



## **Chaire de recherche INQ sur le potentiel géothermique du Nord**

**RAPPORT D'ACTIVITÉS – ANNÉE 4**

**Par**

**Jasmin Raymond et  
Félix-Antoine Comeau**

**15 décembre 2020 – Québec**

Institut national de la recherche scientifique - Centre Eau Terre Environnement, 490 de la Couronne, Québec, Qc, G1K 9A9

Téléphone : (418) 654-2559 ; Télécopieur : (418) 654-2600

Site internet : <https://inrs.ca/la-recherche/chaire-recherche-sur-le-potentiel-geothermique-du-nord/>



## **TABLE DES MATIÈRES**

<b>1. DESCRIPTION DES OBJECTIFS GÉNÉRAUX DU PROGRAMME DE RECHERCHE DE LA CHAIRE .....</b>	<b>4</b>
<b>2. DESCRIPTION DES PROGRÈS RÉALISÉS À L'ÉGARD DE CES OBJECTIFS DURANT LA PÉRIODE COUVERTE PAR LE PRÉSENT RAPPORT .....</b>	<b>4</b>
<b>3. ÉQUIPE DE RECHERCHE .....</b>	<b>6</b>
<b>4. RECRUTEMENT ET FORMATION (ÉTUDIANTS DE 1<sup>ER</sup>, 2<sup>E</sup> ET 3<sup>E</sup> CYCLES, POSTDOCTORANTS, PROFESSIONNELS DE RECHERCHE, TECHNICIENS, ETC.) .....</b>	<b>6</b>
<b>5. COLLABORATION AVEC LES PARTENAIRES (INDUSTRIELS, INSTITUTIONNELS ET AUTRES) .....</b>	<b>7</b>
<b>6. DÉCRIRE LA VALEUR AJOUTÉE POUR L'INQ .....</b>	<b>9</b>
<b>7. DIFFUSION DES RÉSULTATS ET TRANSFERT DES CONNAISSANCES OU DE LA TECHNOLOGIE.....</b>	<b>10</b>
<b>8. RENSEIGNEMENTS FINANCIERS.....</b>	<b>12</b>
<b>9. DÉMONTRER LA SYNERGIE, LE MAILLAGE ET L'EFFET STRUCTURANT ENTRE LES 3 CHAIRES....</b>	<b>13</b>
<b>10. ANNEXES – APERÇU DES TRAVAUX ET ACTIVITÉS RÉALISÉS PAR LA CHAIRE .....</b>	<b>15</b>

## 1. Description des objectifs généraux du programme de recherche de la chaire

La Chaire de recherche INQ sur le potentiel géothermique du Nord, ci-après nommée la Chaire, a débuté ses travaux en juillet 2016. Le présent rapport décrit les activités réalisées durant la quatrième année du mandat de la Chaire, soit officiellement d'octobre 2019 à septembre 2020. Un délai est toutefois survenu afin de confirmer le financement de la chaire pour la 4<sup>e</sup> année. Le dernier rapport couvrant la troisième année d'opération de la chaire ayant décrit les activités jusqu'en juin 2019, les réalisations encourues durant les étés 2019 et 2020 ont été incluses dans ce rapport.

L'objectif scientifique de cette chaire est d'améliorer la compréhension des processus de transfert de chaleur qui définissent l'étendue, la pérennité et la faisabilité d'exploitation des ressources géothermiques du nord du Québec. La Chaire a aussi un objectif de sensibilisation des communautés et des entreprises nordiques afin d'améliorer les connaissances liées au développement de projets en géothermie et en efficacité énergétique du Québec nordique.

Le but du programme de recherche demeure le même que celui formulé en 2016. Plus de détails quant aux sous-objectifs du programme de la Chaire sont disponibles dans le rapport d'activités de l'année 1.

## 2. Description des progrès réalisés à l'égard de ces objectifs durant la période couverte par le présent rapport

La quatrième année d'activité de la Chaire a permis de maintenir les activités d'une équipe en sciences de la Terre, génie mécanique, science politique et en droit qui travaille à évaluer les besoins en chaleur des entreprises et des communautés du Nord, ainsi qu'à proposer des alternatives basées sur les ressources et les technologies géothermiques. Le réseau de collaboration maintenant bien établi a été consolidé durant cette période pour avancer les projets dans un contexte interdisciplinaire ralliant des chercheurs en sciences naturelles et génie avec des chercheurs en sciences sociales. Le territoire d'action de la Chaire s'est élargi avec des travaux au Nunavik dans les communautés de Kuujjuaq et Whapmagoostui-Kuujjuarapik (WK), mais aussi à Yellowknife aux Territoires du Nord-Ouest et au Yukon à Takhini Hot Springs près de Whitehorse. Le confinement dû à la pandémie de COVID-19 a été une dure épreuve pour la Chaire dont les travaux dépendent de déplacements sur le terrain qui ont tous dû être reportés, à l'exception d'un déplacement effectué à Kuujjuaq par un seul membre du groupe de recherche. L'ensemble des projets se sont malgré tout poursuivis

avec l'aide de résidents des communautés locales qui ont assuré un minimum de travaux de terrain en collaboration et constante communication avec l'équipe de la Chaire, bien que la quantité de travail initialement envisagée n'ait pas pu être réalisée.

Les travaux qui étaient prévus pour évaluer le potentiel géothermique du secteur de Kuujjuaq ont été approfondis, notamment par le développement de modèles numériques pour évaluer les ressources géothermiques profondes. En effet, M. Miranda, qui poursuit des études doctorales depuis le début des activités de la Chaire, a démontré à l'aide de simulations de la température du sous-sol et d'une analyse probabilistique que les ressources géothermiques contenues dans le sous-sol à 4 km de profondeur peuvent, avec une certitude de 94 %, combler l'ensemble des besoins de chaleur de la communauté (Miranda et al., 2020; Annexe 1). Il serait envisageable à long terme de développer un réservoir géothermique profond pour extraire de l'eau chaude et approvisionner l'ensemble des bâtiments de Kuujjuaq, bien que les coûts d'installation de tels systèmes demeurent importants (plusieurs millions de dollars). À court terme, les travaux réalisés antérieurement par la Chaire ont démontré que les technologies des pompes à chaleur géothermique et du stockage thermique souterrain pourraient être utilisées pour combler environ 50 % des besoins de chauffage des bâtiments avec des coûts d'installation plus modestes. La communauté nordique de Kuujjuaq a d'ailleurs procédé à l'aménagement d'un premier système de pompe à chaleur géothermique avec échangeurs de chaleur horizontaux dans des tranchées pour chauffer la piscine communautaire (Figure 1; Annexe 2). Il s'agit d'un projet de l'organisme Kuujjuamiut qui gère le centre sportif et la piscine du village. Le projet a été réalisé en collaboration avec Nunatech-Englobe, Induktion Géothermie et l'INRS. Tout au long de l'installation du système, le stagiaire postdoctoral N. Giordano a offert une assistance technique. Le système a été installé en septembre et octobre 2020 à la fin de la saison de baignade et sera démarré au printemps prochain pour remplacer les brûleurs au diesel anciennement utilisés. La Chaire espère obtenir des données d'opération du système l'an prochain qui serviront à valider les économies de ce projet de démonstration. Tous ces travaux réalisés à Kuujjuaq visent les premier et deuxième sous-objectifs de la chaire concernant la valorisation des milieux géologiques propices au développement des ressources géothermiques et l'amélioration des méthodes de conception et d'opération des systèmes géothermiques nordiques.

La portée des travaux d'évaluation du potentiel géothermique des mines actives et abandonnées au nord du 49<sup>e</sup> parallèle s'est élargi avec un nouveau projet de

maîtrise effectué par D. D. Ngoyo pour déterminer le potentiel géothermique de la mine Con à Yellowknife, aux Territoires du Nord-Ouest (Annexe 3). Un modèle reposant sur des solutions analytiques a d'abord été développé pour évaluer de façon sommaire le potentiel de chauffer des bâtiments avec l'eau qui inonde la mine. La puissance de chauffage qui pourrait être produite de cette vaste mine est de l'ordre de 2.7 MW. Ne pouvant se rendre sur place pour échantillonner le roc afin d'en analyser les propriétés thermiques, la Commission géologique des Territoires du Nord-Ouest (NTGS) nous a aidé en récoltant les échantillons. Les analyses de laboratoire sont en cours et un modèle numérique détaillé sera développé pour évaluer le potentiel géothermique de la mine. Le but du projet est de comparer l'évaluation de ressources effectuée avec les méthodes analytiques et numériques afin de développer de nouvelles approches pour l'estimation des ressources géothermiques issues de sites miniers. Les modèles numériques sont généralement plus complexes, mais offrent une estimation détaillée alors que les méthodes analytiques, qui seront validées avec ce projet, offrent une approche rapide et simplifiée qui pourrait être couramment utilisée par l'industrie. Ce projet est réalisé en collaboration avec le NTGS qui finance en partie la bourse de l'étudiant à la maîtrise, ainsi que la Commission géologique du Canada et le bureau de Québec de l'entreprise CIMA+, active dans cette région. Les sous-objectifs de la Chaire concernant la valorisation des ressources et l'amélioration des méthodes de conception sont ciblés par ces projets spécifiquement réalisés dans l'environnement minier.



**Figure 1.** Aménagement d'échangeurs de chaleur géothermique pour la piscine communautaire de Kuujuaq.

Les travaux réalisés avec la Commission géologique du Yukon (YGS) pour l'évaluation de l'origine des sources thermales Takhini se sont terminés par le développement d'un modèle conceptuel expliquant le contexte géologique associé aux ressources géothermiques (Langevin et al. 2020; Annexe 4). Il s'agissait ici de travaux exploratoires réalisés par un

stagiaire de baccalauréat, financés par le YGS et qui ont permis le développement d'une nouvelle collaboration. Le YGS prévoit réaliser de nouveaux forages en 2022. Une demande de subvention au programme CRSNG Alliance a été soumise avec le YGS pour les accompagner dans ces travaux d'exploration des ressources géothermiques. L'idée est toujours de diminuer la consommation de diesel dans les communautés autochtones éloignées. Le secteur avoisinant le Lù'an Män (lac Kluane) près de la communauté de Burwash Landing sera priorisée pour les prochains travaux.

Des travaux ont eu lieu aux laboratoires de l'INRS pour continuer à développer les méthodes d'évaluation *in situ* des propriétés thermiques du sous-sol et les adapter au contexte nordique. L'idée est de développer un équipement compact qui peut être utilisé avec une source de basse puissance pour évaluer la conductivité thermique du sous-sol. Les résultats sont ensuite utilisés pour dimensionner les échangeurs de chaleur géothermique et mieux concevoir les systèmes de pompe à chaleur. Ces travaux sont possibles grâce à un financement du CRSNG et le programme De l'idée à l'innovation. En plus des essais réalisés aux laboratoires de l'INRS, un test a été effectué à Kuujuaq lors de l'aménagement du système géothermique pour la piscine communautaire (Annexe 2). Le développement de cette technologie s'est poursuivi avec un nouveau test de réponse thermique dont l'injection de chaleur est cette fois-ci oscillatoire. Le but est de mesurer à la fois la conductivité et la capacité thermique du sous-sol, ce dernier paramètre étant essentiel pour la conception des systèmes de stockage thermique souterrain. C'est le stagiaire postdoctoral N. Giordano qui a pris la relève de ce projet et effectue la recherche en ce sens. Nous espérons utiliser ce nouveau concept dans le Nord pour des essais de démonstration futurs. Ces travaux sont en lien avec le sous-objectif de la Chaire qui vise à développer des technologies pour faciliter l'exploitation des ressources géothermiques dans le Nord.

À cela s'ajoutent de récents projets pour évaluer le potentiel des pompes à chaleur géothermique et du stockage thermique souterrain pour les communautés de WK et d'Umiujaq. N'ayant pas pu se déplacer sur le terrain pour ces projets, des échantillons de roc ont été recueillis à WK par le gérant de la station de recherche du Centre d'études nordiques (CEN). Celui-ci a aussi aidé pour la mise en place d'instruments utilisés pour mesurer la consommation énergétique des bâtiments. Des analyses de laboratoire sont en cours afin de déterminer les propriétés thermiques du sous-sol et de compléter des modèles numériques qui permettront de simuler l'opération des systèmes, couplant de façon innovante l'extraction de chaleur au niveau du sous-sol

et la distribution de chaleur dans le bâtiment. Le but est de démontrer, dans plus d'un environnement subarctique, qu'un sous-sol avec une température près du point de congélation n'est pas une limite au déploiement des systèmes de stockage thermique souterrain. Les travaux effectués à Umiujaq sont une analyse du cycle de vie des alternatives en chauffage pour les bâtiments du Nord, soit le chauffage à la biomasse, avec les technologies solaires ou encore géothermiques. Il s'agit d'initiatives interdisciplinaires pour lesquelles les barrières légales au développement des énergies renouvelables dans le Nord seront évaluées pour ensuite proposer de nouvelles politiques qui favoriseront l'émergence des énergies renouvelables au Nunavik. Ces projets sont supportés par le Fonds Nouvelles frontières en recherche (FNFR) dans le volet exploration et une subvention au programme INQ-Sentinelles Nord.

En parallèle à cette dernière initiative, des travaux ont été entamés sur le stockage souterrain d'air comprimé avec la collaboration du Centre collégial de transfert technologique (CCTT) Nergica. L'idée est de stocker l'énergie excédentaire produite par des éoliennes sous forme d'air comprimé afin de la turbiner lorsque la force des vents diminue pour arrimer la production d'énergie avec la demande. Des trous de forage sont ici proposés comme milieu de stockage dans le but d'augmenter l'emmagasinement d'énergie avec la création de cavités souterraines. Un tel stockage pourrait être utilisé à grande échelle et déployé en climat arctique et subarctique, à l'opposé des batteries dont la performance diminue au froid. Des travaux de caractérisation géologique au site expérimental de Nergica en Gaspésie ont eu lieu pour évaluer la faisabilité technique de la technologie intimement liée aux pertes d'air comprimé dans la roche du sous-sol. Bien que ces travaux ne visent pas les technologies géothermiques, ils contribuent au développement de solutions de stockage énergétique nécessaires au déploiement des technologies d'énergies renouvelables dans le Nord. C'est un stagiaire de baccalauréat (A. Bachand) qui réalise ce projet de petite envergure qui pourrait déboucher vers d'autres initiatives du genre.

Finalement, la chaire continue de participer aux travaux du groupe MiraNor, financé par le Fonds pour dommages à l'environnement, qui s'attarde à l'habitat du poisson affecté par l'industrie minière en milieu nordique. Le projet émerge d'un programme de recherche multidisciplinaire dans lequel un étudiant au doctorat (M. Fakhari) utilise le traçage thermique pour quantifier les flux d'eau souterraine qui affecte la température et la qualité de l'eau des rivières nordiques. Ce dernier projet de recherche ne touche pas directement les objectifs de la Chaire puisqu'il ne concerne pas le secteur énergétique, mais est en

revanche complémentaire. En effet, il se déroule sur le territoire nordique (communauté de Tasiusaq) et s'avère être d'intérêt pour le titulaire de la Chaire puisqu'il vise l'étude des transferts de chaleur en milieu naturel.

### 3. Équipe de recherche

Le titulaire de la Chaire est Jasmin Raymond, professeur à l'INRS au Centre Eau Terre Environnement. Les professeurs suivants ont participé lors des activités de la quatrième année de la Chaire :

- Erwan Gloaguen (INRS – Géophysique)
- Bernard Giroux (INRS – Géophysique)
- René Therrien (Université Laval – Hydrogéologie)
- Richard Martel (INRS – Hydrogéologie)
- Geneviève Bordeleau (Hydrogéochimie)
- Louis Lamarche (ÉTS – Génie mécanique)
- Didier Haillot (ÉTS – Génie mécanique)
- Louis Gosselin (Université Laval – Génie mécanique)
- Thierry Rodon (Université Laval – Science politique)
- Christophe Krolik (Université Laval – Droit)

Les trois derniers apportent l'expertise nécessaire pour les projets interdisciplinaires incluant le génie mécanique, la science politique et le droit. Il s'agit d'un mode de collaboration qui prend de l'ampleur au sein de la Chaire. Ces collaborations sont importantes et confirment l'engagement de l'INQ envers la recherche intersectorielle.

### 4. Recrutement et formation (étudiants de 1<sup>er</sup>, 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> cycles, postdoctorants, professionnels de recherche, techniciens, etc.)

Deux professionnels de recherche, deux stagiaires de baccalauréat, onze étudiants à la maîtrise, deux étudiants au doctorat et deux stagiaires postdoctoraux travaillent ou ont travaillé sur les projets en lien avec la Chaire. Cette liste a été mise à jour en fonction des projets en cours et des projets terminés.

#### Projets en cours

- Félix-Antoine Comeau, professionnel de recherche INRS, franchir les obstacles pour le développement énergétique du Nord grâce au stockage thermique souterrain

- Antoine Bachand, stagiaire de recherche INRS, Stockage énergétique d'air comprimé en forage
- Hubert Langevin, étudiant à la maîtrise INRS, Systèmes de pompe à chaleur géothermique et de stockage thermique souterrain à Whapmagoostui-Kuujuarapik : aspects souterrains
- Florian Michel Roland Maranghi, étudiant à la maîtrise U. Laval, Système de stockage de chaleur saisonnier pour le Nunavik : aspects énergétiques
- Mafalda Miranda, étudiante au doctorat INRS, Ressources géothermiques profondes et systèmes géothermiques ouvragés au Nunavik
- Milad Fakhari, étudiant au doctorat INRS, Contribution des eaux souterraines à la température et la qualité de l'eau des rivières nordiques
- Nicolò Giordano, stagiaire postdoctoral INRS, Tests de réponse thermique oscillatoire
- Violaine Gascuel, étudiante à la maîtrise École nationale supérieure en environnement, géoressources et ingénierie du développement durable (Bordeaux, France), Potentiel géothermique de l'île d'Anticosti
- Maria Isabel Velez Vasquez, étudiante à la maîtrise INRS, Tests de réponse thermique pour les milieux éloignés
- Andrea Morgan, étudiante à la maîtrise Háskólinn í Reykjavík (Islande), Production de chaleur à partir de l'eau inondant les mines fermées de la Jamésie
- Edgardo Alvarado, étudiant à la maîtrise INRS, Production de chaleur à partir des eaux d'exhaures à la mine Éléonore
- Malin Malmberg, étudiante à la maîtrise Kungliga Tekniska högskolan (KTH; Suède), Cartographie de la conductivité thermique à Stockholm
- Nicolò Giordano, stagiaire postdoctoral INRS, Potentiel du stockage thermique souterrain à Kuujuaq
- Patrick Belzile, stagiaire postdoctoral ÉTS, Inventaire des technologies géothermiques disponible pour le Nord

#### Projets terminés

- Félix-Antoine Comeau, professionnel de recherche INRS, Potentiel géothermique des mines du Plan Nord
- Karine Bédard, professionnelle de recherche INRS, Ressources géothermiques profondes des bassins sédimentaires du Québec (Île d'Anticosti)
- Hubert Langevin, stagiaire de baccalauréat, Potentiel géothermique des Îles-de-la-Madeleine et Origine des sources thermales de Takhini, Yukon
- Evelyn Gunawan, étudiante à la maîtrise Háskólinn í Reykjavík (Islande), Cartographie du potentiel des pompes à chaleur géothermique à Kuujuaq avec la méthode G.POT
- Inès Kanzari, étudiante à la maîtrise INRS, Potentiel des pompes à chaleur géothermique à Kuujuaq
- Luca Riggi, étudiant à la maîtrise Politecnico di Torino (Italie), Opération des échangeurs de chaleur dans un contexte de pergélisol
- Matteo Covelli, étudiant à la maîtrise Università di Torino (Italie), Simulations de systèmes géothermiques dans l'environnement minier

Le professionnel de recherche F.-A. Comeau et le stagiaire postdoctoral N. Giordano continuent à travailler sur des projets en lien avec le Nord et les objectifs de la Chaire afin d'assurer un transfert de connaissance vers les nouveaux étudiants. Ils ont offert une aide importante pour la coordination des activités de la Chaire. Les étudiants qui ont terminé leurs projets ont acquis des notions de pointe quant aux problématiques énergétiques des régions nordiques isolées. Quelques étudiants ont maintenant intégré le marché du travail et sont principalement actifs auprès de firmes d'ingénierie, comme par exemple Englobe et Arrakis ou encore Arup à l'international. La plupart travaillent en lien avec les secteurs des ressources naturelles, de l'énergie et de l'environnement.

#### 5. Collaboration avec les partenaires (industriels, institutionnels et autres)

La Chaire collabore activement avec les communautés nordiques, les entreprises en opération sur le territoire du Plan Nord et dans le Nord canadien, ainsi que les institutions de recherche du pays et à l'étranger qui sont intéressés par le Nord. Les collaborations avec les organismes suivants ont particulièrement été importantes lors de la dernière année. L'ensemble des collaborations établies depuis le début des activités de la Chaire peut être évalué en consultant les rapports de

projet des dernières années.

#### **Organismes du milieu**

- Corporation foncière Nayumivik
- Société Kuujjumiut
- Cree Nation Government
- Whapmagoostui First Nation
- NV Kuujjuarapik

#### **Entreprises**

- Nunatech-Englobe
- Induktion Géothermie
- CIMA+

#### **Organismes gouvernementaux et institutions de recherche**

##### **Au pays**

- Centre d'études nordiques (CEN)
- Centre TERRE, Cégep de Jonquière (CCTT)
- Nergica, Cégep de la Gaspésie et des Îles (CCTT)
- Transition Énergétique Québec, Gouvernement du Québec
- Commission géologique du Yukon, Gouvernement du Yukon
- Commission géologique des Territoires du Nord-Ouest, Gouvernement des Territoires du Nord-Ouest

##### **À l'étranger**

- BRGM (France)
- Université de Rennes 1 (France)
- *Politecnico di Torino* (Italie)
- *Università di Torino* (Italie)
- *Háskólinn í Reykjavík* (Islande)
- *Kungliga Tekniska högskolan* (Suède)
- *Universidad de Medellín* (Colombie)

Les collaborations avec les centres collégiaux de transfert technologique Nergica et Centre TERRE sont nouvelles et ont apporté d'intéressants développements pour la recherche appliquée. Le Centre TERRE s'est impliqué pour tenter de coupler les technologies solaires et géothermiques pour les bâtiments du Nord alors que les travaux réalisés avec Nergica visent le stockage souterrain d'air comprimé.

Les travaux de la Chaire ont atteint un point tournant avec l'accompagnement des communautés vers des projets de démonstration, notamment celui de la piscine communautaire de Kuujjuaq. Ce projet est une initiative de la Société Kuujjumiut supportée par la Corporation foncière Nayumivik. Jason Aitchison, résident de Kuujjuaq et directeur général de la société Kuujjumiut, s'est qualifié pour le programme Catalyst 20/20

(<https://indigenoucleanenergy.com/2020-catalysts-program/about-the-program/>). Il s'agit d'un programme qui vise à aider les communautés autochtones à développer des projets d'énergie renouvelable. Dans chaque communauté participante, un leader a été retenu et formé pour mettre en place un plan de diminution de la consommation de diesel et développer des systèmes d'énergie renouvelable. Pour Kuujjuaq, c'est J. Aitchison qui jouera ce rôle en misant à court terme sur le développement d'un système de pompe à chaleur géothermique pour chauffer l'eau de la piscine communautaire. Ce projet de petite envergure basé sur l'installation d'échangeurs de chaleur dans des tranchées horizontales est la première étape vers un projet de plus grande envergure. En effet, Kuujjumiut aimerait installer des panneaux solaires sur le toit de l'aréna de Kuujjuaq qui abrite le Forum de la communauté. Un système de pompe à chaleur géothermique pour chauffer ce bâtiment et refroidir la glace de l'aréna est aussi envisagé. Ce dernier système géothermique aurait besoin d'échangeurs de chaleur verticaux aménagés dans des forages et serait de grande envergure. La Chaire entend continuer d'appuyer Kuujjumiut dans ce projet de démonstration dont les retombées sont jusqu'à maintenant importantes. Non seulement le projet permettra de réduire la dépendance au diesel et les émissions de gaz à effet de serre, mais il contribuera à développer une expertise locale pour l'installation des systèmes géothermiques en climat subarctique. En effet, les travaux d'ingénierie et d'excavation réalisés pour ce projet ont été effectués par Nunatech-Englobe avec Induktion Géothermie. Nunatech possède de la machinerie, dont une pelle mécanique opérée par de la main-d'œuvre locale, qui a été utilisée pour l'installation du système. La coordination des travaux de construction a aussi été effectuée par des acteurs locaux.

La Chaire entend s'impliquer dans d'autres projets de démonstration ou d'exploration des ressources géothermiques avec ces partenaires. Parmi ces projets, il y a le CEN qui désire construire une nouvelle station de recherche à Umiujaq, laquelle sera chauffée à partir de sources renouvelables. Un système hybride combinant la biomasse, l'énergie solaire et l'énergie géothermique pourrait être utilisé. La Chaire accompagne les dirigeants du CEN dans ce projet afin que la station devienne un outil de recherche. Des travaux sont aussi envisagés pour la station de recherche du CEN à WK. L'idée serait d'y aménager un système de stockage thermique souterrain, mais ces travaux ont peu avancé en raison des restrictions de déplacement liées à la pandémie de COVID-19. La Chaire entend patienter pour que les conditions soient plus favorables pour étendre cette dernière collaboration.

À l'international, le titulaire de la Chaire, J. Raymond,

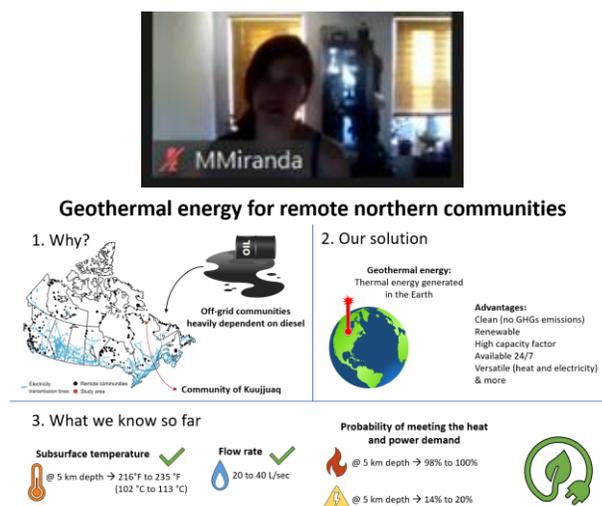
a travaillé de concert avec les coleaders du groupe de travail 636 du Programme international des géosciences (IGCP) de l'UNESCO pour renouveler le financement offert pour cet effort de collaboration. La proposition soumise avec D. Blessent de l'*Universidad de Medellín* (Colombie) a été retenue. Ce groupe compte maintenant la participation de plus de 22 institutions de recherche réparties sur cinq continents. Les institutions des Amériques (Sud et Nord) et de l'Europe sont particulièrement actives dans ce groupe de travail qui compte aussi des représentants de l'Asie, de l'Océanie et l'Afrique. Le groupe vise à aider les pays émergents dans le développement de leurs ressources géothermiques. Plusieurs de ces pays utilisent abondamment les combustibles fossiles et ont des communautés rurales faisant face à des problématiques semblables aux communautés du nord du Canada. Ce groupe de travail financé pour les prochains cinq ans aidera à maintenir des collaborations nord-sud en plus d'offrir des opportunités d'échanges pour les étudiants.

## 6. Décrire la valeur ajoutée pour l'INQ

De par ses activités locales, comme l'accompagnement des communautés vers des projets de démonstration, tout comme internationales, tels que les séminaires virtuels du groupe IGCP 636 de l'UNESCO, la Chaire entreprend des actions structurantes qui font de l'INQ un acteur important de la recherche et du développement nordique. Le financement offert par l'INQ a permis de former une masse critique d'experts qui ont réalisé ou terminent des projets indiquant qu'il serait plus économiquement rentable et moins dommageable pour l'environnement de chauffer les bâtiments du Nord au moyen de l'énergie géothermique plutôt que le diesel. Les recherches arrivent à un point tournant avec des projets d'aménagement de systèmes réels pour démontrer à petite échelle que l'énergie géothermique, une forme d'énergie renouvelable qui sera utilisée pour la première fois en climat subarctique au printemps prochain, pourrait être exploitée à plus grande échelle au bénéfice des communautés nordiques. La prochaine étape de la recherche demandera des efforts majeurs pour étendre les projets de démonstration vers plus de communautés ou encore augmenter la taille des systèmes pour démontrer la viabilité à grande échelle. En près de quatre ans seulement, les travaux de la Chaire ont permis des percées scientifiques majeures, passant de la preuve de concept mathématique à l'installation d'un système géothermique réel, ce qui n'est pas facile de réaliser dans un contexte nordique. Des résultats encore plus importants sont attendus avec l'opération du système géothermique pour la piscine communautaire de Kuujuaq et la collecte de données réelles. Il sera important de maintenir le support de l'INQ à cette étape

pour que les données acquises soient rendues publiques et bénéficient de façon équitable à toutes les communautés nordiques.

Les travaux réalisés par la Chaire ont récemment été primés, offrant une visibilité importante à l'INQ. En effet, l'article de N. Giordano et J. Raymond paru en 2019 dans la sélective revue *Applied Energy* a été mentionné par le magazine Québec Science parmi les 10 découvertes scientifiques de l'année (Annexe 5). En effet, les travaux indiquent, contrairement à la croyance populaire, qu'un sous-sol près du point de congélation n'est pas une limite au stockage thermique souterrain jugé essentiel au déploiement à grande échelle des énergies renouvelables dans le Nord. Cette percée scientifique aura valu un prix Planète INRS décerné au titulaire de la Chaire pour la qualité de ses recherches nordiques. J. Raymond a aussi été mentionné comme finaliste pour le très compétitif prix Relève Scientifique 2020. Il s'agit de la plus haute distinction offerte par le Ministère de l'Économie et l'Innovation à un jeune chercheur, tous domaines confondus. Les étudiants de la Chaire se sont tout aussi brillamment illustrés. H. Langevin a obtenu une bourse du CRSNG pour ses travaux de maîtrise ainsi qu'un supplément pour stage à l'étranger et une autre bourse du Programme de formation scientifique dans le Nord. M. Miranda a été retenu comme finaliste de l'INRS à la compétition Three Minute Thesis (3MT), lui valant un prix d'excellence du directeur des études supérieures et postdoctorales de l'INRS (Figure 2).



**Figure 2.** Présentation de M. Miranda au concours 3MT.

Depuis le début de ses activités, la visibilité de l'INQ a permis à la Chaire de bonifier son financement de recherche pour ainsi retourner davantage de retombées vers l'INQ elle-même. Les principales autres sources de financements en lien avec la programmation

scientifique de la Chaire sont énumérées ci-dessous.

- FRQNT – Développement durable du secteur minier (300 000 \$/2016-2019) Potentiel de chauffage géothermique des mines situées au-delà du 49<sup>e</sup> parallèle
- CRSNG – Programme de subventions à la découverte (168 000 \$/2015-2021) Étude des mécanismes de transfert thermique dans les environnements à potentiel géothermique
- FCI – Fonds des leaders (400 000 \$ en équipement) Mise sur pied du Laboratoire ouvert de géothermie.
- FRQNT – Développement des nouveaux chercheurs (40 000 \$/2018-2019 + 50 000 \$ en équipement) Potentiel géothermique des réservoirs de socle fracturés
- FRQNT – Projet de recherche en équipe (162 000 \$/2017-2020) Évaluation des ressources géothermiques profondes des bassins sédimentaires
- CRSNG – Subvention d'engagement partenarial (25 000 \$/2019) Cartographie du potentiel de stockage thermique souterrain et des pompes à chaleur géothermique à WK
- CRSNG – De l'idée à l'innovation (125 000\$/2019-2020) Construction d'un prototype pour la réalisation de tests de réponse thermique oscillatoire
- Fonds Nouvelles frontières en recherche – volet exploration (200 000\$/2019-2021) Franchir les obstacles pour un développement énergétique durable de l'Arctique grâce au stockage thermique souterrain
- Premier appel à projets INQ – Sentinelle Nord (299 000\$/2020-2023) Solutions technico-sociales pour étendre, de Whapmagoostui-Kuujuarapik, l'utilisation des énergies renouvelables vers d'autres régions du Nunavik, Subvention
- FRQ – Dialogue (40 000\$/2020-2021) Du multimédia pour faire découvrir la recherche nordique

## 7. Diffusion des résultats et transfert des connaissances ou de la technologie

Le titulaire de la Chaire et ses partenaires ont été actifs au niveau du transfert des connaissances pour la période 2020 avec :

- 11 articles scientifiques
- 1 chapitre de livre
- 6 actes de conférence
- 16 présentations malgré la pandémie de

COVID-19

- 1 article dans une revue professionnelle

La plus importante contribution scientifique de la Chaire pour l'année 2020 est la publication des travaux de M. Miranda sur les ressources géothermiques profondes dans les revues *Geothermal Energy* et *Énergies*. M. Miranda a soumis un article additionnel pour la revue *Geothermics* qui est en révision. Elle compte soumettre deux à trois articles de plus d'ici la soutenance de son doctorat prévu au printemps 2021. Parmi les travaux importants, la Chaire tient à souligner le chapitre de livre préparé par H. Langevin dans *Yukon Exploration and Geology*, rédigé avec la collaboration du YGS et décrivant l'origine des sources thermales de Takhini Hot Springs. En parallèle aux publications scientifiques, un article a été préparé par B. Bigué, A. Bernatchez et J. Raymond pour la revue professionnelle *Géotechnique Canadienne* afin de mieux faire connaître l'INQ et ses réalisations. L'équipe de la Chaire a aussi contribué à 6 actes de conférences pour le World Geothermal Congress qui devait avoir lieu en Islande en Avril 2020. Il s'agit de la plus importante conférence en géothermie tenue une fois tous les 5 ans. Cette conférence a été reportée en mai 2021 à cause de la pandémie de COVID-19, mais les articles préparés ont été listés ci-dessus puisqu'ils sont maintenant acceptés. L'équipe de la Chaire est restée active avec de nombreuses présentations scientifiques, dernièrement en mode virtuel. Le titulaire de la Chaire a notamment animé une session sur les défis du déploiement des technologies vertes en milieux nordiques lors des Journées nordiques de l'INQ. La Chaire a participé de façon virtuelle au *NWT and Nunavut Geoscience Symposium* avec un présentation de D.D. Ngoyo et au congrès annuel du *Geothermal Resource Council* avec une présentation de F.-A. Comeau. Toutes ces publications et conférences contribuent à mettre en lumière les activités de recherche de l'INQ. Une liste des articles publiés et des conférences effectuées en 2020 est fournie ci-dessous. Le personnel hautement qualifié en formation et ayant contribué aux articles est souligné dans les références.

La Chaire aura finalement suscité un intérêt médiatique avec différentes entrevues, dont une de N. Giordano a l'émission de radio *Futur simple* (CKRL 23 janvier) pour faire suite à la mention de Québec Science pour les dix découvertes scientifiques de l'année. J. Raymond aura aussi fait une entrevue pour l'émission de radio *Bon pied, bonne heure!* (Radio-Canada Gaspé, 9 juillet) sur les travaux réalisés en Gaspésie avec Nergica concernant le stockage souterrain d'air comprimé. Au total, c'est une dizaine de reportages médiatiques qui ont été effectués sur les travaux de l'équipe du titulaire de la Chaire dans des médias

variés comme les journaux Le Quotidien et Unpointinq, tout comme les émissions de radio dont Première Heure à Québec.

### Articles scientifiques

Bédard, K., Comeau, F.-A., Raymond, J., Gloaguen, E., Malo, M., et Richard, M.-A., 2020. Deep geothermal resource assessment of the St. Lawrence Lowlands sedimentary basin (Québec) based on 3D regional geological modelling. *Geomechanics and Geophysics for Geo-Energy and Geo-Resources* 6, 46.

Comeau, F.-A., Giordano, N., et Raymond, J., 2020. Using a near-freezing subsurface to heat one of Canada's remote and northern communities. *GRC Transactions* 44.

Gascuel, V., Bédard, K., Comeau, F.-A., Raymond, J., et Malo, M., 2020. Geothermal resource assessment of remote sedimentary basins with sparse data; lessons learned from Anticosti Island, Canada. *Geothermal Energy* 8, 3.

Gunawana, E., Giordano, N., Jensson, P., Newson, J., et Raymond, J., 2020. Alternative heating systems for northern remote communities: Techno-economic analysis of ground-coupled heat pumps in Kuujuaq, Nunavik, Canada. *Renewable Energy* 147(1): 1540-1553. **\*Facteur d'impact de la revue 6.3**

Hickson, C. J., Raymond, J., Dusseault, M., Fraser, T., Huang, K., Marcia, K., Miranda, M.M., Poux, B., Fiess, K., Ferguson, G., Dale, J., Banks, J., Unsworth, M., Brunskill, B., Grasby, S., et Witter, J., 2020. Geothermal energy in Canada – Times are “a changing”. *GRC Transactions* 44.

Jaziri, N., Raymond, J., Giordano, N., et Molson, J., 2020. Long-Term Temperature Evaluation of a Ground-Coupled Heat Pump System Subject to Groundwater Flow. *Energies* 13, 96.

Miranda, M.M., Giordano, N., Raymond, J., Pereira, A.J.S.C., et Dezayes, C., 2020. Thermophysical properties of surficial rocks: a tool to characterize geothermal resources of remote northern regions. *Geotherm Energy* 8, 4.

Miranda, M.M., Raymond, J., et Dezayes, C., 2020. Uncertainty and risk evaluation of deep geothermal energy source for heat production and electricity generation in remote northern regions. *Energies* 13, 4221.

Rajaobelison, M., Raymond, J., Malo, M., et Dezayes, C., 2020. Classification of geothermal systems in Madagascar. *Geothermal Energy* 8, 22.

Vélez, M.-I., Raymond, J., Blessent, D., et Philippe, M., 2020. Terrestrial heat flow evaluation from thermal response tests combined with temperature profiling. *Physics and Chemistry of the Earth* 113: 22-30.

Zinsalo, J. M., Lamarche, L., et Raymond, J., 2020. Injection strategies in an enhanced geothermal system based on discrete fractures model. *Applied Thermal Engineering*, 169, 114812.

### Chapitre de livre

Langevin, H., Fraser, T., et Raymond, J., 2020. Assessment of thermo-hydraulic properties of rock samples near Takhini Hot Springs, Yukon. Dans: K.E. MacFarlane (Éditeur), *Yukon Exploration and Geology 2019, Yukon Geological Survey*, p. 57–73.

### Articles d'actes de conférences

Giordano, N., Piché, P., Gibout, S., Haillet, D., Arrabie, C., Lamalice, A., Rousse, D.R., Py, X., et Raymond, J., 2021. Coupled daily and seasonal heat storage for greenhouse food production in Nunavik (Canadian Arctic). *World Geothermal Congress, Reykjavik*.

Gunawan, E., Giordano, N., Jensson, P., Newson, J., et Raymond, J., 2021. Alternative heating systems for northern remote communities: Error analysis of shallow geothermal potential in Kuujuaq, Nunavik, Canada. *World Geothermal Congress, Reykjavik*.

Hickson, C.J., Noone, F., Raymond, J., Dusseault, M., Fraser, T., Huang, K., Marcia, K., Miranda, M., Poux, B., Fiess, K., Ebell, J., Ferguson, G., Dale, J., Groenewoud, J., Banks, J., Unsworth, M., Brunskill, B., Grasby, S., et Witter, J., 2021. Geothermal Energy in Canada – Kickstarting an Industry. *World Geothermal Congress, Reykjavik*.

Rajaobelison, M.M., Raymond, J., et Malo, M., 2021. Geothermal Potential of Ambilobe and Sambirano, North Madagascar. *World Geothermal Congress, Reykjavik*.

Raymond, J., Vélez Marquez, M.I., Blessent, D., Lamarche, L., Gosselin, L., Rouleau, J., Philippe, M., Therrien, R., et Malo, M., 2021. Ten years of thermal response tests with heating cables. *World Geothermal Congress, Reykjavik*.

Vélez Marquez, M.I., Taborda Ortiz, M.A., Miranda, M., Moreno, D., Raymond, J., Lopez-Sanchez, J., Blessent, D., et Daniele, L., 2021. Preliminary thermo-hydraulic characterization of rock samples from two geothermal areas: Charlevoix crater (Canada) and Nevado del Ruiz Volcano (Colombia). *World Geothermal Congress, Reykjavik*.

### Résumés et conférences

Abisser, C., Schincariol, R., Raymond, J., Garcia-Gil, A., Busby, J., Drysdale, R., Piatek, A., Giordano, N., Jaziri, N., et Molson, J., 2020. Observations

- from shallow geothermal modelling case studies in Canada and the UK. European Geophysical Union General Assembly, Vienna.
- Ballard, J.-M., Lee, C., Simon, N., de la Bernadie, J., Paradis, D., Raymond, J., Bour, O., et Lefebvre, R. 2020. Multi-scale integrated characterization of heterogeneous hydraulic and thermal properties of a deltaic aquifer. European Geophysical Union General Assembly, Vienna.
- Comeau, F.-A., Giordano, N., Haillot, D., et Raymond, J., 2020. Valorisation de l'énergie géothermique peu profonde pour remplacer le chauffage au diesel au Nunavik. Colloque annuel du Centre d'études Nordiques, Université du Québec à Montréal, Montréal.
- Gascuel, V., Raymond, J., et Rivard, C., 2020. Heat production from sedimentary basins: a modeling study of the Bécancour area in the St Lawrence Lowlands, Québec, Canada. Geological Society of America Annual Meeting, Montréal (Vrituel).
- Giordano, N., Gunawan, E., Comeau, F.-A., Miranda, M., Langevin, H., Covelli, M., Piché, P., Gibout, S., Haillot, D., Casasso, A., Chicco, J., Mandrone, G., Comina, C., Fortier, R., Raymond, J., 2020. Shallow geothermal technology as alternative to diesel heating of subarctic off-grid autochthonous communities in Northern Quebec (Canada). European Geophysical Union General Assembly, Vienna.
- Giordano N., et Raymond, J., 2020. La géothermie comme alternative pour les besoins énergétiques dans le Grand Nord : eau potable, légumes locales, chauffage des bâtiments. 4<sup>e</sup> journée de la science de l'Institut nordique du Québec, Québec.
- Pedchenko O., Raymond J., Rivard C., Comeau F.-A., 2020. Finding the Cool for Summertime: Model development for Aquifroid project. GNES Geothermal Heat Modelling Workshop, Geological Survey of Canada (Vrituel).
- Lee, C., Bour, O., Ballard, J.-M., Simon, N., de la Bernardie, J., Paradis, D., Raymond, J., Lefebvre, R., 2020. Characterization of heterogeneous properties and groundwater fluxes in a granular aquifer using active fiber optic DTS. Geological Society of America Annual Meeting, Montréal (Vrituel).
- Lee, C., Ballard, J.-M., Paradis, D., Simon, N., de la Bernadie, J., Raymond, J., Bour, O., et Lefebvre, R. 2020. Inferring high-resolution aquifer hydraulic conductivity and groundwater fluxes by active heat tracer using direct push fiber optics. European Geophysical Union General Assembly, Vienna.
- Ngoyo D.D., Raymond J., Grasby S., Fiess K., Comeau F.-A., 2020. Geothermal Potential of Closed Underground Mines: Analytical Study of the Con Mine, Northwest Territories. GNES Geothermal Heat Modelling Workshop, Geological Survey of Canada (Vrituel).
- Ngoyo D.D., Raymond J., Grasby S., Fiess K., Comeau F.-A., 2020. Geothermal Potential of Closed Underground Mines: Con Mine Study (Northwest Territories, Canada). NWT and Nunavut Geoscience Symposium, Virtuel.
- Miranda, M.M., Giordano, N., Gunawan, E., Raymond, J., et Dezayes, C., 2020. Can geothermal resources change the energetic framework of the Canadian remote communities? A case study in Kuujjuaq. Geothermal Technology in Canada: Future Pathways, University of Waterloo, Waterloo.
- Miranda, M.M., Giordano, N., Gunawan, E., Raymond, J., et Dezayes, C., 2020. Les ressources géothermiques peuvent-elles changer le contexte énergétique des communautés éloignées du Canada ? Une étude de cas à Kuujjuaq. Salon des technologies environnementales du Québec, Québec.
- Raymond, J., Ballard, J.-M., Koubikana Pambou, C.H., Kwemo, P., et Lavoie, J.-F., 2020. Improving ground heat exchangers for geothermal heat pump systems with a groundwater-filled borehole. Aprende Geotermia Workshop, Asociación Geotérmica Colombiana, Medellín (Vrituel).
- \*Conférencier invité**
- Raymond, J., Dezayes, C., Alvarado, E., Gunawan, E., Comeau, F.-A., Kanzari, I., Miranda, M. M., et Giordano, N., 2020. Potentiel de Chauffage des mines et des communautés nordiques éloignées avec l'énergie géothermique. Journée de l'INQ à Université du Québec à Trois-Rivières, Trois-Rivières.
- Article de revue professionnelle**
- Bigué, B., Bernatchez, A., et Raymond, J., 2020. L'Institut nordique du Québec - Le Nord : défis et innovation/ The Institut nordique du Québec - The North: challenges and Innovation. Géotechnique Canadienne/Canadian Geotechnique, 1(2);44-46.

## 8. Renseignements financiers

Le sommaire des dépenses encourues par la Chaire et financées par l'INQ pour toutes les années de travaux est présenté au Tableau 1. Les dépenses ont été comptabilisées jusqu'au mois de novembre 2020. Lors de la dernière année, le principal poste budgétaire est les salaires du personnel qualifié et les bourses versées aux étudiants, soit environ 39 k\$. Des frais de voyage de 2 106\$ ont permis la réalisation de travaux au site expérimental de Nergica en Gaspésie. Un total de 2 020\$ a été dépensé en fournitures et matériel pour des licences informatiques et des frais de publication dans des revues en accès libres. Une partie du coût d'un

appareil, soit 5000\$, utilisé pour mesurer la concentration du radon dans les eaux de surface pour le projet de M. Fakhari, a été assumée par le budget de Chaire. En effet, la Chaire avait prévu à l'été 2020 des travaux de forage à WK qui n'ont pas pu avoir lieu à cause de la pandémie de COVID-19. Le budget libéré par les travaux de forage annulés a donc été utilisé pour bonifier la recherche réalisée par un étudiant au doctorat membre de la Chaire avec l'achat d'un instrument scientifique. Au niveau des autres dépenses (1057\$), il y a un contrat de révision linguistique qui a été octroyé à une firme de traduction pour aider une étudiante dans la rédaction d'un article scientifique en anglais.

**Tableau 1. Sommaire des dépenses de la Chaire, mises à jour en novembre 2020**

Item	janvier 2016 à juin 2016	juillet 2016 à juin 2017	juillet 2017 à juin 2018	juillet 2018 à juin 2019	juillet 2019 à novembre 2020
<b>Salaire - professionnels</b>					
Professeur J. Raymond	19779,31	45038,59	45000,00	27228,88	-
Professionnel F.-A. Comeau	-	10548,16	-	-	-
<b>Salaire et Bourses - 1<sup>er</sup>, 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> cycles</b>	-	24753,80	67690,89	46271,18	39 818,12
<b>Frais de voyage</b>	-	27650,58	39440,88	17676,83	2106,41
<b>Fournitures et matériel</b>	-	3419,38	4320,59	1865,99	2020,38
<b>Livres et périodiques</b>	-	348,24	50,81	1062,05	-
<b>Appareils et outillage</b>	-	1283,24	-	-	5000,00
<b>Autres dépenses</b>	-	210,48	1949,12	3958,59	1057,34
<b>Total des dépenses</b>	<b>19779,31</b>	<b>113704,89</b>	<b>158452,29</b>	<b>98063,52</b>	<b>50 002,25</b>

Le total des dépenses pour la dernière année d'activités de la Chaire est de 50 002,25\$. Une balance de 16 663,75\$ est disponible pour le début de l'année 2021 puisque le budget total était de 66 666\$. Il est important de noter que moins d'activités de terrain ont eu lieu en 2020 à cause des mesures de confinement liées à la pandémie de COVID-19, ce qui explique des dépenses moins élevées que prévu. La balance disponible sera dépensée en début 2021, principalement pour maintenir les bourses des étudiants de la Chaire. Par ailleurs, certains étudiants ont dû repousser les travaux de terrain associés à leur projet, entre autres H. Langevin et F. M. Roland Maranghi, qui devaient se rendre à WK ainsi que D. D. Ngoyo qui devait aller à Yellowknife. Ces étudiants à la maîtrise seront dans l'obligation de prolonger leurs études pour acquérir suffisamment de données de terrain essentielles à leur projet. Ceci se traduira par une augmentation des dépenses de la Chaire en 2021 et 2022. Les conséquences de la pandémie de COVID-19 se feront ainsi sentir à long terme, particulièrement pour les étudiants qui devront prolonger leurs études. Il sera important de renouveler le financement de la Chaire au-delà d'avril 2021 pour

une 5<sup>e</sup> année de travaux afin de continuer à supporter ces étudiants jusqu'au bout de leur programme d'étude et compenser pour les conséquences de la pandémie de COVID-19.

## 9. Démontrer la synergie, le maillage et l'effet structurant entre les 3 chaires

L'utilisation d'énergie propre et abordable est un élément essentiel pour un développement durable du Nord. Ainsi, la Chaire de recherche INQ sur le potentiel géothermique du Nord collabore activement avec la Chaire de recherche INQ sur le développement durable du Nord. Cette collaboration s'est élargie en 2020 avec un nouveau financement du premier appel à projets conjoints INQ-Sentinelles Nord. Le groupe de travail de l'INQ sur les énergies nouvelles et renouvelables animé par le titulaire de la Chaire aura facilité le maillage nécessaire au développement de ce projet réalisé dans un contexte interdisciplinaire. Par ailleurs, J. Raymond a agi à titre de leader en collaborant avec les deux autres chaires et en préparant une proposition de recherche gagnante avec A. Bernatchez au programme Dialogue des FRQ et qui vise la vulgarisation scientifique. Ce projet, rassemblant l'expertise des trois chaires de l'INQ, permettra de mieux outiller les chercheurs face aux technologies du multimédia utiles à la vulgarisation scientifique. Une formation sera offerte puis un concours de vulgarisation scientifique sera lancé en 2021 de façon à ce que les retombées de ce projet bénéficient à toute la communauté de la recherche nordique. J. Raymond et son équipe entendent continuer de jouer un rôle important pour rassembler les trois titulaires de chaire de l'INQ dans ce projet commun. Il s'agit d'une occasion de transmettre de façon commune et concertée les nouvelles connaissances développées par les trois chaires.

De plus, J. Raymond, continuera d'agir à titre de leader pour le groupe de travail sur les énergies nouvelles et renouvelables de l'INQ. Ce groupe intersectoriel rassemble des chercheurs universitaires et collégiaux ainsi que des entreprises et employés de ministères préoccupés par la transition énergétique des communautés nordiques. L'implication de J. Raymond et le travail de D. Christiansen-Stowe (INQ), C. Carrier (Carboniq) et H. Nesredine (IREQ), tous membres du groupe de travail, auront permis le développement d'un porte-folio de projets. Ce document décrit les projets actuels réalisés par les membres du groupe de travail ainsi que les projets futurs à développer de façon concertée. Le document a servi à identifier les secteurs de recherche actuellement bien représentés et ceux qui doivent être développés davantage pour avancer vers la transition énergétique des communautés nordiques.

Le titulaire de la Chaire est finalement un membre actif

du CEN. Ce regroupement stratégique financé par le FRQNT est présent dans un bon nombre de communautés nordiques et gère des installations de recherche, dont plusieurs bâtiments chauffés au diesel. Les coûts de chauffage des stations de recherche du CEN sont une dépense importante qui pourrait être réduite par l'implantation de mesures d'efficacité énergétique novatrices, dont les pompes à chaleur géothermique. Le titulaire de la Chaire continuera d'aider à rassembler les forces de l'INQ et du CEN pour avancer vers des projets de démonstration d'énergie renouvelable, notamment pour la construction d'une nouvelle station de recherche à Umiujaq.

## **10. Annexes – Aperçu des travaux et activités réalisés par la Chaire**

Annexe 1 – Miranda, M.M., Raymond, J., et Dezayes, C., 2020. Uncertainty and risk evaluation of deep geothermal energy source for heat production and electricity generation in remote northern regions. *Energies* 13, 4221.

Annexe 2 – Giordano, N., et Raymond, J., 2020. Field report and monitoring plan of the ground-source heat pump system for the community swimming pool in Kuujjuaq (Nunavik, Canada). Institut national de la recherche scientifique, Rapport de projet, Québec.

Annexe 3 – Ngoyo D.D., Raymond J., Grasby S., Fiess K., et Comeau F.-A., 2020. Geothermal Potential of Closed Underground Mines: Con Mine Study (Northwest Territories, Canada). Présentation virtuelle au NWT and Nunavut Geoscience Symposium. Disponible en ligne : <https://geosympos.ca/?p=454>.

Annexe 4 – Langevin, H., Fraser, T., et Raymond, J., 2020. Assessment of thermo-hydraulic properties of rock samples near Takhini Hot Springs, Yukon. Dans: K.E. MacFarlane (Éditeur), *Yukon Exploration and Geology 2019*, Yukon Geological Survey, p. 57–73.

Annexe 5 – Une batterie thermique pour les habitants du Nunavik. Les 10 découvertes de 2019. Article paru dans *Québec Science*, Janvier 2020.