaison entre les protéines et l'amidon, n'a pas été clairement identifié (Bechtel et al., 1996). De plus, l'interface entre l'amidon et les protéines n'est pas aussi simple qu'on le décrit généralement. En effet, on peut s'interroger sur le rôle éventuel des restes du réticulum endoplasmique, des vésicules et des membranes qui sont encore visibles jusqu'à la fusion des corpuscules protéiques et qui vont ensuite se trouver coincés entre la matrice protéique et les grains d'amidon en croissance.

D'un point de vue mécanique, comment peut-on expliquer que le mode de propagation de la fracture suive toujours les parois cellulaires dans le cas des blés résistants et passe au travers des parois et entre l'amidon et les protéines dans le

cas des blés friables et cela quelle que soit la teneur en protéines des blés considérés ?

Enfin, d'un point de vue génétique, on doit s'interroger aussi sur la coïncidence de la localisation sur le bras court du chromosome 5 D du gène de la dureté, de celui de la friabilité et d'un facteur de régulation des lipides polaires libres qui pourrait suggérer un rôle de liaison des lipides dans les phénomènes de dureté.

Ainsi un grand nombre de questions spécifiques restent ouvertes. Pour tenter d'y répondre une approche pluridisciplinaire s'est mise en place. Elle associe plusieurs équipes de recherche de l'INRA mais aussi des équipes de l'Université et du CNRS notamment à Reims et Montpellier. La démarche générale retenue vise à réexaminer l'ancien concept de la protéine interstitielle décrite par Hess (1954) mais en utilisant de nouvelles méthodologies qui puissent notamment intégrer :

– La physicochimie et la génétique, en développant des méthodes d'analyse grain par grain utilisant des anticorps monoclonaux, l'immunocytochimie et des lignées isogéniques pour tenter d'approcher la nature de l'association entre protéines et amidon.

– La microspectrométrie et l'imagerie spectrale pour déterminer la composition chimique de petites surfaces de l'albumen de manière à parvenir à connaître les différences de composition chimique à l'interface d'une fracture entre des blés résistants et des blés friables.

– La cryofracture et la microscopie pour obtenir de nouvelles informations microstructurales sur l'albumen en cours de développement et en particulier sur le devenir des corpuscules protéiques.

*1 – Les équipes de recherche sus-mentionnées participent à un programme de recherches sur « les bases structurales de la fragmentation et du fractionnement des céréales » réalisé avec l'aide financière de l'ADEME-AGRICOLE.*

– Enfin l'étude de la mécanique de la fracture au niveau cellulaire pour établir une relation directe entre les propriétés mécaniques des agrégats cellulaires et les données de dureté aujourd'hui disponibles sur un grain ou sur une population de grains.

L'intégration de l'ensemble des données dans un modèle global devrait conduire à une meilleure connaissance de la dureté mais aussi à une amélioration de l'efficacité des procédés de fractionnement. En effet, ces études sur le fractionnement concernent non seulement les farines mais aussi les valorisations non alimentaires des céréales<sup>1</sup> pour lesquelles il s'agira de maîtriser les opérations de fractionnement non plus à 0.1 mm près, comme c'est encore le cas aujourd'hui, mais à l'échelle du micron afin d'obtenir des fractions mieux définies d'un point de vue histologique et de composition biochimique plus pure.

## Conclusion

A l'issue de cette revue sur l'état des connaissances actuelles sur la dureté des blés, trois idées clefs ressortent :

– La dureté est un facteur génétique très important de la qualité des blés. Il détermine le comportement en mouture des blés et influe directement sur la granulométrie des farines et leurs propriétés d'hydratation. Toutefois, ce critère ne constitue pas le critère universel de la qualité des blés. Lui seul ne peut permettre de prédire quels seront le rendement en mouture, la force ou les propriétés rhéologiques des farines et des pâtes.

– Dans le contexte de mondialisation des marchés, la France aura, au cours des prochaines années, à adapter ses blés à la demande du marché mondial tout en continuant à satisfaire la demande du marché intérieur. Compte tenu des règles des marchés internationaux et des caractéristiques requises pour les blés en fonction de leur utilisation finale, il paraît important de prendre en compte la dureté comme critère

de classement des blés. Cette décision aurait au moins deux effets bénéfiques. Tout d'abord, une meilleure adéquation des blés pour certains usages, par exemple pour satisfaire la demande de la biscuiterie ou celle de marchés à l'exportation. En outre, le travail du meunier pourrait en être facilité car plutôt que de perfectionner le mélange des blés pour produire une farine moyenne, il aurait la possibilité de formuler des farines à partir de lots de blés suffisamment différents.

– Enfin, l'intensification des recherches sur la compréhension des bases structurales de la dureté et du fractionnement devrait permettre d'accroître l'efficacité des opérations de fractionnement et faire progresser la sélection en vue d'améliorer la valeur meunière des blés.

## Bibliographie

AACC, 1980 – Particle size index for wheat hardness. Method 55-30.

AACC, 1989 – Wheat hardness as determined by near infrared reflectance. Method 3970A.

ABECASSIS J. ; WILLM C. 1996 – Influence des facteurs génétiques et agroclimatiques sur la valeur meunière et semoulière des blés. Rapport final de Contrat, convention MESR-IRTAC n° 92 G 0544.

BARLOW K.K., BUTTROSE M.S., SIMMONDS D.H., VESK M. 1973 – The nature of the starchprotein interphase in wheat endosperm. Cereal Chem. 50 : 443-454.

BECHTEL D. B., WILSON J. D., MARTIN C.R., 1996 – Determining endosperm texture of developing hard and soft red winter wheats dried by different methods using the single kernel wheat characterization system. Cereal Chem. 73(5) : 567-570.

BERG S.O. 1947 – Is the degree of grittiness of wheat flour mainly a varietal character ? Cereal Chem. 24 : 274-283.

BOLLING H., ZWINGELBERG H. 1965 – Über die Relation der Korneigenschaften zum Mahlergebnis III Mitteilung : Der Einfluss der Variabilität der Kornhärte auf das Mahlergebnis. Getreide Mehl. 15 : 92-98.

BRANLARD G., FELIX I., LEBLANC A., KOENIG J., BODET C., MARION D., MAHAUT B., 1996 – La Dureté des blés sélectionnés en France : Evolution et conséquences (soumis pour publication).

CHESTERFIELD R.S. 1970 – Segregation

of wheat varieties in New South Wales. Pages 100-108 in : Proc. Annu. Conf. 20th (Canberra). R. Aust. Chem. Inst. Cereal Chem. Div. Melbourne.

DAVIS A.B., EUSTACE W.D. 1984 - Scanning Electron Microscop views of material from various stages in the milling of Hard Red Winter, Soft Red Winter, and durum wheat. Cereal Chem. 61 : 182-186.

DOEKES G.J. 1985 - Der Zusammenhang zwischen elektrischen proteinladungen und der Kornhärte in weizen. Getreide Mehl Brot 9 : 259-263.

FOWLER D.B., DE LA ROCHE I A. - 1975 Wheat quality evaluation. II. Relationship among prediction tests. Can J. Plant Sci. 55 : 251-262.

GREER E.N., STEWART B.A. 1959 - The water absorption of wheat flour. Relative effects of protein and starch. J. Sci. Food. Agric. 10 : 248-252.

GREENWELL P., SCHOFIELD J.D., 1986 - A starch granule protein associated with endosperm softness in wheat. Cereal Chem. 63 : 379-380.

GREENWELL P. 1991 - Programme CEE Eclair : To explore and improve the industrial use for EEC wheats. Newsletter n°1.

HESS K. 1954 - Kolloid, 136, 84.

HINTON 1955 - Resistance of the testa to entry of water into the wheat kernel. Cereal Chem. 32 : 296-306.

HOSENEY C. R., 1987 - Wheat hardness. Cereal Food World 32 : 320-322.

JONES C.R. 1940 - The production of mechanically damaged starch in milling as a governing factor in the diastasic activity of flour. Cereal Chem. 17 : 133-169.

KILBORN R.H., BLACK H.C., DEXTER J.E., MARTIN D.G., 1982 - Energy consumption during flour milling : Description of two measuring systems and the influence of wheat hardness on energy requirements. Cereal Chem. 59 : 284-288.

LINEBACK D. R., RASPER V. F., 1988 - in « Wheat chemistry and Technology » (Y. Pomeranz Ed.) AACC, St Paul, USA, pp 277-372.

MAHAUT, B. 1993 - Dureté des blés : Méthodes de mesure ; situation des blés français. Ind. des Cér. 81 : 39 -44.

POMERANZ Y., WILLIAMS P.C., 1990 - in « Advances in Cereal Science and Technology » (Y. Pomeranz Ed.) AACC, St Paul, USA, Vol 10, pp 471-548.

SIMMONDS D.H., BARLOW R.R., WRIGLEY C.W. 1973 - The biochemical basis of grain hardness in wheat. Cereal Chem. 50 : 553-562.

STENVERT N.L., KINGSWOOD K., 1976 - An autoradiographic demonstration of the penetration of water into wheat during tempering. Cereal Chem. 53 : 141-149.

STENVERT N.L., KINGSWOOD K., 1977 - The influence of the physical texture of the protein matrix on wheat hardness. J.Sci. Food Agric. 28 : 11-19.

WILLIAMS P.C., SOBERING D.C. 1984 - Influence of variables on wheat hardness. Cereal Food World. 29 : 498.

WILLM, C. 1995 - Comportement en mouture de 9 variétés de blé tendre : influence de la dureté et de l'apport azoté. Ind. des Cér. 92 : 18-29.



POUR RECEVOIR REGULIEREMENT  
INDUSTRIES DES CEREALES

**ABONNEZ-VOUS**

**BULLETIN D'ABONNEMENT**

Oui, je m'abonne à  
INDUSTRIES DES CEREALES

- France 1 an 5 n° 420 F. TTC  
 Etranger 1 an 5 n° 510 FF  
 Ci-joint mon règlement  
 Je désire une facture

date et signature

Société .....

Nom .....

Adresse .....

.....

Tél..... Fax .....

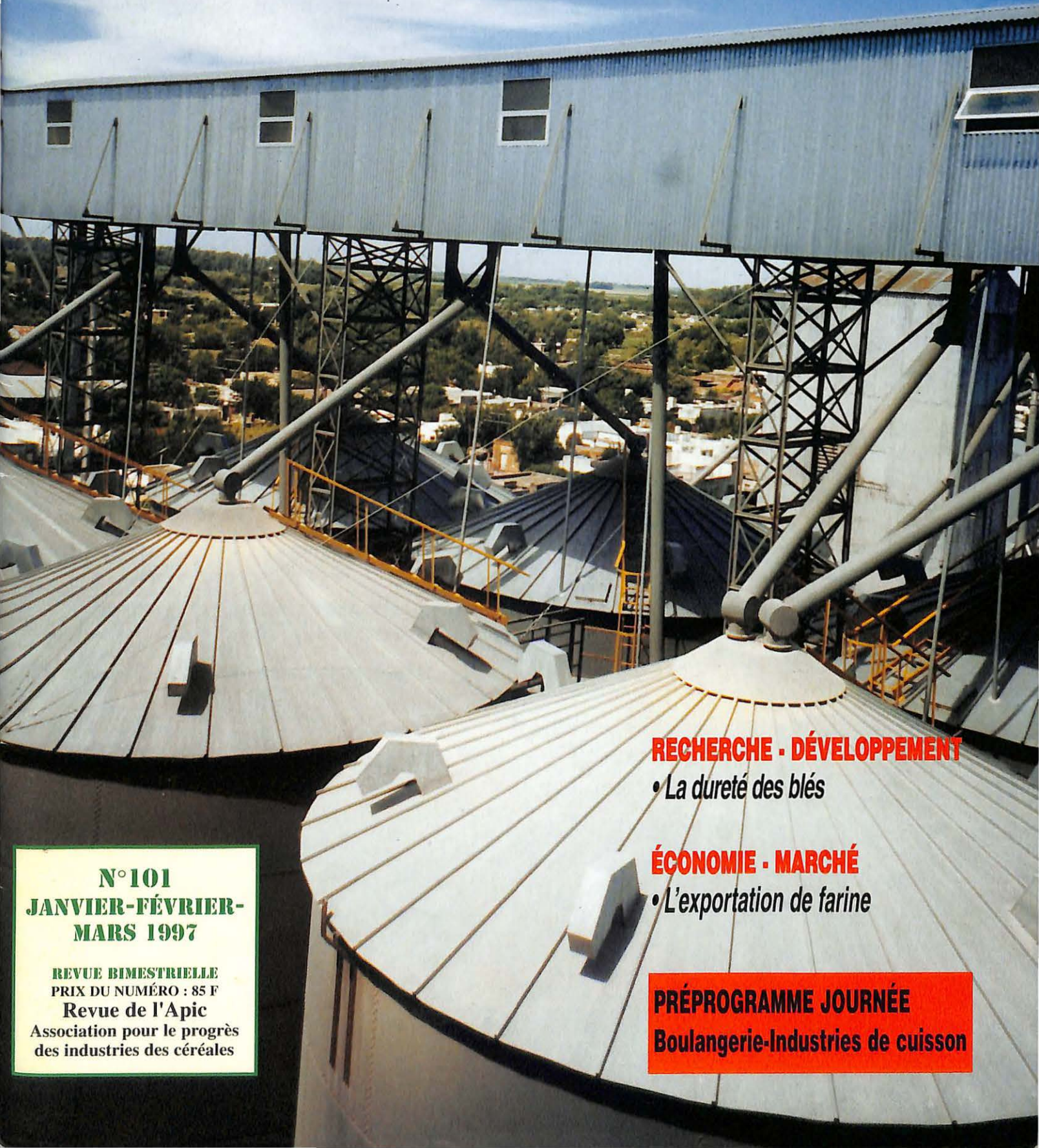
à retourner à **AGP**  
EDITION

1 rue du Coq Héron 75001 PARIS  
Tél. 01.40.26.57.08 • Fax : 01.40.26.34.40



# INDUSTRIELLES

## des céréales



**N°101**  
**JANVIER-FÉVRIER-**  
**MARS 1997**

REVUE BIMESTRIELLE  
PRIX DU NUMÉRO : 85 F  
Revue de l'Apic  
Association pour le progrès  
des industries des céréales

**RECHERCHE - DÉVELOPPEMENT**

• *La dureté des blés*

**ÉCONOMIE - MARCHÉ**

• *L'exportation de farine*

**PRÉPROGRAMME JOURNÉE**  
**Boulangerie-Industries de cuisson**