



Incidence des facteurs de classement fréquemment détectés sur l'aptitude technologique du blé dur

J.E. Dexter et N.M. Edwards

Commission canadienne des grains, Laboratoire de recherches sur les grains,
Winnipeg (Manitoba) R3C 3G8
Contribution n° M231

Présenté à la 102nd Association of Operative Millers Trade Show,
Phoenix (Arizona) mai 1998

Résumé

Les facteurs de classement qui correspondent aux conditions défavorables de croissance influent sur le caractère technologique du blé dur. Les mycotoxines correspondant aux infections fongiques comme la fusariose et l'ergot se répartissent parmi les produits de mouture, et sont relativement stables tout au long de la transformation des pâtes alimentaires. La fusariose a également des effets néfastes sur la mouture des semoules, la force du gluten et la couleur des pâtes. Le blé dur est souvent ségrégué en fonction de sa teneur protéique, car la teneur protéique est reconnue pour sa capacité importante de déterminer la texture des pâtes alimentaires cuites. Les grains vitreux durs sont une caractéristique de grade de blé dur largement utilisée, car la teneur protéique des grains vitreux durs est inférieure et les grains sont plus tendres. La tendreté des grains non vitreux donne un rendement inférieur de grosses semoules, un facteur qui importe à plusieurs meuniers de blé dur. Les dommages provoqués par la cécidomyie orangée du blé sont tolérés dans de faibles quantités dans les grades de meuniers supérieurs du blé dur, à cause de l'augmentation des piqûres dans la semoule. D'autres facteurs qui causent la décoloration de la surface, tels que la carie, le



Association of Operative Millers - Bulletin

point noir et le mildiou, sont également tolérés en faibles quantités, pour éviter les piqûres dans la semoule. Les dommages provoqués par la gelée constituent un grave facteur de classement, donnant un taux d'extraction inférieur des semoules, un raffinage piètre des semoules (teneur élevée en cendres, couleur terne, piqûres) et une piètre couleur des spaghettis. Les grains fortement atteints par la gelée révèlent aussi un gluten de qualité amoindrie. La germination modérée sur pied influe peu sur la qualité du blé dur, pourvu que le blé n'est pas atteint par le mildiou. Même dans les cas où l'endommagement par germination est prononcé, la valeur culinaire des pâtes en est très peu influencée, sauf que la perte de solides à l'eau de cuisson augmente. L'enzyme de dégradation de l'amidon α -amylase associé à la germination sur pied a peu d'occasion de réagir durant la transformation des pâtes, à cause de la teneur en eau relativement basse de la pâte des pâtes alimentaires et de la perte rapide d'humidité durant les étapes préliminaires de séchage des pâtes, et il est rapidement dénaturé durant la cuisson. Les dommages provoqués par échauffement, résultant d'une utilisation incorrecte des séchoirs à air chaud, nuisent à la fonctionnalité du gluten et, dans les cas de grains fortement atteints, peuvent diminuer la valeur culinaire des pâtes. Les récents progrès techniques réalisés dans la mouture du blé dur et la transformation des pâtes comme l'extraction du son du blé, un procédé visant la granulation plus fine des semoules pour les presseurs à pâtes à haute capacité, et l'acceptation générale des séchoirs à pâtes à température élevée, influent considérablement sur l'importance relative des facteurs de classement sur l'aptitude technologique du blé dur.



Commission canadienne
des grains Canadian Grain
Commission

Association of Operative Millers - Bulletin



INTRODUCTION

Les conditions environnementales de culture et de récolte influent sur les propriétés physiques du blé. Certaines formes courantes de dommages environnementaux peuvent avoir des conséquences graves pour l'aptitude technologique du blé, c'est-à-dire sur son aptitude à être transformé (Dexter et Tipples, 1987; Dexter, 1993). Par conséquent, dans la plupart des pays, le blé est commercialisé en fonction de ses propriétés physiques, établies selon des systèmes de classement. Le système idéal doit assurer un équilibre entre les intérêts des transformateurs de blé et ceux des producteurs. Les normes s'appliquant aux grades de blé doivent donc être fixées de manière à permettre une séparation selon l'aptitude technologique, tout en dirigeant la plus grande partie possible du blé vers les grades supérieurs, qui assurent aux producteurs le revenu le plus élevé.

Au Canada, c'est la Commission canadienne des grains (CCG) qui est chargée de fixer les normes de grades pour l'ensemble des céréales et oléagineux. Les normes fixées par la CCG pour les grades de blé sont fondées sur des principes scientifiques, de manière à ce que les dommages physiques tolérés soient justifiés par leur effet sur les possibilités de transformation. Deux divisions de la CCG, le Laboratoire de recherches sur les grains (LRG) et la Division des services à l'industrie, collaborent en permanence à des travaux de recherche visant à garantir que les normes de grades demeurent efficaces et équitables.

Récemment, nous avons passé en revue l'incidence des facteurs de classement fréquemment détectés sur la qualité d'utilisation finale du blé commun (Dexter et



Edwards, 1998). Nous avons jugé pertinent d'examiner séparément l'incidence de ces facteurs sur l'aptitude technologique du blé dur, car ils ont des conséquences différentes pour la qualité de cette céréale (Feillet et Dexter, 1996). En effet, les facteurs de classement associés à une altération de la couleur superficielle du grain sont plus importants pour le blé dur, car il est essentiel que la semoule soit brillante et exempte de piqûres pour satisfaire aux critères esthétiques permettant la commercialisation de pâtes alimentaires de première qualité. Dans le présent article, nous résumons les résultats de recherches récentes sur les facteurs de classement fréquemment détectés qui altèrent la sécurité sanitaire et l'aptitude technologique du blé dur, et nous évaluons l'importance de chaque facteur sur la production de semoule et la qualité des pâtes alimentaires.

FACTEURS ALTÉRANT LA COMESTIBILITÉ

Ergot

L'ergot (*Claviceps purpurea*) est un champignon parasite qui infecte les céréales et autres graminées pendant la floraison puis se développe en prenant la place du grain. L'ergot renferme des alcaloïdes qui sont toxiques pour les humains, les oiseaux de basse-cour et les autres animaux (Lorenz, 1979).

Étant donné la toxicité de ces alcaloïdes, des seuils de tolérance stricts et universels s'appliquent à leur présence dans le blé dur qui doit être commercialisé. Les études déjà publiées sur la persistance des alcaloïdes de l'ergot dans les différentes fractions de mouture et produits finis du blé ont principalement porté sur le blé commun (Dexter et Edwards, 1998, et documents



y cités), mais des considérations semblables peuvent être appliquées au blé dur.

La concentration des alcaloïdes de l'ergot dépend du taux d'extraction, de la technique de mouture (conditions et débit) et de la proportion de chaque produit de passage dans le produit de mouture final. Dans une étude sur la farine de blé commun, Fajardo *et al.* (1995) ont montré que la température de séchage des pâtes alimentaires n'influe pas sur la persistance des alcaloïdes de l'ergot et que 40 à 60 % de ces alcaloïdes se perdent à la cuisson, par l'effet combiné de la dénaturation thermique et du lessivage vers l'eau de cuisson (tableau 1).

Chez le blé dur, l'ergot n'a pas d'effet détectable sur le taux d'extraction de semoule, sur les propriétés physiques de la pâte ni sur la qualité culinaire des pâtes alimentaires (Dexter et Matsuo, 1982). La présence d'environ 12 morceaux d'ergot ayant la taille d'un grain dans 500 g de grains (limite permise pour le blé dur ambré de l'Ouest canadien (CWAD) n° 3) a suffi pour que la semoule présente significativement plus de piqûres, mais la brillance et la teinte des pâtes alimentaires n'ont pas été altérées.

Dans la semoule, les piqûres imputables à l'ergot sont un défaut important sur le plan esthétique, car elles sont foncées et demeurent très visibles dans les pâtes. Les ergots sont difficiles à enlever par tamisage, parce qu'ils prennent les dimensions du grain de blé infecté à mesure qu'ils se développent au sein des épillets. Heureusement, les ergots ont un faible poids spécifique, ce qui permet de les enlever efficacement au moyen d'une table de séparation par gravité (Dexter *et al.*, 1991).



Fusariose de l'épi

La fusariose de l'épi a récemment retenu l'attention, car des foyers de cette maladie sont apparus au Canada et aux États-Unis au cours des dernières années. De telles infestations soulèvent des problèmes de sécurité sanitaire, car les grains fusariés renferment des mycotoxines.

De nombreuses études ont montré que la plus fréquente de ces mycotoxines, le désoxynivalénol (DON, ou vomitoxine) demeure stable durant la mouture et la transformation secondaire, mais elle finit par se répartir en concentrations variables entre les divers refus de criblage et produits de mouture (Dexter et Edwards, 1998; Pomeranz, 1990). Nowicki *et al.* (1988) ont mesuré la concentration de DON présente dans les diverses fractions de mouture et les pâtes alimentaires provenant de blé dur fortement fusarié. Ces chercheurs ont constaté que la semoule renfermait 80 % de la concentration présente dans le blé propre et que cette concentration baissait encore de 50 % à la cuisson. Dexter *et al.* (1997) ont observé que la concentration de DON avait baissé en moyenne de 50 % dans la semoule, dans le cas de blé dur moins fortement fusarié, appartenant à dix cultivars, récolté au Manitoba en 1995.

La sécurité sanitaire demeure la principale préoccupation soulevée par les infestations de fusariose, mais cette maladie peut également avoir de graves conséquences pour la mouture et la transformation du blé (Dexter *et al.*, 1996; 1997). Moore (1994) a observé que la présence de grains fusariés dans le blé dur confère aux pâtes alimentaires une couleur médiocre. Dexter *et al.* (1997) ont constaté qu'un taux de grains fusariés d'environ 2 % (maximum toléré pour les



grades inférieurs du blé CWAD) nuit au rendement en semoule ainsi qu'à la qualité de raffinage de la semoule en termes de couleur et de compte de piqûres (tableau 2). La tendance générale était facile à distinguer visuellement : les pâtes étaient plus rouges (indice a^* plus élevé) et plus ternes (indice L^* moins élevé). Les grains fusariés ont entraîné une légère baisse de la force du gluten, mais la qualité culinaire des pâtes n'a pas été altérée. Les chercheurs en ont conclu que les seuils de tolérance rigoureux appliqués aux blés CWAD n° 1 (0,25 %) et n° 2 (0,5 %) étaient justifiés sur le plan de l'aptitude technologique.

FACTEURS ALTÉRANT L'APTITUDE TECHNOLOGIQUE

Poids spécifique

Le poids spécifique est largement reconnu comme facteur de classement de première importance, parce qu'il est relié à la condition plus ou moins saine du grain de blé. Le poids spécifique est aussi souvent utilisé comme indice du potentiel meunier, mais on ne s'entend pas sur sa valeur réelle comme prédicteur du rendement meunier réel (Hook *et al.*, 1984). En effet, la relation existant entre le poids spécifique et le rendement meunier varie selon les classes de blé et les cultivars de chaque classe. Le poids spécifique dépend en partie de la teneur en eau, du taux de dommages dus aux intempéries, de la grosseur et de la densité du grain ainsi que du coefficient de tassement, et ces facteurs ont peu d'incidence directe sur le potentiel meunier.

Dans le cas du blé dur, le poids spécifique demeure utile comme indice de potentiel semoulier. En effet, Dexter *et al.* (1987) ont observé une forte relation



Association of Operative Millers - Bulletin

entre le rendement en semoule et le poids spécifique du blé dur CWAD récolté deux années consécutives (figure 1A). L'augmentation de teneur en cendres associée à la diminution du poids spécifique de la semoule a fait que l'indice de mouture (rendement en semoule pour une teneur en cendres constante) diminuait à mesure que diminuait le poids spécifique (figure 1B). Watson *et al.* (1977) ont également conclu que le poids spécifique du blé dur des États-Unis est un indicateur efficace de son potentiel semoulier.

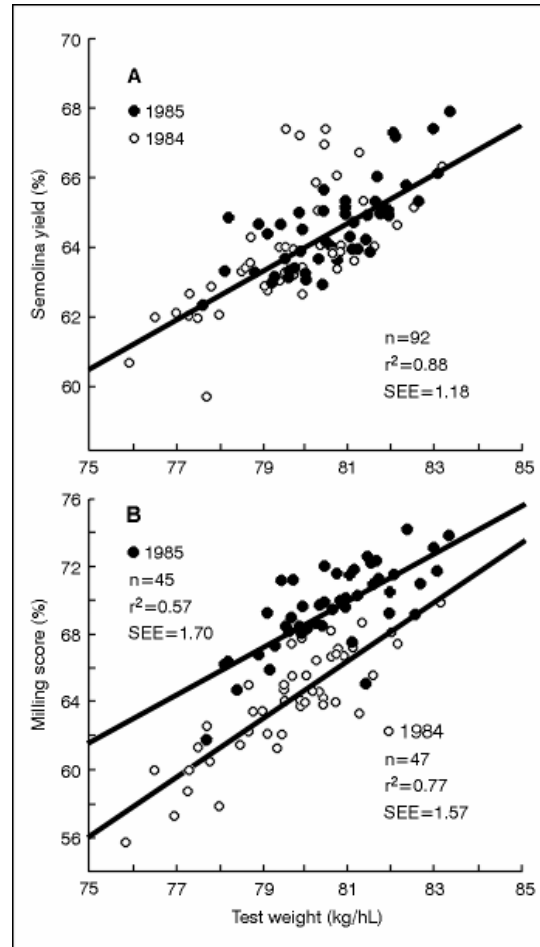


Figure 1. Relation existant chez le blé CWAD entre le poids spécifique et le rendement en semoule (A) ainsi qu'entre le poids spécifique et le rendement en semoule pour une teneur en cendres constante (indice de mouture, B). Source : Dexter *et al.* (1987).

Teneur en protéines

La teneur en protéines est la propriété du grain qui influe le plus sur la qualité culinaire des pâtes alimentaires (Matsuo *et al.*, 1982a; Autran *et al.*, 1986; D'Egidio *et al.*, 1990). Cette relation est complexe et dépend d'autres facteurs, notamment des conditions de transformation; cependant, en général, plus la teneur en protéines augmente, plus les pâtes alimentaires seront fermes, et moins elles seront collantes. Les pâtes alimentaires provenant d'une semoule riche en protéines ont une bonne résistance physique et une bonne élasticité; une fois



Association of Operative Millers - Bulletin

cuites, elles sont fermes, peu collantes et résilientes, et elles conservent leur texture même quand elles sont trop cuites. Les pâtes provenant d'une semoule pauvre en protéines présentent des lacunes à l'égard de toutes ces propriétés, ou de quelques-unes.

La relation entre la teneur en protéines et la qualité culinaire des pâtes est manifeste, si on en juge d'après les données d'enquête sur la récolte recueillies par la CCG au cours des dix dernières années sur le blé CWAD (tableau 3). Les fortes précipitations que l'Ouest canadien a connues au cours des cinq dernières années ont fait baisser la teneur en protéines du blé, en augmentant le rendement de cette céréale. Les cinq années précédentes avaient été plus sèches, et la teneur en protéines avait été plus élevée. Les indices de qualité culinaire des pâtes ont été nettement supérieurs au cours des cinq années de teneur élevée en protéines.

Le blé dur est souvent commercialisé avec une garantie de teneur en protéines minimale. Certains pays, comme le Japon, les États-Unis et l'Espagne, ont adopté des lois ou règlements d'étiquetage imposant aux produits finis une teneur en protéines minimale. Au Canada, à cause de la faible teneur en protéines des dernières récoltes, il a fallu séparer les trois grades supérieurs de blé CWAD selon la teneur en protéines, afin de satisfaire aux exigences de certains clients.

Cependant, bien que la teneur en protéines permette de distinguer de manière satisfaisante certaines classes de blé, dont le blé roux vitreux de printemps, elle ne permet pas de satisfaire à toutes les exigences du marché dans le cas du blé dur.

En effet, si le blé roux vitreux de printemps a une teneur en protéines faible à moyenne, il peut quand même donner des produits de haute qualité (pain cuit sur



la sole, nouilles chinoises, etc.), tandis que le blé dur pauvre en protéines qui reste après la séparation du matériel riche en protéines a peu de valeur et peu d'acceptabilité commerciale, puisque l'industrie pastière demeure pratiquement le seul débouché pour le blé dur.

Grains mitadinés

Les grains mitadinés (grains amylicés, ou amidonnés) constituent un des principaux facteurs de classement commercial du blé dur. Ces grains se forment lorsque la plante souffre d'une carence en nitrates pendant le développement du grain. Les grains mitadinés sont importants, parce qu'ils sont moins riches en protéines et plus mous que les grains vitreux (Dexter et Matsuo, 1981; Dexter *et al.*, 1988; Dexter *et al.*, 1989a).

Les zones amylicées du grain du blé sont opaques et ont un aspect crayeux en coupe (figure 2), à cause de la présence de poches d'air. Les zones vitreuses ont une structure compacte uniforme, les granules d'amidon étant étroitement liés par un réseau protéique. Les zones amylicées sont moins compactes et renferment donc moins de protéines que les zones vitreuses. Cependant, dans les grains tachetés (partiellement mitadinés), les zones vitreuses et amylicées ont une teneur en protéines et une composition protéique semblables (Dexter *et al.*, 1989a). Les zones amylicées des grains tachetés peuvent se former parce qu'un manque de protéines empêche la formation d'un réseau protéique assez fort pour que toutes les parties du grain puissent se contracter également au fur et à mesure que le grain sèche pendant les derniers stades du mûrissement.

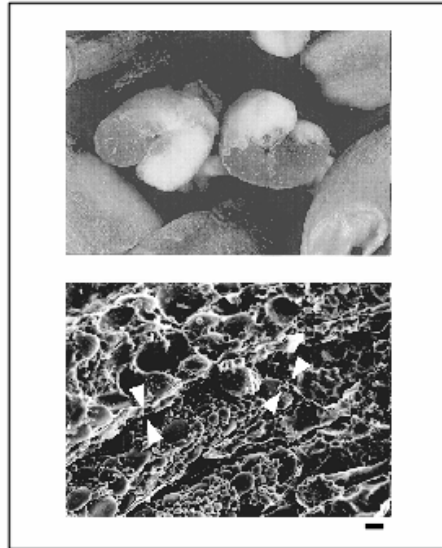


Figure 2. Structure de grains tachetés (partiellement mitadinés) de blé dur. Haut : vue externe montrant l'aspect crayeux de la zone amylopectinée. Bas : microscopie électronique par balayage montrant l'interface entre zones vitreuse et amylopectinée. Source : Dexter *et al.* (1989a).

Comme nous le mentionnions, le blé dur est souvent commercialisé avec une garantie de teneur en protéines minimale. Si cette teneur est spécifiée, le taux de grains vitreux durs est moins important, mais la texture plus molle des grains mitadinés demeure un problème pour la mouture. Chez le blé dur, la relation entre grains mitadinés et performance à la mouture est complexe, mais on peut dire qu'en général, les grains mitadinés donnent moins de semoule grossière et plus de farine, ce qui réduit l'aptitude à la mouture du blé dur, puisque le marché de cette céréale privilégie les semoules grossières.

Bolling et Zwingelberg (1972) ont observé que le rendement en semoule du blé dur est davantage relié à l'origine du blé qu'à sa vitrosité. Dans certaines procédures reconnues à l'échelle internationale (ISO et ICC), les grains entièrement vitreux sont définis comme ne montrant pas la moindre trace



d'albumen amylicé, et cette définition a été adoptée par la CCG. Matveef (1963) a fait valoir qu'il faudrait tenir compte davantage des grains entièrement mitadinés que des grains tachetés au moment d'estimer la vitrosité du blé dur. Les grains tachetés sont moins riches en protéines que les grains vitreux, mais ils sont presque aussi durs (tableau 4). Les grains entièrement mitadinés sont beaucoup plus mous et réduisent le rendement en semoule grossière.

L'impact des grains mitadinés sur le rendement en semoule varie d'un semoulier à l'autre, selon les objectifs de granulation. Il y a plus de 25 ans, Menger (1971) a remis en question l'importance du mitadinage pour la mouture du blé dur, étant donné la préférence accrue pour une semoule plus fine. Depuis, cette tendance s'est amplifiée, car les grands fabricants de machinerie pastière recommandent une semoule plus fine pour les presses modernes à forte capacité.

Cécidomyie orangée du blé

Dans notre article précédent (Dexter et Edwards, 1998), nous avons résumé les problèmes de qualité très graves causés par la cécidomyie orangée du blé (*Sitodiplosis mosellana* Géhin) lorsqu'elle s'attaque au blé commun. Cet insecte pond ses œufs sur les fleurs durant l'épiaison et la floraison, et la larve se nourrit du grain en développement. Les fortes infestations de cécidomyie ont un effet dévastateur sur le rendement, sauf si des insecticides sont appliqués dès que l'infestation se manifeste, ou peu de temps après. Les grains provenant des cultures atteintes sont anormalement riches en protéines, ont une qualité meunière médiocre et donnent une farine à gluten faible.



Association of Operative Millers - Bulletin

En 1995 et 1996, les grains cécidomyiés ont été un facteur de classement important pour le blé CWAD et le blé dur américain. La force du gluten est un facteur de qualité secondaire qui revêt de l'importance pour la qualité culinaire des pâtes alimentaires (Feillet et Dexter, 1996). Cependant, la teneur élevée en protéines associée aux grains cécidomyiés pourrait compenser les effets nuisibles de ces grains pour la force du gluten.

À la suite de la récolte de 1995, la CCG a mené une enquête approfondie sur l'impact des grains cécidomyiés sur l'aptitude technologique du blé CWAD (Dexter et Marchylo, données inédites). Les résultats de cette enquête ont confirmé que les grains cécidomyiés ont généralement une teneur en protéines élevée, et rien n'indiquait que la force du gluten, mesurée en termes de sédimentation SDS et de rendement en gluten humide, ait été inférieure (tableau 5). On peut donc supposer que la texture des pâtes alimentaires n'a pas été altérée par les grains cécidomyiés.

Les grains cécidomyiés ont gravement réduit la performance du blé dur à la mouture (tableau 5). À mesure qu'augmentait le taux de grains cécidomyiés, la qualité de raffinage de la semoule (en termes de teneur en cendres, de couleur et de compte de piqûres) diminuait, et les pâtes alimentaires devenaient moins brillantes et trop brunes (dominance des longueurs d'onde élevées). La teneur en pigment jaune de la semoule et la pureté de la coloration jaune des pâtes n'ont pas été altérées. Les grains fortement cécidomyiés, qui étaient pourris et noircis, sans doute parce qu'attaqués par des champignons, étaient particulièrement nuisibles à la qualité de raffinage de la semoule et à la couleur du spaghetti.



Grains gelés et immatures

Dans l'Ouest canadien et le nord des États-Unis, la courte saison de culture favorise la présence de grains immatures ou gelés dans le blé récolté. Beaucoup d'attention a été accordée à l'effet des grains gelés sur le blé commun (Dexter et Edwards, 1998, et documents y cités). Les grains fortement gelés constituent un des défauts les plus graves pour la qualité du blé commun, parce qu'ils réduisent la performance à la mouture et la qualité boulangère.

Dexter et Matsuo (1981) ont examiné les effets des grains immatures et modérément gelés sur les qualités semoulière et pastière du blé CWAD, à partir d'échantillons prélevés à la main dans la récolte de 1979 (tableau 6). Ils ont ainsi constaté que ces grains avaient principalement pour effet de réduire la qualité de raffinage de la semoule (teneur en cendres et compte de piqûres plus élevés) et de rendre le spaghetti plus terne et plus brun (longueur d'onde dominante plus élevée).

En 1992, les grains gelés et immatures ont constitué les principaux facteurs de classement associés à la récolte canadienne de blé dur. Dexter *et al.* (1994) en ont profité pour préparer une série d'échantillons de blé CWAD n° 1 à n° 5 (qualité fourragère) distingués uniquement par leur taux de grains gelés et immatures. Ils ont ensuite pu confirmer que l'augmentation du taux de grains immatures ou modérément gelés faisait graduellement décliner la qualité de raffinage de la semoule et détériorer la couleur du spaghetti.

Les propriétés du gluten ont été altérées par les grains fortement gelés. Le blé CWAD déclassé au grade n° 3 à cause de grains gelés présentait une courbe



mixométrique semblable à celle du blé CWAD n° 1, parce que les grains fortement gelés ne sont pas tolérés dans le blé CWAD n° 3 (figure 3). Le blé CWAD déclassé au grade n° 4, qui renfermait des grains fortement gelés, a donné une courbe mixométrique significativement plus aplatie, tandis que le blé CWAD n° 5 a donné une courbe anormale. À cause de la présence de grains fortement gelés dans le blé CWAD n° 4, il y a eu une détérioration prononcée du rendement en semoule, de la qualité de raffinement de la semoule et de la couleur des pâtes alimentaires, mais la qualité culinaire n'a pas été beaucoup altérée (résultats non montrés).

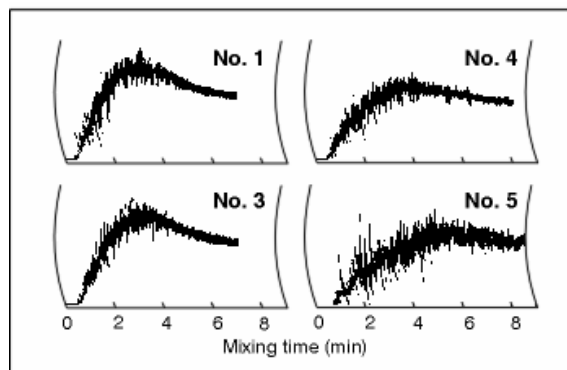


Figure 3. Courbes mixométriques de semoules provenant de blé CWAD n° 1 et d'échantillons de blé CWAD déclassés aux grades n°s 3, 4 et 5 uniquement à cause de grains gelés et immatures. Source : Dexter *et al.* (1994).

Grains germés, abîmés par les intempéries et mildiousés

La germination sur pied due aux conditions humides de récolte a des conséquences graves pour la qualité du pain (Dexter et Edwards, 1998, et documents y cités). L' α -amylase est présente en très grande concentration dans les grains de blé germés, et cette enzyme dégrade l'amidon durant le pétrissage et



la fermentation, ce qui réduit sa capacité de rétention d'eau. Il en résulte une pâte collante, difficile à manipuler, à plus faible absorption au pétrissage.

Les grains germés ont un effet moins évident sur l'aptitude technologique du blé dur. On s'entend généralement pour dire que les grains germés, si on prend ce facteur isolément, n'ont pratiquement pas d'effet sur la performance à la mouture du blé dur (Donnelly, 1980; Matsuo *et al.*, 1982b; Dexter *et al.*, 1990). Debbouz *et al.* (1995) ont constaté qu'un léger lessivage des grains par la pluie au moment de la récolte, s'il ne touche que la couleur du tégument séminal, n'a pas eu d'effet sur les propriétés de la semoule ni sur la couleur des pâtes alimentaires.

Les grains germés sont souvent associés à des grains mildiousés. Le mildiou, causé par un champignon du genre *Cladosporium*, ne présente aucun danger toxicologique, mais il peut causer des problèmes pour la mouture en semoule. Les grains légèrement mildiousés se caractérisent par des masses de spores grises apparaissant à leur extrémité apicale. Les grains fortement mildiousés noircissent et pourrissent. Si les grains modérément à fortement mildiousés ne sont pas enlevés au nettoyage, ils provoquent des piqûres sur la semoule (Dexter et Matsuo, 1982).

Les effets nuisibles des grains germés sur la qualité boulangère sont exacerbés par l'activité α -amylasique durant la fermentation. Comme la pâte à pâtes alimentaires ne renferme pas beaucoup d'eau et que les pâtes perdent rapidement leur humidité au séchage, les conditions ne sont pratiquement jamais réunies pour que l' α -amylase puisse dégrader l'amidon durant la transformation (Dexter *et al.*,



1990). Durant la cuisson, l' α -amylase est rapidement dénaturée par la chaleur, avec la pénétration de l'eau de cuisson (Kruger et Matsuo, 1982).

Des études menées au Canada (Matsuo *et al.*, 1982), en France (Combe *et al.*, 1988) et aux États-Unis (Dick *et al.*, 1974) ont montré que les grains germés n'ont pratiquement aucun effet sur la texture des pâtes alimentaires. Si l'indice de chute du blé dur baisse à environ 150 secondes, il n'y a pratiquement aucun effet sur la qualité culinaire des pâtes (tableau 7). S'il baisse davantage, ce qui correspond à un taux de grains germés bien supérieur aux taux qui se rencontrent dans le blé dur commercialisé pour la fabrication de pâtes de haute qualité, il y a de légers effets sur la qualité culinaire des pâtes et sur la quantité de solides perdus à l'eau de cuisson. Des problèmes de production tels que l'extrusion irrégulière, l'étirement des filets et les irrégularités de séchage (fendillement des filets durant l'entreposage) ont déjà été imputés aux grains germés, mais toujours dans le cas de grains très fortement germés (Donnelly, 1980; Combe *et al.*, 1988).

Grains échauffés

Dans les régions productrices de blé d'Amérique du Nord, le climat permet normalement le séchage naturel du grain au champ. Il arrive cependant, en cas de récolte par temps humide, que du grain soit entreposé alors qu'il est encore trop humide ou qu'il soit séché à une température provoquant son échauffement. Dans les cas extrêmes, les grains noircissent et dégagent une odeur de brûlé caractéristique, et on dit qu'ils sont « brûlés en entreposage ». Dans le cas du blé dur, les grains brûlés en entreposage constituent un grave défaut de qualité, car un



faible taux de ces grains suffit pour que la semoule présente des piqûres foncées très visibles.

Les grains brûlés en entreposage sont faciles à détecter visuellement. Par contre, le séchage artificiel peut endommager les propriétés fonctionnelles du gluten sans que cela soit visible. Les grains ainsi échauffés ont peu d'effet sur la qualité de raffinage de la semoule et sur l'aspect des pâtes alimentaires (Dexter *et al.* (1989b), mais les dommages causés aux protéines du gluten influent sur les propriétés physiques de la pâte, ce qui peut, en cas de dommages importants, rendre insatisfaisante la qualité culinaire des pâtes alimentaires (figure 4).

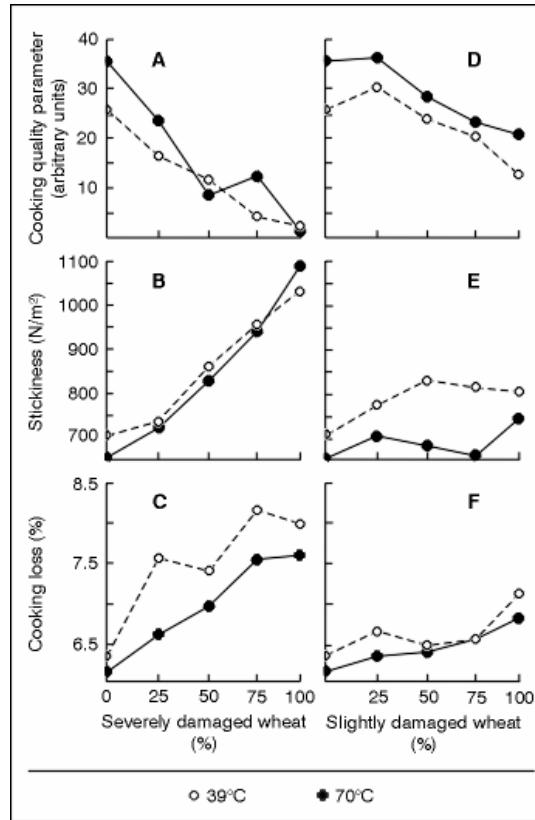


Figure 4. Effet des grains fortement échauffés (A,B,C) et légèrement échauffés (D,E,F) sur les propriétés pastières du blé dur (fabrication de spaghetti). Source : Dexter *et al.* (1989b).

La présence de grains échauffés dans le blé dur peut être détectée à partir des courbes mixométriques. En présence de grains modérément échauffés, la pâte tarde à atteindre sa fermeté maximale, et celle-ci est réduite. Un procédé rapide de mouture à petite échelle et de pétrissage, inspiré de la méthode de Preston *et al.* (1989), permet de détecter efficacement la présence de grains échauffés dans le blé dur (Dexter *et al.*, 1989b).

Preston et Symons (1993) ont mis au point un test simple consistant à estimer le degré de formation de fibrilles protéiques lorsqu'un échantillon moulu est humecté. Observé en microscopie sur fond clair, le degré de formation de fibrilles est clairement relié au degré d'échauffement des grains, modérément échauffés à



fortement échauffés. Cette méthode a été mise au point pour le blé panifiable mais convient tout autant au blé dur.

Carie et point noir

L'altération de la couleur superficielle due à des champignons tels que l'*Alternaria alternata* et le *Drechslera tritici-repentis* ne présente aucun danger toxicologique, mais elle constitue un grave défaut de qualité pour le blé dur. Le principal problème associé à ces dommages est l'apparition de piqûres foncées sur la semoule, qui provoque des défauts de nature esthétique dans les pâtes alimentaires (Dexter et Matsuo, 1982; Dexter, 1993).

Dans l'Ouest canadien, l'*Alternaria alternata* est une cause très commune de point noir (coloration foncée limitée au germe) et de carie (infection plus avancée visible le long du sillon et sur les côtés du grain). La carie et le point noir ont peu d'effet sur le rendement en semoule, sur la teneur en cendres de la semoule, sur la couleur du spaghetti (sauf pour une légère tendance à être plus terne) ni sur la qualité culinaire du spaghetti (tableau 8). Cependant, on observe une augmentation marquée du compte de piqûres.

Certaines années, c'est la carie rouge, coloration rosâtre causée par le *Drechslera tritici-repentis*, qui prédomine comme facteur de classement du blé CWAD (Dexter, 1993). Dans certains cas, l'infection est avancée et a eu le temps de produire une coloration superficielle foncée semblable à la carie ou au point noir; cependant, outre ces cas extrêmes, la carie rouge n'a pas d'effet grave sur la



qualité, et on n'observe qu'une légère augmentation du compte de piqûres de la semoule.

CONCLUSIONS

Les divers facteurs de classement fréquemment détectés chez le blé dur ont des incidences de gravité différente de ce qui est observé chez le blé commun. Comme il faut une semoule brillante exempte de piqûres pour obtenir des pâtes alimentaires excellentes sur le plan esthétique, les facteurs de classement altérant la couleur superficielle du grain ont beaucoup plus d'importance chez le blé dur que chez le blé commun. Par conséquent, les grades supérieurs de blé dur canadien et américain comportent des tolérances très faibles à l'égard de facteurs de classement tels que la carie, le point noir et les grains fortement cécidomyiés. De même, comme la teneur en protéines est plus importante que la force du gluten pour la qualité culinaire des pâtes alimentaires, les facteurs de classement nuisant à la force du gluten ont moins d'impact sur la texture des produits finis que dans le cas des blés panifiables.

Des normes strictes ont été imposées aux divers grades de blé dur, afin que les semouleries obtiennent des grains de qualité adéquate pour la performance de mouture souhaitée. Cependant, l'évolution constante des procédés de transformation du blé dur exige une réévaluation constante des tolérances s'appliquant à chaque facteur de classement. La tendance favorisant une granulation plus fine de la semoule pourrait ainsi réduire l'importance des grains durs vitreux pour la valeur marchande du blé dur. De même, la popularité



croissante de l'enlèvement du son avant la mouture pourrait réduire l'importance des altérations superficielles de la couleur (Dexter et Wood, 1996).

Le séchage à haute température (HT), ou même à ultra-haute température, est aujourd'hui universellement adopté pour la fabrication des pâtes alimentaires. Le séchage HT donne des pâtes plus fermes et moins collantes que les procédés classiques de séchage à basse température (Dexter *et al.*, 1981). Par conséquent, même si la technologie HT nuit à certaines propriétés des matières premières et notamment à leur teneur en protéines, son utilisation ne met pas en péril les propriétés texturales des pâtes alimentaires.

BIBLIOGRAPHIE

- Autran, J.-C., Abécassis, J., and Feillet, P. 1986.** Statistical evaluation of different technological and biochemical tests for quality assessment in durum wheats. *Cereal Chem.* **63**:390-394.
- Bolling, H., und Zwingelberg, H. 1972.** Glasigkeit und Grießausbeute bei Durumweizen. *Getreide Mehl Brot* **26**:264-269.
- Combe, D., Garçon-Marchand, O., Seiller, M.P., et Feillet, P. 1988.** Influence de la germination sur la qualité des blés durs. *Industries des céréales* **53** : 29-33.
- Debbouz, A., Pitz, W.J., Moore, W.R. and D'Appolonia, B.L. 1995.** Effect of bleaching on durum wheat and spaghetti quality. *Cereal Chem.* **72**:128-131.
- D'Egidio, M.G., Mariani, B.M., Nardi, S., Novaro, P., and Cubadda, R. 1990.** Chemical and technological variables and their relationships: A predictive equation for pasta cooking quality. *Cereal Chem.* **67**:275-281.
- Dexter, J.E. 1993.** End-use quality implications of grading factors in wheat. Pages 697-722 in: *Grain and Oilseeds: Handling, Marketing, Processing*. 4th Edition. E.J. Bass, ed. Canadian International Grains Institute, Winnipeg, Canada.
- Dexter, J.E., and Edwards, N.M. 1998.** The implications of frequently encountered grading factors on the processing quality of common wheat. *AOM Bulletin (sous presse)*. [Il existe une version française : « Incidence des facteurs de classement fréquemment détectés sur l'aptitude technologique du blé commun ».]



Association of Operative Millers - Bulletin

- Dexter, J.E., and Matsuo, R.R. 1981.** Effect of starchy kernels, immaturity, and shrunken kernels on durum wheat quality. *Cereal Chem.* **58**:395-400.
- Dexter, J.E., and Matsuo, R.R. 1982.** Effect of smudge and blackpoint, mildewed kernels, and ergot on durum wheat quality. *Cereal Chem.* **59**:63-69.
- Dexter, J.E., and Tipples, K.H. 1987.** Wheat milling at the Grain Research Laboratory. Part 3. Effect of grading factors on wheat quality. *Milling* **180(7)**:16,18-20.
- Dexter, J.E., and Wood, P.J. 1996.** Recent applications of debranning of wheat prior to milling. *Trends Food Sci. Tech.* **7**:35-41.
- Dexter, J.E., Matsuo, R.R., and Morgan, B.C. 1981.** High temperature drying: Effect on spaghetti properties. *J. Food Sci.* **46**:1741-1746.
- Dexter, J.E., Matsuo, R.R., and Martin, D.G. 1987.** The effect of test weight on durum wheat quality. *Cereal Foods World* **32**:772-777.
- Dexter, J.E., Williams, P.C., Edwards, N.M., and Martin, D.G. 1988.** The relationship between durum wheat vitreousness, kernel hardness and processing quality. *J. Cereal Sci.* **7**:169-181.
- Dexter, J.E., Marchylo, B.A., MacGregor, A.W., and Tkachuk, R. 1989a.** The structure and protein composition of vitreous, piebald and starchy durum wheat kernels. *J. Cereal Sci.* **10**:19-32.
- Dexter, J.E., Matsuo, R.R., and Daniel, R.W. 1989b.** The influence of heat damage on durum wheat spaghetti quality. *Can. Inst. Food Sci. Tech. J.* **22**:227-237.
- Dexter, J.E., Matsuo, R.R., and Kruger, J.E. 1990.** The spaghetti-making quality of commercial durum wheat samples with variable alpha-amylase activity. *Cereal Chem.* **67**:405-412.
- Dexter, J.E., Tkachuk, R., and Tipples, K.H. 1991.** Physical properties and processing quality of durum wheat fractions recovered from a specific gravity table. *Cereal Chem.* **68**:401-405.
- Dexter, J.E., Marchylo, B.A., and Mellish, V.J. 1994.** Effects of frost damage and immaturity on the quality of durum wheat. *Cereal Chem.* **71**:494-501.
- Dexter, J.E., Clear, R.M., and Preston, K.R. 1996.** Fusarium head blight: Effect on the milling and baking of some Canadian wheats. *Cereal Chem.* **73**:695-701.
- Dexter, J.E., Marchylo, B.A., Clear, R.M., and Clarke, J.M. 1997.** Effect of Fusarium head blight on semolina milling and pasta-making quality of durum wheat. *Cereal Chem.* **74**:519-525.
- Dick, J.W., Walsh, D.E., and Gilles, K.A. 1974.** The effect of field sprouting on the quality of durum wheat. *Cereal Chem.* **51**:180-188.
- Donnelly, B.J. 1980.** Effect of sprout damage on durum wheat quality. *Macaroni J.* **62**:8-10, 14.



Association of Operative Millers - Bulletin

- Fajardo, J.E., Dexter, J.E., Roscoe, M.M., and Nowicki, T.W. 1995.** Retention of ergot alkaloids in wheat during processing. *Cereal Chem.* **72**:291-298.
- Feillet, P., and Dexter, J.E. 1996.** Quality requirements of durum wheat for semolina milling and pasta production. Pages 95-131 in: *Pasta and Noodle Technology*. J.E. Kruger, R.R. Matsuo and J.W. Dick, eds. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN.
- Hook, S.C.W. 1984.** Specific weight and wheat quality. *J. Sci. Food Agric.* **35**:1136-1141.
- Kruger, J.E., and Matsuo, R.R. 1982.** Comparison of alpha-amylase and simple sugar levels in sound and germinated durum wheat during pasta processing and spaghetti cooking. *Cereal Chem.* **59**:26-31.
- Lorenz, K. 1979.** Ergot in cereal grains. *CRC Crit. Rev. Food Sci. Nutri.* **11**:311-354.
- Matsuo, R.R., Dexter, J.E., Kosmolak, F.G., and Leisle, D. 1982a.** Statistical evaluation of tests for assessing spaghetti-making quality of durum wheat. *Cereal Chem.* **59**:222-228.
- Matsuo, R.R., Dexter, J.E., and MacGregor, A.W. 1982b.** Effect of sprout damage on durum wheat and spaghetti quality. *Cereal Chem.* **59**:468-472.
- Matveef, M. 1963.** Le mitadinage des blés durs, son évaluation et son influence sur le rendement et la valeur des semoules. *Bulletin des anciens élèves de l'École française de meunerie* **198** : 299-306.
- Menger, A. 1971.** Probleme der Glasigkeit von Durumweizen. *Getreide Mehl Brot* **21**:91.95.
- Moore, W.R. 1994.** Significance of *Fusarium* infected wheat and vomitoxin on wheat based foods. (Abstr.) *Cereal Foods World* **39**:625.
- Nowicki, T.W., Gaba, D.G., Dexter, J.E., Matsuo, R.R., and Clear, R.M. 1988.** Retention of the *Fusarium* mycotoxin deoxynivalenol in wheat during processing and cooking of spaghetti and noodles. *J. Cereal Sci.* **8**:189-202.
- Pomeranz, Y., Bechtel, D.B., Sauer, D.B., and Seitz, L.M. 1990.** *Fusarium* head blight (scab) in cereal grains. Pages 373-433 in : *Advances in Cereal Science and Technology*. Vol. X. Y. Pomeranz, ed. Am. Assoc. Cereal Chem.: St. Paul, MN.
- Preston, K.R., and Symons, S.J. 1993.** Measurement of heat damage in wheat by assessment of protein fibril formation. *J. Cereal Sci.* **18**:53-59.
- Preston, K.R., Morgan, B.C., Kilborn, R.H., and Tipples, K.H. 1989.** Assessment of heat damage in Canadian hard red spring wheats. *Can. Inst. Food Sci. Tech. J.* **22**:63-69.
- Watson, C.A., Banasik, O.J., and Sibbitt, L.D. 1977.** Relation of grading and wheat quality factors to end-use quality characteristics and semolina milling properties. *Macaroni J.* **58(11)**:10,12,13,16.



LÉGENDE DES FIGURES

Figure 1. Relation existant chez le blé CWAD entre le poids spécifique et le rendement en semoule (A) ainsi qu'entre le poids spécifique et le rendement en semoule pour une teneur en cendres constante (indice de mouture, B). Source : Dexter *et al.* (1987).

Figure 2. Structure de grains tachetés (partiellement mitadinés) de blé dur. Haut : vue externe montrant l'aspect crayeux de la zone amyliacée. Bas : microscopie électronique par balayage montrant l'interface entre zones vitreuse et amyliacée. Source : Dexter *et al.* (1989a).

Figure 3. Courbes mixométriques de semoules provenant de blé CWAD n° 1 et d'échantillons de blé CWAD déclassés aux grades n^{os} 3, 4 et 5 uniquement à cause de grains gelés et immatures. Source : Dexter *et al.* (1994).

Figure 4. Effet des grains fortement échauffés (A,B,C) et légèrement échauffés (D,E,F) sur les propriétés pastières du blé dur (fabrication de spaghetti). Source : Dexter *et al.* (1989b).



Association of Operative Millers - Bulletin

Tableau 1.

Concentration d'alcaloïdes de l'ergot, en parties par milliard, présente dans les pâtes alimentaires (spaghettis) séchées à basse température (BT) et à haute température (HT) ainsi que dans ces pâtes cuites et dans leur eau de cuisson.

Produit	séchage BT	séchage HT
Spaghetti		
séché	280	260
cuit	180	120
Eau de cuisson	30	26

Source : Fajardo *et al.* (1995). La concentration d'alcaloïdes est exprimée pour un taux d'humidité de 14 %.



Association of Operative Millers - Bulletin
Tableau 2.

Effet des grains fusariés sur certaines propriétés de qualité des blés durs ambrés
'Kyle' et 'Hercules'.

Propriété	'Kyle'		'Hercules'	
	GN	GR	GN	GR
Blé :				
Grains fusariés (%)	0,04	2,4	0,2	3,8
DON (µg/g)	0,7	2,1	1,2	3,9
Poids spécifique (kg/hL)	79,3	78,8	78,9	78,4
Protéines (%)	15,2	14,8	15,2	15,2
Rendement en semoule (%)	69,8	68,2	71,3	71,1
Semoule :				
Cendres (%)	0,73	0,75	0,76	0,76
Couleur AGTRON (%)	44	43	53	48
Nombre de piqûres par 50 cm ²	93	121	66	69
Mixomètre :				
Temps de pétrissage (minutes)	3,50	3,42	3,50	3,25
Hauteur maximale	67	64	70	65
Spaghetti :				
Couleur :				
L*	69,4	68,7	72,1	70,4
a*	6,0	6,7	5,1	7,5
b*	55,7	55,7	56,5	55,1
Fermeté (kg/10 filets)	1,22	1,23	1,12	1,12

Source : Dexter *et al.* (1997). Résultats d'analyse exprimés pour un taux d'humidité de 14 %.

Abréviations : GN = grains nettoyés par enlèvement manuel des grains manifestement fusariés; GR = grains tels que récoltés; DON = désoxynivalénol (vomitoxine).



Association of Operative Millers - Bulletin

Tableau 3.

Teneur en protéines du blé CWAD n° 1 et qualité culinaire des pâtes alimentaires

Année de récolte	Protéines (%)	IQC	Année de récolte	Protéines (%)	IQC
1997	12,7	33	1992	13,0	37
1996	12,4	33	1991	12,6	46
1995	12,1	38	1990	14,1	56
1994	12,5	36	1989	15,0	57
1993	11,9	28	1988	15,5	54
moyenne des 5 années	12,3	34	moyenne des 5 années	14,0	50

Source : Données d'enquête sur la récolte de la Commission canadienne des grains.

Abréviation : IQC = indice de qualité culinaire (indice combinant fermeté et résilience des pâtes cuites).



Association of Operative Millers - Bulletin

Tableau 4.

Teneur en protéines et dureté (indice de taille des particules) des grains vitreux, tachetés et mitadinés de trois cultivars de blé dur.

Échantillon	Teneur en protéines	ITP
	%	%
‘Coulter’		
Grains vitreux	11,8	28,6
Grains tachetés	10,0	33,7
Grains mitadinés	9,7	46,2
‘Wascana’		
Grains vitreux	10,7	36,6
Grains tachetés	8,8	37,8
Grains mitadinés	7,9	48,5
‘Wakooma’		
Grains vitreux	11,8	28,6
Grains tachetés	10,0	33,7
Grains mitadinés	9,7	46,2

Sources : Données sur ‘Coulter’ tirées de Dexter *et al.* (1988); données sur ‘Wascana’ et ‘Wakooma’ tirées de Dexter *et al.* (1989b).

Abréviation : ITP = indice de taille des particules.



Association of Operative Millers - Bulletin
Tableau 5.

Effet des grains cécidomyiés et fortement cécidomyiés sur les qualités semoulière et pastière du blé CWAD récolté en 1995.

Propriété	Échantillon 1	Échantillon 2	Échantillon 3
Blé			
Grains cécidomyiés (%)	3,7	6,9	6,7
Grains fortement cécidomyiés (%)	0,4	1,8	8,6
Poids spécifique (kg/hL)	81,5	80,7	80,5
Teneur en protéines (%)	14,2	14,3	14,5
Sédimentation SDS (mL)	32	34	31
Rendement en semoule (%)	66,1	66,5	67,3
Semoule			
Teneur en protéines (%)	12,9	13,3	13,2
Teneur en gluten humide (%)	32,2	32,6	33,1
Teneur en cendres (%)	0,65	0,69	0,71
Couleur AGTRON (%)	68	62	58
Pigment jaune (ppm)	7,5	7,5	7,6
Piqûres (nombre par 50 cm ²)	58	70	126
Spaghetti			
Couleur :			
Brillance (%)	47,6	45,5	43,9
Pureté (%)	52,4	51,5	51,3
Longueur d'onde dominante (nm)	577,2	577,7	578,2
Indice de qualité culinaire (unités)	70	69	71

Source : Dexter et Marchylo, rapport interne de la Commission canadienne des grains. Résultats d'analyse exprimés pour un taux d'humidité de 14 %.



Association of Operative Millers - Bulletin
Tableau 6.

Effet des grains modérément gelés sur les qualités semoulière et pastière
(spaghetti) du blé CWAD.

Propriété	CWAD n° 1	CWAD n° 3
Blé :		
Taux de grains légèrement gelés (%)	0	10
Poids spécifique (kg/hL)	84,1	81,3
Teneur en protéines (%)	14,7	15,0
Rendement en semoule (%)	68,6	66,7
Semoule :		
Teneur en protéines (%)	13,8	14,0
Teneur en cendres (%)	0,68	0,73
Piqûres (nombre par 50 cm ²)	13	20
Spaghetti		
Couleur :		
Brillance (%)	45,2	43,4
Pureté (%)	59,4	58,2
Longueur d'onde dominante (nm)	577,9	578,1
Indice de qualité culinaire (unités)	14	17

Source : Dexter et Matsuo (1981). Un échantillon de blé CWAD récolté en 1979 a été prélevé à la main de manière à obtenir une portion exempte de grains gelés (grade n° 1) et une portion enrichie en grains gelés (grade n° 3).



Association of Operative Millers - Bulletin
Tableau 7.

Effet des grains germés de blé dur sur l'indice de chute, l'activité α -amylasique de la semoule et la qualité culinaire des pâtes alimentaires.

Grade de blé CWAD	Taux de grains germés (%)	Indice de chute (secondes)	Activité α -amylasique de la semoule (unités)	Perte de spaghetti à la cuisson (%)	Fermeté du spaghetti (nm/sec)
1	0	360	34	6,2	37
2	1,3	250	144	5,9	34
2	2,2	216	193	5,6	36
3	3,5	196	350	6,5	38
3	7,0	179	402	6,3	38
4	10,4	101	876	6,9	46
4	12,5	80	1363	8,0	50

Source : Matsuo *et al.* (1982). La fermeté a été mesurée en termes de taux de cisaillement, le taux le plus faible correspondant à la fermeté la plus élevée.



Association of Operative Millers - Bulletin
Tableau 8.

Effet de la carie et du point noir sur l'aptitude technologique du blé CWAD.

Propriété	Échantillon A		Échantillon B	
	Témoin	Carie	Témoin	Carie
Blé :				
Grade	N° 1	N° 3	N° 2	N° 4
Carie (%)	0	3	0	3
Point noir (%)	0	8	3	7
Poids spécifique (kg/hL)	83,5	83,2	83,9	83,0
Protéines (%)	13,3	13,5	13,3	13,5
Rendement en semoule (%)	69,5	68,3	68,7	69,1
Semoule :				
Cendres (%)	0,71	0,71	0,68	0,70
Piqûres (nombre par 50 cm ²)	48	79	55	124
Spaghetti :				
Couleur :				
Brillance (%)	45,4	45,1	47,1	44,3
Pureté (%)	57,9	57,0	57,7	56,4
Longueur d'onde dominante (nm)	578,0	578,0	577,6	577,7
Indice de qualité culinaire (unités)	12	9	12	12

Source : Dexter et Matsuo (1982). Des échantillons de blé CWAD récolté en 1979 (A) et en 1980 (B) ont été prélevés à la main de manière à obtenir une portion exempte de carie et de point noir (témoin) et une portion enrichie en grains cariés ou atteints de point noir (carie). Les résultats d'analyse sont exprimés pour un taux d'humidité de 14 %.