



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

J.E. Dexter et N.M. Edwards

Commission canadienne des grains, Laboratoire de recherches sur les grains,
Winnipeg (Manitoba) R3C 3G8
Contribution n° M212

Présenté à la 101^{er} Association of Operative Millers Trade Show,
Nashville (Tennessee) mai 1997

Résumé

Les facteurs de classement qui correspondent aux conditions défavorables de croissance au Canada et aux États-Unis influent sur la comestibilité du blé commun et son rendement à l'utilisation finale. Les mycotoxines correspondent aux infections fongiques comme la fusariose et l'ergot. Elles se répartissent parmi les produits de mouture du blé, et sont relativement stables tout au long de la transformation du blé à son utilisation finale. La fusariose a également des effets néfastes sur la mouture du blé et le rendement à la cuisson. Le mildiou, la carie et le point noir sont des infections fongiques communes qui ne posent aucun danger de toxicité. Le mildiou est un indice d'un endommagement possible par germination. Les effets sur la qualité de ces trois genres de dommages sont relativement minimes, sauf dans les cas où les cultures sont fortement atteintes, mais ils nuisent aux efforts de commercialisation du blé parce qu'ils lui donnent une apparence non attrayante. La cécidomyie orangée du blé, dont les larves se nourrissent des grains de blé en pleine croissance, peut provoquer des pertes de rendement dévastatrices, en plus de transmettre des propriétés de gluten non



Association of Operative Millers - Bulletin

fonctionnelles et une valeur boulangère indésirable dans les cas plus graves. Les agriculteurs peuvent minimiser les pertes au rendement et la détérioration de la qualité des cultures en appliquant les insecticides au moment opportun. Les limites de grains vitreux durs (HVK) sont établies depuis longtemps dans les grades de blé, car la vitrosité se rapporte directement à la teneur protéique. À part d'influer légèrement sur la dureté du grain, la teneur en grains vitreux durs n'a aucun rapport à l'aptitude technologique du blé, et est superflu lorsque les garanties d'une teneur protéique font partie des transactions du blé. Les dommages provoqués par la gelée sont un des plus graves facteurs de classement. Le blé fortement atteint par la gelée est très dur, ce qui rend difficile sa transformation en farine. Et ce facteur nuit également au raffinage de la farine et au rendement à la cuisson. La germination sur pied occasionne des problèmes à la transformation, en raison des teneurs élevées de l'enzyme de dégradation de l'amidon α -amylase. L'action enzymatique durant la cuisson réduit la capacité de rétention d'eau de l'amidon, ce qui réduit l'absorption (rendement inférieur du pain) et pose des problèmes de manipulation de la pâte parce qu'elle est collante. Durant les années de récolte par temps humide, l'utilisation incorrecte des séchoirs à air chaud peuvent endommager la fonctionnalité du gluten et la valeur boulangère sans toutefois changer l'apparence du blé. Il existe des méthodes rapides pour détecter les dommages au gluten par suite d'un séchage incorrect.



INTRODUCTION

Un des principaux facteurs déterminant l'aptitude technologique du blé est son état physique (Dexter et Tipples, 1987; Dexter, 1993). La plupart des pays producteurs de blé ont donc établi des systèmes de classement visant à coter et à préserver la valeur commerciale des lots de blé sur le plan de leur aptitude technologique, tout en assurant aux producteurs le meilleur revenu possible.

Pour qu'un système de classement soit utile, il doit être fondé sur des principes scientifiques. Au Canada, le système de classement du blé s'appuie sur les travaux de recherche de deux divisions de la Commission canadienne des grains (CCG) : le Laboratoire de recherches sur les grains (LRG) et la Division des services à l'industrie. Ces travaux ont permis d'établir l'incidence des facteurs de classement et de leurs divers degrés sur la qualité d'utilisation finale et de garantir ainsi que des seuils de tolérance réalistes sont appliqués à chaque grade de blé canadien. Dans le présent article, nous exposons brièvement les résultats des travaux de la CCG sur les facteurs de classement du blé fréquemment détectés qui affectent la comestibilité (ergot, fusariose) et l'aptitude technologique (cécidomyie orangée du blé, grains vitreux durs, grains gelés, grains germés, grains échauffés, mildiou ainsi que carie et point noir), et nous évaluons l'importance de chaque facteur pour la qualité meunière et la qualité d'utilisation finale.



Ergot

L'ergot (*Claviceps purpurea*) est un champignon parasite des céréales et autres graminées (Lorenz, 1979). L'infection se produit pendant la floraison, puis l'ergot se développe en prenant la place du grain. L'ergot renferme des alcaloïdes qui peuvent être toxiques lorsqu'ils sont ingérés par les humains, les oiseaux de basse-cour ou d'autres animaux (Mantle, 1977a,b).

Étant donné la toxicité de l'ergot, des seuils de tolérance stricts et universels s'appliquent au blé qui doit être commercialisé. Cependant, relativement peu d'études ont porté sur la persistance et la stabilité des alcaloïdes de l'ergot dans les farines provenant des divers passages de mouture et dans les produits transformés. Selon Scott *et al.* (1992), les produits céréaliers canadiens renferment généralement peu d'alcaloïdes de l'ergot, et c'est la farine de seigle qui est la plus contaminée.

Fajardo *et al.* (1995) ont établi la répartition de ces alcaloïdes entre les farines des divers passages d'une mouture expérimentale de blé roux de printemps de l'Ouest canadien (CWRS) renfermant 0,03 % d'ergot (le maximum permis pour le grade n° 3 est de 0,04 %). Comme le montre le tableau 1, les alcaloïdes de l'ergot se répartissaient en concentrations variables selon les divers passages. L'ergot étant plus plastique que l'albumen du blé vitreux, il est aplati par les cylindres de mouture à surface lisse. Par conséquent, ses alcaloïdes tendent à se concentrer dans les dernières farines de convertissage et dans les remoulages. Les alcaloïdes



Association of Operative Millers - Bulletin

de l'ergot sont assez stables durant le traitement final des farines (Fajardo *et al.*, 1995). La transformation de la farine en nouilles chinoises ou autres pâtes alimentaires a peu d'effet sur la concentration d'alcaloïdes de l'ergot, et une proportion appréciable de ces substances demeure présente après la cuisson. La transformation en pain moulé a également très peu d'effet sur la concentration d'alcaloïdes, mais on a constaté que la croûte en renferme moins que la mie.

Ces résultats montrent toute la complexité de prédire la concentration d'alcaloïdes de l'ergot dans la farine et les produits finis obtenus. Cette concentration dépend du taux d'extraction, de la technique de mouture (conditions et débit) et de la proportion de chaque farine de passage composant la farine finale. L'établissement de seuils de tolérance sûrs pour ce facteur de classement est d'autant plus complexe que les alcaloïdes de l'ergot ont une stabilité variable dans les divers produits finis.

Fusariose

La fusariose de l'épi se rencontre dans le monde entier chez les céréales à petit grain (Parry *et al.*, 1995). L'apparition de foyers de cette maladie est préoccupante sur le plan de la santé, à cause des mycotoxines présentes dans les grains fusariés. De nombreuses études ont donc été menées sur la concentration de ces toxines et notamment sur celle d'un trichothécène, le désoxynivalénol (DON, ou vomitoxine), dans le blé, la farine et les produits finis infectés (Pomeranz *et al.*, 1990, et documents y cités; Tkachuk *et al.*, 1991a; Trigo-Stockli *et al.*, 1996). On s'entend généralement pour dire que le DON est stable durant la



mouture et la transformation secondaire du blé, mais qu'il finit par se répartir en concentrations variables entre les refus de criblage, les issues et les farines provenant des divers passages (tableau 2).

Outre ces problèmes de comestibilité, la présence de grains fusariés nuit à l'aptitude technologique du blé, c'est-à-dire à sa qualité pour la transformation (Dexter *et al.*, 1996, et documents y cités). Selon Bechtel *et al.* (1985), le *Fusarium graminearum*, espèce la plus fréquente dans le nord des Grandes Plaines d'Amérique du Nord, est un champignon envahissant qui détruit les granules d'amidon, les protéines de réserve et les parois cellulaires. Boyacioglu et Hettiarachchy (1995) ont constaté qu'une infection modérée due au *F. graminearum* peut modifier de façon appréciable la composition glucidique, lipidique et protéique du blé roux vitreux de printemps produit aux États-Unis.

Les grains fusariés réduisent la performance de mouture du blé (Tkachuk, 1991a; Dexter *et al.*, 1996). Comme le montre le tableau 3, la présence de ces grains ratatinés réduit le poids spécifique des céréales. Les grains fusariés ont une légère incidence sur le rendement en farine du blé et sur la teneur en cendres de la farine, mais leur principal inconvénient pour la mouture est qu'ils réduisent fortement la brillance de la farine.

Les grains fusariés ont un effet appréciable sur la qualité boulangère, mais cet effet semble dépendre de l'environnement et du cultivar. Seitz *et al.* (1986) ont conclu qu'un taux de grains fusariés ne dépassant pas 3 % n'a pas d'effet appréciable sur la qualité boulangère du blé roux vitreux d'hiver. Par contre,



Association of Operative Millers - Bulletin

Dexter *et al.* (1996) ont constaté que les taux de fusariose mesurés dans le sud du Manitoba en 1994 avaient eu un effet très significatif sur la qualité boulangère (tableau 3). Dans le cas d'un cultivar, 'Roblin', la qualité boulangère demeurait inacceptable même si on avait enlevé les grains fusariés. Chez ce cultivar, l'indice de force boulangère (Tipples et Kilborn, 1974), qui est une mesure du volume potentiel des pains pour une teneur constante en protéines, était inférieur à 80 % de la normale même après enlèvement des grains fortement fusariés.

La sécurité du blé comme aliment demeure la principale préoccupation que soulèvent les grains fusariés. Cependant, on ne peut négliger l'impact de ces grains sur l'aptitude technologique du blé, et il faut en tenir compte au moment de fixer le taux maximum de grains fusariés s'appliquant à chaque grade meunier.

FACTEURS ALTÉRANT L'APTITUDE TECHNOLOGIQUE

Cécidomyie orangée du blé

La cécidomyie orangée du blé (*Sitodiplosis mosellana* Géhin) est un ravageur fréquent dans les zones d'Europe et d'Asie où on cultive du blé. Des foyers d'infestation apparaissent périodiquement dans le nord des Grandes Plaines d'Amérique du Nord, et le dernier cas remonte à 1996.

Barnes (1956) a décrit en détail la biologie et le cycle vital de cet insecte. Les œufs sont pondus dans les fleurs durant l'épiaison et la floraison, et la larve se nourrit du grain en développement. Les grains fortement cécidomyiés sont très légers et se perdent à la récolte et au nettoyage. Les grains légèrement



cécidomyiés sont difformes, et leur péricarpe présente souvent une fente qui leur donne l'aspect d'un grain germé.

Les fortes infestations de cécidomyie ont un effet dévastateur sur le rendement. Il arrive également que la présence de grains cécidomyiés nuise gravement aux qualités meunière et boulangère du blé (Fritzsche et Wolfgang, 1959; Miller et Halton, 1961; Dexter *et al.*, 1987). Les grains provenant des cultures atteintes ont une teneur anormalement élevée en protéines et un rendement en farine réduit; leur farine est foncée et riche en cendres et donne une pâte collante et faible ainsi qu'un pain de mauvaise qualité.

La cécidomyie orangée du blé peut gravement nuire à la qualité du blé des régions infestées, mais il est peu probable qu'elle affecte sensiblement la qualité globale de la récolte, car les infestations demeurent localisées et généralement de courte durée. Les producteurs trouveront très avantageux d'appliquer des insecticides pour préserver le rendement de leur culture; de plus, si le traitement est effectué à temps, il peut limiter de manière appréciable les pertes de qualité (tableau 4). Dans les régions où les dommages sont étendus, on peut estimer la force du gluten de manière simple et rapide par un essai de sédimentation SDS (Axford *et al.*, 1978), qui permet de détecter les grains suffisamment cécidomyiés pour nuire aux propriétés du gluten (Dexter *et al.*, 1987).

Grains vitreux durs

Le taux de grains vitreux durs (HVK) est couramment utilisé pour le classement et la commercialisation des blés de force. La CCG définit les grains



Association of Operative Millers - Bulletin

vitreux durs comme ayant une « translucidité naturelle constituant un signe visible de leur dureté ». Tout grain comportant une tache amyliacée, quelle qu'en soit la taille, est considéré comme non vitreux (c'est-à-dire mitadiné, ou amyliacé).

Plusieurs facteurs influent sur la perte de vitrosité du grain, dont les conditions météorologiques, la fertilité du sol et la généalogie (Phillips et Niernberger, 1976). Il est généralement admis que le principal effet des grains vitreux durs sur la qualité du blé est lié à la relation directe existant entre la vitrosité et la teneur en protéines (Pomeranz *et al.*, 1976; Simmonds, 1974). Pomeranz *et al.* (1976) ont montré que la qualité des protéines n'est pas affectée, puisqu'il n'existe aucune relation entre le taux de grains vitreux durs et le volume du pain, si la teneur en protéines demeure constante.

Un effet secondaire des grains vitreux durs est lié à la corrélation positive existant entre la présence de ces grains et la dureté de l'ensemble des grains (Pomeranz *et al.*, 1976). Le caractère mou des grains non vitreux est dû à leur réseau protéique moins étendu, ce qui réduit l'adhérence entre protéines et amidon à l'intérieur de l'albumen (Simmonds, 1974). Phillips et Niernberger (1996) ont conclu que la vitrosité du grain n'a aucun effet sur son rendement de mouture. Des travaux réalisés au Laboratoire de recherches sur les grains à partir d'échantillons prélevés à la main présentant divers degrés de vitrosité ont confirmé que ce facteur influe sur la dureté du grain, comme le montre la variation de l'indice de taille des particules (tableau 5), mesuré en sortie de broyage selon la méthode de Williams et Sobering (1986). Cet effet est si ténu que les différences intrinsèques de dureté entre les classes de blé sont faciles à



discerner chez les grains tachetés (partiellement vitreux). Les plages de dureté des diverses classes de blé se chevauchent légèrement dans le cas des grains entièrement mitadinés. Cependant, dans le blé vitreux nord-américain, les grains mitadinés constituent rarement une proportion importante des échantillons commerciaux de blé.

La teneur en protéines du blé peut être mesurée facilement, de manière précise et objective, tandis que le taux de grains durs est long à déterminer et demeure subjectif. Or, comme on exige de plus en plus une teneur en protéines garantie pour qu'un blé soit commercialisé, le taux de grains vitreux durs pourrait bien devenir redondant comme facteur de qualité.

Grains gelés

Comme la saison de culture est courte dans l'Ouest canadien et le nord des États-Unis, les grains gelés y constituent un facteur de classement commun. La gravité des dommages dus au gel dépend du stade de maturité du grain, des températures auxquelles il a été exposé et de la durée de la gelée (Preston *et al.*, 1991).

Les grains fortement gelés constituent un des pires défauts pour la qualité du blé (Dexter *et al.*, 1985, et documents y cités). Ces grains peuvent réduire la qualité meunière, en diminuant le rendement en farine du blé tout en produisant une farine de couleur plus foncée et plus riche en cendres (tableau 6). De plus, comme les grains de blé fortement gelés sont extrêmement durs, leur mouture exige une plus forte consommation d'énergie. Par ailleurs, le régime de mouture



Association of Operative Millers - Bulletin

est déséquilibré par l'extrême dureté des produits soumis au convertissage, qui fait qu'une plus grande proportion de ces produits se rend jusqu'aux derniers passages de réduction. L'extrême dureté des grains fortement gelés augmente également le taux de dégradation de l'amidon dans la farine.

Les grains de blé fortement gelés donnent une pâte à propriétés physiques insatisfaisantes (tableau 6). Le volume et l'aspect du pain ainsi que la structure et la couleur de sa mie se détériorent proportionnellement à la gravité des dommages dus à la gelée.

Les propriétés physiques et la qualité boulangère médiocres de la pâte obtenue à partir de grains fortement gelés sont imputables à la qualité inférieure du gluten (Dexter *et al.*, 1985). Lorsque des grains physiologiquement immatures sont exposés à un gel intense, la synthèse des protéines du gluten est interrompue avant terme, ce qui nuit aux propriétés fonctionnelles du gluten.

Les dommages dus au gel sont difficiles à quantifier chez le blé, car ils doivent être évalués par comparaison visuelle avec des échantillons standard. Cependant, à la CCG, nous avons pu constater que les inspecteurs bien formés peuvent estimer avec précision l'intensité de ces dommages et ainsi protéger les grades meuniers contre l'effet très nuisible de grains fortement gelés.

Grains germés

La germination sur pied due aux conditions humides de récolte a peu d'impact sur les propriétés meunières du grain, mais elle peut fortement nuire à la qualité du pain (Chamberlain *et al.*, 1983). Les grains germés nuisent à la qualité du pain



Association of Operative Millers - Bulletin

à cause de leur forte teneur en α -amylase, enzyme qui dégrade l'amidon (Kruger, 1994).

Pendant le pétrissage et la fermentation, à mesure que l' α -amylase dégrade l'amidon, celui-ci perd sa capacité de rétention d'eau. L'absorption au pétrissage est donc plus faible, et le boulanger obtient moins de pains avec un poids donné de farine, ce qui constitue une perte économique (Tipples *et al.*, 1966; Tkachuk *et al.*, 1991b). Souvent, le volume des pains n'est pas affecté par les grains germés et peut même être plus élevé, en raison d'une production plus rapide de gaz pendant la fermentation (Ibrahim et D'Appolonia, 1979). Cependant, les grains germés donnent une pâte collante difficile à manipuler, et il en résulte une mie collante et grossièrement alvéolée (Buchanan et Nicholas, 1980; Moot et Every, 1990). Comme la mie est collante, elle s'accumule sur les lames de la machine à trancher et nuit ainsi à son efficacité (Dexter, 1993; figure 1).

Tous les effets de l' α -amylase sont exacerbés dans le cas des pains à fermentation longue, car l'enzyme continue de dégrader l'amidon durant toute cette étape de la production. Dans le cas des nouilles chinoises, la pâte est préparée avec faible absorption d'eau, le temps de préparation est beaucoup plus court, et on ajoute souvent des produits alcalins qui haussent le pH bien au-delà des limites d'activité optimale de la plupart des enzymes des céréales. Par conséquent, les grains germés ont si peu d'effet sur la qualité des nouilles que celles-ci demeurent commercialisables (Kruger *et al.*, 1995).



L'estimation visuelle des dommages dus à la germination ne donne qu'une indication sommaire de l'effet de ce facteur sur la qualité d'utilisation finale, parce que l' α -amylase est répartie de façon très hétérogène et que l'activité de cette enzyme se maintient de manière variable parmi les blés présentant pourtant des taux comparables de grains germés (Kruger et Tipples, 1980). Comme l' α -amylase est produite par les couches extérieures du grain de blé, elle tend à se concentrer, durant la mouture, dans les farines de passage riches en cendres (Kruger, 1981). Par conséquent, la meilleure façon de prédire la qualité d'utilisation finale d'un échantillon de blé germé consiste à soumettre la farine elle-même à des essais tels que ceux visant à déterminer l'indice de chute, la viscosité à l'amylographe ou l'activité α -amylasique.

Grains échauffés

Lorsque la récolte est faite par temps humide, on observe fréquemment un problème de grains échauffés causé par l'entreposage de grains trop humides ou par leur séchage artificiel à une température trop élevée. Les grains humides peuvent s'échauffer durant l'entreposage, ce qui nuit aux propriétés fonctionnelles de leur gluten. Dans les cas extrêmes, les grains noircissent et dégagent une odeur de brûlé caractéristique (grains brûlés en entreposage).

Les grains brûlés en entreposage ne nuisent pas beaucoup à la commercialisation du blé, parce qu'ils sont faciles à détecter. Cependant, dans le cas des grains échauffés par un séchage à température trop élevée, les propriétés fonctionnelles du gluten peuvent avoir été endommagées, sans que ces dégâts



soient visibles. L'échauffement a peu d'effet sur les propriétés meunières, mais il peut nuire fortement aux propriétés physiques de la pâte et à la qualité du produit fini (tableau 7).

Heureusement, dans les régions productrices de blé d'Amérique du Nord, le climat permet normalement le séchage naturel du grain au champ. À l'occasion, à cause de conditions humides de récolte, il faut sécher le grain à l'air chaud pour que sa teneur en humidité soit suffisamment basse pour l'entreposage. Il est donc dans l'intérêt des transformateurs de blé que nous disposions de tests rapides et sensibles permettant de détecter les grains échauffés.

Certaines propriétés physiques de la pâte sont fortement indicatrices de la présence de grains échauffés. Durant les années à conditions humides de récolte, le Laboratoire de recherches sur les grains se sert de la variation des propriétés mixométriques pour détecter la présence de grains échauffés dans les échantillons commerciaux. Des paires d'échantillons prélevés avant et après le séchage sont moulus par un procédé simple, puis les courbes mixométriques sont comparées (Kilborn et Aitken, 1961; Preston *et al.*, 1989). Toute différence existant entre les deux courbes est révélatrice d'un changement dans les propriétés fonctionnelles du gluten et indique que la température de séchage doit être réduite. On peut ainsi contrôler au moyen d'échantillons le séchage effectué par les producteurs, les exploitants privés et les exploitants de silo terminal.

Le dépistage des grains échauffés à partir des propriétés physiques de la pâte est très efficace, mais il exige passablement de temps et requiert un équipement



coûteux et beaucoup d'expertise technique. Il faudrait des procédés plus rapides qui permettraient de détecter la présence de grains échauffés dans chaque lot, dès son déchargement à l'établissement de mouture ou d'entreposage.

Preston et Symons (1993) mentionnent à cet égard plusieurs tests rapides fondés sur l'inactivation des enzymes, la capacité de liaison des colorants, la turbidité et l'extractibilité des protéines, mais toutes ces méthodes exigent également une expertise technique et peuvent être sensibles au cultivar et à la teneur en protéines. Ces auteurs ont aussi proposé un test simple fondé sur la formation de fibrilles protéiques lorsqu'un échantillon de grain moulu est humecté. Seckinger et Wolf (1970) ont été les premiers à observer que l'humectation de particules ou tranches fines d'albumen de blé provoque la formation rapide de fibrilles protéiques microscopiques. Preston et Symons (1993) ont découvert que le degré de formation de fibrilles, observé au microscope sur fond clair, est très sensible au taux de grains échauffés (figure 2) : chez tous les échantillons jugés « fortement échauffés » selon l'essai mixométrique, il n'y a eu pratiquement aucune formation de fibrilles. Ce procédé est très prometteur, car il exige peu d'expertise technique et ne requiert qu'un microscope à faible grossissement, peu coûteux, pour donner des résultats satisfaisants.

Mildiou

Le mildiou est provoqué par des champignons du genre *Cladosporium* et est souvent associé à des conditions de récolte humides. Les grains mildiousés se



Association of Operative Millers - Bulletin

caractérisent par des masses de spores grises apparaissant à leur extrémité apicale.

En présence de grains modérément mildiousés, la seule façon d'estimer la gravité des dommages est une évaluation subjective de l'aspect général de l'échantillon.

Comme le mildiou est associé à l'altération par les intempéries et à la germination sur pied, il est difficile de distinguer entièrement ses effets de ceux de la germination. Les grains fortement mildiousés, qui finissent par noircir et pourrir, sont faciles à quantifier et ne doivent être tolérés qu'en petites quantités, parce qu'ils nuisent à la brillance de la farine. Au Laboratoire de recherches sur les grains, nous avons observé les effets de grains modérément mildiousés sur du blé tendre d'Ontario, et nous avons constaté que ces grains faisaient augmenter le poids spécifique et diminuer l'indice de chute, ce qui serait indicateur d'un taux accru de grains germés (tableau 8). La performance de mouture est plus faible, parce que la farine est plus foncée. Les grains mildiousés ont également un faible effet sur d'autres facteurs de qualité, comme la capacité de rétention d'eau alcaline, les propriétés alvéographiques de la pâte et la qualité des biscuits.

Le mildiou ne présente aucun danger toxicologique. Les grains modérément mildiousés ne semblent pas constituer un facteur de qualité important, mais ils peuvent être indicateurs de conditions humides de récolte pouvant accroître le risque de grains germés. L'altération de la couleur du tégument séminal peut également constituer un problème esthétique pour certains usages alimentaires, comme les céréales pour petit-déjeuner.



Point noir et carie

Les champignons *Alternaria alternata* et *Helminthosporium sativum* sont des sources communes d'infection du blé qui confèrent au grain une coloration brun foncé ou noire. Lorsque l'infection se limite au germe, elle est appelée « point noir ». Si elle progresse le long du sillon, elle devient une « carie ». Dans l'Ouest canadien, l'*Alternaria alternata* est de loin la cause la plus fréquente de telles infections.

La carie est considérée comme un facteur de qualité important parce que l'infection, une fois parvenue à ce stade, a eu le temps de pénétrer dans l'albumen et donc d'altérer la couleur de la farine. Des études réalisées au Laboratoire de recherches sur les grains ont révélé que le point noir a un effet minime sur les qualités meunière et boulangère du blé, même si les dommages sont suffisants pour entraîner un déclassement du grain jusqu'au grade fourrager (tableau 9). Une étude menée en Australie a donné des résultats semblables (Rees *et al.*, 1984).

Le point noir et la carie ne présentent aucun danger toxicologique. Le point noir est un facteur de qualité peu important, mais il demeure un facteur de classement important sur le plan esthétique, parce que l'aspect médiocre des grains tachetés en empêche la commercialisation auprès d'utilisateurs finaux exigeants. L'altération de la couleur du germe et du son nuit à l'utilisation du grain pour la production de germe de blé ou de céréales pour petit-déjeuner.



Association of Operative Millers - Bulletin
CONCLUSIONS

Lorsque le blé subit des dommages physiques à cause de mauvaises conditions de culture ou de récolte, il est important de se rappeler qu'un système de classement bien conçu permet d'en préserver l'aptitude technologique. Dans le cas des systèmes de classement numériques tels que ceux employés au Canada et aux États-Unis, les critères s'appliquant à chaque grade sont constants d'une année à l'autre, ce qui garantit la qualité uniforme d'un grade donné. Si une année connaît de mauvaises conditions, c'est surtout la proportion de blé du grade supérieur qui est réduite.

Dans les divers pays producteurs de blé, les critères définissant les grades évoluent en fonction des effets des divers facteurs de classement sur la qualité meunière et la qualité d'utilisation finale. Les meuniers peuvent s'assurer de normes minimales de qualité en demandant le grade de blé dont ils ont besoin. Si le meunier n'est pas familier avec la qualité relative des divers grades offerts par le fournisseur, ou si ce dernier ne dispose pas d'un système de classement adéquat, le meunier peut exiger que le fournisseur respecte une certaine liste de critères, afin de garantir que le blé satisfera à ses attentes en matière de qualité.

BIBLIOGRAPHIE

Barnes, H.F. 1956. Gall Midges of Economic Importance: Gall Midges of Cereal Crops. Vol. VII. Crosby, Lockwood and Son Ltd., London, UK, pp. 57-80.

Boyacioglu, D., and Hettiarachchy, N.S. 1995. Changes in some biochemical components of wheat grain that was infected with *Fusarium graminearum*. J. Cereal Sci. **21**: 57-62.



- Bechtel, D. B., Kaleikau, L. A., Gaines, R. L., and Seitz, L. M. 1985.** The effects of *Fusarium graminearum* infection on wheat kernels. *Cereal Chem.* **62**: 191-197.
- Buchanan, A.M., and Nicholas, E.M. 1980.** Sprouting, alpha-amylase, and bread-making quality. Proc. 2nd Int. Sprouting Symp., Cambridge, England. M.D. Gale and V. Stoy, eds. *Cereal Res. Commun.* **8**:23-28
- Chamberlain, N., Collins, T.H., and McDermott, E.E. 1983.** The influence of alpha-amylase on loaf properties in the U.K. Pages 841-845 in: *Progress in Cereal Science and Technology*. J. Holas and J. Kratochvil, eds. Elsevier Science Publishers: Amsterdam.
- 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 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., Martin, D.G., Preston, K.R. and MacGregor, A.W. 1985.** The effect of frost damage on the milling and baking quality of red spring wheat. *Cereal Chem.* **62**:75-80.
- Dexter, J.E., Preston, K.R., Cooke, L.A., Morgan, B.C., Kruger, J.E., Kilborn, R.H., and Elliott, R.H. 1987.** The influence of orange wheat blossom midge (*Sitodiplosis mosellana* Géhin) damage on hard red spring wheat quality and the effectiveness of insecticide treatments. *Can. J. Plant Sci.* **67**:697-712.
- Dexter, J.E., Marchylo, B.A., MacGregor, A.W., and Tkachuk, R. 1989.** The structure and protein composition of vitreous, piebald and starchy durum wheat kernels. *J. Cereal Sci.* **10**:19-32.
- 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.
- Fajardo, J.E., Dexter, J.E., Roscoe, M.M., and Dexter, J.E. 1995.** Retention of ergot alkaloids in wheat during processing. *Cereal Chem.* **72**:291-298.
- Fritzsche, R., und Wolfgang, H. 1959.** Beeinflussung des Saatgutwertes und der Backqualität des Weizens durch Weizengallmückenbefall. (Incidence des infestations de cécidomyie du blé sur la valeur semencière et la qualité boulangère du blé). *Zeitschr. Pflanzenkrankh.* **66**:645-653.
- Ibrahim, Y., and D'Appolonia, B.L. 1979.** Sprouting in hard red spring wheat. *Baker's Dig.* **53(5)**:17-19.
- Kruger, J.E. 1981.** Severity of sprouting as a factor influencing the distribution of amylase in pilot flour mill streams. *Can. J. Plant Sci.* **61**:817-828.



Association of Operative Millers - Bulletin

- Kruger, J.E. 1994.** Enzymes of sprouted grains and possible technological significance. Pages 143-153 in: *Wheat: Production, Properties and Quality*. W. Bushuk and V. Rasper, eds. Blackie Academic and Professional, Glasgow, U.K.
- Kruger, J.E., and Tipples, K.H. 1980.** Relationship between falling number, amylograph viscosity and alpha-amylase activity in Canadian wheat. *Proc. 2nd Int. Sprouting Symp., Cambridge, England*. M.D. Gale and V. Stoy, eds. *Cereal Res. Commun.* **8**:97-105.
- Kruger, J.E., Hatcher, D.W., and Dexter, J.E. 1996.** Influence of sprout damage on Oriental noodle quality. Pages 9-18 in: *Proc. 7th International Symposium on Pre-Harvest Sprouting, Hokkaido, Japan, 1995*.
- Lorenz, K. 1979.** Ergot in cereal grains. *CRC Crit. Rev. Food Sci. Nutri.* **11**:311-354.
- Mantle, P.G. 1977a.** The genus *Claviceps*. Pages 83-89 in: *Mycotoxic Fungi, Mycotoxins, Mycotoxicoses: An Encyclopedia Handbook*. T.D. Wyllie and L.G. Morehouse, eds. Marcell Dekker: New York.
- Mantle, P.G. 1977b.** Chemistry of *Claviceps* mycotoxins. Pages 421-426 in: *Mycotoxic Fungi, Mycotoxins, Mycotoxicoses: An Encyclopedia Handbook*. T.D. Wyllie and L.G. Morehouse, eds. Marcell Dekker: New York.
- Miller, B.S., and Halton, P. 1961.** The damage to wheat kernels caused by the wheat blossom midge (*Sitodiplosis mosellana*). *J. Sci. food Agric.* **12**:391-398.
- Moot, D., and Every, D. 1990.** A comparison of bread baking, falling number, alpha-amylase assay, and visual method for the assessment of pre-harvest sprouting in wheat. *J. Cereal Sci.* **11**:225-234.
- Parry, D.W., Jenkinson, P., and McLeod, L. 1995.** *Fusarium* ear blight (scab) in small grain cereals - a review. *Plant Pathology* **44**:207-238.
- Phillips, D.P., and Niernberger, F.F. 1976.** Milling and baking quality of yellow berry and dark, hard and vitrous wheats. *Baker's Digest* **50(2)**:42,44,46-48.
- Pomeranz, Y. Shogren, M.D., Bolte, L.C., and Finney, K.F. 1976.** Functional properties of dark, hard and yellow hard red winter wheat. *Baker's Digest* **50(2)**:35-40.
- 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.



Association of Operative Millers - Bulletin

- Preston, K.R., Kilborn, R.H., Morgan, B.C., and Babb, J.C. 1991.** Effects of frost and immaturity on the quality of a Canadian hard red spring wheat. *Cereal Chem.* **68**:133-138.
- Rees, R.G., Martin, D.J., and Law, D.P. 1984.** Black point in bread wheat: Effects on quality and germination, and fungal associations. *Aust. J. Exp. Anim. Husb.* **24**:601-605.
- Scott, P.M., Kanhere, S.R., Lau, P.-Y., Dexter, J.E., and Greenhalgh, R. 1983.** Effects of experimental flour milling and breadmaking on retention of deoxynivalenol (vomitoxin) in hard red spring wheat. *Cereal Chem.* **60**:421-424.
- Scott, P.M., Kanhere, Dexter, J.E., Brennan, P.W., and Trenholm, H.L. 1984.** Distribution of the trichothecene mycotoxin deoxynivalenol (vomitoxin) during the milling of naturally contaminated hard red spring wheat and its fate in baked products. *Food Additives Contaminants* **1**:313-323.
- Scott, P.M., Lombart, G.A., Pellaers, P., Bacler, S., and Lappi, J. 1992.** Ergot alkaloids in grain foods sold in Canada. *J. AOAC Int.* **75**:773-779.
- Seckinger, H.L., and Wolf, M.J. 1970.** Electron microscopy of endosperm protein from hard and soft wheats. *Cereal Chem.* **47**:236-243.
- Seitz, L. M., Eustace, W. D., Mohr, H. E., Shogren, M. D., and Yamazaki, W.T. 1986.** Cleaning, milling, and baking tests with hard red winter wheat containing deoxynivalenol. *Cereal Chem.* **63**: 146-150.
- Simmonds, D.H. 1974.** Chemical basis of hardness and vitreosity in the wheat kernel. *Baker's Digest* **48(10)**:16-20,22,24,26-29,63.
- Tipples, K.H., and Kilborn, R.H. 1974.** 'Baking strength index' and the relation of protein content to loaf volume. *Can. J. Plant Sci.* **54**:231-234.
- Tipples, K.H., Kilborn, R.H., and Bushuk, W. 1966.** Effect of malt and sprouted wheat on baking. *Cereal Sci. Today* **11**:362-364,366-368,370.375.418.
- Tkachuk, R., Dexter, J.E., Tipples, K.H., and Nowicki, T.W. 1991a.** Removal of tombstone kernels from *Fusarium* head blight infected wheat on a specific gravity table. *Cereal Chem.* **68**:428-431.
- Thachuk, R., Dexter, J.E., and Tipples, K.H. 1991.** Removal of sprouted kernels from hard red spring wheat with a specific gravity table. *Cereal Chem.* **68**:390-395.
- Trigo-Stokli, D.M., Deyoe, C.W., Satumbaga, R.F., and Pedersen, J.R. 1996.** Distribution of deoxynivalenol and zearalenone in milled fractions of wheat. *Cereal Chem.* **73**:388-391.
- Williams, P.C., and Sobering, D.C. 1986.** Attempts at standardization of hardness testing of wheat. I. The grinding/sieving (particle size index) method. *Cereal Foods World* **31**:417-420.



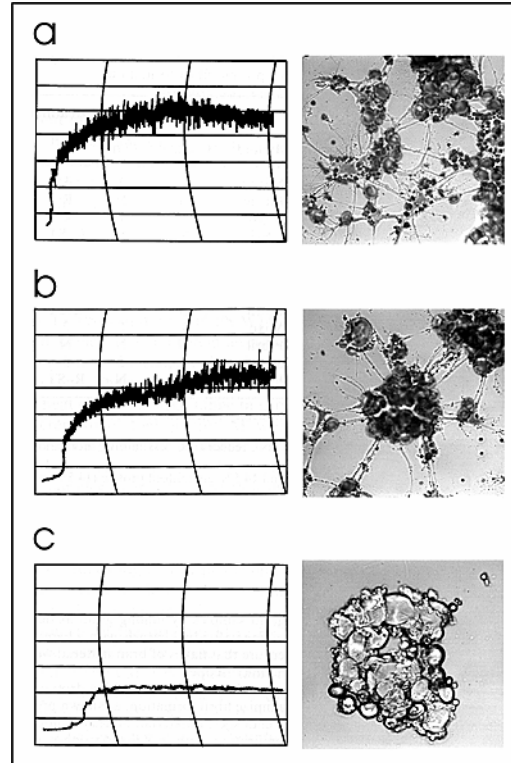
Figures

Figure 1. Perte de pain potentielle due à l'utilisation de farine de blé germé, à cause de l'accumulation de mie collante sur les lames de la machine à trancher. Haut : pain fait de farine normale. Centre : pain fait de farine renfermant 3 % de grains germés. Bas : pain fait de farine renfermant 5 % de grains germés. Photos tirées de Dexter (1993).





Figure 2. Courbes mixométriques, avec micrographies sur fond clair correspondantes, de farines provenant de blé CWRS n° 1 (12,5 % de protéines) qui a été porté à un taux d'humidité de 16,5 % pendant 16 heures puis exposé à une température de 70 °C, dans un bocal de verre scellé, pendant (a) 0 heure, (b) 4 heures ou (c) 16 heures. D'après Preston et Symons (1993).





Association of Operative Millers - Bulletin
Tableau 1.

Concentration d'alcaloïdes de l'ergot (parties par milliard) dans les produits de certains passages de la mouture de blé CWRS ergoté.

Passage	Cendres (%)	Alcaloïdes (parties par milliard)
Issues :		
Remoulage bis	2,72	4700
Son	6,28	22
Farines :		
Convertissage 6	1,24	900
Convertissage 3	0,51	44
Curage du son	2,83	44
Broyage 3	0,58	27
Broyage 1	0,48	10
Convertissage 1	0,34	8

Source : Fajardo *et al.* (1995). Les concentrations de cendres et d'alcaloïdes sont exprimées pour un taux d'humidité de 14 %.



Association of Operative Millers - Bulletin
Tableau 2.

Concentration de désoxynivalénol ($\mu\text{g/g}$) dans le blé CWRS ainsi que dans les produits de mouture et le pain issus de ce blé.

Produit	Blé A	Blé B
Blé sale	7,1	1,4
Impuretés	16,7	1,4
Blé propre	4,6	1,8
Son	4,2	1,8
Remoulages blancs	7,4	2,1
Remoulages bis	5,6	2,0
Farine entière	4,0	1,5
Pain	4,0	1,1

Source : Données extraites de Scott *et al.* (1983) pour le blé A et de Scott *et al.* (1984) pour le blé B. Dans le cas du pain, les concentrations sont exprimées par rapport à la quantité équivalente de farine.



Association of Operative Millers - Bulletin
Tableau 3.

Effet des grains fusariés sur certaines propriétés de qualité des blés roux vitreux
de printemps 'Grandin' et 'Roblin'.

Propriété	'Grandin'		'Roblin'	
	GN	GR	GN	GR
Blé :				
Grains fusariés (%)	1,5	7,3	0,2	5,9
DON ($\mu\text{g/g}$)	1,7	8,0	1,2	9,5
Poids spécifique (kg/hL)	79,0	76,7	77,9	75,0
Protéines (%)	14,0	13,7	14,8	14,7
Rendement en farine (%)	75,0	74,7	74,1	73,5
Farine :				
Cendres (%)	0,50	0,52	0,49	0,52
Couleur (unités)	0,1	1,2	- 0,1	0,9
Farinographe :				
Absorption (%)	62,4	62,0	62,5	62,0
TD (minutes)	4½	4	6½	5¾
Stabilité (minutes)	8	7	9½	9
Pain :				
Absorption (%)	60	58	61	61
Volume (cm^2)	920	855	690	520
IFB (%)	106	99	72	55

Source : Dexter *et al.* (1996). 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); TD = temps de développement de la pâte; IFB = indice de force
boulangère.



Association of Operative Millers - Bulletin
Tableau 4.

Effet de la pulvérisation aérienne de Lorsban (37,4 L/ha) sur certains facteurs de qualité du blé vitreux roux de printemps 'Neepawa' infesté par la cécidomyie.

Propriété	Témoin	Pulvérisation
Blé :		
Grains cécidomyiés (%)	8,7	0,4
Protéines (%)	14,4	12,1
SDS (mL)	56	62
Rendement en farine (%)	72,4	74,2
Farine :		
Cendres (%)	0,56	0,48
Couleur (unités)	0,8	- 1,0
Farinographe		
Absorption (%)	65,0	63,4
Stabilité (minutes)	3¼	5¼
Pain		
Absorption (%)	59	59
IFB (%)	74	92

Source : Dexter *et al.* (1987).

Abréviations : L/ha = litres par hectare; SDS = indice de précipitation au dodécylsulfate de sodium; IFB = indice de force boulangère.



Association of Operative Millers - Bulletin
Tableau 5.

Teneur en protéines et indice de taille des particules des grains entièrement vitreux, partiellement vitreux (tachetés) et entièrement mitadinés de certaines classes de blé canadien.

Classe de blé	Protéines (%)	ITP (%)
Blé dur		
grains vitreux	10,8	34,2
grains tachetés	9,1	35,3
grains mitadinés	7,9	48,7
Blé roux vitreux de printemps		
grains vitreux	12,7	43,9
grains tachetés	9,9	43,2
grains mitadinés	8,8	48,4
Blé roux vitreux d'hiver		
grains vitreux	11,5	52,0
grains tachetés	9,7	52,8
grains mitadinés	8,5	57,6
Blé de printemps Canada Prairie		
grains vitreux	12,1	55,4
grains tachetés	9,4	54,3
grains mitadinés	8,3	58,3

Source : Données sur le blé dur tirées de Dexter *et al.* (1989); autres données tirées d'Edwards et Dexter (inédit).

Abréviations : ITP = indice de taille des particules.



Association of Operative Millers - Bulletin
Tableau 6.

Effet de diverses proportions de grains gelés de blé fourrager canadien en mélange dans le blé CWRS n° 1 sur les qualités meunière et boulangère.

Propriété	100 %	30 %	15 %
	blé fourrager	blé fourrager	blé fourrager
Blé :			
Énergie de mouture (Wh/kg)	30,6	26,6	24,1
Rendement en farine (%)	69,7	73,9	73,6
Farine :			
Cendres (%)	0,56	0,52	0,48
Couleur (unités)	4,5	2,5	1,7
Protéines (%)	12,0	13,2	13,5
Dégradation de l'amidon (UF)	50	35	32
Farinographe :			
Absorption (%)	67,7	65,2	64,5
TD (minutes)	2	6½	6¼
Pain :			
Absorption (%)	63	64	64
Volume (cm ²)	705	920	940
IFB (%)	90	105	105

Source : Dexter *et al.* (1985). Résultats d'analyse exprimés pour un taux d'humidité de 14 %.

Abréviations : UF = unités Farrand; TD = temps de développement de la pâte; IFB = indice de force boulangère.



Association of Operative Millers - Bulletin
Tableau 7.

Évaluation de la qualité du blé CWRS soumis à un séchage artificiel.

Propriété	Grains non échauffés	Grains échauffés
Blé :		
Poids spécifique (kg/hL)	77,7	77,5
Rendement en farine (%)	74,8	74,5
Farine :		
Protéines (%)	12,7	11,3
Gluten humide (%)	36,7	30,5
Gluten humide/protéines	2,89	2,70
Cendres (%)	0,48	0,47
Couleur (unités)	0,4	0,3
Farinographe :		
Absorption (%)	65,2	64,7
TD (minutes)	9¾	1¾
Pain :		
Absorption (%)	64	61
Volume (cm ²)	820	595

Source : Preston *et al.* (1989).

Abréviation : TD = temps de développement de la pâte.

Échantillons composites prélevés dans des chargements ferroviaires visuellement admissibles au grade CWRS n° 3. Les chargements qui se sont révélés échauffés ont été déclassés jusqu'au grade Blé fourrager du Canada, dans le cadre du programme de surveillance du blé échauffé du Laboratoire de recherches sur les grains.



Association of Operative Millers - Bulletin
Tableau 8.

Effet de la présence de grains modérément mildiousés, au taux maximum toléré pour chaque grade, sur la qualité du blé blanc d'hiver de l'Est canadien (CEWW)

Propriété	CEWW n° 1	CEWW n° 2	CEWW n° 3
Blé :			
Poids spécifique (kg/hL)	78,2	77,2	75,9
Indice de chute (secondes)	255	170	105
Rendement en farine (%)	73,7	73,1	72,6
Farine :			
Cendres (%)	0,43	0,41	0,41
Couleur (unités)	-1,6	-0,7	-0,3
Protéines (%)	7,8	7,9	7,8
CREA (%)	65	66	65
Alvéographe :			
P (hauteur × 1,1) (mm)	21	22	21
Longueur (mm)	160	134	136
Travail (10 ³ ergs)	62	60	56
Biscuits :			
Étalement (mm)	83	82	81
Rapport étalement/épaisseur	9,4	8,7	8,7

Source : Dexter (données inédites). Résultats d'analyse exprimés pour un taux d'humidité de 14 %.

Abréviations : CREA = capacité de rétention d'eau alcaline; P = pression.



Association of Operative Millers - Bulletin
Tableau 9.

Effet du point noir sur la qualité du blé roux de printemps de l'Ouest canadien
(CWRS)

Propriété	Blé CWRS n° 1	Blé CWRS n° 3	Blé fourrager du Canada
Blé :			
Point noir (%)	0	5	40
Poids spécifique (kg/hL)	79,3	79,6	79,8
Rendement en farine (%)	74,0	73,2	73,0
Farine :			
Cendres %	0,48	0,48	0,47
Couleur (unités)	1,0	1,2	1,2
Protéines (%)	14,9	14,9	15,3
Farinographe :			
Absorption (%)	64,8	64,9	65,5
TD (minutes)	5½	5¼	5¾
Pain :			
Absorption (%)	68	68	68
Volume (cm ²)	985	1000	1010

Source : Dexter et Preston (données inédites). Les résultats d'analyse sont exprimés pour un taux d'humidité de 14 %.

Abréviation : TD = temps de développement de la pâte.