

## Influence du type de mouture (cylindres vs meules) sur les teneurs en minéraux des différentes fractions du grain de blé en cultures conventionnelle et biologique\*

Marc CHAURAND\*\*, Christian RÉMÉSY\*\*\*,  
Anthony FARDET\*\*\*, Fanny LEENHARDT\*\*\*,  
Christine BAR-L'HELGOUACH\*\*\*\*,  
Bruno TAUPIER-LETAGE\*\*\*\*\*,  
Joël ABÉCASSIS\*\*

### Résumé

Une étude comparative du mode de production des blés (agriculture biologique vs agriculture conventionnelle) et du mode d'obtention des farines (mouture sur cylindres vs mouture sur meules) a été réalisée sur 3 lots de blé de variétés différentes.

Comparativement aux blés produits en mode conventionnel, les grains obtenus en culture biologique se caractérisent par une teneur en protéines et des indices de dureté plus faibles, mais leur teneur en cendres est légèrement plus élevée.

À même procédé de mouture, il n'apparaît pas de différence significative dans la composition des farines en fonction du mode de culture des blés. En revanche, le procédé de mouture exerce un effet significatif sur cette composition. En effet, les farines de meules possèdent des teneurs en cendres systématiquement supérieures à celles obtenues à l'aide d'appareils à cylindres. Si l'on compare, selon une logique de filière, les farines produites avec des appareils à cylindres à partir de blés conventionnels et les farines de meules issues de blés biologiques, les différences de composition minérales des farines deviennent très significatives en faveur de la filière biologique : augmentation de 50 % pour le magnésium, de 46 % pour le zinc.

### Introduction

Jusqu'à présent, le blé destiné à la panification a principalement été sélectionné sur des critères d'efficacité agronomique et de valeur boulangère. Du fait de l'absence de cahier des charges précis sur les critères nutritionnels à retenir, aucun travail de fond n'a été accompli sur la valeur nutritionnelle du blé, d'autant qu'en bout de chaîne la composition de la farine est bien éloignée de celle du grain. Les conséquences du mode de mouture (cylindres ou meules) et du mode d'agriculture (conventionnelle ou biologique) sur la densité nutritionnelle des farines sont encore insuffisamment prises en compte.

La composition des farines est dépendante de la qualité du blé, de sa richesse en minéraux et micronutriments, mais aussi des procédés de mouture. Rappelons que le grain de blé a la particularité d'accumuler les trois quarts des minéraux et des vitamines dans les téguments externes et le germe qui sont éliminés, en grande partie, dans les procédés de mouture classiques sous forme de remoulages ou de sons. On comprend que, dans ces conditions, l'augmentation du rendement meunier par une meilleure récupération des éléments périphériques se traduise par l'augmentation de la teneur en minéraux et en vitamines de la farine.

\* Travail réalisé dans le cadre du programme AQS (Aliment Qualité Sécurité) du Ministère de l'Enseignement supérieur et de la recherche associant Arvalis-Institut du végétal, l'Inra et l'Itab

\*\* Inra-UMR IATE -  
2, place Viala, 34060 Montpellier Cedex 01

\*\*\* Unité des Maladies métaboliques et des micronutriments, Inra -  
Centre de recherche de Theix,  
63122 St-Genès-Champanelle

\*\*\*\* Arvalis-Institut du végétal,  
Laboratoire Qualités des céréales -  
16, rue Nicolas Fortin, 75013 Paris

\*\*\*\*\* Institut technologique de l'agriculture  
biologique -  
149, rue de Bercy, 75595 Paris cedex 12

# Communications scientifiques & technologiques

La couverture des apports nutritionnels conseillés pour ces micronutriments est souvent insuffisante (MARTIN, 2000) dans une chaîne alimentaire qui utilise beaucoup d'ingrédients purifiés à la suite de ce qui a été appelé la transition nutritionnelle (CABALLERO et POPKIN, 2002 ; DREWNOWSKI et POPKIN, 1997). Par ailleurs de nombreux travaux indiquent qu'il est préférable de consommer des produits céréaliers de meilleure densité nutritionnelle possible (SLAVIN *et al.*, 1999 ; LOPEZ, 2001 ; ADAM, 2002). De même, les recommandations du Programme national Nutrition Santé (PNNS) du Ministère de la santé ou de l'Afssa dans son rapport Glucides et Santé vont dans le sens d'une incitation à consommer des produits céréaliers moins raffinés.

Dans la filière conventionnelle, le blé est transformé principalement sur cylindres en farine de type 55 pour la production de pains courants et, dans la filière bio, le blé est préférentiellement écrasé à la meule de pierre pour la production de pains bis ou complets.

Le but de cette étude a donc été, d'une part de comparer la composition minérale de blés issus de l'agriculture conventionnelle et biologique, et d'autre part de montrer les différences de composition des farines selon leur mode de mouture. Afin de comparer les effets spécifiques de chaque type de mouture, nous avons déterminé les teneurs en minéraux de farines issues de cylindres ou de meules de pierre en se plaçant à taux d'extraction comparable.

Nous avons choisi d'étudier les teneurs en magnésium, fer et zinc, trois minéraux majoritairement localisés dans les fractions externes du grain, et qui sont des indicateurs intéressants quant à la qualité nutritionnelle des farines et de leurs issues.

## Matériels et méthodes

### **Matières premières**

Trois variétés : Apache, Caphorn et Renan ont été cultivées par Arvalis-Institut du végétal pendant 2 années de récolte (2002 et 2003) sur 3 lieux de culture : Drôme, Indre-et-Loire et Loir-et-Cher et selon deux types de culture : conventionnelle et biologique, soit 36 lots de blé. Les rendements agronomiques moyens ressortent respectivement pour les cultures conventionnelle et biologique à 91 et 55 qx/ha pour la récolte 2002 et 85 et 50 qx/ha pour la récolte 2003.

### **Caractérisation des blés**

Les caractéristiques des grains ont été déterminées par Arvalis-Institut du végétal dans les conditions suivantes.

*Poids de 1000 grains* : suivant la norme NF V 03-702.

*Dureté des grains* : par spectrométrie de réflexion dans le proche infra-rouge suivant la norme AACC 39-70A.

*Teneur en eau* : suivant la norme NF V 03-707.

*Taux de cendres* : suivant la norme NF V 03-720.

*Teneur en protéines* : suivant la méthode Dumas avec un appareil LECO FP2000. Cette méthode a fait l'objet d'une validation par rapport à la méthode Kjeldhal (NF V 03-750).

### **Moutures d'essai**

Des diagrammes de mouture d'essai utilisant soit des appareils à cylindres soit des meules ont été mis au point pour obtenir des rendements élevés en farine (supérieurs à 80 %) tout en restant compatibles avec la réalisation d'essais de panification.

### **Nettoyage des grains**

Tous les lots de blé ont été nettoyés dans les mêmes conditions à l'aide d'un nettoyeur de laboratoire (Mini Pektus) combinant trois actions de séparation (tamisage, triage et aspiration).

### **Mouture d'essai sur appareils à cylindres (Figure 1)**

Les blés nettoyés sont conditionnés à une teneur en eau de 17 % et laissés au repos pendant 15 heures avant mouture. Dans un premier temps, la mouture est effectuée classiquement sur un moulin MLU 202 (Bühler, Uzwil, Suisse). Le diagramme comprend trois passages de broyage et trois de convertissage avec production de farine à chaque passage soit six fractions de farine ainsi que deux issues : les gros sons et les remoulages. L'ensemble des farines obtenues dans ces conditions représente un taux d'extraction assez faible (70 % environ).

Un aménagement du diagramme a été rendu nécessaire pour atteindre des taux d'extraction plus élevés.

Cet aménagement a consisté :

- à traiter les gros sons sur une brosse à sons ; les farines de brosses sont récupérées et ajoutées dans la farine totale ;
  - à broyer les remoulages sur un broyeur à palettes (moulin Alpine, 100 UPZ) garni d'une grille de 0,5 mm d'ouverture et tournant à 15 000 tours par minute.
- Le produit de broyage est bluté sur un tamis de 150 µm et les farines de blutage incorporées dans la farine totale.

La farine totale ainsi obtenue correspond au mélange de l'ensemble des farines de passage soit : 3 farines de broyage + 3 farines de convertissage + farine de brosse des gros sons + farine de blutage des remoulages broyés.

### **Mouture d'essai sur meules de pierre (Figure 2)**

Après nettoyage, les grains sont passés directement en mouture sans étape de conditionnement. Néanmoins, une période de stockage de tous les lots dans les mêmes conditions thermo-hygrométriques a permis d'équilibrer la teneur en eau de l'ensemble des lots de blé à environ 12,5 % avant mouture. La mouture a été réalisée sur un équipement A300 MSM (Les Moulins du Tyrol). Ce moulin est équipé de meules de pierre dites de Naxos

# Communications scientifiques & technologiques

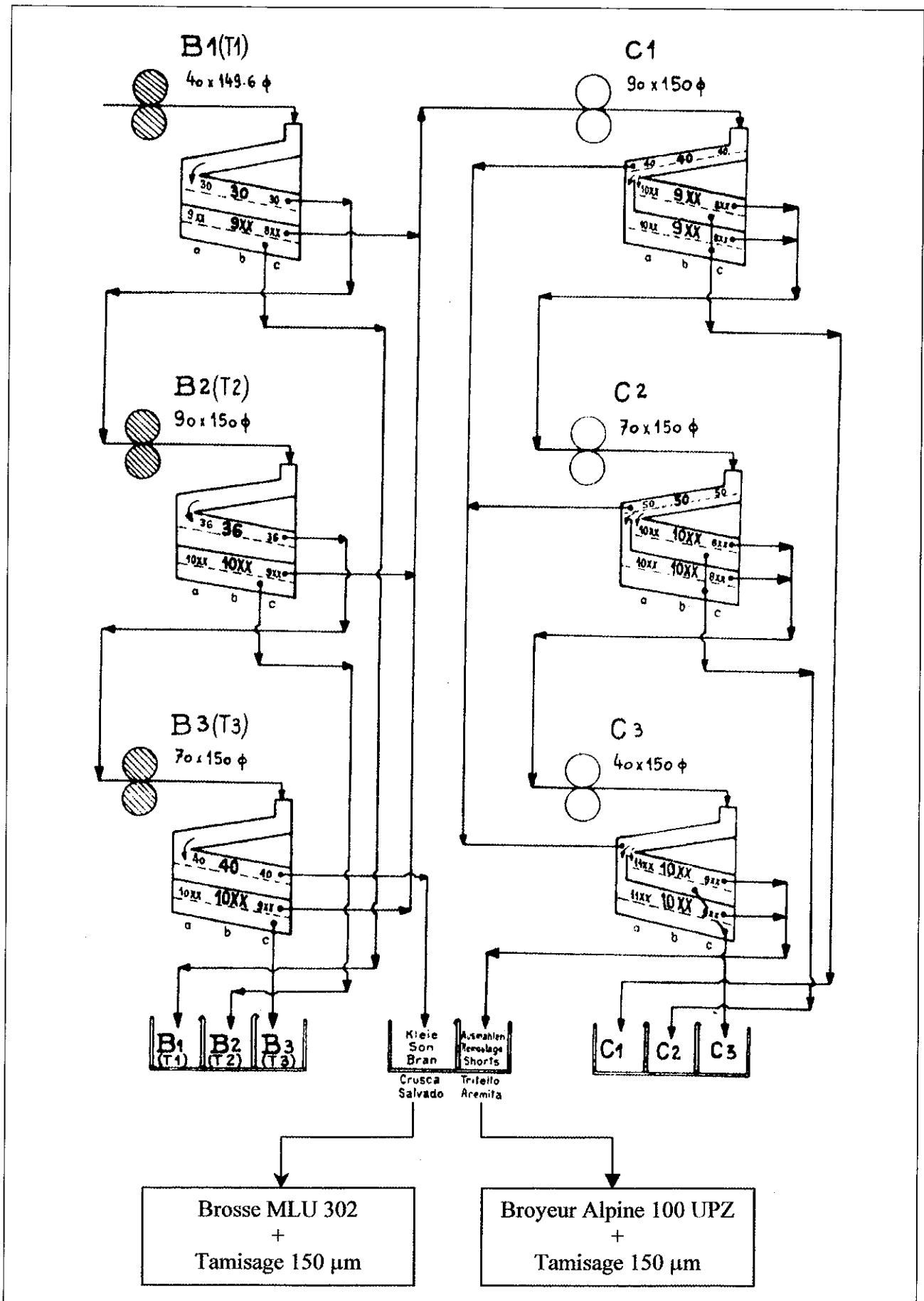


Figure 1 : Diagramme des moutures d'essai à fort taux d'extraction sur cylindres.

# Communications scientifiques & technologiques

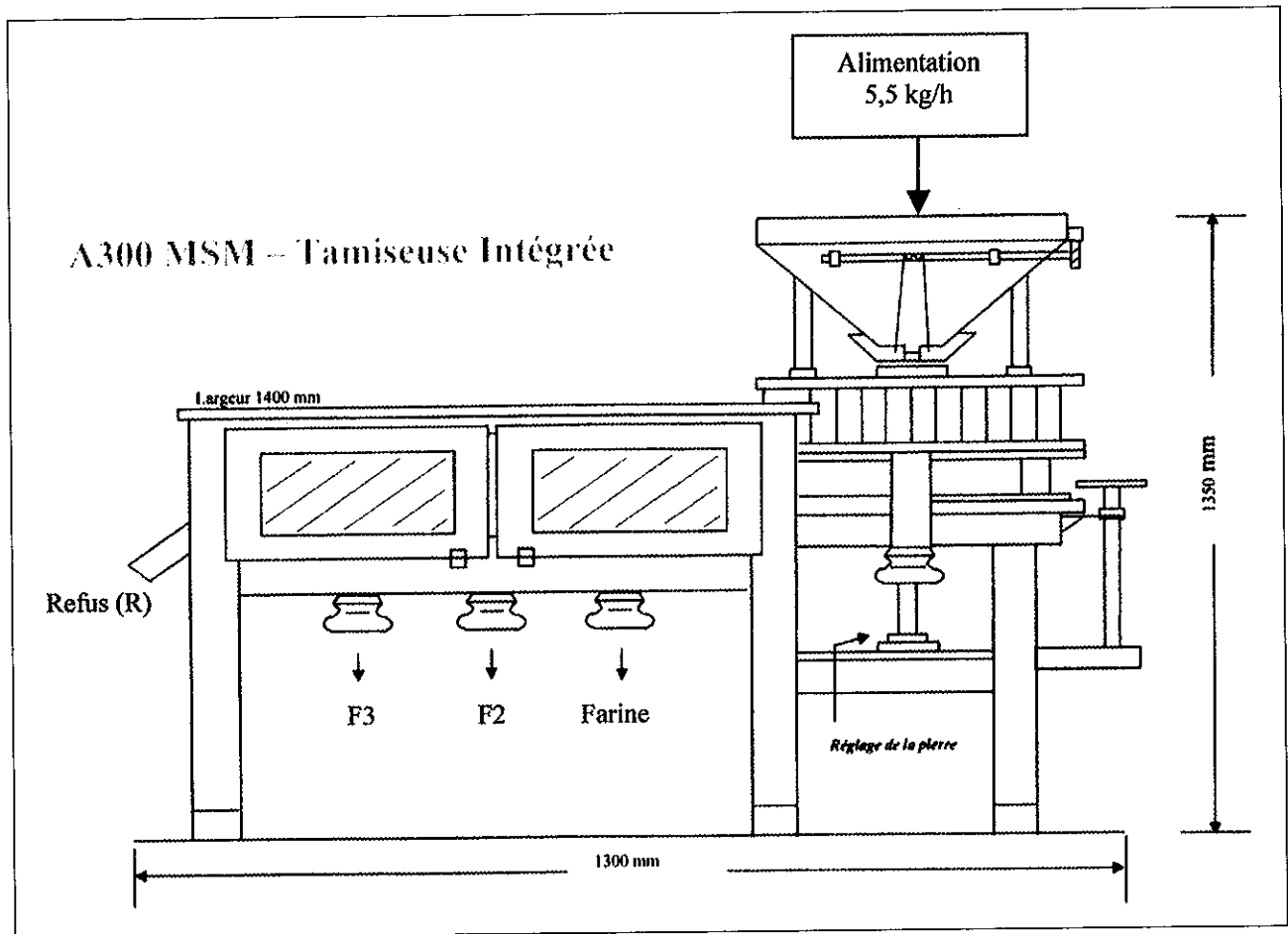


Figure 2 : Diagramme des moutures d'essai sur meules.

(mélange de pierres naturelles et de porcelaine) d'un diamètre de 30 cm et dont la meule supérieure est entraînée à une vitesse de 380 tours par minute. Les produits broyés alimentent une bluterie centrifuge équipée de 3 tamis. La simplicité de cet équipement et les possibilités limitées de réglage nous ont conduit à adapter ce matériel aux travaux à réaliser. Les principales modifications ont consisté en :

- l'ajout d'un vibreur pour assurer une alimentation régulière du broyeur de manière à obtenir une charge de broyage constante au sein de la machine. Le débit d'alimentation a été fixé à 5,5 kg/h ;
- la mise en place d'un système de réglage de l'écartement entre les meules pour assurer une meilleure répétabilité ;
- la modification de l'ouverture de maille des tamis utilisés. Dans sa configuration initiale, le système ne permettait pas d'obtenir un blutage satisfaisant des produits

car les refus contenaient encore une proportion importante de produits fins. Une même ouverture de maille (224  $\mu\text{m}$ ) a été adoptée pour l'ensemble des 3 tamis de la bluterie.

Dans ces conditions, il est possible d'extraire une farine totale, deux farines secondes plus riches en parties périphériques (F2 et F3) et un refus (R).

## Caractérisation des produits de mouture

L'ensemble des produits de mouture a été récupéré et pesé pour établir un bilan des rendements en mouture des différentes fractions.

Les rendements sont exprimés en pourcentage des produits récupérés. Par ailleurs, les farines obtenues ont été caractérisées d'un point de vue physico-chimique pour déterminer :

- leur teneur en eau et en cendres suivant les normes NF V 03-707 et NF 03-720, respectivement ;

- la granulométrie des produits obtenus à l'aide d'un granulomètre laser (Coulter, Beckman France). Les données granulométriques sont traitées pour déterminer la granulométrie médiane (D50) des particules (en  $\mu\text{m}$ ) ainsi que la dispersion du spectre granulométrique (D90-D10) ;
- les produits de la récolte 2003 ont été analysés pour connaître leur teneur en éléments minéraux. Les teneurs en magnésium, fer et zinc ont été déterminées par spectrométrie atomique de flamme (Perkin-Elmer, modèle 560) sur l'ensemble des produits de mouture.

## Résultats

### Comparaison des blés

Les principales caractéristiques des blés étudiés sont résumées dans le **Tableau I**.

# Communications scientifiques & technologiques

Variété	Année	Agriculture conventionnelle				Agriculture biologique			
		Protéines % m.s.	Dureté NIRS	Cendres % m.s.	Masse de 1000 grains	Protéines % m.s.	Dureté NIRS	Cendres % m.s.	Masse de 1000 grains
Apache	2002	11,2	63	1,61		8,2	37	1,61	
	2003	13,5	58	1,55	35,5	9,8	37	1,84	32,7
Caphorn	2002	11,9	78	1,57		9,4	59	1,70	
	2003	13,4	63	1,69	36,7	10,5	52	1,81	38,1
Renan	2002	13,3	84	1,67		10,6	73	1,73	
	2003	14,0	72	1,53	-	10,7	79	1,77	41,2
<b>Moyenne</b>		12,9	70	1,60		9,9	56	1,74	

Tableau I : Caractéristiques des blés étudiés (protéines : N x 5,7).

La comparaison des modes de culture fait ressortir une plus faible teneur en protéines des blés produits en mode biologique (9,9 contre 12,9 % m.s.). La dureté apparaît, elle aussi, affectée par le mode de culture (56 pour les cultures biologiques contre 70 pour les productions conventionnelles). Elle reste néanmoins déterminée principalement par l'origine variétale. En ce qui concerne la teneur en cendres, les blés produits en culture biologique (1,74 % m.s.) apparaissent légèrement plus riches en cendres que ceux obtenus en culture conventionnelle (1,60 % m.s.).

Les moutures ont été réalisées dans les conditions décrites ci-dessus en maintenant les mêmes conditions de réglage pendant toute l'expérimentation. Le comportement en mouture des différents lots n'a pas appelé de remarques particulières. Les résultats obtenus sont regroupés dans le **Tableau II**. Les résultats de mouture ont été exploités par analyse de la variance pour déterminer la part des effets liés au mode de culture, à la variété et à la technique de mouture.

## Comparaison des rendements en farine

D'une manière générale, les différences de composition et de propriétés des blés dues au mode de culture conventionnel ou biologique (Tableau II) ne semblent pas se traduire par des différences significatives sur les rendements en

Variété	Année	Agriculture conventionnelle				Agriculture biologique			
		Rendement		Cendres % m.s.		Rendement		Cendres % m.s.	
		C	M	C	M	C	M	C	M
Apache	2002	82,5	86,0	0,65	0,87	81,5	84,9	0,64	0,81
	2003	83,2	83,4	0,69	0,82	81,8	84,6	0,81	0,92
Caphorn	2002	80,8	80,2	0,82	1,06	81,1	85,1	0,82	1,00
	2003	81,8	82,0	0,73	1,01	81,6	82,7	0,83	1,07
Renan	2002	81,8	84,1	0,84	0,97	80,7	87,0	0,79	1,06
	2003	82,0	81,7	0,69	0,90	81,6	82,7	0,80	1,10
<b>Moyenne</b>		82,0	82,9	0,74	0,94	81,4	84,5	0,78	0,99

Tableau II : Rendement en mouture sur cylindres (C) et sur meules (M) et teneur en matières minérales des farines.

farine pour un type de mouture donné. Une analyse plus poussée des résultats fait néanmoins ressortir un effet d'interaction entre le mode de culture et le type de mouture. Si la mouture sur cylindres semble peu sensible aux modifications des caractéristiques des matières premières, la mouture sur meules apparaît beaucoup plus sensible. Cet effet d'interaction semble pouvoir être attribué essentiellement à des différences de dureté (et/ou de vitrosité) entre les deux modes de culture. En mouture sur meules, les rendements sont plus élevés avec la mise en œuvre de blés d'origine biologique (84,5 %) plus friables que les blés obtenus en culture conventionnelle (82,9 %).

La comparaison des rendements en farine des 3 variétés analysées montre un effet à la limite de la significativité de l'origine génétique,

tout procédé confondu. Néanmoins, une analyse plus fine fait ressortir que dans le cas de la mouture sur cylindres, la variété Apache obtient un rendement (82,3 %) supérieur à celui de Caphorn (81,3 %) et de Renan (81,6 %). Dans le cas de la mouture sur meules, le rendement en farine des variétés Apache et Renan (respectivement égal à 84,7 et 84,5 %) se révèle significativement supérieur à celui de Caphorn (82,5 %).

En ce qui concerne les teneurs en cendres et quel que soit le procédé de mouture utilisé, les farines de la variété Apache se révèlent significativement moins minéralisées (environ 15 %) que celles des variétés Caphorn et Renan qui ne se distinguent pas l'une de l'autre. La variété Apache se distingue également du point de vue de la

# Communications scientifiques & technologiques

granulométrie des farines obtenues (**Tableau III**). En effet, la granulométrie médiane et la dispersion granulométrique sont significativement inférieures aux valeurs obtenues avec les autres variétés.

Ces résultats font ressortir une importante variabilité génétique de la valeur meunière des blés démontrant par ailleurs l'importance des notions de friabilité des grains et de séparabilité des constituants.

Pour l'ensemble des échantillons analysés, les rendements en farine totale sont de 81,7 % pour la mouture sur cylindres et 83,7 % pour la mouture sur meules. La comparaison des moyennes montre un effet très significatif du type de mouture sur le rendement en farine. Toutefois, les différences de rendement en mouture ne semblent pas suffisantes pour expliquer la différence considérable observée entre les teneurs en cendres des farines obtenues avec les deux systèmes de mouture (respectivement

égales à 0,76 % m.s. pour les farines de cylindres et 0,96 % m.s. pour les farines de meules). En effet, si l'on compare les seules farines issues des blés en provenance de champs d'essai en agriculture conventionnelle, les écarts de rendements entre les deux procédés de mouture sont inférieurs à 1 % alors que le taux de cendres varie de 0,74 à 0,94 %.

En dépit d'une différence sensible entre les ouvertures de maille des tamis à farine retenues dans les diagrammes de mouture sur meules (224  $\mu\text{m}$ ) et sur cylindres (160  $\mu\text{m}$ ), l'analyse des courbes granulométriques (**Tableau III**) montre que la granulométrie médiane (D50) des farines obtenues par mouture sur meules (77  $\mu\text{m}$ ) est significativement inférieure à celle des farines obtenues à l'aide d'appareils à cylindres (83  $\mu\text{m}$ ). En revanche, la dispersion granulométrique (D90-D10) est plus resserrée dans le cas de la mouture sur cylindres (151  $\mu\text{m}$ ) qu'avec l'utilisation de meules (168  $\mu\text{m}$ ).

À partir de ces déterminations, il apparaît que le fractionnement sur cylindres est nettement plus efficace pour séparer l'albumen amylicé des parties périphériques du grain et que la mouture sur meules correspond davantage à une fragmentation, avec une moindre dissociation entre les tissus. De manière à approfondir ce point, une étude plus fine de la composition en éléments minéraux a été réalisée à partir des produits de mouture de la récolte 2003 pour lesquels de faibles différences de rendement ont été observées entre les deux types de mouture comme cela est résumé dans le **Tableau IV**.

## Comparaison des teneurs en minéraux des grains, des farines et issues

Les teneurs en minéraux (magnésium, fer, zinc, calcium et potassium) des grains et des farines ont été regroupées dans le **Tableau V**.

Au niveau du grain entier, les résultats obtenus permettent de mettre en évidence des différences significatives en fonction du mode de culture dans les teneurs des trois minéraux analysés. Les teneurs en magnésium et en zinc sont augmentées d'environ 10 % dans les grains issus de culture biologique alors que celle du fer est diminuée de 26 %. Néanmoins, ces différences entre culture biologique et conventionnelle restent bien modestes.

Par contre, la mouture sur meules permet d'augmenter sensiblement les teneurs en magnésium et en zinc, que ce soit en agriculture conventionnelle ou biologique (environ 30 %).

En général, la farine en provenance de l'agriculture conventionnelle est produite avec des moulins à cylindres et celle issue de l'agriculture biologique est produite par mouture sur meules. Dans ces conditions, la comparaison des teneurs en éléments minéraux des farines fait ressortir des différences très significatives

Variété	Année	Agriculture conventionnelle				Agriculture biologique			
		Diamètre médian D50		Dispersion D90-D10		Diamètre médian D50		Dispersion D90-D10	
		C	M	C	M	C	M	C	M
Apache	2002	87	80	158	165	67	60	145	155
	2003	79	76	142	174	68	57	136	148
Caphorn	2002	92	88	160	181	84	77	154	172
	2003	88	77	153	172	85	82	152	166
Renan	2002	87	78	157	161	87	75	158	159
	2003	85	89	147	185	84	80	149	172
<b>Moyenne</b>		86	81	153	173	79	72	149	162

Tableau III : Granulométrie médiane (D50) et dispersion granulométrique (D90-D10) des farines obtenues sur cylindres (C) et sur meules (M)

Mode de culture	Mouture sur meules				Mouture sur cylindres		
	Farine	F2	F3	R	Farine	Fins sons	Gros sons
<b>Conventionnelle</b>							
Rendement	82,4	2,4	4,3	11,0	82,3	6,3	11,4
<b>Biologique</b>							
Rendement	83,8	2,6	3,1	10,5	81,8	5,7	12,5

Tableau IV : Pourcentage de farine et d'issues obtenues après broyage des grains selon la mouture sur cylindres et la mouture sur meules (Récolte 2003).

# Communications scientifiques & technologiques

à la fois pour les teneurs en magnésium (50 % obtenu en multipliant 697-465 par 100/465), en zinc (46 %), en calcium (43 %) et en potassium (45 %) en faveur des farines de meules produites à partir de grains issus de l'agriculture biologique.

Les teneurs en minéraux des produits de mouture ont été regroupées dans le **Tableau VI** pour la mouture sur cylindres et le **Tableau VII** pour la mouture sur meules.

Dans le cas de la mouture sur cylindres, les issues représentent environ 18 % du grain entier (Tableau III) mais présentent des teneurs très élevées en éléments minéraux, de 3 à 6 fois plus élevées que celles des grains, avec des variations selon l'élément minéral ou la fraction de mouture considérée (Tableau VI). Du fait de la plus faible

teneur en amande résiduelle, les gros sons présentent des teneurs en magnésium supérieures de plus 50 % à celle des fins sons. On note un effet du mode de culture qui se traduit par une teneur en magnésium légèrement plus forte (environ + 12 %) des fins sons et gros sons d'origine biologique. En ce qui concerne la teneur en zinc, cette supériorité est significative (+78 %) surtout dans les fins sons.

Dans le cas de la mouture sur meules (Tableau VII), on observe aussi un effet de concentration des teneurs en minéraux dans les produits périphériques. Les refus de broyage (R) présentent ainsi des teneurs en éléments minéraux de 4 à 6 fois plus élevées que celles du grain de départ. Ce résultat semblerait indiquer que ces particules ont échappé au travail de déstructuration opéré par le broyage des meules.

Toutefois, ces fractions ne représentent qu'un peu plus de 10 % du poids du grain de départ. Les autres fractions de mouture présentent des teneurs en minéraux intermédiaires. La fraction F2 est relativement proche de la farine par son aspect et sa composition en éléments minéraux alors que la fraction F3 apparaît plus proche d'un remoulage. La comparaison entre les modes de culture fait ressortir la même tendance générale : les teneurs en minéraux (hormis le fer) sont légèrement plus élevées pour les productions d'origine biologique.

Afin de mieux comparer les deux procédés de mouture, nous avons calculé le pourcentage de récupération des minéraux étudiés (par rapport au grain entier) dans les farines issues des deux modes de culture (**Tableau VIII**). Pour des taux

Mode de culture	Mg	Fe	Zn	Ca	K
<b>Conventionnelle</b>					
Grain entier	1180	46	29		
Farine de cylindres	465	21	13	78	2211
Farine de meules	611	25	18	101	2475
<b>Biologique</b>					
Grain entier	1338	34	32		
Farine de cylindres	538	19	15	93	2427
Farine de meules	697	20	19	112	3216

Tableau V : Teneurs moyennes (mg/kg m.s.) en quelques minéraux des grains et farines obtenues par mouture sur cylindres ou meules en cultures conventionnelle et biologique (Récolte 2003).

Mode de culture	Mg	Fe	Zn
<b>Conventionnelle</b>			
Farine	465	21	13
Fins sons	3844	123	89
Gros sons	5992	196	172
<b>Biologique</b>			
Farine	538	19	15
Fins sons	4303	14	158
Gros sons	6644	157	180

Tableau VI : Teneurs moyennes (mg/kg m.s.) en magnésium, fer et zinc des produits de mouture sur cylindres en cultures conventionnelle et biologique (Récolte 2003).

Mode de culture	Mg	Fe	Zn
<b>Conventionnelle</b>			
Farine	611	25	18
F2	833	31	23
F3	1832	69	39
R	6478	207	174
<b>Biologique</b>			
Farine	697	20	19
F2	1137	24	29
F3	2319	53	48
R	7108	163	191

Tableau VII : Teneurs moyennes (mg/kg m.s.) en magnésium, fer et zinc des produits de mouture sur meules en cultures conventionnelle et biologique (Récolte 2003).

Mode de culture	Mg	Fe	Zn
<b>Conventionnelle</b>			
Farine de cylindres	32	40	35
Farine de meules	40	46	42
Farine de meules + F2	41	48	42
Farine de meules + F2 + F3	47	54	47
<b>Biologique</b>			
Farine de cylindres	33	37	30
Farine de meules	40	44	40
Farine de meules + F2	42	47	43
Farine de meules + F2 + F3	45	53	48

Tableau VIII : Pourcentage de récupération des différents minéraux pour les fractions Farine, Farine + F2, Farine + F2 + F3 en cultures conventionnelle et biologique (Récolte 2003).

# Communications scientifiques & technologiques

d'extraction comparables, la mouture sur cylindres permet (en moyenne sur les deux types de blé) de récupérer environ 33 % du magnésium, 38 % du fer et 33 % du zinc contenus dans les grains entiers alors que la mouture sur meules permet de récupérer respectivement 40, 45 et 41 % de ces mêmes éléments minéraux. Par contre, il n'apparaît pas de différence significative entre les taux de récupération des minéraux en fonction du mode de culture des blés.

## Discussion

Trois facteurs peuvent influencer la teneur des farines en minéraux et micronutriments.

1. Les caractéristiques génétiques dont dépendent pour une part la composition en micronutriments des grains, mais aussi leur taille, leur morphologie (à même épaisseur des tissus, plus les grains sont petits, plus la proportion d'enveloppes est importante) ainsi que leurs propriétés texturales.
2. Les facteurs environnementaux et agronomiques ainsi que les interactions génotypes/milieu pouvant agir sur la composition et le remplissage des grains (degré d'échaudage).
3. Le procédé de mouture utilisé et le réglage des machines qui déterminent le taux d'extraction et le degré de fractionnement.

En utilisant les mêmes variétés (Apache, Renan et Caphorn) suivant deux modes de culture (conventionnel et biologique), il ne ressort que de faibles différences de composition minérale des grains et des farines (environ 10 %). Il est toutefois possible que la mise en culture de variétés d'origine génétique plus contrastée ou l'utilisation de techniques culturales particulières puissent conduire à nuancer ces résultats. La fertilisation azotée contribuant à un meilleur remplissage du grain conduit inévitablement à une diminution de la teneur en magnésium exprimée en

pourcentage de la matière sèche. En fait, ce sont davantage les procédés de mouture qui permettent de creuser l'écart entre les farines de la filière conventionnelle et biologique. Les résultats montrent que le broyage sur meules donne une teneur plus élevée en minéraux que le broyage sur cylindres, l'effet étant plus marqué en comparant une farine biologique obtenue sur meules à une farine conventionnelle obtenue sur cylindres. Dans la logique d'une utilisation plus courante de pain bis fabriqué à partir de produits issus de l'agriculture biologique, il semble possible de rajouter les fractions de mouture F2 (et éventuellement F3) à la farine de base sans compromettre fortement la valeur boulangère. Dans ces conditions, le rendement en farine serait supérieur à 85 % et permettrait d'atteindre des teneurs en magnésium supérieures à 700 mg/kg (m.s.) et supérieures à 20 mg/kg (m.s.) pour le zinc ce qui représente des accroissements de plus de 50 % de la teneur en ces deux micronutriments, par rapport à des farines conventionnelles produites après broyage sur cylindres.

Comment expliquer la meilleure teneur minérale des farines de meules ? Trois mécanismes peuvent être avancés : une plus forte incorporation du germe (embryon et scutellum) dans les farines, une micronisation partielle des sons et un possible relargage des éléments de la couche d'aleurone du fait de l'absence de conditionnement des grains avant mouture sur meules et du mode de contrainte exercée par la meule sur les particules (taux de cisaillement élevé sous contrainte de compression élevée). Les travaux réalisés au cours de cette étude ne permettent pas de répondre à cette question. La moindre récupération de germe après mouture sur cylindres que sur meules a été longtemps considérée comme un avantage en raison de l'augmentation de la durée de conservation de la farine qu'elle autorise. Si la totalité du germe était récupérée après mouture sur meules, ce qui n'est sans doute pas le cas,

cette fraction pourrait apporter près de 10 % des minéraux du grain entier. Ceci représenterait aux environs de 120 à 130 mg de magnésium selon les types de farines et pourrait expliquer largement les différences de concentration entre mouture sur cylindres et sur meules. Des travaux complémentaires (dosage de lipides, etc.) sont à entreprendre pour préciser l'effet respectif des trois mécanismes évoqués ci-dessus.

## Conclusion

Les résultats obtenus montrent que la démarche suivie dans la filière blé-farine-pain en agriculture biologique se traduit par une augmentation substantielle de la densité nutritionnelle en éléments minéraux de cet aliment. En fait, l'accroissement de la teneur en éléments minéraux de la farine est davantage le résultat de l'impact des conditions de mouture que celui du mode de culture. À même taux d'extraction, la mouture sur meules permet d'accroître de manière significative la teneur des farines en certains éléments minéraux, et notamment celles du magnésium et du zinc. En outre, l'amélioration de la valeur nutritionnelle des pains issus de l'agriculture biologique peut être augmentée par une panification au levain qui permet une dégradation de l'acide phytique et une acidification favorable à la biodisponibilité des minéraux (LEENHARDT *et al.*, 2005). Cette filière d'agriculture biologique, aboutissant à des farines et à des pains significativement enrichis en micronutriments, semble avoir été sous-estimée jusqu'ici.

Cependant, quel que soit le mode de production agricole ou de mouture, il reste aujourd'hui difficile de récupérer dans les farines plus de 50 % des éléments minéraux du grain de blé, même en augmentant le taux d'extraction des farines jusqu'à 90 %. Quoi qu'il en soit, tout accroissement du taux d'extraction des farines se heurtera à trois limites : celle de la qualité sanitaire des farines (teneurs



# Communications scientifiques & technologiques

en mycotoxines), celle de leur conservation en raison d'une plus forte teneur en matières grasses, enfin celle de l'acceptabilité par le consommateur des propriétés organoleptiques des produits finis. Des travaux sont à entreprendre pour améliorer les techniques de panification des farines à teneur en fibres élevée.

En montrant l'impact du mode de sollicitation mécanique des grains au cours de leur broyage sur la composition des farines, cette étude offre un renversement de perspectives pour les industries de première transformation des céréales. Une meilleure connaissance des propriétés microstructurales des grains et de l'impact des différents modes de sollicitations mécaniques sur ces structures est requise pour optimiser la composition et les propriétés des farines en limitant le taux des contaminants et en augmentant les teneurs en micronutriments. ■

## Références bibliographiques

**AACC 39-70A.** Near-infrared reflectance method for hardness determination in wheat.

**ADAM A.,** 2002. *Qualité nutritionnelle et effets métaboliques des farines de blé et du pain.* Thèse, Université de Clermont-Ferrand.

**CABALLERO B., POPKIN B.M.,** 2002. *The nutritional transition: diet and disease in the developing world.* Academic Press, Amsterdam, 261p.

**DREWNOWSKI A., POPKIN B.M.,** 1997. The nutrition transition: new trends in the global diet. *Nutr. Rev.*, **55(2)**, 31-43.

**LEENHARDT F., LEVRAT-VERNY M.A., CHANLIAUD E., REMESY C.,** 2005. Moderate decrease of pH by sourdough fermentation is sufficient to reduce phytate content of whole wheat flour through endogenous phytase activity. *J. Agric. Food Chem.*, sous presse.

**LOPEZ H.W.,** 2001. *Maîtrise de la qualité nutritionnelle du blé : fibres, minéraux et acide phytique.* Thèse, Université de Clermont-Ferrand.

**MARTIN A.,** 2000. *Apports nutritionnels conseillés pour la population française.* Éditions Tec & Doc, Paris.

**NF 03-720.** Céréales et produits de mouture - Détermination des cendres - Méthode par incinération à 900 degrés Celsius.

**NF V 03-702.** Céréales et légumineuses. Détermination de la masse de 1 000 grains.

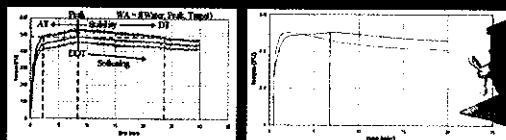
**NF V 03-707.** Céréales et produits céréaliers - Détermination de la teneur en eau - Méthode de référence pratique.

**SLAVIN J.L., MARTINI M.C., JACOBS D.R., MARQUART L.,** 1999. Plausible mechanisms for the protectiveness of whole grains. *Am. J. Clin. Nutr.*, **70**, 459-463.



## RHÉOLOGIE DES PÂTES, SOLUTION MODERNE ET FLEXIBLE

Comportement de pâtes en cours de pétrissage; Simulation de procédés; farines de blé tendre, blé de force, farines complètes, et autres céréales; mélanges; ajout d'ingrédients; conformité des résultats avec les normes NF ISO 5530-1, ICC 11511 et AACC 54-21.



la qualité de vos résultats

Newport Scientific Europe Ltd  
Unit 454, 1 Silk House  
Park Green, Macclesfield  
SK11 7QJ, Royaume-Uni  
Tél/Fax: +44(0) 1606 854 572  
Portable: +44(0) 7811 101 299  
Email: echarrie@newport.com.au  
Internet: www.newport.com.au

