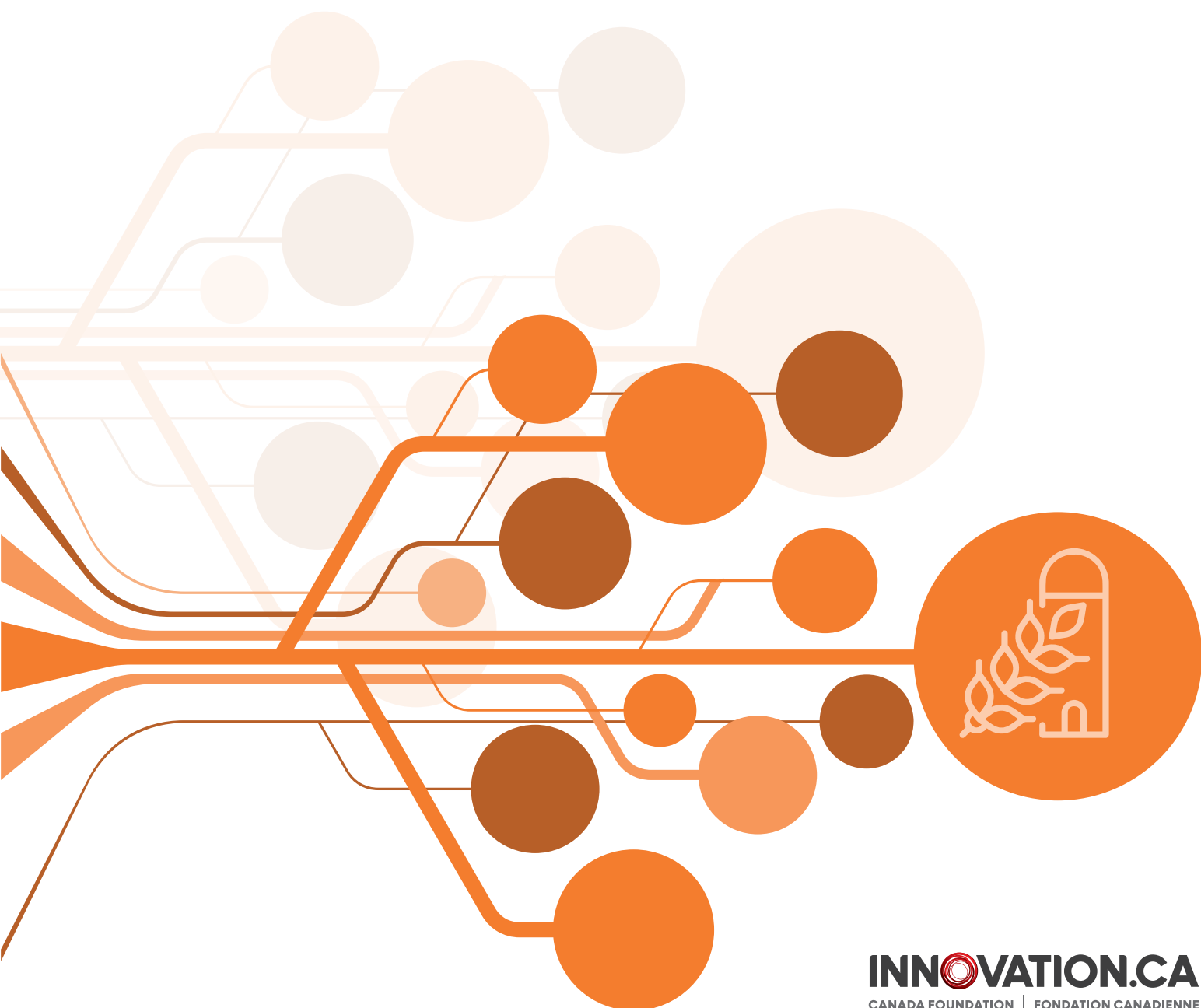


LES VOIES VERS LES RETOMBÉES : RECHERCHE AGRICOLE

Entreposage des grains

Avril 2018



REMERCIEMENTS

La FCI tient à remercier le personnel administratif des établissements ainsi que les nombreux chercheurs qui ont consacré leur temps et énergie à ce projet.

La FCI souhaite remercier Frédéric Bertrand ainsi que les membres du comité consultatif composé de représentants de 20 organismes, y compris des universités, des ministères provinciaux et fédéraux et des associations agricoles pour leur temps, leur expertise et leurs conseils dans le développement de ce projet.

MÉTHODE

À l'aide d'un cadre de collecte de données, nous avons étudié des documents administratifs et des données sur le rendement de projets précis : propositions de projets, budgets, rapports financiers, rapports d'avancement, rapports finaux, de même que des analyses bibliométriques des publications rédigées par les responsables de projet. Nous avons intégré au présent rapport les conclusions des entrevues et de l'étude des documents pour guider l'interprétation des résultats et montrer le lien logique entre le financement de la FCI et les données de recherche pouvant générer des retombées sociales, économiques et environnementales. Dans chaque domaine d'étude, nous avons sélectionné des sous-ensembles de projets que nous avons analysés minutieusement à l'aide de la méthode expliquée ci-dessus. Nous avons appliqué plusieurs critères de sélection afin de maximiser la collecte de données sur les voies vers les retombées tout en limitant le champ d'application de l'étude.

TABLE DES MATIÈRES

Résultats principaux.....	1
Entreposage des grains	3
Contexte.....	3
Investissements de la FCI.....	3
Fonds de contrepartie	4
Fonds de recherche.....	5
Réseaux, collaborations et relations.....	5
Formation, recrutement et maintien en poste	6
Transfert de connaissances	7
Retombées pour le Canada.....	8
Conclusion.....	9



RÉSULTATS PRINCIPAUX :

Les voies vers les retombées en recherche sur l'entreposage des grains

Le partage des ressources entre les chercheurs favorise les collaborations entre les disciplines et avec l'industrie.

- Les centres de recherche multidisciplinaire créés grâce au financement de la Fondation canadienne pour l'innovation (FCI) permettent aux chercheurs du domaine de l'entreposage des grains de collaborer aux échelles nationale et internationale.
- L'infrastructure favorise la collaboration entre les entreprises et les organismes concernés par les grains, tout en faisant participer les utilisateurs finaux au processus de recherche.

Les étudiants et les stagiaires entament et poursuivent des collaborations avec le secteur privé et le milieu postsecondaire.

- Les consortiums multinationaux permettent aux étudiants et aux stagiaires de travailler au sein d'entreprises et du milieu postsecondaire.
- La recherche agricole voit ses capacités augmenter quand les étudiants et les stagiaires obtiennent un emploi dans le secteur.
- Les diplômés poursuivent leur collaboration avec les chercheurs des installations financées par la FCI dans le cadre de leur emploi.

Les entreprises céréalières et les céréaliculteurs bénéficient des données générées par la recherche sur l'infrastructure.

- Le fait d'intégrer les utilisateurs finaux au processus de recherche permet aux chercheurs d'adapter leurs expériences aux difficultés rencontrées par les entreprises céréalières et les céréaliculteurs du Canada.
- La recherche contribue à l'établissement de bonnes pratiques et de lignes directrices en ce qui concerne les systèmes de gestion de l'entreposage des grains utilisés par les entreprises céréalières et les céréaliculteurs du Canada et d'ailleurs.
- Grâce aux travaux menés dans les centres de recherche financés par la FCI, on peut réduire les pertes d'aliments dues à un entreposage déficient, et ainsi améliorer la salubrité alimentaire.

ENTREPOSAGE DES GRAINS

Les investissements de la Fondation canadienne pour l'innovation dans la recherche sur l'entreposage des grains soutiennent l'ensemble du spectre des recherches, de la création d'installations de recherche multidisciplinaire au matériel de spectroscopie. Ces investissements permettent aux chercheurs d'améliorer les méthodes de tri, de manipulation et d'entreposage des grains.

CONTEXTE

En 2016, le Canada a produit près de 70 millions de tonnes de grains¹, ce qui en fait l'un des plus grands exportateurs de grains au monde. Les cultures passent par de nombreux processus pour réduire les pertes au champ et pendant la récolte et l'entreposage. Une fois récoltés, il faut généralement les placer dans des entrepôts, des silos ou des sacs à différents stades de la chaîne de distribution entre le producteur et le consommateur. La durée de cet entreposage varie selon la production, la transformation et la consommation. L'étape d'entreposage est d'autant plus nécessaire que les grains sont des produits saisonniers, mais consommés toute l'année.

Les grains entreposés en vrac peuvent être considérés comme un écosystème artificiel où interagissent des éléments biologiques, chimiques et physiques. Par ailleurs, différents facteurs comme les insectes, l'humidité, la moisissure, le gaz et la température peuvent nuire à la qualité et à la conservation des grains.

Pour éviter les pertes, il faut garantir les meilleures conditions possibles par un suivi et une gestion des interactions dans cet écosystème.

Au Canada, les critères de qualité des grains sont encadrés par la Commission canadienne des grains, un organisme fédéral qui relève d'Agriculture et Agroalimentaire Canada. Elle est chargée de faire appliquer la Loi sur les grains du Canada et le Règlement sur les grains du Canada afin d'établir

et de maintenir des critères de qualité pour le grain canadien, de réglementer la manutention du grain au Canada et d'assurer la fiabilité du grain sur les marchés intérieurs et étrangers.

Le présent rapport se penche sur les projets de recherche financés par la Fondation canadienne pour l'innovation (FCI) qui concernent les techniques, les méthodes et les structures d'entreposage des grains, et les techniques utilisées après la récolte pour améliorer la qualité des grains entreposés, ainsi que sur leurs retombées sociales, économiques et environnementales.

INVESTISSEMENTS DE LA FCI

La FCI verse des contributions financières aux universités, aux collèges, aux hôpitaux de recherche ainsi qu'aux organismes à but non lucratif canadiens pour qu'ils puissent accroître leur capacité à mener des recherches de grande qualité. Sur les 245,8 millions de dollars investis en tout dans l'infrastructure de recherche agricole, deux pour cent ont été consacrés à la recherche sur l'entreposage des grains, sur une période de seize ans.

Ainsi, entre 1999 et 2015, la FCI a investi 7,3 millions de dollars dans l'infrastructure de recherche sur l'entreposage des grains, par l'intermédiaire de quatre projets réalisés dans deux centres, comme le montre la **Figure 1**.

Le plus gros montant octroyé par la FCI dans ce domaine de recherche (cinq millions de dollars) est allé à la University of Saskatchewan, en 2006, pour la construction du Canadian Feed Research Centre, dirigé par Bernard Laarveld, Ph. D.

¹ Statistique Canada (23 août 2016), Production des principales grandes cultures, juillet 2016, tableau CANSIM 001-0010, <http://www.statcan.gc.ca/daily-quotidien/160823/dq160823a-fra.htm>

Ce centre offre l'infrastructure nécessaire à la recherche dans différents domaines, notamment la mise au point et la transformation d'aliments pour animaux, l'amélioration génomique des cultures et la nutrition animale.

Les 2,3 millions de dollars restants sont allés à trois projets de l'Université du Manitoba. Le premier projet fut la construction du Canadian Wheat Board Centre for Grain Storage Research, en 1999.

Exemples d'infrastructure financée par la FCI :

Équipement de recherche

- Caméras proche infrarouge à spectroradiométrie imageante
- Trieuse de grains TriQ de BoMill
- Balance graduées industrielles
- Technologie de séchage des grains (en couches minces et à température presque ambiante)
- Phytotrons à insectes
- Balances
- Ordinateurs

Construction

- Canadian Feed Research Centre
- Canadian Wheat Board Centre for Grain Storage Research
- Rénovations des laboratoires

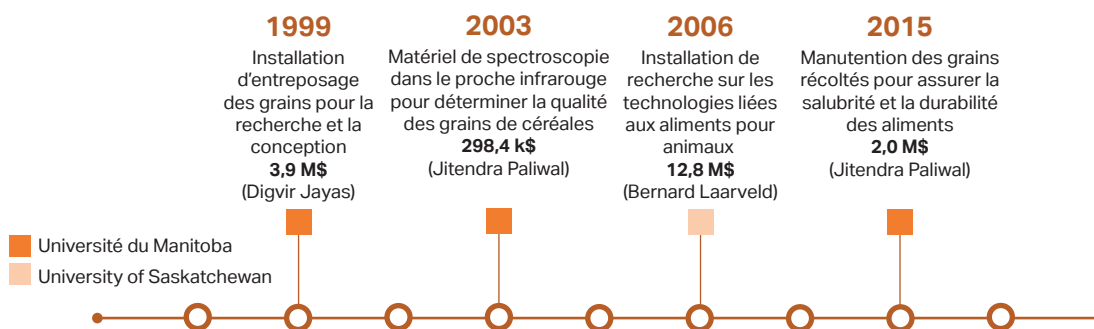


Dirigé par Digvir Jayas, Ph. D., ce projet de recherche interdisciplinaire s'intéressait à différents aspects de la gestion des grains entreposés, notamment l'ingénierie et la biologie. Quant aux deux autres projets financés par la FCI, en 2003 et en 2015, ils ont permis, sous la direction de Jitendra Paliwal, Ph. D., l'acquisition de caméras spécialisées et de matériel de spectroscopie qui détectent automatiquement la détérioration des grains.

FONDS DE CONTREPARTIE

Les contributions de la FCI représentent parfois jusqu'à 40 pour cent du coût d'un projet. S'y ajoutent les sommes versées par les gouvernements provinciaux en contrepartie de la contribution d'établissements ou de partenaires privés, comme le montre la **Figure 2**. Les quatre projets ont reçu du financement important de tous les secteurs, en particulier du secteur privé grâce à nombreux partenariats et investissements. Par exemple, le projet de Jitendra Paliwal, financé par la FCI en 2015, a reçu des investissements en nature de treize entreprises différentes, lesquels ont permis de contribuer à l'infrastructure du laboratoire et d'acheter du matériel et des capteurs optiques pour les installations d'entreposage. Dirigé par Bernard Laarveld, le Canadian Feed Research Centre a reçu d'importantes sommes du ministère de l'Agriculture de la Saskatchewan, de Diversification de l'économie de l'Ouest Canada et de l'entreprise Cargill, pour un montant total de neuf millions de dollars.

▼ **Figure 1 :** Chronologie des projets de la FCI liés à l'entreposage des grains



Note : Données administratives de la FCI, au 15 avril 2016. Les montants en dollars reflètent le coût total du projet, dont seulement environ 40 pour cent est la contribution de la FCI. Les montants de certains projets sont fondés sur des rapports financiers intérimaires et sont donc provisoires.

FONDS DE RECHERCHE

Grâce au financement de l'infrastructure par la FCI, les trois responsables de projet ont pu obtenir du financement additionnel. Comme le montre la **Figure 3**, les sources de financement sont variées : gouvernements fédéral et provincial, organismes à but non lucratif, secteur privé, associations industrielles et milieu postsecondaire.

Les chercheurs du Canadian Wheat Board Centre for Grain Storage Research et du Canadian Feed Research Centre ont obtenu du financement de sources diverses comme le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada, Diversification de l'économie de l'Ouest Canada, les programmes provinciaux de développement agricole et rural, le Conseil d'adaptation rurale du Manitoba, le Conseil canadien du canola, Pulse Canada, Saskatchewan Pulse Growers, Mitacs, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Agriculture Development Fund et l'Université du Manitoba. Les étudiants qui travaillent dans les laboratoires du Canadian Wheat Board Centre for Grain Storage Research ont reçu des bourses de recherche de l'Université et du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada, ainsi que du financement du secteur privé.

RÉSEAUX, COLLABORATIONS ET RELATIONS

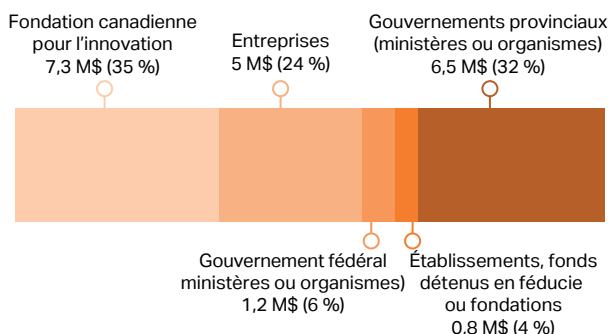
Les chercheurs du Canadian Wheat Board Centre for Grain Storage Research et du Canadian Feed Research Centre collaborent beaucoup avec d'autres groupes aux échelles locale, nationale et internationale : milieu postsecondaire, secteur privé et organismes à but non lucratif. Le monde vit au rythme des importations et des exportations des principaux produits alimentaires, et des consortiums internationaux naissent d'un désir commun de réduire les pertes après la récolte et d'améliorer la qualité des biens envoyés à l'étranger ou conservés sur le territoire. Dans bien des cas, des relations internationales se forment quand les membres de l'équipe de recherche rencontrent d'autres personnes à l'occasion de congrès hors du Canada.

Voici quelques collaborateurs qui ont travaillé ou qui travaillent encore avec ces deux centres :

Associations industrielles

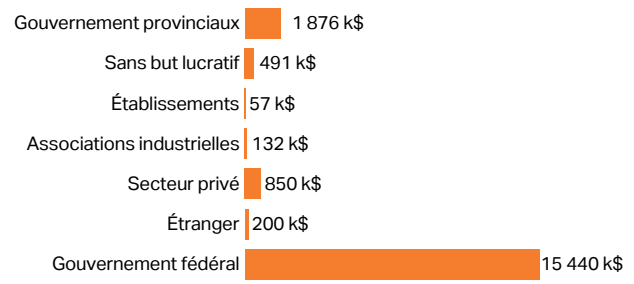
- Pulse Canada
- Association de nutrition animale du Canada
- Institut international du Canada pour le grain
- Conseil canadien du canola
- Fédération nationale des coopératives agricoles de Corée

▼ **Figure 2** : Fonds de contrepartie pour les investissements de la FCI pour les projets liés à l'entreposage des grains



Note : Données administratives de la FCI, au 15 avril 2016. Les montants de certains projets sont fondés sur des rapports financiers intérimaires et sont donc provisoires.

▼ **Figure 3** : Fonds de recherche obtenus par les responsables de projet depuis le financement initial de la FCI



Note : Les contributions et montants indiqués ont été soumis et validés par les responsables de projet et ne comprennent que les fonds obtenus depuis l'année de la contribution initiale de la FCI. Il se peut que ces montants aient été comptés plus d'une fois, puisque plusieurs responsables de projet peuvent être codemandeurs.

Secteur public

- Conseil national de recherches du Canada
- Agricultural Research Service (États-Unis)
- Agriculture et Agroalimentaire Canada

Établissements postsecondaires et centres de recherche

- Purdue University
- Centre canadien de rayonnement synchrotron
- Central Scientific Instruments Organisation (Inde)
- University of Port Harcourt
- Wageningen University
- Seoul National University
- Centre national de génie et de technologie sur les aliments pour animaux, China Agricultural University
- Universidad de las Américas Puebla

Secteur privé

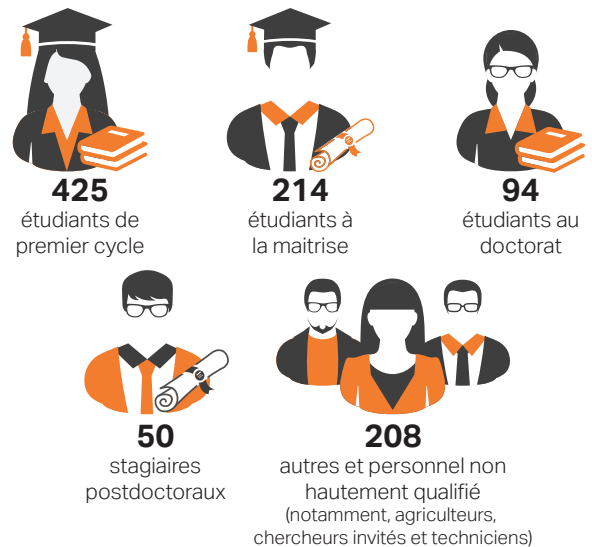
- Perten Instruments
- 151 Research
- Spectrum Scientific
- Channel Systems
- Ag Growth International
- Fortek
- Cargill

FORMATION, RECRUTEMENT ET MAINTIEN EN POSTE

L'infrastructure de recherche améliore le milieu de formation et contribue au perfectionnement des étudiants de premier cycle et des cycles supérieurs et des stagiaires postdoctoraux qui entreprennent de la recherche sur l'entreposage des grains dans les installations en question, dont beaucoup ont obtenu un emploi dans un établissement postsecondaire ou le secteur privé. Depuis 2013, le Canadian Feed Research Centre forme des étudiants de premier cycle et des cycles supérieurs depuis 2013.

Rien qu'au premier cycle, environ 160 étudiants y ont découvert les techniques de classification, de transformation et d'entreposage des produits primaires pour animaux, et la transformation des aliments concentrés pour cochons.

L'infrastructure financée par la FCI a contribué à former du personnel hautement qualifié² y compris :



Les connaissances et les compétences acquises grâce à la formation suivie au Canadian Wheat Board Centre for Grain Storage Research ont permis à plusieurs d'obtenir un emploi dans un établissement postsecondaire ou le secteur privé. Parmi les anciens stagiaires, beaucoup continuent à collaborer avec les chercheurs du centre, tandis que d'autres ont obtenu un poste de professeur dans leur ancien département. Par exemple, Fuji Jian et Jitendra Paliwal, Ph. D., qui ont tous deux terminé leur formation ou leurs études de premier cycle au centre sous la supervision de Digvir Jayas, sont maintenant professeurs au département de biosystèmes et de génie de l'Université du Manitoba et continuent de travailler avec l'équipe du centre.

² Le personnel hautement qualifié comprend les techniciens, les associés de recherche, les étudiants de premier cycle, les étudiants à la maîtrise et au doctorat, et les stagiaires postdoctoraux. Données soumises par les responsables de projet.

Beaucoup d'anciens étudiants trouvent aussi un emploi dans le secteur privé. Par exemple, Mahesh Sivakumar, qui a terminé une maîtrise et un doctorat au Canadian Wheat Board Centre for Grain Storage Research, est maintenant ingénieur des procédés et biosystèmes à POS Bio-Sciences. Wenbo Wang, qui lui était stagiaire postdoctoral au centre, a obtenu un emploi à la British Columbia Cancer Agency et à Intellectual Ventures, à Seattle.

Si l'Université du Manitoba a pu garder M. Paliwal comme professeur-chercheur après sa formation sous la direction de M. Jayas, c'est notamment grâce à l'infrastructure du Canadian Wheat Board Centre for Grain Storage Research. Au Canadian Feed Research Centre, c'est la nouvelle infrastructure de recherche qui a contribué à attirer Tom Scott, Ph. D., un chercheur qui travaillait auparavant dans une grande entreprise européenne de nutrition animale.

TRANSFERT DE CONNAISSANCES

Les recherches menées au Canadian Wheat Board Centre for Grain Storage Research et au Canadian Feed Research Centre ont fait progresser les connaissances sur l'entreposage des grains. Les responsables de projet qui ont reçu du financement de la FCI figurent parmi les chercheurs canadiens en agriculture qui publient le plus d'articles. Par ailleurs, près de 90 pour cent des articles des trois responsables de projet de ces deux centres ont été cités. Qui plus est, de 2008 à 2014, MM. Jayas et Paliwal étaient au-dessus de la moyenne mondiale de l'influence pondérée des citations, M. Jayas ayant produit le plus grand nombre de publications³.

Les résultats des recherches menées par l'équipe du Canadian Wheat Board Centre for Grain Storage Research ont été publiés dans le monde entier et ont grandement influé sur les pratiques de gestion

³ Analyse bibliométrique pour la période de 2008 à 2014, réalisée par la FCI sur l'outil InCite de Web of Science. Des articles et des citations pourraient avoir été comptés plus d'une fois, puisque plusieurs responsables de projet peuvent rédiger le même article.

et de recherche liées à l'entreposage des grains dans des pays comme l'Ukraine, la Chine, l'Inde, les États-Unis et le Canada. L'Université de finance et d'économie de Nankin, en Chine, fait partie des collaborateurs du centre. Elle a notamment construit un laboratoire de recherche sur les grains qui reproduit exactement le système initial du centre. D'autres laboratoires canadiens ont installé une infrastructure similaire à celle du centre pour leur recherche sur l'entreposage des grains.

« Nous participons à de nombreux événements agricoles et publions des articles dans les journaux et magazines locaux, ce qui nous permet de rester en contact avec les gens et de faire connaître nos travaux. »

Jitendra Paliwal, Université du Manitoba

Au Canadian Feed Research Centre, les chercheurs évaluent des techniques de conditionnement des aliments pour animaux, ainsi que les effets de l'humidité, de la température et des autres conditions d'entreposage sur la qualité des aliments. Ils tentent également de trouver des façons de réduire les toxines et les maladies potentiellement nocives pour les cultures en triant les grains avant l'entreposage. Tous les membres du secteur des aliments pour animaux et de l'industrie du bétail ont bénéficié des recherches et des ateliers du Canadian Feed Research Centre. Les chercheurs y testent la salubrité et l'efficacité des aliments, qui sont ensuite soumis à l'approbation de l'Agence canadienne d'inspection des aliments. Leur objectif est de trouver des solutions de rechange abordables tout en améliorant la santé et le volume de production du bétail d'élevage.

Le Canadian Feed Research Centre a offert un atelier pratique sur la transformation des aliments pour l'Association de nutrition animale du Canada et un autre atelier du même type sur le tri des grains avec la trieuse de BoMill.

Les chercheurs publient des articles, certes, mais ils informent aussi les agriculteurs et les céréaliculteurs canadiens, qui peuvent ainsi bénéficier directement des résultats de leurs recherches. Ce fut notamment le cas au Canadian Feed Research Centre en décembre 2014, où s'est tenu un événement visant à faire découvrir à 37 agriculteurs et acteurs du commerce des grains dans l'Ouest canadien de nouvelles méthodes pour éliminer le *Fusarium* sur le blé et le blé dur. L'équipe de M. Jayas a aussi créé un CD-ROM de données et de pratiques sur l'entreposage des grains, qu'Agriculture et Agroalimentaire Canada et l'Université du Manitoba ont ensuite remis à leurs partenaires étrangers et aux agriculteurs canadiens. Les chercheurs ont eu une influence sur les pratiques de gestion de l'entreposage des grains au pays et dans le monde entier, et ils ont mis au point différents outils et dispositifs importants (comme le CD-ROM) qui peuvent générer des retombées environnementales et économiques.

RETOMBÉES POUR LE CANADA

Les investissements de la FCI dans l'infrastructure de recherche sur l'entreposage des grains ont eu des retombées sociales (création d'emplois et collaboration avec les agriculteurs), économiques (utilisation des technologies de tri et augmentation de la productivité) et environnementales (réduction des pesticides et des produits chimiques sur les cultures).

L'automatisation de l'industrie des grains a tardé à s'implanter, mais la création du Canadian Wheat Board Centre for Grain Storage Research et les travaux de ses chercheurs ont beaucoup accéléré les choses. Ces travaux contribuent d'ailleurs à améliorer la qualité des grains exportés,

ce qui réduit les pertes financières pour les producteurs canadiens et génère donc des retombées économiques favorables. L'équipe a notamment conçu le « Grain-o-bot », un robot qui inspecte les grains dans les wagons, ce qui réduit considérablement le besoin de main-d'œuvre et permet aux travailleurs de privilégier d'autres aspects du processus de livraison.

« Quand le Canadian Feed Research Centre a reçu les résultats, nous avons créé un atelier destiné au secteur privé, aux producteurs et au gouvernement. L'entreprise Standard Nutrition, du Manitoba, a construit une usine expressément pour ces trieuses. En 2014, il y avait des millions de tonnes de grains touchés par le *Fusarium*. Cette maladie menace la salubrité alimentaire mondiale, et notre solution aura des retombées durables. »

Rex Newkirk, titulaire d'une Chaire de recherche dotée du ministère de l'Agriculture sur les technologies de transformation des aliments pour animaux, University of Saskatchewan

Dernièrement, l'équipe de M. Paliwal s'est servie d'une technologie de dépistage du cancer qu'elle a adaptée pour améliorer le contrôle de l'humidité dans les cellules à grains et le rendre plus sûr : en utilisant l'imagerie électromagnétique pour créer le profil 3D d'une cellule, l'équipe peut repérer les poches de grains humides qui risquent de surchauffer et de se gâter. Ce système aidera les agriculteurs à réduire les pertes après la récolte, que l'on estime à plus d'un milliard de dollars par an au Canada.

Notons qu'il y a eu d'autres retombées économiques positives découlant de la création d'un moyen de lutte contre le Fusarium, le plus grand fléau des cultures de l'Ouest canadien. Ce champignon difficile à détecter est toxique pour l'être humain et l'animal, et il rend les grains inutilisables dès qu'il les touche. La perte des grains et leur élimination peuvent coûter cher aux agriculteurs.

Pour lutter contre ce fléau, les chercheurs du Canadian Feed Research Centre ont adopté une technologie d'imagerie infrarouge – fruit d'une collaboration entre le Canadian Wheat Board Centre for Grain Storage Research et l'entreprise Cargill –, qu'ils ont combinée à la trieuse de BoMill. Ils l'ont d'abord testée sur cinq tonnes de blé produit par un agriculteur de la Saskatchewan, dont sept pour cent étaient infectés par le Fusarium. Les chercheurs ont réussi à réduire cette proportion à moins d'un pour cent en repérant et en retirant les grains infectés. La valeur du blé testé est ainsi passée de 0 dollar (puisque l'infection avait rendu la culture inutilisable) à 260 dollars par tonne. Ces travaux généreront d'importantes retombées économiques pour les agriculteurs qui pourront désormais tirer profit des récoltes qu'ils auraient normalement dû jeter entièrement.

CONCLUSION

Les investissements de la FCI dans l'infrastructure de recherche sur l'entreposage des grains ont produit des découvertes importantes et des retombées positives pour les pratiques agricoles au Canada et dans le monde. Les responsables de projet financés par la

FCI ont mobilisé du financement auprès de toutes sortes d'organismes dans différents secteurs pour faire avancer la recherche sur l'entreposage des grains et améliorer les pratiques de gestion en la matière, notamment grâce aux innovations techniques et à l'automatisation. Grâce au programme de formation poussé des centres de recherche, plusieurs anciens étudiants et stagiaires postdoctoraux ont pu obtenir un emploi dans leur domaine dans un établissement postsecondaire ou le secteur privé ou, pour bon nombre d'entre eux, continuer à travailler dans ces centres ou à collaborer avec eux.

Les résultats découlant des investissements de la FCI dans la recherche sur l'entreposage des grains se traduisent d'emblée par la création d'emplois dans le secteur de la fabrication et par la formation de personnel qualifié. Qui plus est, la réduction des pertes après la récolte, fruit de l'amélioration des technologies et de la diffusion des bonnes pratiques, profite directement aux entreprises céréalères et aux céréaliculteurs et augmente la quantité de grains répondant aux critères canadiens.

