

Historique de l'amélioration du blé dur au Canada et sommaire des recherches récentes de la Commission canadienne des grains sur certains facteurs associés à la transformation du blé dur

James E. Dexter

Laboratoire de recherches sur les grains, Commission canadienne des grains,

1404-303, rue Main

Winnipeg (Manitoba) R3C 3G8 Canada

1. Résumé

Dans la première partie du présent article, nous proposons un historique de la création de variétés de blé dur au Canada, et nous expliquons comment les critères de qualité de cette céréale ont été mis au point puis ont évolué selon les réactions du marché. Parmi les principaux facteurs technologiques ayant façonné ces critères depuis les années 1950 jusqu'aux années 1980, notons l'adoption des presses à extrusion continue sous vide et des filières en Teflon, qui a fait privilégier l'aspect visuel des pâtes alimentaires. De plus, on a progressivement réalisé que la force du gluten était associée à une texture plus ferme des pâtes. Durant les années 1990, le séchage des pâtes à haute et à ultra-haute température a donné encore plus d'importance à la couleur des pâtes, tandis que le recours accru à l'indice de gluten et aux propriétés alvéographiques comme critères de force du gluten ont poussé le marché à privilégier un gluten plus fort. Le Canada a continué à mettre en circulation des variétés suivant l'évolution des exigences du marché. Ainsi, depuis les années 1960 jusqu'à aujourd'hui, la production moyenne annuelle de blé dur canadien est graduellement passée de 0,5 à 5 millions de tonnes métriques. Les autres parties du présent article résument quelques projets de recherche de la Commission canadienne des grains portant sur le blé dur. Dans le premier cas, on a étudié les effets de la force du gluten sur la texture des pâtes alimentaires, en cherchant notamment à déterminer s'il est avantageux, à cet égard, de mélanger de la semoule à gluten extra fort à de la semoule à gluten faible, plutôt que d'utiliser de la semoule à gluten de force modérée. Dans le cadre d'un autre projet, on a cherché à améliorer la valeur nutritive des pâtes alimentaires en y ajoutant des fractions d'orge nue riches en fibres, et on a étudié l'impact de ce procédé sur la fabrication des pâtes ainsi que sur leur texture et leur couleur. Les deux derniers projets visaient à élargir les débouchés disponibles pour le blé dur, en mettant au point des variétés multi-usages convenant d'une part à la fabrication de pains à fort volume et d'autre part à la fabrication de nouilles jaunes alcalines (NJA) de type asiatique. Les carences du blé dur pour la fabrication de pain à fort volume sont habituellement soit la force insuffisante du gluten, soit le manque d'extensibilité des génotypes à gluten fort. Parmi une collection de blés durs provenant de diverses régions du monde, on a trouvé des génotypes à gluten fort et à bonne extensibilité convenant à la fabrication de pain à fort volume. Par ailleurs, les NJA obtenues à partir de génotypes de blé dur à gluten fort se sont révélées de qualité culinaire comparable à celles obtenues à partir de blé commun. La farine de blé dur a une teneur en pigments jaunes plus élevée et une activité polyphénol oxydasique et peroxidasique plus faible qui rend les NJA fraîches de blé dur supérieures à celles de blé de force blanc de printemps, quant à leur brillance, à leur coloration jaune ainsi qu'à la stabilité de leur couleur après la fabrication.

Mots clés : blé dur, sélection selon la qualité, commercialisation, pâtes alimentaires, pain, nouilles asiatiques.

2. Amélioration du blé dur au Canada

2.1. Introduction

Le blé dur canadien est produit dans l'ouest du pays, dans le sud des Prairies, où les étés secs et très chauds et les sols brun clair conviennent particulièrement à la culture de cette céréale (figure 1). La récolte est classée en quatre grades meuniers, selon la norme de classification du blé dur ambré de l'Ouest canadien (CWAD) que la Commission canadienne des grains a établie à partir de recherches scientifiques

(Dexter et Edwards, 1998). La qualité intrinsèque du blé CWAD est garantie par le fait que seules les variétés conformes aux critères de qualité fixés peuvent être enregistrées.

Les critères de qualité des variétés canadiennes de blé dur évoluent selon les réactions des acheteurs de blé CWAD. Un historique détaillé de l'amélioration du blé dur canadien a été publié il y a une dizaine d'années par Dexter et Marchylo (1997). Dans le présent article, nous résumons brièvement les grandes percées survenues jusqu'alors, puis nous décrivons quelques progrès réalisés au Canada durant les dix dernières années en matière de création de variétés de blé dur.

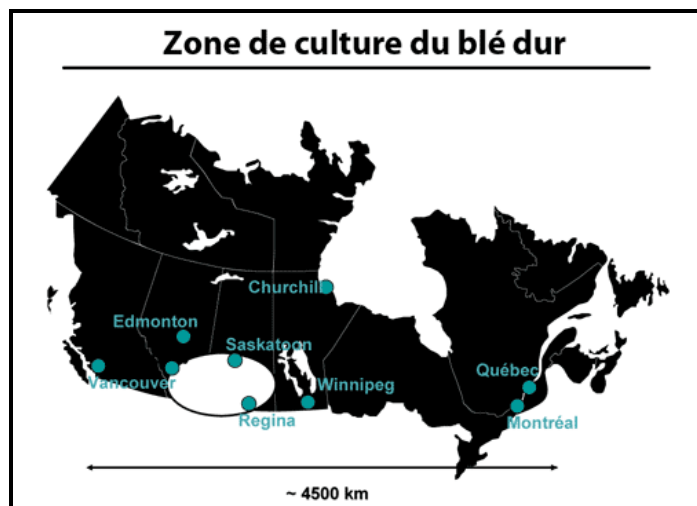


Figure 1. Le blé dur canadien se cultive principalement dans le sud des Prairies (région encerclée), où les étés sont secs et très chauds. Durum Wheat Growing Area = Zone de culture du blé dur

2.2. Principaux jalons historiques de l'amélioration du blé dur canadien

Le blé dur a été introduit dans l'Ouest canadien vers la fin du 19^e siècle, mais la première variété créée au Canada, 'Stewart 63', n'a été mise en circulation qu'en 1963. La production de blé dur a connu une forte progression durant les années 1960, en raison d'une épidémie de rouille noire survenue dans l'Ouest canadien (figure 2). Le blé dur était moins sensible à cette maladie que les variétés de blé commun alors disponibles.

Selon les normes d'aujourd'hui, 'Stewart 63' était de qualité médiocre : son gluten était faible, il renfermait peu de pigments jaunes, et il donnait des pâtes à texture médiocre (tableau 1). Les clients ont donc fait comprendre qu'il fallait améliorer la qualité du blé CWAD. Avec la technologie pastière moderne, la couleur gagnait en importance pour les pâtes alimentaires de qualité. Les presses automatiques à extrusion continue sous vide produisent une pâte sans bulles dotée d'une couleur très riche, tandis que les filières en Teflon rendent la surface des pâtes plus lisse et plus brillante. Par conséquent, pour améliorer la qualité du blé dur canadien, on a commencé par chercher à augmenter la brillance des pâtes ainsi que leur teneur en pigments jaunes.

C'est le marché italien, débouché important pour le blé dur canadien, qui a fait accorder de l'importance à la force du gluten comme facteur déterminant la fermeté des pâtes alimentaires. Le blé dur 'Pelissier', qui avait été introduit d'Afrique du Nord en 1929, avait une force de gluten beaucoup plus élevée que les autres variétés CWAD alors enregistrées. À compter de 1955, le blé 'Pelissier' a été séparé au moyen d'un grade spécial, le blé CWAD « Extra n° 4 », à cause de sa couleur médiocre (tableau 1). Or, en Italie, ce grade était préféré aux autres grades de blé CWAD en raison de sa force de gluten plus élevée. L'augmentation de la force du gluten a donc été ajoutée aux priorités d'amélioration du blé CWAD.

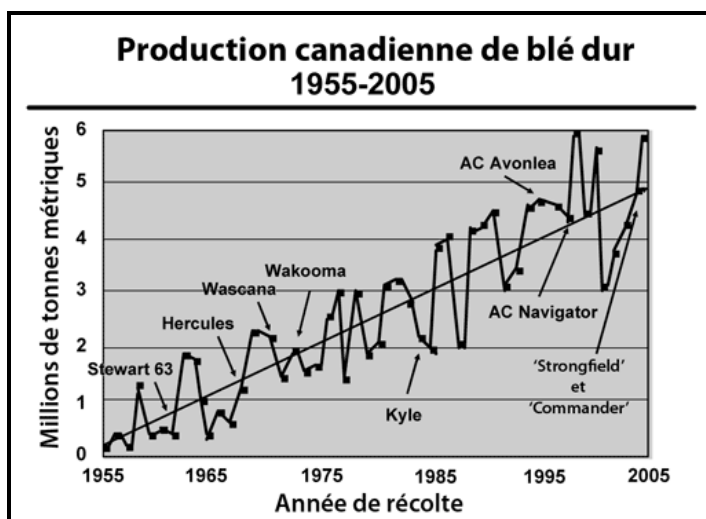


Figure 2. Production canadienne de blé dur au cours des 50 dernières années, avec date d'enregistrement des principales variétés.

Enregistrée en 1969, 'Hercules' a été la première variété canadienne à combiner une meilleure couleur et une force de gluten plus élevée, par rapport à 'Stewart 63' (tableau 1). Peu de temps après, deux autres variétés améliorées ont été enregistrées, 'Wascana' en 1971 et 'Wakooma' en 1973. Ces deux variétés avaient de meilleures propriétés agronomiques que les variétés précédentes de blé CWAD; vers la fin des années 1970, elles étaient semées sur plus de 75 % des terres consacrées au blé CWAD. L'amélioration de la qualité du blé CWAD a fait du Canada un fournisseur privilégié de blé dur pour les marchés exigeant une qualité supérieure, et la production annuelle a atteint plus de 2 millions de tonnes métriques vers la fin des années 1970 (figure 2).

Tableau 1. Propriétés diverses observées chez quelques cultivars dans le cadre du programme d'amélioration du blé dur canadien de 1969.

Propriété	Stewart 63	Pelissier	Hercules	Wascana	Wakooma
Grain :					
Protéines (%)	13,9	14,2	14,8	13,8	14,4
Semoule :					
Extensibilité du gluten (minutes)	4	>300	42	34	>300
Spaghetti :					
Pigments, p.p.m.	4,3	3,6	5,5	6,7	5,6
Indice de qualité culinaire (unités)	5	14	12	16	24

La variété 'Kyle', enregistrée en 1984, présentait une force de gluten semblable à celle de 'Wakooma', mais une teneur plus élevée en pigments jaunes et de meilleures propriétés agronomiques. Elle est rapidement devenue la variété dominante de blé CWAD et a occupé plus de 50 % des terres semées de blé CWAD depuis la fin des années 1980 jusqu'à la fin des années 1990. Durant cette période, la production

de blé CWAD a continué d'augmenter, et la production annuelle moyenne a dépassé les quatre millions de tonnes vers le milieu des années 1990 (figure 2).

2.3. Progrès récents de l'amélioration du blé dur canadien

L'introduction du séchage à haute température (HT, 60 à 80 °C) et à ultra-haute température (UHT, 80 à 110 °C) des pâtes alimentaires (Pollini, 1996), a récemment eu un impact sur les critères de qualité du blé dur. Le séchage HT ou UHT permet d'obtenir des pâtes de qualité culinaire acceptable ou même supérieure à partir de matière première de qualité médiocre (Malcolmson *et al.*, 1993). Ces techniques peuvent également améliorer la couleur des pâtes, mais il faut s'assurer de réduire au minimum le brunissement non enzymatique dû à la réaction de Maillard (Dexter *et al.*, 1984). La force du gluten influe moins sur la qualité culinaire des pâtes HT et UHT que sur celle des pâtes séchées à basse température (D'Egidio *et al.*, 1990), mais elle demeure un critère important de la qualité du blé dur. L'indice de gluten (Cubadda *et al.*, 1992) et les propriétés physiques de la pâte, notamment mixométriques et alvéographiques, demeurent des critères largement utilisés (Dick et Youngs, 1988; D'Egidio *et al.*, 1990).

Une percée importante dans le domaine de l'amélioration du blé dur a été la découverte, par Damidaux *et al.* (1978), que deux protéines de type γ -gliadine, correspondant aux bandes 42 et 45 de l'électrophorogramme, constituent des marqueurs d'une force de gluten respectivement faible ou élevée. Ainsi, 'Stewart 63' et 'Wascana' sont des génotypes à γ -gliadine 42, tandis que 'Hercules', 'Wakooma' et toutes les variétés de blé CWAD plus récentes sont des génotypes à γ -gliadine 45. On sait maintenant que le gluten fort des génotypes à γ -gliadine 45 est en fait dû à un groupe particulier de sous-unités à faible poids moléculaire de la gluténine, les LMW-2 (Pogna *et al.*, 1988).

Les génotypes de blé dur à LMW-2 présentent toute une gamme de forces de gluten. Des essais ont montré que ces génotypes ont une qualité culinaire supérieure aux génotypes à LMW-1, c'est-à-dire à γ -gliadine 42 (Kosmolak *et al.*, 1980), mais aucun essai concluant ne permet d'affirmer que les génotypes à LMW-2 qui ont un gluten fort sont de qualité culinaire supérieure aux génotypes à LMW-2 qui ont un gluten plus faible (Marchylo *et al.*, 2001). D'ailleurs, les variétés modernes de blé CWAD sont de qualité culinaire uniforme, malgré leurs différences marquées de force du gluten (tableau 2). Quoiqu'il en soit, vers le milieu des années 1990, pour satisfaire certains clients étrangers, on a décidé d'augmenter la force du gluten des blés CWAD. Le blé 'AC Avonlea', à force de gluten semblable à celle de 'Kyle', a été enregistrée en 1997 parce qu'aucune lignée à gluten plus fort n'était encore parvenue aux derniers essais de sélection. 'AC Avonlea' avait une teneur plus élevée en protéines et une meilleure couleur que les variétés antérieures et est rapidement devenue la variété la plus populaire de blé CWAD, car elle possédait en outre des propriétés agronomiques supérieures. Toutes les variétés de blé CWAD enregistrées depuis 1997 ont une force de gluten sensiblement supérieure à celle de la variété 'AC Avonlea'.

Toujours en 1997, on a autorisé les essais de commercialisation des variétés 'AC Navigator' et 'AC Pathfinder', dont le gluten s'est révélé beaucoup plus fort que celui des variétés antérieures de blé CWAD; leur identité a donc été préservée à titre de blé CWAD « extra fort ». 'AC Navigator' possédait également une teneur en pigments jaunes plus élevée que les variétés antérieures. Comme cette variété avait en outre un rendement en semoule plus élevé que 'AC Pathfinder', elle a été mieux accueillie que celle-ci par les clients. Par conséquent, en 2001, l'enregistrement de 'AC Navigator' a été prolongé, tandis que celui de 'AC Pathfinder' a été retiré. Jusqu'en 2005, 'AC Navigator' a été commercialisé exclusivement sous identité préservée, ce qui permettait de profiter de ses propriétés avantageuses; en 2005, on lui a accordé l'enregistrement non limité, et elle a pu être mélangée à d'autres variétés de blé CWAD. En 2004, l'enregistrement a été accordé à la variété 'AC Commander', à gluten tenace et exceptionnellement fort et à teneur en pigments jaunes semblable à celle de 'AC Navigator' (tableau 2). Le blé 'AC Commander' est commercialisé sous identité préservée, ce qui permettra d'évaluer la réaction des clients avant qu'une décision soit prise quant à la possibilité de le mélanger aux autres variétés de blé CWAD.

Tableau 2. Propriétés diverses observées chez quelques cultivars dans le cadre du programme d'amélioration du blé dur canadien de 2005.

Propriété	AC Avonlea	AC Navigator	Strongfield	Commander
Grain :				
Protéines (%)	14,6	13,8	14,8	13,7
Cadmium (mg/kg)	0,167	0,213	0,073	0,248
Semoule :				
Pigments (p.p.m.)	8,3	9,5	8,8	9,8
Indice de gluten (%)	34	74	71	94
Propriétés alvéographiques :				
Rapport pression/longueur	0,58	1,52	1,04	1,68
Travail ($J \times 10^{-4}$)	147	276	260	363
Spaghetti séché à 90 °C :				
Fermeté après cuisson optimale (g)	1185	1125	1238	1138
Fermeté après cuisson excessive (g)	783	794	805	808

Le programme d'amélioration du blé dur canadien a également dû s'attaquer au problème d'innocuité alimentaire lié à la présence d'un métal lourd, le cadmium, dans cette céréale. Le Codex Alimentarius recommande pour le blé une concentration maximale de cadmium de 200 mg/kg. Or, il y a une dizaine d'années, on a découvert chez la plupart des lignées de blé CWAD une concentration élevée de cadmium. Les exportations de blé CWAD respectaient les limites prescrites à l'échelle internationale, mais il fallait exercer une surveillance pour garantir leur conformité. Par conséquent, la réduction de la concentration de cadmium est devenue un des principaux objectifs du programme d'amélioration du blé dur canadien. Chez le blé dur, l'accumulation de cadmium est contrôlée par un seul gène, qui est dominant (Clarke *et al.*, 1997). Le fait de renfermer peu de cadmium est un caractère très héréditaire, et l'allèle responsable permet de réduire la concentration de cadmium d'environ 50 %, sans effet appréciable sur les propriétés agronomiques ou la qualité du grain. Dès 2005, toutes les lignées avancées du programme d'amélioration du blé dur canadien possédaient cet allèle, et il est désormais obligatoire que la concentration de cadmium soit faible pour qu'une variété de blé dur puisse être enregistrée au Canada. Une percée importante a été réalisée en 2004, avec l'enregistrement de la variété 'Strongfield', à gluten fort et à faible concentration de cadmium (tableau 2). 'Strongfield' possède des propriétés agronomiques exceptionnelles et est depuis 2007 la variété de blé CWAD la plus cultivée. La concentration de cadmium ne fait donc plus obstacle à l'exportation de blé CWAD.

3. Effet du mélange de blés durs à forces de gluten différentes sur la texture des pâtes alimentaires

3.1. Introduction

Certains fabricants de pâtes alimentaires mélangent les grains ou semoules de différentes variétés de blé dur afin de maintenir une force de gluten uniforme. Le processus de transformation ainsi que le produit fini sont ainsi plus uniformes, et les coûts de production peuvent être moindres, si une semoule à gluten très fort est mélangée à des semoules bon marché à gluten faible. Rien n'indique de manière concluante que les génotypes de blé dur LMW-2 à gluten fort donnent des pâtes à meilleure texture que les génotypes LMW-2 à gluten plus faible (tableau 2), mais il peut être avantageux de mélanger les génotypes LMW-2 à gluten relativement fort à des génotypes LMW-1 à gluten faible.

3.2. Échantillons et dispositif expérimental

Des grains de blé dur de la variété ‘Stewart 63’ ainsi que de variétés CWAD actuellement enregistrées présentant diverses forces de gluten ont été réduits en semoule (Dexter *et al.*, 1990), puis la semoule de chaque variété CWAD a été mélangée à la semoule ‘Stewart 63’ selon cinq proportions (tableau 3). L’indice de gluten et les propriétés alvéographiques ont été déterminés conformément aux méthodes approuvées de l’AACC (2000). Les divers mélanges ont été transformés en spaghetti au moyen d’un microprocédé (Matsuo *et al.*, 1972), puis le spaghetti a été séché à HT (70 °C, voir Dexter *et al.*, 1981) ou à UHT (90 °C, voir Dexter *et al.*, 1984).

Tableau 3. Indice de gluten de divers mélanges de variétés CWAD avec ‘Stewart 63’.

Variété	Proportion				
	15 %	30 %	50 %	75 %	100 %
Stewart 63	--	--	--	--	3
Plenty	2	3	2	4	3
AC Melita	4	10	38	64	77
AC Navigator	4	20	44	78	89

3.3. Résultats et discussion

La force de la semoule est souvent spécifiée en termes de propriétés alvéographiques. Dans le cas des mélanges entre semoules ‘AC Navigator’ et ‘Stewart 63’, la courbe alvéographique était d’autant plus prononcée que la proportion de semoule ‘AC Navigator’ était élevée (figure 3). La semoule de ‘Plenty’, génotype LMW-2 à gluten plus faible, avait beaucoup moins d’effet sur la courbe alvéographique.

L’indice de gluten permet de distinguer les variétés dont le gluten est moyennement fort à extra fort, mais il donne des résultats anormalement bas dans le cas des variétés à gluten de force modérée. Par exemple, ‘Plenty’ a un indice de gluten de seulement 3 % (tableau 3), ce qui est trop faible pour la force de gluten indiquée par la courbe alvéographique (figure 3). On peut donc se demander si l’indice de gluten est vraiment haussé lorsqu’une proportion relativement faible de semoule à gluten fort est mélangée à une semoule à gluten faible. Lorsque deux variétés CWAD à gluten fort, ‘AC Navigator’ et ‘AC Melita’, ont été mélangées à ‘Stewart 63’, l’indice de gluten a augmenté selon la quantité ajoutée de semoule à gluten fort (tableau 3). Ces résultats confirment que les semouliers peuvent employer efficacement les génotypes de blé dur à gluten fort pour respecter les exigences en matière d’indice de gluten.

Comme il a été mentionné plus tôt, l’augmentation de la force de gluten des génotypes LMW-2 semble présenter peu d’intérêt quant à la qualité culinaire des pâtes alimentaires, particulièrement si celles-ci sont séchées à HT ou à UHT. Dans le cadre de la présente étude, la fermeté des pâtes fabriquées à partir de semoules pures de l’un ou l’autre de divers cultivars canadiens modernes ne présentait pas de différences significatives si les pâtes avaient été séchées à HT ou à UHT (figure 4). Dans tous les cas, la fermeté de ces pâtes était supérieure à celle des pâtes obtenues avec la semoule pure de ‘Stewart 63’. Le gluten plus fort des génotypes LMW-2 ne semble pas améliorer la qualité culinaire si la semoule de ces génotypes est mélangée à celle de cultivars à gluten plus faible. Que le spaghetti soit séché à 70 ou à 90 °C, les divers mélanges de ‘Stewart 63’ avec jusqu’à 75 % de variétés à gluten plus fort se classaient généralement, quant à leur qualité culinaire, selon la force de gluten de ces variétés : ‘AC Navigator’ > ‘AC Melita’ > ‘Plenty’. La force supérieure du gluten de certains génotypes LMW-2 est due à leur teneur plus élevée en gluténine LMW (Edwards *et al.*, 2007a). La gluténine LMW-2 est la fraction protéique du gluten qui est associée à la texture des pâtes alimentaires. Plus un génotype est riche en gluténine LMW-2, plus il en fournit au mélange renfermant une proportion donnée de ce génotype, ce qui explique la qualité supérieure des pâtes obtenues avec les mélanges renfermant les génotypes dont les glutens sont les plus forts.

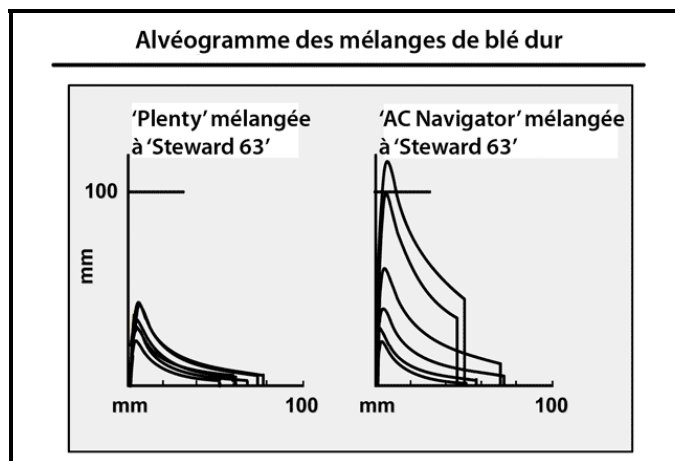


Figure 3. Courbes alvéographiques obtenues au moyen de semoule pure de 'Steward 63' et de semoule de 'Steward 63' mélangée à diverses proportions de semoule de blé dur des variétés canadiennes 'Plenty' et 'AC Navigator'.

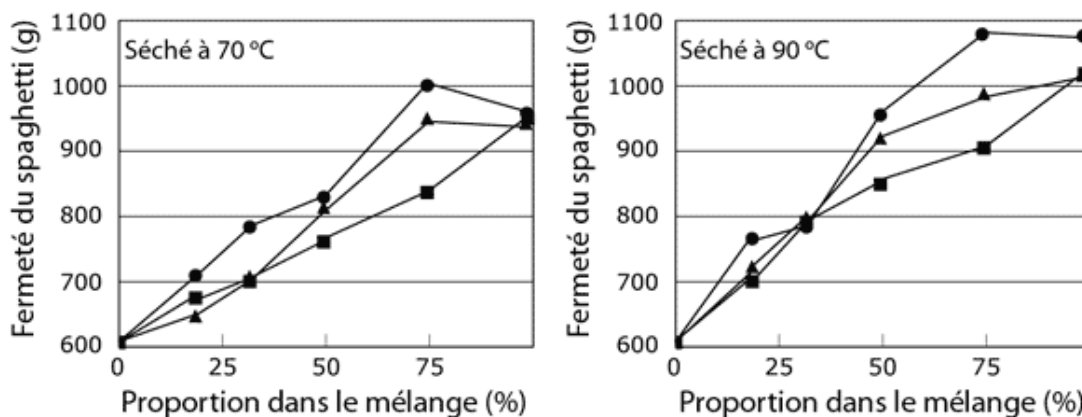


Figure 4. Fermeté des pâtes alimentaires obtenues à partir de semoule 'Steward 63' mélangée à diverses proportions de semoules des blés durs canadiens 'Plenty' (■), 'AC Melita' (▲) et 'AC Navigator' (●).

3.4. Conclusions

Par rapport à l'indice de gluten, la courbe alvéographique permet de mieux distinguer les génotypes de blé dur à gluten faible à modéré. Dans le cas des pâtes fabriquées entièrement à partir de génotypes LMW-2, la fermeté des pâtes séchées à HT ou à UHT n'augmente pas avec la force du gluten. Cependant, si la semoule d'un génotype LMW-2 à gluten relativement fort est mélangée à la semoule d'un génotype LMW-1 à gluten très faible, le spaghetti cuit est plus ferme que celui obtenu avec un mélange renfermant la même proportion d'un génotype LMW-2 à gluten plus faible.

4. Pâtes alimentaires additionnées de fractions riches en fibres d'orge nue

4.1. Introduction

Les cultivars d'orge nue peuvent avoir un amidon cireux à zéro pour cent d'amylose, un amidon cireux, un amidon à pourcentage normal d'amylose ou un amidon à pourcentage élevé d'amylose. Certains cultivars ont en outre une teneur élevée en β -glucanes, en arabinoxylanes ou en d'autres nutriments importants (Izydorczyk *et al.*, 2003). Les diverses caractéristiques d'empesage de l'amidon ainsi que leurs

avantages possibles pour la santé ont créé beaucoup d'intérêt pour l'ajout d'orge nue et de fractions d'orge nue comme ingrédients dans les aliments. Ces avantages ont d'ailleurs été démontrés dans le cas des β -glucanes, principaux constituants des fibres de l'orge (Brennan et Cleary, 2005). Récemment, la Food and Drug Administration (FDA) des États-Unis a autorisé, dans le cas de l'orge à grain entier et des produits en refermant, que l'étiquette porte une allégation selon laquelle ces produits réduisent les risques d'insuffisance coronarienne (FDA, 2005).

Izydorczyk *et al.* (2003) ont décrit un procédé simple de mouture entre cylindres qui permet de séparer facilement l'orge nue en farine et en fraction riche en fibres (FRF). La FRF a été employée avec succès comme ingrédient dans les nouilles de type asiatique (Izydorczyk *et al.*, 2005). Nous résumons ici une étude sur l'incorporation de FRF d'orge aux pâtes alimentaires (Dexter *et al.*, 2005).

4.2. Échantillons et dispositif expérimental

Nous avons employé de l'orge nue des variétés canadiennes 'CDC Alamo' (amidon à zéro pour cent d'amylose) et 'Falcon' (amidon à pourcentage normal d'amylose – 24 %) ainsi que de la lignée expérimentale CDC-92-55-06-48 (amidon à pourcentage élevé d'amylose – 42 %). L'orge a été conditionnée de manière à renfermer 14,5 % d'humidité, puis perlée de 15 %, puis enfin moulue par un bref passage entre cylindres selon le procédé décrit par Izydorczyk *et al.* (2003). La semoule de base provenait de blé dur 'AC Avonlea'.

Les teneurs en protéines, en amidon et en β -glucanes ainsi que la texture des pâtes ont été déterminées conformément aux méthodes approuvées de l'AACC (2000). La teneur en arabinoxylanes a été déterminée conformément à la méthode de Douglas (1981). La teneur en amylose de l'amidon déshuilé a été déterminée par titrage potentiométrique (Schoch, 1964). La semoule a été enrichie au moyen de proportions déterminées de FRF, puis transformée en pâtes au moyen d'un microprocédé décrit par Matsuo *et al.* (1972). Les pâtes ont été séchées à 70 °C (Dexter *et al.*, 1981). La couleur des pâtes a été évaluée selon la méthode décrite par Dexter *et al.* (2004).

4.3. Résultats et discussion

La teneur en β -glucanes était de 8,1 % chez le génotype à pourcentage élevé d'amylose, de 7,1 % chez le génotype à zéro pour cent d'amylose et de 3,9 % chez le génotype à pourcentage normal d'amylose. Conformément aux résultats obtenus par Bhatti (1999), le rendement en farine présentait une relation inverse avec la teneur en β -glucanes (résultats non présentés). Le rendement en FRF avait donc une relation positive avec la teneur en β -glucanes (tableau 4); il allait de 12 %, chez l'orge à pourcentage normal d'amylose, à 27 %, chez l'orge à pourcentage élevé d'amylose. La teneur en β -glucanes de la FRF était plus du double de celle de l'orge entière et allait de 10,3 %, dans le cas de l'orge à pourcentage normal d'amylose, à 18,3 % dans le cas de l'orge à pourcentage élevé d'amylose. La teneur en arabinoxylanes de la FRF variait peu selon les génotypes, et elle était d'environ 8 % en moyenne.

Tableau 4. Rendement en FRF de l'orge nue et composition de la FRF. Résultats d'analyse exprimés en pourcentage de matière sèche.

Pourcentage d'amylose de l'amidon	Rendement en FRF (%)	Amidon (%)	β -glucanes (%)	Arabinoxylanes (%)	Protéines (% N \times 5,7)
Élevé	27	50,9	17,3	8,6	14,6
Normal	12	57,7	10,3	8,3	13,3
Zéro	21	49,4	18,3	7,3	15,0

Nous avons ajouté suffisamment de FRF pour hausser de 2 % la teneur du spaghetti en β -glucanes (tableau 5). La transformation en spaghetti s'est déroulée normalement, sauf que l'absorption d'eau a été

de 34 % avec l'ajout de FRF à zéro pour cent d'amylose et de 36 % avec l'ajout des autres types de FRF, par rapport à 30 % dans le cas de la semoule pure. L'effet le plus prononcé sur la couleur du spaghetti a été observé dans le cas du génotype à pourcentage normal d'amylose, parce qu'il a fallu ajouter deux fois plus de FRF de cette orge pour obtenir un enrichissement semblable en β -glucanes. L'ajout de FRF a réduit la brillance (L^*) ainsi que la coloration jaune (b^*) et augmenté la coloration rouge (a^*) ainsi que le nombre des piqûres (non quantifié). Cependant, la couleur des spaghettis issus des semoules enrichies de FRF à pourcentage élevé d'amylose ou à zéro pour cent d'amylose demeurait satisfaisante et devrait être acceptable pour les consommateurs soucieux de leur santé. L'ajout de FRF n'a pas eu d'effet significatif sur la fermeté du spaghetti cuit, malgré la concentration moindre de gluten de blé; il semble donc que les β -glucanes et/ou les arabinoxylanes et/ou les protéines de l'orge nue contribuent à la fermeté du spaghetti cuit.

Tableau 5. Couleur et fermeté du spaghetti fabriqué à partir de semoule enrichie de FRF d'orge nue.

Échantillon	Ajout de FRF (%)	L^*	a^*	b^*	Fermeté (g)
Semoule pure	0	76,6	2,7	63,3	1028
% élevé d'amylose	11	67,9	6,8	50,7	1073
% normal d'amylose	20	61,1	10,6	45,8	1053
Zéro amylose	11	68,4	6,5	52,1	1102

4.4. Conclusions

Avec l'ajout de FRF, la transformation en spaghetti s'est opérée normalement, sauf qu'il a fallu augmenter l'absorption d'eau de la pâte. La couleur du spaghetti enrichi de FRF était inférieure à celle du spaghetti de semoule pure de blé dur, mais elle demeurait acceptable. L'ajout de FRF n'a pas eu d'effet appréciable sur la fermeté du spaghetti. Ces résultats montrent que la FRF d'orge obtenue par mouture entre cylindres, qui ne requiert aucun produit chimique, est très prometteuse comme ingrédient brut naturel permettant d'augmenter la teneur en fibres alimentaires des pâtes alimentaires.

5. Qualité boulangère de variétés de blé dur provenant de diverses régions du monde

5.1. Introduction

Dans les pays méditerranéens, le blé dur est depuis longtemps employé pour la fabrication de pains plats traditionnels et d'autres pains de spécialité (Quaglia, 1988). Or, il serait intéressant de créer des variétés de blé dur convenant à la fabrication de pains de fort volume, afin de disposer de débouchés de rechange en cas de surproduction (Liu *et al.*, 1996). La performance boulangère du blé dur s'améliore à mesure qu'augmente la force de son gluten, mais les variétés à gluten fort ont souvent un gluten tenace qui nuit à l'extensibilité de la pâte et limite le volume du pain, en réduisant sa réaction à la cuisson (Quaglia, 1988).

Dans le cadre des programmes d'amélioration du blé dur, on sélectionne les lignées uniquement pour leur aptitude à la pastification, puisque les pâtes alimentaires sont le principal produit fini. Par conséquent, la valeur boulangère de ce blé n'a pas été privilégiée, ce qui explique en partie que les études antérieures aient toujours conclu que la qualité boulangère du blé dur est intrinsèquement inférieure à celle du blé commun. Dans le cadre de la présente étude, nous avons étudié la qualité boulangère de génotypes de blé dur d'origines diverses présentant toute une gamme de forces de gluten et de compositions protéïniques, afin de préciser l'étendue possible de la qualité boulangère du blé dur (Edwards *et al.*, 2007b).

5.2. Échantillons et dispositif expérimental

Trente génotypes provenant d'Allemagne, d'Argentine, d'Australie, du Canada, d'Espagne, de France, d'Italie, de Nouvelle-Zélande, de Russie et des États-Unis ont été cultivés dans l'Ouest canadien en 2001 et 2002. Des échantillons du grain récolté ont été réduits en semoule par la méthode de Dexter *et al.*

(1990). L'indice de gluten ainsi que les propriétés alvéographiques et farinographiques ont été déterminés par les méthodes approuvées de l'AACC (2000). Du pain cuit sur la sole a été préparé selon le procédé décrit par Paulley *et al.* (2004). La teneur en protéines polymériques non extractibles a été déterminée selon la méthode de Gupta *et al.* (1993). Les sous-unités de gluténine à poids moléculaire élevé (HMW-GS) ont été séparées par électrophorèse sur gel de polyacrylamide (PAGE) selon la méthode décrite par Gupta et MacRitchie (1991). La présence des γ -gliadines 42 et 45, marqueurs des gluténines LMW-1 ou LMW-2, a été établie par électrophorèse sur gel de polyacrylamide en milieu acide (Acid-PAGE), selon la méthode de Tkachuk et Mellish (1980).

5.3. Résultats et discussion

Trois des génotypes étaient de type LMW-1. Parmi les 27 génotypes de type LMW-2, les configurations HMW-GS suivantes ont été observées : 6+8, 7+8, 7+16, 14+15, 20 et 2*+20. Rien n'indique de manière concluante que cette configuration soit reliée à la force du gluten du blé dur, sauf dans le cas de la configuration HMW-GS 20, qui serait corrélée à un gluten faible selon Carillo *et al.* (1990).

La proportion de protéines polymériques non extractibles (UPP) présentait une forte relation linéaire avec le travail mesuré à l'alvéographe, indicateur de la résistance de la pâte (figure 5). L'indice de gluten présentait également une corrélation avec la proportion d'UPP, mais il ne permettait pas une bonne discrimination dans le cas des génotypes à gluten modéré à fort, comme nous l'avons signalé précédemment. Le volume du pain était fortement corrélé avec le travail mesuré à l'alvéographe, ce qui confirme l'avantage d'un gluten fort pour la panification. Cependant, la longueur mesurée à l'alvéographe était encore plus fortement corrélée avec le volume du pain, ce qui montre que les cultivars donnant la pâte la plus extensible donnent également le meilleur pain. Certains des génotypes de blé dur ont donné un pain cuit sur la sole égal ou supérieur, en termes de volume et de structure de la mie, à celui obtenu à partir d'une farine à pain de blé roux de printemps de l'Ouest canadien (CWRS) dont la teneur en protéines était semblable (figure 6). Cependant, même dans le cas des génotypes au gluten le plus fort qui donnent les meilleurs résultats, le blé dur tolère mal la fermentation par rapport au blé commun (Sapirstein *et al.*, 2007). Par conséquent, il faut une absorption à la cuisson beaucoup plus faible pour que la pâte de blé dur conserve des propriétés de manutention adéquates, particulièrement dans le cas des procédés de panification à fermentation longue. Tous les génotypes LMW-1 ont donné un pain très médiocre, à cause des mauvaises propriétés de la pâte. Parmi les génotypes LMW-2, ceux de type HMW-GS 20 étaient régulièrement pauvres en UPP et avaient une qualité boulangère médiocre.

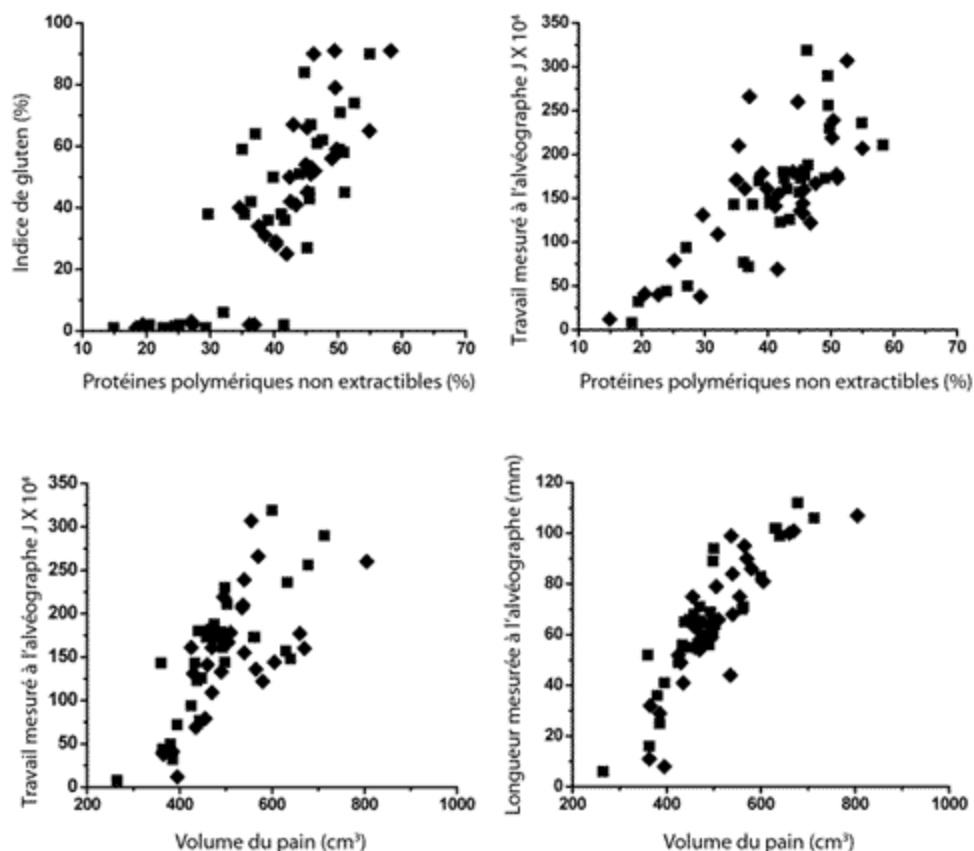


Figure 5. Relations existant entre la teneur en protéines polymériques non extractibles et l'indice de gluten (en haut à gauche) et le travail mesuré à l'alvéographe (en haut à droite) ainsi qu'entre le volume du pain et le travail mesuré à l'alvéographe (en bas à gauche) et la longueur mesurée à l'alvéographe (en bas à droite).

5.4. Conclusions

La qualité boulangère du blé dur présente une relation positive avec la force du gluten et la teneur en protéines polymériques non extractibles. Les génotypes de blé dur à configuration HMW-GS 20 ont généralement un gluten faible et une qualité boulangère inférieure. Certains génotypes de blé dur à gluten fort ont donné une pâte à élasticité et extensibilité bien équilibrées et un pain cuit sur la sole de volume et aspect égaux ou supérieurs à ceux du pain issu de blé commun de bonne qualité. Ces résultats montrent qu'une sélection en fonction de la qualité boulangère permettrait aux programmes d'amélioration du blé dur de produire des variétés de blé dur à double usage (pastification et panification).

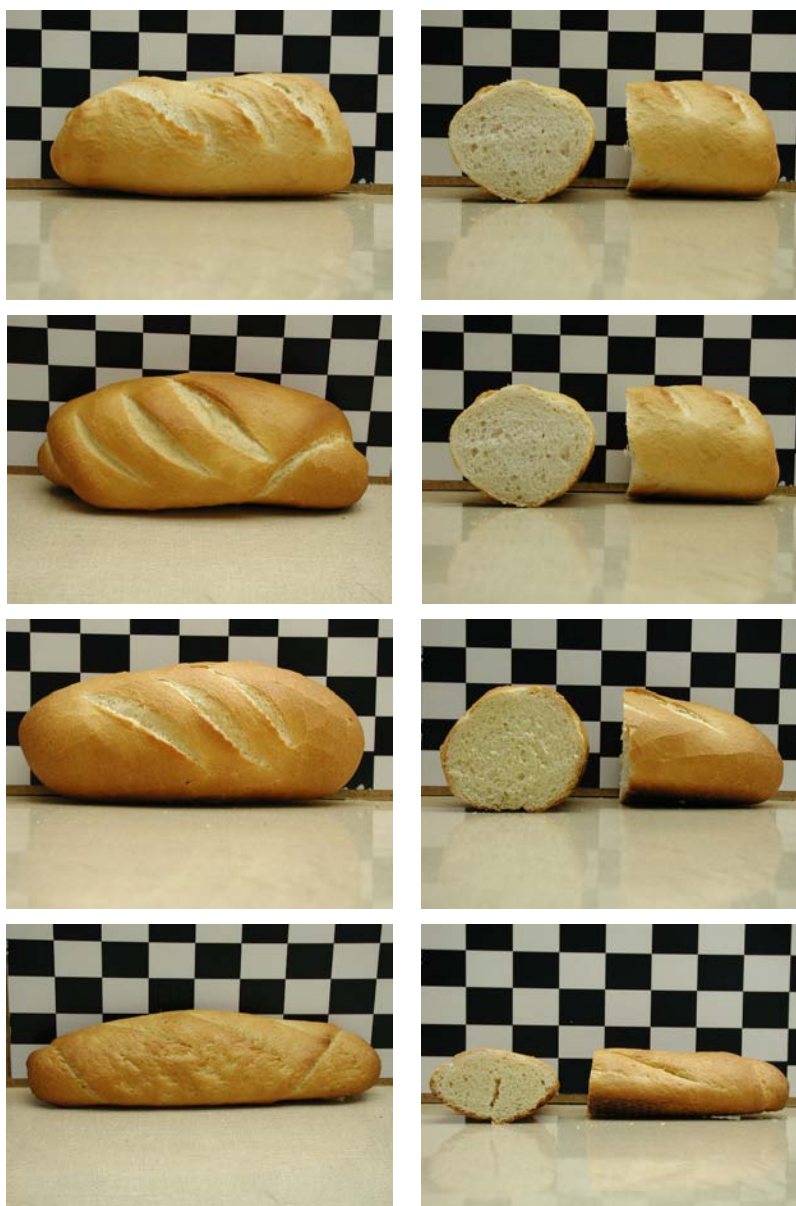


Figure 6. Pain obtenu à partir d'une farine témoin de blé CWRS, par rapport au pain obtenu à partir de certains des génotypes de blé dur LMW-2 récoltés en 2001. Témoin CWRS (rangée supérieure), HMW-GS 6+8 (2^e rangée), HMW-GS 7+8 (3^e rangée), HMW-GS 20 (rangée inférieure).

6. Qualité du blé dur pour la fabrication de nouilles jaunes alcalines

6.1. Introduction

La fabrication de nouilles jaunes alcalines (NJA) est une autre utilisation possible du blé dur qui est demeurée relativement peu étudiée jusqu'à récemment (Fu *et al.*, 2006). Les NJA dominent dans les marchés asiatiques, où ils comptent pour environ 35 % de la consommation de farine (Hatcher, 2001). Les nouilles asiatiques sont faites de pâte fraîche laminée puis coupée. La recette est simple : farine, eau, sels alcalins et chlorure de sodium; la concentration de sels ainsi que le rapport entre carbonates de potassium et de sodium varient selon les goûts de chaque région (Hatcher et Anderson, 2007).

La couleur jaune des NJA fabriquées à partir de farine de blé commun est principalement due à la présence de flavonoïdes endogènes qui sont incolores dans la farine mais subissent, en présence de sels alcalins, une modification chromophorique qui les rend jaunes (Asenstorfer *et al.*, 2006). Le consommateur achète généralement les NJA fraîches chaque jour, en fondant son choix principalement sur l'aspect des nouilles (intensité de la couleur, brillance, absence de piqûres visibles). La stabilité de la couleur des NJA fraîches est un facteur important de la mise en marché, et cette stabilité est favorisée par la faible activité de certaines enzymes oxydatives, la polyphénol oxydase et les peroxydases (Miskelly, 1984). Comme le blé dur présente une teneur élevée en pigments jaunes ainsi qu'une faible activité des enzymes oxydatives, il semblerait convenir comme matière première pour la fabrication de NJA. Le Laboratoire de recherches sur les grains a récemment réalisé des études visant à déterminer dans quelle mesure certains génotypes de blé dur canadien conviennent à la production de NJA (Hatcher *et al.*, 2008a, 2008b). Nous résumons ici ces recherches.

6.2. Échantillons et dispositif expérimental

La farine employée pour ces recherches provenait de blé roux de printemps de l'Ouest canadien (CWRS) et de blé de force blanc de printemps de l'Ouest canadien (CWHWS) cultivés commercialement ainsi que d'échantillons prélevés dans des parcelles de plein champ de blés durs 'Avonlea', 'Strongfield' et 'Commander'; dans tous les cas, la farine a été produite avec un taux d'extraction d'environ 74 % (tableau 6). La teneur en protéines, l'indice de gluten, la teneur en pigments jaunes et le taux de dégradation de l'amidon ont été déterminés par les méthodes approuvées de l'AACC (2000). La teneur en flavonoïdes a été déterminée selon la méthode décrite par Hatcher *et al.* (2008a). Les activités polyphénol oxydasique et peroxidasique ont été déterminées selon les méthodes respectivement décrites par Hatcher et Kruger (1993) et par Hatcher et Barker (2005). La farine a été transformée en nouilles (Kruger *et al.*, 1994), la texture et la couleur des nouilles ont été évaluées (Hatcher *et al.*, 2005), et les piqûres ont été dénombrées (Hatcher *et al.*, 2004) selon les méthodes établies par la Commission canadienne des grains.

Tableau 6. Propriétés des farines.

Propriété	CWRS	CWHWS	Avonlea	Strongfield	Commander
Protéines (%)	13,1	13,2	13,6	12,6	13,2
Indice de gluten (%)	93	96	51	67	96
Pigments jaunes (p.p.m.)	3,0	2,2	5,7	8,4	8,7
Flavonoïdes (unités)	0,11	0,09	0,15	0,16	0,17
Dégradation de l'amidon (%)	6,8	6,6	17,2	14,9	18,4

6.3 Résultats et discussion

En termes d'indice de gluten, les farines de blé dur étudiées allaient de très forte (farine de 'Commander', comparable à celles des blés communs) à modérée ('AC Avonlea') (tableau 6). Comme on pouvait s'y attendre, les farines de blé dur avaient une teneur en pigments jaunes significativement plus élevée que celles de blé commun vitreux; elles avaient aussi une teneur plus élevée en flavonoïdes. La très forte vitrosité des blés durs se manifestait de manière évidente, dans leur farine, par des taux de dégradation de l'amidon beaucoup plus élevés.

Malgré ces taux de dégradation de l'amidon plus élevés, la qualité culinaire des NJA provenant de tous les génotypes de blé dur étudiés était comparable à celle des NJA de blé commun (figure 7). Ces résultats sont conformes à ceux de Hatcher *et al.* (2008c), selon lesquels la granulométrie plus fine des blés durs fait plus que compenser l'impact négatif de leur fort taux de dégradation de l'amidon sur la texture des NJA.

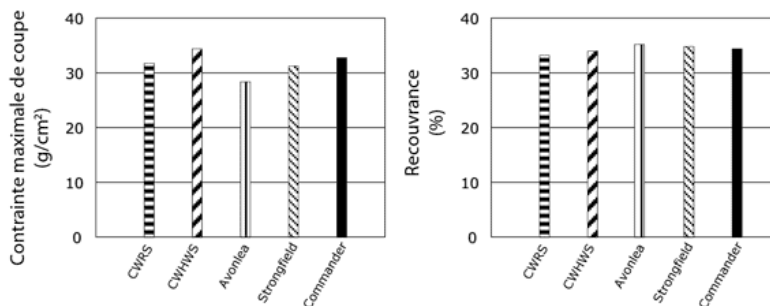


Figure 7. Contrainte maximale de coupe et recouvrance des nouilles jaunes alcalines de blé dur par rapport à celles de blé de force roux de printemps et de blé de force blanc de printemps.

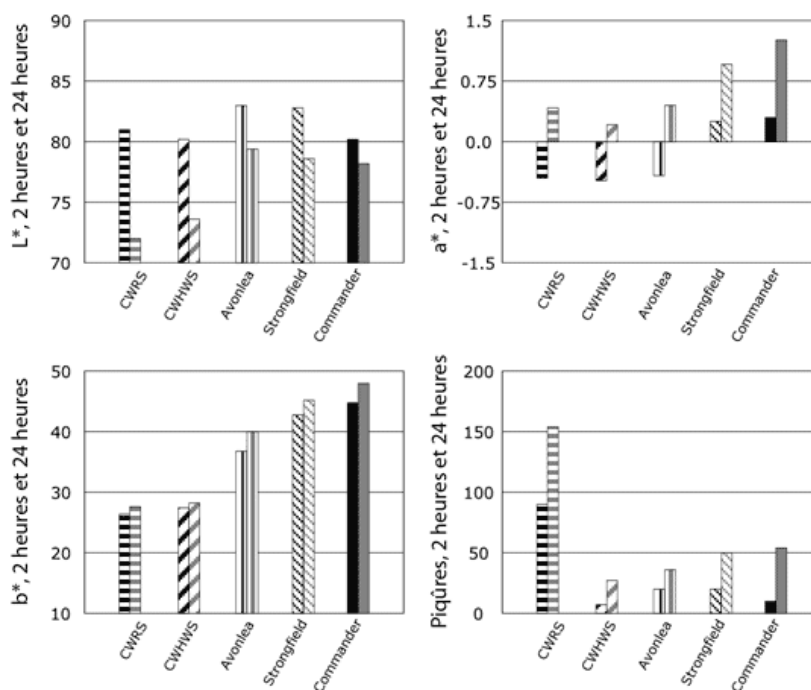


Figure 8. Brillance (L*), coloration rouge (a*), coloration jaune (b*) et nombre de piqûres par 25 cm² observés chez les nouilles jaunes alcalines de blé dur par rapport à celles de blé de force roux de printemps et de blé de force blanc de printemps, 2 heures (barre gauche) et 24 heures (barre droite) après la fabrication.

Par rapport aux blés CWRS et CWHWS, tous les génotypes de blé dur ont donné des nouilles dont la brillance (L*) était égale ou supérieure, deux heures après leur fabrication, et de beaucoup supérieure, 24 heures après leur fabrication (figure 8, ci-dessus), en raison de la très faible teneur en enzymes oxydatives des farines de blé dur. Aucune activité polyphénol oxydasique n'était détectable dans les farines de blé dur, tandis que cette activité était d'environ 20 nmoles O₂/g/min dans le cas des farines de blé commun. L'activité peroxydasique des farines de blé dur était inférieure d'un ordre de grandeur par rapport aux farines de blé commun (données non présentées). Les NJA de blé dur étaient beaucoup plus jaunes que celles de blé commun, principalement en raison de leur teneur plus élevée en pigments jaunes, mais il se peut que leur teneur plus élevée en flavonoïdes ait également joué un rôle à cet égard. Les NJA

de blé dur étaient un peu plus rouges que celles de blé commun, peut-être en raison de leur pigmentation plus intense.

Le blé blanc est préféré aux blé roux pour la fabrication de NJA, parce qu'il laisse des piqûres de son moins visibles (Ambalamaatil *et al.*, 2002). À cet égard, l'avantage du blé CWHWS sur le blé CWRS était manifeste dans le cadre de la présente étude (figure 8). Toujours quant au nombre de piqûres visibles, les NJA de blé dur étaient aussi nettement supérieures à celles de blé CWRS.

6.4 Conclusions

Le blé dur est extrêmement prometteur comme matière première pour la fabrication de nouilles jaunes alcalines, seul ou en combinaison avec de la farine de blé commun. Les NJA de blé dur sont de qualité culinaire comparable à celles de blé commun ayant une teneur en protéines semblable, et l'effet combiné d'une forte teneur en pigments jaunes et d'une faible activité des enzymes oxydatives confère aux NJA de blé dur une brillance et une coloration jaune supérieures ainsi qu'une meilleure stabilité de la couleur des nouilles après leur fabrication.

7. Remerciements

Les principaux collaborateurs de recherche ont été Steve Symons, Brian Marchylo, Linda Schlichting, Nancy Edwards, Dave Hatcher et Marta Izydorczyk, de la Commission canadienne des grains, Bin Xiao Fu, de l'Institut international du Canada pour le grain, ainsi que Nancy Ames et John Clarke, d'Agriculture et Agroalimentaire Canada.

8. Références

- AACC, **2000**. Approved Methods of the AACC. 10th Edition. AACC International, St. Paul, MN, USA.
- Ambalamaatil, S, Lukow, OM, Hatcher, DW, Dexter, JE, Malcolmson, LJ and Watts, BM, **2002**. Milling and quality evaluation of Canadian hard white spring wheats. *Cereal Foods World* **47**:319-327.
- Asenstorfer, RE, Wang, Y and Mares, DJ, **2006**. Chemical structure of flavonoid components in wheat (*Triticum aestivum* L.) flour that contribute to the yellow colour of Asian alkaline noodles. *Journal of Cereal Science* **47**:6-17.
- Bhatty, RS, **1999**. Beta-glucan and flour yield of hull-less barley. *Cereal Chemistry* **76**:314-315
- Brennan, CS and Cleary, LJ, **2005**. The potential use of cereal (1→3, 1→4)-β-D-glucans as functional food ingredients. *Journal of Cereal Science* **42**:1-13.
- Carrillo JM, Vasquez JF and Orellana J, **1990**. Relationships between gluten strength and glutenin proteins in durum wheat cultivars. *Plant Breeding* **104**:325-333.
- Clarke, JM, Leisle, D, DePauw, RM and Thiessen, LL., **1997**. Inheritance of cadmium concentration in five durum wheat crosses. *Crop Science* **37**:1722-1726.
- Cubadda, R, Carcea, M and Pasqui, L, **1992**. Suitability of the gluten index test for assessing gluten strength in durum wheat and semolina. *Cereal Foods World* **37**:866-869.
- Damidaux, R, Autran, JC, Grignac, P et Feillet, P, **1978**. Mise en évidence de relations applicables en sélection entre l'électrophorogramme des gliadines et les propriétés viscoélastiques du gluten de *Triticum durum* Desf. *C.R. Acad. Sc. Paris, Série D* **287**:701-704.
- D'Egidio, MG, Mariani, BM and Novaro, P, **1990**. Chemical and technological variables and their relationships: A predictive equation for pasta cooking quality. *Cereal Chemistry* **67**:275-281.

- Dexter, JE and Edwards, NM, **1998**. The implications of frequently encountered grading factors on the processing quality of durum wheat. *Association of Operative Millers - Bulletin (October)*:7165-7171.
- Dexter, JE et Marchylo, BA, **1997**. Risposte canadesi alle esigenze di qualità di grano duro da parte dei pastifici: Tendenze passate, presenti e future. *Tecnica Molitoria* **48**:995-1015.
- Dexter, JE, Matsuo, RR and Morgan, BC, **1981**. High temperature drying: Effect on spaghetti properties. *Journal of Food Science* **46**:1741-1746.
- Dexter, JE, Tkachuk, R and Matsuo, RR, **1984**. Amino acid composition of spaghetti: Effect of drying conditions on total and available lysine. *Journal of Food Science* **49**:225-228.
- Dexter, JE, Matsuo, RR and Kruger, JE, **1990**. The spaghetti-making quality of commercial durum wheat samples with variable alpha-amylase activity. *Cereal Chemistry* **67**:405-412.
- Dexter, JE, Doust, MA, Raciti, CN, Lombardo, GM, Clarke, FR, Clarke, JM, Marchylo, BA, Schlichting, LM and Hatcher, DW, **2004**. Effect of durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. *durum*) semolina extraction rate on semolina refinement, strength indicators and pasta properties. *Canadian Journal of Plant Science* **84**:1001-1013.
- Dexter, JE, Izydorczyk, MS, Marchylo, BA and Schlichting, LM, **2005**. Texture and colour of pasta containing mill fractions from hull-less barley genotypes with variable content of amylose and fibre. In: *Using Cereal Science and Technology for the Benefit of Consumers. Proc. 12th ICC Cereal and Bread Congress*, SP Cauvain, SE Salmon and LS Young, eds. Woodhead Publishing Ltd., Cambridge, England, pp. 488-493.
- Dick, JW and Youngs, VL, **1988**. Evaluation of durum wheat, semolina, and pasta in the United States. In: *Durum Wheat: Chemistry and Technology*, G Fabriani and C Lintas, eds. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN, pp. 237-248.
- Douglas, SG, **1981**. A rapid method for the determination of pentosans in wheat flour. *Food Chemistry* **7**:139-145.
- Edwards, NM, Gianibelli, MC, McCaig, TN, Clarke, JM, Ames, NP, Larroque, OR and Dexter, JE, **2007a**. Relationships of dough strength to polymeric protein quantity and composition for a diverse durum wheat population. *Journal of Cereal Science* **45**:140-149.
- Edwards, NM, Preston, KR, Paulley, FG, Gianibelli, MC, McCaig, TN, Clarke, JM, Ames, NP and Dexter, JE, **2007b**. Hearth bread baking quality of durum wheat varying in protein composition and physical dough properties. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **87**:2000-2011.
- Food and Drug Administration, **2005**. FDA allows barley products to claim reduction in risk of coronary heart disease. *FDA News*, December 23, 2005.
Disponibile en ligne : <http://www.fda.gov/bbs/topics/news/2005/NEW01287.html>.
- Fu, BX, Assefaw, EG, Sarkar, AK and Carson, GR, **2006**. Evaluation of durum wheat fine flour for alkaline noodle processing. *Cereal Foods World* **51**:178-153.
- Gupta, RB, and MacRitchie, F, **1991**. Rapid one-step one-dimensional SDS-PAGE procedure for analysis of subunit composition of glutenin in wheat. *Journal of Cereal Science* **14**:105-109.
- Gupta, RB, Khan, K and MacRitchie, F, **1993**. Biochemical basis of flour properties in bread wheats. I. Effects of variation in the quantity and size distribution of polymeric protein. *Journal of Cereal Science* **18**:23-41.
- Hatcher, DW, **2001**. Asian noodle processing. In: *Cereals Processing Technology*, G Owens, ed. Woodhead Publishing Ltd., Cambridge, England, pp 131-157.

- Hatcher, DW and Anderson, MJ, **2007**. Influence of alkaline formulation on oriental noodle color and texture. *Cereal Chemistry* **84**:253-259.
- Hatcher, DW and Barker, W, **2005**. A rapid microassay for determination of peroxidase in wheat and flour. *Cereal Chemistry* **82**:233-237.
- Hatcher, DW and Kruger, JE, **1993**. Distribution of polyphenol oxidase in flour millstreams of Canadian common wheat classes milled to three extraction rates. *Cereal Chemistry* **70**:51-55.
- Hatcher, DW, Symons, SJ and Manivannan, U, **2004**. Developments in the use of image analysis for the assessment of oriental noodle appearance and colour. *Journal of Food Engineering* **61**:109-117.
- Hatcher, DW, Lagassé, SL, Dexter, JE, Rossnagel, BG and Izydorczyk, MS, **2005**. Quality characteristics of yellow alkaline noodles enriched with hull-less barley flour. *Cereal Chemistry* **82**:60-69.
- Hatcher, DW, Dexter, JE and Fu, BX, **2008a**. Investigation of amber durum wheat for production of yellow alkaline noodles. *Journal of Cereal Science* (sous presse).
- Hatcher, DW, Dexter, JE and Fu, BX, **2008b**. Refrigerated storage of yellow alkaline durum noodles: Impact on color and texture. *Cereal Chemistry* (sous presse).
- Hatcher, DW, Edwards, NM and Dexter, JE, **2008c**. Impacts of the particle size and starch damage of flour and alkaline reagent on yellow alkaline noodle characteristics. *Cereal Chemistry* **85**:425-432.
- Izydorczyk, MS, Dexter, JE, Desjardins, RG, Rossnagel, BG, Lagassé, SL, and Hatcher, DW, **2003**. Roller milling of Canadian hull-less barley: Optimization of roller milling conditions and composition of mill streams. *Cereal Chemistry* **80**:637-644.
- Izydorczyk, M.S., Lagassé, S.L., Hatcher, D.W., Dexter, J.E, and Rossnagel, B.G. **2005**. The enrichment of Asian noodles with a fiber-rich fraction derived from roller milling of hull-less barley. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **85**:2094-2104.
- Kosmolak, FG, Dexter, JE, Matsuo, RR, Leisle, D and Marchylo, BA, **1980**. A relationship between durum wheat quality and gliadin electrophoregrams. *Canadian Journal of Plant Science* **60**:427-432.
- Kruger, JE, Anderson, MJ and Dexter, JE, **1994**. The effect of flour refinement on raw Cantonese noodle color and texture. *Cereal Chemistry* **71**:177-182.
- Liu, CY, Shepherd, KW and Rathjen, AJ, **1996**. Improvement of durum wheat pastamaking and breadmaking qualities. *Cereal Chemistry* **73**:155-166.
- Malcolmson, LJ, Matsuo, RR and Balshaw, R, **1993**. Textural optimization of spaghetti using response surface methodology: Effects of drying temperature and durum protein level. *Cereal Chemistry* **70**:417-423.
- Matsuo, RR, Bradley, JW and Irvine, GN, **1972**. Effect of protein content on the cooking quality of spaghetti. *Cereal Chemistry* **49**:707-711.
- Marchylo, BA, Dexter, JE, Clarke, FN, Clarke, JM and Preston, KR, **2001**. Relationships among bread-making quality, gluten strength, physical dough properties, and pasta cooking quality for some Canadian durum wheat genotypes. *Canadian Journal of Plant Science* **81**:611-620.
- Miskelly, DM, **1984**. Flour components affecting paste and noodle colour. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **35**:463-471.
- Paulley G, Vazquez D, Lysenko E and Preston KR, **2004**. Development of a laboratory baking test for Uruguayan French style hearth bread using Canadian wheat flour. *Canadian Journal of Plant Science* **84**:949-954.

Pogna, N, Lafiandra, D, Feillet, P and Autran, JC, **1988**. Evidence for a direct causal effect of low molecular weight subunits of glutenins on gluten viscoelasticity in durum wheats. *Journal of Cereal Science* **7**:211-214.

Pollini, CM, **1996**. THT technology in the modern industrial pasta drying process. In: *Pasta and Noodle Technology*, JE Kruger, RR Matsuo and JW. Dick, eds. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN, pp. 59-74.

Quaglia, GB, **1988**. Other durum wheat products. In: *Durum: Chemistry and Technology*, G Fabriani and C Lintas, eds. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN. pp 263-282.

Sapirstein, HD, David, P, Preston, KR and Dexter, JE, **2007**. Durum wheat bread making quality: Effects of semolina particle size, gluten strength and fermentation time. *Journal of Cereal Science* **45**:150-161.

Schoch, TJ, **1964**. Iodometric determination of amylose. In: *Methods in Carbohydrate Chemistry, Vol. 4*, R.L. Whistler, ed. Academic Press, New York.

Tkachuk, R and Mellish, VJ, **1980**. Wheat cultivar identification by high voltage gel electrophoresis. *Ann. Techno. Agric.* **29**:207-212.