

● NEUTRONS.CA



Rapport d'activités 2011 – 2013

**CENTRE CANADIEN DE  
FAISCEAUX DE NEUTRONS**  
Sonder les matériaux pour  
la science et l'industrie



## Centre canadien de faisceaux de neutrons Rapport d'activités à L'Institut canadien de la diffusion des neutrons pour 2011, 2012 et 2013

Une série de rapports techniques soumis par notre communauté d'utilisateurs internationaux relatifs à leurs expériences au Centre canadien de faisceaux de neutrons complète ce rapport sommaire d'activités. Les rapports techniques sont disponibles en ligne et sont présentés dans la langue dans laquelle ils ont été écrits :  
<http://www.cins.ca/expreports.html>.

### TABLE DES MATIÈRES

- ▶ 4 Fonctionnement d'une installation de faisceaux de neutrons
- ▶ 6 Message du directeur
- ▶ 7 Statistiques pour les années 2011 à 2013
- ▶ 9 Sondage de matériaux pour l'industrie
- ▶ 16 Sondage de matériaux pour le gouvernement
- ▶ 18 Sondage de matériaux pour la science
- ▶ 24 Mises à niveau des installations
- ▶ 25 Cours d'été sur la diffusion des neutrons
- ▶ 27 Listes des publications

Available in English

[cnbc@aecl.ca](mailto:cnbc@aecl.ca)  
[www.neutrons.ca](http://www.neutrons.ca)  
Station 18, Laboratoires de Chalk River  
Chalk River (Ontario) CANADA K0J 1J0

## SONDER LES MATÉRIAUX POUR LA SCIENCE ET L'INDUSTRIE

*Le Centre canadien de faisceaux de neutrons (CCFN) à EACL permet à des centaines de clients du secteur privé et des universités d'utiliser des méthodes et des instruments à neutrons puissants uniques pour faire avancer leurs programmes de recherche et de développement sur les matériaux.*

**Nos clients de l'industrie proviennent de nombreux secteurs industriels :**

Aérospatiale > Automobile > Biotechnologie > Électronique  
Production de métaux > Exploitation minière > Énergie nucléaire  
Pétrole et gaz > Autres énergies > Services de R et D

**Nos clients gouvernementaux canadiens sont :**

Énergie atomique du Canada Ltée > Commission canadienne de sûreté nucléaire  
Ressources naturelles Canada > Recherche et développement pour la défense Canada  
Conseil national de recherches Canada > Bureau de la sécurité des transports



- |                                  |  |
|----------------------------------|--|
| 1 University of British Columbia | 19 Royal Military College                |
| 2 Simon Fraser University        | 20 Carleton University                   |
| 3 University of Calgary          | 21 University of Ottawa                  |
| 4 University of Alberta          | 22 Concordia University                  |
| 5 University of Saskatchewan     | 23 Université de Montréal                |
| 6 Brandon University             | 24 École Polytechnique de Montréal       |
| 7 University of Manitoba         | 25 McGill University                     |
| 8 University of Winnipeg         | 26 Université Laval                      |
| 9 Lakehead University            | 27 École de technologie supérieure       |
| 10 University of Windsor         | 28 Université INRS                       |
| 11 Western University            | 29 Université du Québec à Trois-Rivières |
| 12 University of Waterloo        | 30 Université de Sherbrooke              |
| 13 University of Guelph          | 31 Mount Allison University              |
| 14 McMaster University           | 32 University of PEI                     |
| 15 Ryerson University            | 33 Dalhousie University                  |
| 16 University of Toronto         | 34 Saint Francis Xavier University       |
| 17 Brock University              | 35 Memorial University                   |

Les installations spécialisées et l'expertise du CCFN appuient l'innovation des entreprises et servent de ressources aux Canadiens pour la formation et le travail à la fine pointe de la science et de la technologie. Chaque année, plus de 200 chercheurs, ingénieurs et étudiants provenant d'universités, de laboratoires gouvernementaux et du secteur privé prennent part à des recherches fondées sur l'accès à nos six lignes de faisceaux de neutrons. Sur une période de cinq ans typique, plus de 700 personnes provenant de plus de 60 départements dans plus de 30

universités canadiennes et de plus d'une centaine d'institutions étrangères dans plus de 20 pays, effectuent des recherches au CCFN. Le CCFN permet la réalisation de recherches industrielles dans des secteurs comme l'énergie nucléaire, l'aérospatiale, l'automobile, le pétrole et le gaz, la défense et la production de métaux de première transformation. En général, plus de 85 % du temps de disponibilité des faisceaux de neutrons du CCFN est offert aux utilisateurs externes.



# FONCTIONNEMENT D'UNE INSTALLATION FAISCEAUX DE NEUTRONS

## Aperçu d'une expérience

Des chercheurs canadiens et du monde entier viennent utiliser des faisceaux de neutrons pour sonder des matériaux et trouver des solutions aux défis dans les domaines de la santé, de l'industrie et de la science. À partir des interrogations initiales sur la faisabilité d'une expérience jusqu'à l'interprétation finale des résultats, les scientifiques et le personnel technique du CCFN se mettent à la disposition des utilisateurs pour assurer à tout utilisateur l'accès à cette ressource nationale.

Lorsque des neutrons traversent un matériau, celui-ci modifie les propriétés du faisceau, comme sa direction, son énergie ou sa polarisation magnétique. Par la détection de ces modifications, les chercheurs peuvent déduire certaines propriétés du matériau, comme sa structure atomique ou des contraintes.



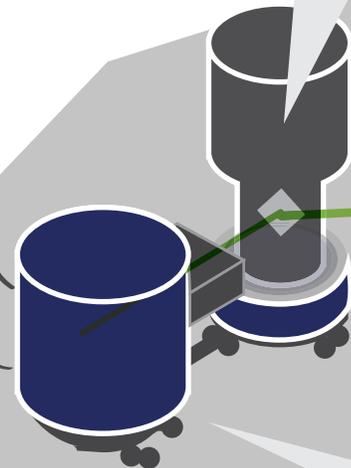
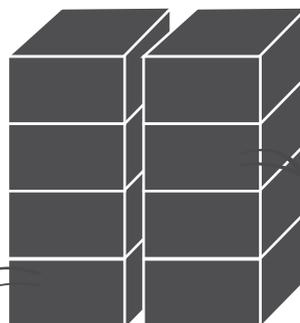
### 1. Arrivée d'un utilisateur

En général, un chercheur arrive au CCFN après avoir préparé un échantillon du matériau à étudier. Dans certains cas, les échantillons peuvent être préparés sur place.



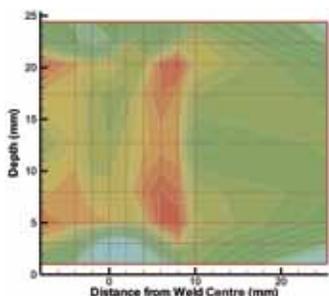
### 5. Échantillon de matériau

Un échantillon de matériau est placé dans le faisceau émergent. Lorsque les neutrons traversent le matériau, celui-ci modifie les propriétés du faisceau, comme sa direction, son énergie ou sa polarisation magnétique. Généralement, le faisceau est diffracté dans beaucoup de directions. Une chambre entourant le matériau permet de contrôler les conditions expérimentales, comme la température, la pression ou les champs magnétiques.



### 8. Analyse des données

L'analyse des données se poursuit habituellement après le retour de l'utilisateur dans son institution. Les scientifiques du CCFN font un suivi avec les utilisateurs pour les aider à analyser et à interpréter les résultats.

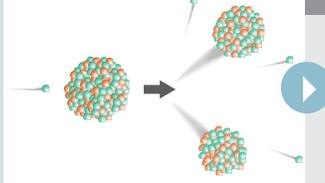


### 7. Interface utilisateur et électronique

Un circuit électronique spécialisé permet de commander chaque partie de la ligne de faisceau et de recueillir les données expérimentales. Des postes de travail servent d'interface, permettant de gérer l'expérience et d'effectuer une analyse préliminaire des résultats.



## 2. Production des neutrons



Les neutrons sont de petites particules appartenant aux atomes. Lorsque des atomes d'uranium sont fractionnés dans le coeur du réacteur, des neutrons sont émis dans toutes les directions avec des énergies très différentes.

## 3. Production d'un faisceau



Plusieurs tubes traversant la paroi du réacteur permettent à des neutrons de sortir sous forme de faisceau. Les neutrons excédentaires sont absorbés par la paroi du réacteur.

## 4. Préparation du faisceau



Un matériau cristallin diffracte le faisceau, c'est-à-dire qu'il divise le faisceau en fonction de l'énergie des neutrons. Une voie est placée de façon à permettre aux neutrons d'une certaine énergie désirée seulement d'atteindre l'échantillon de matériau. Les autres neutrons sont absorbés par la paroi du grand cylindre dans lequel se trouve le cristal.

## 6. Détection des neutrons



Un système de détection mobile permet de déterminer l'intensité du faisceau diffracté dans différentes directions.



John Root,  
directeur du Centre canadien  
de faisceaux de neutrons

## TROIS ANNÉES DE SOLIDES PERFORMANCES AU MILIEU DE DÉFIS

### MESSAGE DU DIRECTEUR

*Le CCFN a jouit de trois belles années pendant lesquelles il a fourni des faisceaux de neutrons aux chercheurs depuis que le réacteur national de recherche universel (NRU) de Chalk River a été remis en service le 17 août 2010.*

Le présent rapport fournit des statistiques sur nos services aux utilisateurs et fait ressortir des exemples de recherches actuelles entreprises au CCFN, ainsi que les impacts de ces travaux. Les solides performances du CCFN se sont poursuivies malgré des incertitudes quant à son financement et la gouvernance pendant cette période.

En avril 2012, le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie (CRSNG) a avisé l'Institut canadien de la diffusion des neutrons (ICDN) qu'il imposait un moratoire sur son Programme d'appui aux ressources majeures. En fait, comme la demande de l'ICDN du soutien au CCFN était « très méritoire », le CRSNG a octroyé une année de décroissance du financement afin de faciliter la transition.

Ce financement transitoire a permis de trouver d'autres sources sans que le service à nos utilisateurs en souffre. Le Conseil national de recherches Canada (CNRC) a négocié une entente de

## Statistiques 2011 - 2013

Pendant les trois années de 2011 à 2013, le CCFN a fourni 3926 jours de faisceaux. Ce temps de faisceau a été réparti entre 336 expériences de 219 projets.

92 % de ce temps de faisceau a été occupé par des projets d'utilisateurs provenant d'universités canadiennes, d'institutions étrangères, de laboratoires gouvernementaux ou de l'industrie.

Les 8 % restants du temps de faisceau ont été utilisés par le CCFN pour développer de nouvelles applications et

des techniques innovatrices d'utilisation des faisceaux de neutrons, ou à des fins d'entretien et d'essais.

Le CCFN a maintenu un solide engagement envers la communauté des utilisateurs; 551 personnes ont participé à des recherches dépendant d'un accès au CCFN. Il s'agissait de 62 personnes provenant de laboratoires industriels et gouvernementaux canadiens, ainsi que de 181 personnes provenant de 70 départements universitaires de 30 universités canadiennes de 7 provinces (Alberta, Colombie-Britan-

nique, Manitoba, Nouvelle-Écosse, Ontario, Québec et Saskatchewan).

Le CCFN est resté très engagé dans des collaborations avec l'étranger. Des 551 participants aux recherches, les 308 autres provenaient de 104 institutions étrangères de 20 pays (Australie, Autriche, Belgique, Brésil, Chine, France, Allemagne, Inde, Italie, Japon, Luxembourg, Pays-Bas, Russie, Slovaquie, Corée du Sud, Espagne, Suisse, Taiwan, Royaume-Uni et États-Unis).

deux ans pour transférer à partir du 1er avril 2013 les opérations et le financement du CCFN à Énergie atomique du Canada limitée (EACL). Le CNRC continue à être la propriété du CNRC.

Le CCFN continue comme avant à offrir un accès aux faisceaux de neutrons, cette fonction entrant dans le cadre du programme d'EACL qui consiste à permettre à la communauté canadienne des sciences et de la technologie d'accéder à l'infrastructure et à l'expertise de l'innovation nucléaire fédérale afin de faciliter leurs projets d'innovations.

**Le CCFN représente l'une des trois missions du réacteur NRU d'EACL, qui est**

- ▶ la seule source importante de neutrons du Canada, qui fournit des neutrons au CCFN;
- ▶ le seul réacteur important d'essais sur les matériaux du Canada, qui soutient la recherche et le développement entrepris par l'industrie nucléaire;
- ▶ une importante installation de la production mondiale de radio-isotopes médicaux.

Les plans stratégiques d'EACL indiquent une intention de renouveler le permis du réacteur pour cinq ans supplémentaires et de poursuivre sa mission, sauf en ce qui concerne la production de l'isotope Mo-99.

**Notre question et préoccupation prédominantes restent la perspective à long terme de la source canadienne de neutrons.**

Le futur à long terme du réacteur NRU et l'éventualité d'un nouveau réacteur de recherche canadien attendent des décisions du gouvernement quant à des investissements dans un programme d'innovation nucléaire induit par l'industrie.

En attendant, le CCFN rajeunira et étendra ses compétences en matière de recherche utilisant la diffusion des neutrons en construisant des nouvelles installations de faisceaux de neutrons, développant des applications de la diffusion des neutrons à de nouveaux domaines scientifiques et technologiques, et en soutenant la communauté canadienne animée et grandissante d'utilisateurs des neutrons.



**Vue de dessus du réacteur NRU qui fournit des neutrons au CCFN destinés à la recherche sur les matériaux.**

## Statistiques sur les utilisateurs du CCFN

Fonction communautaire	Indicateur	2008	2009 <sup>1</sup>	2010 <sup>1</sup>	2011	2012	2013
Accès	Nombre d'utilisateurs <sup>2</sup>	161	96	87	162	137	159
Accès de Canadiens	Utilisateurs venant d'institutions canadiennes	75%	72%	76%	61%	68%	66%
Participation	Nombre de participants à des recherches <sup>3</sup>	258	235	229	246	285	297
Stimulation de la collaboration internationale	Participants à des recherches venant d'institutions étrangères	39%	43%	48%	48%	54%	49%
Participation universitaire canadienne	Nombre d'universités canadiennes représentées par des participants à des recherches	18	19	18	24	21	17
Participation universitaire de différentes disciplines	Nombre de départements d'universités canadiennes représentées par des participants à des recherches	37	32	32	36	35	36
Formation du personnel hautement qualifié	Étudiants et boursiers de recherches postdoctorales en visite au CCFN pour effectuer des recherches	44	22	20	36	34	27

## Statistiques sur les installations du CCFN

Statistique	Indicateur	2008	2009 <sup>1</sup>	2010 <sup>1</sup>	2011	2012	2013
Capacité des lignes de faisceaux	Jours de fonctionnement du réacteur multipliés par six lignes de faisceaux	1578	606	594	1476	1440	1428
Efficacité des lignes de faisceaux	Pourcentage des jours de faisceaux disponibles occupés par des projets	88%	90%	92%	85%	90%	96%
Utilisation externe	Pourcentage du temps de faisceau de projet occupé par des projets dirigés par des utilisateurs.	86%	83%	93%	91%	95%	90%
Durée moyenne des expériences	Nombre moyen de jours de faisceaux par affectation.	10.5	9.0	11.9	11.5	12.4	11.3
Demandes de projets <sup>4</sup>	Nombre de nouvelles propositions reçues par année.	57	40	34	52	56	62

<sup>1</sup> Le réacteur NRU a été arrêté du 14 mai 2009 au 17 août 2010.

<sup>2</sup> Un utilisateur pendant une année donnée est défini comme une personne en visite au CCFN pendant l'année pour effectuer une expérience ou un coproporteur d'une expérience qui a été effectuée pendant l'année.

<sup>3</sup> Un participant à une recherche pendant une année donnée est une personne qui a été un utilisateur pendant l'année ou un coauteur d'un article rédigé à la suite d'un travail effectué au CCFN et publié pendant l'année. Il s'agit de mesures normalisées pour les installations de neutrons nord-américaines.

<sup>4</sup> Un projet sur deux environ nécessite plus d'un accès aux lignes de faisceaux. Chaque année, du temps de faisceau est octroyé généralement à 80 à 100 projets.



## SONDER LES MATÉRIAUX POUR L'INDUSTRIE

Ils pénètrent profondément dans des matériaux denses, comme les métaux et les alliages.

*Les neutrons disposent de propriétés uniques qui en font une sonde idéale pour la recherche industrielle :*

Ils interagissent avec les noyaux des atomes, ce qui permet une mesure précise des contraintes dans les matériaux et les composants.

Ils permettent de sonder des échantillons de matériaux tenus dans des conditions réelles de pression, de température et de contraintes.

Ils sont non destructifs; ils n'endommagent pas le spécimen sous observation.



À gauche : Production électrochimique de chlorate de sodium.

À droite : La contribution annuelle de l'industrie canadienne de fabrication du papier au PIB est de 8,8 milliards de dollars.

*MEEIR Technologie Inc. travaille en partenariat avec l'IREQ à la commercialisation de ces électrodes. L'IREQ a investi plus de 1 million de dollars en recherche et développement pour poursuivre leur développement.*

## Commercialisation d'une technologie d'économie d'énergie pour les fabricants de papier

*MEEIR Technologie Inc. cherche à commercialiser une technologie d'économie d'énergie à la suite d'une recherche effectuée au CCFN.*

MEEIR Technologie Inc. cherche à commercialiser une technologie d'économie d'énergie à la suite d'une recherche effectuée au CCFN.

L'industrie canadienne du chlorate de sodium est la plus importante au monde et ses revenus dépassent 350 millions de dollars par an.

Le chlorate de sodium est exporté aux États-Unis; au Canada, l'industrie de fabrication du papier en utilise pour 8,8 milliards de dollars par année pour blanchir ses produits de papier. Ces industries doivent faire face à un dollar canadien fort, à une baisse de la demande de papier journal et à une augmentation du coût de l'énergie.

Le coût de l'électricité représente plus de 45 % des coûts de production du chlorate de sodium, qui est produit par un procédé électrochimique. Un des moyens de contrer l'augmentation du coût de l'électricité consiste à conserver l'énergie en concevant des techniques de production plus efficaces. L'institut de recherche d'Hydro-Québec (IREQ), en particulier, a effectué au cours de la dernière décennie des recherches pour concevoir de nouvelles cathodes permettant à l'industrie d'économiser d'importantes quantités d'énergie évaluées à 6 millions de dollars annuellement au

Québec seulement.

Des chercheurs de l'IREQ ont accédé au CCFN pour comprendre le matériau de leur nouvelle cathode. Ils ont, en particulier, utilisé les lignes de faisceaux de neutrons pour localiser avec précision des positions atomiques dans un alliage nanocristallin, le Ti<sub>2</sub>RuFeOx. Une meilleure compréhension de ce matériau a permis de modifier la composition chimique de l'alliage afin d'améliorer ses performances.

Depuis avril 2007, MEEIR Technologie Inc. travaille en partenariat avec l'IREQ à la commercialisation de ces électrodes. L'IREQ a investi plus de 1 million de dollars en recherche et développement pour poursuivre leur développement. Des installations de fabrication de prototypes de cathodes à l'échelle industrielle ont été créées. MEEIR Technologie Inc. a travaillé avec les principaux producteurs canadiens de chlorate de sodium à l'exploitation de prototypes de cellules de production afin de démontrer la supériorité de leurs performances par rapport aux cellules de production actuellement utilisées. MEEIR a aujourd'hui mis fin à quelques années de démonstration d'exploitation dans des environnements de production; il s'agit d'une étape essentielle de démonstration au marché de la valeur de cette technologie améliorée.

## *Nos clients industriels bénéficient des fruits de la recherche passée tout en cherchant à récolter aujourd'hui des gains à venir.*

### Amélioration de la fiabilité de l'extraction du gaz naturel

*Schlumberger, entreprise pétrolière et gazière multinationale, a récemment effectué une recherche avec le CCFN visant l'amélioration de la fiabilité et la réduction des coûts de l'extraction de ces ressources. Cette recherche est basée sur la réussite d'un projet de Schlumberger réalisé il y a une dizaine d'années.*

La compétitivité à long terme de l'industrie canadienne pétrolière et gazière dépend en partie de technologies qui rendent plus économique le développement de ressources pétrolières et gazières non traditionnelles. Une technique d'extraction du gaz naturel non traditionnelle, qui se développe rapidement, est la fracturation hydraulique (fracturation) dans laquelle une solution à haute pression est injectée dans des puits de gaz anciens pour fracturer la roche et faciliter la libération du gaz. La partie de la pompe qui s'use le plus au cours de sa vie utile est le bout fluïdique. Le remplacement des bouts fluïdiques de nombreux puits représente une dépense de plusieurs millions de dollars pour l'industrie mondiale de la fracturation.

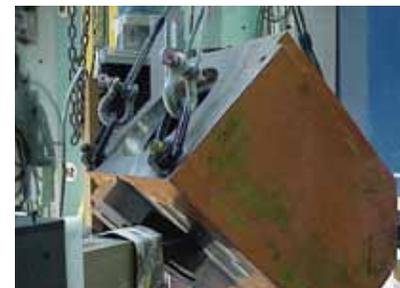
La réduction de ces coûts par une augmentation de la fiabilité des bouts fluïdiques est un objectif pour Schlumberger, entreprise innovatrice multinationale fournissant des services d'infrastructures pétrolières au Canada et dans le monde entier. Pour renforcer les bouts fluïdiques utilisés dans le milieu haute pression d'une pompe de puits, une contrainte en compression, c'est-à-dire une « bonne contrainte » dans ce cas, est créée à dessein dans le matériau pendant sa fabrication. En 2001, une collaboration entre Schlumberger, la Queen's University et le CCFN a permis de vérifier que la contrainte en compression deme-



**Des bouts fluïdiques sont utilisés dans des puits de pétrole et de gaz pour en faciliter l'extraction.**

urait dans les bouts fluïdiques même après leur mise en service.

En se basant sur cette réussite, Schlumberger est revenu au CCFN en 2012 pour vérifier si cette bonne contrainte persistait dans un bout fluïdique de nouvelle conception visant à améliorer la fiabilité. Schlumberger utilisera les mesures de la contrainte résiduelle effectuées au CCFN pour valider leur modèle d'analyse par éléments finis, qui prédit la contrainte dans le matériau. La confirmation que le modèle est conforme aux mesures est une première pour ce nouveau bout fluïdique. En raison de la réussite de ce projet de recherche, Schlumberger s'attend à ce que sa collaboration avec le CCFN lui rapporte en retour de nombreux avantages à court et à long terme.



**Un bout fluïdique sur la ligne de faisceau.**

***Des données relatives aux contraintes provenant du CCFN aident Schlumberger à développer des bouts fluïdiques plus fiables. Le remplacement des bouts fluïdiques représente une dépense de plusieurs millions de dollars pour l'industrie de la fracturation.***



Étude des performances de l'aluminium dans ce prototype de bloc-moteur pour Nematik Inc.

*Les données relatives aux contraintes provenant du CCFN ont mené à un nouveau projet de développement de techniques de fabrication permettant d'optimiser les performances d'alliages légers destinés aux moteurs d'automobiles.*

## Fabriquer de meilleurs moteurs automobiles plus légers

*Prendre soin de notre environnement, faire décroître la consommation de carburant des automobiles et favoriser la compétitivité de l'industrie canadienne sont des priorités canadiennes.*

Pour que les fabricants canadiens qui exportent des véhicules et des pièces restent concurrentiels, ils doivent être en mesure de répondre aux modifications de la réglementation étrangère. À partir des modèles 2017, les États-Unis exigent une amélioration de 50 % en 2025 par rapport aux voitures de tourisme actuelles. Des innovations qui optimisent les performances et prolongent la durée de vie des moteurs légers sont nécessaires pour répondre à ces normes. Les techniques de fabrication de pièces coulées et de façonnage des métaux légers, comme l'aluminium, doivent être mieux comprises et revues.

Il s'agit de l'objectif d'une équipe de recherche financée par AUTO21 constitué de deux entreprises du secteur de l'automobile (Nematik Inc. et General Motors), trois universités (Ryerson, UBC et Waterloo) et deux laboratoires gouvernementaux (Laboratoire de la technologie des matériaux de CANMET et le CCFN). L'équipe cherche à comprendre les effets à petite échelle de chaque étape du cycle de fabrication sur le métal, pour orienter les prévisions d'amélioration du matériau résultant, puis pour confirmer ces prévisions par des expériences. Des mesures de contrainte effectuées au CCFN au cours des deux dernières années ont permis d'obtenir des résultats précis relatifs à l'efficacité de la libération des contraintes dans la fabrication des moteurs, comme le traitement thermique.

« Des mesures des contraintes résiduelles au moyen d'expériences de diffraction des neutrons, effectuées au CCFN, ont permis une compréhension améliorée et plus lucide de la répartition des contraintes et des aspects microstructuraux de notre recherche sur les blocs-moteurs, » explique le professeur Ravindran. « Le partenariat entre Ryerson University, Nematik Canada et le CCFN a produit des résultats dépassant beaucoup nos objectifs initiaux. »

« Il s'agit d'une contribution essentielle au projet global, qui complète des études sur la microstructure des métaux, des essais mécaniques et de la modélisation informatique par notre équipe de recherche AUTO21, » dit le Dr Robert MacKay, spécialiste en coulage de pièces et en traitement thermique chez Nematik Inc.

Les connaissances acquises ont conduit à une deuxième phase du projet au cours des deux années suivantes : développement de technologies avancées de coulage et de procédés de traitement thermique afin d'optimiser les performances des alliages légers qui pourraient être utilisés dans différents composants de transmissions automobiles, comme les culasses, les blocs-moteurs et les boîtiers de transmission. Pour cette deuxième phase du projet, l'équipe AUTO21 fait appel à des contributions de l'industrie, évaluées à 240 000 \$, et des laboratoires gouvernementaux, évaluées à 380 000 \$.

*chercher à récolter aujourd'hui  
des gains à venir...*

<http://dx.doi.org/10.1007/s11661-012-1340-0>

## ... bénéficié aujourd'hui des fruits de la recherche passée.

### Ajouter de la valeur à la fabrication de l'acier

*Les fabricants canadiens ont durement été frappés par la hausse du dollar canadien au cours de la dernière décennie; elle a entraîné une augmentation des coûts à l'exportation. Les fabricants d'acier canadiens qui exportent des produits ont été forcés de restructurer et de repenser leurs modèles d'affaires pour rester concurrentiels.*

À titre d'exemple, Ivaco Rolling Mills (IRM), un des trois groupes d'entreprises composant IVACO, agrandit son aciérie à l'Original en Ontario. IRM exploite l'un des plus grands laminaires à barres et fils en Amérique du Nord et offre la plus grande gamme de diamètres de tiges en Amérique du Nord. Le projet d'agrandissement de 80 millions de dollars consiste en des améliorations qui permettront à l'entreprise d'augmenter sa production annuelle de 225 000 tonnes, et de produire de nouvelles qualités d'acier destinées à des produits et des applications de meilleure qualité. La disponibilité de ces billettes d'aciers de plus haute qualité permettra au laminoir d'augmenter sa production, de pénétrer et d'augmenter davantage sa part de marché et d'entrer dans d'autres marchés.

Le Dr Nicholas Nickoletopoulos, directeur général chez Ifastgroupe and Sivaco Wire Group (IVACO), attribue une part du succès des dernières années d'IVACO à la recherche et au développement effectuée il y a dix ans avec le CCFN.

**« Les connaissances fondamentales détaillées des efforts et de l'état des contraintes dans les pièces d'acier déformées de nos clients nous ont permis d'ajouter de la valeur à nos produits et d'avoir un avantage sur nos concurrents. »**

« Cette recherche nous a aidé à bâtir une solide réputation scientifique qui était nécessaire pour être concurrentiel dans le marché mondial, » dit le Dr Nickoletopoulos. « Les connaissances fondamentales détaillées des efforts et de l'état des contraintes dans les pièces d'acier déformées de nos clients nous ont permis d'ajouter de la valeur à nos produits et d'avoir un avantage sur nos concurrents. »

Un moyen essentiel de réaliser des fixations plus fiables, comme des boulons et

des vis, implique de comprendre comment minimiser ou détourner des concentrations d'efforts dans le métal pendant chacune des étapes de fabrication. C'est pourquoi le Dr Nickoletopoulos s'est attaqué au difficile problème de modélisation des états des efforts et des contraintes lorsqu'il était étudiant diplômé à l'université McGill et ingénieur chez IVACO. En outre, il a utilisé des faisceaux de neutrons du CCFN pour mesurer les contraintes résiduelles réelles dans l'acier à chacune des étapes de fabrication. Les données expérimentales ont validé ses calculs et lui ont fourni l'assurance que le modèle de sa méthode par éléments finis pouvait être utilisé pour prédire les contraintes dans des produits de fixation fabriqués avec de l'acier d'IVACO.

Aujourd'hui, IVACO utilise toujours son modèle lors de l'amélioration de son ensemble de produits, et récolte les fruits d'une plus grande compétitivité due à une recherche sur les matériaux que le CCFN a permis.

**IVACO s'agrandit aujourd'hui en partie en raison de la recherche qui lui permet d'ajouter de la valeur à ses produits.**



Installations  
d'IVACO à  
L'Original en  
Ontario.





Personnel du CCFN chargeant une chambre spéciale contenant l'échantillon d'acier très radioactif sur la ligne de faisceau de neutrons pour faire des mesures de contrainte.

*Les données relatives aux contraintes obtenues au CCFN ont servi à rédiger un guide utilisé par des exploitants nucléaires japonais pour prendre des décisions éclairées sur des remplacements coûteux de composants du cœur susceptibles de se fissurer.*

## Gérer le vieillissement des centrales nucléaires au Japon

*Les nations nucléaires ont investi des milliards de dollars dans chacun des réacteurs de leurs centrales nucléaires. La réalisation du retour sur l'investissement exige que l'exploitation de ces centrales dure de nombreuses années et génère de grandes quantités d'électricité sans émissions. Plus elles fonctionnent longtemps, plus les avantages économiques et environnementaux sont importants.*

Les 50 réacteurs nucléaires japonais sont prévus pour une durée de vie utile de 60 ans. Dix-sept de ces réacteurs ont plus de 30 ans et subissent des travaux de maintenance visant à réduire les impacts du vieillissement. Les exploitants et les fournisseurs nucléaires japonais ont collaboré pour financer un projet de la Japan Nuclear Energy Safety Organization (JNES) visant à améliorer les méthodes d'évaluer et de contrer le processus de vieillissement, c'est-à-dire de la dégradation dans le temps des matériaux métalliques dans le cœur du réacteur en raison des puissants champs de radiation.

Dans le cadre de l'effort de la JNES, Nippon Nuclear Fuel Development Co. (NFD) a collaboré pendant plusieurs années avec le CCFN pour étudier l'une des six sortes de dégradations, en particulier la fissuration due à une combinaison de contraintes, de corrosion et de radiation, appelée corrosion sous contrainte assistée par l'irradiation (IASCC).

Le CCFN a mesuré des contraintes dans différents échantillons soudés d'aciers inoxydables utilisés pour construire le cœur des réacteurs japonais et susceptibles de se fissurer au cours de leur vie utile. Les échantillons ont été ensuite irradiés dans le réacteur d'essais de matériaux japonais pendant au moins 100 jours, afin d'accumuler des dommages dus au bombardement de l'acier par des neutrons rapides, ce qui simulait les conditions régnant dans des réacteurs de centrales nucléaires. Par conséquent les échantillons sont devenus très radioactifs et ont nécessité le développement par le CCFN de contenants spéciaux pouvant les maintenir en toute sécurité sur la ligne de faisceau afin de pouvoir mesurer la répartition des contraintes à proximité des lignes de soudure. Le CCFN est la seule installation de faisceaux de neutrons au monde ayant cette capacité. Les résultats de cette recherche effectuée de 2000 à 2007 ont démontré que le rayonnement de neutrons rapides facilitait le relâchement des contraintes dans les échantillons soudés, ce qui réduit un facteur pouvant contribuer à une fissuration due au vieillissement.

Les connaissances acquises par les mesures des contraintes au CCFN ont été soumises au JNES et utilisées avec des données provenant de tests de vitesse de propagation des fissures, ainsi qu'avec une modélisation théorique des contraintes et de la propagation des fissures, pour rédiger en 2009 un guide destiné aux exploitants nucléaires d'évaluation des composants du cœur du réacteur susceptible de se fissurer. En 2010, la JNES a soumis son guide d'évaluation avec une recherche plus étendue des technologies d'évaluation de l'IASCC, à un comité de l'Atomic Energy Society of Japan responsable du développement et de la standardisation des pratiques d'évaluation de l'IASCC. Bien que le guide demeure provisoire parce qu'il devrait continuer à évoluer avec l'émergence de nouvelles connaissances, les exploitants nucléaires utilisent actuellement ce guide pour prendre des décisions plus éclairées relatives aux opérations de remplacement onéreuses.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.jnucmat.2010.11.023>

*bénéficiaire aujourd'hui  
des fruits de la recherche  
passée...*

Échantillon d'acier soudé radioactif maintenu par un bras manipulateur mécanique dans une cellule chaude aux LCR.



## ...chercher à récolter aujourd'hui des gains à venir.

### Améliorer la sécurité des gazoducs et des oléoducs

*La société nord-américaine dépend aujourd'hui essentiellement de ressources fiables pour produire de l'énergie, notamment d'un flux régulier de pétrole et de gaz vers les marchés au moyen de pipelines.*

Au Canada seulement, des pipelines transportent assez de pétrole par jour pour qu'un million de voitures parcourent 4000 km. Les pipelines canadiens augmentent la sécurité publique en éliminant chaque jour l'équivalent de 4200 wagons-citernes de nos voies ferrées ou 15 000 camions-citernes de nos routes.

Bien qu'étant le moyen le plus sécuritaire, le plus fiable et le plus économique de transporter le pétrole et le gaz, la défaillance d'un pipeline peut nuire à l'environnement et à la conviction que peut avoir le public de sa sûreté et de sa sécurité. Les propriétaires de pipelines préviennent les défaillances en utilisant les meilleures méthodes scientifiques disponibles pour interpréter les données d'inspection et prendre des décisions éclairées sur, par exemple, le remplacement d'une petite section de pipeline qui peut coûter plus de cent mille dollars.

Pour résoudre des problèmes difficiles comme celui-là, l'industrie pipelinère mondiale regroupe ses ressources dans le Pipeline Research Council International (PRCI) qui dépense plus de 10 millions de dollars chaque année en recherches en ajoutant des fonds destinés à la recherche provenant de sources gouvernementales, comme le département des Transports (DOT) des États-Unis ou Ressources naturelles Canada.

Le professeur Lynann Clapham de la Queen's University et des chercheurs de GdF Suez travaillent en collaboration au CCFN afin de pouvoir interpréter les données d'inspection de pipelines obtenues par une technique appelée perte de flux magnétique. Cette recherche, financée par le PRCI et le département des Transports (DOT) des États-Unis, a pour objectif la mise sur pied d'une bibliothèque qui cartographie les données de la perte de flux magnétique en regard de types particuliers de défauts et des contraintes entourant ces derniers; il s'agit là de facteurs qui ont une influence sur la probabilité de défaillances.

La technique de perte de flux magnétique est sensible à la perte de métal due à la corrosion ou à des dommages mécaniques qui pourraient être causés par une excavation à la rétrocaveuse effectuée au mauvais endroit, par exemple. Ainsi, GdF Suez a produit des bosses et des rainures dans des sections pleine grandeur de tuyau sous pression pour imiter les dommages causés par une rétrocaveuse. Le groupe de recherches du professeur Clapham a cartographié les contraintes autour de ces rainures au CCFN et les compare à des modèles informatiques de contraintes, ainsi qu'à des mesures expérimentales du signal obtenu par la technique de perte de flux magnétique. Le groupe cherche des corrélations qui pourraient servir à déterminer si, sur le terrain, un signal d'inspection par la technique de perte de flux magnétique était produit par des dommages mécaniques et s'il pouvait permettre d'évaluer le niveau de risque que représentent les dommages. Les données seront utiles à l'industrie, tout comme des informations scientifiques, lors de la prise de décision sur la façon de gérer des pipelines concernés.



Section de tuyau de 0,5 m de diamètre avec une rainure de près de 0,4 m de long.



*Les données relatives aux contraintes obtenues au CCFN seront utiles à l'industrie qui prend des décisions de centaines de milliers de dollars sur la façon de gérer des pipelines qui ont subi des dommages mécaniques, comme dans le cas d'une excavation à la rétrocaveuse au mauvais endroit.*



Le laboratoire de GdF Suez simule des bosses produites par une rétrocaveuse.



## SONDER LES MATÉRIAUX POUR LE GOUVERNEMENT

Sous-marin de la classe Victoria de la Marine royale canadienne.

*Les clients au sein du gouvernement canadien bénéficient des fruits de la recherche effectuée au moyen du CCFN dans les domaines de la défense nationale et de la sécurité publique. Trois projets axés sur la réduction des coûts de maintenance et sur le prolongement de la durée de vie des flottes vieillissantes ont permis d'effectuer des échanges fructueux de connaissances et d'expertises avec nos alliés. Un autre projet a conduit à une réglementation améliorée de l'industrie ferroviaire visant à prévenir les accidents.*

### **Qualifier une nouvelle méthode de réparation**

En 2007, Recherche et développement pour la défense Canada (RDDC) a utilisé le CCFN dans le cadre d'un projet axé sur la réduction des coûts d'entretien des navires. RDDC devait qualifier une nouvelle méthode de réparation TFM (traitement par friction-malaxage) des composants dont le retrait des navires est difficile ou onéreux, comme les hélices. Dans les marines des pays occidentaux, de nombreux navires sont dotés d'hélices en nickel-aluminium-bronze. Les chercheurs de RDDC ont étudié les effets du TFM sur les propriétés mécaniques et de corrosion de ce matériau, pendant qu'une série d'expériences effectuées pendant deux ans au CCFN ont permis de mesurer les contraintes et la texture. Les résultats collectifs ont fourni l'assurance que le TFM et ses effets sur le nickel-aluminium-bronze étaient suffisamment compris pour que le TFM soit utilisé pour réparer les hélices. L'équipe de recherche, notamment des représentants de RDDC et du CCFN, a par la suite reçu le Prix d'excellence international 2008 du Programme de coopération technique (TTCP).

À la suite de cette recherche, le Canada a

reçu ses spécifications et ses protocoles afin d'utiliser la méthode du TFM pour réparer les hélices. La marine américaine a déjà adopté le TFM et prévoit réduire de 400 000 \$ chaque année les coûts de réparation des hélices; ces économies peuvent, en fait, ne représenter que la pointe de l'iceberg. À titre d'exemple, par le développement continu du TFM, la marine Américaine cherche à économiser jusqu'à 1,8 million de dollars chaque année en coûts de construction de navires légers et à grande vitesse.

### **Une rare occasion d'évaluation de l'aspect structurel**

La coque sous pression d'un sous-marin doit être entretenue avec soin; cela est crucial pour la sécurité de l'équipage, les performances du navire et les coûts du cycle de vie payés par les contribuables. La marine canadienne pourrait faire d'importantes économies si elle avait la possibilité de prolonger la durée de vie d'une flotte de sous-marins, même de quelques années seulement. Prolonger la durée de vie théorique d'un sous-marin nécessite une analyse technique complexe qui repose sur une compréhension précise de l'état des matériaux de la coque.

En 2007, le CCFN a aidé RDDC à tirer profit d'une rare occasion de produire des connaissances qui serviront à l'analyse la prolongation de la durée de vie de la flotte canadienne de sous-marins de la classe Victoria. Au cours du carénage de demi-vie récent de l'un de ces sous-marins, une petite section de la coque sous pression a été remplacée. Il se trouva que le bordé extrait comportait une longueur de soudure originale réalisée lors de sa fabrication au Royaume-Uni. Les données sur les contraintes dans la soudure noyées dans l'épaisseur du métal constituent un élément appréciable des évaluations de l'aspect structurel du prolongement de la durée de vie. Du fait que ces données auraient été impossibles à obtenir d'une autre façon (ou sans un tel échantillon rare de la coque), RDDC a profité de cette occasion pour caractériser complètement le profil de contrainte résiduelle de ce type de soudure au moyen de faisceaux de neutrons pénétrant profondément.

Alors que RDDC prévoit ultérieurement utiliser pleinement les données relatives aux contraintes pour déterminer l'aptitude fonctionnelle à long terme d'une coque, ces données ont immédiatement intéressé

nos alliés qui possèdent des sous-marins plus avancés dans leur cycle de vie et qui travaillent actuellement à régler des problèmes de contrainte résiduelle.

À ce jour, le ministère de la Défense nationale a partagé ces données avec deux de nos alliés qui les ont demandés par l'intermédiaire du TTCP et d'autres forums. Les données ont également été utilisées en tant que contribution du Canada à une étude internationale dont faisait partie la Defence Science and Technology Organisation australienne. En retour, le Canada est mis au courant des expériences des alliés dans d'autres secteurs d'intérêt commun et plus immédiats, particulièrement dans le domaine en rapide évolution des essais non destructifs. Ces dispositions permettent au Canada et à ses alliés d'optimiser les budgets d'entretien de leurs sous-marins.

## Lutte contre la corrosion

Les moyens de traiter la corrosion sur les coques sous pression sont un autre aspect de la prolongation de la durée de vie que RDDC étudie. Avec le temps, la corrosion ronge la coque sous pression et l'amincit graduellement à certains endroits. Le soudage d'apport est l'une des rares méthodes adaptées à la restitution du matériau perdu sans recours à l'alternative plus onéreuse de remplacement d'une section entière des tôles ou des échantillons de la coque.

En 2009, RDDC a utilisé le CCFN dans un effort de définition de la taille maximale de la zone corrodée sur laquelle des soudures d'apports pouvaient être effectuées efficacement. Des sections de bordés comportant des apports de tailles différents ont été examinées pour mesurer

la répartition de la contrainte résiduelle en profondeur des tôles à la suite des soudures d'apports. Les données ont ensuite été utilisées par RDDC pour réussir à valider deux approches par éléments finis différentes qui simulent l'effet du soudage sur les propriétés des tôles de la coque, ce qui a permis de démontrer la valeur des données et des modèles.

En raison de cette réussite, RDDC est aujourd'hui impliqué dans une recherche en collaboration avec le Royaume-Uni, qui vise à développer des normes relatives aux soudures de réparation sur les coques de sous-marins. Le Royaume-Uni bénéficie d'un accès à des données expérimentales uniques, alors que le Canada peut utiliser les procédures alternatives de réparation des coques de sous-marins du Royaume-Uni.

## Améliorer la sécurité publique par une enquête sur un accident ferroviaire

*Les données relatives aux contraintes provenant du CCFN ont été utilisées lors de la rédaction du rapport d'enquête qui a mené à une mise à jour de la réglementation relative à la fréquence des inspections des rails ferrés.*

En 2005, 43 des 140 wagons d'un train de marchandises ont déraillé sur la rive nord du lac Wabamun, à l'ouest d'Edmonton, Alberta; 12 wagons ont été éventrés et du pétrole s'est déversé sur la rive et dans le lac. Le déversement a touché l'environnement local des résidents humains et de la faune.

Des morceaux suspects de la voie, récupérés sur place, ont été envoyés au Bureau de la sécurité des transports (BST) pour une analyse métallurgique. La diffraction des neutrons étant la seule méthode non destructrice permettant de cartographier les contraintes de grands composants, le BST a approché le CCFN pour qu'il explore la possibilité que des contraintes résiduelles soient reliées aux fissures des rails. Les expériences effectuées en 2006 ont établi que le champ de contraintes résiduelles était perturbé près d'éléments, appelés coquilles, qui sont éventuellement les précurseurs des fissures.

Le rapport de 2007 du BST sur le déraillement mentionnait les constatations suivantes du CCFN : « une contrainte résiduelle



Fissure dans un rail récupéré après le déraillement.

peut avoir joué un rôle dans la formation de coquilles, » et « les charges en service ont pu modifier l'état des contraintes tel que fabriqué ». Il concluait ainsi : « la rupture du rail peut ainsi être due à une combinaison de contraintes résiduelles initiales, d'une contrainte induite par le service et de charges en service ». Un programme de recherche plus complet serait nécessaire pour comprendre les contributions de chacun de ces facteurs à la fiabilité des rails.

Quoi qu'il en soit, il est clair que les contraintes résiduelles constituent un facteur touchant la durée d'utilisation d'un rail avant que des ruptures par fatigue, comme des coquilles, l'affaiblissent. Il s'agit de la « limite d'endurance ». Ainsi, le BST a recommandé que Transports Canada (TC) établisse des normes exigeant que les rails proches de leur limite d'endurance soient remplacés. TC a accepté la recommandation et a révisé ses règles de sécurité ferroviaire pour que des contrôles aux ultrasons des rails soient effectués un minimum de

fois comme moyen principal de détection des ruptures par fatigue. En février 2011, le BST a jugé la réponse à sa recommandation entièrement satisfaisante, en notant que les compagnies ferroviaires dépassaient désormais beaucoup les exigences minimales quant aux fréquences d'inspection sur la plupart des voies.

En ce qui concerne la collaboration du CCFN avec le BST, Dan Holbrook, gestionnaire du BST des opérations de la région de l'Ouest, a confirmé que « l'engagement du CCFN à mettre en œuvre ses outils scientifiques de classe mondiale pour nous aider à comprendre les raisons sous-jacentes de certaines ruptures du rail est une preuve irréfutable de leur vision qui veut mettre la science au service du Canada. »



## SONDER LES MATÉRIAUX POUR LA SCIENCE

*Des universités canadiennes et des collaborateurs étrangers bénéficient d'un accès au CCFN pour permettre à des étudiants diplômés d'effectuer des expériences concrètes qui nous aident à comprendre le comportement de matériaux et la façon de les utiliser, qu'ils s'agissent de matériaux qui se trouvent dans notre corps, de matériaux aux propriétés exotiques, comme les supraconducteurs, ou des matériaux ayant des applications industrielles immédiates. Les étudiants acquièrent des compétences essentielles pour des carrières en science et technologie, alors que d'autres constituent des bases fondées sur des connaissances.*

### **Étude des fonctions de biomolécules dans des membranes cellulaires**

Avant de pouvoir réparer votre voiture, vous devez comprendre comment elle fonctionne. Dans le même ordre d'idées, comprendre comment votre organisme fonctionne est fondamental pour fournir de bons soins de santé.

Votre organisme est un système complexe dont chaque cellule compte des milliers de molécules ayant une fonction différente. Dans de nombreux cas, nous ne savons toujours pas comment elles exécutent ces fonctions, parce qu'elles résident dans les membranes cellulaires ou interagissent avec elles. Il s'agit là d'un environnement dont l'étude avec de nombreuses techniques scientifiques habituelles pose un problème.

Le professeur Harroun de la Brock University et ses étudiants utilisent des faisceaux de neutrons pour étudier ces molécules, car ces faisceaux sont en fait des sondes douces des échantillons délicats qui exigent des environnements soigneusement contrôlés.

Une de ces molécules est la vitamine E. Celle-ci est le seul nutriment essentiel dont personne ne sait pourquoi il est essentiel. Il s'agit là d'une information qui pourrait être utile pour optimiser les suppléments vitaminiques. La vitamine E est également difficile à étudier dans des essais cliniques parce que ses effets ne deviennent apparents qu'à long terme.

Malgré tout, au moyen des neutrons du CCFN, l'équipe a été capable de préciser l'emplacement de l'activité antioxydante de la vitamine E à l'interface de la membrane modèle avec son milieu aqueux. Plus

important encore, ces résultats orientent des pans de recherches plus prometteurs pour dévoiler le mystère. Ils ont conclu qu'un ensemble important de recherches sur la vitamine E, c'est-à-dire sur la cinétique de son oxydation et ses produits, nécessite d'être revu en tenant compte des propriétés physiques de la membrane modèle.

Un deuxième exemple de molécule dont la fonction est difficile à étudier sans neutrons parce qu'elle réside dans les membranes est une petite protéine appelée KL4. On a prouvé cliniquement que la KL4 soulageait chez les prématurés le syndrome de détresse respiratoire. Le syndrome de détresse respiratoire rend plus difficile la respiration des bébés qui en sont affectés; c'est une des principales causes de décès des bébés de moins d'un mois dans les pays développés. Alors que la KL4 est reconnue pour améliorer l'échange de

## Preuve expérimentale directe de radeaux dans une membrane lipidique liquide

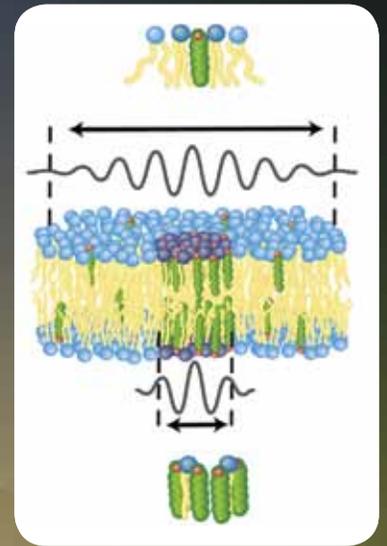
Pour expliquer une vaste gamme de fonctions cellulaires, de nombreux chercheurs proposent qu'il existe ce qu'ils appellent des radeaux dans la membrane cellulaire. Ceux-ci peuvent être grossièrement décrits comme des îlots d'ordre flottants dans des océans de lipides moins ordonnés. On pense que ces radeaux sont induits par le cholestérol qui joue des rôles très importants dans la détermination de la structure de la membrane. L'observation et la caractérisation de ces radeaux sont des connaissances fondamentales urgentes nécessaires pour mieux comprendre et orienter les recherches ultérieures, mais cela a échappé à de nombreux chercheurs jusqu'à présent.

Le professeur Maikel Rhein-

städter de la McMaster University et ses étudiants ont fait les premières observations expérimentales directes de radeaux dans une membrane lipidique liquide composée d'un mélange binaire lipide-cholestérol. Ils ont été les premiers à observer la structure lipidique dans les radeaux. Le professeur Rheinstädter a utilisé les faisceaux de neutrons du CCFN pour révéler des détails de l'ordre dans la membrane qu'il considérait comme un liquide comportant de petites structures, notamment des radeaux très dynamiques.

Le professeur Rheinstädter a utilisé une variante spéciale de diffraction des neutrons pour réaliser cette expérience. Les domaines de cholestérol dans une membrane désordonnée

sont si petits qu'ils ne peuvent pas être observés dans des expériences habituelles effectuées avec des rayons X ou de diffraction des neutrons. Dans une expérience habituelle de diffraction sur poudre, la taille des grains de poudre peut être un peu plus petite que ce que les yeux peuvent voir, mais assez grande pour diffracter efficacement les sondes, comme des rayons X ou des neutrons. Le volume des radeaux lipidiques est très inférieur. La longueur de cohérence du faisceau est un facteur clé qui définit ce qui est trop petit. En réduisant la longueur de cohérence du faisceau de neutrons jusqu'à l'échelle nanométrique des radeaux, le professeur Rheinstädter a été capable de résoudre ce problème et d'étudier de plus petites parcelles de membrane.



<http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0066162>

l'oxygène et du dioxyde de carbone dans les poumons, on ne sait toujours pas comment elle le fait. L'équipe a utilisé des faisceaux de neutrons pour étudier la KL4 dans l'espoir de comprendre son fonctionnement, ce qui pourrait conduire à des traitements plus efficaces des problèmes pulmonaires. Les expériences effectuées avec des faisceaux de neutrons ont révélé l'orientation de l'hélice de la KL4 dans une membrane choisie pour imiter les conditions prévalant dans les études du surfactant pulmonaire.

L'agent antimicrobien, appelé chlorhexidine, est un troisième exemple de molécule difficile à étudier. Cet agent est habituellement utilisé dans les produits d'hygiène personnelle, comme les savons, les solutions pour verres de contact et les rince-bouches. La chlorhexidine perturbe les membranes bactériennes pour tuer les bactéries. L'équipe du professeur Harroun utilise le CCFN pour tester des idées relatives au fonctionnement de la molécule, car elle se dirige vers un système de libération de médicaments basé sur la membrane, brevetable.

L'importance primordiale de cette recherche a été récemment reconnue par le CRSNG lorsqu'il a récompensé Drew Marquardt, qui s'est beaucoup impliqué dans ces trois projets de recherches, en lui octroyant une bourse d'études supérieures du Canada Vanier 2012. Les bourses d'études Vanier sont des prix prestigieux qui visent à attirer et à retenir les meilleurs étudiants au doctorat du monde.

« Mon prix implique à 100 % le CCFN, » dit Drew, « pas seulement parce que l'accès aux lignes de faisceaux de neutrons ont permis toutes mes publications, mais également parce que les faisceaux de neutrons m'ont permis d'étudier des problèmes ayant potentiellement des impacts importants en biologie. »

« Le CCFN m'a permis d'étudier les fonctions de plusieurs molécules essentielles en biologie, notamment la vitamine E, le cholestérol, une petite protéine qui intervient dans le traitement des problèmes pulmonaires, et un agent antibactérien. Elles ont toutes en commun le fait qu'elles agissent dans les membranes cellulaires, un milieu qui pose des problèmes pour de nombreuses autres techniques scientifiques. »

<http://dx.doi.org/10.1021/ja312665r>



**Drew Marquardt montant son expérience sur la ligne de faisceau N5. Drew étudie le rôle de biomolécules, comme la vitamine E, la KL4 et la chlorhexidine, dans des membranes à la Brock University.**



## Comprendre comment les métaux se dégradent

La démonstration que des moyens de stockage à long terme du combustible irradié sont sécuritaires augmentera la confiance dans la sûreté et la sécurité nucléaires. Comprendre et éviter la fissuration des tubes de pression dans le cœur d'un réacteur nucléaire sont importants pour que son exploitation soit économique, sécuritaire et fiable. La nécessité d'étudier comment les métaux se dégradent et, particulièrement, le rôle des couches minces de matériaux qui se développent sur des métaux, est commune à ces deux domaines.

Les couches extrêmement minces sur de nombreuses surfaces métalliques nous ont permis de vivre dans une société dépendant des métaux, dans laquelle on retrouve des objets comme des automobiles, des bâtiments, des implants biomédicaux, etc. Un des beaux exemples familiers d'une telle couche protectrice qui peut être observé est la patine verte des toits en cuivre des bâtiments du Parlement du Canada.

Sans la couche protectrice, tous nos métaux structuraux seraient instables au cas d'exposition directe à l'air ou à l'eau. Les couches d'oxyde protectrices n'ont que quelques nanomètres d'épaisseur; elles se forment souvent spontanément sur la surface métallique et constituent une barrière entre le métal et son environnement, ce qui ralentit ou arrête le processus de dégradation, comme la corrosion.

En raison de l'importance des minces couches d'oxyde en regard des performances et de la longévité des structures métalliques, le Dr Jamie Noël de la Western University a collaboré avec le Dr Zin Tun du CCFN au développement et à l'utilisation de techniques électrochimiques et de réflectométrie neutronique combinées pour faciliter l'analyse de petits détails de la nature des couches d'oxyde sur des métaux. La réflectométrie neutronique permet d'analyser la structure et la composition de couches de surface sur une échelle subnanométrique par la mesure de la réflexion des neutrons par la surface d'un matériau qui agit comme un miroir. L'union de l'électrochimie et de la réflectométrie neutronique permet de mesurer des matériaux et des propriétés interfaciales pendant qu'ils fonctionnent et sont exposés à l'environnement dans lequel ils se trouvent normalement, ce qui serait impossible avec d'autres moyens.

Des expériences réussies sur le stockage du combustible irradié et sur la fissuration des tubes de pression des réacteurs ne constituent que quelques exemples des activités de recherches pour lesquelles le Dr Noël a accédé au CCFN depuis que son réflectomètre neutronique a été mis en service en 2007. Il a étudié la croissance des couches d'oxyde sur des alliages de titane pour compren-

**Une couche protectrice naturelle verte colore les toits en cuivre de l'édifice de la Confédération et protège le cuivre qu'elle recouvre. Photo gracieusement offerte par Travaux publics et Services gouvernementaux Canada.**



dre leur résistance à la corrosion, ce qui est essentiel pour pouvoir l'utiliser dans la fabrication de conteneurs de stockage sécuritaire à long terme du combustible irradié. Il a également sondé les conditions dans lesquelles les atomes d'hydrogène pénétraient dans la couche d'oxyde d'alliages de zirconium, ce qu'il est essentiel de comprendre pour éviter la fissuration induite par l'hydrogène dans les tubes de pression du cœur d'un réacteur nucléaire.

<http://dx.doi.org/10.1149/2.020309jes>

## Faire l'impossible : diffusion des neutrons sur des composés de gadolinium

Les faisceaux de neutrons sont des outils puissants d'étude d'une grande gamme de matériaux biologiques ou industriels, ou d'intérêt fondamental pour les physiciens. Il existe une catégorie de matériaux que de nombreux chercheurs considèrent comme impossibles à étudier au moyen de la diffraction des neutrons, parce qu'ils contiennent des éléments qui absorbent beaucoup les neutrons au lieu de les diffracter.

Le professeur Dominic Ryan de l'université McGill est allé au CCFN pour faire l'impossible, ce qui lui a permis de se constituer un grand réseau de collaborateurs internationaux aux États-Unis et en Europe pour étudier des matériaux qui contiennent ces éléments absorbant les neutrons et qui ont des applications en stockage des données et en refroidissement magnétique.

De tous les éléments, le gadolinium a le plus tendance à absorber les neutrons : près de dix fois plus que le samarium dont la tendance est la deuxième, et près de 100 000 fois plus que des métaux comme le fer et le cuivre qui sont habituellement analysés au moyen de la diffraction des neutrons. Néanmoins le professeur Ryan a travaillé avec le personnel du CCFN au développement d'un moyen d'effectuer une diffraction des neutrons sur poudre sur des alliages de gadolinium-germanium dopés au silicium, comme le  $Gd_5Si_2Ge_2$ , qui présente un effet magnéto-calorique très important. Dans des matériaux magnéto-caloriques, la température peut être très modifiée au moyen du champ magnétique qui les entoure; c'est une propriété qui peut être utilisée pour une réfrigération efficiente.

Alors que d'autres chercheurs découvraient des ordres magnétiques et structuraux complexes dans ces alliages, une analyse complète a été contrecarrée par une impossibilité d'utiliser la diffraction des neutrons pour résoudre les structures. Le professeur Ryan a surmonté ces difficultés en mettant au point un porte-échantillon de plaque plane à bas d'arrière-plan, et en répandant une couche très mince de l'alliage en poudre sur la plaque afin d'utiliser la surface complète du faisceau de neutrons, puis en recueillant les données pendant une longue période. Les expériences ont prouvé que l'impossible était réalisable; elles ont permis de résoudre certains aspects clés des ordres magnétiques et structuraux de ces alliages. Ces expériences ont été étendues à d'autres matériaux, notamment aux nouveaux supraconducteurs à haute température à base de fer et le  $GdCo_{12-x}Fe_xB_6$ , ce qui a démontré que des méthodes alternatives précédemment utilisées pour caractériser indirectement ces matériaux donnaient des résultats inexacts.

Des chercheurs du monde entier, qui croyaient ne pas pouvoir utiliser des faisceaux de neutrons pour étudier leurs matériaux très absorbants, appellent maintenant le professeur Ryan qui peut rendre cela possible au CCFN.

<http://dx.doi.org/10.1088/0953-8984/25/31/316001>

## Mesures précises sur les supraconducteurs

Un de ces jours, vous pourriez vous rendre au travail dans un train qui s'élève au-dessus des rails. Impossible? Non en raison des propriétés presque magiques des supraconducteurs qui peuvent générer de puissants champs magnétiques et conduire parfaitement l'électricité sans perdre d'énergie. Des scientifiques du monde entier étudient les supraconducteurs pour comprendre ce qui est à l'origine de ces effets inhabituels et concevoir des supraconducteurs qui présentent ces effets dans des conditions de plus en plus réalisables pratiquement.

Représentant un groupe de chercheurs des États-Unis, de la Belgique et de la Suisse, le docteur Vladimir Kozhevnikov a utilisé le CCFN pour effectuer les premières mesures du genre sur ces matériaux exotiques. Les supraconducteurs expulsent complètement les champs magnétiques, ce qui est un phénomène clé à la lévitation. De façon plus précise, le champ magnétique décroît extrêmement rapidement dans le matériau supraconducteur sur une distance de l'ordre du nanomètre sous la surface. Toutefois, la mesure précise de cette décroissance rapide a constitué un très grand défi et le Dr Kozhevnikov est venu au CCFN après avoir essayé, sans succès, de faire ces mesures à différentes installations neutroniques dans le monde.

Au CCFN, le Dr Kozhevnikov a réussi à mesurer la distribution en profondeur du champ magnétique juste sous la surface de trois supraconducteurs à des températures proches du zéro absolu, ce qui a permis à son équipe de déterminer des paramètres clés des supraconducteurs, qui ne sont généralement pas connus avec précision pour tous les supraconducteurs. Il a ainsi pu faire des essais relatifs à des théories concurrentes pour expliquer l'interaction entre le magnétisme et la supraconductivité.

Cette expérience a, non seulement fait avancé la recherche internationale, mais a aussi été une occasion d'éducation et de rayonnement scientifiques. Le Dr Kozhevnikov est venu au CCFN avec quatre étudiants de premier cycle du Tulsa Community College, qui ont participé à cette expérience et appris sur le tas le rôle que les grandes installations pour utilisateurs scientifiques pouvaient jouer dans le cadre de recherches entreprises dans différents secteurs scientifiques et technologiques.

« Les gens que j'ai rencontré au CCFN étaient très amicaux. Ils avaient le désir et la capacité d'expliquer les réponses à mes questions, et la patience d'approfondir les sujets que je ne comprenais pas complètement, » a mentionné Michael Jensen, un des étudiants invités.

<http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevB.87.104508>

## Tracer la voie à la technologie de demain avec de nouveaux supraconducteurs à base de fer

Une importante découverte pourrait bouleverser les technologies qui sous-tendent l'informatique, l'imagerie médicale et le transport sans dissipation de l'électricité telles qu'on les connaît aujourd'hui. Le savoir-faire et outils scientifiques uniques du CCFN permettent aux chercheurs canadiens et étrangers d'exercer un impact à la fine pointe de la physique de la matière condensée et de la supraconductivité.

La supraconductivité est le phénomène en vertu duquel les matériaux parviennent à véhiculer l'électricité sans aucune perte d'énergie. Pour l'instant, la supraconductivité ne se manifeste qu'à

Le Dr Vladimir Kozhevnikov (droite) et des étudiants à la ligne de faisceaux D3.



de très basses températures. Alors que les supraconducteurs conventionnels perdent leur résistance électrique autour de  $-240\text{ }^{\circ}\text{C}$ , les « supraconducteurs à haute température », comme on les appelle, qui renferment du cuivre, en font autant à une température aussi « élevée » que  $-108\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

La découverte des supraconducteurs à haute température à base de fer remonte à quatre ans à peine. Ces nouveaux supraconducteurs font l'objet d'intenses recherches partout sur le globe, non seulement parce qu'il faut élucider la raison de leur supraconductivité, mais aussi parce qu'ils pourraient avoir d'importantes applications commerciales en raison d'une résistance mécanique et d'une conductivité supérieures à celles des autres supraconducteurs à haute température reposant sur le cuivre.

L'équipe de recherche du Pr Stephen Wilson, du Collège de Boston, a recouru à l'un des six faisceaux de neutrons du CCFN pour étudier les liens entre les propriétés magnétiques et structurales d'un cristal de  $\text{BaFe}_2\text{As}_2$ . Ce faisant, l'équipe a découvert des changements étonnants quand le cristal est comprimé sur le faisceau de neutrons au moyen d'une bride de serrage.

« Nos résultats nous en apprennent davantage sur les transitions de phase magnétiques et structurales des supraconducteurs à base de fer », a déclaré le Pr Wilson. Une légère compression du cristal engendre des effets aussi importants qu'inattendus au niveau de l'alignement des atomes et de leur ordre magnétique. L'effort fait en sorte que les domaines magnétiques se manifestent à une température plus élevée, ce qui pourrait signaler l'existence d'un lien entre magnétisme et supraconductivité dans ces matériaux.

« La diffusion des neutrons est un outil d'une utilité inestimable dans l'étude de ces supraconducteurs exotiques », a affirmé le Pr Wilson. « Grâce à elle, le scientifique peut explorer simultanément les propriétés structurales et magnétiques dans différents états physiques, ce qui s'avérerait impossible avec d'autres techniques. Les installations de diffusion des neutrons comme le CCFN sont indispensables pour de tels travaux. »

Pouvoir transmettre l'électricité à une température plus élevée sans qu'il y ait perte d'énergie pourrait bien être l'aboutissement de ces études fondamentales sur les supraconducteurs. Un jour, votre facture d'électricité pourrait baisser simplement parce que l'électricité acheminée entre la centrale et votre habitation est véhiculée par des lignes de transport supraconductrices. L'ordinateur posé sur votre bureau ou dans le creux de votre main pourrait aussi être beaucoup plus puissant, car la vitesse des appareils actuels est limitée par la chaleur que produit leur résistance électrique. Enfin, les appareils de diagnostic médicaux qui font appel aux puissants champs magnétiques des supraconducteurs pourraient gagner en efficacité, en précision ou en accessibilité.

<http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevB.87.184511>

## Des progrès en matière de matériaux de stockage de l'hydrogène.

Si nous voulons cesser d'utiliser des carburants fossiles émettant du dioxyde de carbone, l'hydrogène peut constituer un carburant de remplacement écologique, parce qu'en brûlant ce gaz ne produit que de l'eau et de l'énergie lorsqu'il « brûle », c'est-à-dire lorsqu'il est combiné à de l'oxygène. Pour construire des véhicules fonctionnant à l'hydrogène, nous avons besoin de matériaux qui stockent et libèrent efficacement l'hydrogène qui doit brûler dans un moteur automobile.

Les faisceaux de neutrons constituent des sondes efficaces permettant l'étude de matériaux candidats au stockage de l'hydrogène, parce qu'ils peuvent détecter de l'hydrogène dans les métaux. Le professeur David Mitlin et son groupe de recherche de l'Université de l'Alberta utilisent la réflectométrie neutronique du CCFN pour analyser des couches minces de ces matériaux dans des conditions réalistes.

Un matériau candidat pour le stockage de l'hydrogène est le magnésium, parce qu'il a une très grande capacité de stockage de l'hydrogène (7,6 % en poids); il est cependant limité par la lenteur de son acceptation et de la libération de l'hydrogène. La lenteur de la réponse est, en partie, due à l'accumulation d'hydrure de magnésium à la surface, qui bloque l'entrée de l'hydrogène dans la couche de magnésium et sa sortie.

Récemment, le professeur Mitlin a observé des réponses beaucoup plus rapides lorsqu'une combinaison d'autres métaux (chrome et vanadium) était ajoutée. Il a ensuite été au CCFN pour comprendre cette amélioration. Les résultats démontrent que l'ajout de chrome et de vanadium empêchait la formation de la couche d'hydrure de magnésium et permettait ainsi à l'hydrogène de se déplacer plus rapidement dans le magnésium.

L'explication du mécanisme sous-jacent a conduit à une analyse de l'effet sur le magnésium de l'ajout d'autres métaux, comme le chrome et le fer ensemble. Cet alliage s'est avéré être un autre système prometteur de stockage de l'hydrogène dans lequel la formation de la couche bloquante est empêchée de la même façon que dans le système magnésium-chrome-vanadium.

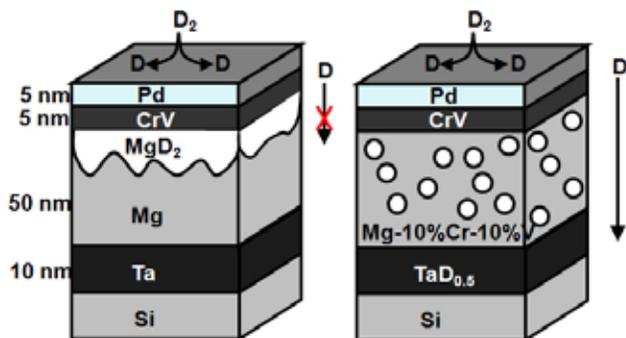


Illustration de la formation d'hydrure (sous forme de deutérium, D) dans des couches minces de magnésium dans lequel une couche bloquante se forme (gauche) et d'un système magnésium-chrome-vanadium dans lequel l'hydrogène se déplace plus librement (droite).

<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2011.06.014>

## Une recherche sur l'énergie nucléaire a, par hasard, permis de trouver une « bille à ressort » moléculaire

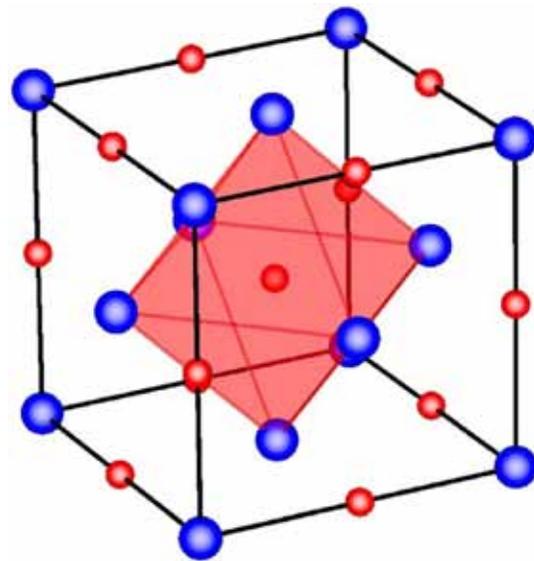
En travaillant avec une équipe de chercheurs du Oak Ridge National Laboratory, Bill Buyers, chercheur invité au CCFN, a découvert un exemple idéal de « bille à ressort » moléculaire, modèle théorique étudié par des étudiants universitaires en physique partout dans le monde. Le modèle a été utile pour illustrer un concept fondamental, mais personne n'avait pensé trouver dans la nature un véritable système qui concordait très précisément avec le modèle.

L'équipe a analysé un cristal de nitrure d'uranium dans lequel des atomes d'azote étaient piégés dans une cage d'atomes d'uranium de forme octaédrique. Comme les atomes d'uranium sont beaucoup plus lourds, ils agissent comme des objets fixes dont les atomes d'azote plus légers sont captifs.

L'équipe a utilisé la diffusion des neutrons pour étudier le magnétisme dans ce matériau, en partie parce qu'il est considéré comme un carburant pour les réacteurs de centrales nucléaires plus perfectionnés; ses propriétés doivent donc être bien comprises.

Les données sur les neutrons ont produit une série d'oscillations distinctes et équidistantes qui correspondaient aux modes de vibration du système. Les chercheurs ont eu l'étonnement de réaliser que les oscillations correspondaient avec les modes prévus d'un oscillateur harmonique quantique isotropique monoatomique, qui est l'un des problèmes fondamentaux en mécanique quantique dont la solution est exacte.

Ce résultat surprenant a des implications concrètes pour l'industrie nucléaire, car il faut tenir compte de ces oscillations dans les simulations informatiques des réacteurs de centrales nucléaires qui devraient utiliser du nitrure d'uranium comme combustible.



Les atomes d'azote (rouges) emprisonnés par des atomes d'uranium (bleus) beaucoup plus gros se comportent comme une bille sur un ressort.

<http://dx.doi.org/10.1038/ncomms2117>

## Comprendre les contraintes dans des coques de navire pour améliorer la fiabilité

L'élimination des défaillances de coques de navires est un objectif de plusieurs organismes de défense nord-américains qui collaborent à des recherches au sein du Ship Structures Committee (Comité des structures de navires) dont le but est d'abaisser les coûts d'entretien et d'améliorer la fiabilité des navires militaires. Comme des contraintes dans les matériaux des coques peuvent provoquer des fissures, le professeur Sreekanta Das de l'Université de Windsor a collaboré avec le RDDC pour mieux comprendre les contraintes dans le matériau soudé des coques de navire.

Sara Kenno, étudiant au doctorat sous la supervision du professeur Das, a utilisé le scanneur neutronique de contraintes du CCFN pour cartographier les contraintes profondes dans douze tôles qui correspondent aux panneaux soudés et renforcés d'une coque de navire. Ces tôles présentaient trois espacements différents entre les raidisseurs en L, qui sont des poutres soudées sur l'intérieur de la coque pour la renforcer. La connaissance de la répartition des contraintes produites par différents modèles ou méthodes de soudage permet de prévoir comment une coque peut résister aux fissures.

*« Le temps que j'ai passé avec les scientifiques de renommée internationale au CCFN a été d'une valeur inestimable pour effectuer mes recherches de maîtrise et de doctorat, » dit Sara. « En plus de l'expérience d'utiliser des techniques de diffraction des neutrons spécialisées, j'ai développé des compétences en matière de recherche et de raisonnement déductif utiles pour n'importe quel sujet de recherche. »*

<http://dx.doi.org/10.1520/MPC20130007>

Sara Kenno mesure la répartition des contraintes dans des soudures sur une réplique de tôle de coque de navire munie de raidisseurs en L.



## Construire des modèles de matériaux plus fiables

Les États-Unis dépensent des milliards de dollars chaque année dans la construction de navires militaires. Rien d'étonnant alors que le U.S. Office of Naval Research (ONR) finance des programmes de recherches fondamentales qui pourraient permettre un jour d'en faire plus avec ces sommes. Le professeur Paul Dawson de Cornell University, qui a reçu pendant 20 ans environ un financement de l'ONR, cherche à créer un modèle scientifique qui pourrait servir de base à une conception future de matériaux qui durent plus longtemps, donnent de meilleurs résultats et augmentent les marges de sécurité. À titre d'exemple, des alliages améliorés pourraient augmenter la capacité des coques de navires à supporter la pression ou durer plus longtemps, ce qui réduirait les coûts d'entretien.

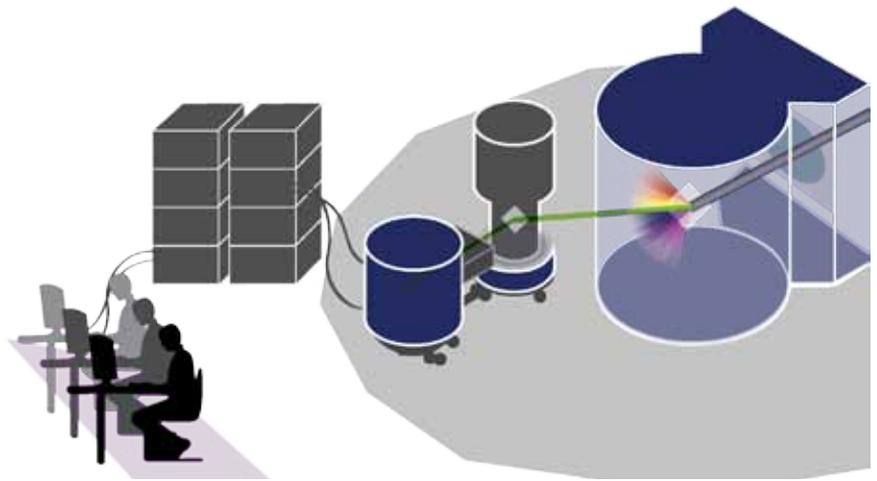
Les modèles utilisés actuellement échouent parfois à prédire le comportement d'un matériau, parce qu'ils négligent les propriétés des grains microscopiques du matériau. Des ingénieurs sont souvent forcés de compenser cette incertitude en surdimensionnant par prudence des pièces essentielles dans un navire, une automobile ou un aéronef. Le surdimensionnement augmente les prix d'achat ainsi que les coûts du carburant.

Le programme de recherche à long terme du professeur Dawson combine des simulations et des expériences avancées pour comprendre comment des matériaux se modifient ou se cassent lorsqu'ils sont soumis à des contraintes. Son modèle sera plus fiable, car il tient compte de propriétés microscopiques que les modèles actuels négligent.

Au cours des 15 dernières années, le professeur Dawson a utilisé les lignes de faisceaux de neutrons du CCFN pour effectuer de nombreuses mesures de contraintes dans des matériaux dans des conditions réalistes de tension et de compression. Ces expériences récentes ont mis en œuvre une nouvelle capacité de classe mondiale au CCFN pour observer des contraintes tout en appliquant une tension ou une compression dans deux directions. Ces mesures de contraintes ont fourni des données essentielles qui ont permis au professeur Dawson de raffiner son modèle.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.jmps.2012.01.007>

## MISES À NIVEAU DES INSTALLATIONS



Les programmes de recherche de nos utilisateurs évoluent et sont modifiés en permanence. Nos utilisateurs ont besoin de lignes de faisceaux fiables, efficaces et aptes à répondre aux demandes des recherches de pointe dans leurs domaines. Ils doivent être capables de créer des conditions précises, réalistes et parfois contraignantes pour leurs matériaux sur les lignes de faisceaux pendant des expériences, qu'il s'agisse de température, de pression, de compression, de tension ou de champs magnétiques.

*Nous sommes attentifs et renouvelons continuellement nos capacités.*



### Scanneur de contraintes L3

Le scanneur de contraintes L3 est le meilleur instrument au monde pour la cartographie non destructrice tridimensionnelle de la répartition des contraintes dans des composants techniques; il a en effet subi de nombreuses mises à niveau au cours des dernières années, qui ont amélioré ses capacités et sa fiabilité. La collecte de données a, notamment, été améliorée par un nouveau détecteur à 32 fils commutable en hauteur doté d'un meilleur blindage et d'un taux de comptage trois fois plus élevé. L'analyse d'échantillons plus grands et plus lourds (jusqu'à 1,8 tonne) est rendue possible grâce à une nouvelle table d'échantillonnage et à un comparateur à laser intégré au système de commande.



### Cadre de charge servohydraulique

La capacité d'étudier des matériaux dans des conditions de charge biaxiale au moyen de notre nouveau cadre de charge servohydraulique et de notre système interne de mise sous pression complète les mises à niveau du scanneur de contraintes. Les utilisateurs peuvent obtenir des données essentielles pour valider des modèles de plasticité polycristalline qui prédisent le comportement de matériaux soumis à une charge, ce qui est un enjeu majeur de la recherche en génie mécanique.



### Système d'acquisition de données et de commande

Un effort sur plusieurs années est en cours pour maintenir la fiabilité par une modernisation du système d'acquisition de données et de commande connexe aux lignes de faisceaux. Des éléments matériels, comme des commandes de moteurs, ont été achetés et intégrés au moyen d'une interface utilisateur développée sur place, qui fait l'interface avec un système logiciel appelé EPICS. L'EPICS a fait ses preuves dans le monde entier en matière de commande d'instruments scientifiques dans de nombreuses installations scientifiques. Les essais initiaux de balayages simples mettant en œuvre ces aspects du nouveau système d'acquisition de données et de commande sur une ligne de faisceau ont été réussis.



### Monochromateur Heusler à mise au point verticale

Notre spectromètre à trois axes C5 est très utilisé pour étudier le magnétisme dans des matériaux. Le projet de construction et de mise en service d'un monochromateur Heusler à mise au point verticale pour le C5 est terminé; il nécessite une nouvelle table de monochromateur qui pourrait supporter le poids élevé du monochromateur et comporter des caractéristiques intégrées permettant de réduire le rayonnement gamma intense éventuel provenant du monochromateur. Le nouveau monochromateur Heusler est un excellent polarisateur doté d'un taux d'inversion global de 25.



### Scanneur laser 3-D et système de repérage

Un scanneur laser tridimensionnel peut désormais servir à créer des représentations virtuelles d'échantillons. Lorsqu'il est utilisé conjointement avec un système de repérage et la mise en œuvre d'une simulation par scanneur, ainsi qu'avec un logiciel de commande désormais en service sur le scanneur de contraintes L3, le temps de montage des expériences est réduit, ce qui rend plus efficace le temps de faisceau disponible, particulièrement pour des échantillons à la géométrie compliquée. Le système permet de positionner correctement des échantillons à  $\pm 0,1$  mm.



### Réfrigérateur à cycle fermé

Le plus récent réfrigérateur à cycle fermé du CCFN permet d'atteindre des températures constantes comprises entre 1,5 K et 800 K sans hélium ou azote liquide. Le fonctionnement du nouveau réfrigérateur peut être entièrement automatique et télécommandé; il se charge par le dessus pour pouvoir changer rapidement les échantillons, l'espace réservé aux échantillons mesure 70 mm de diamètre; enfin, une sonde  $^3\text{He}$  permettant d'atteindre des températures aussi basses que 300 mK peut y être installée.



## COURS D'ÉTÉ SUR LA DIFFUSION DES NEUTRONS

Étudiants apprenant à utiliser des faisceaux de neutrons au réacteur NRU.

Qu'est-ce qui attire des douzaines d'étudiants diplômés et de chercheurs scientifiques du Canada et du monde entier pendant une semaine dans les bois de la vallée de l'Outaouais? Une formation sur la façon d'utiliser les outils uniques de classe internationale destinés à la recherche sur les matériaux qu'offre le CCFN.

Un des aspects de l'accessibilité offerte à la communauté des utilisateurs est une formation pratique et concrète sur des techniques de diffusion des neutrons, une expérience qui ne peut être fournie nulle part ailleurs au Canada. Pour atteindre cet objectif, le CCFN organise depuis de nombreuses années des cours d'été bisannuels sur la diffusion des neutrons, et les plus récents ont eu lieu en 2011 et 2013. Il s'agissait des 11e et 12e cours d'été canadiens sur la diffusion des neutrons à Chalk River.

*« Le cours d'été m'a initié à un outil expérimental dont j'ai besoin pour ma recherche sur des contraintes résiduelles dans des joints à recouvrement de soudage par friction-malaxage dans le domaine aérospatial. »*

« Je suis très content d'y avoir assisté, » dit Michael Bach, étudiant diplômé en génie mécanique de l'Université Carleton. « Le cours d'été m'a initié à un outil expérimental dont j'ai besoin pour ma recherche sur des contraintes résiduelles dans des joints à recouvrement de soudage par friction-malaxage dans le domaine aérospatial. »

« Mon travail implique des modèles complexes permettant de prévoir les contraintes dans ces structures, et les faisceaux de neutrons me permettront de vérifier mes prévisions de façon non destructive, » a ajouté Bach qui a assisté

au cours en 2011. « L'expérience pratique sur les lignes de faisceaux au réacteur NRU était intéressante et, maintenant que j'ai vu l'installation et que je connais le procédé, je prévois revenir pour effectuer certaines expériences. »

En fait, Michael est revenu au CCFN quatre fois au cours des deux années suivantes pour des expériences et a terminé son doctorat.



Participants au 12e cours d'été canadien sur la diffusion des neutrons à Chalk River : du 2 au 7 juin 2013.

Bien que des cours sur la diffusion des neutrons se tiennent à d'autres sources de neutrons étrangères, les cours au CCFN attirent des participants enthousiastes de tout le Canada, des États-Unis et d'Europe. En 2013 et en 2011, 27 et 37 étudiants, respectivement, ont assisté pendant toute la semaine au cours. La plupart des participants étaient des étudiants diplômés et des détenteurs d'une bourse de perfectionnement postdoctorale d'universités canadiennes, issus de disciplines comme la physique, la chimie et la science des matériaux. Des scientifiques des matériaux d'EACL s'étaient également joints aux étudiants. Les conférenciers comprenaient du personnel du CCFN et des experts de la communauté de faisceaux de neutrons du Canada et des États-Unis.

Le cours offre un aperçu de la théorie et des applications de la diffusion des neutrons dans divers domaines scientifiques; il couvre une vaste gamme de sujets théoriques, techniques et en instrumentation, plutôt que de se concentrer sur un thème étroit. Le cours offre aux étudiants qui désirent utiliser la diffusion des neutrons dans le cadre de leurs activités de recherche, une occasion d'apprendre les fondements de la diffusion des neutrons et leur fournit un large aperçu du domaine.

Le format du cours est le suivant : conférences le matin, puis expériences pratiques l'après-midi sur les spectromètres au réacteur NRU, avec comme objectif un équilibre entre des présentations orales et des démonstrations pratiques et concrètes.

Le cours de 2013 ajoutait en parallèle le dernier jour des ateliers pour fournir aux étudiants un regard plus axé sur des exemples de recherches dans un domaine scientifique qui leur était plus pertinent. Ces ateliers ont été suivis par 39 chercheurs d'EACL en plus des étudiants du cours d'été. Les étudiants choisissent une des quatre séances sur des études structurales et sur le magnétisme, les applications industrielles, la biologie et la technologie des surfaces.

« L'atelier a été ce que j'ai préféré du cours d'été, parce qu'il était très pertinent pour ce que je fais en laboratoire, » a dit un étudiant qui a assisté à l'atelier en biologie.

L'atelier sur l'industrie se fondait sur l'étroite relation du CCFN avec EACL et l'industrie nucléaire, qui est le client industriel le plus fréquent du CCFN. Les réacteurs nucléaires destinés à la recherche et à la production d'énergie font face à d'intéressants défis relatifs aux matériaux de l'intérieur du cœur et à l'extérieur du reste de la centrale, ce qui constitue une grande variété de sujets d'étude au moyen des faisceaux de neutrons.

Les cours se sont tenus en partenariat avec l'Institut canadien de la diffusion des neutrons (ICDN) et EACL.



*« L'atelier a été ce que j'ai préféré du cours d'été, parce qu'il était très pertinent pour ce que je fais en laboratoire. »*



## LISTES DES PUBLICATIONS

Le CCFN a reçu avis des publications suivantes de son personnel et de ses utilisateurs. Cette liste d'articles de recherches effectuées au CCFN, dont 27 ont été publiés en 2011, 41 en 2012 et 39 en 2013, peut ne pas être complète.

En outre, les rapports expérimentaux de notre communauté d'utilisateurs sont disponibles sur le site Web de l'Institut canadien de la diffusion des neutrons : <http://www.cins.ca/expreports.html>.

Les références de la liste et les rapports sur les expériences sont présentées dans la langue dans laquelle ils ont été écrits.

### 2011

- Formation of Kinetically Trapped Nanoscopic Unilamellar Vesicles. Mu-Ping Nieh; Paul Dolinar; Norbert Kucerka; Steven R. Kline; Lisa M. Debeer-Schmitt; Kenneth C. Littrell; John Katsaras. *Langmuir*, 27, 2011-12, p. 14308-14316
- Deuterium absorption in Mg<sub>70</sub>Al<sub>30</sub> thin films with bilayer catalysts: a comparative neutron reflectometry study. Poirier, Eric; Harrower, Chris T.; Kalisvaart, Peter; Bird, Adam; Teichert, Anke; Wallacher, Dirk; Grimm, Nico; Steitz, Roland; Mitlin, David; Fritzsche, Helmut. *Journal of Alloys and Compounds*, 509 (18), 2011-02-24, p. 5466-5471
- Effect of alloying magnesium with chromium and vanadium on hydrogenation kinetics studied with neutron reflectometry. Kalisvaart, Peter; Lubber, Erik; Fritzsche, Helmut; Mitlin, David. *Chemical Communications*, 47 (14), 2011-04-14, p. 4294-4296
- Helical magnetic order in MnSi thin films. Karhu, E. A.; Kahwaji, S.; Robertson, M. D.; Fritzsche, H.; Kirby, B. J.; Majkrzak, C. F.; Monchesky, T. L. *Physical Review B, Condensed matter and materials physics*, 84, 2011-08-22, p. 060404-1-060404-4
- The effect of aliphatic alcohols on fluid bilayers in unilamellar DOPC vesicles — A small-angle neutron scattering and molecular dynamics study. Klacsová, M.; Bulacu, M.; Kučerka, N.; Uhríková, D.; Teixeira, J.; Marrink, S. J.; Balgavý, P. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1808 (9), 2011-09-01, p. 2136-2146
- Local and average structures and magnetic properties of Sr<sub>2</sub>FeMnO<sub>5-y</sub>, y = 0.0, 0.5. comparisons with Ca<sub>2</sub>FeMnO<sub>5</sub> and the effect of the A-site cation. Ramezanipour, Farshid; Greedan, John E.; Siewenie, Joan; Proffen, Th.; Ryan, Dominic H.; Grosvenor, Andrew P.; Donaberger, Ronald L. *Inorganic Chemistry*, 50 (16), 2011-07-18, p. 7779-7791
- Solidification analysis of an Al-19%Si alloy using in-situ neutron diffraction. Kasprzak, W.; Sediako, D.; Walker, M.; Sahoo, M.; Swainson, I. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 42 (7), 2011-07-01, p. 1854
- A study on fatigue crack growth behavior subjected to a single tensile overload: Part I: An overload-induced transient crack growth micromechanism. Lee, S. Y.; Liaw, P. K.; Choo, H.; Rogge, R. B. *Acta Materialia*, 59 (2), 2011-01-01, p. 485-494
- Analysis of Residual Stress Profiles in the Cylinder Web Region of an As-Cast V6 Al Engine Block with Cast-In Fe Liners Using Neutron Diffraction. Sediako, Dimitry; D'Elia, Fancesco; Lombardi, Anthony; Machin, Alan; Ravindran, C. (Ravi); Hubbard, Camden; Mackay, Robert. *SAE International Journal of Materials and Manufacturing*, 4 (1), 2011-06-15, p. 138-151
- Radiation-induced stress relaxation in high temperature water of type 316L stainless steel evaluated by neutron diffraction. Ishiyama, Y.; Rogge, R. B.; Obata, M. *Journal of Nuclear Materials*, 408 (2), 2011-01-15, p. 153-160
- Polarized neutron scattering investigation of excitations at low momentum transfer in liquid Ga: The mystery continues. Patty, Mark; Schoen, Keary; Montfroi, Wouter; Yamani, Zahra. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 357 (3), 2011-02-01, p. 1000-1003
- Triplet and in-gap magnetic states in the ground state of the quantum frustrated fcc antiferromagnet Ba<sub>2</sub>YMoO<sub>6</sub>. Carlo, J. P.; Clancy, J. P.; Aharen, T.; Yamani, Z.; Ruff, J. P. C.; Wagman, J. J.; Van Gastel, G. J.; Noad, H. M. L.; Granroth, G. E.; Greedan, J. E.; Dabkowska, H. A.; Gaulin, B. D. *Physical Review B, Condensed matter and materials physics*, 84 (10), 2011-09-19
- Coexistence of singlet and ordered S=1/2 moments in the ground state of the triclinic quantum magnet CuMoO<sub>4</sub>. Haravifard, S.; Fritsch, K.; Asano, T.; Clancy, J. P.; Yamani, Z.; Ehlers, G.; Nishimura, T.; Inagaki, Y.; Kawae, T.; Swainson, I.; Gaulin, B. D. *Physical Review B, Condensed matter and materials physics*, 84 (9), 2011-09-22
- Fluid phase lipid areas and bilayer thicknesses of commonly used phosphatidylcholines as a function of temperature. Kučerka, Norbert; Nieh, Mu-Ping; Katsaras, John. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1808 (11), 2011-11-01, p. 2761-2771
- Temperature Driven Annealing of Perforations in Bicellar Model Membranes. Nieh, Mu-Ping; Raghunathan, V. A.; Pabst, Georg; Harroun, Thad; Nagashima, Kazuomi; Morales, Hannah; Katsaras, John; Macdonald, Peter Langmuir, 27 (8), 2011-03-25, p. 4838-4847
- Influence of Cholesterol and β-Sitosterol on the Structure of EYPC Bilayers. Gallová, Jana; Uhríková, Daniela; Kučerka, Norbert; Svorková, Miroslava; Funari, Sergio S.; Murugova, Tatiana N.; Almásy, László; Mazúr, Milan; Balgavý, Pavol. *The Journal of Membrane Biology*, 243 (1-3), 2011-08-04, p. 1-13
- Microstructural analysis of rapidly solidified aluminium-nickel alloys. Ilbagi, A.; Delshad Khatibi, P.; Swainson, I. P.; Reinhart, G.; Heinein, H. *Canadian Metallurgical Quarterly*, 50 (3), 2011-07-01, p. 295-302
- Antiferromagnetic order in MnO spherical nanoparticles. Wang, C. H.; Baker, S. N.; Lumsden, M. D.; Nagler, S. E.; Heller, W. T.; Baker, G. A.; Deen, P. D.; Cranswick, L. M. D.; Su, Y.; Christianson, A. D. *Physical Review B*, 83, 2011-06-15
- Emergent Spin Topology in Cuprate Superconductors Seen with Neutrons. Yamani, Zahra; Buyers, William J. L. *Physics in Canada*, 67 (2), 2011-04-01, p. 96-104
- Small unilamellar vesicles: a platform technology for molecular imaging of brain tumors. Iqbal, Umar; Albaghdadi, Homam; Nieh, Mu-Ping; Tuor, Ursula I.; Mester, Zoltan; Stanimirovic, Danica; Katsaras, John; Abulrob, Abedelnasser. *Nanotechnology*, 22 (19), 2011-03-24
- The effects of cholesterol and β-sitosterol on the structure of saturated diacylphosphatidylcholine bilayers. Gallová, Jana; Uhríková, Daniela; Kučerka, Norbert; Doktorovová, Slavomíra; Funari, Sérgio S.; Teixeira, José; Balgavý, Pavol. *European Biophysics Journal*, 40 (2), 2011-02-01, p. 153-163
- 11th Canadian Neutron Scattering Summer School. Zahra Yamani. *Neutron News*, 22 (4), 2011-12, p. 7
- Application of neutron diffraction in characterization of texture evolution during

- high-temperature creep in magnesium alloys. Sediako, D.; Shook, S.; Vogel, S.; Sediako, A. *Magnesium technology 2011*, (12th Magnesium Technology Symposium, San Diego, California, USA, February 27 - March 3, 2011), ISBN: 9781118029367, 2011-02-01, p. 233
24. Application of neutron diffraction in analysis of residual stress profiles in the cylinder web region of an as-cast V6 Al engine block with cast-in Fe liners. Sediako, D.; D'Elia, F.; Lombardi, A.; Machin, A.; Ravindran, C.; Hubbard, C.; Mackay, R. *Supplemental Proceedings: Materials Fabrication, Properties, Characterization, and Modeling*, (TMS 2011 Annual Meeting & Exhibition, San Diego, California, USA, February 27 - March 3, 2011), 2, ISBN: 9781118029466, 2011-04-19, p. 299
  25. Effect of misalignment on residual stress in carbon steel socket welded joint. Hayashi, M.; Root, John H.. *Proceedings of ATEM'11 (International Conference on Advanced Technology in Experimental Mechanics 2011)*, Kobe, Japan, September 19-21, 2011; 2011-09-19
  26. Solidification analysis of Al-Si alloys modified with addition of Cu using in-situ neutron diffraction. Sediako, D.; Kasprzak, W.; Swainson, I.; Garlea, O.. *Supplemental Proceedings: Materials Fabrication, Properties, Characterization, and Modeling*, (TMS 2011 Annual Meeting & Exhibition, San Diego, California, USA, February 27 - March 3, 2011), 2, ISBN: 9781118029466, 2011-04-19, p. 299
  27. Compressive creep behaviour of extruded Mg alloys at 150°C M. Fletcher; L. Bichler; D. Sediako; R. Klassen. *Magnesium technology 2011*, (12th Magnesium Technology Symposium, San Diego, California, USA, February 27-March 3, 2011, San Diego, California, USA), ISBN: 9781118029367, 2011-02-01, p. 79
- ## 2012
1. Patterson analysis for layer profile determination by neutron or X-ray reflectometry. Tun, Zin. *Journal of Applied Crystallography*, ISSN: 0021-8898, 45 (3), 2012-05-04, p. 398-405
  2. Effect of uniaxial strain on the structural and magnetic phase transitions in BaFe<sub>2</sub>As<sub>2</sub>. Dhital, Chetan; Yamani, Z.; Tian, Wei; Zeretsky, J.; Sefat, A. S.; Wang, Ziqiang; Birgeneau, R. J.; Wilson, Stephen D.. *Physical Review Letters*, 108 (8), 2012-02-22, p. 087001-1-087001-4
  3. Exchange bias in a nanocrystalline hematite/permalloy thin film investigated with polarized neutron reflectometry. Cortie, D. L.; Lin, K.-W.; Shueh, C.; Hsu, H.-F.; Wang, X. L.; James, M.; Fritzsche, H.; Bruck, S.; Klöse, F.. *Physical Review B: condensed matter and materials physics*, 86 (5), 2012-08-07, p. 054408-1-054408-10
  4. Performance of Cu-coated vanadium cans for in situ neutron powder diffraction experiments on hydrogen storage materials. Flacau, Roxana; Bolduc, Jim; Bibienne, Thomas; Huot, Jacques; Fritzsche, Helmut. *Journal of Applied Crystallography*, 45 (5), 2012-08-09, p. 902-905
  5. Characterization of a liquid scintillator based on linear alkyl benzene for neutron detection. Bentoumi, G.; Dai, X.; Fritzsche, H.; Jonkmans, G.; Li, L.; Marleau, G.; Sur, B.. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, 701, 2012-11-10, p. 221-224
  6. Magnetic order and fluctuations in the presence of quenched disorder in the kagome staircase system (Co<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>)<sub>2</sub>V<sub>2</sub>O<sub>8</sub>. Fritsch, K.; Yamani, Z.; Chang, S.; Qiu, Y.; Copley, J. R. D.; Ramazanoglu, M.; Dabkowska, H. A.; Gaulin, B. D.. *Physical Review B*, 86 (17), 2012-11-21, p. 174421-1-174421-10
  7. Lipid bilayer - DNA interaction mediated by divalent metal cations: SANS and SAXD study. Uhríková, D.; Kučerka, N.; Lengyel, A.; Pullmannová, P.; Teixeira, J.; Murugua, T.; Funari, S. S.; Balgavý, P.. *Journal of Physics: Conference Series*, 351 (1), 2012, p. 1-9
  8. Competing ferri- and antiferromagnetic phases in geometrically frustrated LuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>. de Groot, J.; Marty, K.; Lumsden, M. D.; Christianson, A. D.; Nagler, S. E.; Adiga, S.; Borghols, W. J. H.; Schmalz, K.; Yamani, Z.; Bland, S. R.; de Souza, R.; Staub, U.; Schweika, W.; Su, Y.; Angst, M.. *Physical Review Letters*, 108 (3), 2012-01-20, p. 037206-1-037206-5
  9. Structural phase transitions induced by pressure in ammonium borohydride. Flacau, Roxana; Yao, Yansun; Klug, Dennis D.; Desgreniers, Serge; Ratcliffe, Christopher L.. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 14 (19), 2012-03-29, p. 7005-7011
  10. Neutron diffraction analysis of phase precipitation in solidification of hypereutectic Al-Si alloys with the addition of Cu and Mg. Sediako, D.; Kasprzak, W.. *Light Metals 2012: Proceedings of the technical sessions presented by the TMS Aluminum Committee at the TMS 2012 Annual Meeting and Exhibition*, (March 11-15, 2012, Orlando, Florida), 2012-05-23, p. 355-364
  11. Co-existence of gel and fluid lipid domains in single-component phospholipid membranes. Armstrong, C. L.; Barrett, M. A.; Topozini, L.; Kucerka, N.; Yamani, Z.; Katsaras, J.; Fragneto, G.; Rheinstädter, M. C.. *Soft Matter*, 8 (17), 2012-03-09, p. 4687-4694
  12. Chiral modulations and reorientation effects in MnSi thin films. Karhu, E. A.; Rößler, U. K.; Bogdanov, A. N.; Kahwaji, S.; Kirby, B. J.; Fritzsche, H.; Robertson, M. D.; Majkrzak, C. F.; Monchesky, T. L.. *Physical Review B*, 85 (9), 2012-03-27, p. 094429-1-094429-12
  13. Electron doping evolution of the anisotropic spin excitations in BaFe<sub>2-x</sub>Ni<sub>x</sub>As<sub>2</sub>. Luo, Huiqian; Yamani, Zahra; Chen, Yanhao; Lu, Xingye; Wang, Meng; Li, Shiliang; Maier, Thomas A.; Danilkin, Sergey; Adroja, D. T.; Dai, Pengcheng. *Physical Review B*, 86 (2), 2012-07-10, p. 24508-1-24508-10
  14. Neutron Reflectometry. Fritzsche, Helmut. *Characterization of Materials*, ISBN: 9780471266969, 2012-06-25, p. 2226-2237
  15. Quantum oscillations of nitrogen atoms in uranium nitride. Aczel, A. A.; Granroth, G. E.; MacDougall, G. J.; Buyers, W. J. L.; Abernathy, D. L.; Samolyuk, G. D.; Stocks, G. M.; Nagler, S. E.. *Nature Communications*, 3, 2012-10-09
  16. Evidence for anisotropic polar nanoregions in relaxor Pb(Mg<sub>1/3</sub>Nb<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub>: a neutron study of the elastic constants and anomalous TA phonon damping in PMN. Stock, C.; Gehring, P. M.; Hiraka, H.; Swainson, I.; Xu, Guangyong; Ye, Z.-G.; Luo, H.; Li, J.-F.; Viehland, D.. *Physical Review B*, 86 (10), 2012-09-18, p. 104108-1-104108-18
  17. Neutron scattering studies of spin excitations in superconducting Rb<sub>0.82</sub>Fe<sub>1.68</sub>Se<sub>2</sub>. Wang, Miaoyin; Li, Chunhong; Abernathy, D. L.; Song, Yu; Carr, Scott V.; Lu, Xingye; Li, Shiliang; Yamani, Zahra; Hu, Jiangping; Xiang, Tao; Dai, Pengcheng. *Physical Review B*, 86 (2), 2012-07-05, p. 024502-1-024502-2
  18. Neutron diffraction study on residual stress in aluminum engine blocks following machining and service testing. Lombardy, Anthony; Sediako, Dimitry; D'Elia, Francesco; Ravindran, C.; Mackay, Robert L.. *SAE International Journal of Materials and Manufacturing*, 5 (1), 2012-04-16, p. 115-121
  19. Orientation dependence of stress distributions in polycrystals deforming elastoplastically under biaxial loadings. Marin, T.; Dawson, P. R.; Gharghoury, M. A.. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, ISSN: 0022-5096, 60 (5), 2012-01-10, p. 921-944
  20. Phonon density of states and the search for a resonance mode in LaFeAsO<sub>0.85</sub>F<sub>0.15</sub> (Tc = 26 K). Yamani, Z.; Ryan, D. H.; Cadogan, J. M.; Canepa, F.; Palenzona, A.; Orecchini, Andrea. *Journal of Physics: Conference Series*, (5th European Conference on Neutron Scattering (ECNS 2011), July 17-22, 2011, Prague, Czech Republic), 340 (1), 2012, p. 012074-1-012074-6
  21. Spin ordering and electronic texture in the bilayer iridate Sr<sub>3</sub>Ir<sub>2</sub>O<sub>7</sub>. Dhital, Chetan; Khadka, Sovit; Yamani, Z.; de la Cruz, Clarina; Hogan, T. C.; Disseler, S. M.; Pokharel, Mani; Lukas, K. C.; Tian, Wei; Opeil, C. P.; Wang, Ziqiang; Wilson, Stephen D.. *Physical Review B*, 86 (10), 2012-09-07, p. 100401-1-100401-4
  22. Neutron scattering study of URu<sub>2-x</sub>Re<sub>x</sub>Si<sub>2</sub> (x=0.10): driving order towards quantum criticality. Williams, T. J.; Yamani, Z.; Butch, N. P.; Luke, G. M.; Maple, M. B.; Buyers, W. J. L.. *Physical Review B*, 86 (23), 2012-12-04, p. 235104-1-235104-5
  23. Microstructure development in hypereutectic cast Al-Si alloys evaluated by metallurgical analysis and neutron diffraction. Kasprzak, W.; Sediako, D.; Aniolek, M.; Kurita, H.. *ICAA13: 13th International Conference on Aluminum Alloys*, 3-7 June 2012, Pittsburgh, Pennsylvania, USA), ISBN: 9781118458044, 2012-09-04, p. 1431-1440
  24. Zn-induced spin dynamics in overdoped La<sub>2-x</sub>Sr<sub>x</sub>Cu<sub>1-y</sub>Zn<sub>y</sub>O<sub>4</sub>. Wilson, Stephen D.;

- Yamani, Z.; Dhital, Chetan; Freelon, B.; Freeman, P. G.; Fernandez-Baca, J. A.; Yamada, K.; Wakimoto, S.; Buyers, W. J. L.; Birgeneau, R. J. *Physical Review B*, 85 (1), 2012-01-17, p. 014507-1-014507-9
25. Neutron reflectometry: a unique tool to determine the hydrogen profile in thin films. Fritzsche, H.; Haagsma, J.; Ophus, C.; Lubner, E.; Harrower, T.; Mitlin, D. Role of nuclear based technique in development and characterization of materials for hydrogen storage and fuel cells, ISBN: 978-1-61779-190-1, 2012-02-01, p. 79-84
  26. Probing the room temperature deuterium absorption kinetics in nanoscale magnesium based hydrogen storage multilayers using neutron reflectometry, X-ray diffraction, and atomic force microscopy. Kalisvaart, W. P.; Lubner, E. J.; Poirier, E.; Harrower, C. T.; Teichert, A.; Wallacher, D.; Grimm, N.; Steitz, R.; Fritzsche, H.; Mitlin, D. *Journal of Physical Chemistry C*, 116 (9), 2012-02-13, p. 5868-5880
  27. The effect of the B-site cation and oxygen stoichiometry on the local and average crystal and magnetic structures of  $Sr_{2-x}Fe_{1-x}M_{0.1}O_{5+y}$  ( $M = Mn, Cr, Co; y = 0, 0.5$ ). Ramezani-pour, Farshid; Greedan, John E.; Cranswick, Lachlan M. D.; Garlea, V. Ovidiu; Siewenie, Joan; King, Graham; Llobet, Anna; Donaberger, Ronald L. *Journal of Materials Chemistry*, 22 (19), 2012-03-13, p. 9522-9538
  28. Neutron diffraction study on residual stress in aluminum engine blocks following machining and service testing. Lombardi, Anthony; Sediako, Dimitry; D'Elia, Francesco; Ravindran, C.; Mackay, Robert I. SAE 2012 World Congress & Exhibition Technical Papers, (SAE 2012 World Congress, 24-26 April 2012, Detroit, Michigan, USA), 2012-04-16
  29. Interaction of aspirin (Acetylsalicylic Acid) with lipid membranes. Barrett, Matthew A.; Zheng, Songbo; Roshankar, Golnaz; Alsop, Richard J.; Belanger, Randy K. R.; Huynh, Chris; Kučerka, Norbert; Rheinstädter, Maikel C. *PLoS ONE*, 7 (4), 2012-04-17
  30. Molecular structures of fluid phase phosphatidylglycerol bilayers as determined by small angle neutron and X-ray scattering. Pan, Jianjun; Heberle, Frederick A.; Tristram-Nagle, Stephanie; Szymanski, Michelle; Koepfinger, Mary; Katsaras, John; Kučerka, Norbert. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Biomembranes*, ISSN: 0005-2736, 1818 (9), 2012-05-11, p. 2135-2148
  31. Deformation behavior of solid-solution-strengthened Mg-9 wt.% Al alloy subjected to uniaxial tension. Lee, S. Y.; Gharghoury, M. A.; Wang, H.; Nayyeri, G.; Wu, P. D.; Poole, W. J.; Wu, W.; An, K. Proceedings of the 9th International Conference on Magnesium Alloys and their Applications (ICMAA12, 8-12 July 2012, Vancouver, Canada), 2012-07-12, p. 631-636
  32. Model-based approaches for the determination of lipid bilayer structure from small-angle neutron and X-ray scattering data. Heberle, Frederick A.; Pan, Jianjun; Standaert, Robert F.; Drazba, Paul; Kučerka, Norbert; Katsaras, John. *European Biophysics Journal*, ISSN: 0175-7571, 41 (10), 2012-05-16, p. 875-890
  33. Coexistence and competition of the short-range incommensurate antiferromagnetic order with superconducting state of  $BaFe_{2-x}Ni_xAs_2$ . Luo, Huiqian; Zhang, Rui; Laver, Mark; Yamani, Zahra; Wang, Meng; Lu, Xingye; Wang, Miaoyin; Chen, Yanchao; Li, Shiliang; Chang, Sung; Lynn, Jeffrey W.; Dai, Pengcheng. *Physical Review Letters*, 108 (24), 2012-06-12, p. 247002-1-247002-5
  34. Neutron scattering from the static and dynamic lattice of  $SrCu_2(BO_3)_2$  in its Shastry-Sutherland. Haravifard, S.; Gaulin, B. D.; Yamani, Z.; Dunsiger, S. R.; Dabkowska, H. A. *Physical Review B*, 85 (13), 2012-04-12, p. 134104-1-134104-7
  35. Growth kinetics of lipid-based nanodiscs to unilamellar vesicles—A time-resolved small angle neutron scattering (SANS) study. Mahabir, Suanne; Small, Darcy; Li, Ming; Wan, Wankei; Kučerka, Norbert; Littrell, Kenneth; Katsaras, John; Nieh, Mu-Ping. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Biomembranes*, ISSN: 0005-2736, 1828 (3), 2012-11-26, p. 1025-1035
  36. Interactions between ether phospholipids and cholesterol as determined by scattering and molecular dynamics simulations. Pan, Jianjun; Cheng, Xiaolin; Heberle, Frederick A.; Mostofian, Barmak; Kučerka, Norbert; Drazba, Paul; Katsaras, John. *The Journal of Physical Chemistry B*, 116 (51), 2012-11-30, p. 14829-14838
  37. Measurement of the residual stress tensor in a compact tension weld specimen. Traore, Y.; Paddea, S.; Bouchard, P. J.; Gharghoury, M. A. *Experimental Mechanics*, ISSN: 0014-4851, 53 (4), 2012-09-06, p. 605-618
  38. Interplay between residual stresses, microstructure, process variables and engine block casting integrity. Lombardi, Anthony; D'Elia, Francesco; Ravindran, Comondore; Sediako, Dimitry; Murty, B. S.; MacKay, Robert. *Metallurgical and Materials Transactions A*, ISSN: 1073-5623, 43 (13), 2012-08-16, p. 5258-5270
  39. Deformation behaviour of AZ80 subject to multi-axial loading. Tomlinson, P. S.; Poole, W. J.; Sinclair, C. W.; Gharghoury, M. A. Proceedings of the 9th International Conference on Magnesium Alloys and their Applications (ICMAA12, 8-12 July 2012, Vancouver, Canada), 2012-07-12, p. 789-794
  40. Effect of cholesterol on the lateral nanoscale dynamics of fluid membranes. Armstrong, Clare L.; Barrett, Matthew A.; Hiess, Arno; Salditt, Tim; Katsaras, John; Shi, An-chang; Rheinstädter, Maikel C. *European Biophysics Journal*, ISSN: 0175-7571, 41 (10), 2012-10, p. 901-913
  41. The magnetic structure of  $\text{EuPdSn}$ . P. Lemoine, J.M. Cadogan, D.H. Ryan and M. Giovannini *J. Phys.: CM* 24 (2012), 236004(8)
1. Analysis of Residual Strain Profiles in Distorted Aluminum Engine Blocks by Neutron Diffraction. Lombardi, A., Ravindran, C., Sediako, D. and Mackay, R. *SAE Int. J. Mater. Manf.* 6(2): 135-145 (2013).
  2. Analysis of the Stress-Free Interplanar Spacing During Solution Heat Treatment of 319 Al Alloy Engine Blocks Via In-Situ Neutron Diffraction. A. Lombardi, D. Sediako, C. Ravindran, and R. MacKay. *Materials Science and Technology (MS&T) 2013*. October 27-31, 2013, Montreal, Quebec, Canada. Applied Neutron Scattering in Engineering and Materials Science Research. Pages 980-988
  3. Avoided Quantum Criticality and Magnetoelastic Coupling in  $\text{BaFe}_{2-x}\text{Ni}_x\text{As}_2$ . X. Lu, H. Gretarsson, R. Zhang, X. Liu, H. Luo, W. Tian, M. Laver, Z. Yamani, Young-June Kim, A. H. Nevidomskyy, Qimiao Si, and Pengcheng Dai. *Phys. Rev. Lett.* 110: 257001 (2013).
  4. Biaxial Deformation of the Magnesium Alloy AZ80. P. Tomlinson, H. Azizi-Alizamini, W.J. Poole, C.W. Sinclair, and M.A. Gharghoury. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 44: 2970-2983 (2013)
  5. Bilayer Thickness Mismatch Controls Domain Size in Model Membranes. Frederick A. Heberle, Robin S. Petruzielo, Jianjun Pan, Paul Drazba, Norbert Kučerka, Robert F. Standaert, Gerald W. Feigenson, and John Katsaras. *Journal of the American Chemical Society* 135: 6853-6859 (2013)
  6. Characterization of a Liquid Scintillator Based on Linear Alkyl Benzene for Neutron Detection. G. Bentoumi, X. Dai, H. Fritzsche, G. Jonkmans, L. Li, G. Marleau, B. Sur. *Nucl. Instrum. Meth. A* 701: 221 (2013).
  7. Complex long-range magnetic ordering in the Mn-bearing dugganite  $\text{Pb}_2\text{TeMn}_3\text{P}_2\text{O}_{14}$ . Silverstein, H.J., Sharma, A.Z., Cruz-Kan, K., Zhou, H.D., Huq, A., Flacau, R., Wiebe, C.R. *Journal of Solid State Chemistry* 204: 102-107 (2013)
  8. Compressive Creep Properties of Wrought High Temperature Magnesium Alloys in Axial and Transverse Orientation – A Neutron Diffraction Study. D. Sediako, L. Bichler, M. van Hanegem, and S. Shook. *Magnesium Technologies 2013*, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA.
  9. Creep performance of wrought AX30 and EZ33 magnesium alloys. L. Bichler, A. Siebert-Timmer, D. Sediako. *Canadian Metallurgical Quarterly* 52 (4): 430-438 (2013)
  10. Discrete helicoidal states in chiral magnetic thin films. M. N. Wilson, E. A. Karhu, D. P. Lake, A. S. Quigley, S. Meynell, A. N. Bogdanov, H. Fritzsche, U. K. Röblier, and T. L. Monchesky. *Physical Review B* 88: 214420-1 to -6 (2013)
  11. Distortion and residual stress measurements of induction hardened AISI 4340 discs. Yi, J., Gharghoury, M., Bocher, P., and Medraj, M. *Materials Chemistry and Physics*, 142: 248-258 (2013).

12. Effect of Heat Treatment on the Residual Strain Levels in Welded AR200 Steel Joints. V. Neykov, L. Bichler, and D. Sediako. *Materials Science and Technology (MS&T)* 2013. October 27-31, 2013, Montreal, Quebec, Canada. Applied Neutron Scattering in Engineering and Materials Science Research. Pages 962-963
13. Effect of Melatonin and Cholesterol on the Structure of DOPC and DPPC Membranes. E. Drolle, N. Kucerka, M.I. Hoopes, Y. Choi, J. Katsaras, M. Kartunnen, Z. Leonenko. *Biochimica et Biophysica Acta* 1828: 2247-2254 (2013)
14. Electric-field-controlled Antiferromagnetic Domains in Epitaxial BiFeO<sub>3</sub> Thin Films Probed by Neutron Diffraction. W. Ratcliff, II, Zahra Yamani, V. Anbusathaiyah, T. R. Gao, P. A. Kienzle, H. Cao, and I. Takeuchi. *Phys. Rev. B* 87: 140405 (2013).
15. Electron doping evolution of the magnetic excitations in BaFe<sub>2-x</sub>Ni<sub>x</sub>As<sub>2</sub>. Huiqian Luo, Xingye Lu, Rui Zhang, Meng Wang, E. A. Goremychkin, D. T. Adroja, Sergey Danilkin, Guochu Deng, Zahra Yamani, and Pengcheng Dai. *Phys. Rev. B* 88: 144516 (2013).
16. Growth Kinetics of Lipid-Based Nanodiscs to Unilamellar Vesicles – A Time-resolved Small Angle Neutron Scattering (SANS) Study. Suanne Mahabir, Darcy Small, Ming Li, Wankei Wan, Norbert Kučerka, Kenneth Littrell, John Katsaras, Mu-Ping Nieh. *Biochimica et Biophysica Acta - Biomembranes* 1828: 1025-1035 (2013)
17. Hydrogen Absorption into Titanium under Cathodic Polarization: An In-Situ Neutron Reflectometry and EIS Study. M. Vezaie, J. J. Noel, Z. Tun, and D.W. Shoesmith. *Journal of The Electrochemical Society* 160: C414-C422 (2013)
18. Incommensurate Dynamic Correlations in the Quasi-two-dimensional Spin Liquid BiCu<sub>2</sub>PO<sub>6</sub>. K.W. Plumb, Zahra Yamani, M. Matsuda, G.J. Shu, B. Koteswararao, F.C. Chou, and Young-June Kim. *Phys. Rev. B* 88: 024402 (2013).
19. In-Situ Neutron Powder Diffraction On TiF<sub>3</sub>-Catalyzed Magnesium For Hydrogen Storage Applications. R. Flacau, X. Tan, M. Danaie, H. Fritzsche, D. Mitlin. *Materials Science and Technology (MS&T)* 2013. October 27-31, 2013, Montreal, Quebec, Canada. Applied Neutron Scattering in Engineering and Materials Science Research. Pages 1004-1009
20. Interdiffusion of Fe and Mg Layers During Annealing and Deuterium Absorption. H. Fritzsche, S. Bilodeau, R. Flacau, P. Jain, J. Huot, W.P. Kalisvaart, D. Mitlin. *Materials Science and Technology (MS&T)* 2013. October 27-31, 2013, Montreal, Quebec, Canada. Applied Neutron Scattering in Engineering and Materials Science Research. Pages 1010-1017
21. Journal Impact Factors: Their Relevance and Their Influence on Society-published Scientific Journals. Keith Putirka, Martin Kunz, Ian Swainson, and Jennifer Thomson. *American Mineralogist*, 98: 1055–1065 (2013)
22. Magnon Breakdown in a Two Dimensional Triangular Lattice Heisenberg Antiferromagnet of Multiferroic LuMnO<sub>3</sub>. J. Oh, M.D. Le, J. Jeong, J-H Lee, H. Woo, W.-Y. Song, T.G. Perring, W.J.L. Buyers, S.-W. Cheong and J.G. Park. *Physical Review Letters* 111: 257202 (2013)
23. Magnetic Ordering in Nanocrystalline Gadolinium: A Neutron Diffraction Study. D. H. Ryan, A. Michels and F. Döbrich, R. Birringer, Z. Yamani, J. M. Cadogan. *Phys. Rev. B* 87: 064408 (2013).
24. Measurement of the residual stress tensor in a compact tension weld specimen. Traore, Y., Paddea, S., Bouchard, P. J., and Gharghoury, M. A.. *Experimental Mechanics*, 53: 605-618 (2013)
25. Neutron scattering investigation of the d-d excitations below the Mott gap of CoO. R. A. Cowley, W. J. L. Buyers, C. Stock, Z. Yamani, C. Frost, J. W. Taylor, and D. Prabhakaran. *Phys. Rev. B* 88, 205117 (2013)
26. Neutron Scattering Study of Correlated Phase Behavior in Sr<sub>2</sub>IrO<sub>4</sub>. C. Dhital, T. Hogan, Z. Yamani, Clarina de la Cruz, Xiang Chen, Sovit Khadka, Zhensong Ren, and Stephen D. Wilson. *Phys. Rev. B* 87: 144405 (2013)
27. Nonlocal Effect and Dimensions of Cooper pairs Measured by Low-energy Muons and Polarized Neutrons in Type-I Superconductors. V. Kozhevnikov, A. Suter, H. Fritzsche, V. Gladilin, A. Volodin, T. Moorkens, M. Trekels, J. Cuppens, B. M. Wojek, T. Prokscha, E. Morenzoni, G. J. Nieuwenhuys, M. J. Van Bael, K. Temst, C. Van Haesendonck, and J. O. Indekeu. *Phys. Rev. B* 87: 104508 (2013)
28. Phase Diagram and Magnetic Structures of the Co-bearing Dugganites Pb<sub>3</sub>TeCo<sub>3</sub>A<sub>2</sub>O<sub>14</sub> (A=V,P). H J Silverstein, A Z Sharma, A J Stoller, K Cruz-Kan, R Flacau, R L Donaberg-er, H D Zhou, P Manuel, A Huq, A I Kole-nsnikov and C R Wiebe. *J. Phys.: Condens. Matter* 25: 246004 (2013)
29. Phonon Lifetime Investigation of Anharmonicity and Thermal Conductivity of UO<sub>2</sub> by Neutron Scattering and Theory. Judy W.L. Pang, William J.L. Buyers, Alexandr Chernatynsky, Mark D. Lumsden, Bennett C. Larson and Simon R. Phillpot. *Physical Review Letters* 110, 157401 (2013).
30. Pseudoelastic behavior of Magnesium Alloy during Twinning-dominated Cyclic Deformation. S.Y. Lee, M.A. Gharghoury. *Materials Science and Engineering A*, 572: 98-102 (2013)
31. Quantitative Analysis of Elastic and Plastic Response of Advanced Mg Alloys During Creep at 170 °C Using Neutron Diffraction Techniques. W. Threlfall, L. Bichler, and D. Sediako. *Materials Science and Technology (MS&T)* 2013. October 27-31, 2013, Montreal, Quebec, Canada. Applied Neutron Scattering in Engineering and Materials Science Research. Pages 951-961
32. Room temperature single-crystal diffuse scattering and ab initio lattice dynamics in CaTiSiO<sub>5</sub>. M J Gutmann, K Refson, M v Zimmermann, I P Swainson, A Dabkowski and H Dabkowska. *J. Phys.: Condens. Matter* 25: 315402
33. Residual stresses in welded stiffened steel plates - An experimental comparative study. Das, S., Gharghoury, M., Kenno, S., and Rogge, R.. *Materials Performance and Characterization*. 2 (2013).
34. Solidification Analysis of an Al-5 wt% Cu Alloy Using In-Situ Neutron Diffraction. F. D'Elia, C. Ravindran, D. Sediako, and R. Donabeger. *Materials Science and Technology (MS&T)* 2013. October 27-31, 2013, Montreal, Quebec, Canada. Applied Neutron Scattering in Engineering and Materials Science Research. Pages 964-971
35. Solidification of Mg-9%Al Alloy Using In-Situ Neutron Diffraction. A. Elsayed, D. Sediako, C. Ravindran. *Materials Science and Technology (MS&T)* 2013. October 27-31, 2013, Montreal, Quebec, Canada. Applied Neutron Scattering in Engineering and Materials Science Research. Pages 972-979
36. The Observation of Highly Ordered Domains in Membranes with Cholesterol. C.L. Armstrong, D. Marquardt, H. Dies, N. Kucerka, Z. Yamani, Thad A. Harroun, John Katsaras, An-Chang Shi, Maikel C. Rheinstadter. *PLOS ONE* 8: e66162 (2013).
37. Tocopherol Activity Correlates with its Location in a Membrane: A New Perspective on the Antioxidant Vitamin E. Drew Marquardt, Justin A. Williams, Norbert Kučerka, Jeffrey Atkinson, Stephen R. Wassall, John Katsaras, and Thad A. Harroun. *J. Amer. Chem. Soc* 135: 7523–7533 (2013)
38. Two-dimensional Incommensurate and Three-dimensional Commensurate Magnetic Order and Fluctuations in La<sub>2-x</sub>Ba<sub>x</sub>CuO<sub>4</sub>. J. J. Wagman, G. Van Gastel, K. A. Ross, Z. Yamani, Y. Zhao, Y. Qiu, J.R. D. Copley, A. B. Kallin, E. Mazurek, J. P. Carlo, H. A. Dabkowska, and B. D. Gaulin. *Phys. Rev. B* 88: 014412 (2013).
39. Morphological Characterization of DMPC/CHAPSO Bicellar Mixtures: A Combined SANS and NMR Study. Ming Li, Hannah H. Morales, John Katsaras, Norbert Kučerka, Yongkun Yang, Peter M. Macdonald, and Mu-Ping Nieh. *Langmuir* 29 (2013) 15943-15957



