



Commission canadienne
des grains

Canadian Grain
Commission

Canada

Mesure de la couleur et de la taille du grain d'orge pour prédire la qualité d'utilisation finale du malt

M.J. Edney¹, Marta S. Izydorczyk¹, S.J. Symons¹ et N. Woodbeck²

Étude conjointe des Services à l'industrie² et du Laboratoire de recherches sur les grains¹ sur la
mise en valeur de l'orge

Résumé

L'efficacité du système de classement de la Commission canadienne des grains (CCG) pour prédire la qualité d'utilisation finale de l'orge brassicole a été comparée aux méthodes fondées sur des machines. Une série d'échantillons d'orge brassicole provenant de la récolte de 2003 ont été analysés quant à leur grade ainsi qu'à la couleur et à la taille des grains. L'orge a été maltée, puis la qualité du malt a été analysée. Les résultats confirment l'efficacité du système de classement, les échantillons d'orge extra spéciale ayant généralement donné la meilleure qualité de malt. Du point de vue statistique, les grades fondés sur les observations d'un seul inspecteur se sont révélés aussi efficaces que les couleurs mesurées par analyse d'image pour prédire plusieurs des paramètres du grain et de la qualité du malt. Cependant, l'analyse d'image s'est révélée supérieure pour la prédiction de plusieurs autres paramètres. Ce système, faisant appel à l'utilisation d'une machine, devrait en outre assurer une plus grande objectivité que la détermination visuelle des grades par plusieurs inspecteurs à diverses dates. Cependant, comme ces constatations sont fondées sur un nombre limité d'échantillons, provenant d'une seule année de récolte, il y aurait lieu de répéter l'expérience avec des échantillons additionnels présentant une variété de facteurs de déclassement.

En présence de conditions de maltage standard, les grains ventrus ont donné un malt adéquatement modifié dont le rendement en extrait de malt était bon. En présence des mêmes conditions, les grains intermédiaires ont donné un rendement en extrait de malt significativement plus faible, et leur malt était trop modifié. Le poids de 1000 grains, fréquemment utilisé comme indicateur de la qualité brassicole de l'orge, a fourni une bonne indication du rendement potentiel en extrait de malt, mais uniquement dans le cas des grains ventrus. Dans le cas des grains intermédiaires, il a plutôt donné une indication des conditions requises pour le maltage.

Les résultats obtenus avec le poids de 1000 grains ont été comparés à ceux obtenus avec le système SKCS (Single Kernel Characterization System), qui mesure le poids, le diamètre, la teneur en eau et l'indice de dureté de 300 grains de chaque échantillon et calcule la moyenne et l'écart-type de chacune de ces mesures. Les deux méthodes ont donné des corrélations semblables avec la qualité du malt. La variabilité de taille parmi 300 grains de chaque échantillon, indiquée par l'écart-type des mesures de diamètre et de poids produites par le SKCS, a permis d'expliquer une partie supplémentaire de la variation de la qualité finale du malt, notamment en ce qui a trait à son degré de modification.

Introduction

Le système de classement de la Commission canadienne des grains (CCG) est fondé sur une combinaison d'évaluations visuelles et objectives visant à séparer l'orge brassicole en divers grades ayant des valeurs différentes pour l'utilisation finale. L'efficacité de ce système n'a pas été établie de façon rigoureuse, puisqu'on connaît encore mal les relations existant entre les divers grades et l'aptitude technologique des grains, c'est-à-dire leur potentiel brassicole. Or, il sera de plus en plus important de pouvoir prédire ce potentiel, car l'industrie canadienne de l'orge brassicole essaie d'avoir accès à des quantités plus grandes d'orge en acceptant des grains de qualité médiocre ou incertaine. C'est pourquoi la Division des services à l'industrie et

le Laboratoire de recherches sur les grains, relevant tous deux de la CCG, ont lancé un programme visant à étudier les relations existant entre les facteurs d'évaluation de l'orge et sa qualité brassicole. L'aspect visuel du grain, ou sa couleur, ainsi que la taille du grain ont été retenus comme principaux facteurs justifiant une attention immédiate.

L'aspect visuel entre en ligne de compte dans le classement de la CCG, puisqu'on y évalue la « condition » du grain, qui est fondée sur son degré de maturité, sur la présence de taches dues aux intempéries et sur l'altération générale de sa couleur (décoloration). La condition d'un échantillon est établie par une comparaison visuelle avec les normes des grades. Ces normes, qui fixent la qualité minimale de chaque grade, sont établies annuellement selon les principaux facteurs de déclassement affectant la récolte. La condition du grain est exprimée au moyen d'énoncés normalisés propres à chaque grade, tels que « raisonnablement sain, passablement bien mûri, peut être modérément taché par les intempéries, mais non fortement décoloré » pour l'orge extra spéciale, « passablement sain, peut être légèrement immature et modérément taché par les intempéries ou décoloré » pour l'orge extra, et « exclu des autres grades d'orge brassicole en raison de taches par les intempéries ou d'une décoloration » pour l'orge extra standard. On connaît mal la relation existant entre la condition du grain et sa qualité brassicole. Dans le cadre de la présente étude, nous avons examiné la qualité brassicole d'une série d'échantillons de grains de diverses conditions. Nous avons également vérifié les relations existant entre cette qualité et les mesures de couleur objectives obtenues par analyse d'image ou par comparaison visuelle avec une échelle de couleurs.

La taille du grain est un autre facteur déterminant important pour l'établissement du grade. En effet, à chaque grade d'orge brassicole sont associés un pourcentage minimal de grains ventrus, un poids spécifique minimal ainsi qu'un pourcentage maximal de grains minces. De plus, les certificats d'exportation exigent souvent que la taille du grain soit exprimée par le poids de 1000 grains. Les mesures de taille du grain obtenues par les essais standard sont généralement plus objectives que les évaluations de la condition du grain, mais on a souvent

mis en doute l'utilité de ces mesures pour prédire la qualité d'utilisation finale. Dans le cadre de la présente étude, nous avons donc vérifié les relations existant entre la qualité brassicole des échantillons et la taille de leurs grains, établie tant par la pesée de 1000 grains qu'au moyen du système SKCS. Cet appareil mesure le poids, le diamètre, la teneur en eau et l'indice de dureté de 300 grains de chaque échantillon et calcule la moyenne et l'écart-type de chacune de ces mesures.

Matériel et méthodes

Tous les échantillons provenaient de la récolte de 2003 d'orge brassicole de la variété 'AC Metcalfe', sélectionnée commercialement pour le maltage. Nous avons utilisé deux types d'échantillons : les premiers, ici appelés « échantillons portuaires », ont été prélevés par la CCG dans le port de Vancouver, au déchargement des wagons, durant l'hiver et le printemps 2004, au moyen des techniques d'échantillonnage standard. Les seconds, ici appelés « échantillons de concours », provenaient directement des producteurs, qui les avaient soumis au concours de 2003 du Conseil de développement de l'orge.

Pour étudier l'effet du caractère ventru des grains sur leur qualité brassicole, nous avons séparé les échantillons portuaires en fractions à grains intermédiaires (retenus par un crible à fentes de 5/64 po après avoir traversé un crible à fentes de 6/64 po) et à grains ventrus (retenus par le crible à fentes de 6/64 po), et les deux fractions ont été maltées séparément. Afin de disposer d'une quantité suffisante de grains pour le maltage, particulièrement dans le cas des grains intermédiaires, nous avons dû grouper les échantillons portuaires en échantillons composites, chacun à partir de quatre ou cinq échantillons initiaux dont les grains avaient un grade, une couleur et une taille semblables; le mélange a été effectué après la séparation des échantillons en fractions à grains intermédiaires ou à grains ventrus. Les 44 échantillons de concours n'ont pas été groupés en échantillons composites, mais ils ont été calibrés, et seuls les grains ventrus ont été maltés.

Avant le calibrage, tous les 68 échantillons ont été classés conformément au *Guide officiel du classement des grains* de la CCG par un même inspecteur de la CCG, qui a également évalué visuellement la couleur de chaque échantillon selon une échelle allant de 1 (couleur bonne) à 6 (couleur médiocre). La couleur a également été déterminée de façon objective, en soumettant à une analyse d'image les échantillons non calibrés, de manière à en déterminer l'indice de couleur selon le modèle additif RVB, où des proportions égales de rouge, de vert et de bleu donnent du blanc. La pesée de 1000 grains et l'analyse SKCS ont été faites chez les échantillons portuaires composites de grains ventrus et de grains intermédiaires.

Les échantillons portuaires et les échantillons de concours présentaient des différences quant à l'homogénéité des grains de chaque échantillon. Non seulement les échantillons portuaires avaient-ils été groupés en échantillons composites en laboratoire, mais les lots déchargés à Vancouver étaient sans doute déjà des mélanges d'orges provenant de divers producteurs. Dans les cas des échantillons de concours, au contraire, chaque échantillon provenait d'un seul producteur, et donc probablement d'un seul champ, et aucun échantillon composite n'a été constitué en laboratoire. Les deux types d'échantillons avaient également été soumis à des périodes d'entreposage différentes : les échantillons de concours avaient été conservés à la température ambiante (environ 20 °C) pendant 18 mois, alors que les échantillons portuaires avaient été entreposés pendant 8 mois, également à la température ambiante.

Les échantillons ont été maltés dans un appareil Phoenix Micromalting System, selon les conditions standard de micro-maltage de 2003 (encuvage à 13 °C 10 h à l'eau, 18 h à sec, 8 h à l'eau, puis 12 h à sec; germination 36 h à 16 °C, puis 60 h à 15 °C; séchage 12 h à 55 °C, 6 h à 65 °C, 2 h à 75 °C, puis 4 h à 85 °C).

Le grade, le pourcentage de grains ventrus et le poids de 1000 grains ont été déterminés conformément au *Guide officiel du classement des grains* de la CCG. Les autres analyses de l'orge et du malt ont été effectuées selon les méthodes standard de l'American Society of

Brewing Chemists (ASBC). L'orge a été soumise aux analyses suivantes : 1) teneur du grain en protéines; 2) énergie de germination, ou pourcentage de grains germant après 72 heures dans 4 mL d'eau; 3) indice de germination, indiquant l'uniformité et la rapidité de la germination au cours de ces 72 heures; 4) teneur en eau au décuvage, ou pourcentage d'eau présente dans le grain après l'encuvage, qui est la première étape du maltage. Le malt a été soumis aux analyses suivantes : 1) rendement en extrait de malt (mouture fine), ou fraction soluble du malt, indicatrice de la capacité du malt à donner de la bière; 2) teneur en protéines solubles (ces protéines sont nécessaires à l'obtention d'une bière à mousse stable, mais peuvent, en quantité excessive, donner une bière trouble ou trop foncée); 3) teneur en β -glucane, viscosité et friabilité, indiquant jusqu'à quel point l'albumen du grain s'est désagrégé durant le maltage; 4) pouvoir diastasique et teneur en α -amylase (les enzymes visées par ces analyses rendent l'amidon soluble à la première étape du brassage); 5) couleur du moût, indicatrice de la couleur finale de la bière.

Résultats et discussion

Grade et couleur du grain

Les 68 échantillons d'orge qui ont par la suite été maltés (44 échantillons de concours et 24 échantillons portuaires composites) présentaient une gamme raisonnable de qualité et une bonne représentation de chacun des trois principaux grades d'orge brassicole de la CCG, soit « extra spéciale », « extra » et « extra standard » (tableau 1). La présence de grains tachés et la présence de grains verts ont été les principaux facteurs de déclassement observés. Il a été préoccupant de constater que tous les échantillons d'orge « extra spéciale » étaient des échantillons de concours, peut-être parce que les échantillons portuaires avaient été mélangés. Les échantillons de concours ont donné des indices de germination significativement plus faibles que les échantillons portuaires, mais ils présentaient également des teneurs en protéines moins élevées (données non présentées). Par conséquent, il a fallu interpréter

prudemment les différences observées entre les échantillons d'orge « extra spéciale » et ceux des autres grades. Les comparaisons entre orges « extra » et « extra standard » présentaient moins de problèmes, car ces grades étaient représentés dans les deux types d'échantillons.

Tableau 1. Répartition des 68 échantillons d'orge analysés, selon le grade d'orge brassicole de la CCG et le type d'échantillon.

| Grade de la CCG | Extra spéciale | Extra | Extra standard |
|--------------------------|----------------|-------|----------------|
| Échantillons de concours | 15 | 17 | 12 |
| Échantillons portuaires | 0 | 11 | 13 |
| Total | 15 | 28 | 25 |

Il n'y avait aucune différence significative entre les grades en ce qui a trait aux paramètres du grain mesurés : pourcentage de grains ventrus; teneur en protéines; énergie de germination; indice de germination (tableau 2). Cependant, en moyenne, les échantillons d'orge « extra spéciale » présentaient un indice de germination moins élevé que ceux des autres grades, sans doute parce qu'ils avaient été entreposés plus longtemps. Le pourcentage de grains ventrus tendait à être plus élevé, bien que de façon non significative, chez les échantillons d'orge « extra spéciale », suivis à cet égard des échantillons « extra », puis des échantillons « extra standard ».

Grade et qualité du malt

Les échantillons d'orge extra spéciale ont donné la meilleure qualité de malt, malgré les préoccupations soulevées ci-dessus à l'égard de l'origine des échantillons et de la période plus longue d'entreposage (tableau 2). Les échantillons d'orge extra spéciale ont absorbé significativement moins d'eau durant le maltage, comme le montre leur teneur en eau plus faible au décuvage. Les malteurs essaient d'obtenir une teneur en eau au décuvage de 44 à 45 %, afin d'assurer une modification adéquate de l'albumen; cependant, dans ce cas-ci, la teneur en eau au décuvage ne semble avoir eu aucun effet sur la modification de l'albumen, puisque tous

les grades ont donné une teneur semblable en β -glucane. En fait, les échantillons d'orge extra spéciale ont donné des friabilités significativement meilleures que ceux des deux autres grades, et la friabilité est généralement indicatrice du degré de modification de l'albumen. Cependant, la teneur en protéines solubles, qui est souvent trop élevée chez les orges brassicoles canadiennes, était significativement plus faible chez l'orge extra spéciale que chez les orges des autres grades, et le malt des orges extra renfermait significativement moins de protéines solubles que celui des orges extra standard. Les orges extra spéciales présentaient donc après maltage une modification adéquate de leur albumen, comme le révèle leur meilleure friabilité, sans pour autant produire trop de protéines solubles. La couleur du moût, qui peut être trop foncée en cas de teneur excessive en protéines solubles, ne variait pas significativement selon les grades.

Tableau 2. Effet du grade d'orge brassicole de la CCG sur la qualité du malt.

| Grade de la CCG | Extra spéciale | Extra | Extra standard |
|--|-------------------|--------------------|-------------------|
| Pourcentage de grains ventrus (%) | 92,3 | 89,8 | 89,4 |
| Teneur du grain en protéines (%) | 12,0 | 12,2 | 12,2 |
| Énergie de germination dans 4 mL d'eau (%) | 96 | 98 | 98 |
| Indice de germination dans 4 mL d'eau (%) | 7,8 | 8,2 | 8,5 |
| Teneur en eau au décuvage (%) | 43,6 ^c | 44,3 ^b | 44,9 ^a |
| Rendement en extrait de malt (%) | 80,5 | 80,4 | 80,5 |
| Teneur en protéines solubles (%) | 4,56 ^c | 4,74 ^b | 4,95 ^a |
| Teneur en β -glucane (ppm) | 64 | 72 | 70 |
| Pouvoir diastasique (°L) | 116 ^b | 126 ^{a,b} | 134 ^a |
| Teneur en α -amylase (D.U.) | 58,3 ^b | 65,1 ^a | 67,4 ^a |
| Couleur du moût (unités ASBC) | 2,05 | 2,01 | 2,12 |
| Friabilité (%) | 88,5 ^a | 83,6 ^b | 82,2 ^b |

^{a,b,c} les moyennes d'un même rang suivies de lettres différentes présentent des différences significatives ($p < 0,01$) selon le test de comparaisons multiples de Duncan.

Les échantillons d'orge extra standard ont donné un pouvoir diastasique significativement plus élevé que ceux des autres grades et une teneur en α -amylase significativement plus

élevée que les échantillons d'orge extra spéciale. Cependant, chez tous les grades, les teneurs en enzymes se situaient amplement à l'intérieur des limites jugées acceptables pour le malt canadien; les différences observées étaient sans doute liées à la teneur en eau au décuvage, significativement plus faible chez les deux grades supérieurs, puisque la teneur en protéines, facteur déterminant clé de la teneur en enzymes, ne différait pas significativement selon les grades. Le rendement en extrait de malt, autre paramètre clé de la qualité du malt, était très semblable chez les trois grades.

En résumé, on peut dire que l'utilité du système de classement de la CCG a été confirmée par la présente étude. L'orge extra spéciale, qui constitue le grade supérieur d'orge brassicole, a généralement donné la meilleure qualité de malt, ce dernier étant le plus friable et le moins riche en protéines solubles, bien que tous les échantillons d'orge extra spéciale aient été soumis à la plus longue période d'entreposage. Les échantillons d'orge extra ont donné un malt de qualité légèrement supérieure à ceux d'orge extra standard.

Couleur du grain et qualité du malt

Nous avons comparé la possibilité de prédire la qualité du malt à partir de mesures objectives de la couleur à la possibilité de le faire à partir de la condition du grain révélée par le classement de l'orge. Parmi les 68 échantillons étudiés, ceux d'orge extra spéciale présentaient une couleur de grain significativement meilleure que ceux des autres grades (tableau 3), et les échantillons d'orge extra présentaient une couleur significativement meilleure que ceux d'orge extra standard. Ce résultat était prévisible, puisque les principaux facteurs de déclassement de ces échantillons étaient deux facteurs liés à la couleur, la présence de taches et la décoloration. L'indice de couleur obtenu par analyse d'image présentait une corrélation significative avec celui obtenu visuellement par un inspecteur ($r = -0,87$, $p < 0,001$), le coefficient négatif résultant du fait que les meilleures couleurs correspondaient à des indices élevés dans le cas de l'analyse d'image et à des indices peu élevés dans le cas du système utilisé par l'inspecteur.

Tableau 3. Indices de couleur moyens obtenus par analyse d'image et par examen visuel pour chacun des grades d'orge brassicole de la CCG.

| Grade de la CCG | Analyse d'image (vert du modèle RVB) | Examen visuel par l'inspecteur |
|-----------------|---|-----------------------------------|
| Extra spéciale | 171 ^a | 1,0 ^c |
| Extra | 166 ^b | 1,6 ^b |
| Extra standard | 158 ^c | 3,7 ^a |

^{a,b,c} Les moyennes d'une même colonne suivies de lettres différentes présentent des différences significatives ($p < 0,01$) selon le test de comparaisons multiples de Duncan.

Les corrélations existant entre la qualité du malt et le grade ou l'indice de couleur obtenu par analyse d'image semblent indiquer que les résultats obtenus par analyse d'image fournissent plus d'information que le grade (tableau 4). Le grade, la couleur mesurée par analyse d'image et la couleur mesurée par examen visuel présentaient des corrélations significatives semblables avec la teneur en eau au décuvage, la teneur en protéines solubles et la teneur en α -amylase, mais les coefficients de corrélation obtenus avec l'analyse d'image étaient toujours légèrement supérieurs. L'analyse d'image a également donné des coefficients de corrélation significatifs plus élevés que les deux autres méthodes en ce qui concerne le poids de 1000 grains, l'indice de germination, le rendement en extrait de malt et le pouvoir diastasique.

En résumé, les trois méthodes utilisées pour quantifier l'aspect du grain ont toutes permis de prédire la qualité d'utilisation finale, mais l'analyse d'image a donné des résultats significativement meilleurs pour plusieurs des analyses et est sans doute plus objective que les méthodes visuelles, dont les résultats risquent de varier selon les inspecteurs. La présente étude semble indiquer qu'il y aurait lieu de soumettre l'analyse d'image à des essais plus approfondis, en utilisant des échantillons ayant en outre des défauts non liés à leur aspect et en comparant les résultats provenant de plusieurs inspecteurs.

Tableau 4. Coefficients de corrélation existant entre les indices de couleur du grain et les paramètres de qualité du malt (n = 68)

| | Grade | Couleur mesurée par analyse d'image ¹ | Couleur mesurée par examen visuel |
|--|----------|--|-----------------------------------|
| Couleur (analyse d'image) | -0,75*** | 1,00 | |
| Couleur (examen visuel) | 0,74*** | -0,90*** | 1,00 |
| Poids de 1000 grains | 0,21 | -0,55*** | 0,45*** |
| Teneur du grain en protéines | 0,09 | 0,00 | 0,01 |
| Énergie de germination dans 4 mL d'eau | 0,11 | 0,08 | -0,06 |
| Indice de germination dans 4 mL d'eau | 0,21 | -0,32** | 0,16 |
| Teneur en eau au décuvage | 0,51*** | -0,57*** | 0,45*** |
| Rendement en extrait de malt | -0,02 | -0,25* | 0,20 |
| Teneur en protéines solubles | 0,57*** | -0,63*** | 0,52*** |
| Teneur en β -glucane | 0,05 | -0,14 | 0,15 |
| Pouvoir diastasique | 0,28* | -0,44*** | 0,28* |
| Teneur en α -amylase | 0,41*** | -0,48*** | 0,33** |
| Couleur du moût | 0,12 | -0,08 | 0,15 |
| Friabilité | -0,31* | 0,50*** | -0,42*** |

¹ *vert du modèle RVB*

, **, * : coefficients significatifs à $p < 0,05$, $p < 0,01$ ou $p < 0,001$, respectivement.*

Caractère ventru du grain et qualité du malt

Il s'est avéré que la taille du grain d'orge a un effet significatif sur sa qualité brassicole. Les échantillons portuaires composites ont donné un malt de qualité significativement inférieure dans le cas des 24 échantillons de grains intermédiaires que dans celui des 24 échantillons de grains ventrus (tableau 5). Les grains intermédiaires avaient une teneur en protéines significativement plus élevée que les grains ventrus, et leur indice de germination était significativement inférieur. De plus, comme les grains intermédiaires étaient plus minces et

renfermaient plus de protéines que les grains ventrus, ils ont également donné un rendement moindre en extrait de malt.

Tableau 5. Différences de qualité du malt entre les grains intermédiaires (retenus par un crible à fentes de 5/64 po mais traversant un crible à fentes de 6/64 po) et les grains ventrus (retenus par un crible à fentes de 6/64 po).

| Taille du grain | Grains ventrus | Grains intermédiaires |
|--|-------------------|-----------------------|
| Couleur (examen visuel) | 3,0 | 3,0 |
| Teneur du grain en protéines (%) | 12,5 ^b | 14,0 ^a |
| Énergie de germination dans 4 mL d'eau (%) | 98 | 97 |
| Indice de germination dans 4 mL d'eau (%) | 9,3 ^a | 9,0 ^b |
| Teneur en eau au décuvage (%) | 45,2 ^b | 49,7 ^a |
| Rendement en extrait de malt (%) | 80,4 ^a | 75,8 ^b |
| Teneur en protéines solubles (%) | 4,95 ^b | 5,92 ^a |
| Teneur en β -glucane (ppm) | 78 ^a | 31 ^b |
| Pouvoir diastasique ($^{\circ}$ L) | 153 ^b | 170 ^a |
| Teneur en α -amylase (D.U.) | 73,9 ^a | 67,8 ^b |
| Couleur du moût (unités ASBC) | 1,89 ^b | 2,80 ^a |
| Friabilité (%) | 77,4 ^a | 70,9 ^b |

^{a,b,c} Les moyennes d'un même rang suivies de lettres différentes présentent des différences significatives ($p < 0,01$) selon le test de comparaisons multiples de Duncan.

Cependant, malgré leur indice de germination plus faible, les grains intermédiaires ont été plus complètement modifié au maltage, peut-être même trop, puisque leur malt avait une teneur significativement plus élevée en protéines solubles et une teneur significativement plus faible en β -glucane. La taille plus petite de ces grains et leur teneur plus élevée en protéines ont pu contribuer à leur modification plus complète. En effet, une teneur plus élevée en protéines peut entraîner une plus forte production d'enzymes, lesquelles jouent un rôle essentiel dans la modification. De plus, le volume plus faible des grains intermédiaires, et donc de leur albumen, peut avoir permis aux enzymes et à l'eau d'envahir plus rapidement et plus complètement l'albumen, ce qui a entraîné une modification plus complète. Par conséquent, le β -glucane et

les protéines ont été dégradés plus complètement chez les grains intermédiaires que chez les grains ventrus, ce qui a entraîné une teneur moins élevée en β -glucane et une teneur plus élevée en protéines solubles, ce dernier facteur contribuant à rendre la couleur du moût significativement plus foncée.

Les grains ventrus se sont révélés significativement plus friables que les grains intermédiaires; nous ne nous attendions pas à un tel résultat, étant donné la transformation plus complète de l'albumen des grains intermédiaires. Il semble donc que la modification des grains ventrus a été adéquate, bien que moins complète que celle des grains intermédiaires.

Les grains intermédiaires et ventrus présentaient également des différences significatives en ce qui a trait aux enzymes. Les grains intermédiaires ont donné un pouvoir diastasique plus élevé en raison de leur plus forte teneur en protéines. Cependant, les grains ventrus ont donné une teneur en α -amylase significativement plus élevée; cette différence est difficile à expliquer, mais elle est peut-être liée à une teneur en eau au décuvage trop élevée chez les grains intermédiaires.

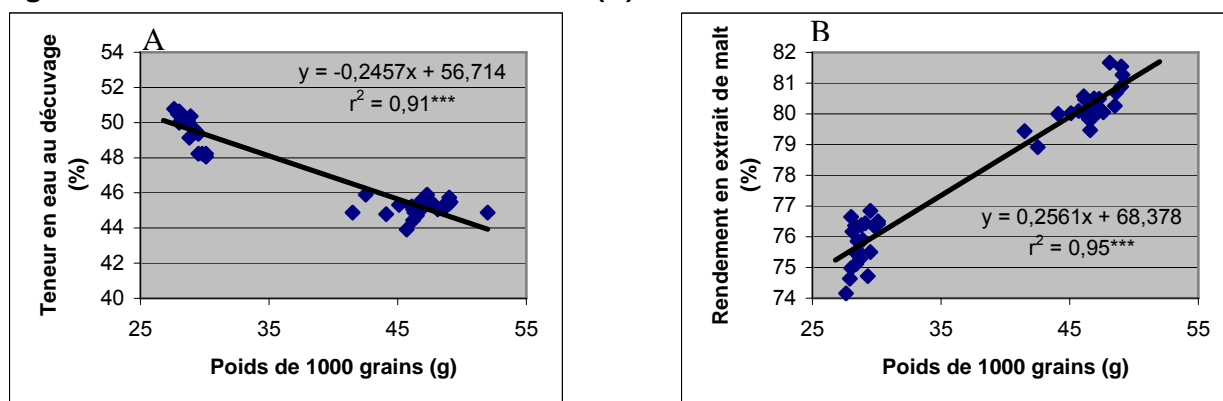
En résumé, les grains ventrus étaient manifestement de qualité supérieure, puisqu'ils ont donné un rendement en extrait de malt plus élevé et une teneur en protéines solubles moins élevée. Il semble cependant que l'apport de certaines modifications au procédé de transformation, comme un encuvage et une germination moins poussées, pourrait permettre aux grains intermédiaires de donner un malt de qualité plus acceptable.

Taille du grain et qualité du malt

Nous avons étudié plus à fond l'utilité du poids de 1000 grains pour prédire la qualité brassicole potentielle, en employant les 24 échantillons portuaires composites de grains ventrus et les 24 échantillons portuaires composites de grains intermédiaires. Nous avons constaté que le poids du grain présentait une corrélation très significative tant avec la teneur en eau au décuvage qu'avec le rendement en extrait de malt, lorsque les échantillons de grains intermédiaires et de grains ventrus étaient combinés pour l'analyse statistique. Cependant, les

graphiques illustrant ces corrélations (figure 1) montrent qu'elles ne sont pas pertinentes, puisque les grains intermédiaires et ventrus constituent des populations distinctes.

Figure 1. Relations, chez l'ensemble des grains ventrus et intermédiaires, entre le poids de 1000 grains et la teneur en eau au décuage (A) ainsi qu'entre le poids de 1000 grains et le rendement en extrait de malt (B).



Nous avons donc effectué ces deux analyses en distinguant les grains intermédiaires et les grains ventrus (figures 2 et 3). Le poids de 1000 grains présentait une corrélation significative avec la teneur en eau au décuage dans le cas des grains intermédiaires, mais cette corrélation n'était pas significative dans le cas des grains ventrus. Par contre, la corrélation entre le poids de 1000 grains et le rendement en extrait de malt était très significative chez les grains ventrus mais non significative chez les grains intermédiaires.

En conclusion, le poids de 1000 grains peut nous renseigner sur les conditions d'encuvage requises, mais uniquement dans le cas des grains intermédiaires, et il peut permettre de prédire le rendement potentiel du produit fini en extrait de malt, mais uniquement dans le cas des grains ventrus. Le diamètre et le poids du grain mesurés à l'aide du système SKCS présentaient des relations semblables avec la teneur en eau au décuage et avec le rendement en extrait de malt, mais les coefficients de corrélation étaient légèrement inférieurs (données non présentées).

Figure 2. Relations, chez les grains intermédiaires uniquement, entre le poids de 1000 grains et la teneur en eau au décuvage (A) ainsi qu'entre le poids de 1000 grains et le rendement en extrait de malt (B).

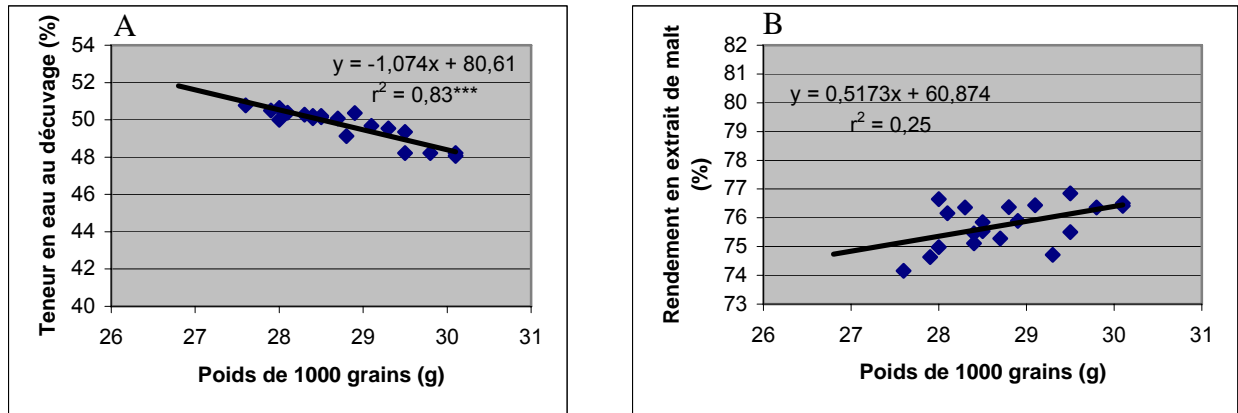
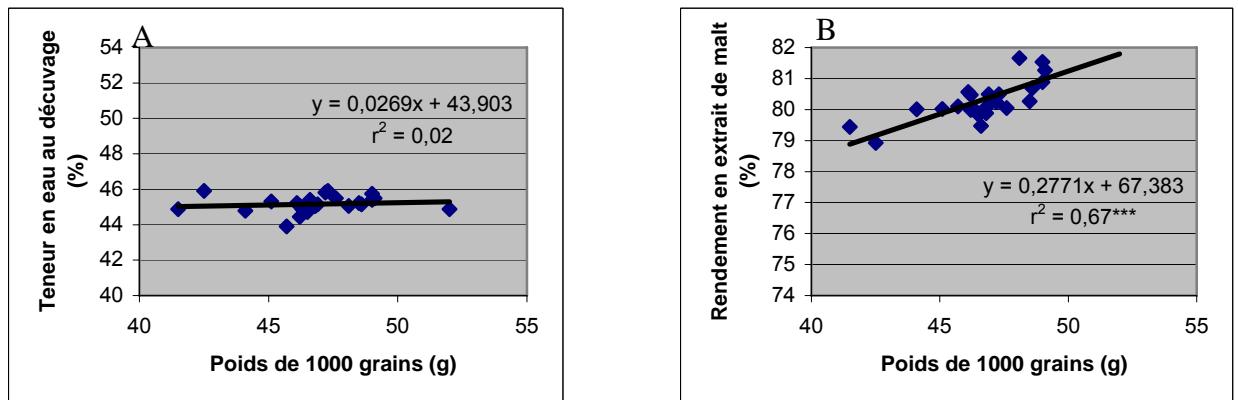


Figure 3. Relations, chez les grains ventrus uniquement, entre le poids de 1000 grains et la teneur en eau au décuvage (A) ainsi qu'entre le poids de 1000 grains et le rendement en extrait de malt (B).



Nous avons étudié plus à fond l'effet de la taille du grain sur la qualité du malt dans le cas des mesures prises au SKCS, en analysant avec cet appareil les 24 échantillons portuaires de grains ventrus et en mettant en relation ces mesures de poids et de diamètre avec la qualité du malt.

Nous avons également comparé trois méthodes de calibrage, soit le poids de 1000 grains, le diamètre mesuré au SKCS et le poids mesuré au SKCS, l'une avec l'autre ainsi que chacune avec le pourcentage de grains ventrus des échantillons originaux. Ces quatre paramètres présentaient des corrélations très significatives l'un avec l'autre (tableau 6); cependant, comme on pouvait s'y attendre, le coefficient de corrélation était plus élevé dans le cas des relations

entre le poids de 1000 grains, le diamètre mesuré au SKCS et le poids mesuré au SKCS que dans celui des relations avec le pourcentage de grains ventrus. Par ailleurs, le poids de 1000 grains ainsi que les diamètre et poids moyens obtenus au SKCS présentaient tous des corrélations très semblables avec plusieurs paramètres du grain. Les coefficients de corrélation indiquaient que les gros grains tendent à renfermer moins de protéines et plus d'eau que les grains plus petits. Les gros grains semblaient également inférieurs quant à leurs propriétés germinatives.

Plusieurs paramètres de la qualité du malt présentaient également des corrélations significatives avec le poids de 1000 grains ainsi qu'avec les poids et diamètre moyens mesurés au SKCS. Les coefficients de corrélation indiquaient, comme nous nous y attendions, que les gros grains donnent un rendement plus élevé en extrait de malt, ce qui expliquerait la corrélation positive existant entre la taille du grain et la viscosité du malt, puisque l'extrait de malt contribue de façon importante à la viscosité. Les gros grains étaient également un peu moins modifiés par le maltage, ce qui confirme les résultats analogues obtenus avec les grains intermédiaires et ventrus, comme le montrent la corrélation positive entre la taille du grain et la teneur en β -glucane du malt et la corrélation négative entre cette taille et la friabilité du malt. La taille du grain n'a eu aucun effet sur le pouvoir diastasique des échantillons analysés. Les gros grains avaient tendance à donner un malt renfermant moins d' α -amylase, peut-être en raison de leur modification moins prononcée durant le maltage, puisque la teneur en α -amylase présentait une forte corrélation négative avec la teneur en β -glucane ($r = -0,74^{***}$).

Les mesures prises au SKCS nous renseignaient également sur la variabilité de la taille des 300 grains mesurés dans chaque échantillon. En effet, l'écart-type du diamètre et du poids mesurés au SKCS présentait des corrélations positives significatives avec le pourcentage de grains ventrus, avec le poids de 1000 grains ainsi qu'avec les diamètre et poids moyens mesurés au SKCS. Il semble donc que les échantillons à gros grains avaient tendance à être les plus variables quant à la taille de leurs grains, comme on pouvait s'y attendre. Autant dans

le cas du diamètre que du poids mesurés au SKCS, l'écart-type et la moyenne des mesures présentaient des coefficients de corrélation semblables par rapport aux divers paramètres relatifs au grain et à la qualité malt. Cette similitude était à prévoir, étant donné la forte corrélation existant entre la moyenne et l'écart-type des mesures de diamètre ou de poids. Cependant, la teneur en β -glucane présentait une corrélation plus significative avec la variabilité du poids du grain. Il semble donc que les échantillons dont les grains étaient de taille variable ont été moins modifiés par le maltage que ceux dont les grains étaient plus uniformes. Encore une fois, un tel résultat était prévisible et tendait à confirmer la capacité du SKCS à mesurer la variabilité du grain, paramètre rarement étudié chez l'orge brassicole.

Conclusions et recommandations

La présente étude révèle que le classement de l'orge brassicole en trois grades par un même inspecteur donne une indication significative de la qualité finale du malt. L'orge extra spéciale, qui constitue le grade supérieur, est celle qui donne le meilleur malt. Cependant, le caractère peu homogène des conditions d'entreposage et de l'origine des échantillons, surtout dans le cas de l'orge extra spéciale, rendait moins significatives les corrélations entre grade d'orge et qualité du malt. Il serait utile de répéter l'expérience avec des échantillons plus homogènes quant à leur origine et à leurs conditions d'entreposage, afin de pouvoir confirmer l'utilité des grades de la CCG pour prédire la qualité du malt. Il serait également utile d'employer des échantillons provenant d'une autre année de récolte, avec des facteurs de déclassement principaux qui soient différents.

Les méthodes faisant appel à des machines, qu'il s'agisse de l'analyse d'image ou du système SKCS, se sont avérées prometteuses, car elles ont permis d'expliquer une plus grande partie de la variation de la qualité du malt que ne l'ont fait les grades d'orge brassicole. Il faudrait étudier plus à fond la possibilité d'obtenir une prédiction plus objective à l'aide de ces machines, en regard des écarts pouvant résulter de la détermination visuelle du grade par

plusieurs inspecteurs. La mesure de la variabilité de la taille de 300 grains à l'aide du système SKCS a fourni de l'information additionnelle sur le potentiel brassicole du nombre limité d'échantillons analysés; il y aurait donc lieu de mener des essais supplémentaires, afin de pouvoir confirmer l'utilité de cette méthode prometteuse pour prédire la qualité d'utilisation finale de l'orge brassicole.

Remerciements

Nous tenons à remercier de leur expertise technique Carol Carmichael, Dan Burch, Dennis Langrell, Len Dushnicky, Lisa Van Schepdael, Shawn Parsons et Shirley Lowe.

Tableau 6. Coefficients de corrélation entre les mesures de la taille du grain et les paramètres de la qualité du malt (n = 24).

| | % de grains ventrus | Poids de 1000 grains | Diamètre moyen SKCS | Poids moyen SKCS | Écart-type du diamètre SKCS | Écart-type du poids SKCS |
|--|---------------------|----------------------|---------------------|------------------|-----------------------------|--------------------------|
| Poids de 1000 grains | 0,85*** | 1,00 | | | | |
| Diamètre moyen SKCS | 0,88*** | 0,95*** | 1,00 | | | |
| Poids moyen SKCS | 0,84*** | 0,96*** | 0,94*** | 1,00 | | |
| Écart-type du diamètre SKCS | 0,80*** | 0,86*** | 0,90*** | 0,79*** | 1,00 | |
| Écart-type du poids SKCS | 0,64*** | 0,68*** | 0,80*** | 0,59** | 0,84*** | 1,00 |
| Teneur en protéines du grain | -0,38 | -0,52** | -0,48* | -0,49* | -0,51** | -0,42* |
| Teneur en eau du grain | 0,75*** | 0,60** | 0,73*** | 0,55** | 0,76*** | 0,70*** |
| Énergie de germination dans 4 mL d'eau | -0,41* | -0,34 | -0,43* | -0,31 | -0,46* | -0,33 |
| Indice de germination dans 4 mL d'eau | -0,66*** | -0,59** | -0,65*** | -0,62*** | -0,67*** | -0,42* |
| Teneur en eau au décuvage | 0,31 | 0,13 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,11 |
| Rendement en extrait de malt | 0,70*** | 0,82*** | 0,80*** | 0,79*** | 0,76*** | 0,68*** |
| Teneur en protéines solubles | -0,01 | 0,05 | 0,09 | -0,03 | 0,10 | 0,15 |
| Teneur en β -glucane | 0,30 | 0,40* | 0,49* | 0,38 | 0,57** | 0,63*** |
| Viscosité | 0,50** | 0,62*** | 0,67*** | 0,59** | 0,66*** | 0,66*** |
| Pouvoir diastasique | 0,00 | 0,03 | 0,08 | 0,01 | 0,08 | 0,14 |
| Teneur en α -amylase | -0,37 | -0,34 | -0,40* | -0,33 | -0,49* | -0,41* |
| Couleur du moût | 0,36 | 0,35 | 0,35 | 0,31 | 0,30 | 0,25 |
| Friabilité | -0,35 | -0,31 | -0,40* | -0,28 | -0,47* | -0,38 |

, **, * : coefficients significatifs à $p < 0,05$, $p < 0,01$ ou $p < 0,001$, respectivement.*