

ISSN 2371-0438



# LABORATOIRE DE RECHERCHES SUR LES GRAINS

Rapport annuel sur les programmes

# 2023



Commission canadienne  
des grains

Canadian Grain  
Commission

Canada 



# Table des matières

**4** Message de la directrice

## Programmes de recherche

**5** Recherche sur le blé panifiable et le blé dur

**9** Mouture et maltage - Recherche sur l'orge et d'autres grains

**13** Oléagineux

**16** Recherche sur les légumineuses

**19** Services analytiques

**22** Biotechnologie des grains

**25** Microbiologie et génomique des grains

**28** Analyse de substances organiques et d'éléments à l'état de trace

# MISSION

## du Laboratoire de recherches sur les grains

- Entreprendre et promouvoir de la recherche sur les grains et les produits céréaliers en vue d'assurer la qualité et la salubrité des grains canadiens pour les marchés intérieurs et étrangers.
- Renforcer la qualité marchande des grains canadiens grâce à la recherche, à l'évaluation de la fonctionnalité à l'utilisation finale, à la surveillance et aux services analytiques.
- Anticiper les besoins de la chaîne de valeur des grains, grâce à l'interaction avec le secteur des grains et les intervenants, et y répondre.
- Offrir le fondement scientifique pour l'établissement et le maintien de normes de qualité et de salubrité visant les grains canadiens.

Outre les travaux de recherche et les essais réalisés dans le cadre de chaque programme, tous les programmes soutiennent quatre activités clés :



### Surveillance de la qualité des cargaisons

Des échantillons prélevés des expéditions de grain destinées à l'exportation sont analysés afin de s'assurer que les expéditions respectent les paramètres de classement et de qualité du Canada.



### Programme d'échantillons de récolte

Les producteurs de grain canadiens qui soumettent un échantillon de leur récolte, sur une base volontaire, reçoivent en retour un rapport personnalisé sur la qualité de leur culture.

[Programme d'échantillons de récolte](#)



### Demandes de services d'analyse

Des échantillons soumis par l'industrie aux fins d'essai sont analysés; des frais sont exigés dans certains cas.

[Services](#)



### Évaluation des lignées des sélectionneurs

Des analyses et des recommandations sont faites pour l'amélioration des lignées des sélectionneurs.



# Message de la directrice

Esther Salvano, Ph. D.

Directrice générale

Laboratoire de recherches sur les grains

[esther.salvano@grainscanada.gc.ca](mailto:esther.salvano@grainscanada.gc.ca)

Je suis ravie de présenter le Rapport annuel sur les programmes du Laboratoire de recherches sur les grains de la Commission canadienne des grains pour 2023. Au cours de la dernière année, notre équipe dévouée a entrepris une vaste gamme d'activités visant à améliorer la compréhension de la science des grains. Les échantillons de grain recueillis dans le cadre de notre [Programme d'échantillons de récolte](#) nous ont permis d'évaluer les normes de classement des grains, d'étudier les questions de qualité et de salubrité, de soutenir le développement de nouveaux marchés pour le grain et d'améliorer nos méthodes d'analyse. Nos équipes ont en outre collaboré avec l'Agence canadienne d'inspection des aliments, des sélectionneurs et d'autres partenaires du secteur pour étudier des échantillons d'orge CDC Copeland contenant un pourcentage relativement élevé d'un profil d'ADN non désigné et ont constaté que les [caractéristiques et la qualité brassicole de ces échantillons](#) ne différaient pas de celles d'échantillons contenant un très faible pourcentage d'ADN non désigné.

Parmi les réalisations importantes de 2023, il convient de citer le renouvellement de l'accréditation ISO 17025 de quatre méthodes d'essai ainsi qu'une nouvelle accréditation de trois méthodes d'essai par le Conseil canadien des normes. L'obtention de ces accréditations renforce la confiance dans notre travail, tant au pays qu'à l'étranger.

Nous avons par ailleurs publié notre [Stratégie scientifique](#), qui présente une vision de l'avenir de la science et de la recherche à la Commission canadienne des grains et nous permet de répondre aux dernières tendances et évolutions du secteur des grains. Cette stratégie a été élaborée en consultation avec des organisations de producteurs et de l'industrie, des utilisateurs finaux, le milieu universitaire, le gouvernement fédéral, les gouvernements provinciaux et le personnel de la Commission canadienne des grains. Elle définit cinq éléments moteurs qui contribueront à façonner l'avenir de la science et de la recherche :

- tendances mondiales et nouveaux enjeux touchant l'accès aux marchés,
- progrès technologiques,
- évolution des utilisations finales,
- changement climatique et phénomènes météorologiques extrêmes,
- salubrité des aliments et nutrition.

Le rapport de cette année met en lumière des projets de recherche qui correspondent à ces éléments moteurs. Vous prendrez connaissance de nos travaux visant à comprendre comment la sécheresse touche la qualité de l'orge brassicole et comment le stress thermique influence les propriétés de la pâte faite à partir de blé. Vous découvrirez comment nous avons amélioré l'analyse des glycosides cyanogéniques dans les graines de lin, étudié les facteurs qui ont une incidence sur la qualité des fèves et évalué l'exactitude et la précision de nos méthodes d'échantillonnage. Le rapport 2023 décrit en outre comment nous avons mis en œuvre de nouvelles méthodes d'analyse de l'ADN à haut débit pour identifier les variétés d'orge canadienne et élaboré des modèles prédictifs qui permettent de prévoir le risque de maladie microbienne comme la fusariose, l'ergot, et le phoma.

Je tiens à exprimer ma gratitude à notre équipe exceptionnelle pour son engagement à viser l'excellence en matière de recherche et d'innovation, comme en témoignent son travail acharné, son dévouement et sa passion. Je souhaite également remercier nos précieux intervenants de leur collaboration et de leur soutien. Ensemble, nous continuerons à faire des progrès considérables dans le domaine de la science des grains et dans notre compréhension des facteurs qui influent sur la qualité et la salubrité des grains canadiens. Merci de l'intérêt que vous portez aux travaux du Laboratoire de recherches sur les grains. Je vous invite à nous [faire part de vos commentaires et réflexions](#) ; il me tarde de les lire.



# Recherche sur le blé panifiable et le blé dur

Bin Xiao Fu, Ph. D.

[binxiao.fu@grainscanada.gc.ca](mailto:binxiao.fu@grainscanada.gc.ca)

## Comprendre les préoccupations des clients japonais concernant les modifications des propriétés du gluten de blé CWRS ayant subi un stress thermique afin d'y répondre

Le programme de Recherche sur le blé panifiable et le blé dur soutient le système d'assurance de la qualité du blé canadien. Nous étudions l'incidence de divers facteurs de classement sur la fonctionnalité afin de fournir la base scientifique de leurs tolérances dans les classes et grades de blé. Nous analysons par ailleurs la qualité de nouvelles cultures et surveillons les cargaisons de blé et évaluons les nouvelles variétés de blé recommandées pour l'enregistrement aux fins de leur désignation dans les classes de blé canadien selon leur mérite. Nos travaux de recherche visent à comprendre comment les propriétés physicochimiques et biochimiques du blé influent sur sa qualité et à mettre au point de nouvelles techniques d'évaluation de la qualité du blé.

### Qualités de la pâte faite de blé CWRS ayant subi un stress thermique

Nous avons récemment entamé une collaboration avec l'industrie minotière et boulangère du Japon, qui est le plus grand acheteur de blé roux de printemps de l'Ouest canadien (CWRS) no 1.

Cette mesure a été prise pour répondre aux préoccupations des boulangers japonais concernant les longs temps de pétrissage et la faible extensibilité de la pâte fabriquée à partir de blé CWRS cultivé au cours des années chaudes et sèches de 2021 et de 2023. Ils ont

décrit la pâte comme étant « forte, mais cassante et inextensible » et ont indiqué qu'ils avaient dû ajuster leurs procédés. Cette situation a occasionné une hausse des coûts de production et a donné lieu à une variation indésirable de la qualité des produits finaux.

Nous avons comparé les résultats de nos tests effectués au moyen d'un

extensographe et d'un farinographe de 2020 à 2023 et avons confirmé que les pâtes fabriquées à partir de blé CWRS ayant subi un stress thermique étaient nettement plus résistantes, comme l'indiquent les valeurs de résistance maximale plus élevées ( $R_{max}$ ) et les temps de développement et de stabilité plus longs (tableau 1). L'extensibilité de la

### Membres de l'équipe

#### Chercheur et gestionnaire de programme

Bin Xiao Fu, Ph. D.

#### Chimistes

Carly Isaak, Kun Wang, Ph. D.,  
Ray Bacala, Ph. D.

#### Techniciens

Altash Yirdaw, Angélique Parajas,  
Andrea Iverson, Dale Taylor, Dylan Lloyd  
(durée déterminée), Jennifer Nguyen (durée déterminée),  
Joseffus Santos (affectation),  
Katherine Cordova (affectation),  
Sherry Jayasekara, Yuming Chen

pâte était cependant similaire pour les quatre années. Nos méthodes d'essais normalisées, largement utilisées à l'échelle internationale, n'ont pas permis de confirmer les propriétés fragiles et inextensibles de la pâte décrites par les clients japonais.

## La composition des protéines du gluten change-t-elle sous un stress thermique?

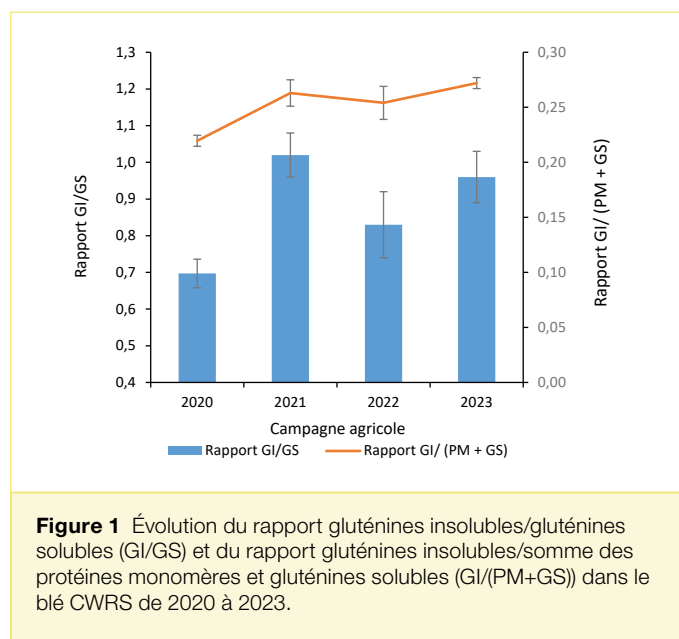
Pour mieux comprendre l'effet d'un stress thermique sur les propriétés de la pâte, nous avons fractionné les protéines du gluten dans des échantillons de farine de blé CWRS de 2020 à 2023 en gluténines insolubles (GI), en gluténines solubles (GS) et en protéines monomères (PM). La gluténine insoluble contribue à la résistance de la pâte, et les deux dernières fractions contribuent à l'extensibilité de la pâte. Les résultats montrent un rapport plus élevé entre les gluténines insolubles et les gluténines solubles dans le blé ayant subi un stress thermique (figure 1), ce qui est cohérent avec une pâte plus résistante et un

**Tableau 1** Propriétés de la pâte fabriquée avec du blé CWRS de 2020 à 2023<sup>1</sup>

Propriétés de la pâte	2020	2021 <sup>2</sup>	2022	2023 <sup>2</sup>
<b>Extensographe</b>				
Force ( $R_{max}$ ), UB	552	712	631	796
Extensibilité, cm	19,8	19,1	20,1	18,6
Surface, cm <sup>2</sup>	137	169	160	183
<b>Farinographe</b>				
Absorption, %	65	65	65	65
Temps de développement, min	6,3	10,8	7,3	8,8
Stabilité, min	11,5	21,0	14,5	25,8

<sup>1</sup> Compilé à partir [des rapports sur la qualité des récoltes](#) de blé CWRS.

<sup>2</sup> Années de sécheresse dans l'Ouest canadien.



**Figure 1** Évolution du rapport gluténines insolubles/gluténines solubles (GI/GS) et du rapport gluténines insolubles/somme des protéines monomères et gluténines solubles (GI/(PM+GS)) dans le blé CWRS de 2020 à 2023.

temps de mélange plus long. Cependant, les propriétés cassantes et inextensibles de la pâte ne sont pas bien expliquées par la distribution des fractions de protéines de gluten.

## Évaluation d'échantillons de farine commerciale japonaise

Nous avons ensuite évalué six échantillons de farine commerciale, moulue principalement à partir de blé CWRS, qui ont été fournis par une grande minoterie du Japon qui moule du blé. Notre collaborateur a indiqué que les propriétés de la pâte des échantillons allaient de bien équilibrées à cassantes

et inextensibles. Nous n'avons cependant pas trouvé de différences significatives en termes d'extensibilité entre les six échantillons, au moyen de nos méthodes d'analyses normalisées (tableau 2).

## Échange technique avec le Japon

Un échange technique en personne a été organisé avec des experts japonais qui possèdent une grande expérience dans l'évaluation des propriétés de manipulation de la pâte. Notre [méthode de cuisson du pain à levain-levure](#) a été comparée à la méthode de cuisson *Shokupan* utilisée au Japon, et certaines différences notables dans la formulation et la méthodologie ont été observées.



**Figure 2** Des boulangers effectuent des essais au Laboratoire de recherches sur les grains pour évaluer la qualité de la pâte fabriquée selon la méthode japonaise de cuisson *Shokupan*.

Avec l'aide des experts japonais, la méthode de cuisson *Shokupan* a été adaptée à notre équipement, et notre personnel a été formé au système

**Tableau 2** Propriétés de la pâte fabriquée avec les échantillons de farine commerciale japonaise

Propriétés de la pâte	Échantillon 1	Échantillon 2	Échantillon 3	Échantillon 4	Échantillon 5	Échantillon 6
Caractéristiques de la pâte rapportées par un collaborateur japonais	Bien équilibrée	Équilibrée; un peu moins extensible	Forte, mais pas assez extensible	Forte, mais cassante et inextensible	Fragile, peu extensible	Faible, cassante et inextensible
<b>Extensographe</b>						
Force ( $R_{max}$ ), UB	906	907	964	892	950	803
Extensibilité, cm	15,3	16,1	14,9	16,7	15,1	17,2
Surface, cm <sup>2</sup>	168	177	170	183	173	172
<b>Farinographe</b>						
Absorption, %	64,0	64,6	64,1	64,0	63,5	63,6
Temps de développement, min	17,0	17,3	18,0	14,3	17,5	13,3
Stabilité, min	20,0	22,0	25,0	23,0	23,0	21,0

de notation subjectif utilisé au Japon pour évaluer les qualités de la pâte. Par exemple, l'extensibilité est évaluée en fonction de la mesure à laquelle la pâte s'étire avant de se déchirer, et une pâte finement étirée est considérée comme cassante si elle se brise facilement lorsqu'on la touche légèrement. Lors d'un nouvel essai à l'aveugle d'échantillons de

farine commerciale japonaise au moyen de la méthode de cuisson *Shokupan*, notre personnel a été en mesure de différencier les propriétés de la pâte qui sont importantes pour l'industrie boulangère japonaise (figure 2).

Nous avons également évalué les propriétés de la pâte à pain *Shokupan*

préparée avec des échantillons de blé CWRS 2023 reçus dans le cadre du [Programme d'échantillons de récolte](#), et les résultats étaient conformes à la description de la pâte fabriquée avec du blé des cargaisons de 2023 qui avaient été reçues au Japon.

## Prochaines étapes

Avec la coopération de notre collaborateur, nous continuerons à recevoir du Japon des échantillons de farine commerciale qui présentent des propriétés de pâte bonnes, moyennes et médiocres. Ces échantillons serviront de référence pour continuer à former notre personnel et pour évaluer les cargaisons et les nouvelles récoltes de blé CWRS no 1. Nous prévoyons également de

mener de la recherche pour comprendre la base biochimique des propriétés de fragilité et d'inextensibilité de la pâte qui sont attribuables à du blé ayant subi un stress thermique. Le gluten est constitué de plusieurs types de protéines et leur distribution de taille, leurs proportions relatives, leur capacité de réticulation, leur hydrophobicité et diverses interactions protéine-protéine contribuent toutes à la viscoélasticité du gluten. Bien que ces propriétés soient principalement

contrôlées génétiquement, elles peuvent également être modifiées de manière significative par un stress thermique. Il est essentiel de posséder des connaissances à l'échelle moléculaire pour être en mesure de sélectionner ou de mettre au point des variétés de blé qui présentent une meilleure constance de fonctionnalité du gluten lorsque le blé est soumis à un stress thermique ou à d'autres stress environnementaux.

## Publications récentes

Bacala, R., D.W. Hatcher, H. Perreault et **B.X. Fu**. « Partial C-terminal truncation of Bx and Dy high molecular weight glutenin subunits after conserved aspartate ». *Journal of Cereal Science*, vol. 114 (2023) art. 103805. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2023.103805> (en anglais)

Wang, K., D. Taylor, Y. Ruan, C.J. Pozniak, M. Izydorczyk et **B.X. Fu**. « Unveiling the factors affecting milling quality of durum wheat: influence of kernel physical properties, grain morphology and intrinsic milling behaviours ». *Journal of Cereal Science*, vol. 113 (2023), art. 103755. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2023.103755> (en anglais)

Iwaki, S., **B.X. Fu** et K. Hayakawa. « Behavior of protein aggregates via electrostatic interactions or hydrogen bonds during dough formation ». *Journal of Cereal Science*, vol. 111 (2023), art. 103683. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2023.103683> (en anglais)

Tittlemier, S.A., L. Bestvater, J. Chan, V. Timofeiev, A. Richter, K. Wang, Y. Ruan, M. Izydorczyk et **B.X. Fu**. 2023. « Diverging fates of cadmium and glyphosate during pasta cooking ». *Food Additives & Contaminants: Part A*, vol. 40, no 11 (2023), p. 1459-1469. <https://doi.org/10.1080/19440049.2023.2264976> (en anglais)



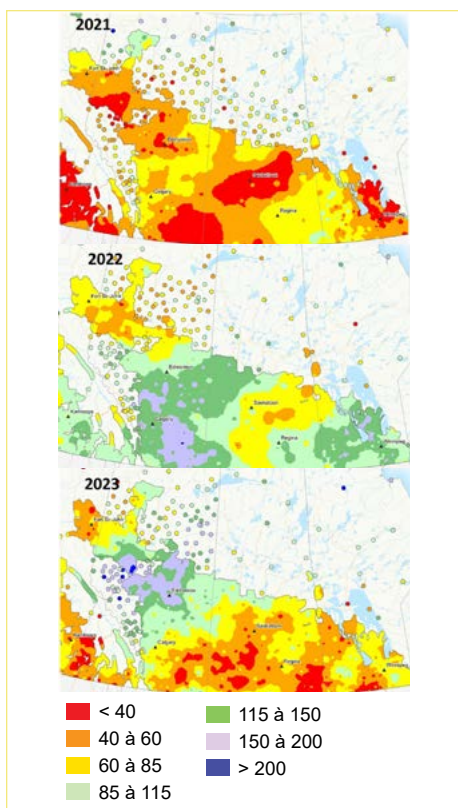


# Mouture et maltage - Recherche sur l'orge et d'autres grains

Marta S. Izydorczyk, Ph. D.  
[marta.izydorczyk@grainscanada.gc.ca](mailto:marta.izydorczyk@grainscanada.gc.ca)

## Effets des récentes conditions de sécheresse dans les Prairies canadiennes sur la qualité brassicole de l'orge

Dans le cadre du programme Mouture et maltage – Recherche sur l'orge et d'autres grains, nous menons des travaux de recherche pour déterminer, caractériser et quantifier les facteurs responsables de la qualité et de la fonctionnalité de l'orge et d'autres grains canadiens, comme l'avoine et le sarrasin. Nous mettons au point de nouvelles technologies pour mesurer la qualité de ces grains et examinons des façons novatrices de les utiliser. Nous surveillons la qualité de l'orge destinée à l'exportation, évaluons les nouvelles lignées d'orge et procédons à une évaluation annuelle de la qualité de l'orge produite dans l'Ouest canadien.



**Figure 1.** Pourcentage des précipitations moyennes en juin et juillet 2021, 2022, 2023. Agriculture et Agroalimentaire Canada

### Sécheresses récentes

En 2021 et en 2023, les Prairies canadiennes ont connu des températures supérieures à la moyenne et divers degrés de sécheresse. En 2022, cependant, les températures et les niveaux de précipitation étaient proches de la moyenne (figure 1). Ces conditions

nous ont permis d'étudier les effets d'une température élevée et de la sécheresse sur la qualité du grain, son aptitude à la transformation et les propriétés brassicoles de l'orge en comparant les données recueillies pour nos [rapports annuels sur la qualité de l'orge](#) en 2021, en 2022 et en 2023.

### Membres de l'équipe

#### Chercheuse et gestionnaire de programme

Marta S. Izydorczyk, Ph. D.

#### Chimistes

Tricia McMillan, Arzoo Sharma

#### Techniciens

Debby Kelly, Jerry Kletke, Cherianne McClure, Shin Nam, Shawn Parsons, Robert Trelka

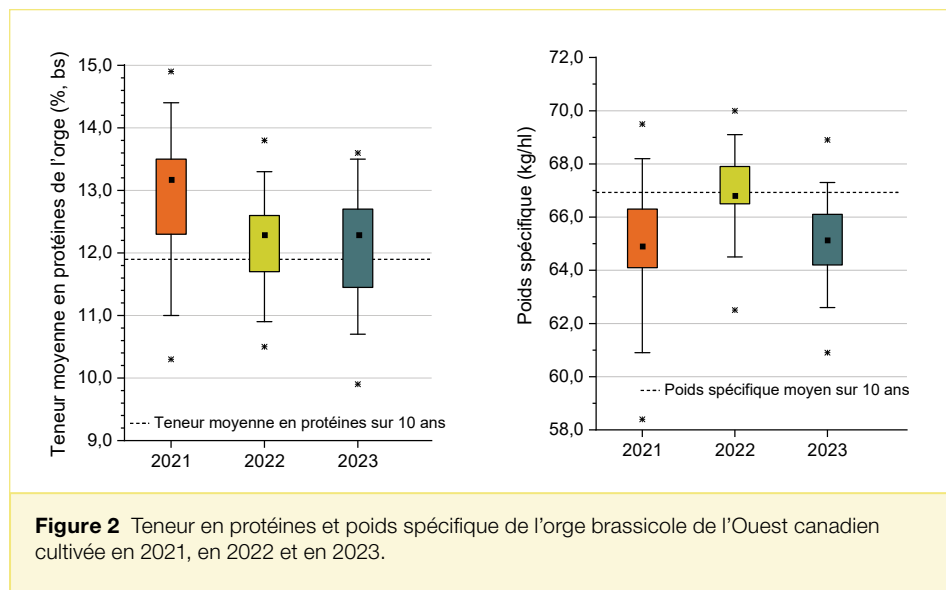
## Caractéristiques chimiques et physiques du grain lors des années de sécheresse

Les températures élevées et la sécheresse de 2021 ont entraîné une teneur moyenne en protéines de 13,2 % pour l'orge brassicole, ce qui est nettement supérieur à la teneur moyenne en protéines de 12,3 % enregistrée en 2022. Bien que la saison de croissance de 2023 ait commencé avec des températures élevées et des précipitations inférieures à la moyenne, les températures plus fraîches de juillet ont soulagé le stress des cultures, et on a constaté que la teneur moyenne en protéines de l'orge brassicole de 2023 était la même qu'en 2022 (figure 2). Les conditions de croissance de 2021 et de 2023 ont cependant mené à une orge brassicole ayant un poids spécifique et une densité des grains considérablement plus faibles, mais une longueur moyenne des grains plus

élevée par rapport à 2022 (figure 2). Cette dernière observation suggère que la chaleur et la sécheresse pourraient jouer un rôle dans la forme des grains. Nous avons constaté que les conditions de croissance n'avaient pas d'effet sur la teneur en bêta-glucanes des grains d'orge brassicole, mais que la teneur moyenne en arabinoxylanes avait été plus élevée en 2021 et en 2023, par rapport à 2022.

## Effets de la sécheresse sur les qualités brassicoles de l'orge

La combinaison d'un poids spécifique plus faible, d'une densité des grains plus faible et d'une forme de grain allongée a contribué à l'absorption facile et rapide de l'eau durant le trempage dans le cas de l'orge de 2021 et de 2023 (figure 3). La germination avant la récolte en 2021 et en 2023 et un indice de dureté inférieur

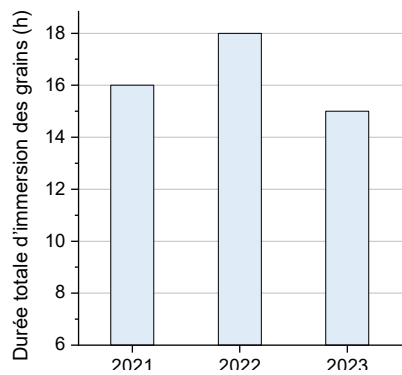


en 2023 ont également contribué à réduire la durée d'hydratation. Cela a entraîné une excellente modification de la paroi cellulaire durant le maltage et une viscosité et une concentration de bêta-glucanes dans le moût très faibles (figure 4). Une teneur en protéines du grain élevée peut réduire le rendement en extrait de malt et, comme prévu, le malt issu de l'orge de 2021 a donné le niveau moyen d'extrait de malt le plus bas (78,7 %) (figure 4). Bien que les teneurs en protéines de l'orge de 2022 et 2023 soient similaires, la teneur en extrait de malt était plus faible en 2023 (80,4 %) qu'en 2022 (81,2 %). Les niveaux d'extrait de malt plus faibles que prévu pour l'orge de 2023 pourraient être partiellement dus à une teneur en amidon légèrement inférieure et à des teneurs plus faibles en enzymes protéolytiques dégradant l'amidon, en particulier l'alpha-amylase, comme le montre une concentration plus faible de protéines solubles et d'azote aminé libre.

Durant le maltage, il existe une plage de température précise (la « température de gélatinisation », ou « Tg »), à laquelle les granules d'amidon perdent leur structure cristalline et sont solubilisés. L'orge issue de la sécheresse de 2021 avait

une Tg pouvant atteindre 2 °C de plus que l'orge de 2022. Cette augmentation de la Tg peut être attribuée à une teneur en protéines plus élevée dans l'orge cultivée en 2021 et à des interactions

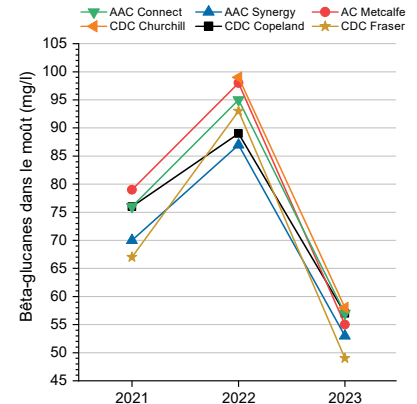
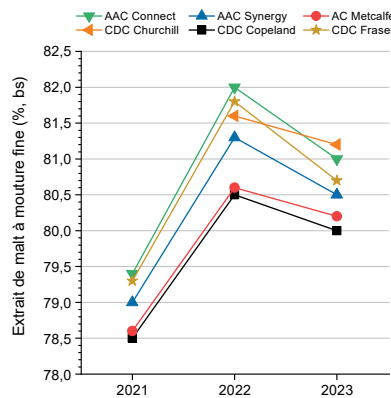
amidon/protéines plus fortes, d'une part, et aux propriétés de l'amidon, d'autre part. Nous avons constaté une forte corrélation entre la Tg des amidons isolés et la Tg du grain, ce qui



Absorption plus rapide de l'eau durant le trempage en 2021 et en 2023 pour les raisons suivantes :

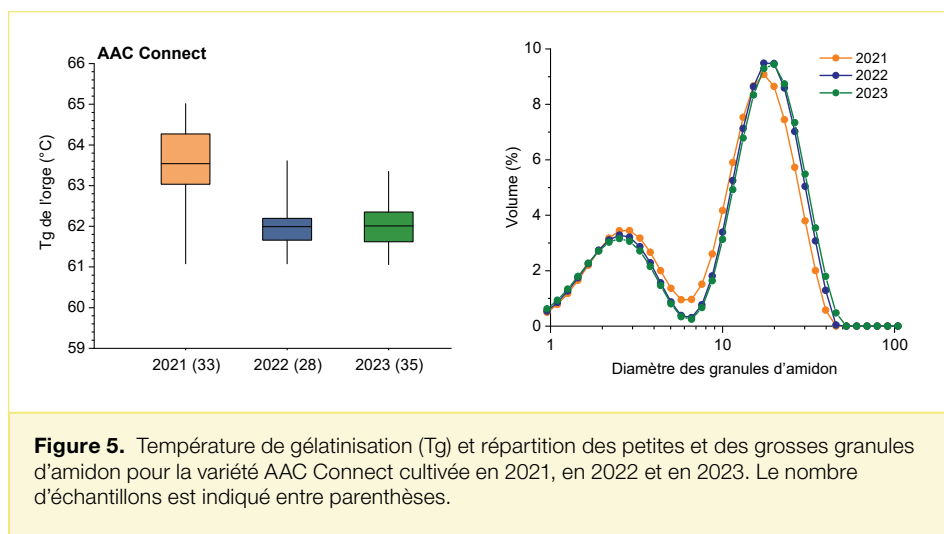
1. Poids spécifique et densité des grains moins élevés en 2021 et en 2023.
2. Forme allongée du grain en 2021 et en 2023.
3. Occurrence de germination avant la récolte en 2021 et en 2023.
4. Indice de dureté des grains inférieur en 2023.

**Figure 3** Temps requis pour une hydratation adéquate durant le trempage de l'orge brassicole de l'Ouest canadien cultivée en 2021, en 2022 et en 2023.



**Figure 4** Teneurs moyenne en extrait à la mouture fine et en bêta-glucanes dans le moût du malt de six variétés d'orge différentes cultivées en 2021, en 2022 et en 2023.

indique que les différences observées entre les campagnes agricoles sont dues aux caractéristiques physiques et moléculaires des amidons, et non seulement à la teneur en protéines. Les amidons isolés présentaient une distribution bimodale de petites et grosses granules. La figure 5 montre la variation de la Tg et la répartition des petites et des grosses granules d'amidon pour la variété AAC Connect cultivée en 2021, en 2022 et en 2023. Il existe une corrélation positive entre le volume de petites granules et la valeur Tg, ce qui permet de supposer que les conditions de sécheresse peuvent augmenter le volume de petites granules d'amidon, connues pour avoir une Tg plus élevée que les grosses granules.



**Figure 5.** Température de gélatinisation (Tg) et répartition des petites et des grosses granules d'amidon pour la variété AAC Connect cultivée en 2021, en 2022 et en 2023. Le nombre d'échantillons est indiqué entre parenthèses.

## Conclusions

Ensemble, les résultats des enquêtes sur les récoltes d'orge menées ces dernières années indiquent clairement que les conditions météorologiques influent à la fois sur la composition du grain et

sur ses propriétés physiques. La qualité brassicole globale annuelle de l'orge est cependant très variable en raison des interactions complexes entre les régimes climatiques particuliers et leurs effets sur les différentes caractéristiques des grains.

## Publications récentes

O'Donovan, J.T., H. Kubota, K.N. Harker, T.K. Turkington, W.E. May, E.N. Johnson, B.L. Beres, **M. Izydorczyk**, et al. « Effect of Pre-Harvest Glyphosate Rate and Timing on Yield and Pre-Malt Quality of Malting Barley ». *Can. J. Plant Sci.* (2024). <https://doi.org/10.1139/CJPS-2023-0167> (en anglais)

Lee, S.-J., M. Eckhardt, M. Dusabenyagasani, **M. Izydorczyk**, T. Demeke, D. Perry et S. Walkowiak. « Identification of Canadian Barley Varieties by High-throughput SNP Genotyping ». *Can. J. Plant Sci.* (2024). <https://doi.org/10.1139/CJPS-2023-0187> (en anglais)

Evans, D.E., B.H. Paynter, **M.S. Izydorczyk**, et Li Chengdao. « The impact of terroir on barley and malt quality—a critical review ». *J. Inst. Brew.*, vol. 129, no 4, p. 211-258 (2023). 211-258. <https://doi.org/10.58430/jib.v129i4.38> (en anglais)

Kaur, G., P.K. Toora, P.A. Tuan, C.A. McCartney, M.S. Izydorczyk, et al. « Genome-wide association and targeted transcriptomic analyses reveal loci and novel candidate genes regulating preharvest sprouting in barley ». *Theor. Appl. Genet.*, vol. 136, no 202 (2023). <https://doi.org/10.1007/s00122-023-04449-0> (en anglais)

Acar, O., **M.S. Izydorczyk**, T. McMillan, et al. « A research on milling fractions of biofortified and non-biofortified hull-less oats in terms of minerals, arabinoxylans and other chemical properties ». *Cereal Chem.*, vol. 100, no 5, p. 1-11 (2023). <https://doi.org/10.1002/cche.10702> (en anglais)



# Oléagineux

Véronique J. Barthelet, Ph. D.

[veronique.barthelet@grainscanada.gc.ca](mailto:veronique.barthelet@grainscanada.gc.ca)

## Amélioration de la mesure des glycosides cyanogènes dans la graine de lin

Dans le cadre du programme des Oléagineux, nous effectuons de la recherche sur les oléagineux cultivés au Canada, notamment le canola, le colza, la graine de lin, le soja et la graine de moutarde. Nous évaluons notamment les effets des facteurs de classement sur la qualité des oléagineux et analysons en quoi les divers composants des oléagineux, dont les acides gras libres, influent sur la qualité des grains et la qualité de leurs produits dérivés. Une autre partie importante de notre travail consiste à évaluer et à mettre au point les méthodes que nous utilisons pour analyser la qualité des oléagineux. Entre autres, nous validons nos méthodes de référence en regard des normes internationales, élaborons des modèles pour prédire la qualité des oléagineux au moyen de la spectroscopie dans le proche infrarouge, et mettons au point et validons nos propres méthodes pour analyser des composés mineurs présents dans les oléagineux. L'équipe du programme des Oléagineux évalue également la qualité des échantillons d'oléagineux du Programme d'échantillons de récolte et des expéditions d'oléagineux destinés à l'exportation.

### Présence de glycosides cyanogènes dans la graine de lin

Nous analysons les composés mineurs dans les oléagineux parce qu'ils peuvent avoir une importance physiologique ou être perçus comme ayant un effet négatif

sur la santé. Les glycosides cyanogènes constituent un groupe de composés mineurs que notre laboratoire étudie dans les graines de lin. On recense près de 75 glycosides cyanogènes connus dans plus de 2500 espèces végétales, et ils peuvent se trouver dans une plante entière ou dans seulement certaines parties, comme les racines

ou les graines. Bien que les glycosides cyanogènes soient présents en faibles concentrations dans la graine de lin, ils sont préoccupants, car du cyanure d'hydrogène (HCN), une toxine bien connue, est libéré lorsque les glycosides sont hydrolysés. Le HCN est libéré seulement lorsque les tissus de la plante ou de la graine sont endommagés et que

### Membres de l'équipe

#### Chercheuse et gestionnaire de programme

Véronique J. Barthelet, Ph. D.

#### Chimistes

Ann Puvirajah, Tao Fan

#### Techniciens

Anna Chepurina, Ph. D., Brad Speiss, Faye Arevalo (Programme d'échantillons de récolte), Hayeon Oh, Marnie McLean, Nicole Pogorzelec,

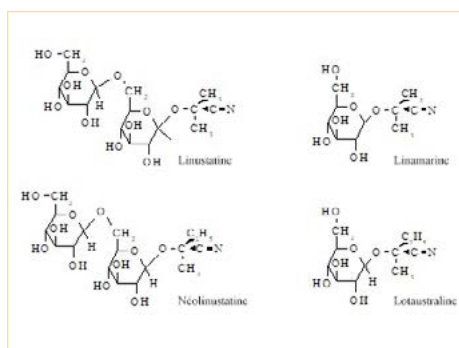
Katharine Schulz (retraîtée en mars 2023), Ololade Oni (Programme d'échantillons de récolte)

#### Étudiante

Arina Sherstyuk

les enzymes hydrolysantes entrent en contact avec les glycosides cyanogènes.

L'Union européenne et le Japon ont établi des limites relativement à la quantité totale de glycosides cyanogènes autorisée dans la graine de lin utilisée dans les produits alimentaires et les aliments pour le bétail. Au Canada et aux États-Unis, la consommation de graine de lin est jugée sans danger, et de [nombreuses études](#) ont documenté



**Figure 1** Structure moléculaire des glycosides cyanogènes présents dans la graine de lin.

ses bienfaits pour la santé en raison de la présence d'acide alpha-linolénique (un acide gras oméga-3), de fibres et de lignanes.

## Méthodes classiques de mesure des composés cyanogènes

Deux diglycosides cyanogènes, la linustatine et la néolinustatine, se trouvent dans les graines de lin intactes (non endommagées), et deux monoglycosides cyanogènes, la linamarine et la lotaustraline, se trouvent dans les plantules, les plantes en croissance, les fleurs, les graines endommagées et les graines immatures (figure 1). La méthode classique d'analyse de ces composés mesure la quantité de HCN produite après hydrolyse des glycosides cyanogènes. Pour être précise, cette méthode nécessite une hydrolyse complète des glycosides cyanogènes et une capture complète du HCN produit. L'hydrolyse peut toutefois être incomplète si les acides ou les enzymes utilisés pour provoquer l'hydrolyse interagissent avec d'autres composés ou ne sont pas propres aux glycosides cyanogènes hydrolysés. Par exemple, les glycosides cyanogènes des graines de lin ont besoin de deux enzymes actives en séquence pour être hydrolysés, et l'utilisation d'une seule enzyme n'entraînera pratiquement

aucune production de HCN. Cette méthode classique donne des résultats très variables et très peu reproductibles.

Une meilleure approche pour analyser les glycosides cyanogènes consiste à quantifier les composés cyanogènes intacts. Une méthode précise de chromatographie en phase liquide à haute pression (CLHP) a été décrite dans la littérature scientifique, mais elle est très longue, car plusieurs étapes sont nécessaires pour améliorer la limite de détection.

## Améliorations de la méthode d'analyse

Notre équipe a travaillé à améliorer l'analyse des glycosides cyanogènes dans la graine de lin et à mettre au point une méthode précise, répétable et reproductible pour les mesurer. Nous avons d'abord réussi à abaisser la limite de détection en utilisant la chromatographie en phase gazeuse (CG) avec détection par ionisation de flamme (DIF) au lieu de la CLHP. Nous avons également amélioré l'extraction des glycosides cyanogènes des graines et mis au point une méthode de

spectrométrie de masse (CG-SM) pour analyser les produits de boulangerie-pâtisserie, ce qui a permis d'abaisser encore la limite de détection. Nous avons aussi constaté que l'un des monoglycosides cyanogènes n'était pas disponible dans le commerce sous sa forme naturelle. Nous avons donc mis au point une méthode pour obtenir des composés purs afin de les utiliser comme substance de référence, ce qui a permis d'améliorer la quantification des monoglycosides cyanogènes.

## Étude comparative avec Santé Canada

L'équipe du programme des Oléagineux a également participé à un projet avec Santé Canada qui consistait à comparer notre méthode CG-SM à la méthode de chromatographie en phase

liquide-spectrométrie de masse (CL-SM) utilisée pour quantifier directement les glycosides cyanogènes. Bien que leur coût puisse être prohibitif, les méthodes CL-SM sont souvent considérées comme les meilleures, car les composés sont analysés directement sans être transformés à l'état gazeux. Elles sont également très précises, puisque les spectres de masse permettent d'identifier les composés.

Les résultats de l'étude (tableau 1) montrent que notre méthode CG-SM présente une très bonne reproductibilité, l'écart type relatif (ETR) de l'analyse étant de 0,90 %. Une comparaison des résultats de la CG-SM et de la CL-SM n'a montré aucune différence statistique entre les deux méthodes. Ces résultats indiquent que l'analyse des glycosides cyanogènes intacts devrait être la méthode de choix pour leur quantification.

**Tableau 1** Résultats de la CL-SM et de la CG-SM pour la teneur totale en glycosides cyanogènes dans la graine de lin, mesurée en équivalent de cyanure d'hydrogène (mg/kg).

Mesure statistique <sup>1</sup>	Résultats de la CL-SM	Résultats de la CG-SM
Moyenne	306,82	283,44
Médiane	285,20	277,22
Maximum	657,20	404,46
Minimum	128,42	109,36

<sup>1</sup> Le nombre d'échantillons pour chaque méthode était de 22.

## Publications récentes

Fan T. et **V.J. Barthet**. « Development of GC/MS methods for the quantification of cyanogenic glycoside in breads with flaxseed ». Séance de présentation d'affiches au Lake Louise XXXI dans le cadre du 31st Workshop on Tandem Mass Spectrometry à Lake Louise (Alberta) Canada, du 29 novembre au 1er décembre 2018.

**Barthet V.J.** et T. Fan. « Purification of cyanogenic glycosides from flaxseeds ». Séance de présentation d'affiches dans le cadre de l'AOCS Annual Meeting & Expo de 2018, Minneapolis (Minnesota) États-Unis, du 6 au 9 mai 2018.

Fan T. et **V. J. Barthet**. « Analysis of trimethylsilyl derivatives of cyanogenic glycosides from flaxseed (*Linum usitatissimum*) by GC/MS ». Résumé dans les Proceedings of the 64th ASMS Conference on Mass Spectrometry and Allied Topics; San Antonio (Texas), États-Unis, du 5 au 9 juin 2016.

**Barthet V.J.** et R. Bacala. « Development of optimized extraction methodology for cyanogenic glycosides from flaxseed (*Linum usitatissimum*) ». *Journal of AOAC International*, vol. 93, no 2 (2010), p. 478-484. <https://doi.org/10.1093/jaoac/93.2.478> (en anglais)

Bacala R. et **V. J. Barthet**. « Development of extraction and gas chromatography analytical methodology for cyanogenic glycosides in flaxseed (*Linum usitatissimum*) ». *Journal of AOAC International*, vol. 90, no 1 (2007), p. 153-161. <https://doi.org/10.1093/jaoac/90.1.153> (en anglais)



# Recherche sur les légumineuses

Ning Wang, Ph. D.

[ning.wang@grainscanada.gc.ca](mailto:ning.wang@grainscanada.gc.ca)

## Comprendre les facteurs agissant sur la qualité des féveroles

Dans le cadre du programme de Recherche sur les légumineuses, nous étudions les propriétés physiques et chimiques des légumineuses pour mieux comprendre les incidences des facteurs de classement, des méthodes de transformation, des conditions environnementales et de la génétique sur leur qualité et leur fonctionnalité à l'utilisation finale. Par ailleurs, nous mettons au point et évaluons de nouvelles méthodes de quantification des caractéristiques fonctionnelles des légumineuses. Pour soutenir la commercialisation des légumineuses canadiennes, nous analysons les échantillons de légumineuses et de soja alimentaire qui nous sont soumis chaque année dans le cadre du [Programme d'échantillons de récolte](#) et nous participons à la surveillance des cargaisons.

### Utilisation croissante des féveroles

La production de féveroles a augmenté ces dernières années au Canada en raison de la demande croissante de protéines végétales. Les féveroles sont riches en protéines, en glucides, en vitamines et en minéraux, et elles peuvent être utilisées entières ou cassées dans des produits alimentaires tels que les soupes, les ragoûts et la pâte. Elles peuvent aussi être transformées en farines et en concentrés/isolats de protéines et être utilisées dans les produits de boulangerie, les pâtes, les produits de viande et les substituts de viande. Il existe toutefois peu d'information sur la qualité et la fonctionnalité des féveroles

canadiennes. Il est important d'identifier les variétés pouvant être cultivées dans différents environnements et ayant des caractéristiques qui les rendent utiles à l'industrie alimentaire afin d'appuyer leurs utilisations traditionnelles et nouvelles.

Nous avons mené une étude pour déterminer comment la variété, le lieu de culture et l'année de culture influent sur la qualité et la fonctionnalité des féveroles canadiennes. Le lieu de culture constitue une variation environnementale

prévisible, tout comme le type de sol, et l'année constitue une variation environnementale imprévisible, tout comme les conditions météorologiques. Des données ont été recueillies pour trois différentes variétés (Fabelle, Malik et Snowbird) cultivées en Saskatchewan, à trois endroits différents, en 2019 et en 2020. La composante de variance, qui est la contribution relative de chaque facteur expérimental à la variabilité globale des données, a été calculée

### Membres de l'équipe

**Chercheur et gestionnaire de programme**

Ning Wang, Ph. D.

**Chimiste**

Dora Fenn

**Techniciennes**

Lisa Maximiuk,  
Monica Cabral



pour plusieurs paramètres qualitatifs et fonctionnels. La compréhension de la variabilité des données nous aide à déterminer quels facteurs ont la plus grande incidence sur les paramètres de qualité.

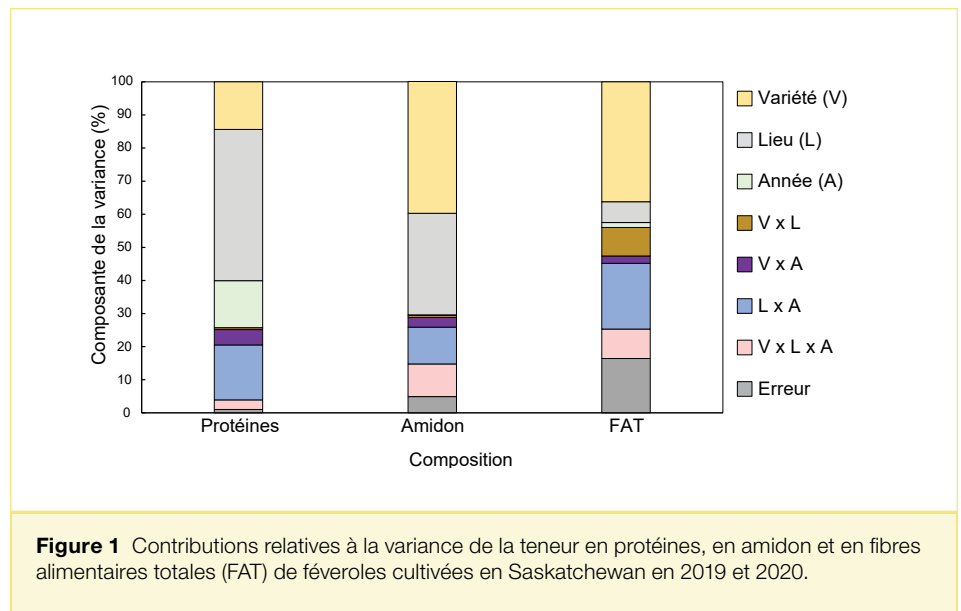
## Facteurs agissant sur la qualité des féveroles

Nous avons constaté que la variété, l'environnement de culture (lieu ou année) et les interactions entre ces deux facteurs avaient un effet significatif sur la teneur en protéines, en amidon et en fibres alimentaires totales (FAT) des féveroles. Comme le montre la figure 1, la composante la plus importante de la variance de la teneur en protéines était le lieu de culture (45,7 %), suivi de l'interaction entre le lieu et l'année de culture (16,6 %), la variété (14,4 %) et l'année de culture (14,2 %). Il en ressort que c'est le lieu de culture qui a eu le plus grand effet sur la teneur en protéines. La variété (39,8 %) et le lieu de culture (30,7 %) expliquaient la plus grande partie de la

variabilité de la teneur en amidon, tandis que la variété (36,2 %) et l'interaction entre le lieu et l'année de culture (19,9 %) expliquaient la plus grande partie de la variabilité de la teneur en FAT. La teneur en protéines variait de 25,8 % à 32,3 %, la teneur en amidon, de 38,7 % à 45,2 %, et la teneur en FAT, de 15,7 % à 18,1 %, sur la base de la matière sèche. Nous avons également observé une corrélation négative entre la teneur en protéines et la teneur en amidon des féveroles.

## Facteurs agissant sur la fonctionnalité des féveroles

La capacité des farines de légumineuses et des concentrés/isolats de protéines à absorber et à retenir l'eau ou l'huile joue sur la texture, la sensation en bouche et la saveur des aliments, et peut réduire les pertes pour les produits tels que les substituts de viande. Nous avons constaté que la majeure



**Figure 1** Contributions relatives à la variance de la teneur en protéines, en amidon et en fibres alimentaires totales (FAT) de féveroles cultivées en Saskatchewan en 2019 et 2020.

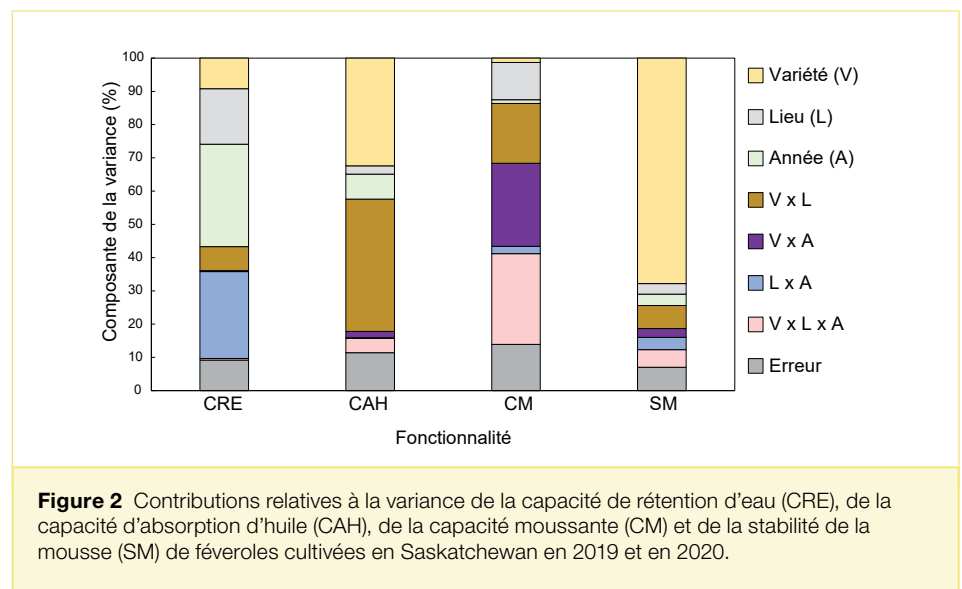
partie de la variabilité de la capacité de rétention d'eau (CRE) des féveroles était attribuée à l'année de culture (30,8 %), à l'interaction entre le lieu et l'année de culture (26,1 %) et au lieu de culture (16,7 %) (figure 2). La variabilité de la capacité d'absorption d'huile (CAH) était en grande partie touchée par l'interaction entre la variété et le lieu de culture (39,8 %) et par la variété (32,4 %). On a pu établir une corrélation positive entre la CRE et la teneur en FAT, ainsi qu'entre la CAH et la teneur en FAT, tandis qu'il y avait une corrélation négative entre la CRE et la teneur en protéines.

La capacité moussante (CM) est une mesure de l'augmentation du volume obtenu par malaxage, tandis que la stabilité de la mousse (SM) est une mesure du changement de volume d'une mousse durant une période définie. Ces deux propriétés peuvent jouer sur la performance des farines de légumineuses et des concentrés/isolats

de protéines dans les aliments tels que les mousses, les sucreries et les desserts fouettés. Nous avons constaté que la variabilité de la CM était principalement attribuable à l'interaction entre la variété, le lieu et l'année (27,3 %), entre la variété et l'année (25,0 %), et entre la variété et le lieu (18,0 %) (figure 2). La variété était responsable de 67,8 % de la variation de la SM (figure 2). Une corrélation négative

entre la SM et la teneur en amidon a été observée.

Les connaissances acquises grâce à cette étude peuvent aider les sélectionneurs et les producteurs à améliorer la qualité des féveroles et à appuyer l'utilisation accrue et la commercialisation des féveroles canadiennes.



**Figure 2** Contributions relatives à la variance de la capacité de rétention d'eau (CRE), de la capacité d'absorption d'huile (CAH), de la capacité moussante (CM) et de la stabilité de la mousse (SM) de féveroles cultivées en Saskatchewan en 2019 et en 2020.

## Publications récentes

Laing, E., A.K. Stone, D. Shi, M. Pickard, **N. Wang**, et M.T. Nickerson. « Effect of infrared heating on the functional properties of yellow pea and lentil flours ». *Cereal Chem.*, vol. 100, no 3, p. 601-613 (2023). <https://doi.org/10.1002/cche.10662> (en anglais)

Laing, E., A.K. Stone, D. Shi, M. Pickard, J.D. House, **N. Wang**, et M.T. Nickerson. « Effect of infrared heating on the nutritional properties of yellow pea and lentil flours ». *Cereal Chem.*, vol. 100, no 3, p. 614-627 (2023). <https://doi.org/10.1002/cche.10653> (en anglais)



# Services analytiques

Kerri Pleskach, M. Sc.

[kerri.pleskach@grainscanada.gc.ca](mailto:kerri.pleskach@grainscanada.gc.ca)

## Évolution de l'analyse rapide de la teneur en eau à la Commission canadienne des grains

L'équipe des Services analytiques effectue chaque année de nombreux types d'analyses pour des milliers de clients. Les services comprennent l'analyse rapide de la teneur en eau des grains, moyennant des frais de service, pour les échantillons de cargaison et les échantillons soumis par des compagnies céréalières, des producteurs et des groupes sectoriels. Les clients peuvent en outre s'inscrire à un service payant d'échantillons témoins qui leur permet de contrôler régulièrement la précision de leurs humidimètres à l'aide d'échantillons de blé roux de printemps de l'Ouest canadien préparés chaque mois par notre équipe.

### Teneur en eau du grain

La teneur en eau du grain influe sur sa qualité, sa salubrité et sa durée de conservation. Une teneur en eau élevée favorise la croissance d'insectes, de champignons et de bactéries et altère les processus physiologiques, tels que la germination. La méthode la plus précise pour déterminer la teneur en eau d'un échantillon de grain consiste à le sécher dans une étuve et à mesurer

la variation de masse. Toutefois, depuis de nombreuses années, le secteur des grains utilise des humidimètres pour prédire rapidement la teneur en eau du grain. Ces appareils reposent sur le principe selon lequel la conductivité électrique du grain augmente avec la teneur en eau, mais pour obtenir des résultats précis, ils doivent être étalonnés à l'aide de la méthode de référence de dosage à l'étuve. est chargé de surveiller

et de maintenir les données d'étalonnage des humidimètres les plus couramment utilisés au Canada.

### Premières avancées de la technologie d'analyse de la teneur en eau

Les méthodes utilisées à la Commission canadienne des grains pour l'analyse rapide de la teneur en eau ont évolué

### Membres de l'équipe

**Chimiste et gestionnaire de programme**  
Kerri Pleskach

**Teneur en eau et enzymes**  
**Conseillère en chimie** Abi Olubodun

**Superviseure, teneur en eau** Ruth Toews

**Techniciennes**  
Evelyn Barnett,  
Courtney Stewart (intérimaire),  
Ilana Benoit

**Services analytiques et teneur en protéines**  
**Superviseur** Gary Dion (intérimaire)

**Techniciens**  
Debbie Salazar, Hannah Lintott (intérimaire),  
Kristin Bowler, Hong Yue, Andy Peng

**Manipulation des échantillons**  
**Superviseure** Rachelle Ferreira (intérimaire)  
**Techniciennes** Pam Parker, Jocelyn Plouffe

**Techniciens du Programme d'échantillons de récolte**

Tyler Traeger, Victoria Moreau, Genesis Esguerra,  
Joshua Crellin, Alyssa Hilapo,  
Krystin Polden, Susan Fatla, Nigel Sleby,  
Jennifer Nguyen, Ryan Noonan, Miranda Cote,  
Tegan Jasman, Amanda Desrochers,  
Gurmeet Singh

avec les innovations technologiques. La Commission des grains du Canada (précurseur de la Commission canadienne des grains) a commencé à évaluer les humidimètres en 1934 et a constaté que l'humidimètre à moteur Tag-Heppenstall, qui mesurait la résistance électrique d'un courant passant à travers le grain, était le plus précis pour le blé et l'orge à l'époque.

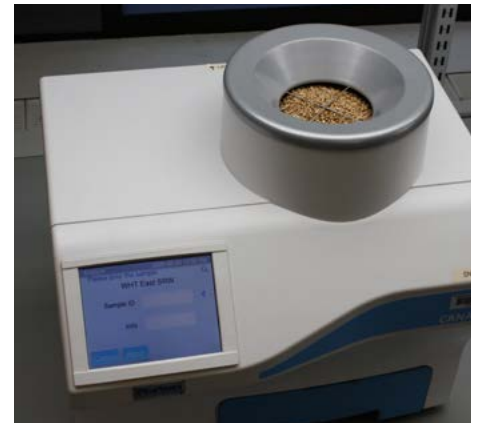
Les progrès de l'électronique ont permis de mettre au point des humidimètres qui mesurent la capacité électrique des échantillons de grain à une fréquence de 18 MHz. En 1959, la Commission canadienne des grains utilisait cette technologie avec des humidimètres de modèle 919/3 pouces et, au début des années 1980, elle a adopté les humidimètres de modèle 919/3,5 pouces, qui pouvaient contenir des grains plus gros. À la fin des années 1990, la Commission canadienne des grains a commencé à évaluer des humidimètres utilisant la même technologie que les humidimètres de modèle 919/3,5 pouces, mais offrant un degré d'automatisation

plus élevé. En 2005, le modèle 1200A de Seedburo est devenu l'humidimètre officiel de la Commission canadienne des grains.

## Introduction de l'algorithme unifié de détermination de la teneur en eau du grain

En 2007, une nouvelle méthode de détermination de la teneur en eau, soit la technologie d'algorithme unifié de détermination de la teneur en eau du grain (Unified Grain Moisture Algorithm [UGMA]), a été mise au point et rendue utilisable à l'aide des humidimètres. Cette méthode utilise une fréquence de mesure de 149 MHz, qui s'est avérée réduire l'influence des paramètres du grain tels que le poids, le type de grain, la taille ou la forme du grain et les conditions de croissance. Par conséquent, la précision et la stabilité des étalonnages pour tous les types de grain ont été améliorées sur une plage de température plus large, et il n'a pas été nécessaire d'effectuer des étalonnages

séparés pour les échantillons légers. La Commission canadienne des grains a commencé à évaluer les humidimètres de type UGMA en 2012 et a constaté que leurs prévisions de la teneur en eau étaient égales ou supérieures à celles des humidimètres de modèle 919. En 2015, après avoir utilisé les humidimètres de



**Figure 1** Humidimètre de type UGMA.

modèle 919 pendant plus de 55 ans, la Commission canadienne des grains a commencé à utiliser les humidimètres de type UGMA pour les analyses officielles de la teneur en eau.

## Étalonnage des humidimètres

Nous surveillons et maintenons annuellement les données d'étalonnage des humidimètres de type UGMA et les tableaux de conversion des humidimètres de modèle 919/3,5 pouces pour tous les grains réglementés, selon la disponibilité des échantillons. Notre processus de surveillance évalue les différences entre les résultats de la méthode de référence à l'étuve et ceux des humidimètres. Les données d'étalonnage sont modifiées lorsque nous constatons une différence constante, en dehors de la plage de tolérance attribuée, avec les résultats obtenus à l'étuve pendant au moins trois ans, et qu'un nombre suffisant d'échantillons ont été analysés

sur l'ensemble de la plage de teneur en eau. La modification des données d'étalonnage des humidimètres de type UGMA est effectuée en collaboration avec les fabricants, et les [données d'étalonnage mises à jour](#) sont publiées chaque année. Les [tableaux de conversion pour les humidimètres de modèle 919/3,5 pouces](#) se trouvent sur notre site Web. Bien que les deux types d'humidimètres soient étalonnés en fonction de notre méthode de référence à l'étuve, ils peuvent donner des résultats légèrement différents en raison de facteurs tels que la densité des grains, le poids de l'échantillon et les températures de fonctionnement.

Il est possible que nous utilisions la technologie UGMA pendant les

50 prochaines années ou que la technologie progresse à nouveau. La Commission canadienne des grains continuera toutefois d'évaluer les améliorations apportées à la technologie des humidimètres au fur et à mesure de leur évolution.



**Figure 2** Humidimètre de modèle 919.

### Ressources connexes

[Teneur en eau des grains canadiens](#)

[Comparaison des humidimètres](#)

[Tableaux de conversion pour les humidimètres de modèle 919/3,5 pouces ou équivalent](#)



# Biotechnologie des grains

Tigst Demeke, Ph. D.

[tigst.demeke@grainscanada.gc.ca](mailto:tigst.demeke@grainscanada.gc.ca)

## Recours aux analyses fondées sur l'ADN pour assurer la qualité des grains

L'équipe du programme de Biotechnologie des grains met au point et évalue des méthodes d'analyse de l'ADN pour dépister des événements de transformation génétique (GM) dans les grains et utilise ces méthodes pour exercer une surveillance, le cas échéant. Comme de nombreux pays ont des règlements qui régissent l'approbation et la traçabilité des ingrédients alimentaires qui ont subi des modifications génétiques, il est important que nous puissions détecter et quantifier les événements GM non approuvés ou qui ont été abandonnés pour nous assurer que les grains canadiens aient accès à divers marchés. Nous effectuons également des analyses d'ADN pour surveiller les expéditions de blé afin de détecter la présence de variétés qui ne satisfont pas aux exigences précises de certaines classes de blé ainsi que pour certifier la pureté variétale des cargaisons d'orge brassicole.

### Détection de multiples événements GM dans le soja

Le nombre de nouveaux événements GM dans le soja et le canola n'a cessé d'augmenter depuis le milieu des années 1990, et nous disposons actuellement de méthodes validées pour détecter et quantifier 18 différents événements GM dans le soja (tableau 1). Ces méthodes sont fondées sur la réaction en chaîne de la polymérase (PCR) et elles ont une limite de détection et une limite de quantification de 0,05 %.

La détection par PCR de chaque événement GM dans un même échantillon de soja peut prendre beaucoup de temps, mais grâce à nos méthodes, nous pouvons détecter

de nombreux événements GM en même temps. Nous distribuons les concentrations d'amorces et de sondes nécessaires dans des plaques à 96 puits et les congelons. Après l'ajout de l'échantillon d'ADN et des autres ingrédients nécessaires aux essais, nous analysons l'échantillon d'ADN pour les 18 événements GM à l'aide de quatre essais PCR pour chaque événement. Une fois les événements GM positifs identifiés dans l'échantillon, nous

déterminons leur quantité au moyen d'un essai par PCR quantitative en temps réel. Notre laboratoire utilise le système de PCR en temps réel QuantStudio™ 7 Pro pour détecter et quantifier des événements GM dans les échantillons de grain (figure 1). Cet équipement a amélioré notre capacité d'effectuer des essais par PCR et remplace le système 7500 Applied Biosystems™ utilisé dans notre laboratoire de 2004 à 2023.

### Membres de l'équipe

#### Chercheur et gestionnaire de programme

Tigst Demeke, Ph. D.

#### Biologiste

Michelle Holigroski

#### Techniciens

Mathieu Dusabenyagasani, Maria Eckhardt, Monika Eng, Danny Saydak

## Pureté de la variété CDC Copeland

La variété est une considération importante lorsque l'orge est sélectionnée à des fins de maltage, et la plupart des acheteurs exigent une pureté variétale minimale de 95 %. Récemment, la pureté de la variété CDC est devenue une grande préoccupation lors de la découverte d'un pourcentage relativement élevé d'un profil ADN non désigné dans des échantillons de la saison de culture 2022. Nous avons collaboré avec le programme

Microbiologie et génomique des grains du Laboratoire de recherches sur les grains, l'Agence canadienne d'inspection des aliments, des sélectionneurs et des partenaires de l'industrie pour procéder à l'analyse d'échantillons d'orge CDC Copeland afin de détecter ce profil d'ADN non désigné. Il a ensuite été confirmé que les semences de l'obteneur initial de CDC Copeland contenaient de faibles quantités du profil d'ADN non désigné et que la présence de ce profil n'était pas un événement de contamination. Une [étude menée par le programme](#)

[Mouture et maltage – Recherche sur l'orge et d'autres grains du Laboratoire de recherches sur les grains](#) a conclu que les caractéristiques des grains et les caractéristiques de maltage n'étaient pas différentes dans les échantillons d'orge CDC Copeland qui présentaient des quantités élevées du profil d'ADN non désigné. Nous avons également collaboré avec le programme Mouture et maltage – Recherche sur l'orge et d'autres grains pour l'analyse de certains échantillons de cargaisons et d'échantillons de récolte.

**Tableau 1** Méthodes d'analyse par PCR quantitative en temps réel validées pour le dépistage d'événements GM dans le soja.

Événement GM	Trait
A2704-12	Tolérance à l'herbicide glufosinate (Liberty)
A5547	Tolérance à l'herbicide glufosinate
BPS-CV127	Tolérance aux herbicides de la famille des imidazolinones
DAS44406-6	Tolérance aux herbicides glufosinate, glyphosate et 2,4 -D
DAS68416-4	Tolérance aux herbicides glufosinate et 2,4 -D
DAS81419-2	Tolérance à l'herbicide glufosinate et résistance aux lépidoptères
DP305423	Haute teneur en acide oléique/faible teneur en acide linoléique et linoléique
DP356043	Tolérance aux herbicides glyphosate et sulfonylurées
FG72	Tolérance aux herbicides glyphosate et isoxaflutole
GMB151	Tolérance à l'herbicide isoxaflutole et résistance aux nématodes à kystes
MON40-3-2	Tolérance à l'herbicide glyphosate (Roundup Ready I)
MON88701	Résistance aux lépidoptères
MON87705	Tolérance à l'herbicide glyphosate; huile/acide gras modifié
MON87708	Tolérance à l'herbicide Dicamba
MON87751	Résistance aux lépidoptères
MON87769	Tolérance à l'herbicide glyphosate; huile/acide gras modifié
MON89788	Tolérance à l'herbicide glyphosate (Roundup Ready II)
SYHTOH2	Tolérance aux herbicides glufosinate et mésotrione



**Figure 1** Instrument QuantStudio™ 7 Pro utilisé pour les essais par PCR en temps réel.

## Technologie utilisée pour la surveillance de l'identification variétale

Pour nous assurer que toutes les variétés sont représentées dans notre base de données, il faut que les sélectionneurs collaborent et fournissent des échantillons de nouvelles semences d'orge et de blé.

Pendant de nombreuses années, nous avons évalué la pureté variétale

des échantillons d'orge au moyen d'un système Li-Cor, qui repose sur l'utilisation de marqueurs d'ADN appelés microsatellites. Même si cette méthode est précise, elle n'est pas efficace, car seulement un nombre limité d'échantillons peuvent être analysés à la fois. Le système Takara SmartChip, qui a été validé par le programme Microbiologie et génomique des grains du Laboratoire de recherches sur les grains, est maintenant utilisé, car il offre

une grande capacité d'identification des variétés d'orge canadienne à l'aide de 24 marqueurs d'ADN.

Pour analyser des échantillons de cargaisons de blé, nous utilisons la technologie de génotypage OpenArray™ et notre base de données qui contient les profils d'ADN de nombreuses variétés de blé. La base de données est mise à jour à mesure que de nouvelles variétés apparaissent.

## Activités de surveillance récentes

Du 1er août 2022 au 31 juillet 2023, nous avons analysé la composition variétale des échantillons suivants :

- 612 échantillons de cargaisons de blé, dont 178 échantillons ont fait l'objet d'une analyse plus approfondie;
- 200 échantillons de cargaisons de blé dur;
- 36 échantillons de cargaisons regroupés (anciennement appelés échantillons composites de cargaisons prélevés mensuellement);
- 60 échantillons de blé des essais coopératifs;
- 68 échantillons de blé du Programme d'échantillons de récolte;
- 23 échantillons de cargaisons d'orge qui nous ont été soumis.

De plus, 76 échantillons de cargaisons de blé ont été analysés pour détecter la présence de l'événement GM MON71200. Depuis le début des essais de dépistage mis en place en 2018, cet événement GM n'a pas été détecté, mais les exportateurs de blé peuvent demander des essais moyennant des frais de service.

## Publications récentes

Lee, S.-J., M. Eckhardt, M. Dusabenyagasani, M. Izydorczyk, **T. Demeke**, D. Perry et S. Walkowiak. « Identification of Canadian barley varieties by high-throughput SNP genotyping ». *Canadian Journal of Plant Science, e-First* (2024). <https://doi.org/10.1139/cjps-2023-0187> (en anglais)





# Microbiologie et génomique des grains

Sean Walkowiak, Ph. D.

[sean.walkowiak@grainscanada.gc.ca](mailto:sean.walkowiak@grainscanada.gc.ca)

## Approche multidisciplinaire pour la surveillance des microorganismes dans les grains

Le programme Microbiologie et génomique des grains utilise les technologies les plus récentes pour étudier les bactéries et les champignons présents dans les grains. Nous identifions les espèces présentes et étudions la façon dont elles sont touchées par des facteurs environnementaux tels que la géographie et le climat. Le secteur des grains peut ainsi comprendre les tendances et les risques associés aux microorganismes bénéfiques et à ceux qui sont nocifs pour les végétaux, les humains ou le bétail. Nous identifions également les variétés de cultures contenues dans les expéditions de grain au moyen d'analyses de l'ADN, et nous disposons actuellement d'une base de données contenant des renseignements sur l'ADN de plus de 800 variétés. En surveillant les microorganismes et les variétés de grain, nous contribuons à assurer la salubrité, l'intégrité et la valeur marchande du grain canadien.

### Surveillance des communautés microbiennes au moyen de l'ADN

Les bactéries et les champignons existent souvent en communautés diverses et ont des interactions complexes entre eux et avec leur environnement. En s'adaptant à différentes conditions, les communautés microbiennes subissent des changements qui peuvent avoir des répercussions sur la production, la qualité et la salubrité du grain. L'un des

outils que nous utilisons pour étudier les microorganismes est l'analyse ciblée de l'ADN. Ce type d'analyse nous permet de déterminer si un microorganisme est présent ou absent, l'espèce à laquelle il appartient et les toxines qu'il peut produire. Par exemple, nous cultivons des bactéries dans notre laboratoire à partir d'échantillons de grain et nous analysons leur ADN pour déterminer si

la communauté bactérienne contient des phytopathogènes, comme l'espèce *Xanthomonas*, qui cause la maladie des stries bactériennes, ou des bactéries qui causent des maladies d'origine alimentaire, comme *E. coli* (figure 1). Nous effectuons également des analyses de l'ADN à haut débit sur les grains touchés par des champignons, tels que les grains endommagés par le

### Membres de l'équipe

**Chercheur et gestionnaire de programme**

Sean Walkowiak, Ph. D.

**Biologistes**

Niradha Withana Gamage, Janice Bamforth, Sung-Jong Lee, Ph. D., Tiffany Chin, Ph. D.

**Technicienne**

Tehreem Ashfaq

**Étudiant**

Mayantha Shimosh Kurera

*Fusarium* ou les sclérotés d'ergot (figure 2). Ces types d'infection fongique peuvent réduire la production et la qualité des céréales et les contaminer avec des toxines. Nos analyses permettent d'identifier les espèces fongiques présentes et de déterminer si elles possèdent les gènes responsables de la production de toxines possiblement préoccupantes pour la salubrité des aliments.



**Figure 1** Bactéries proliférant dans des milieux exposés au grain.

## Profils biochimiques des champignons

Une autre partie de notre travail consiste à mettre au point de nouvelles méthodes pour améliorer l'efficacité des analyses et la qualité des données que nous recueillons. En partenariat avec la Western Grains Research Foundation, la Saskatchewan Wheat Development Commission et la Manitoba Crop Alliance, nous avons mis au point une méthode pour identifier et caractériser



**Figure 2** Sclérotés d'ergot (en haut) et grains endommagés par le *Fusarium* (en bas).

le *Fusarium* et les champignons causant la rouille à l'aide de la spectrométrie de masse à temps de vol par désorption/ionisation laser assistée par matrice (figure 3). Cette technique ionise le contenu d'un échantillon fongique, ce qui permet de séparer chaque produit chimique de l'échantillon en fonction de sa masse et de sa charge. Le modèle de produits biochimiques, appelé profil,



**Figure 3** Étudiant utilisant de l'équipement destiné à l'analyse de l'ADN microbien et des profils biochimiques.

est propre à chaque espèce fongique et constitue une sorte d'empreinte digitale pour son identification. Par rapport aux méthodes traditionnelles, cette technique donne des résultats plus rapidement et est plus économique.

## Prévision du risque de maladie microbienne

Afin de mieux comprendre le potentiel d'évolution des maladies du grain,

nous combinons les données sur l'ADN et les données biochimiques que nous recueillons aux renseignements sur l'agent pathogène, la plante hôte, les pratiques agricoles et les facteurs environnementaux. À l'aide de statistiques, d'analyses et de modélisation avancées, nous élaborons des modèles qui permettent de prévoir le risque de maladie microbienne. Nous avons appliqué cette approche aux maladies fongiques des céréales, comme

la fusariose et l'ergot, et au phoma du canola. Les données obtenues aident le secteur des grains à rester informé de la façon dont les microorganismes présents dans les grains peuvent réagir aux changements climatiques.

## Publications récentes

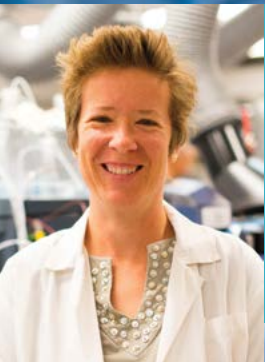
Gamage, N.W., T. Ashfaq, T. Chin, J. Bamforth, et **S. Walkowiak**. « Draft genome sequence of *Enterobacter* sp. from wheat grain ». *Microbiol. Resour. Announc.*, 13e00576-23 (2023). <https://doi.org/10.1128/mra.00576-23> (en anglais)

Chin, T., K. Pleskach, S.A. Tittlemier, M.A. Henriquez, J. Bamforth, N.W. Gamage, T. Ashfaq, S.-J. Lee, M.S. Kurera, B. Patel, et **S. Walkowiak**. « A status update on fusarium head blight on Western Canadian wheat ». *Can. J. Plant Path.*, vol. 45, no 3, p. 277-289 (2023). <https://doi.org/10.1080/07060661.2023.2177352> (en anglais)

Kannangara, S.K., P. Bullock, **S. Walkowiak**, et W.G.D. Fernando. « Species diversity of Fusarium head blight and deoxynivalenol (DON) levels in Western Canadian wheat fields ». *Can. J. Plant Path.*, vol. 46, no 2, p. 128-141 (2023). <https://doi.org/10.1080/07060661.2023.2290034> (en anglais)

Zhao, L., M.W. Harding, G. Peng, R. Lange, **S. Walkowiak**, et W.G.D. Fernando. « Artificial intelligence analysis of contributive factors in determining blackleg disease severity in canola farmlands ». *Can. J. Plant Path.*, vol. 46, no 2, p. 114-127 (2023). <https://doi.org/10.1080/07060661.2023.2290039> (en anglais)

Rowland, B.E., M.A. Henriquez, K.T. Nilsen, R. Subramaniam, et **S. Walkowiak**. « Unraveling plant-pathogen Interactions in cereals using RNA-seq ». Dans : Foroud, N.A., J.A.D. Neilson (éd.). « Plant-Pathogen Interactions ». *Methods Mol. Biol.*, no 2659, p. 103-118 (2023). [https://doi.org/10.1007/978-1-0716-3159-1\\_9](https://doi.org/10.1007/978-1-0716-3159-1_9) (en anglais)



# Analyse de substances organiques et d'éléments à l'état de trace

Sheryl Tittlemier, Ph. D.

[sheryl.tittlemier@grainscanada.gc.ca](mailto:sheryl.tittlemier@grainscanada.gc.ca)

## Recherche sur la salubrité des grains pour appuyer l'accès du grain canadien aux marchés

Le programme d'Analyse des substances organiques et des éléments à l'état de trace est axé sur la recherche et la surveillance visant les pesticides, les mycotoxines et les éléments à l'état de trace, en particulier les métaux lourds présents dans le grain. Nous voulons comprendre pourquoi ces substances s'accumulent dans le grain et comment elles réagissent pendant la transformation. Nous évaluons par ailleurs l'exactitude et la précision des méthodes d'échantillonnage et d'analyse que nous utilisons, et nous cherchons des moyens de les améliorer. Les données que nous recueillons et communiquons contribuent à inspirer confiance en la salubrité et la fiabilité des grains canadiens chez les producteurs, les associations de producteurs, les exportateurs, les partenaires gouvernementaux et les utilisateurs finaux.

### Plans d'échantillonnage pour mesurer les mycotoxines

Les méthodes d'échantillonnage et le traitement des échantillons sont les étapes les plus importantes du processus d'analyse de nombreux contaminants du grain. L'[outil d'échantillonnage de mycotoxines](#) (en anglais) en libre accès de l'[Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture](#) permet aux utilisateurs de modifier des paramètres, tels que la taille des échantillons et leur nombre, afin d'estimer le

risque de classification erronée de cargaisons comme étant conformes à des niveaux maximaux définis de contaminants, sans avoir à effectuer d'analyses de laboratoire. Nous avons évalué le potentiel de variation des données à l'aide de différents plans d'échantillonnage et avons constaté que les plans d'échantillonnage actuels de la [Norme générale CODEX pour les contaminants et les toxines présents dans les produits de consommation](#)

[humaine et animale](#) (en anglais) pour le maïs et le blé pourraient entraîner une erreur de mesure totale supérieure ou égale à 90 % des teneurs maximales actuelles et proposées pour l'ochratoxine A (blé) et les aflatoxines (maïs). Nous avons également constaté que c'est l'augmentation de la taille de l'échantillon de laboratoire de 1 kg à 5 kg qui avait la plus grande incidence sur la minimisation de la variance due à l'échantillonnage (figure 1).

### Membres de l'équipe

#### Chercheuse et gestionnaire de programme

Sheryl Tittlemier, Ph. D.

#### Chimistes

Mei Huang, Hoangkim Luong, Suresh Patel

#### Techniciens

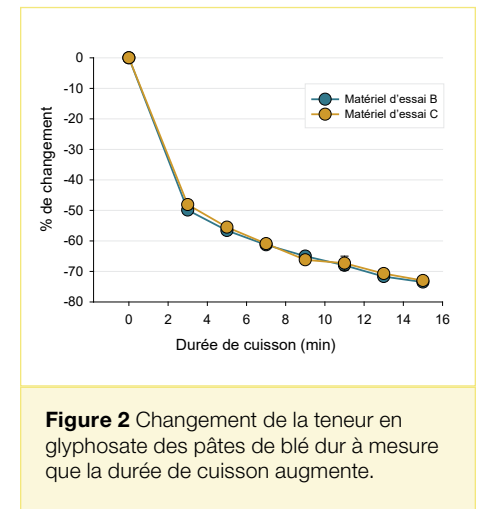
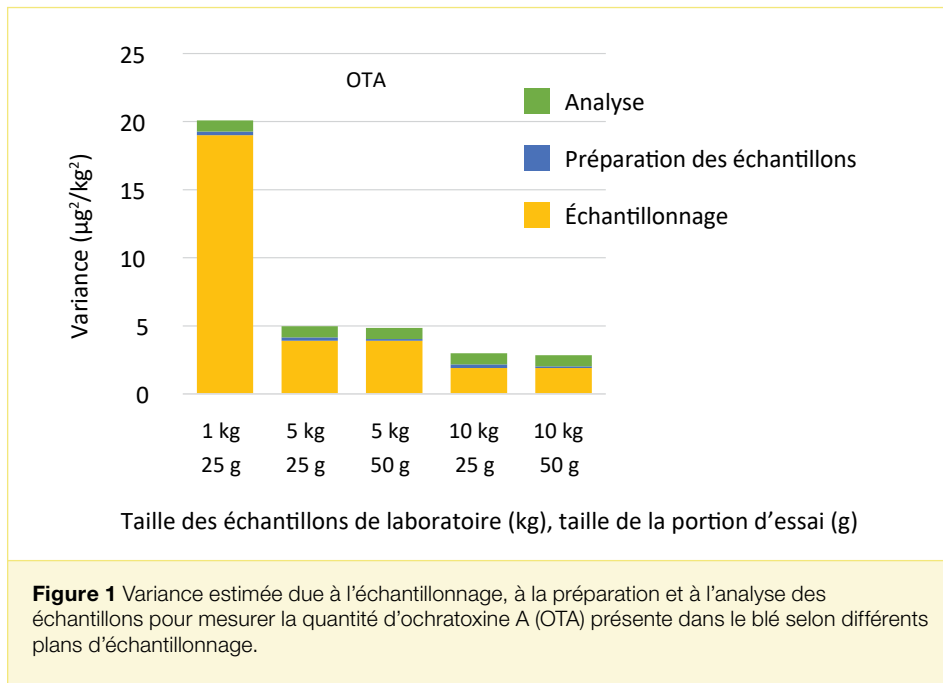
Lianna Bestvater, Michael Bestvater, Richard Blagden, Daniel Bockru, Jason Chan, Joshua Crellin, Dainna Drul, Valentina Timofeiev, Michael Tran, Tanya Zirdum

## Meilleure compréhension de la salubrité des aliments

Dans une autre étude, nous avons examiné ce qui arrive à deux produits chimiques, le cadmium et le glyphosate, lorsque des pâtes à base de blé dur sont cuites. Le cadmium est un métal lourd présent dans le sol et pouvant s'accumuler dans le blé dur, tandis que le glyphosate est un herbicide utilisé dans la lutte contre les mauvaises herbes. Nous nous sommes associés au groupe

de sélection du blé dur d'Agriculture et Agroalimentaire Canada, à Swift Current, en Saskatchewan, pour produire du blé dur contenant diverses concentrations de cadmium et de glyphosate. Avec l'aide d'autres programmes du Laboratoire de recherches sur les grains, nous avons broyé et transformé le blé dur en spaghettis secs. Nous avons constaté que les spaghettis cuits contenaient moins de glyphosate que les spaghettis crus, mais que leur teneur en cadmium était inchangée. Nous avons également constaté qu'une plus grande quantité

de glyphosate que de cadmium passait des spaghettis à l'eau utilisée pour les cuire. En cuisant les spaghettis pendant neuf minutes (*al dente*), environ 65 % du glyphosate contenu dans les pâtes était transféré à l'eau de cuisson (figure 2). Cette étude nous aide à mieux comprendre le devenir de ces produits chimiques durant la cuisson et à établir des règlements réalistes et pertinents pour gérer la présence de ces produits chimiques dans les grains.



## Une technologie améliorée réduit les biais

Au cours de la dernière année, nous avons en outre amélioré la manutention et le traitement des échantillons de grain dans le cadre du programme de surveillance des cargaisons en modifiant la technologie utilisée dans notre laboratoire. Lorsque nous recevons des échantillons de 10 kg destinés à une analyse des contaminants, nous produisons des sous-échantillons en utilisant un diviseur d'échantillon rotatif. Nous avons fait l'essai de nouveaux diviseurs rotatifs avec du canola, du lin, des pois, du soja et du blé, et nous avons observé que des quantités variables de grains ricochaient hors du carrousel du diviseur pour s'accumuler dans les coins du boîtier au lieu d'être dirigés vers les récipients du carrousel (figure 3). La masse de l'échantillon perdu était inversement corrélée à la masse

des grains individuels, le canola (masse moyenne de 0,004 g) étant le plus touché et les pois et le soja (masse moyenne de 0,2 g), les moins touchés.

Pour minimiser la perte d'échantillon, nous avons fait fabriquer et installer sur le carrousel du diviseur un collet métallique (figure 4). La modification a entraîné une diminution d'au moins 100 fois la perte

d'échantillon, qui est passée de 3 % à 0,03 % pour les pois et de 9 % à 0,06 % pour le canola. Cette amélioration de l'équipement utilisé pour traiter les échantillons permettra d'éviter la perte de grains plus légers et de qualité inférieure et de fausser ainsi les résultats d'évaluation de la qualité et de la salubrité des grains.



**Figure 3** Accumulation de grains exclus des sous-échantillons dans le boîtier d'un diviseur d'échantillon rotatif.



**Figure 4** Diviseur rotatif modifié avec un collet métallique minimisant la perte de grains dans les sous-échantillons.

## Publications récentes

**Tittlemier, S.A.**, L. Bestvater, J. Chan, V. Timofeiev, A. Richter, K. Wang, Y. Ruan, M. Izydorczyk et B.X. Fu. « Diverging fates of cadmium and glyphosate during pasta cooking ». *Food Addit. Contam.*, part A, vol. 40, no 11, p. 1459-1469 (2023). <https://doi.org/10.1080/19440049.2023.2264976> (en anglais)

**Tittlemier, S.A.** et T.B. Whitaker. « Current sampling plans can introduce high variance in mycotoxin testing results as demonstrated by the online FAO Mycotoxin Sampling Tool ». *World Mycotoxin J.*, vol. 16, no 2, p. 115-126 (2023). <https://doi.org/10.3920/WMJ2022.2804> (en anglais)