

CIGELE : chaire de recherche sur le givrage



Agir avant la tempête

Le 25 février 2000, plus de 500 personnes, dont des dignitaires des gouvernements canadien et québécois, ainsi que des représentants d'Hydro-Québec et de la communauté scientifique canadienne et étrangère, participaient à la cérémonie d'ouverture officielle du Pavillon de recherche sur le givrage à l'Université du Québec à Chicoutimi (UQAC). Cette infrastructure unique consolidait la position de l'UQAC comme chef de file mondial dans le domaine du givrage atmosphérique.

L'établissement d'un laboratoire d'envergure internationale, avec des équipements d'avant-garde permettant de trouver des solutions concrètes et préventives aux effets dévastateurs du givrage, était devenu nécessaire surtout après le sinistre provoqué par la tempête de verglas de janvier 1998, qui a touché près de la moitié de la population du Québec et a eu des conséquences socioéconomiques désastreuses, un événement gravé dans notre mémoire collective.

Qu'un tel laboratoire ait été établi à l'UQAC n'est pas un hasard. En effet, une équipe de chercheurs de cette institution se penche depuis une trentaine d'années sur différents aspects de la problématique du givrage. L'excellence et la pertinence de cette recherche a conduit en septembre 1997 à la création de la Chaire industrielle sur le givrage atmosphérique des équipements des réseaux électriques (CIGELE), en partenariat avec Hydro-Québec et grâce à une importante subvention du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie (CRSNG) du Canada.

Tout dernièrement, en janvier 2003, le mandat de la CIGELE a été élargi par l'octroi d'une nouvelle chaire de recherche, cette fois-ci une Chaire de recherche du Canada portant sur l'ingénierie du givrage des réseaux électriques (INGIVRE), ce qui manifeste encore une fois l'excellence de la recherche et la volonté des chercheurs de l'UQAC dans leur démarche pour combattre les effets néfastes de la glace atmosphérique. Tout en ouvrant de nouvelles avenues de recherche sur le givrage en complémentarité avec les activités de la CIGELE, cette nouvelle chaire aidera entre autres à consolider et à étendre le réseau actuel de collaborations, et à assurer la pérennité de la recherche en préparant la relève du corps professoral dans ce domaine.

Les effets du givrage

Le givrage atmosphérique des structures, et en particulier des équipements des réseaux électriques, est un phénomène fort complexe, car il dépend de plusieurs facteurs : les systèmes météorologiques, la topographie des zones affectées par le givrage, les caractéristiques des équipements exposés, etc. Les phénomènes observés sont de diverses natures, avec des mécanismes complexes et, dans plusieurs

cas, encore mal compris. Ces phénomènes sont, selon leur ampleur, à l'origine de bris d'équipements, allant parfois jusqu'à la destruction totale de sections de lignes, causant des paralysies temporaires, voire totales, dans le transport et la distribution de l'énergie électrique. Cette problématique est d'autant plus importante pour notre société que le Québec compte près de 120 000 kilomètres de lignes électriques aériennes, la plupart sujettes au givrage.

Les effets perturbateurs de la glace atmosphérique peuvent être classés *grosso modo* selon deux catégories, les effets mécaniques et les effets électriques. Dans la première catégorie, on peut mentionner particulièrement les bris d'équipements (rupture de câbles ou de conducteurs, chute de pylônes, etc.) causés par la surcharge de glace, ou de glace combinée avec le vent, ou encore par les efforts et chocs résultant des mouvements vibratoires des câbles et conducteurs alourdis par la glace ou soudainement allégés de celle-ci. La tristement célèbre tempête de verglas de janvier 1998, où on a assisté à la destruction totale de plusieurs centaines de kilomètres de lignes électriques est un exemple frappant des effets mécaniques du givrage.

Dans la catégorie des effets électriques, on peut souligner les coupures de courant résultant de courts-circuits causés par l'apparition de décharges et arcs électriques, en particulier à la surface d'isolateurs recouverts de glace ou de neige, ou entre les conducteurs glacés s'approchant les uns des autres lors du galop, le mouvement vibratoire de grande amplitude causé par la présence de glace et de vent. L'événement survenu en avril 1998 au poste Arnaud, qui a occasionné l'interruption d'électricité dans une grande partie du Québec pendant quelques heures, est un exemple d'effet électrique, causé dans ce cas par le contournement électrique d'isolateurs enneigés.

Les objectifs et les orientations de la recherche

L'objectif des activités de recherche est avant tout l'avancement et la diffusion des connaissances et la formation de personnel hautement qualifié dans ce domaine, crucial pour notre société, qu'est le givrage atmosphérique.

Face à la vaste problématique et à la complexité du givrage atmosphérique, la recherche entreprise vise à améliorer nos connaissances afin de trouver des solutions concrètes aux problèmes causés par ce phénomène. En particulier, elle cherche à développer des outils scientifiques puissants et innovateurs permettant une conception améliorée d'équipements, le développement de méthodes efficaces pour éliminer ou réduire l'accumulation de glace sur les équipements, et une meilleure gestion dans le transport et la distribution de l'énergie électrique durant les périodes de givrage.

C'est ainsi que les chercheurs et collaborateurs du centre de recherche déploient leurs efforts à travers une vingtaine de projets d'envergure pour élaborer entre autres des modèles mathématiques. Ces modèles, basés sur différentes méthodes numériques (éléments finis classiques et de fron-

tière, cheminement aléatoire, réseaux de neurones, etc.) et validés à la fois par des expériences pratiques en laboratoire et des données provenant de sites naturels, permettent de mieux comprendre les phénomènes en jeu et d'atteindre les objectifs de recherche.

L'infrastructure de recherche

Les événements provoqués par la glace atmosphérique sont aléatoires et relativement rares. Par conséquent, une étude sérieuse fondée uniquement sur des observations en des sites naturels serait pratiquement impossible, bien que de telles observations soient nécessaires et fortement recommandées. Il est donc essentiel de pouvoir simuler les précipitations naturelles de façon systématique dans un environnement contrôlé, aussi bien en été qu'en hiver : d'où la nécessité d'une infrastructure sophistiquée et spécialisée, comme celle qui est logée dans le Pavillon du givrage de l'UQAC.

La simulation de différents types de précipitations givrantes (bruine et pluie verglaçante, brouillard givrant, cristaux de glace apparentés à la neige, etc.), ainsi que leurs dépôts sur des équipements des réseaux électriques sous haute tension, est rendue possible grâce à des installations à la fine pointe

Chambre climatique



de la technologie. Ces installations comprennent plusieurs chambres climatiques et un tunnel réfrigéré, ainsi que des systèmes à haute tension en courant alternatif, continu et impulsional. Ces installations permettent non seulement la simulation artificielle des précipitations givrantes, mais aussi la collecte de précipitations naturelles, comme la neige, grâce à un toit ouvrant dans l'une des grandes chambres climatiques à circulation verticale.

En plus d'avoir accès aux données de givrage sur les sites naturels appartenant à Hydro-Québec, l'UQAC possède son propre site naturel sur le mont Valin, près de Chicoutimi, où est installée une ligne expérimentale comprenant divers types de câbles, de conducteurs et d'isolateurs. Les données de ce site sont transmises par une ligne téléphonique à un ordinateur central à l'UQAC.

Dans son ensemble, cette infrastructure de l'UQAC est originale, unique en son genre et capable de reproduire l'éventail des précipitations givrantes et le dépôt de glace sur des équipements en présence ou en l'absence de haute tension. La souplesse de ces installations offre également la chance aux fabricants de divers équipements électriques de



Contournement d'isolateur

tester ceux-ci selon les normes canadiennes ou internationales établies. À lui seul, le laboratoire de haute tension de l'UQAC constitue le deuxième en importance au Québec après celui de l'Institut de recherche d'Hydro-Québec situé à Varennes.

Personnel de la CIGELE



Les partenaires et les ressources humaines

Une recherche d'envergure sur le givrage, telle que celle entreprise à l'UQAC, nécessite une approche interdisciplinaire et coordonnée, de même que la participation d'un nombre important de partenaires et collaborateurs apportant chacun, de façon complémentaire, ses connaissances et ses ressources spécifiques.

Les partenaires de la CIGELE proviennent essentiellement des secteurs industriel et universitaire, et s'ajoutent à eux des bailleurs de fonds institutionnels et gouvernementaux. Les partenaires industriels rendent disponibles des ressources humaines et matérielles spécifiques, ainsi que des fonds affectés aux projets de recherche, tout en bénéficiant du transfert et de l'application des résultats dans leur industrie. Pour leur part, les collaborateurs universitaires contribuent à l'apport de connaissances dans des domaines de recherche complémentaires à ceux de la CIGELE, et rendent possibles des échanges enrichissants de chercheurs et d'étudiants.

Hydro-Québec est le partenaire principal et privilégié de la CIGELE. C'est d'ailleurs grâce à son soutien et à son intérêt continu que les recherches sur le givrage ont été initiées à l'UQAC au tout début des années 1970, et ont pu atteindre le niveau actuel. Les autres partenaires, qui se sont ajoutés en cours de route, ont également contribué de façon efficace à l'avancement des travaux de recherche de la CIGELE. À ce titre, on peut mentionner les partenaires suivants : Hydro One et Stattnet (compagnie norvégienne de transport d'énergie électrique), du secteur du transport de l'électricité ; Câble Alcan, Phillips-Fitel, Electro Composites et Allstom, des fabricants d'équipements de réseaux électriques ; et enfin, le CRSNG, la FUQAC (Fondation de l'UQAC) et le CQRDA (Centre québécois de recherche et développement de l'aluminium), partenaires gouvernementaux ou institutionnels.

Les collaborateurs de la CIGELE proviennent essentiellement des universités et des centres de recherche canadiens et étrangers. Parmi les collaborateurs canadiens, on peut citer les universités Laval et McGill, l'Université de Montréal (École polytechnique), les universités d'Alberta et de Colombie-Britannique (UBC), ainsi que les centres de recherche IREQ (Institut de recherche d'Hydro-Québec), Kinetrics et Énergie atomique du Canada limitée. Parmi les collaborateurs étrangers, on peut mentionner l'École centrale de Lyon et l'Université de Savoie en France, ainsi que les universités de Karlsruhe en Allemagne, des sciences techniques et économiques de Budapest en Hongrie et de Chongqing en Chine.



Laboratoire haute tension

Les ressources humaines de la CIGELE à l'UQAC comptent une quarantaine de personnes, comprenant professeurs, chercheurs, étudiants, professionnels, assistants et techniciens. La formation des étudiants étant au cœur des préoccupations de la CIGELE, c'est ainsi que, outre les nombreux stagiaires de 1^{er} cycle, 15 étudiants de 2^e et 3^e cycles ainsi que 5 chercheurs postdoctoraux font à l'heure actuelle leur recherche à la CIGELE.

Les retombées scientifiques et technologiques

Les retombées scientifiques et technologiques des activités de la CIGELE, depuis sa création en septembre 1997, sont nombreuses et de différentes natures. Ainsi, au cours de cette période, la CIGELE a contribué de façon exceptionnelle et significative à l'avancement et à la diffusion des connaissances, à la formation de personnel hautement qualifié, à la réalisation de projets d'envergure en recherche et développement, ainsi qu'à l'établissement de guides et de normes internationales.

En ce qui concerne l'avancement et la diffusion des connaissances, des progrès importants ont été accomplis en développant des modèles pour prévoir le givrage ou le délestage de glace des câbles et conducteurs, ou encore l'initiation et le développement de décharges et arcs électriques à la surface de la glace accumulée sur les isolateurs. Les modèles élaborés pour prédire le givrage et le délestage s'appuient entre autres sur les méthodes des éléments finis classiques ou de frontière, ainsi que sur l'intelligence artificielle et le cheminement aléatoire. Plusieurs de ces modèles sont tridimensionnels et permettent de prévoir non seulement la formation de glace et de glaçons, mais aussi la morphologie de la glace accumulée. Par exemple, un de ces modèles, basé sur les réseaux de neurones, permet de prédire, pendant un épisode de givrage et à partir d'une situation donnée, quel sera le poids de glace sur les conducteurs réels d'une ligne dans les deux heures subséquentes : cela constituera un outil efficace pour mieux gérer le transport et la distribution de l'énergie électrique durant les épisodes de glace.

L'étude des processus de décharge dans les intervalles d'air et à la surface de la glace a conduit à l'élaboration de modèles mathématiques pouvant déterminer la tension critique de contournement des isolateurs industriels recouverts de glace. Ces modèles puissants sont essentiels pour la conception et le dimensionnement des isolateurs destinés aux régions froides subissant le givrage atmosphérique.

Les résultats de recherche de la CIGELE ont fait jusqu'à présent l'objet de 257 publications de diverses natures (articles et ouvrages scientifiques, thèses de doctorat, mémoires de maîtrise, rapports scientifiques) ainsi que de communications présentées dans des conférences nationales et internationales, dont plusieurs ont été organisées par la CIGELE elle-même à titre d'organisateur principal ou associé.

L'excellence de cette recherche a été reconnue et récompensée par l'attribution du prix de « meilleur article scientifique » par des organismes prestigieux tels que ISOPE (International Society of Offshore and Polar Engineers), ISH (International Symposium on High-Voltage Engineering) et ESC (Eastern Snow Conference). Un des modèles développés à la CIGELE, destiné à prévoir l'arc de contournement des isolateurs, a été reconnu par le magazine *Québec Science* comme étant l'une des dix plus importantes découvertes de l'année 1999 au Québec.

Cette recherche a permis d'attirer un nombre important d'étudiants et de chercheurs du Québec et d'ailleurs au Canada, ainsi que d'autres provenant d'une quinzaine de pays répartis un peu partout dans le monde, et de former, durant les cinq dernières années, une quarantaine de personnes hautement qualifiées dont la plupart sont actuellement employés dans des sociétés au Québec ou ailleurs au Canada.

Plusieurs projets d'envergure en recherche et développement, avec des retombées technologiques importantes pour l'industrie de l'électricité canadienne, ont été réalisés. À titre d'exemple, un de ces projets, effectué en étroite collaboration avec les chercheurs et ingénieurs d'Hydro-Québec et avec la participation de fabricants d'isolateurs, a permis de concevoir des isolateurs adéquats avec performances accrues dans des conditions de givrage pour le nouveau poste à 735 kV actuellement en construction en Montérégie.



Laboratoire de modélisation

La CIGELE est également active au sein des organismes internationaux responsables de la préparation de guides et de normes internationales comme l'IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) et le CIGRÉ (Conseil international des grands réseaux électriques). En plus d'être membre actif de ces organismes, le titulaire de la CIGELE, le professeur Farzaneh, assume la présidence de groupes d'action (task force) de l'IEEE ayant pour but l'établissement de méthodes d'évaluation et le choix adéquat d'isolateurs destinés aux régions froides subissant le givrage. Il est également l'un des rédacteurs de la prestigieuse revue de l'IEEE, *Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*.

Les perspectives de recherche

Avec l'implantation de la nouvelle Chaire de recherche du Canada sur l'ingénierie du givrage des réseaux électriques (INGIVRE), non seulement les objectifs de recherche actuels de la CIGELE seront poursuivis, mais de nouvelles avenues de recherche seront également explorées. En particulier, on développera une nouvelle génération de modèles pour simuler les accumulations extrêmes de glace, comme celles de la tempête de verglas de janvier 1998.

Cette approche, que nous appelons modèles morphogénétiques, constituera un outil puissant, entre autres pour la cartographie de la glace et pour la conception d'équipements de réseaux électriques destinés aux régions à risque.

La modélisation de la neige collante, avec ses effets perturbateurs sur les équipements, sera l'objet d'un autre développement pour l'élaboration de modèles permettant une meilleure estimation de l'intensité et de la densité de la neige collante sur les fils électriques en fonction des paramètres météorologiques. Des efforts particuliers seront déployés pour le développement de méthodes efficaces de prévention : on voudra, d'une part, empêcher ou réduire l'accumulation de glace et de neige collante, ou encore forcer son délestage, et d'autre part, éliminer ou diminuer l'amplitude des phénomènes résultant du givrage. Enfin, la conception d'équipements avec performances accrues en conditions de glace atmosphérique, ainsi que les appareillages adéquats pour détecter et mesurer l'intensité et la morphologie des accumulations, seront au cœur des travaux d'INGIVRE.

Voilà donc un aperçu des travaux de pointe menés à l'UQAC dans le domaine du givrage atmosphérique des réseaux électriques.



M. Farzaneh, titulaire de la CIGELE et d'INGIVRE
www.cigele.ca