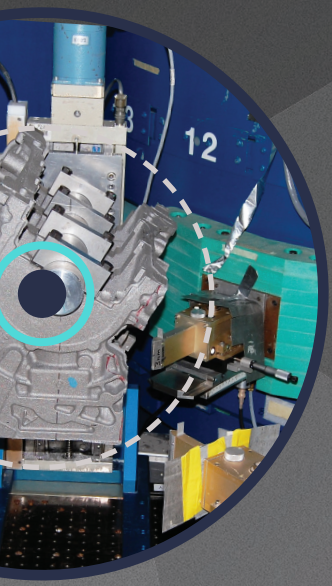
NEUTRONS.CA



LE CENTRE CANADIEN DE FAISCEAUX DE NEUTRONS
RAPPORT D'ACTIVITÉS

2014–2015

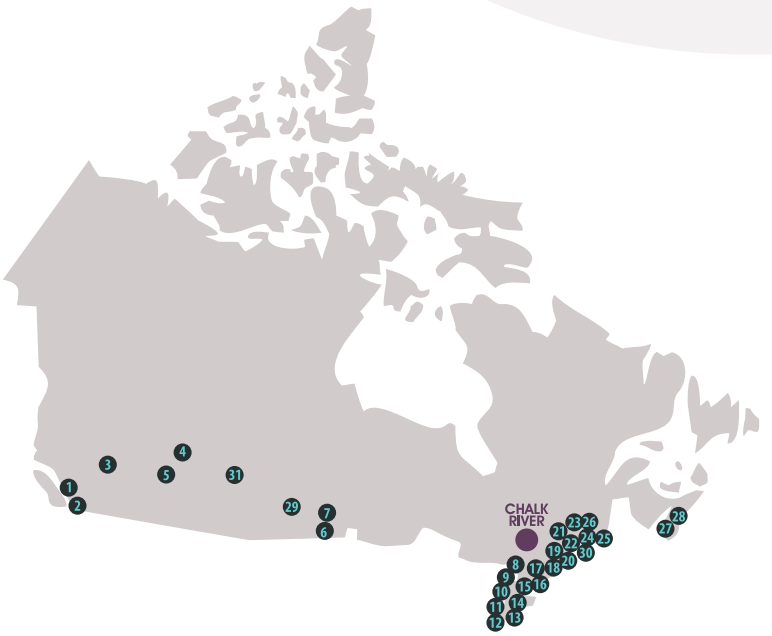
Canadian Nuclear Laboratories | Laboratoires Nucléaires Canadiens

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

Sonder les matériaux pour la science et l'industrie

Le Centre canadien de faisceaux de neutrons (CCFN) aux Laboratoires Nucléaires Canadiens (LNC) 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.

Les LNC sont au service du Canada à titre de principale organisation en science et technologie dans le domaine nucléaire. Nous servons le Canada en tant que catalyseur de l'innovation en affaires et du transfert de technologie. Et nous encourageons le perfectionnement d'un personnel hautement qualifié, prêt pour la future économie du savoir.



1. University of British Columbia
2. Simon Fraser University
3. UBC Okanagan
4. University of Alberta
5. University of Calgary
6. University of Manitoba
7. University of Winnepeg
8. University of Guelph
9. University of Waterloo
10. Western University
11. University of Windsor
12. Brock University
13. McMaster University
14. Ryerson University
15. University of Toronto
16. Queen's University
17. Royal Military College
18. University of Ottawa
19. Carleton University
20. Université de Montréal
21. McGill University
22. Concordia University
23. École de technologie supérieure
24. Université de Sherbrooke
25. Université du Quebec a Trois-Rivières
26. Université Laval
27. Acadia University
28. Dalhousie University
29. Brandon University
30. École de Polytechnique de Montréal
31. University of Saskatchewan

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 appuie la recherche effectuée par les LNC pour les clients du gouvernement fédéral et de l'industrie 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.

Centre canadien de faisceaux de neutrons
Rapport d'activités à
L'Institut canadien de la diffusion des neutrons
pour 2014 et 2015

www.cnl.ca/fr/home/installations-et-expertise/ccfn.aspx
cnbc@cnl.ca
Station 18, 286 Plant Rd
Chalk River, ON
Canada K0J 1J0

Available in English

Table des matières

Message du directeur 4

2 Fonctionnement d'une installation faisceaux de neutrons

5 Statistiques pour 2014 et 2015

SONDER LES MATÉRIAUX POUR Production d'électricité 6

11 SONDER LES MATÉRIAUX POUR Fabrication automobile

SONDER LES MATÉRIAUX POUR Fabrication aérospatiale 17

22 SONDER LES MATÉRIAUX POUR Gestion des déchets nucléaires et non-prolifération

SONDER LES MATÉRIAUX POUR Technologies énergétiques 27

30 SONDER LES MATÉRIAUX POUR Pétrole et gaz

SONDER LES MATÉRIAUX POUR Santé 32

35 SONDER LES MATÉRIAUX POUR Découverte

38 Listes des publications

Fonctionnement d'une installation faisceaux de neutrons

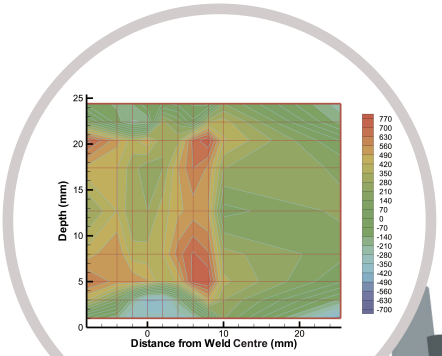
Des chercheurs canadiens et du monde entier viennent utiliser des faisceaux de neutrons pour sonder des matériaux et trouver des solutions aux défis dans les domaines de la santé, de l'industrie et de la science. À partir des interrogations initiales sur la faisabilité d'une expérience jusqu'à l'interprétation 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 sapolarisation magnétique. Par la détection des ces modifications, les chercheurs peuvent déduire certaines propriétés du matériau, comme sa structure atomique ou des contraintes.

5

ÉCHANTILLON DE MATÉRIAU

Un échantillon de matériau est placé dans le faisceau émergeant. 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 diracté 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

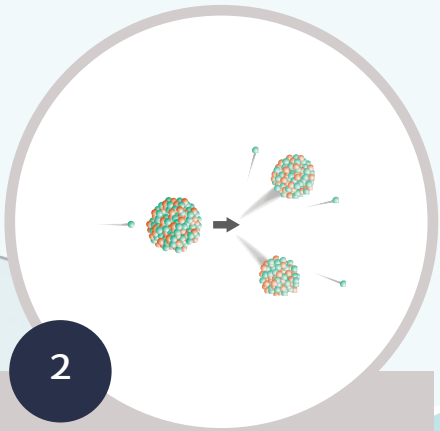
INTERFACE UTILISATEUR ET ÉLECTRONIQUE

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'eectuer une analyse préliminaire des résultats.

1

ARRIVÉE D'UN UTILISATEUR

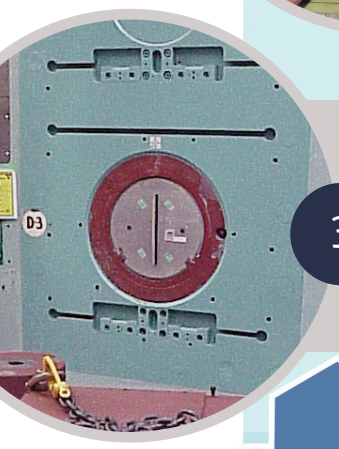
En général, un chercheur arrive au CCFN après avoir préparé un échantillon du matériau à étudier. Dans certains cas, les échantillons peuvent être préparés sur place.



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 diérentes.



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 diracte 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 diracté dans diérentes directions.

Message du directeur

Optimiser les retombées scientifiques et industrielles pour la science et l'industrie découlant de l'utilisation des faisceaux de neutrons du réacteur NRU.

Au cours des cinq dernières années, depuis que le réacteur national de recherche universel (NRU) de Chalk River a été remis en service en août 2010, le CCFN a rempli son mandat avec succès, fournissant à notre communauté d'utilisateurs un accès à des faisceaux de neutrons, à des recherches concertées et à une expérience éducative.

Le CCFN a maintenu un rendement solide soutenu durant toute la phase de restructuration d'EACL grâce au recours à un modèle d'organisme gouvernemental exploité par un entrepreneur (OGEE). Les Laboratoires nucléaires canadiens (LNC) sont une nouvelle entité exploitée sur le site de Chalk River et d'autres sites nucléaires depuis novembre 2014. EACL est toujours propriétaire de ces sites, mais les LNC emploient la quasi-totalité de l'ancien effectif. En juin 2015, Ressources naturelles Canada a attribué un contrat à l'Alliance nationale pour l'énergie du Canada (ANEC), un consortium du secteur privé, pour gérer et exploiter les LNC. Le 13 septembre 2015, les titres des LNC ont été transférés à l'ANEC, faisant ainsi des LNC une entreprise du secteur privé.

Aujourd'hui, le CCFN est soutenu par des chercheurs et des techniciens provenant à la fois des LNC et du Conseil national de recherches du Canada (CNRC). Le CCFN est équipé de six instruments à faisceaux de neutrons et de divers matériels auxiliaires appartenant au CNRC.

Le CCFN devrait continuer à être exploité jusqu'à la fermeture du réacteur NRU, prévue actuellement pour le 31 mars 2018.

La perte prochaine de cette source de neutrons représente un défi majeur pour le CCFN et la communauté des utilisateurs de faisceaux de neutrons au Canada. Sécuriser l'accès à d'autres sources de neutrons après la fermeture du réacteur NRU est une question qu'il est urgent de régler.

Jusque-là, notre objectif sera d'optimiser les retombées scientifiques et industrielles découlant de l'utilisation des faisceaux de neutrons du réacteur NRU afin de « franchir la ligne d'arrivée la tête haute ».

J'espère que vous serez à nos côtés pour proposer de nouvelles expériences compliquées, encourager les jeunes chercheurs à venir chercher auprès de notre équipe chaleureuse et solidaire tout l'enseignement possible, et participer au débat national sur l'avenir de la diffusion des neutrons au Canada.

Le CCFN continue tout comme avant d'appliquer sa méthode à faisceaux de neutrons pour la recherche universitaire destinée au domaine public. Pour plus de détails, veuillez consulter le site www.cins.ca/beam.html (en anglais seulement). Pour obtenir des renseignements sur l'accès aux neutrons pour des applications exclusives, envoyez un courriel à commercial@cnl.ca.

John Root

John Root, Director,
Canadian Neutron Beam Centre

Vue de dessus du réacteur NRU qui fournit des neutrons au CCFN destinés à la recherche sur les matériaux. Ce réacteur est le seul réacteur d'importance au Canada permettant d'effectuer des essais sur les matériaux et de soutenir la recherche et le développement dans le domaine de l'énergie nucléaire. Il produit en outre plusieurs radioisotopes pour des applications médicales.

NRC·CNRC

Le Conseil national de recherches du Canada est un partenaire clé avec CNL dans le fonctionnement du CCFN.

Statistiques pour 2014 et 2015

Pendant les deux années de 2014 à 2015, le CCFN a fourni 2 748 jours de faisceaux. Ce temps de faisceau a servi à réaliser 213 expériences, réparties entre 116 projets, et 92% de ce temps a été consacré à des projets d'utilisateurs.

Le CCFN a maintenu un solide engagement envers la communauté des utilisateurs; 399 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 138 personnes provenant de 41 départements universitaires de 22 universités canadiennes de 7 provinces.

Des 399 participants aux recherches, les 199 autres provenaient de 88 institutions étrangères de 21 pays.

CCFN statistiques utilisateur

Statistiques sur les utilisateurs	Indicateur	2011	2012	2013	2014	2015
Accès	Nombre d'utilisateurs[1]	162	137	159	154	139
Accès de Canadiens	Utilisateurs venant d'institutions canadiennes	61%	68%	66%	54%	63%
Participation	Participants à des recherches[2]	246	285	297	258	246
Stimulation de la collaboration internationale	Participants à des recherches venant d'institutions étrangères	48%	54%	49%	50%	44%
Participation universitaire canadienne	D'universités canadiennes représentées par des participants à des recherches	24	21	17	19	18
Participation universitaire de différentes disciplines	Départements d'universités canadiennes représentées par des participants à des recherches	36	35	36	29	29
Formation du personnel hautement qualifié	Étudiants et boursiers de recherches postdoctorales en visite au CCFN pour effectuer des recherches	36	34	27	26	16

CCFN statistiques facilité

Statistiques sur les utilisateurs	Indicateur	2011	2012	2013	2014	2015
Capacité des lignes de faisceaux	Jours de fonctionnement du réacteur multipliés par six lignes de faisceaux	1470	1440	1428	1416	1332
Efficience des lignes de faisceaux	Pourcentage des jours de faisceaux disponibles occupés par des projets	86%	90%	96%	97%	89%
Utilisation externe	Pourcentage du temps de faisceau de projet occupé par des projets dirigés par des utilisateurs	91%	95%	90%	92%	93%
Durée moyenne des expériences	Nombre moyen de jours de faisceaux par affectation	11.5	12.4	11.3	13.7	11.4
Demandes de projets[3]	Nouvelles propositions reçues par année	52	56	62	35	48

[1] Un utilisateur pendant une année donnée est défini comme une personne en visite au CCFN pendant l'année pour effectuer une expérience ou un coproposeur d'une expérience qui a été effectuée pendant l'année.
[2] 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.
[3] 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 PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ

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

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

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.

Prévoir la fiabilité des roues de turbine dans les centrales hydroélectriques

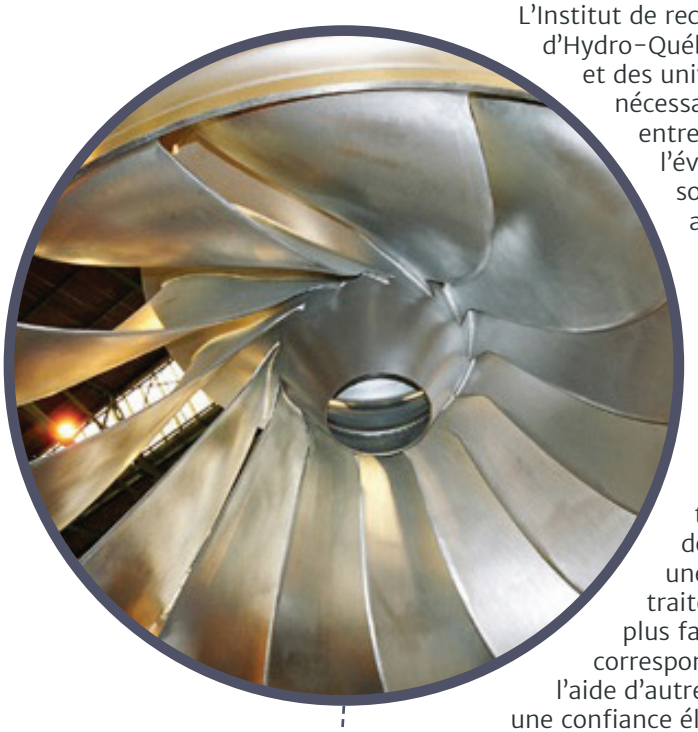
Hydro-Québec utilise les données relatives aux contraintes du CCFN pour améliorer la production d'électricité au moyen de barrages hydroélectriques.

Le débit d'eau dans les barrages hydroélectriques fait tourner les roues de turbine, et ce mouvement sert à produire de l'électricité. Ces pièces indispensables coûtent cher ; leur prix peut aller jusqu'à 10 millions de dollars chacune. Si une roue de turbine fait défaut, la production d'électricité perdue peut s'avérer très coûteuse.

Pour assurer la fiabilité des pièces, Hydro-Québec demande aux fabricants de turbines de démontrer que leur produit durera au moins 70 ans. Mais comment peut-on y arriver sans devoir attendre 70 ans?

Depuis toujours, la communauté de la technologie hydraulique mise sur l'analyse des contraintes sous pleine charge pour prédire la fiabilité. Cette méthode a bien fonctionné jusqu'ici, et les défaillances prématurées des turbines sont rares. Toutefois, lorsqu'une défaillance se produit, le mécanisme de défaillance est analysé et, le plus souvent, il est relié à l'évolution constante de la charge lorsqu'elle est en service. Voilà pourquoi les fabricants et les grands services publics améliorent la fiabilité de la turbine à l'aide de modèles informatiques qui permettent d'effectuer des calculs sur la durée de vie en fatigue (p. ex. prévoir le nombre de cycles de chargement et de déchargement que peut supporter la turbine avant qu'une fissure ne soit détectable).

L'hydroélectricité est produite lorsque l'eau contenue dans un réservoir tombe et passe à travers une turbine.



Une roue de turbine.

L'Institut de recherche d'Hydro-Québec (IREQ), l'organe de recherche d'Hydro-Québec, effectue des recherches en partenariat avec des fabricants et des universités afin de recueillir les données expérimentales nécessaires pour fabriquer, améliorer et valider ces modèles. Il s'agit entre autres de données sur les propriétés des matériaux et sur l'évolution de ces propriétés à la suite de processus tels que le soudage ou le traitement thermique subséquent, utilisé pour augmenter la solidité et la ductilité des soudures et réduire les contraintes résiduelles.

Une des équipes de recherche, qui comprenait l'IREQ et l'École de technologie supérieure, s'est rendue au Centre canadien de faisceaux de neutrons pour étudier l'efficacité d'un traitement thermique après une soudure sur acier inoxydable avec un matériau d'apport. L'équipe de recherche avait besoin de savoir comment les contraintes générées par le processus de soudage à l'intérieur de l'acier seraient influencées par le traitement thermique. Les résultats des mesures de faisceaux de neutrons ont démontré que la soudure peut, en fait, produire une répartition souhaitable des contraintes et que, après le traitement thermique, l'ampleur des contraintes était sensiblement plus faible. Les données provenant des faisceaux de neutrons correspondaient bien avec les résultats que l'équipe avait obtenus à l'aide d'autres méthodes de détermination des contraintes, suscitant ainsi une confiance élevée dans les résultats.

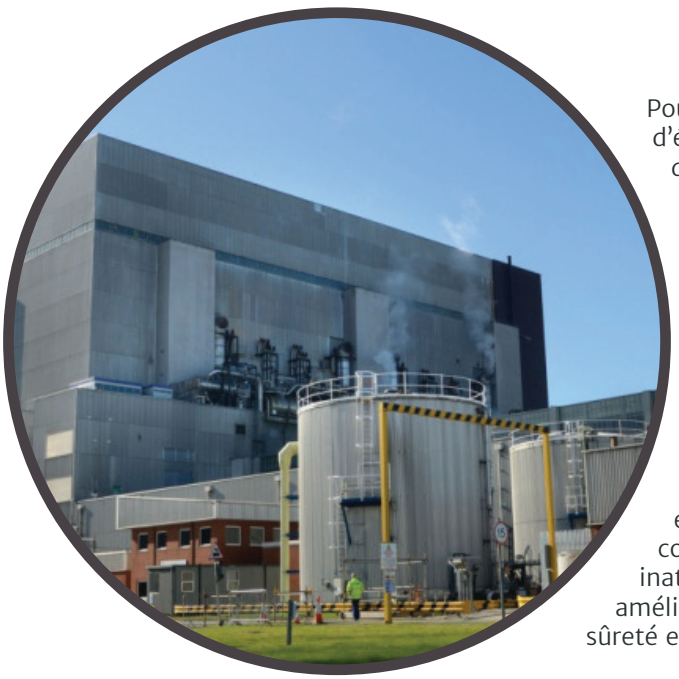
Les données sur les contraintes provenant des mesures du CCFN sont aujourd'hui utilisées dans les calculs des fabricants concernant la durée de vie en fatigue ; ce qui rend ces calculs plus fiables. Les données montrent que l'optimisation des processus de fabrication peut améliorer la durée de vie des turbines, et souvent, sans augmentation de coût.

L'IREQ a publié les résultats de ces travaux de recherche en 2010, fournissant ainsi des données sur les contraintes résiduelles qui sont maintenant intégrées dans les calculs des fabricants sur la durée de vie en fatigue. Alstom, un fabricant de premier plan de turbines hydrauliques, et Hydro-Québec ont poursuivi un vaste programme de recherche visant à améliorer leur compréhension des facteurs qui influencent la durée de vie des roues de turbine. Les mesures du CCFN sur les contraintes résiduelles ainsi que les mesures des propriétés mécaniques des fractures ont permis d'obtenir des données utiles dans le cadre de ce programme, augmentant ainsi la fiabilité des calculs sur la durée de vie réalisés aujourd'hui. Finalement, les recherches ont permis de démontrer que l'optimisation des processus de fabrication, comme le soudage et le traitement thermique, peut améliorer la durée de vie des turbines, et souvent, sans augmentation de coût.

DOI:10.1016/j.msea.2010.06.035

Améliorer la fiabilité des centrales nucléaires au Royaume-Uni

Les exploitants de centrales nucléaires utilisent les données sur les contraintes du Centre canadien de faisceaux de neutrons (CCFN) pour assurer une exploitation sûre, fiable et rentable.



Pour assurer la sûreté de leurs centrales, les producteurs d'électricité adoptent entre autres mesures un processus de prise de décisions prudente pour résoudre toute préoccupation liée à la sûreté, quelle que soit son importance. Les problèmes rares et inattendus, même ceux qui sont minimes, dans les réacteurs nucléaires de partout dans le monde nécessitent parfois un arrêt temporaire afin qu'on puisse enquêter sur le problème et intervenir. Lorsque les exploitants de réacteurs choisissent d'interrompre la production d'électricité, ce qui peut représenter des dizaines ou parfois des centaines de millions de dollars, cela démontre l'importance qu'ils accordent à une exploitation sûre.

Depuis des décennies, les exploitants commanditent ou effectuent des recherches pour améliorer les prévisions du comportement des matériaux dans le but de réduire les problèmes inattendus qui entraînent des temps d'arrêt. C'est pourquoi améliorer la fiabilité des centrales nucléaires va de pair avec la sûreté et la rentabilité.

La centrale nucléaire d'Heysham 1, dans le Lancashire en Angleterre (exploitée par EDF Energy), abrite deux réacteurs avancés refroidis au gaz qui produisent un total de 1 150 mégawatts d'électricité.

Grâce en partie aux données sur les contraintes du CCFN, EDF Energy a pu expliquer les observations concernant les taux accélérés de croissance des fissures. EDF Energy continue à utiliser ces données pour d'autres études visant à réduire les temps d'arrêt inattendus dans les centrales, améliorant ainsi la sûreté et la rentabilité des opérations.

Un des facteurs susceptible de générer des fissures dans les composantes métalliques sur de longues périodes est appelé le « fluage »; dans ce cas, la forme d'un objet métallique se difforme très lentement. Le fluage peut influer sur la croissance de fissures et, éventuellement, limiter la durée de vie utile des composantes destinées à résister à de hautes températures, telles que celles qui se trouvent à proximité du cœur d'un réacteur avancé refroidi au gaz (RAG).

Au Royaume-Uni, EDF Energy collabore avec le professeur John Bouchard de l'Open University dans l'étude des comportements des matériaux pertinents au RAG, dont le but est de générer des connaissances pour les études de sûreté présentées à l'organisme de réglementation nucléaire.

L'équipe du professeur Bouchard a accédé au Centre canadien de faisceaux de neutrons en 2012 pour évaluer dans quelle mesure les contraintes résiduelles pouvaient influer sur les taux de croissance des fissures attribuables au fluage à des températures élevées. Le CCFN a examiné des échantillons d'essai réalisés au moyen de soudage par faisceau d'électrons d'un tuyau fait d'Esshete 1250, un type d'acier inoxydable, qui avait subi une exposition prolongée à une haute température. Le professeur Bouchard a appliqué deux méthodes complémentaires pour déterminer une partie des contraintes, confirmant ainsi les données sur les neutrons et garantissant une bonne fiabilité des résultats. La pleine répartition des contraintes selon l'orientation de la fissure, comme l'a démontré le CCFN, a ensuite été utilisée pour démontrer que le soudage par faisceau d'électrons génère de fortes contraintes, qui produisent inévitablement des effets importants sur la fatigue, la fracture ou le comportement de la propagation des fissures attribuables au fluage.

EDF Energy a ensuite appliqué les mesures des contraintes obtenues du CCFN pour calculer la mesure dans laquelle les contraintes contribuent à la propagation des fissures attribuables au fluage dans l'échantillon. Les résultats ont démontré que les contraintes générées par les soudures par faisceau d'électrons accélèrent, en effet, les taux de croissance des fissures attribuables au fluage, ce qui a aidé EDF Energy à expliquer les observations antérieures des taux de croissance des fissures dans les répliques des soudures de tuyauterie. Désormais, EDF Energy utilise les données sur les contraintes dans d'autres études qui utilisent la modélisation informatique pour simuler les effets des contraintes (ainsi que d'autres facteurs) sur la croissance d'une fissure – un pas de plus vers la réduction des temps d'arrêt inattendus et l'amélioration de la sûreté et de la rentabilité de ses centrales.

DOI: 10.1007/s11340-012-9672-7

SONDER LES MATÉRIAUX POUR FABRICATION AUTOMOBILE

Application des faisceaux de neutrons pour résoudre les défis de l'industrie automobile

Des années de recherche sur les technologies dans le but d'optimiser la production des moteurs de voitures légères et autres pièces d'automobile pourraient bientôt commencer à porter fruit pour nos partenaires du secteur de l'automobile.

Les faisceaux de neutrons, plus que tout autre outil, peuvent être utilisés pour sonder profondément et de façon non destructive l'intérieur des blocs-moteurs. Cette technique permet aux fabricants d'automobiles de déterminer la quantité de contraintes dans le matériau à un moment donné, ce qui est un facteur clé de la fiabilité d'un moteur.

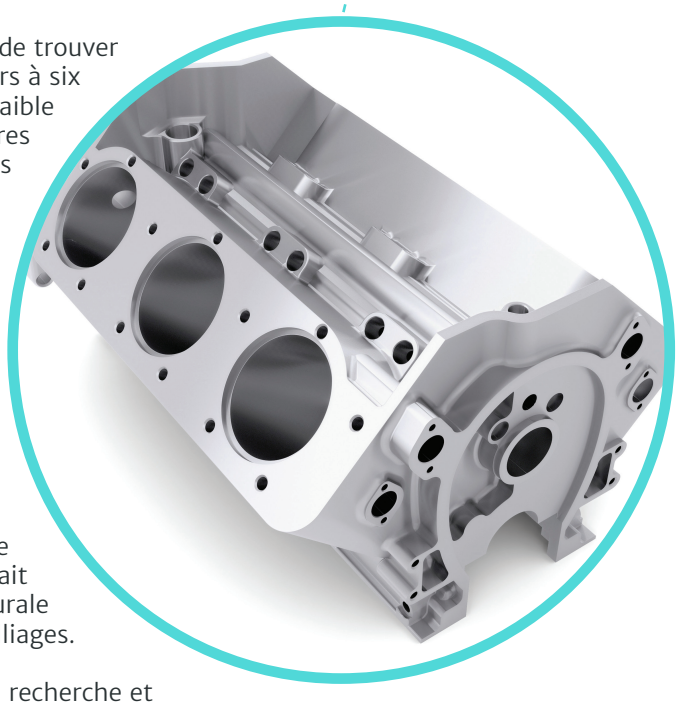
Les faisceaux de neutrons aident Nemak Canada à accélérer la fabrication de moteurs.

Selon Nemak Canada, les technologies développées en collaboration avec le CCFN, qui sont sur le point d'être mises en œuvre, permettront d'accélérer les délais de production et de réduire la consommation d'énergie, générant ainsi des économies de millions de dollars en coûts de fabrication.

Un des objectifs des travaux de recherche avec Nemak était de trouver la meilleure façon de construire de robustes blocs-moteurs à six cylindres en aluminium. Ces moteurs exhibent une très faible tolérance à l'égard de toute déformation des trous pour cylindres dans le bloc. Des méthodes de recuit de détente sont utilisées après que le bloc a été moulé afin d'accroître la stabilité, mais chaque étape de fabrication entraîne sa part de coûts et a des effets sur les propriétés des matériaux. Pour améliorer les pratiques de fabrication actuelles, l'équipe devait mieux comprendre les facteurs affectant la stabilité.

Nemak et ses partenaires de recherche de l'Université Ryerson ont utilisé les faisceaux de neutrons du CCFN pour réaliser plusieurs études visant à obtenir et à interpréter les données de diffraction neutronique. Ces études visaient à élucider la répartition des contraintes et la microstructure dans de nouveaux alliages d'aluminium et dans les blocs-moteurs, avant et après l'utilisation de méthodes de traitement de détente comme le traitement thermique. De plus, les chercheurs ont fait des observations d'avant-garde sur l'évolution microstructurale durant la solidification des alliages.

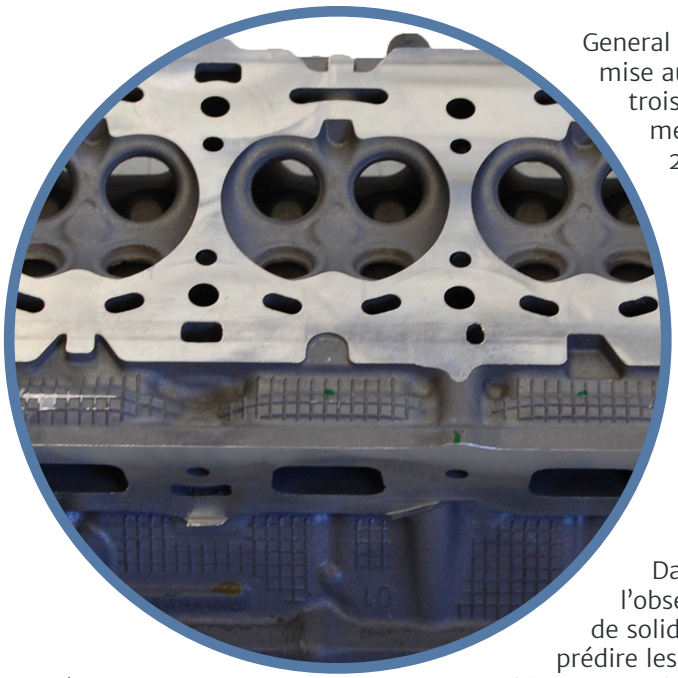
Ces résultats ont beaucoup contribué au succès des travaux de recherche et ont aidé Nemak à déterminer qu'il était possible de simplifier le processus de traitement thermique sans compromettre la fiabilité. Nemak effectue maintenant des essais finaux en vue de la validation du nouveau processus, comme mettre un bloc-moteur prototype dans un véhicule d'essai, avant que le moteur soit utilisé dans les véhicules vendus aux clients.



Bloc-moteur à six cylindres en aluminium.

DOI:10.1016/j.matlet.2015.05.094

Grâce aux faisceaux de neutrons, General Motors a réussi à accélérer la mise au point de moteurs.



Une culasse GM.

General Motors (GM) utilise des faisceaux de neutrons pour accélérer la mise au point de culasses et de blocs-moteurs. Ces projets couvrent trois principaux domaines de recherche : 1) évaluer l'efficacité des méthodes de traitement thermique et des méthodes de trempe ; 2) observer directement la phase de précipitation durant la phase de solidification ; et 3) effectuer des essais de fluage pour faire de meilleures prévisions à long terme quant à la fiabilité.

Dans le premier domaine d'évaluation, soit l'efficacité des méthodes de traitement thermique et de trempe, les mesures du CCFN ont clairement réfuté une hypothèse pour GM, selon laquelle la trempe à l'air des culasses donnerait un avantage sur la trempe à l'eau en raison d'une réduction globale des contraintes résiduelles. Les résultats ont démontré que, en utilisant la méthode de la trempe à l'air, des contraintes importantes demeuraient profondément à l'intérieur des culasses, à environ un centimètre.

Dans le cadre du deuxième domaine de recherche, soit l'observation directe de la phase de précipitation durant la phase de solidification, GM utilise un logiciel de modélisation pour tenter de prédire les propriétés des composants ou des alliages après la solidification, bien que parfois ces modèles ne parviennent pas à prédire les résultats réels. Les faisceaux de neutrons, cependant, peuvent identifier de manière unique les phases de précipitation au cours de la solidification. En d'autres termes, ils permettent à GM de surveiller le processus de solidification expérimental afin de mieux comprendre ce qui est à l'origine des écarts.

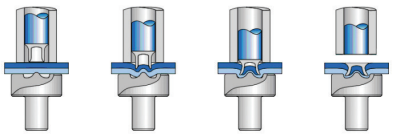
Les mesures du CCFN ont clairement permis de réfuter une hypothèse pour GM, à savoir laquelle de deux méthodes de fabrication serait la plus efficace pour réduire les contraintes résiduelles dans les culasses.

Le troisième domaine de recherche touche les essais de fluage, ce qui essentiellement signifie déterminer comment la forme de la pièce peut changer au fil du temps et finit par être défectueuse ou engendrer des problèmes. Les expériences à l'aide de faisceaux de neutrons permettent à GM de voir comment l'agencement des atomes se modifie dans la matière afin de mieux comprendre comment surviennent ces changements.

DOI: 10.1002/9781118888438.ch60

Grâce aux faisceaux de neutrons, la Ford Motor Company peut mieux étudier les techniques de rivetage pour véhicules légers.

Le CCFN a un projet permanent de recherche avec la Ford Motor Company dont le but est d'examiner de nouvelles façons d'assembler des matériaux dissemblables pour leur utilisation dans des véhicules légers. Par exemple, les rivets autopoinçonneurs sont une alternative privilégiée aux méthodes de soudage traditionnelles. Ce type de rivet est grandement utilisé par Audi, Mercedes, BMW et Jaguar sur leurs voitures en aluminium et leurs véhicules utilitaires sport. Ils présentent d'excellentes propriétés mécaniques et un taux élevé de résistance à la fatigue. Cependant, avant ce projet de collaboration avec le CCFN, le champ des contraintes résiduelles 3D dans une articulation faite de rivets autopoinçonneurs métalliques mixtes n'avait jamais fait l'objet d'études expérimentales, ce qui rendait difficile les prévisions de la durée de vie en fatigue de ces articulations. Ford s'est donc tourné vers le CCFN et sa capacité de faisceaux de neutrons, car les autres moyens de déterminer les contraintes étaient trop difficiles compte tenu de la géométrie complexe et du nombre élevé des différents matériaux. Ford prévoit utiliser les résultats de l'analyse de neutrons pour valider sa méthode existante de prévision des contraintes résiduelles et documenter ces résultats afin qu'ils soient pris en compte dans les processus de fabrication en général.



À gauche: l'image en coupe transversale d'un rivet autopoinçonneur pour assembler des feuilles d'acier et de l'aluminium.

Droite: Illustration de l'application d'un rivet autopoinçonneur pour assembler deux matériaux.

Un chercheur du CCFN honoré pour sa contribution à l'industrie de l'automobile.

La valeur des contributions du CCFN à l'amélioration des technologies de l'automobile est reconnue par des organisations de pairs et des partenaires tels que l'Académie canadienne du génie (ACG), qui a récemment honoré un chercheur du CCFN en lui accordant une prestigieuse distinction. En effet, en juin 2014, un chercheur du CCFN, M. Dimitry Sediako (PhD), a été accueilli à titre de membre de l'ACG en reconnaissance de sa contribution à l'amélioration de technologies de fabrication, comme les améliorations aux méthodes de moulage de bloc-moteur et de traitement thermique, entre autres réalisations. Pour mener cette recherche, M. Sediako a établi des partenariats avec des chercheurs de Nemak, de GM et de Ford, entre autres, ainsi qu'avec des universités (Université Ryerson, lUniversité de la Colombie-Britannique, Université de Waterloo et Université McGill) et le Laboratoire de la technologie des matériaux de CANME. Ce sont tous là de précieux partenaires qui ont mis à profit leurs propres outils et expertise dans les domaines de la métallurgie, des essais mécaniques et de la modélisation informatique.

Dimitry Sediako se prépare à mesurer les contraintes dans une culasse GM à la ligne de faisceaux de neutrons L3.

Le réseau MagNET a réalisé une percée dans les portières pour voitures légères.

Le Centre canadien de faisceaux de neutrons s'est associé avec des experts de la science et de l'ingénierie des matériaux de partout au Canada pour fabriquer des prototypes légers en magnésium pour le marché de l'automobile. Le magnésium se retrouve non seulement en abondance, mais il est aussi très léger. Par conséquent, les voitures faites de magnésium utiliseront beaucoup moins de carburant. Le réseau de chercheurs, appelé MagNET, était dirigé par le professeur Warren Poole de l'Université de la Colombie-Britannique (UBC). En collaboration avec l'UBC, l'École Polytechnique, l'Université de Waterloo et l'Université McMaster, le CCFN a facilité la réalisation d'un certain nombre de projets MagNET, dans le cadre desquels des essais de plusieurs alliages de magnésium ont été réalisés dans diverses conditions in situ, y compris la solidification et le chargement multiaxial.

Un professeur de l'UBC, Warren Poole, et d'autres membres du projet MagNET ont examiné la manière de fabriquer des pièces automobiles légères en magnésium, qui pourraient être largement adoptées par l'industrie automobile.

L'étroite collaboration entre les chercheurs de MagNET et General Motors, Magna International et Magnesium Elektron a permis de réaliser une percée dans le domaine, à savoir, utiliser un moule à l'échelle de production pour fabriquer une portière de voiture à partir d'une feuille d'alliage de magnésium en moins de dix secondes, ce qui est dix fois plus rapide que les processus existants. Pour l'industrie, il s'agit d'une étape importante sur la voie de l'application commerciale à grande échelle des feuilles de magnésium. En 2014, la division des processus de l'Association internationale du magnésium (IMA) a reconnu cette réussite en lui décernant un prix d'excellence. Le prix a été présenté lors de la réunion annuelle de l'IMA tenue en juin 2014, à Munich, en Allemagne.

Accroître la fiabilité des véhicules commerciaux modifiés

À la suite de recherches effectuées au CCFN, Nor-Mar Industries a obtenu l'approbation d'apporter des changements aux protocoles de soudage afin de fabriquer des produits de première qualité. Ces changements ont ensuite été mis en œuvre avec succès.

Nor-Mar Industries modifie des camions en y montant des grues et de l'équipement lourd, ou en y ajoutant du rangement et d'autres caractéristiques dont ont besoin ses clients, qui proviennent des secteurs de la foresterie, de la construction, des mines et du pétrole. Avant que le véhicule puisse être livré au client, la solidité et la résistance des structures soudées doivent satisfaire à la réglementation en matière de sécurité.

Camion commercial modifié par Nor-Mar Industries.

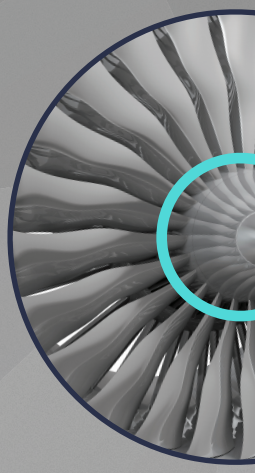
Nor-Mar a récemment terminé un projet de recherche en collaboration avec le professeur Lukas Bichler, de l'Université de la Colombie-Britannique, visant à mieux comprendre les procédures et les pratiques de fabrication, ainsi qu'à élaborer des protocoles pour améliorer la qualité de ses structures soudées faites d'acier de grade AR200. Il est reconnu que les méthodes de soudage créent des contraintes qui doivent être minimisées pour éviter des inclusions ou des défauts, tels que des fissures, des déchirures ou de la porosité.

Étant donné que l'adaptation de véhicules est une activité rigoureusement réglementée, la capacité de mesurer les contraintes dans les structures soudées des camions sera toujours nécessaire.

En août 2013, l'équipe de recherche s'est rendue au CCFN dans le but de déterminer les contraintes résiduelles de façon non destructive. Le projet a non seulement fourni des preuves scientifiques que les pratiques de soudage de Nor-Mar étaient sur la bonne voie, mais a également permis de cerner les domaines qui pourraient être améliorés à l'étape de la préparation des échantillons.

Par la suite, Nor-Mar a modifié ses protocoles de soudage, dont le Bureau canadien de soudage a ensuite approuvé l'utilisation. Nor-Mar a donc mis en œuvre avec succès les changements nécessaires pour livrer à ses clients un produit de qualité supérieure.

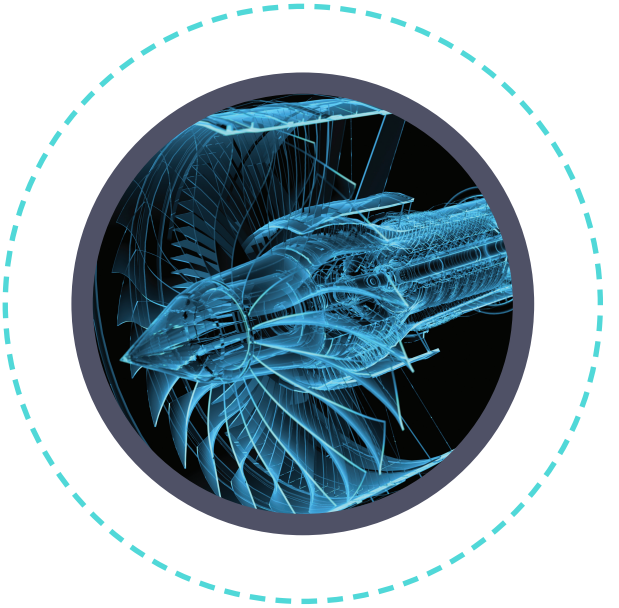
Les entreprises qui modifient des véhicules sont assujetties à un cadre réglementaire très strict. Ainsi, il est probable que les connaissances acquises concernant les contraintes sur les structures soudées des camions demeureront nécessaires, à mesure que cette industrie continue d'améliorer ses pratiques, de mettre au point de nouveaux produits et de répondre aux changements en matière de réglementation.



SONDER LES MATÉRIAUX POUR FABRICATION AÉROSPATIALE

Réduire les coûts de la reprise et de la mise au rebut dans la production de pièces d'aéronefs

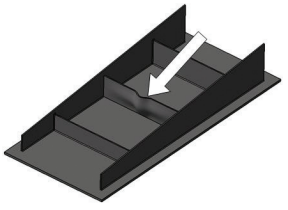
Les constructeurs d'aéronefs parrainent les chercheurs qui utilisent les données relatives aux contraintes du CCFN pour évaluer les méthodes de prévention des déformations des pièces fines en aluminium.



Boeing a estimé dans le passé que le coût de la reprise ou de la mise au rebut des pièces comportant de petites déformations était d'environ 300 millions de dollars ou plus par année. Le coût élevé associé au fait que des pièces d'aéronef ne sont pas fabriquées parfaitement du premier coup peut s'expliquer par les faibles volumes de production de ces pièces, auxquels sont associés des coûts élevés de mise au point de nouveaux produits et d'assurance de la qualité. Comme la sécurité et la fiabilité sont essentielles, le coût lié à l'assurance de la qualité est élevé. Le coût de la mise au point de nouvelles pièces est également élevé, en raison de la tendance à réduire le poids et à optimiser le rendement des pièces, qui repousse les limites des matériaux, de même que de notre connaissance de ces matériaux.

Il n'est donc pas étonnant que les pièces comportant de légères déformations puissent être rejetées ou réusinées si elles ne s'encastrent pas correctement ou s'il est possible qu'elles ne soient pas en mesure de supporter les charges exigées. Des déformations peuvent survenir particulièrement dans les pièces dont les parois sont minces, telles que celles utilisées dans les composants structurels d'un aéronef. En effet, l'usinage crée une contrainte près de la surface ; lorsqu'une paroi est aussi mince que 0,4 mm, la majorité de celle-ci se trouve près de la surface, de sorte qu'une déformation se produit souvent.

Pour éviter les déformations, on pourrait épaissir les parois ; toutefois, l'augmentation du poids pourrait entraîner une plus grande consommation de carburant et réduire le rendement de l'aéronef. Une deuxième solution consisterait à avoir recours à de minutieux processus d'usinage en plusieurs étapes, ce qui fait grimper le coût.



Les pièces dont les parois sont minces sont susceptibles de se déformer.

Pour trouver une meilleure solution au problème des déformations, Bombardier et le Conseil national de recherches du Canada ont parrainé l'équipe de recherche du professeur Jean-François Chatelain de l'École de technologie supérieure. Bombardier a également financé un étudiant diplômé, qui a travaillé tant au laboratoire de M. Chatelain que dans ses propres installations industrielles. L'équipe a entrepris d'étudier comment la fabrication de pièces à parois minces en divers alliages d'aluminium crée des contraintes, qui sont une cause majeure de déformation, et qui peuvent s'accumuler lors de chacun des nombreux procédés de fabrication.

L'équipe du professeur Chatelain s'est rendue au Centre canadien de faisceaux de neutrons du Canada pour obtenir, de façon non destructive, des données sur les contraintes pour deux pièces d'un modèle « en cours de développement » (à savoir des pièces à parois minces qui reproduisent celles utilisées dans les grandes composantes de la structure d'un aéronef). Les deux pièces étaient faites d'un alliage d'aluminium 7475-T7351. Cependant, l'alliage de la première pièce du modèle en cours de développement était fabriqué à partir de billettes d'aluminium standards, tandis que l'alliage de la deuxième pièce était fabriqué à l'aide d'un procédé spécial visant à réduire toute contrainte initiale.

En utilisant le balayage par faisceau laser pour mesurer les modifications de forme résultant de l'usinage, l'équipe de recherche a examiné les deux répliques avant et après les opérations d'usinage. L'équipe a constaté que la déformation était directement imputable aux contraintes provenant de l'usinage mesurées au CCFN, et a également constaté que le choix de l'alliage faisait une grosse différence. En effet, la pièce fabriquée à partir d'aluminium spécialement conçu présentait des niveaux beaucoup plus faibles de contraintes et de déformation.

Un étudiant diplômé prépare un échantillon d'aluminium pour y mesurer les contraintes à la ligne de faisceau de neutrons L3.

Cette recherche, publiée en 2012, suggère que les reprises et les mises au rebut pourraient être réduits dans les composants structurels à parois minces si l'on se penchait sur la réduction des contraintes et qu'on utilisait de l'aluminium spécialement conçu et presque exempt de contrainte initiale.

Forte de ces constatations, l'équipe du professeur Chatelain continue de travailler en partenariat avec Bombardier pour examiner la relation entre les contraintes et la déformation dans les pièces en tôle usinées.

www.naun.org/main/NAUN/mechanics/17-425.pdf

Accroître la durée de vie des pièces d'aéronefs

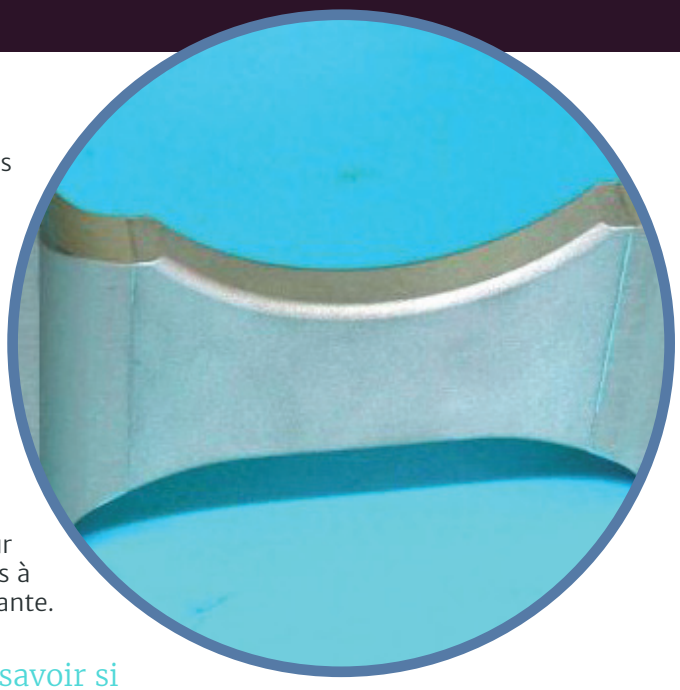
Les constructeurs d'aéronefs parrainent la recherche, car ils ont besoin de données sur les contraintes pour améliorer les modèles informatiques de la durée de vie de leurs pièces.

L'augmentation de la durée de vie utile de pièces d'aéronefs peut réduire les coûts de maintenance, ce qui peut avoir une grande importance étant donné que tout changement à un aéronef doit être soigneusement contrôlé afin d'assurer aux organismes de réglementation que les passagers voyagent en sécurité. Les grands constructeurs d'aéronefs parrainent donc la recherche universitaire visant à produire une meilleure compréhension des matériaux, qui pourrait aider l'industrie à mettre au point des pièces dont la durée de vie sera plus longue.

Un de ces constructeurs a parrainé une équipe de recherche dirigée par le professeur Michael Fitzpatrick de l'Université de Coventry, au Royaume-Uni. Cette équipe a examiné l'efficacité des traitements de surface utilisés pour accroître la durée de vie des pièces, par exemple le revêtement en aluminium des ailes et du fuselage des aéronefs. L'équipe s'est également demandé si un modèle informatique pouvait prédire dans quelle mesure ces traitements de surface créeraient des contraintes dans les échantillons d'aluminium, puisque de telles contraintes influent sur la durée de vie en fatigue d'une pièce (soit, pendant combien de temps une pièce peut résister à des variations de pression sur de nombreux vols).

« La raison principale pour laquelle j'ai fait appel au Centre canadien de faisceaux de neutrons (CCFN) est que je pouvais y obtenir l'accès à une ligne de faisceau plus rapidement qu'à toute autre installation de diffraction dans le monde. »

Comme il est essentiel d'obtenir des mesures exactes des contraintes, Stefano Coratella, un étudiant diplômé faisant partie de l'équipe du professeur Fitzpatrick, s'est adressé à plusieurs grandes installations de faisceaux de neutrons et de rayons X un peu partout dans le monde afin de recueillir des données pour diverses parties de la recherche. Coratella est venu au Centre canadien de faisceaux de neutrons pour examiner comment la combinaison de deux traitements de surface différents, connus sous le nom de grenaillage de précontrainte et de martelage par chocs laser, pourrait influer sur les contraintes. Utilisés individuellement, ces traitements engendrent des contraintes de « compression », ce qui contribue à prolonger la durée de vie du matériau. Ce traitement est une technique toute récente qui a été utilisée avec succès pour améliorer la durée de vie en fatigue des compresseurs de moteurs à turbine à gaz et des aubes de soufflante.



Un échantillon d'aluminum avec une entaille friasée, ayant subi des traitements de surface, prêt à être examiné à l'aide des faisceaux de neutrons du CCFN.

L'avionneur qui a parrainé la recherche souhaitait savoir si l'application de ces deux méthodes pouvait renforcer davantage les effets positifs de ces techniques prises individuellement.

« La raison principale pour laquelle j'ai fait appel au CCFN est que je pouvais y obtenir l'accès à une ligne de faisceau plus rapidement qu'à toute autre installation de diffraction dans le monde », a déclaré Coratella.

Grâce aux échantillons fournis par l'avionneur, Coratella a été en mesure d'utiliser les données sur les contraintes recueillies au CCFN pour démontrer que le modèle informatique était plus efficace pour prédire la contrainte générée par le martelage par chocs laser d'un échantillon d'aluminium qu'il ne l'était à prédire la contrainte lorsque la méthode du grenaillage était appliquée après le martelage par chocs laser. Il faut toutefois faire davantage de recherches pour comprendre pourquoi tel est le cas, de même que pour améliorer le modèle informatique.

SONDER LES MATÉRIAUX POUR GESTION DES DÉCHETS NUCLÉAIRES ET NON-PROLIFÉRATION

Résoudre l'énigme du contenant mystérieux: un défi criminalistique pour réduire les responsabilités nucléaires

Le Centre canadien de faisceaux de neutrons (CCFN) renforce sa capacité d'imagerie neutronique pour voir à l'intérieur d'objets cachés dans d'autres objets. La capacité d'identifier les matières radioactives inconnues a permis de réduire le coût de la responsabilité à long terme du gouvernement du Canada à l'égard de la gestion des déchets, et a aussi permis de mettre en évidence de nouvelles capacités.

L'imagerie neutronique fonctionne un peu comme la lumière dans un appareil photo, sauf que les neutrons traversent facilement des matériaux solides et denses que même les rayons X ne peuvent pénétrer.

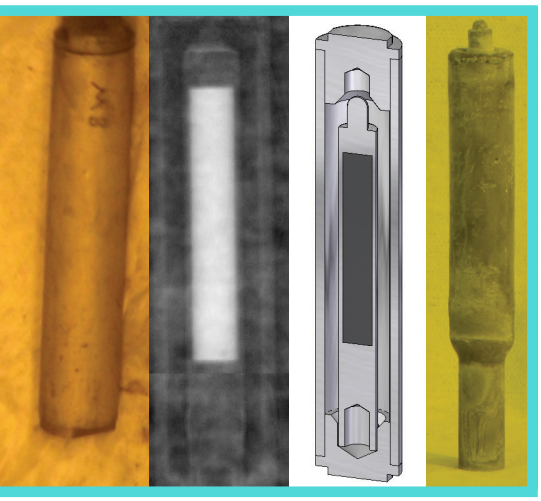
Récemment, les Laboratoires nucléaires canadiens (LNC) ont reçu un contenant non identifié qui datait d'avant l'adoption des normes modernes en matière de stockage de matières radioactives. Ce contenant a été surnommé « le château de transport mystérieux » ou le « château d'époque ». Lorsqu'il a été ouvert dans une cellule de haute activité, on a découvert qu'il contenait quatre capsules radioactives d'origine inconnue, mais il n'en existait aucune trace dans nos dossiers; ni rien qui puisse identifier leur contenu. Le rayonnement provenant des capsules indiquait la présence de césium, ce qui suggérait qu'elles contenaient de la matière fissile irradiée.

Pour l'éliminer adéquatement, les LNC devaient savoir quelle était cette matière, et de quelle quantité il s'agissait. Mais sans en savoir plus sur le contenu des capsules, il était difficile de savoir comment les ouvrir, et si elles pouvaient être ouvertes en toute sécurité.

Une équipe de chercheurs des LNC a été mise sur pied en vue de résoudre cette énigme. Pour déterminer les structures et les contenus internes des quatre capsules sans les ouvrir, les chercheurs ont appliqué la technique de la spectroscopie de fluorescence des rayons X, combinée à trois autres techniques qui emploient des lignes de faisceaux de neutrons du Centre de faisceaux de neutrons du Canada : la diffraction neutronique, l'imagerie neutronique et l'analyse par activation neutronique différée.

L'imagerie neutronique a révélé que chaque capsule contenait un noyau cylindrique entouré d'une cartouche en aluminium. Cette cartouche était contenue dans les capsules en aluminium et retenue simplement par des bouchons aux extrémités.

De haut en bas: Le « château d'époque » non identifié, la vue de l'intérieur du bidon qui révèle quatre capsules dans un lustre, et une des capsules retirée du lustre.



Left to right: Photo de la capsule, image neutronique de la capsule contenant une cartouche, illustration de la capsule reconstruite à partir des images de neutrons, photo de la cartouche une fois la capsule ouverte, confirmant l'exactitude des images de neutrons et de la reconstruction.

En combinant les résultats des quatre techniques, l'équipe des LNC a déterminé que les noyaux des cartouches contenaient du thorium et de l'uranium irradié, et a déterminé également en quelle quantité ces éléments étaient présents. Ainsi, l'équipe a été en mesure d'établir que les cartouches avaient probablement été irradiées à la fin des années 1950 dans le cadre d'un des premiers programmes de production d'isotopes.

Cette découverte revêt une grande valeur pour le Programme des responsabilités nucléaires héritées (PRNH) du gouvernement du Canada. Tout d'abord, elle a permis l'enregistrement adéquat du contenu des capsules dans le stock des matières nucléaires. Ensuite, elle a permis de déterminer comment les capsules pouvaient être ouvertes en toute sécurité et de réduire de 75 p. 100 le nombre de trous de stockage nécessaires pour stocker la matière fissile.

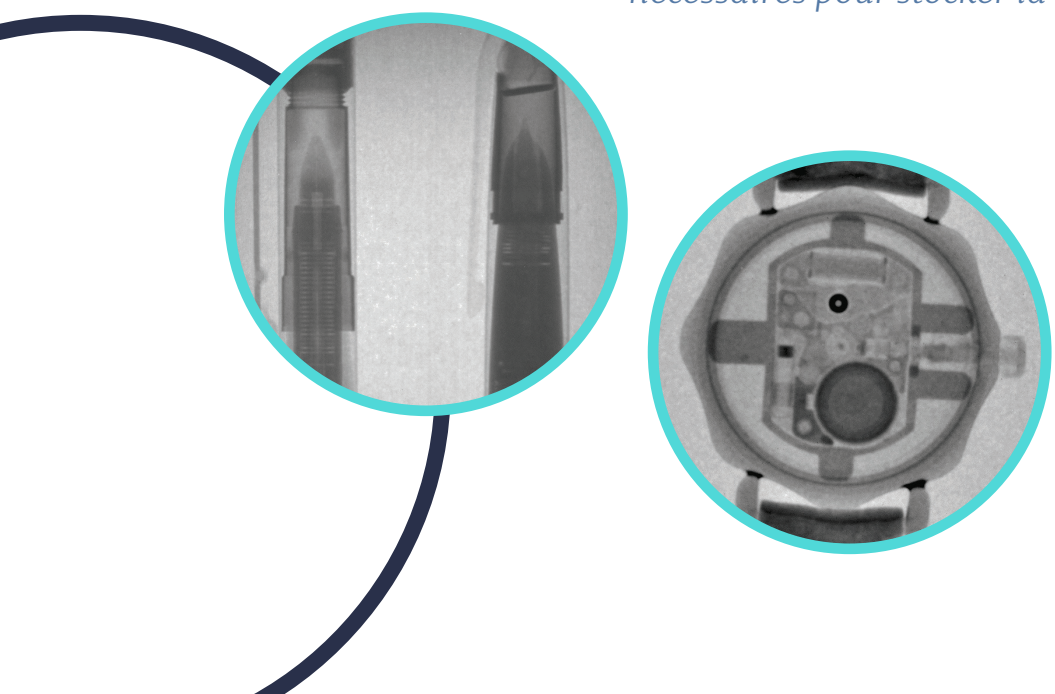
Finalement, ce projet a permis de démontrer les capacités du CCFN en matière d'imagerie neutronique et d'analyse par activation neutronique. Désormais, on poursuit le développement de ces capacités pour qu'elles puissent servir à d'autres clients. En fait, Recherche et développement pour la défense Canada (RDDC) a fourni des fonds pour l'achat d'équipement visant à mettre à niveau la capacité d'imagerie neutronique du CCFN, car l'imagerie neutronique aidera grandement à relever d'autres défis criminalistiques nucléaires, comme l'identification des matières nucléaires dans des contenants trouvés par la police ou le personnel militaire.

Les connaissances acquises ont permis aux LNC

(1) D'enregistrer correctement le contenu des capsules dans le stock des matières nucléaires.

(2) De déterminer comment les capsules pourraient être ouvertes en toute sécurité.

(3) De réduire de 75 p. 100 le nombre de trous de stockage nécessaires pour stocker la matière fissile.

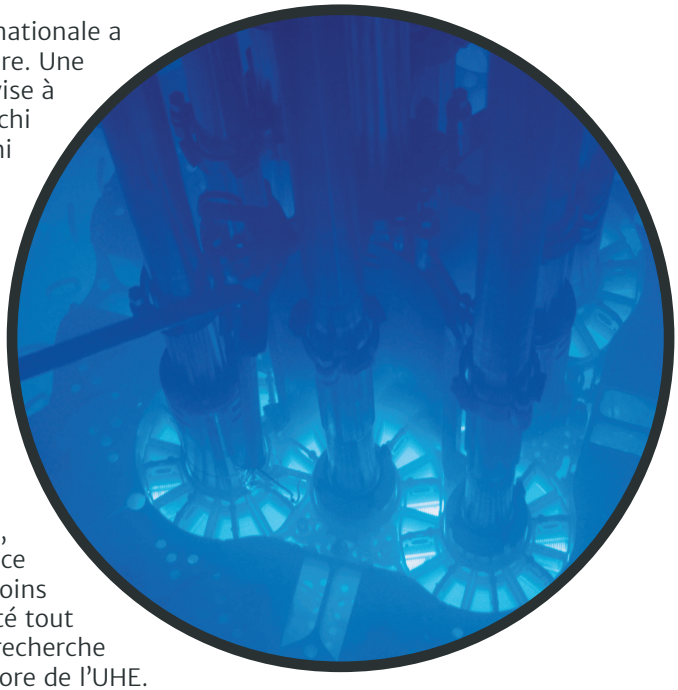


Premières images neutroniques prises avec la nouvelle caméra d'imagerie neutronique financée par RDDC. De gauche à droite: Des stylos, une montre-bracelet.

Aide à la nonprolifération par le développement de combustible nucléaire

Des études réalisées au Centre canadien de faisceaux de neutrons contribuent à la sécurité nucléaire mondiale.

Au cours des dernières décennies, la communauté internationale a coopéré afin de réduire les risques de prolifération nucléaire. Une initiative mondiale, menée sous les auspices des ÉtatsUnis, vise à réduire ou à éliminer l'utilisation de l'uranium hautement enrichi (UHE) à des fins civiles. Par le passé, l'uranium hautement enrichi était couramment utilisé comme combustible des réacteurs nucléaires, et il continue de l'être dans les environnements d'essai pour qualifier les matériaux utilisés par l'industrie de l'énergie nucléaire, pour produire des isotopes médicaux ou industriels et pour produire des faisceaux de neutrons pour la recherche. Afin de maintenir la valeur de ces installations de recherche, des efforts importants ont porté sur leur conversion afin qu'ils puissent utiliser de l'uranium faible enrichi (UFE), qui présente beaucoup moins de risque d'être détourné à des fins militaires.



Entre 2004 et 2014, l'ensemble des 20 réacteurs de recherche aux ÉtatsUnis pouvant être convertis à l'UFE l'ont été, et seulement cinq réacteurs de recherche hautve performance utilisent encore de l'UHE. À l'extérieur des ÉtatsUnis, au moins 100 installations ont été converties de l'UHE à l'UFE, ou ont été tout simplement fermées. En Europe de l'Ouest, cinq réacteurs de recherche haute performance utilisent encore de l'UHE.

La recherche sur les combustibles UFE pour ces réacteurs haute performance est en cours. Non seulement ces nouveaux combustibles doiventils avoir une densité d'uranium supérieure pour compenser l'enrichissement moindre, mais ils doivent également être testés et qualifiés pour leur utilisation.

Les États Unis étudient la possibilité de convertir leur réacteur d'essai avancé (illustré cidessus) à l'Idaho National Laboratory afin qu'il utilise de l'uranium faiblement enrichi.

Une cellule chaude utilisée pour examiner les matériaux hautement radioactifs dans la ligne de faisceaux de neutrons.

Les Laboratoires Nucléaires Canadiens (LNC) testent des combustibles UFE candidats dans leur réacteur NRU. Le nouveau carburant prometteur consiste en particules d'uranium–molybdène (« U-Moly ») à l'intérieur de plaques d'aluminium. Cependant, le développement de ce combustible U-Moly a été retardé lorsque le combustible a connu une défaillance pendant les essais.

Afin de déterminer la raison de cet échec, les LNC ont eu recours au Centre canadien de faisceaux de neutrons (CCFN) pour examiner le combustible défectueux, qui était alors hautement radioactif. Les LNC et le CCFN ont mis au point une cellule chaude spéciale pour confiner de manière sécuritaire le rayonnement pendant les mesures effectuées à l'aide de faisceaux de neutrons. Grâce à ceux-ci, on a pu déterminer les phases cristallographiques à l'intérieur du combustible, car les neutrons ont une grande profondeur de pénétration (bien plus que les rayons X, par exemple, qui pourraient être absorbés à la surface du combustible).

En connaissant les causes de la défaillance du combustible, les LNC sont en mesure de réorienter le développement et la conception d'un nouveau combustible afin d'éliminer ou de réduire les réactions entre l'UMoly et l'aluminium.

Les mesures ont aidé les LNC à mieux comprendre le comportement de l'U-Moly dans un cœur de réacteur hautement radioactif, y compris les réactions chimiques qui se produisent entre les particules d'U-Moly et l'aluminium. Les résultats ont démontré de façon probante que ce sont ces réactions chimiques – qui se sont produites à une vitesse plus élevée que prévue – qui ont causé en définitive la défaillance du combustible. En connaissant les causes de cette défaillance, les LNC sont en mesure de réorienter le développement et la conception d'un nouveau combustible afin d'éliminer ou de réduire les réactions entre l'UMoly et l'aluminium.

Les LNC ont également utilisé les installations du CCFN pour examiner les combustibles à base de siliciure d'uranium, qui sont utilisés avec succès dans le réacteur NRU depuis des décennies et qui présentent donc un grand intérêt comme modèle pour la conversion des autres réacteurs. Lorsqu'il s'est produit une rare défaillance de combustible dans le réacteur NRU, le CCFN a aidé à l'analyse des causes profondes en examinant la composition chimique d'un échantillon de combustible hautement radioactif. Les résultats ont clairement indiqué que la composition chimique de l'échantillon était conforme aux spécifications et, par conséquent, qu'elle n'était pas la cause de la défaillance, ce qui a orienté les recherches des LNC pour trouver ailleurs la cause de la défaillance.

SONDER LES MATÉRIAUX POUR TECHNOLOGIES ÉNERGÉTIQUES

Absorption d'eau et gonflement dans les membranes des piles à combustible

Des chercheurs universitaires accèdent au CCFN pour mieux comprendre les matériaux utilisés dans les technologies de l'énergie propre.

Les voitures alimentées à l'hydrogène au lieu de l'essence commencent à faire leur entrée sur le marché. La Mirai de Toyota, lancée en Californie à l'automne 2015, est l'un de ces premiers véhicules à être vendus dans le commerce. Elle peut parcourir 500 kilomètres grâce à ses deux réservoirs de combustible, qui renferment en tout 5 kg d'hydrogène. Une pile à combustible dans l'auto produit de l'électricité en combinant l'hydrogène à l'oxygène présent dans l'air, ce qui donne de l'eau et de l'énergie.

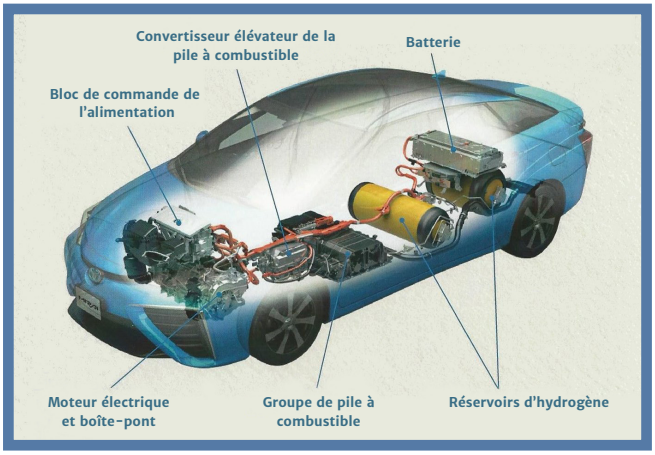
Plus de 100 stations de ravitaillement en hydrogène devraient être construites en Californie d'ici 2020. Cependant, il reste de nombreux défis à surmonter sur le plan de la recherche, notamment pour assurer la fiabilité des piles à combustible et accroître leur durée de vie. Les piles à combustible sont déjà bien établies pour les applications qui nécessitent une alimentation constante, mais la puissance requise par un véhicule fluctue grandement avec sa vitesse et son accélération. Ce « cycle de charge » dans un véhicule réduit la durée de vie d'une pile à combustible d'un facteur de 10 par rapport aux applications à charge constante. D'autres facteurs peuvent influer sur la durée de vie des piles à combustible, notamment la présence de polluants dans l'air d'admission, une faible humidité, les températures élevées et les cycles de séchage et de mouillage des membranes des piles à combustible.

L'équipe de recherche de l'UBC a observé une hystérésis de gonflement dans les membranes des piles à combustible, phénomène qui n'avait pas été observé auparavant.

Le professeur Walter Merida, du Centre de recherche sur les énergies propres de l'Université de la Colombie-Britannique (UBC), a dirigé une équipe qui s'est penchée sur les effets de l'humidité et de la température sur les membranes des piles à combustible. L'équipe a appliqué la technique de réflectométrie neutronique disponible au Centre canadien de faisceaux de neutrons pour déterminer comment l'humidité et la température influent sur l'absorption d'eau et le gonflement d'une membrane modèle en nafion[MC], d'une épaisseur de seulement 15 nanomètres. Grâce à la réflectométrie neutronique, les chercheurs ont fait deux observations importantes. D'abord, ils ont constaté qu'en chauffant le film sous une forte humidité, son épaisseur augmentait de 48%. Ce gonflement était supérieur à tout ce qui avait été observé auparavant à température ambiante. En deuxième lieu, l'équipe a observé que la membrane chauffée ne reprenait pas son épaisseur originale lorsqu'elle était refroidie à température ambiante, ce qui indiquait un changement irréversible dans la structure de la membrane, phénomène qui n'avait pas été constaté auparavant.

L'équipe prévoit réaliser d'autres expériences afin d'étudier plus à fond ces résultats, qui pourraient permettre de mieux comprendre les facteurs qui influent sur le rendement des piles à combustible dans les véhicules.

DOI: 10.1021/acs.langmuir.5b00764



Vue en écorché de la Mirai de Toyota montrant les piles à combustible et les réservoirs d'hydrogène.

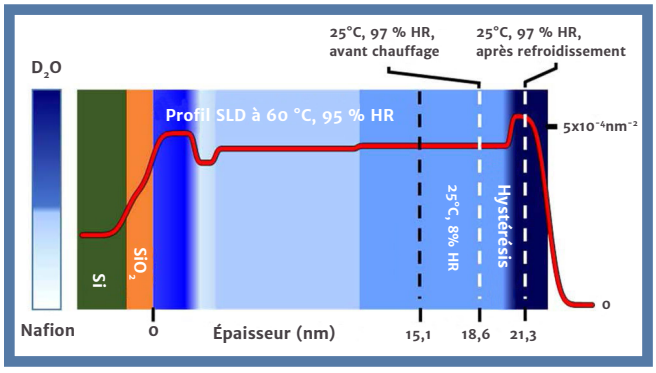


Illustration de l'épaisseur en nanomètres (nm) d'une membrane modèle en nafion[MC] en fonction des conditions d'humidité (HR) et de température (°C), selon la densité de la longueur de diffusion (SLD) observée par réflectométrie neutronique.

Des batteries pour téléphone cellulaire et ordinateur portatif plus sécuritaires et de plus longue durée

Une équipe de recherche internationale dirigée par Hydro-Québec a utilisé les installations du CCFN afin de mieux comprendre les processus permettant d'améliorer les matériaux utilisés dans les batteries.

*Batterie pour ordinateur portatif au lithium-ion.

Les batteries rechargeables au lithium-ion sont abondamment utilisées dans les téléphones cellulaires, les ordinateurs portatifs et autres appareils mobiles. Ces batteries sont pourvues de protections intégrées contre la surchauffe, qui pourrait provoquer la rupture des éléments de la batterie et ceux-ci pourraient prendre feu dans des cas extrêmes.

Hydro-Québec étudie l'utilisation de phosphate de fer lithié ($LiFePO_4$) comme cathode dans ces batteries. Ce matériau permettrait d'éliminer les préoccupations au sujet de la surchauffe, tout en augmentant les performances. L'un des défis associés à l'utilisation du phosphate de fer lithié est de trouver une méthode efficace pour produire ces cristaux, qui doivent être d'une grande pureté et avoir une distribution uniforme en taille et en forme.

Une méthode consiste à cristalliser le phosphate de fer lithié extrait de solutions à hautes pression et température (environ 180°C). Cette méthode hydrothermale répond à certains des critères ci-dessus et est moins chère que la plupart des autres méthodes. Cependant, elle peut nécessiter plusieurs heures et bon nombre des cristaux formés présentent des défauts.

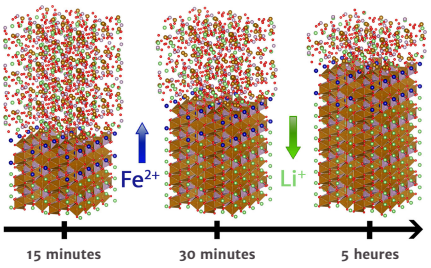
Afin de comprendre comment la synthèse hydrothermale du phosphate de fer lithié peut être améliorée, les chercheurs de l'IREQ, la composante de recherche d'Hydro-Québec, ont utilisé les installations du Centre canadien de faisceaux de neutrons (CCFN) afin d'examiner les structures cristallines des matériaux intermédiaires créés à divers intervalles pendant la synthèse. Ils ont ensuite répété ces études tout en introduisant du calcium en tant que catalyseur.

*Fabriquée par Kristoferb. Licence en vertu de CC BY-SA 3.0 (commons.wikimedia.org)

En utilisant des faisceaux de rayons X et d'électrons, les chercheurs ont déterminé que le calcium avait des effets sur la forme des cristaux. En combinant des méthodes propres aux faisceaux neutroniques et des méthodes propres aux faisceaux d'électrons, ils ont pu identifier les matériaux intermédiaires et tracer le développement du phosphate de fer lithié dans chacune des deux méthodes de synthèse (c.àd. avec et sans le calcium utilisé comme catalyseur).

Ils ont constaté que l'ajout d'ions calcium facilite l'élimination des défauts dans les cristaux de phosphate de fer lithié. Ces résultats les ont menés à formuler l'hypothèse du mécanisme illustré cidessous. Selon cette hypothèse, les défauts dits d'« antisite » sont éliminés par l'échange de cations se produisant par désintercalation des ions Fe^{2+} et par intercalation des ions Li^{+}. Cette étude fournit des connaissances fondamentales qui soutiennent le développement de la production rapide et à faible coût de phosphate de fer lithié de grande qualité, un matériau crucial pour construire des batteries plus sécuritaires et de plus longue durée pour les appareils portatifs.

DOI:10.1016/j.nanoen.2015.06.005



Représentation schématique du mécanisme d'élimination des défauts d'« antisite » dans le phosphate de fer lithié ($LiFePO_4$). Les sphères bleues représentent les ions fer et les sphères vertes représentent les ions lithium.

SONDER LES MATÉRIAUX POUR PÉTROLE ET GAZ

Des faisceaux de neutrons sont utilisés dans le cadre d'un procès à la suite d'un incendie résidentiel provoqué par une explosion de gaz naturel

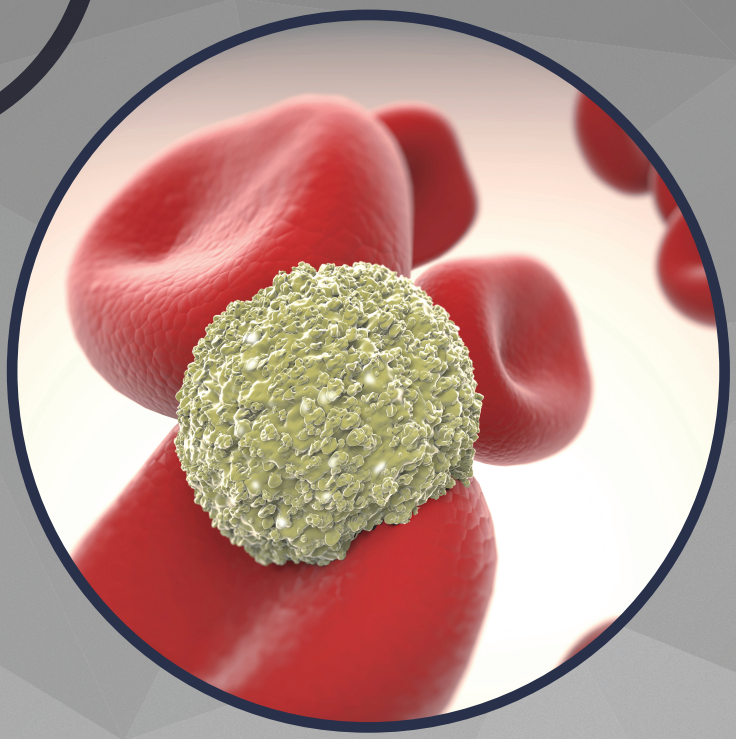
Lorsqu'une explosion de gaz se produit dans une maison, l'analyse des preuves et la détermination de l'enchaînement des événements qui ont provoqué l'explosion peuvent être cruciales pour le règlement d'une poursuite devant les tribunaux. Si le fournisseur est reconnu fautif, les personnes lésées peuvent obtenir des centaines de milliers, voire des millions de dollars.

Une entreprise de distribution de gaz naturel située dans l'Ouest canadien a dû faire face à une action en justice après qu'un incendie provoqué par une explosion de gaz naturel a détruit une maison et en a endommagé deux autres, entraînant la mort d'une personne et en blessant une autre. Une conduite de gaz en acier de trois quarts de pouce âgée de 50 ans était corrodée et fracturée à un coude, là où elle passait à travers la fondation en béton. Est-ce que cette fracture était la cause ou l'effet de l'explosion ? Comment savoir exactement?

Pour effectuer une analyse, l'entreprise a embauché une firme d'ingénierie légale, qui, à son tour, s'est adressée au Centre canadien de faisceaux de neutrons (CCFN) pour obtenir des mesures des contraintes résiduelles. On a observé que la tension au point de fracture exerçait une contrainte de « compression » comparativement à une conduite de gaz semblable, ce qui signifiait que la conduite aurait dû normalement résister à la fissuration. Pourtant, une piqûre de corrosion présentait des signes de corrosion fissurante sous contrainte, un type de fissure qui croît lentement. Ces facteurs ont permis de prouver tangiblement que la conduite avait probablement été soumise à une tension au fil des années d'utilisation, et que la fracture n'était pas due à une défectuosité de la conduite. Lorsque la firme d'ingénierie a inséré les données du CCFN relatives aux contraintes dans des modèles informatiques de la façon dont les conduites se fracturent, cette hypothèse a été confirmée, éliminant ainsi le scénario selon lequel la fracture de la conduite aurait pu causer l'incendie.

Grâce aux données du CCFN, on a obtenu des preuves solides que la conduite avait probablement été soumise à une tension au fil des années d'utilisation, et que la fracture n'était pas due à une défectuosité de la conduite.

Bien que les parties ne soient pas parvenues à un consensus final sur la cause à l'origine de l'accident, les éléments de preuve provenant de diverses sources, y compris les données du CCFN, ont servi à les aider à déterminer, selon toute probabilité, si la conduite de gaz était la cause ou l'effet. Fortes de cette connaissance, les parties ont ensuite conclu un règlement à l'amiable.



SONDER LES MATÉRIAUX POUR
SANTÉ

L'aspirine perturbe les radeaux de cholestérol dans les membranes lipidiques

La recherche pure qui utilise des faisceaux de neutrons pour étudier comment notre corps fonctionne pourrait générer de meilleurs résultats pour la santé, à l'avenir, en nous permettant de mieux comprendre le lien entre le cholestérol et l'aspirine.

*Comprimés d'aspirine gastro-résistants, concentration régulière.

Chacune des billions de cellules que renferme le corps humain est entourée d'une membrane lipidique. L'hypothèse qu'il existe des « radeaux » dans les membranes cellulaires pourrait expliquer une large gamme de fonctions cellulaires. Il était généralement admis que ces radeaux, conçus comme de petites îles ordonnées flottant dans des océans de lipides moins ordonnés, étaient déclenchés par le cholestérol. Leur existence a fait l'objet d'un débat pendant de nombreuses années, car l'observation de ces petits radeaux éphémères s'est avérée difficile. Cependant, de multiples observations expérimentales directes de ces radeaux ont pu être réalisées en utilisant les neutrons du Centre canadien de faisceaux de neutrons (CCFN).

Une équipe de recherche, dirigée par le professeur Maikel Rheinstadter de l'Université McMaster, se fonde maintenant sur ces observations pour en apprendre davantage sur le rôle du cholestérol dans ces radeaux, ainsi que sur la façon dont l'aspirine influe sur ces derniers. L'équipe de recherche a utilisé une combinaison de simulations par ordinateur et de diffraction des neutrons au CCFN pour étudier les membranes lipidiques, dans des conditions contrôlées, qui modélisent les membranes cellulaires.

L'équipe a publié ses derniers résultats dans la prestigieuse revue de physique Physical Review Letters. Elle a identifié trois structures impliquant des molécules de cholestérol dans les membranes modèles : 1) des paires de molécules de cholestérol liées les unes aux autres et flottant dans le lipide à l'extérieur des radeaux; 2) des radeaux contenant à la fois des molécules lipidiques et de cholestérol formant un modèle ordonné; et 3) des plaques de cholestérol.

*Ragesoss – travail personnel. Licence délivrée par le Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL) (commons.wikimedia.org).

L'équipe de recherche a également examiné les effets de l'ajout d'aspirine à ces membranes. En plus de soulager les maux de tête et la fièvre, l'aspirine est reconnue pour avoir des effets positifs sur les patients dont le cholestérol est élevé. Le cholestérol raidit les membranes tandis que l'aspirine les relâche. Cependant, les mécanismes exacts en jeu ne sont pas pleinement compris.

Se joignant à l'équipe du professeur Thad Harroun de l'Université Brock, les chercheurs ont utilisé la diffraction de rayons X pour montrer que l'aspirine perturbait localement l'organisation des membranes, créant une confusion qui rend la formation de radeaux difficile. Puis, en utilisant la diffraction des neutrons, ils ont examiné l'organisation moléculaire des lipides, du cholestérol et de l'aspirine. Les résultats démontrent que les molécules d'aspirine sont organisées selon un motif régulier à travers la membrane, chaque molécule d'aspirine s'associant à deux molécules lipidiques.

De plus, après l'ajout d'aspirine, on n'observait plus de radeaux, ce qui confirme que la présence de l'aspirine empêche la formation de radeaux. Ces résultats s'ajoutent à un nombre croissant de preuves selon lesquelles l'aspirine exerce une influence dans les membranes au moyen d'interactions non spécifiques (et ne se lie pas au cholestérol, par exemple). Ces résultats ont été publiés en 2015 dans la revue Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – Biomembranes.

DOI:10.1103/PhysRevLett.113.228101
DOI:10.1016/j.bbamem.2014.11.023

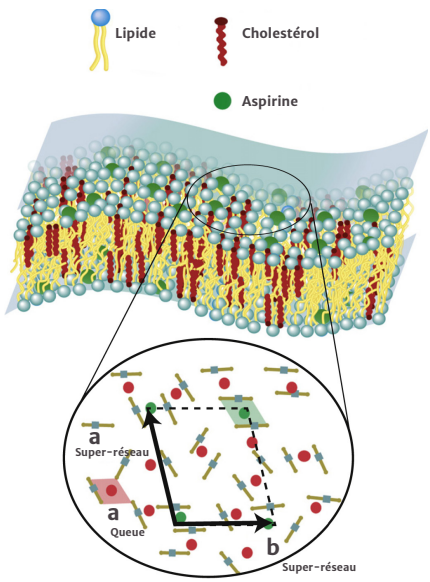


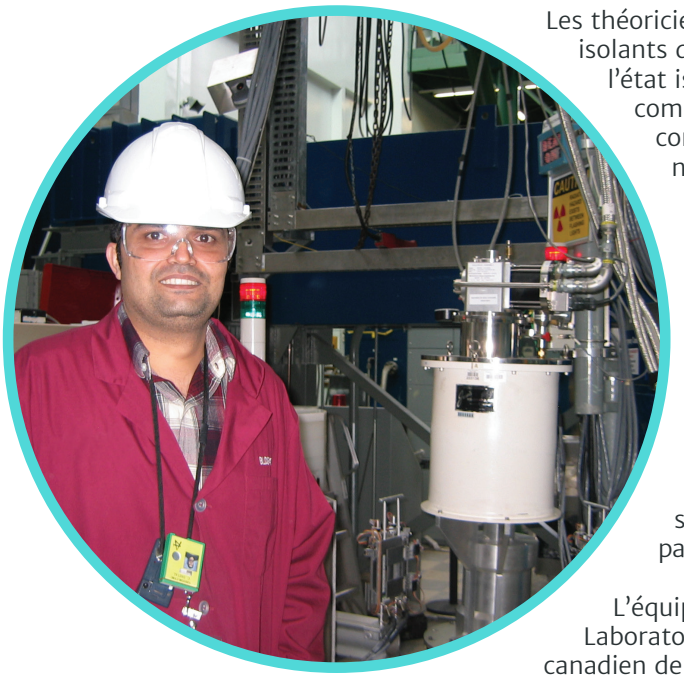
Illustration d'une bicouche lipidique contenant des molécules de cholestérol et d'aspirine dans un super-réseau (flèches noires). Les différents milieux lipidiques sont surlignés en vert et en rouge.

SONDER LES MATÉRIAUX POUR DÉCOUVERTE

Cartographie du comportement des charges dans des matériaux corrélés à couplage spin-orbite

Les résultats, publiés dans Nature Communications, confirment les propriétés qui, selon les théoriciens, pourraient mener à des découvertes dans plusieurs domaines – la supraconductivité, les phases topologiques de la matière, voire de nouvelles formes de magnétisme.

Des physiciens américains utilisent le CCFN afin de cartographier la structure atomique intime d'un composé faisant partie d'une classe mystérieuse de matériaux, les isolants de Mott à couplage spin-orbite.



Chetan Dhital (sur la photographie), étudiant diplômé au Boston College, a acquis une expérience pratique sur la ligne de faisceau N5, en travaillant avec le professeur Zahra Yamani du CCFN, pour réaliser les expériences. Le professeur Yamani a également dirigé le projet de mise à niveau du blindage du détecteur.

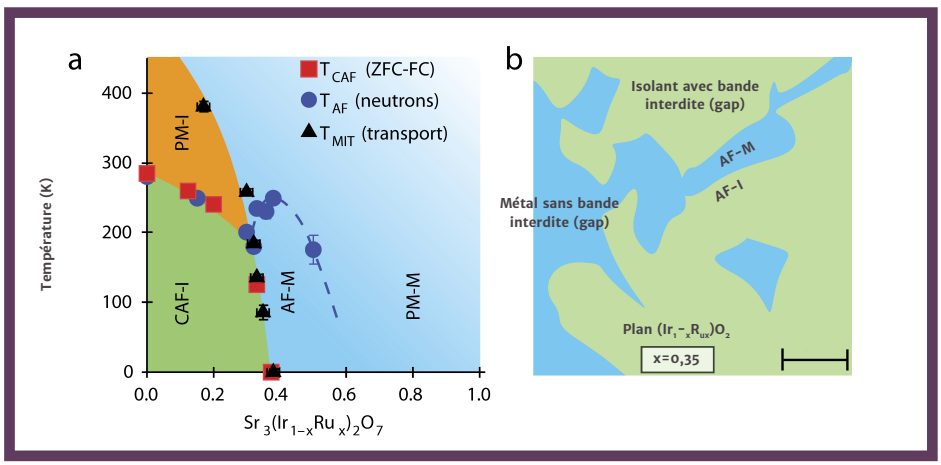
Les théoriciens ont prévu l'émergence de nouvelles propriétés dans les isolants de Mott à couplage spin-orbite, à des points juste audelà de l'état isolant où la manipulation des électrons peut transformer ces composés en métaux conducteurs. En comprenant mieux le comportement des électrons près de cette phase de transition, ces nouveaux matériaux pourraient ouvrir la voie à des découvertes dans plusieurs domaines, dont la supraconductivité, de nouvelles phases topologiques de la matière et de nouvelles formes de magnétisme inhabituel. Les scientifiques ne possédaient pas, jusqu'à maintenant, de preuves expérimentales qui révélaient les mécanismes microscopiques qui amènent ces isolants de Mott à couplage spin-orbite à se comporter en métal.

Une équipe de physiciens dirigée par le professeur Stephen D. Wilson, du Boston College (maintenant à l'Université de Californie à Santa Barbara), a manipulé un composé de strontium, d'iridium et d'oxygène ($Sr_3Ir_2O_7$), et l'a amené avec succès au régime métallique en remplaçant 40 % des ions iridium par du ruthénium, créant ainsi un alliage métallique : le $Sr_3(Ir_{1-x}Ru_x)_2O_7$.

L'équipe, composée de chercheurs provenant du Oak Ridge National Laboratory, du NIST Center for Neutron Research et du Centre canadien de faisceaux de neutrons (CCFN), a pu ainsi obtenir un aperçu unique de la structure interne de ces isolants en cartographiant la transformation jusqu'alors inconnue, à mesure qu'elle se déroulait. L'équipe a créé cette carte en combinant la microscopie à effet tunnel et d'autres techniques avec la diffusion neutronique pour établir en détail le diagramme de phase électronique du $Sr_3(Ir_{1-x}Ru_x)_2O_7$.

Les expériences de diffusion neutronique ont été réalisées à l'aide du spectromètre à trois axes N5 du CCFN afin d'étudier comment l'ordre antiferromagnétique était affecté par la température et par le nombre d'ions ruthénium. La ligne de faisceau N5 venait récemment d'être mise à niveau, avec un blindage accru qui augmente la sensibilité de l'instrument. Cette mise à niveau était cruciale pour l'expérience, car il est difficile de faire croître des cristaux uniques de $Sr_3(Ir_{1-x}Ru_x)_2O_7$. En fait, les cristaux étaient minuscules, leurs dimensions étant de seulement 2 x 2 x 0,1 mm, et pesant quelques milligrammes. Cependant, l'instrument mis à niveau était suffisamment sensible pour recueillir les données nécessaires.

Les isolants de Mott à couplage spin-orbite ont des propriétés électroniques complexes, et sont caractérisés par une interaction délicate entre les phases d'action répulsive et de couplage entre le spin des électrons et leur mouvement orbital. De manière plus précise, l'interaction répulsive entre les électrons tend à les immobiliser. Cette tendance est renforcée par l'abaissement de l'énergie des électrons en raison d'une interaction forte entre leur champ magnétique et leur mouvement orbital autour du noyau.



(a) Diagramme de phase électronique du $Sr_3(Ir_{1-x}Rux)_2O_7$ en fonction de la concentration de ruthénium (Ru) et de la température.
(b) Illustration du plan basal montrant les flaques métalliques séparées en phase près du seuil de percolation et une nucléation dans la matrice isolante de Mott spin-orbite du $Sr_3Ir_2O_7$.

En combinant les données obtenues par toutes les techniques utilisées, l'équipe a pu déduire que le ruthénium créait effectivement des entités à l'intérieur du composé qui ressemblaient à de minuscules « flaques métalliques ». Lorsque l'on augmentait la quantité de ruthénium, les flaques commençaient à « percoler » et à se coalescer pour former un métal dans le composé, et dans lequel les charges circulaient librement.

Comme l'explique le professeur Wilson, « l'ajout de ruthénium introduit des porteurs de charge, mais lorsque le ratio ruthénium/iridium est faible, ces porteurs s'amassent tout simplement dans ces petites flaques métalliques, qui sont des signes d'électrons fortement corrélés . Ces électrons sont stables et ne bougeront pas beaucoup. Mais quand nous intensifions la perturbation en augmentant la quantité de ruthénium, ces flaques commencent à bouger ensemble et atteignent un état métallique. »

Toujours selon le professeur Wilson, « le comportement de ce composé particulier ressemble à ce que les chercheurs ont vu dans des isolants de Mott qui présentent des phénomènes comme la supraconductivité à haute température. En déterminant exactement à quel endroit cette transformation a lieu, les résultats de l'équipe devraient contribuer à jeter les bases pour la recherche scientifique de nouvelles phases électroniques à l'intérieur des isolants de Mott à couplage spin-orbite. »

DOI: 10.1038/ncomms4377

Article adapté de ScienceDaily.com: http://www.sciencedaily.com/releases/2014/03/140310090917.htm

LISTES DES PUBLICATIONS

Le CCFN a reçu avis des publications suivantes de son personnel et de ses utilisateurs. Il sep eut que cette liste d'articles rédigés à la suite de travaux de recherche effectués au CCFN, dont 48 ont été publiés en 2014 et 31 en 2015, ne soit pas complète.

En outre, les rapports techniques de notre communauté d'utilisateurs sont disponibles sur le site Web de l'Institut canadien de la diffusion des neutrons: 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.

2014

1. Biophysics at the Intersection of Health Science and Nuclear Technology. Drew Marquardt, Richard Alsop, Maikel Rheinstadterand Thad Harroun. Proceedings of the 3rd International Technical Meeting on Small Reactors. 2014 November 5-7. Canadian Nuclear Society. CNS Bulletin 35(4): 15 (2014).
2. Carrier localization and electronic phase separation in a doped spin-orbit-driven Mott phase in Sr3(Ir1−xRux)2O7. Chetan Dhital, Tom Hogan, Wenwen Zhou, Xiang Chen, Zhensong Ren, Mani Pokharel, Yoshinori Okada, M. Heine, Wei Tian, Z. Yamani, C. Opeil, J. S. Helton, J. W. Lynn, Ziqiang Wang, Vidya Madhavan, and Stephen D. Wilson. Nature Communications 5: 3377 (2014).
3. Characterization of Phase Transformations and Stresses During the Welding of a Ferritic Mild Steel. D. Dye, H.J. Stone, M. Watson, and R.B. Rogge. Metallurgical and Materials Transactions A: 2038 (45A) (2014).
4. Determining the Mechanism of In-Service Cylinder Distortion in Aluminum Engine Blocks with Cast-In Gray Iron Liners. Anthony Lombardi, Comondore Ravindran, Dimitry Sediako and Robert MacKay. Metallurgical and Materials Transactions A 45 (13): 6291-6303 (2014).
5. Dimyristoyl phosphatidylcholine: A remarkable exception to α-tocopherol's membrane presence. Drew Marquardt, Justin Williams, Jacob Kinnun, Norbert Kučerka, Jeffrey Atkinson, Stephen R. Wassall, John Katsaras, and Thad A. Harroun. Journal of the American Chemical Society 136: 202-210 (2014).
6. Effect of Chill Parameters on the Residual Strain in Cast 319 Aluminum Alloy: A Neutron Diffraction Study Vishank Kumar, Dimitry Sediako, and Lukas Bichler. SAE International Journal of Materials and Manufacturing. 7(2): 411-414 (2014). http://dx.doi.org/10.4271/2014-01-0836
7. Effects of N,N-dimethyl-N-alkylamine -N-oxides on DOPC bilayers in unilamellar vesicles: small-angle neutron scattering study. Michal Belicka, Norbert Kucerka, Daniela Uhrikova, Akhmed Kh. Islamov, Alexander I. Kuklin, Ferdinand Devinsky, and Pavol Balgavy. Eur Biophys J 43: 179–189 (2014).
8. Element-specific depth profile of magnetism and stoichiometry at the La0.67Sr0.33MnO3 / BiFeO3 interface. J. Bertinshaw, S. Brück, D. Lott, H. Fritzsche, Y. Khaydukov, O. Soltwedel, T. Keller, E. Goering, P. Audehm, D. L. Cortie, W. D. Hutchison, Q. M. Ramasse, M. Arredondo, R. Maran, V. Nagarajan, F. Klose, and C. Ulrich. Physical Review B 90: 041113-1-5 (2014).
9. Evolution of antiferromagnetic susceptibility under uniaxial pressure in Ba(Fe1-xCox)2As2. Chetan Dhital, Tom Hogan, Z. Yamani, Robert J. Birgeneau, W. Tian, M. Matsuda, A. S. Sefat, Ziqiang Wang, and Stephen D. Wilson. Phys. Rev. B 89: 214404 (2014).
10. Global small-angle X-ray scattering data analysis for multilamellar vesicles: the evolution of the scattering density profile model. P. Heftberger, B. Kollmitzer, F.A. Heberle, J. Pan, M. Rappolt, H. Amenitsch, N. Kučerka, J. Katsaras, and G. Pabst. Journal of Applied Crystalography 47: 173-170 (2014).
11. Hot tearing mechanisms of B206 aluminum–copper alloy. F. D'Elia, C. Ravindran, D. Sediako, K.U. Kainer, and N. Hort. Materials and Design 64: 44-55 (2014).
12. Identifying Further Inelastic Neutron Crystal Field Transitions in ErNiAl4. G.A. Stewart, W.D. Hutchison, Z. Yamani, J.M. Cadogan and D.H. Ryan. Proceedings of the 38th Annual Condensed Matter & Materials Meeting, Auckland (Waiheke Island), New Zealand, ISBN

9780646933399 (2014).
13. Intrinsic reduction of the ordered 4 f magnetic moments in semiconducting rare-earth nitride thin films: DyN, ErN, and HoN. D. L. Cortie, J. D. Brown, S. Brück, T. Saerbeck, J. P. Evans, H. Fritzsche, X. L. Wang, J. E. Downes, and F. Klose. Physical Review B 89: 064424 (2014).
14. In-situ neutron diffraction study of Zircaloy-4 subjected to biaxial tension. M.A. Gharghouri, D. McDonald, and L. Xiao. Proceedings of the 19th Pacific Basin Nuclear Conference, PBNC 2014-276 (2014).
15. Lipid Diversity and Its Implications for Membrane Organization. Jianjun Pan, Norbert Kučerka, Mu-Ping Nieh, Frederick A. Heberle, Paul Drazba, and John Katsaras. Liposomes, Lipid Bilayers and Model Membranes: 125 -142 (2014).
16. Liposomes, Lipid Bilayers and Model Membranes from Basic Research to Application. Edited by Georg Pabst, Norbert Kučerka, Mu-Ping Nieh, and John Katsaras. CRC Press 2014. Print ISBN: 978-1-4665-0709-8. eBook ISBN: 978-1-4665-0711-1
17. Liquid-like correlations in single-crystalline Y2Mo2O7: An unconventional spin glass. H. J. Silverstein, K. Fritsch, F. Flicker, A. M. Hallas, J. S. Gardner, Y. Qiu, G. Ehlers, A. T. Savici, Z. Yamani, K. A. Ross, B. D. Gaulin, M. J. P. Gingras, J. A. M. Paddison, K. Foyevtsova, R. Valenti, F. Hawthorne, C. R. Wiebe, and H. D. Zhou. Phys. Rev. B 89: 054433 (2014).
18. Long-range magnetic order in the 5d2 double perovskite Ba2CaOsO6: Comparison with spin-disordered Ba2YReO6. Thompson, C.M., Carlo, J.P. , Flacau, R., Aharen, T., Leahy, I.A., Pollichemi, J.R., Munsie, T.J.S., Medina, T., Luke, G.M., Munevar, J., Cheung, S., Goko, T., Uemura, Y.J., Greedan, J.E. Journal of Physics: Condensed Matter 26: 306003 (2014). http://dx.doi.org/10.1088/0953-8984/26/30/306003
19. Magnetic structure of GdBiPt: A candidate antiferromagnetic topological insulator. Müller, R.A., Lee-Hone, N.R., Lapointe, L., Ryan, D.H., Pereg-Barnea, T., Bianchi, A.D., Mozharivskyj, Y., and Flacau, R. Phys. Rev. B 90: 041109 (2014).
20. Mechanical response of AZ31B magnesium alloy: Experimental characterization and material modeling considering proportional loading at room temperature. D. Ghaffari Tari, M. J. Worswick, U. Ali, and M. A. Gharghouri. International Journal of Plasticity 55: 247-267 (2014).
21. Micromechanical Behavior of Solid-Solution-Strengthened Mg-1wt.%Al Alloy Investigated by In-Situ Neutron Diffraction. Soo Yeol Lee, Wanchuck Woo, Michael A. Gharghouri, Cheol Yoon, and Ke An. Materials Science Forum 777: 130-135 (2014).
22. Non-Destructive Nuclear Forensics of Radioactive Samples. R.B. Rogge, Q. Alexander, G. Bentoumi, F. Dimayuga, R. Flacau, G. Li, L. Li, and B. Sur. ISBN 978-1-926773-16-2. Proceedings of the 19th Pacific Basin Nuclear Conference, PBNC 2014-310 (2014).
23. Partial Spin Ordering and Complex Magnetic Structure in BaYFeO4: A Neutron Diffraction and High Temperature Susceptibility Study. C. M. Thompson, J. E. Greedan, V. O. Garlea, R. Flacau, M. Tan, P-H. T. Nguyen, F. Wrobel, and S. Derakhshan. Inorg. Chem. 53 (2): 1122 (2014).
24. Patterson analysis for layer profile determination by neutron or X-ray reflectometry. II. Zin Tun. J. Appl. Cryst. 47: 680–683 (2014).
25. Phonon density of states and anharmonicity of UO2. Judy W. L. Pang, Aleksandr Chernatynskiy, Bennett C. Larson, William J. L. Buyers, Douglas L. Abernathy, Kenneth J. McClellan, and Simon R. Phillpot. Physical Review B 89: 115132 (2014).
26. Platinum Uptake and Ba2CePtO6 Formation During in Situ BaCe1−xMx O3−δ (M = La, In) Formation. Lussier, J.A., Shafi, S.P., Donaberger, R.L.; Bieringer, M. Inorganic Chemistry, 2014, 53, 8809−8815. http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ic501510u
27. Pressure-induced changes on the electronic structure and electron topology in the direct FCC to SH transformation of silicon. Tse, J.S., Hanfland, M., Flacau, R., Desgreniers, S., Li, Z., Mende, K., Gilmore, K., Nyrow, A., Moretti Sala, M., Sternemann C. Journal of Physical Chemistry C 118: 1161 (2014)
28. Probing the Hydration of Ultrathin Antifouling Organosilane Adlayers using Neutron Reflectometry. Natalia M. Pawlowska, Helmut Fritzsche, Christophe Blaszykowski, Sonia Sheikh, Mansoor Vezvaie and Michael Thompson. Langmuir 30: 1199-1203 (2014). http://dx.doi.org/10.1021/la4038233
29. Quantification of Residual Strain Associated with Reduction of Hot Tears by Grain Refinement in B206 Aluminum Alloy. F. D'Elia, C. Ravindran, and D. Sediako. Canadian Metallurgical Quarterly 53 (2): 151-159 (2014).
30. Residual Stress Mapping along the Cylinder Bores of Al Alloy Engine Blocks Subjected to Production Solution Heat Treatment Schedule. Anthony Lombardi, Dimitry Sediako, C. (Ravi) Ravindran, and Robert Mackay. SAE International Journal of Materials and Manufacturing 7(2): 415-420 (2014). http://dx.doi.org/10.4271/2014-01-0837
31. Stress Analysis of Feeder Bends Using Neutrons: New Results and Cumulative Impacts. D. Banks, R. Donaberger, B. Leitch and R. Rogge. ISBN 978-1-926773-16-2. Proceedings of the 19th Pacific Basin Nuclear Conference, PBNC 2014-186 (2014).
32. Strict limit on in-plane ordered magnetic dipole moment in URu2Si2. K. A. Ross, L. Harriger, Z. Yamani, W. J. L. Buyers, J. D. Garrett, A. A. Menovsky, J. A. Mydosh, and C. L. Broholm. Physical Review B 89: 155122 (2014).
33. Structural and magnetic behavior of the cubic oxyfluoride SrFeO2F studied by neutron diffraction. Corey M. Thompson, Colin K. Blakely, Roxana Flacau, John E. Greedan, and Viktor V. Poltavets. Journal of Solid State Chemistry 219: 173–178 (2014).
34. Structure of Cholesterol in Lipid Rafts. Laura Toppozini, Sebastian Meinhardt, Clare L. Armstrong, Zahra Yamani, Norbert Kučerka, Friederike Schmid, and Maikel C. Rheinstädter. Phys. Rev. Lett. 113: 228101 (2014).
35. Surface twist instabilities and skyrmion states in chiral ferromagnets. S. A. Meynell, M. N. Wilson, H. Fritzsche, A. N. Bogdanov, and T. L. Monchesky. Physical Review B 90: 014406 (2014).
36. Synthesis, structure and magnetic properties of (Tb1-xMny)MnO3-δ. Hao Zhang, Roxana Flacau, Junliang Sun, Guobao Li, Fuhui Liao, and Jianhua Lin. Inorg. Chem. 53(9): 4535 (2014).
37. The investigation of the triaxial residual stress in the friction stir welded lap joint using neutron diffraction. Michael Bach, Ali Merati, Michael Gharghouri, Ronald Rogge, Robert Bell, Xin Wang. Materials Science Forum 768-769: 589-596 (2014).
38. The molecular structure of a phosphatidylserine bilayer determined by scattering and molecular dynamics simulations. Jianjun Pan, Xiaolin Cheng, Luca Monticelli, Frederick A. Heberle, Norbert Kucerka, D. Peter Tielemanh and John Katsaras. Soft Matter 10: 3716–3725 (2014).
39. The Penetration Depth of Chemical Reactions in a Thin-Film Co3O4 Supercapacitor Electrode. M. Vezvaie, P. Kalisvaart, H. Fritzsche, Z. Tun and D. Mitlin. Journal of The Electrochemical Society 161 (5): A798-A802 (2014).
40. The sensitivity of neutron scattering to hydrogen in nuclear fuel. M.A. Gharghouri, R. Donaberger, N. Wang, S. Hibbins. Proceedings of the 19th Pacific Basin Nuclear Conference, PBNC 2014-274 (2014).
41. Thermal Neutron Scattering Cross

Section Measurements of Light and Heavy Water. G. Li, G. Bentoumi, Z. Tun, L. Li and B. Sur. Proceedings of 34rd Annual Conference of the Canadian Nuclear Society & 37th CNS/CNA Student Conference, Toronto, June 2013. Curran Assoc. Inc.: 88-89 (2014).

42. Using Monte Carlo ray tracing simulations to model the quantum harmonic oscillator modes observed in uranium nitride. J. Y. Y. Lin, A. A. Aczel, D. L. Abernathy, S. E. Nagler, W. J. L. Buyers, and G. E. Granroth. Phys. Rev. B 89: 144302 (2014).
43. Structural transformations in R3Cu4Sn4 (R=Ho, Er, Tm) intermetallic compounds. J.M. Cadogan, S. Muñoz Pérez, R. Cobas, D.H. Ryan, R. Lora-Serrano, M.J.S. Figueira and F. Yokaichiya. Intermetallics 55: 123-128 (2014).
44. Neutron powder diffraction and Mössbauer spectroscopy (119Sn and 155Gd) studies of the CeScSi-type GdMgSn and GdMgPb compounds. P. Lemoine, N. R. Lee-Hone, D. H. Ryan, A. Vernière, B. Malaman, and G. Le Caër. Phys. Rev. B 89: 174428(9) (2014).
45. Spin reorientation in GdGa. R.A. Susilo, J.M. Cadogan, D.H. Ryan, N.R. Lee-Hone, R. Cobas and S. Muñoz Pérez. Hyp. Int. 226: 257-266 (2014).
46. On the magnetic order of Gd5Ge3. J.M. Cadogan, D.H. Ryan, and Ya. Mudryk, V.K. Pecharsky and K.A. Gschneidner Jr. J. Appl. Phys. 115: 17A901(3) (2014).
47. Thermal neutron diffraction determination of the magnetic structure of EuCu2Ge2. W.N. Rowan-Weetaluktuk, P. Lemoine, J.M. Cadogan and D.H. Ryan. J. Appl. Phys. 115: 17E101(3) (2014).
48. Magnetic structure of the high temperature superconductor Gd1-xThx-FeAsO. N.R. Lee-Hone, D.H. Ryan, J.M. Cadogan, Y.L. Sun and G.-H. Cao. J. Appl. Phys. 115: 17D705(3) (2014).

2015

1. Characterization of the microstructure, mechanical properties, and shot peening response of an industrially processed Al–Zn–Mg–Cu alloy. Harding, M.D., Donaldson, I.W., Hexemer Jr., R.L., Gharghouri, M.A., and Bishop, D.P. Journal of Materials Processing Technology. 221: 31-39 (2015).
2. Evaluation of elastic–viscoplastic self-consistent polycrystal plasticity models for zirconium alloys. H. Qiao, P.D. Wu, H. Wang, M.A. Gharghouri, and M.R. Daymond. International Journal of Solids and Structures. 71: 308-322 (2015).
3. Improving Microstructure and Ductility in the Mg-Zn Alloy System by Combinational Ce-Ca Microalloying. B. Langelier, A.M. Nasiri, S.Y. Lee, M.A. Gharghouri, and S. Esmaeili. Materials Science and Engineering A, 620: 76-84 (2015).
4. In-situ Study of Microstructure Evolution in Solidification of Hypereutectic Al-Si Alloys with Application of Thermal Analysis and Neutron Diffraction. D. Sediako and W. Kasprzak. Metallurgical and Materials Transactions A: 46(A): 4160-4173 (2015). http://link.springer.com/article/10.1007/s11661-015-3007-0
5. Interplay Among Solidification, Microstructure, Residual Strain and Hot Tearing in B206 Aluminum Alloy. F. D'Elia, C. Ravindran, and D. Sediako. Materials Science & Engineering A, 624: 169–180 (2015). http://dx.doi.org/10.1016/j.msea.2014.11.057
6. Investigation of Solidification Behaviour of Mg–6Al and Mg–9Al Alloys Using in situ Neutron Diffraction. A. Elsayed, D. Sediako, and C. Ravindran. Canadian Metallurgical Quarterly 54(1): 16-23 (2015). http://dx.doi.org/10.1179/1879139514Y.0000000159
7. Investigations on the Stress and Strain Evolution in AZ91D Magnesium Alloy Castings During Hot Tearing. L. Bichler, and C. Ravindran. Journal of Materials Engineering and Performance 24(6): 2208–2218 (2015). http://dx.doi.org/10.1007/s11665-015-1454-9
8. Solidification Analysis of Al–5 wt-%Cu Alloy Using in situ Neutron Diffraction. F. D'Elia, C. Ravindran, D. Sediako, and R. Donaberger. Canadian Metallurgical Quarterly 54(1): 9-15 (2015). http://dx.doi.org/10.1179/1879139514Y.0000000158
9. Solidification Behavior of Mg-Zn and Mg-Zn-Zr Alloys Using In-Situ Neutron Diffraction. A. Elsayed, D. Sediako and C. Ravindran. Journal of Materials Engineering and Performance 24(6): 2250-2255 (2015). ISSN: 1544-1024. http://dx.doi.org/10.1007/s11665-015-1497-y
10. Twinning-Detwinning Behavior during Cyclic Deformation of Magnesium Alloy. Lee, Soo Yeol, Wang, Huamaio, and Gharghouri, M.A. Metals, 5: 881-890 (2015).
11. First-Order Melting of a Weak Spin-Orbit Mott Insulator into a Correlated Metal. T. Hogan, Z. Yamani, D. Walkup, Xiang Chen, Rebecca Dally, Thomas Z. Ward, M.P.M. Dean, John Hill, Z. Islam, Vidya Madhavan, and Stephen D. Wilson. Phys. Rev. Lett. 114: 257203 (2015). http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevLett.114.257203
12. Frustrated fcc antiferromagnet Ba2YOsO6: Structural characterization, magnetic properties, and neutron scattering studies. E. Kermarrec, C. A. Marjerrison, C. M. Thompson, D. D. Maharaj, K. Levin, S. Kroeker, G. E. Granroth, R. Flacau, Z. Yamani, J. E. Greedan, and B. D. Gaulin. Phys. Rev. B 91: 075133 (2015). http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevB.91.075133
13. Structural and Magnetic Phase Transitions near Optimal Superconductivity in BaFe2(As1-xPx)2. Ding Hu, Xingye Lu, Wenliang Zhang, Huiqian Luo, Shiliang Li, Peipei Wang, Genfu Chen, Fei Han, Shree R. Banjara, A. Sapkota, A. Kreyssig, A.I. Goldman, Z. Yamani, Christof Niedermayer, Markos Skoulatos, Robert Georgii, T. Keller, Pengshuai Wang, Weiqiang Yu, and Pengcheng Dai. Phys. Rev. Lett. 114: 157002 (2015). http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevLett.114.157002
14. Separation of magnetic and superconducting behavior in YBa2Cu3O6.33 (Tc = 8.4K). Zahra Yamani, W. J. L. Buyers, F. Wang, Y.-J. Kim, J.-H. Chung, S. Chang, P. M. Gehring, G. Gasparovic, C. Stock, C. L. Broholm, J. C. Baglo, Ruixing Liang, D. A. Bonn, and W. N. Hardy. Phys. Rev. B: 91: 134427 (2015). http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevB.91.134427
15. Magnetic structure of the antiferromagnetic half-Heusler compound NdBiPt. R. A. Müller, A. Desilets-Benoit, N. Gauthier, L. Lapointe, A. D. Bianchi, T. Maris, R. Zahn, R. Beyer, E. Green, J. Wosnitza, Z. Yamani, and M. Kenzelmann. Phys. Rev. B 92: 184432 (2015).
16. Mott-Kondo insulator behavior in the iron oxychalcogenides. B. Freelon, Yu Hao Liu, Jeng-Lung Chen, L. Craco, M. S. Laad, S. Leoni, Jiaqi Chen, Li Tao, Hangdong Wang, R. Flauca, Z. Yamani, Minghu Fang, Chinglin Chang, J.-H. Guo, and Z. Hussain. Phys. Rev. B 92: 155139 (2015). http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevB.92.155139
17. Aspirin inhibits formation of cholesterol rafts in fluid lipid membranes. Richard J. Alsop, Laura Toppozini, Drew Marquardt, Norbert Kučerka, Thad A. Harroun, and Maikel C. Rheinstädter. BBA-Biomembranes 1848: 805-812 (2015). http://dx.doi.org/10.1016/j.bbamem.2014.11.023
18. In-situ Temperature-controllable Shear Flow Device for Neutron Scattering measurement—An example of aligned bicellar mixtures. Yan Xia, Ming Li, Norbert Kučerka, Shutao Li, and Mu-Ping Nieh. Review of Scientific Instruments 86: 025112 (2015). http://dx.doi.org/10.1063/1.4908165
19. Tocopherol's location in membranes

is not affected by their composition. Drew Marquardt, Norbert Kučerka, John Katsaras, and Thad A. Harroun. Langmuir 31(15): 4464–4472 (2015). http://dx.doi.org/10.1021/la502605c
20. α-Tocopherol Is Well Designed to Protect Polyunsaturated Phospholipids: MD Simulations. Xiaoling Leng, Jacob J. Kinnun, Drew Marquardt, Mikel Ghefli, Norbert Kucerka, John Katsaras, Jeffrey Atkinson, Thad A. Harroun, Scott E. Feller, and Stephen R. Wassall, Biophysical Journal 109(8): 1608–1618 (2015). ISSN 0006-3495. http://dx.doi.org/10.1016/j.bpj.2015.08.032
21. Cation exchange mediated elimination of the Fe-antisites in the hydrothermal synthesis of LiFePO4. Andrea Paolella, Giovanni Bertoni, Pierre Hovington, Zimin Feng, Roxana Flacau, Mirko Prato, Massimo Colombo, Sergio Marras, Liberato Manna, Stuart Turner, Gustaaf Van Tendeloo, Abdelbast Guerfi, George P. Demopoulos, and Karim Zaghib. Nano Energy 16: 256–267 (2015). http://dx.doi.org/10.1016/j.nanoen.2015.06.005
22. In-situ powder diffraction on TiF3 catalysed magnesium for hydrogen storage applications. R. Flacau, X. Tan, M. Danaie, H. Fritzsche, and D. Mitlin. Can. Met. Quarterly 54: 47-50 (2015).
23. From soft harmonic phonons to fast relaxational dynamics in CH3NH3PbBr3. I.P. Swainson, C. Stock, S. F. Parker, L. Van Eijck, M. Russina, and J. W. Taylor. Physical Review B 92: 100303(R) (2015).
24. Synthesis, structure, and magnetic properties of novel B-site ordered double perovskites, SrLaMReO6 (M = Mg, Mn, Co and Ni). C.M. Thompson, L. Chi, J.R.R. Hayes, A.M. Hallas, M.N. Wilson, T.J.S. Munsie, I.P. Swainson, A.P. Grosvenor, G.M. Luke, J.E. Greedan. Dalton Transactions 44(23): 10806-10816 (2015).
25. Interdiffusion of Fe and Mg layers during annealing and deuterium absorption. H. Fritzsche, S. Bilodeau, R. Flacau, P. Jain, J. Huot, P. Kalisvaart, and D. Mitlin. Can. Met. Quarterly 54: 43-46 (2015).
26. Reactions in a multilayered Si (substrate)/Ta/Mg/Fe/Ta/Pd thin-film structure during annealing and deuterium absorption. M. Danaie, H. Fritzsche, W. P. Kalisvaart, X. Tan, D. Mitlin, G. A. Botton, and J. Huot. Acta Mater. 90: 259-271 (2015).
27. Water uptake and swelling hysteresis in a nafion thin film measured with neutron reflectometry. W. P. Kalisvaart, H. Fritzsche, and W. Mérida. Langmuir 31: 5416-5422 (2015).
28. In situ Neutron Diffraction Analysis of Stress-free d-spacing During Solution Heat Treatment of Modified 319 Al Alloy Engine Blocks. A. Lombardi, D. Sediako, C. Ravindran, and R. MacKay. Canadian Metallurgical Quarterly 54(1): 30–37 (2015). http://dx.doi.org/10.1179/1879139514Y.0000000161
29. Transient Analysis of Residual Strain during Heat Treatment of Multi-material Engine Blocks using In-situ Neutron Diffraction. Lombardi, A., Sediako, D., Machin, A., Ravindran, C., and MacKay, R. Materials Letters 157: 50–52 (2015).
30. Non-Destructive Examination Using Neutrons: A Nuclear Waste And Orphaned Source Characterization Case Study Applicable To Nuclear Forensics. Ronald B. Rogge, Ghaouti Bentoumi, F. (Ike) Dimayuga, Roxana Flacau, Gang Li, Liqian Li, and Bhaskar Sur. CNL Nuclear Review 4(2): 141-154 (2015).
31. Quantum Phase Transitions. Sara Haravifard, Zahra Yamani, Bruce D. Gaulin. Neutron Scattering, Magnetic and Quantum Phenomena. Experimental Methods in the Physical Sciences. 48: 43–144 (2015)