



Chaire de recherche sur le potentiel géothermique du Nord

RAPPORT D'ACTIVITÉS – SECOND MANDAT - ANNÉES 1 ET 2

Par

**Jasmin Raymond et
Félix-Antoine Comeau**

3 juin 2024 – 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 : <http://www.ete.inrs.ca/ete/recherche/chaire-de-recherche-sur-le-potentiel-geothermique-du-nord>

TABLE DES MATIÈRES

1. DESCRIPTION DES OBJECTIFS GÉNÉRAUX DU PROGRAMME DE RECHERCHE DE LA CHAIRE	4
2. DESCRIPTION DES PROGRÈS RÉALISÉS À L'ÉGARD DE CES OBJECTIFS DURANT LA PÉRIODE COUVERTE PAR LE PRÉSENT RAPPORT	4
3. ÉQUIPE DE RECHERCHE.....	6
4. RECRUTEMENT ET FORMATION (ÉTUDIANTS DE 1^{ER}, 2^E ET 3^E CYCLES, POST-DOCTORANTS, PROFESSIONNELS DE RECHERCHE, TECHNICIENS, ETC.)	6
5. COLLABORATION AVEC LES PARTENAIRES (INDUSTRIELS, INSTITUTIONNELS ET AUTRES)	7
6. DÉCRIRE LA VALEUR AJOUTÉE DANS LE CONTEXTE DE LA CRÉATION DE L'INQ.....	8
7. DIFFUSION DES RÉSULTATS ET TRANSFERT DES CONNAISSANCES OU DE LA TECHNOLOGIE	9
8. RENSEIGNEMENTS FINANCIERS	15
9. DÉMONTRER LA SYNERGIE, LE MAILLAGE ET L'EFFET STRUCTURANT ENTRE LES 3 CHAIRES	15
10. ANNEXES – APERÇU DES TRAVAUX ET ACTIVITÉS RÉALISÉS PAR LA CHAIRE	17

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

La Chaire de recherche sur le potentiel géothermique du Nord, ci-après nommée la Chaire, a débuté ses travaux en juillet 2016 en bénéficiant d'un financement initial de 3 ans. Un second financement de 3 ans a été obtenu pour les activités de la Chaire pour la période d'avril 2022 à mars 2025. Le présent rapport décrit les activités réalisées durant la première moitié du second mandat, soit d'avril 2022 à septembre 2023. Il est toutefois important de préciser que le financement pour les activités de la Chaire a été transféré à l'INRS et rendu disponible en décembre 2022 seulement. Étant donné les délais administratifs dans le traitement des versements, les dépenses de la Chaire ont débuté en avril 2023 bien que de nombreuses activités ont eu lieu en 2022, mais avec d'autres sources de financement que celui accordé par l'INQ. Le titulaire de la Chaire a aussi bénéficié d'un congé de ressourcement et de recherche de janvier à septembre 2023, période durant laquelle il a travaillé en partie à partir de Whitehorse avec la Commission géologique du Yukon. Toutes les initiatives de la Chaire se sont poursuivies durant cette période et il n'y a pas eu d'interruptions d'activités.

L'objectif du programme de la Chaire pour son second mandat est d'accompagner les communautés du Nord dans le développement des ressources et des technologies géothermiques afin de réduire leur dépendance aux produits pétroliers. Autant les ressources superficielles que profondes sont visées, pour produire de la chaleur tout comme de l'électricité, avec des projets ayant un potentiel de retombées à court et moyen terme, couvrant un vaste territoire du Yukon au Nunavik. Au nord du Québec, ce sont plus spécifiquement les communautés de Kuujuaq et d'Umiujaq qui sont visées puisqu'elles sont les hôtes de projets pilotes sur les pompes à chaleur géothermique, de travaux d'exploration des ressources géothermiques profondes ou d'initiatives d'intégration de technologies d'efficacité énergétique. Par le biais de financement additionnel provenant de partenaires gouvernementaux, la Chaire est aussi active au Yukon, Territoires du Nord-Ouest et au Nunavut. Par ailleurs, la Chaire à elle seule n'a pas le mandat de réaliser des projets de démonstration dans le Nord. Ces projets doivent émaner des communautés qui sont maître de leur développement, leur permettant de choisir librement les alternatives énergétiques qu'elles jugent appropriées considérant les défis techniques, réglementaires, de logistique et culturels. C'est pour cette raison que la Chaire s'est jusqu'à maintenant concentrée à évaluer le potentiel géothermique du Nord et accompagner les communautés avec la transmission de ces connaissances, permettant ainsi aux habitants du Nord

de concevoir leurs propres projets de démonstration et de prendre en main leur avenir énergétique.

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

Les activités de la Chaire sont réalisées dans un cadre multidisciplinaire, touchant principalement les sciences de la Terre et le génie mécanique. Nous travaillons à évaluer les besoins en chaleur des entreprises et des communautés du Nord, ainsi qu'à proposer des alternatives de chauffage hybride basées principalement sur les ressources et les technologies géothermiques, mais aussi la biomasse et le solaire. Le réseau de collaboration maintenant bien établi s'est élargi durant le second mandat pour développer davantage de projets interdisciplinaires, notamment sur l'acceptabilité sociale des technologies géothermiques au sein des communautés nordiques.

Le financement offert par l'INQ à la Chaire est principalement utilisé pour appuyer trois projets de démonstration réalisés dans le Nord québécois, qui sont à divers stades d'avancement.

Il y a d'abord la Société Kuujjumiut qui a réalisé un premier forage d'exploration géothermique d'une profondeur de 234 m à Kuujuaq en 2021 (Figure 1). Un profil de température a été mesuré dans ce forage et des échantillons de roc ont été prélevés pour évaluer le flux de chaleur terrestre (voir rapport de Miranda et al., 2022). Des travaux approfondis ont été entamés avec le début du second mandat de la Chaire et visent à évaluer l'impact de l'échelle sur l'évaluation de la conductivité thermique en laboratoire. En effet, nous croyons que la conductivité thermique évaluée en laboratoire à petite échelle est surestimée par rapport à la conductivité thermique évaluée de façon *in situ* et à plus grande échelle sur le terrain. Une hypothèse serait qu'il y aurait moins de barrières aux transferts thermiques à petite échelle dans des matériaux géologiques hétérogènes. Ceci aurait un impact sur l'évaluation du flux de chaleur terrestre qui dépend intimement de la conductivité thermique du roc. Une stagiaire postdoctorale (M. Rajaobelinson) a ainsi été recrutée pour évaluer l'impact des effets d'échelle sur l'évaluation de la conductivité thermique des échantillons prélevés dans le forage d'exploration réalisé à Kuujuaq. L'effet d'échelle pourrait aussi avoir un impact sur l'opération des systèmes de pompe à chaleur géothermique dont la performance dépend essentiellement de la conductivité thermique du roc. Une stagiaire de maîtrise (A. Cavalerie) a également été embauchée pour évaluer le potentiel de chauffage géothermique pour le bâtiment du Forum à Kuujuaq. Il s'agit d'un bâtiment communautaire qui referme un centre sportif avec un

aréna et des gymnases. Des panneaux solaires ont été installés par la société Kuujjuamiut sur le toit du bâtiment pour générer une partie de l'électricité dont le bâtiment a besoin. Le travail de la stagiaire consiste à développer un modèle de bâtiment pour évaluer les besoins en chauffage du Forum. Elle devra intégrer au modèle les panneaux solaires et un éventuel système de pompe à chaleur géothermique pour en simuler leur opération conjointe. Ces travaux constituent une phase préliminaire essentielle en vue d'aménager un système géothermique pilote. En effet, la société Kuujjuamiut envisage de prolonger le forage d'exploration géothermique de 234 à 500 m de profondeur et d'installer un échangeur de chaleur pilote à l'intérieur. Cette configuration permettra de le connecter à une pompe à chaleur géothermique, ouvrant ainsi la voie à un essai de démonstration. Durant la première moitié du second mandat de la Chaire, nous avons accompagné la Société Kuujjuamiut en rédigeant une demande de subvention pour concrétiser ce projet de démonstration. Cette demande a été officiellement soumise au programme d'Énergie propre pour les collectivités rurales et éloignées de Ressources naturelles Canada.



Figure 1. Mesure d'un profil de température effectué à Kuujjuaq par un Inuk en apprentissage du métier de foreur.

Le Centre d'études nordiques (CEN) projette la construction d'une nouvelle station de recherche à Umiujaq en 2025, laquelle sera une composante territoriale de l'INQ. Le bâtiment sera bâti sur pieux, qui intégreront des thermosiphons. Ceux-ci auront la double fonction de refroidir le sol et de préchauffer l'air entrant dans le bâtiment. Il s'agit d'une technologie géothermique dite passive et développée par CanmetÉNERGIE. Durant la première moitié du second mandat de la Chaire, le titulaire a collaboré étroitement avec le CEN et CanmetÉNERGIE pour les appuyer dans ce projet de développement. Un modèle de bâtiment a d'abord été construit pour évaluer les besoins en chauffage de cette station de recherche. Ensuite, la simulation de l'opération de systèmes de chauffage hybride (biomasse, solaire, géothermie et diesel) a été entreprise pour évaluer leur rentabilité (projet de maîtrise de D. Moreno). Nous sommes

actuellement à la recherche d'un étudiant à la maîtrise ou au doctorat pour rejoindre notre équipe et assurer le suivi de la performance du système de thermosiphons et des économies engendrées une fois la station de recherche construite.

Le troisième projet pilote est celui du Centre TERRE au Cégep de Jonquière qui érigera au cours de la prochaine année une infrastructure de recherche, de formation et de vulgarisation scientifique de différentes sources d'énergies renouvelables, tant thermiques qu'électriques, pour alimenter les milieux isolés. À l'été 2024, le Centre TERRE lancera des appels d'offres en vue de démarrer à l'automne la construction d'un bâtiment abritant des bureaux et laboratoires ainsi que deux résidences destinées aux essais de démonstration. Durant la première moitié du second mandat de la Chaire, le titulaire a ainsi travaillé avec le Centre TERRE à intégrer un système de pompe à chaleur géothermique dans les plans de cette infrastructure. Des travaux de terrain ont été initiés lors de l'aménagement d'un premier échangeur de chaleur en forage qui a fait l'œuvre d'un test de réponse thermique. Également, un étudiant au doctorat a été recruté pour se joindre à ce projet avec un financement offert par l'INQ (N. Alawawdeh). Son mandat consiste à caractériser le sous-sol du site expérimental et développer des modèles d'échangeurs de chaleur en forage pour mieux définir les travaux expérimentaux que nous souhaitons réaliser.

Le développement des technologies géothermiques dans le Nord bénéficierait grandement de l'implantation de systèmes énergétiques de quartier, permettant d'alimenter plusieurs bâtiments à l'aide d'un unique réseau de chaleur. Le titulaire de la Chaire est ainsi impliqué dans le projet COMIRCHAN mené par C. Krolik (Faculté de droit, Université Laval) et qui vise à évaluer les barrières légales et techniques au déploiement des réseaux de chaleur dans le Nunavik. Ce projet bénéficie d'un financement de l'INQ obtenu dans le cadre d'un appel à projets INQ-Sentinelles Nord.

En plus de ces activités directement financées par l'INQ, la Chaire a compté sur un appui financier de la Commission géologique du Yukon et du programme Alliance du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada, de la Commission géologique des Territoires du Nord-Ouest, de CanmetÉNERGIE et du programme GEM-GéoNord de la Commission géologique du Canada. Ces différentes initiatives ont permis de réaliser des travaux d'évaluation du potentiel géothermique à travers tout le nord du pays, exportant l'expertise de la Chaire développée dans son premier mandat vers d'autres territoires que le Nunavik. Des travaux de modélisation hydrogéologique sont ainsi en cours pour évaluer le potentiel géothermique de la communauté de Burwash

Landing située dans un contexte d'orogénèse (projet de doctorat de Fiona Chapman). Une analyse thermostratigraphique a été effectuée dans le bassin sédimentaire de l'Ouest au sud du Grand lac des Esclaves pour évaluer le potentiel géothermique des communautés de Fort Providence, Kakisa, Hay River et Enterprise (stage postdoctoral de M. Rajaobelinson et projet de maîtrise de M. Thibault). Des simulations numériques de l'opération d'échangeurs de chaleur en forage ont aussi été effectuées pour trouver des moyens de réduire le risque de dégel du pergélisol tout en maximisant le stockage souterrain de chaleur afin d'accompagner la Société d'énergie Qulliq et l'entreprise RESPEC dans la conception d'un système de stockage de chaleur souterrain pour la communauté de Baker Lake au Nunavut (projet de maîtrise de A. Gold réalisé en collaboration avec l'Université de Reykjavik). Des travaux d'évaluation du potentiel des ressources géothermiques profondes sont également en cours à Baker Lake (projet de maîtrise de A. Bacon réalisé en collaboration avec l'Université de Reykjavik).

De nombreux projets de recherche et de développement des ressources géothermiques sont présentement réalisés dans le Nord canadien et issu de l'initiative de différents organismes gouvernementaux, entreprises et communautés nordiques (voir article synthèse de Miranda et al., 2022, Annexe 1). Face à ce développement potentiel, la Chaire désire connaître l'opinion des Premiers Peuples envers l'utilisation des ressources et technologies géothermiques. En collaboration avec l'UQO (A. Friser), la Chaire a pris l'initiative de réaliser une étude de l'acceptabilité sociale de l'énergie géothermique au sein des communautés nordiques isolées. Ce projet financé par GEM-GéoNord vise un transfert de connaissances bidirectionnel en réalisant des ateliers au sein des communautés nordiques pour leur expliquer le potentiel géothermique de leur secteur et d'ensuite effectuer des enquêtes pour connaître leur opinion face au développement des technologies associées. Un premier atelier a eu lieu à Burwash Landing au Yukon à l'automne 2023. D'autres ateliers sont prévus aux Territoires du Nord-Ouest, Nunavut et Yukon.

3. Équipe de recherche

Le titulaire de la Chaire est Jasmin Raymond, professeur à l'INRS au Centre Eau Terre Environnement. Les professeurs suivants sont impliqués dans le deuxième mandat de la Chaire :

- Renaud Soucy-La Roche (Sciences de la Terre, INRS)
- Christian Dupuis (Géologie et Génie géologique, Université Laval)

- Louis Gosselin (Génie mécanique, Université Laval)
- Ali Hakkaki-Fard (Génie mécanique, Université Laval)
- Christophe Krolik (Droit, Université Laval)
- Alice Friser (Acceptabilité sociale, UQO)

La Chaire compte sur un réseau important de collaborateurs, principalement des chercheurs gouvernementaux et d'entreprises privées, qui travaillent également à l'évaluation du potentiel géothermique des communautés nordiques. Il s'agit de :

- Messaoud Badache (CanmetÉNERGIE)
- Andrew Wigston (CanmetÉNERGIE)
- Maurice Colpron (Commission géologique du Yukon)
- Viktor Terlaky (Commission géologique des Territoires du Nord-Ouest)
- Matthew Minnick (RESPEC)

4. Recrutement et formation (étudiants de 1^{er}, 2^e et 3^e cycles, postdoctorants, professionnels de recherche, techniciens, etc.)

Un professionnel de recherche, deux stagiaires postdoctoraux, un stagiaire à la maîtrise ainsi que 4 étudiants à la maîtrise et 4 étudiants au doctorat travaillent ou ont travaillé sur des projets en lien avec le potentiel géothermique des communautés nordiques durant le second mandat de 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, appui logistique pour les travaux de laboratoire et de terrain pour tous les projets nordiques
- Mafalda Miranda, stagiaire postdoctorale INRS, Ressources géothermiques au Nunavik et Yukon, évaluation économique et sociale des technologies géothermiques
- Mirah Rajaobelinson, stagiaire postdoctorale INRS, Analyse thermostratigraphique au sud du Grand lac des Esclaves (TNO) et évaluation des effets d'échelle sur l'évaluation de la conductivité thermique à Kuujjuaq
- Nouredine Alawawdeh, étudiant au doctorat INRS, Simulation de systèmes de chauffage hybride pour le site expérimental du Centre TERRE du Cégep de Jonquière

- Fiona Chapman, étudiante au doctorat INRS, Potentiel des ressources géothermiques profondes pour la communauté de Burwash Landing au Yukon
- Michaël Thibault, étudiant à la maîtrise INRS et Université de Reykjavik, Analyse thermostratigraphique au sud du Grand lac des Esclaves (TNO) et simulation de systèmes géothermiques à boucle fermée
- Ysaline Bacon, étudiante à la maîtrise INRS et Université de Reykjavik, Potentiel des ressources géothermiques profondes pour la communauté de Baker Lake (Nunavut)

Projets terminés

- Milad Fakhari, étudiant au doctorat INRS, Contribution des eaux souterraines à la température et la qualité de l'eau des rivières nordiques (QC)
- David Moreno, étudiant à la maîtrise INRS, évaluation de la rentabilité des systèmes de chauffage hybride pour la station de recherche du CEN à Umiujaq (Nunavik)
- Abra Gold, étudiante à la maîtrise à l'Université de Reykjavik, Simulation de solutions pour minimiser le dégel du pergélisol et maximiser le stockage de chaleur pour le développement d'un système de stockage thermique souterrain à Baker Lake (Nunavut)

Les étudiants qui ont terminé leurs projets ont acquis des notions de pointe quant aux problématiques énergétiques propres aux régions nordiques isolées. Ces étudiants ont maintenant ou sont sur le point d'intégrer le marché du travail. La plupart trouvent des emplois en lien avec les ressources naturelles, l'énergie ou l'environnement, et sont appelés à devenir des vecteurs de changements qui pourront appliquer les solutions développées par les projets de recherche de la Chaire. Par exemple, A. Gold a obtenu un poste de stagiaire pour le National Renewable Energy Laboratory qui travaille sur le potentiel géothermique de l'Alaska et M. Fakhari continue son parcours à l'INRS comme stagiaire postdoctoral et travaille sur les rivières du nord de la Colombie-Britannique.

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

La Chaire collabore activement avec les communautés nordiques, les organismes gouvernementaux actifs au Nord, les entreprises en opération sur le territoire du Nord canadien, ainsi que les institutions de recherche

étrangères intéressées par le potentiel géothermique des régions nordiques. Les collaborations suivantes sont actives pour le second mandat de la Chaire.

Organismes du milieu

- Société Kuujjuamiut
- Nunavik Mineral Exploration Funds
- Corporation foncière Nuyamivik
- Centre d'études nordiques
- Centre TERRE
- Kluane First Nations (Lù'àn Män Ku Dän)
- Fort Simpson First Nations (Łíídlı́ Kúę)
- Decho First nations
- Northwest Territory Métis Nation

Organismes gouvernementaux

- Ressources naturelles Canada
 - Commission géologique du Canada
 - CanmetÉNERGIE
- Commission géologique du Yukon
- Commission géologique des Territoires du Nord-Ouest

Entreprises privées

- EnGlobe
- Hatch
- Induktion
- Institut de recherche d'Hydro-Québec (IREQ)
- Énergies Tarquti
- Eavor Yukon
- RESPEC
- Société d'énergie Qulik

International

- BRGM (France)
- Université de Rennes 1 (France)
- Université de Reykjavik (Islande)
- Université de Medellín (Colombie)

Les activités du second mandat de la Chaire ont débuté dans un contexte prépandémique, ce qui a entraîné une réduction des déplacements à l'étranger, mais où l'accès au territoire nordique a été renouvelé. Nous avons ainsi consolidé les relations internationales avec les organismes étrangers qui se sont fortement impliqués dans nos différents projets de géothermie nordique et qui sont listés ci-dessus. Différents chercheurs de la Chaire, du titulaire aux étudiants, ont effectué des déplacements au Nunavik (travaux de terrain à Umiujaq à l'été 2022), au Yukon (travaux de terrain à Burwash Landing aux étés 2022 et 2023), aux Territoires du Nord-Ouest (travaux de terrain au sud du Grand lac des Esclaves à l'été 2023) et au Nunavut (travaux de forage en décembre 2022 à Baker Lake). Ces travaux de terrain incluant des séjours prolongés

ont été l'occasion de tisser des liens avec les différents organismes du milieu issus des communautés nordiques et qui appuient nos projets de recherche (Figure 2). Des entreprises privées ont également été sollicitées lors de nos activités. Par exemple, les collaborations avec Eavor Yukon et RESPEC nous ont permis d'accéder à des carottes de forage et des profils de température collectés dans le cadre de projets privés. Les activités de forage sont particulièrement dispendieuses dans le Nord. Le coût d'un forage de moins de 1 km de profondeur peut atteindre quelques centaines de milliers de dollars. Cette collaboration avec les entreprises privées, qui ont accepté de partager l'information collectée, est donc essentielle pour étendre les activités de la Chaire.



Figure 2. Présentation de l'étudiant à la maîtrise M. Thibault sur l'énergie géothermique à l'école de Fort Simpson aux Territoires du Nord-Ouest.

6. Décrire la valeur ajoutée dans le contexte de la création de l'INQ

Grâce à ses activités de recherche au sein des communautés tout comme à l'international, la Chaire entreprend des actions structurantes qui font de l'INQ un acteur important de la recherche et du développement nordique durable. Le financement offert par l'INQ permet de former une masse critique d'experts qui réalisent des projets démontrant 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 effectuées sont un premier pas vers le développement d'une forme d'énergie renouvelable encore négligée dans le Nord, mais pouvant être exploitée localement par le biais d'échangeurs de chaleur géothermique. Nous sommes résolument engagés dans des projets de démonstration menés par les organismes locaux pour les aider à implanter des systèmes géothermiques dans des régions où la demande en chauffage dépasse 8000 degrés-jours sous 18 °C. La réalisation de tels projets de démonstration s'étalera sur plus d'une décennie, ce qui demandera des efforts de recherche soutenus pour passer de la preuve de concept mathématique à l'opération de systèmes réels, pouvant apporter une visibilité et une notoriété à l'INQ, identifiée comme organisme à l'avant-garde en matière de transition énergétique des communautés et entreprises nordiques.

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 plus de retombées vers l'INQ elle-même et les communautés nordiques. Les principales autres sources de financement en lien avec la programmation scientifique de la Chaire sont énumérées ci-dessous.

- CRNG Découverte
Étude des effets d'échelle liés à l'évaluation de la conductivité thermique en géothermie
J. Raymond (180 000 \$ + 75 000 \$ supplément de recherche nordique : 2022 à 2027)
- CRSNG Alliance
Acquisition de connaissances critiques à l'utilisation directe des ressources géothermiques au Canada – GeoDirect
J. Raymond, R. Soucy La Roche, C. Dupuys (405 000 \$: 2022 à 2026), Commission géologique du Yukon et Acti-Cité.
- GEM-GeoNorth
Assessment of geothermal energy resource potential in the South Slave region of the NWT
J. Raymond (99 975 \$: 2022-2023), RNCan Commission géologique du Canada.
- Contrat de recherche
Geological Data Compilation of the Fort Liard Geothermal Resource
J. Raymond (30 000 \$: 2022-2023), Commission géologique des Territoires du Nord-Ouest.
- Contrat de recherche
Solutions to reduce the impact of borehole thermal energy storage on permafrost - a study

undertaken in the community of Baker Lake (Nunavut, Canada)

J. Raymond (38 520 \$: 2022-2023), RNCan Canmet ÉNERGIE.

- GEM-GeoNorth
Geothermal resources for energy transition: Building capacity through engagement with northern communities
J. Raymond et A. Friser (114 500\$: 2023-2025), RNCan Commission géologique du Canada.
- Entente de transfert
Geothermal potential assessment of the South Slave Region
J. Raymond (22 005 \$: 2023-2024), Commission géologique des Territoires du Nord-Ouest.
- Contrat de recherche
Natural heat flow assessment in Baker Lake, Nunavut
J. Raymond (16 053 \$: 2023), RESPEC.

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

Le titulaire de la Chaire et son équipe ont été actifs au niveau du transfert des connaissances pour la période 2022-2023 avec :

- 21 articles scientifiques
- 6 actes de conférences
- 56 présentations
- 10 rapports de recherche
- 3 œuvres de création
- 3 entrevues médiatiques

Les articles scientifiques publiés touchent des sujets variés, comme le potentiel géothermique des mines actives (Mine Éléonore, travaux de Alvarado publiés dans *Mine Water and the Environment*) tout comme fermées (Mine Con, travaux de Ngoyo Mandemvo publiés dans *Natural Resources Research*) ou encore le potentiel des systèmes de chauffage hybride pour les bâtiments des communautés nordiques isolés (Whapmagoostui-Kuujuarapik et Umiujaq, travaux de Maranghi et Moreno respectivement publiés dans *Renewable Energy* et *GRC Transactions*). Parmi ces articles, une synthèse des travaux en géothermie dans le Nord canadien a été préparée par M. Miranda et publiée dans le *European Geologist Journal*. Cette synthèse donnée en exemple (Annexe 1) inclut tous les travaux de la Chaire et d'autres groupes de recherche au

Canada. L'équipe de la Chaire a aussi fait des présentations variées, à l'internationale (conférence annuelle du groupe IGCP 636 de l'UNESCO à l'Université de Coimbra au Portugal) tout comme dans des forums locaux (Québec Mines + Énergie). Parmi les présentations importantes, il y a une présentation du titulaire de la Chaire en session plénière de la conférence d'ArcticNet ayant eu lieu à Toronto en 2022. Le titulaire de la chaire a aussi été actif avec des présentations vulgarisées destinées aux membres de communautés nordiques, notamment pour des ateliers du conseil de direction de GEM-GéoNord et de la Commission géologique du Yukon ayant eu lieu à Whitehorse ainsi qu'une présentation à Kuujuaq pour les participants du Indigenous Clean Energy Program. Des gens issus des Premiers Peuples ont participé à ces ateliers qui ont été une formidable occasion de transfert de connaissance vers les habitants du Nord. Par ailleurs, le projet de Lexique Nordique soutenu par la Chaire s'est terminé en 2022. Ce projet a permis de réaliser avec la collaboration d'autres chercheurs des capsules vidéo sur des mots clés comme l'énergie, l'acceptabilité sociale et la toundra. Il s'agit d'un projet qui a impliqué les trois chaires de recherche de l'INQ. Quelques reportages médiatiques ont finalement touché les recherches effectuées par la Chaire, notamment les travaux réalisés sur le potentiel géothermique de la communauté de Fort Liard réalisés avec la Commission géologique des Territoires du Nord-Ouest et donnés en exemple (Annexe 2).

Une liste des contributions scientifiques réalisées par le titulaire de la Chaire et ses collaborateurs durant la période 2022-2023 est fournie ci-dessous. À noter que la liste inclut les publications réalisées jusqu'à la fin de l'année 2023. Le personnel hautement qualifié en formation et ayant contribué aux articles est souligné dans les références. Les liens permettant d'accéder aux capsules vidéo créées par la Chaire sont aussi disponibles.

Articles scientifiques

Chapman, F.M., Miranda, M., Soucy La Roche, R., Raymond, J., 2023. Fracture network analysis in the Duke River area, southwestern Yukon. Dans: K.E. MacFarlane (Éditeur), *Yukon Exploration and Geology 2022*, Yukon Geological Survey, 35–62.

Fakhari, M., Raymond, J., Martel, R., Drolet, J.-P., Dugdale, S.J., et Bergeron, N., 2023. Analysis of large-scale groundwater-driven cooling zones in rivers using thermal infrared imagery and radon measurements. *Water* 15(5): 873. ***Facteur d'impact de la revue 3,4**

Langevin, H., Giordano, N., Raymond, J., et Gosselin,

- L., 2023. Oscillatory thermal response test using heating cables: A novel method for in situ thermal property analysis. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 202: 123646.
- Léveillé-Dallaire, X., Raymond, J., Snæbjörnsson, J.P., Fujii, H., et Langevin, H., 2023. Performance Assessment of Horizontal Ground Heat Exchangers under a Greenhouse in Quebec, Canada. *Energies* 16(15): 5596. ***Facteur d'impact de la revue 3,2**
- Maranghi, F., Gosselin, L., Raymond, J., et Bourbonnais, M., 2023. Modeling of solar-assisted ground-coupled heat pumps with or without batteries in remote high north communities. *Renewable Energy* 207: 484–498. ***Facteur d'impact de la revue 8,6**
- Maranghi, F., Raymond, J., 2023. Numerical Evaluation of the Benefits Provided by the Ground Thermal Inertia to Urban Greenhouses. *Thermo* 3: 452–482.
- Miranda, M.M., Raymond, J., et Dezayes, J., 2023. Estimating theoretical stress regime for engineered geothermal energy systems in an arctic community (Kuujuaq, Canada). *Comptes Rendus. Géoscience* 355: 85–108.
- Miranda, M.M., Raymond, J., Dezayes, C., Wigston, A., et Perreault, S., 2023. Multiscale fracture networks and their impact on hydroshearing response in the Canadian Shield (Kuujuaq, Canada). *Geomechanics and Geophysics for Geo-Energy and Geo-Resources* 9, 85.
- Ngoyo Mandemvo, D.D., Comeau, F.-A., Raymond, J., Grasby, S.E., Terlaky, V., 2023. Geothermal Potential of Closed Underground Mines: Resource Assessment Study of the Con Mine, Northwest Territories, Canada. *Natural Resources Research* 32 : 1579–1593.
- Oviedo, M.J., Blessent, D., López-Sánchez, J., et Raymond, J., 2023. Contribution to the characterization of the Nevado del Ruiz geothermal conceptual model based on rock properties dataset. *Journal of South American Earth Sciences* 124: 104259.
- Alvarado, E.J., Raymond, J., Therrien, R., Comeau, F.-A., et Carreau, M., 2022. Geothermal energy potential of active northern underground mines: Designing a system relying on mine water. *Mine Water and the Environment* 41: 1055-1081.
- Fakhari, M., Raymond, J., Martel, R., Dugdale, S.J., et Bergeron, N., 2022. Identification of thermal refuges and water temperature patterns in salmonid-bearing subarctic rivers of Northern Quebec. *Geographies* 2: 528–548.
- Gascuel, V., Raymond, J., Rivard, C., Marcil, J.-S., et Comeau, F.-A., 2022. Design and optimization of deep coaxial borehole heat exchangers for cold sedimentary basins. *Geothermics* 105: 102504. ***Facteur d'impact de la revue 3,9**
- Hassan Aden, A., Raymond, J., et Giroux, B., 2022. Numerical Modeling of Hydrothermal System Circulation Beneath Asal Rift, Republic of Djibouti. *Energies* 15: 9310. ***Facteur d'impact de la revue 3,2**
- Koubicana Pambou, C.H., Raymond, J., Miranda, M.M., et Giordano, N., 2022. Estimation of in situ heat capacity and thermal diffusivity from undisturbed ground temperature profile measured in ground heat exchangers. *Geosciences* 12(5): 180.
- Léveillé-Dallaire, X., Raymond, J., Fujii, H., Shunsuke, T., 2022. Sizing horizontal geothermal heat exchangers for community greenhouses in Montreal. *GRC Transactions* 46: 793-803.
- Moreno, D., Raymond, J., Comeau, F.-A., et Gosselin, L., 2022. Life cycle cost analysis of heating system alternatives for residential buildings in subarctic climate (Nunavik, Canada). *GRC Transactions* 46: 2005-2028.
- Miranda, M.M., Comeau, F.-A., Raymond, J., Gosselin, L., Grasby, S.E., Wigston, A., Dehghani-Sanij, A., Sternbergh, S., et Perreault, S., 2022. Geothermal resources for energy transition: A review of research undertaken for remote northern Canadian communities. *European Geologist* 54.
- Rajaobelison, M., Raymond, J., Malo, M., Dezayes, C., et Larmagnat, S., 2022. Understanding heat transfer along extensional faults: The case of the Ambilobe and Ambanja geothermal systems of Madagascar. *Geothermics* 104: 102455. ***Facteur d'impact de la revue 3,9**
- Raymond, J., Langevin, H., Comeau, F.-A., et Malo, M., 2022. Temperature dependence of rock salt thermal conductivity: Implications for geothermal exploration. *Renewable Energy*, 184: 26–35. ***Facteur d'impact de la revue 8,6**
- Zinsalo, J.M., Lamarche, L., et Raymond, J., 2022. Performance analysis and working fluid selection of an Organic Rankine Cycle Power Plant coupled to an Enhanced Geothermal System. *Energy*, 245: 123259. ***Facteur d'impact de la revue 7,2**

Articles d'actes de conférences

- Bachand, A., Doyon, B., Schultz, R., Rudd, R., et Raymond, J., 2023. Numerical model for technical viability of hydrogen storage in cased wells. EUROSOLAR, Proceedings of International Renewable Energy Storage Conference, Düsseldorf, p 1-10.
- Vadiee, S., Biao, L., Raymond J., et Miranda, M.M., 2023. Thermal-Hydro-Mechanical coupled numerical analysis of a faulted zone in a Quebec's potential geothermal engineering site. 76th Canadian Geotechnical Conference, Saskatoon, p. 1-9.
- Huang, K., Hickson, C., Grasby, S.E., Smejkal, E., Miranda, M., Raymond, J., Fraser, D., Harbottle, K., Torres, D.A., Ebell, J., Marcia, K., Colpron, M., Dehghani-Sanij, A., Wigston, A., Brasnett, G., Unsworth, M., Harms, P., 2023. Geothermal Energy Country Update – Canada. Proceedings of the world geothermal congress, Beijing.
- Oviedo, M.J., Raymond, J., Blessent, D., Larmagnat, S., López-Sánchez, J., 2022. Thermohydraulic characterization of Charlevoix crater rocks. 75th Canadian Geotechnical Conference, Calgary, p. 1-8.
- Norouzi, E., Li, B., et Raymond, J., 2022. Numerical modeling of thermo-hydro-mechanical processes related to geothermal heat pump operations in a subarctic climate. 56th US Rock Mechanics/Geomechanics Symposium, Santa Fe, 22-588.
- Raymond, J., Gosselin, J.-S., et Lavoie, J.-F., 2022. Ground heat exchangers with large diameter pipes: What are the benefits? International Ground Source Heat Pump Association Technical/Research Conference, Las Vegas, p. 1-8.
- Résumés et conférences**
- Chapman, F.M., Klepikova, M., Bour, O., Soucy La Roche, R., et Raymond, J., 2023. Heat flow assessments in southwestern Yukon using fibre-optics. UNESCO IGCP 636 Annual Meeting, University of Coimbra, Coimbra.
- Chapman, F.M., Miranda, M.M., Soucy La Roche, R., et Raymond, J., 2023. Distribution de perméabilité associée à la faille Denali près de la rivière Duke au sud-ouest du Yukon. Colloque du Centre d'études nordiques, Université du Québec à Rimouski, Rimouski.
- Chapman, F.M., Raymond, J., et Soucy La Roche, R., 2023. Advancements towards evaluating the geothermal resource around Burwash Landing. YGS Geothermal Workshop, Whitehorse.
- Gascuel, V., Raymond, J., et Rivard, C., 2023. Repurposing a hydrocarbon well into a deep geothermal heat pump system: Is it more efficient to convert into a deep borehole heat exchanger or into a geothermal doublet? The German Geothermal Congress, Berlin.
- Gascuel, V., Raymond, J., et Rivard, C., 2023. Repurposing idle wells for a heat transition: Dynamic modeling of a deep borehole heat exchanger system. UNESCO IGCP 636 Annual Meeting, University of Coimbra, Coimbra.
- Gold, A., Miranda, M.M., Raymond, J., et Asbjornsson, E.J., 2023. Minimiser le dégel du pergélisol et maximiser le stockage souterrain de la chaleur à Baker Lake (Nunavut). Colloque du Centre d'études nordiques, Université du Québec à Rimouski, Rimouski.
- Goldoni de Souza, M., Bordeleau, G., Lacombe, S., Raymond, J., et Comeau, F.-A., 2023. From asbestos mining to geothermal energy production: geochemical considerations for the installation of open-loop systems in former open-pit mines in Québec, Canada. Mine Water Geothermal Energy Symposium, International Energy Agency, Virtuel.
- Goldoni de Souza, M., Bordeleau, G., Lacombe, S., Raymond, J., et Comeau, F.-A., 2023. From asbestos mining to geothermal energy production: hydrogeochemical considerations for the installation of open-loop systems in closed open-pit mines in Quebec, Canada. 7th International Symposium on Water-Rock Interaction and the 14th International Symposium on Applied Isotope Geochemistry, Miyagi, Japon.
- Goldoni de Souza, M., Bordeleau, G., Lacombe, S., Raymond, J., Comeau, F.-A., et Wong, C., 2023. Geothermal and geochemical considerations in open-loop systems in Quebec's former open-pit mines. UNESCO IGCP 636 Annual Meeting, University of Coimbra, Coimbra.
- Lacombe, S., Comeau, F.-A., et Raymond, J., 2023. Estimation of available geothermal resources in flooded open pit mines. Mine Water Geothermal Energy Symposium, International Energy Agency, Virtuel.
- Lee, C., Bour, O., Simon, N., Lefebvre, R., et Raymond, J., 2023. Continuous high-resolution vertical profiles of groundwater flux from A-DTS experiments in a heterogeneous granular aquifer. American Geophysical Union Fall Meeting, San Francisco.

- Lee, C., Bour, O., Simon, N., Lefebvre, R., et Raymond, J., 2023. Continuous vertical groundwater flux profiles with A-DTS experiments in a heterogeneous granular aquifer. 28e Réunion des sciences de la Terre, Rennes.
- Lee, V., Raymond, J., Rivard, C., Parent, M., Comeau, F.-A., et Newson, J., 2023. The potential of groundwater heat pump systems for urban heat island mitigation: aquifer suitability assessment in Canada's major cities. UNESCO IGCP 636 Annual Meeting, University of Coimbra, Coimbra.
- Léveillé-Dallaire, X., Maranghi, F., et Raymond, J., 2023. Potentiel d'intégration de la géothermie et de moyens de chauffage passifs dans les serres communautaires. Atelier CommunoSerres, Institut national de la recherche scientifique, Montréal.
- Léveillé-Dallaire, X., et Raymond, J., 2023. Hydrothermal Modeling of Takhini Hot Springs. YGS Geothermal Workshop, Whitehorse.
- Miranda, M.M., Bacon, Y., Chapman, F., Raymond, J., 2023. Updating Yukon heat flow map and rock properties database. YGS Geothermal Workshop, Whitehorse.
- Rajaobelison, M.M., Thibault, M., Comeau, F.-A., Raymond, J., et Terlaky, V., 2023. Potentiel géothermique au sud du Grand Lac des Esclaves (Territoires du Nord-Ouest, Canada). Colloque du Centre d'études nordiques, Université du Québec à Rimouski, Rimouski.
- Rajaobelison, M.M., Thibault, M., Thomas, G., Comeau, F.-A., Raymond, J., et Terlaky, V., 2023. Advances in geothermal research in the southern NWT: toward reservoir characterization and geothermal potential assessment. GeoConvention, Calgary.
- Raymond, J., 2023. Introduction to geothermal heat pump system design. Séminaire à l'Université du Yukon, Whitehorse. ***Conférencier principal**
- Raymond, J., Comeau, F.-A., Gascuel, V., et Séjourné, S., 2023. Potentiel de réutilisation des anciens puits pétroliers pour des fins géothermiques. Québec Mines + Énergie, Québec. ***Conférencier invité**
- Raymond, J., Miranda, M., et Comeau, F.-A., 2023. L'énergie géothermique dans les communautés nordiques isolées. Club de minéralogie de Québec, Québec, ***Conférencier principal**
- Raymond, J., Miranda, M., et Comeau, F.-A., 2023. Geothermal Potential of Remote Northern Communities. GEM GeoNorth Symposium, Whitehorse, ***Conférencier principal**
- Raymond, J., Miranda, M., et Comeau, F.-A., 2023. Geothermal Potential of Remote Northern Communities: Research Overview. Geothermal Energy in Canada Workshop, Waterloo Institute for Sustainable Energy, Université de Waterloo, Waterloo. ***Conférencier invité**
- Raymond, J., Miranda, M., et Comeau, F.-A., 2023. Geothermal Potential of Remote Northern Communities: Overview of Research Undertaken. Calgary Geothermal Workshop, Université de Calgary, Calgary. ***Conférencier invité**
- Raymond, J., Miranda, M., et Comeau, F.-A., 2023. Overview of geothermal research and applications in the Canadian North. YGS Public Geothermal Workshop, Whitehorse. ***Conférencier invité**
- Raymond, J., Miranda, M., et Comeau, F.-A., 2023. Overview of geothermal research in the Canadian North. UNESCO IGCP 636 Annual Meeting, University of Coimbra, Coimbra.
- Raymond, J., Lacombe, S., et Comeau, F.-A., 2023. Geothermal potential of active and closed mines: examples from Quebec and elsewhere. Geothermal Canada Lecture Series, Virtuel. ***Conférencier principal**
- Thibault, M., Rajaobelison, M.M., Comeau, F.-A., Raymond, J., et Terlaky, V., 2023. Geothermal Potential of four communities of the South Slave region (Northwest Territories, Canada). Yellowknife Geoscience Forum, Yellowknife.
- Thibault, M., Rajaobelison, M.M., Comeau, F.-A., Raymond, J., Terlaky, V., et Newson, J., 2023. Geothermal potential of four South Slave region Communities (Northwest Territories, Canada). UNESCO IGCP 636 Annual Meeting, University of Coimbra, Coimbra.
- Thomas, G., Raymond, J., et Terlaky, V., 2023. Geothermal Reservoir Analysis of Fort Liard Region. UNESCO IGCP 636 Annual Meeting, University of Coimbra, Coimbra.
- Thomas, G., Terlaky, V., et Raymond, J., 2023. Liard Geothermal Reservoir Project Phase II Update. Yellowknife Geoscience Forum, Yellowknife.
- Chapman, F.M., Soucy La Roche, R., et Raymond, J., 2022. Geothermal Potential Exploration in Duke River, Southwestern Yukon. Kluane Research Open House, Burwash Landing.
- Chapman, F.M., Sternbergh, S., Colpron, M., Soucy La Roche, R., et Raymond, J., 2022. Adapted Play

- Fairway analysis of geothermal resources in southwestern Yukon, Canada. Colloque du Centre d'études nordiques, Université Laval, Québec.
- Chapman, F.M., Sternbergh, S., Colpron, M., Soucy La Roche, R., et Raymond, J., 2022. Evaluating geothermal resources next to the Denali fault in Southwest Yukon. 3rd Canadian Geothermal Student Day, Edmonton.
- Chapman, F.M., Sternbergh, S., Colpron, M., Soucy La Roche, R., et Raymond, J., 2022. Thermostratigraphy of the Duke River area in southwestern Yukon. Assessment of geothermal resources in onshore Nova Scotia. Geological Association of Canada, Mineralogical Association of Canada and International Association of Hydrogeologists annual conference, Halifax.
- Comeau, F.-A., Giordano, N., Langevin, H., Moreno, D., et Raymond, J., 2022. Valorisation de l'énergie géothermique du Nunavik. ACFAS, Université Laval, Québec.
- Comeau, F.-A., Raymond, J., Séjourné, S., Keppie, F., Kennedy, G., Cen, H., Phillips, K., Weldon, S., Bailey, J., et Dmytriw, R., 2022. Assessment of geothermal resources in onshore Nova Scotia. Geological Association of Canada, Mineralogical Association of Canada and International Association of Hydrogeologists annual conference, Halifax.
- Fakhari, M., Raymond, J., et Martel, R., 2021. Assessment of groundwater contribution to river water temperature. Virtual Atlantic and Eastern Canadian Symposium on Water Quality Research, Activité virtuelle.
- Fakhari, M., Raymond, J., et Martel, R., 2022. Identification of thermal refuges in the rivers by use of thermal aerial imagery. Geological Association of Canada, Mineralogical Association of Canada and International Association of Hydrogeologists annual conference, Halifax.
- Gascuel, V., Raymond, J., et Rivard, C., 2022. Using deviated wells to harness heat from the deep aquifers of the St Lawrence sedimentary basin. Geological Association of Canada, Mineralogical Association of Canada and International Association of Hydrogeologists annual conference, Halifax.
- Gutierrez, F., Blessent, D., Rueda, J., Lopez-Sanchez, J., Rivas, F., Grimes, J. M., Fiali, A., Semmari, H., Acuña, J., Dezayes, C., **Miranda, M.**, Raymond, J., Adrinek, S., Rman, N., Alcaraz, M., Somma, R., 2022. Open learning online school: a knowledge-sharing tool about geothermal and groundwater resources. 5th Congress of the International Association of Hydrogeologists – Central Europe Group, Rogaška Saltina.
- Larmagnat, L., Des Roches, M., Raymond, J., Rivard, C., et Francus, P., 2022. Correlating med-CT density and thermal conductivity of sedimentary rocks: a new insight into thermofacies. Geological Association of Canada, Mineralogical Association of Canada and International Association of Hydrogeologists annual conference, Halifax.
- Lee, V., Raymond, J., Rivard, J., Comeau, F.-A., et Newson, J., 2022. Groundwater heat pump systems to fight urban heat islands: Modeling of a case study in Québec City, QC, Canada. Geological Association of Canada, Mineralogical Association of Canada and International Association of Hydrogeologists annual conference, Halifax.
- Miranda, M.M., et Raymond, J., 2022. Utiliser la chaleur de la Terre pour réduire la consommation de diesel à Kuujuaq (Nunavik, Québec). ACFAS, Université Laval, Québec.
- Miranda, M.M., Gascuel, V., Giordano, N., et Raymond, J., 2022. Deep borehole heat exchangers – An unconventional geothermal system to offset diesel consumption in remote northern regions. 3rd Canadian Geothermal Student Day, Edmonton.
- Rajaobelison, M.M., Thibault, M., Comeau, F.-A., Raymond, J., et Terlaky, V., 2022. Geothermal Potential of the South Slave region. Yellowknife Geoscience Forum, Yellowknife.
- Raymond, J., 2022. Technologies propres au Canada. Comparation of Comité permanent en environnement, Chambre des communes, Ottawa.
- Raymond, J., 2022. Alternative and Sustainable Energy Innovation in the Arctic – Plenary Session. ArcticNet - Annual Scientific Meeting, Toronto. ***Conférencier invité**
- Raymond, J., 2022. Techno-economic potential of geothermal technologies for remote northern communities. Séminaire à l'Université d'Akita, Japon. ***Conférencier invité**
- Raymond, J., Blessent, D., Alcaraz, M., Malo, M., Daniele, L., Somma, R., 2022. Geothermal resources for energy transition: past, present and future of IGCP 636 group. Geological Association of Canada, Mineralogical Association of Canada and International Association of Hydrogeologists annual conference, Halifax. ***Conférencier invité pour symposium sur les géoparc et l'IGCP.**

- Raymond, J., Chapelet, M., Comeau, F.-A., et Dezayes, C., 2022. Evaluation of deep geothermal resources in the St. Lawrence Lowlands using shallow thermal response tests. 5th Congress of the International Association of Hydrogeologists – Central Europe Group, Rogaška Saltina.
- Raymond, J., Lacombe, S., et Comeau, F.-A., 2022. L'Énergie géothermique et les mines. Conférence midi du centre E4m, Université Laval, Québec. ***Conférencier principal**
- Raymond, J., Lacombe, S., et Comeau, F.-A., 2022. Le potentiel géothermique des mines actives et fermées : exemples de projets industriels au Québec et ailleurs. Québec Mines + Énergie, Québec. ***Conférencier invité**
- Raymond, J., et Lee, V., 2022. Environmental impacts of geothermal energy systems. Geothermal Canada Lecture Series, Virtuel. ***Conférencier principal**
- Raymond, J., et Miranda, M.M., 2022. Overview of geothermal research projects in Kuujuaq. ICE Catalyst, Indigenous Clean Energy Workshop, Kuujuaq. ***Conférencier invité**
- Thomas, G., Terlaky, V., et Raymond, J., 2022. Liard Geothermal reservoir project phase II update. Yellowknife Geoscience Forum, Yellowknife.
- Rapports de recherche**
- Bachand, A., Doyon, B., et Raymond, J., 2023. Stockage souterrain de l'hydrogène, Modèle numérique pour le stockage d'hydrogène en forage et caverne de sel. Rapport interne R2177, Institut national de la recherche scientifique, Institut de recherche d'Hydro-Québec, Québec.
- Gold, A., Miranda, M.M., Raymond, J., et Asbjornsson, E.J., 2023. Minimizing permafrost thaw and maximizing thermal heat storage in Baker Lake, Nunavut, An investigation on energy storage in permafrost. Rapport Externe, Institut national de la recherche scientifique, CanmetENERGY, Québec.
- Gailloux, C., McClintock, N., Van Neste, S.L., Raymond, J., Barnabé, F., Beaulac, A., Bordeleau, G., Clavelier, H., Dos Santos Brito, J., Flory-Célini, C., Garcia Gonzalez, B., Haillot, D., Lavoie, S., Léveillé-Dallaire, X., Mamifarananahary, E., Maranghi, F., Monfet, D., Pasquier, L.-C. et Selliah, S., 2023. CommunoSerre : Enjeux sociaux et techniques des serres communautaires urbaines dans les quartiers défavorisés - Une boîte à outils pour praticien.ne.s et décideur.se.s. Rapport de recherche, Institut national de la recherche scientifique, Montréal.
- Miranda, M.M., Comeau, F.-A., Raymond, J., et Dupuis, C., 2023. Potentiel géothermique du site d'Acti-Cité à La Prairie (Rive-sud de Montréal). Rapport de recherche R2179, Institut national de la recherche scientifique, Montréal.
- Rajaobelison, M.M., Thibault, M., Comeau, F.-A., Raymond, J., et Terlaky, V., 2023. Laboratory analyses on well split core samples to assess the geothermal potential of the South Slave Region, Northwest Territories, Canada. Rapport Externe, Northwest Territories Geological Survey, Yellowknife.
- Bordeleau, G., Giroux, B., Comeau, F.-A., et Raymond, J., 2022. Travaux préparatoires en vue d'aménager un forage coffré pour le stockage d'hydrogène. Rapport interne R2111, Institut national de la recherche scientifique, Institut de recherche d'Hydro-Québec, Québec.
- Comeau F.-A., Moreno, D., et Raymond, J., 2022. Thermal properties analysis of soil samples. Rapport interne R2133, Institut national de la recherche scientifique, Centre Eau Terre Environnement, Québec.
- Gascuel, V., Pasquier, L.-C., Raymond, J., et Hénault-Ethier, L., 2022 Mémoire de l'INRS – Projet de Loi 21 – Pour l'amélioration de la loi pour mettre fin à la recherche et à la production d'hydrocarbures en soutenant la mise en valeur durable des réservoirs souterrains. Institut national de la recherche scientifique. Déposé dans le cadre des consultations de la CAPERN au sujet du projet de loi 21 « Loi visant principalement à mettre fin à la recherche et à la production d'hydrocarbures ainsi qu'au financement public de ces activités », Québec.
- Miranda, M.M., et Raymond, J., 2022. Assessing Kuujuaq's (Nunavik, Canada) deep geothermal energy potential - Core analysis, thermal properties characterization and surface heat flux estimation of a 234 m deep geothermal exploration well. Rapport externe R2109, Institut national de la recherche scientifique, CanmetENERGY, Québec.
- Séjourné, S., Comeau, F.-A., et Raymond, J., 2022. Évaluation géologique des opportunités et contraintes du stockage souterrain d'hydrogène dans des trous de forage coffrés : premiers pas vers un projet-pilote. Rapport interne R2140. Institut national de la recherche scientifique, Institut de recherche d'Hydro-Québec, Québec.

Œuvres de création

Capsules vidéo

Miranda, M.M., Raymond, J., et Bernatchez, A., 2023. Énergie géothermique. Capsule vidéo du Lexique nordique, Institut nordique du Québec, <https://www.youtube.com/watch?v=cIRIGnaeu3U>.

Raymond, J., et Bernatchez, A., 2022. L'énergie. Capsule vidéo du Lexique nordique, Institut nordique du Québec, <https://www.youtube.com/watch?v=vVpTh1uBqm8>.

Exposition

Lacombe, S., Chapman, F., Gascuel, V., Valencia, M.J.O., Leveillee-Dallaire, X., Gold, A., Miranda, M.M., et Raymond, J., 2023. Maquette de géothermie. Présentée lors de l'exposition *Pour demain* au Musée de la Civilisation de Québec. ***Vue par 104 243 visiteurs provenant de plus de 5 pays**

Entrevues publiées dans des journaux et des magazines

2023/11/22. Une entreprise albertaine veut révolutionner la géothermie ici et dans le monde. Radio Canada, reportage numérique.

2023/11/22. An Alberta company wants to revolutionise geothermal energy here and around the world. Reportage numérique de CBC Radio-Canada.

2023/11/17. Fort Liard's geothermal champion not deterred by poor study results. Reportage numérique de CBC Radio-Canada.

8. Renseignements financiers

Les fonds attribués par l'INQ à la Chaire ont été rendus disponibles à l'INRS en décembre 2022 seulement. Aucune dépense des fonds attribués par la Chaire n'a été effectuée pour l'année fiscale 2022-2023 à cause des délais de transfert et puisque la Chaire bénéficiait d'autres sources de financement qui ont permis de réaliser un volume d'activités élevées (Section 6). Les dépenses des fonds attribués par l'INQ ont débuté lors de l'année fiscale 2023-2024 avec l'embauche d'une stagiaire postdoctorale dès avril. Une stagiaire de maîtrise et un étudiant au doctorat se sont depuis joints à l'équipe et leurs bourses sont assurées par les fonds attribués par l'INQ. Une mise à jour budgétaire a été transmise à l'INQ en septembre 2023 pour réajuster les dépenses de la Chaire. Il est maintenant prévu de dépenser l'ensemble des fonds disponibles pour la Chaire (199 999\$) lors des deux dernières années du

second mandat. La ventilation des dépenses prévues et le budget ajusté de la Chaire sont disponibles à l'Annexe 3.

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 et l'amélioration de la santé des habitants du Nord. Ainsi, la Chaire de recherche INQ sur le potentiel géothermique du Nord entend collaborer activement avec les Chaires de recherche sur le développement durable du Nord et sur la santé respiratoire des habitants du Nord et les services de santé. Cette collaboration s'est concrétisée par le passé avec le projet de Lexique Nordique impliquant les différentes chaires de l'INQ. En effet, le titulaire de la Chaire a été le principal chercheur attiré à ce projet financé par le programme DIALOGUE des Fonds de recherche du Québec. Son leadership a permis de sécuriser un financement qui a pu bénéficier à d'autres groupes de recherche pour effectuer des capsules vidéo sur des thématiques variées en relation avec le nord. Par ailleurs, le titulaire de la Chaire et son équipe prévoient constamment s'impliquer dans le symposium annuel de l'INQ pour tenter de rassembler les trois titulaires de chaire lors de cet événement important.

Le titulaire de la Chaire était auparavant responsable du groupe de travail sur les énergies nouvelles et renouvelables de l'INQ. Cette responsabilité a été transférée au professeur L. Gosselin (Université Laval) et le titulaire de la Chaire est maintenant codirecteur de l'axe de recherche 5 qui concerne les ressources naturelles dans la programmation scientifique de l'INQ. Le titulaire de la Chaire entend s'impliquer activement dans le renouvellement de la programmation de recherche de l'INQ, une tâche qui devra être réalisée en collaboration avec les autres titulaires de chaires.

10. Description du lien avec les regroupements stratégiques du FRQ L'utilisation d'énergie propre et abordable est un élément essentiel pour un développement durable et

Le titulaire de la Chaire est membre de deux regroupements stratégiques du FRQNT, soit le Centre d'études nordiques et le Réseau québécois sur l'énergie intelligente.

Le CEN est un centre de recherche basé à l'Université Laval qui gère un important réseau d'infrastructures qui s'étend du biome boréal jusqu'au Haut-Arctique canadien. Grâce au FRQNT, le CEN constitue un

Regroupement stratégique interuniversitaire et multidisciplinaire qui, en partenariat avec les communautés nordiques et les organisations publiques et privées, œuvre pour le développement durable du Nord. La participation du titulaire de la Chaire au CEN assure ainsi une expertise en énergie dans ce regroupement. Le titulaire de la Chaire est coleader de l'axe de recherche 1 du CEN sur les approches de recherche innovantes adaptées au Nord et a aidé au renouvellement du financement du CEN auprès du FRQNT. Le titulaire de la Chaire est aussi impliqué dans le projet de construction d'une nouvelle station de recherche à Umiujaq, station à laquelle on souhaite intégrer des pieux géothermiques et réaliser un suivi de la performance de ce système.

La nécessité de la transition énergétique implique un important effort de recherche, d'expérimentation, de mise au point et de collaboration pour que le Québec puisse jouer un rôle important étant donné la force, reconnue au plan international, de ses équipes de recherche en ce domaine. C'est ce que le RQEI, basé à l'Université du Québec à Trois-Rivières, s'efforce de faire avec une programmation de recherche qui vise les systèmes véhiculaires verts et intelligents, la gestion intelligente des systèmes stationnaires, et le stockage et la conversion de l'énergie. L'implication du titulaire de la Chaire au sein du RQEI assure ainsi une expertise nordique dans ce regroupe. Cette expertise est utile pour des travaux entourant les systèmes énergétiques des communautés nordiques isolées ainsi que le stockage d'énergie sous forme de chaleur.

11. Description des actions de la chaire en matière de développement durable

La Chaire de recherche est particulièrement active pour l'avancement de deux objectifs de développement durable des Nations Unies, soit les objectifs 7 et 13.

Objectif 7 - Garantir l'accès de tous à des services énergétiques fiables, durables et modernes, à un coût abordable. Les travaux de la Chaire visent à faciliter le développement des systèmes géothermiques de toutes sortes dans les communautés nordiques isolées. Les systèmes géothermiques peuvent contribuer à un approvisionnement énergétique fiable, particulièrement pour le chauffage qui est essentiel à la sécurité dans le Nord. Ainsi, nos travaux sont réalisés pour aider au développement d'une expertise locale qui permettra d'implémenter les systèmes géothermiques à un coût plus abordable. C'est en développant de telles ressources locales que les communautés du Nord pourront limiter l'importation de produits pétroliers et améliorer leur autonomie énergétique.

Objectif 13 - Prendre d'urgence des mesures pour lutter contre les changements climatiques et leurs

répercussions. Les populations du nord sont lourdement affectées par les changements climatiques bien qu'ils n'en soient pas responsables. Les systèmes géothermiques peuvent aider à réduire les émissions de gaz à effet de serre tout en ayant une faible empreinte au sol et un impact environnemental minime. Les travaux de recherche de la Chaire, particulièrement ceux liés à des projets de démonstration qui permettent une réduction directe des émissions de gaz à effet de serre, sont un pas dans la bonne direction pour la lutte aux changements climatiques. C'est en multipliant ces projets pilotes qui mèneront à des projets réalisés à une plus grande échelle qu'un impact global sera perçu dans la lutte aux changements climatiques.

12. Annexes – Aperçu des travaux et activités réalisés par la Chaire

Annexe 1

Miranda, M.M., Comeau, F.-A., Raymond, J., Gosselin, L., Grasby, S.E., Wigston, A., Dehghani-Sanij, A., Sternbergh, S., et Perreault, S., 2022. Geothermal resources for energy transition: A review of research undertaken for remote northern Canadian communities. European Geologist 54.
<https://doi.org/10.5281/zenodo.7882811>

Annexe 2

Reportage numérique de CBC Radio-Canada. 2023/11/17. Fort Liard's geothermal champion not deterred by poor study results.

Annexe 3

Mise à jour budgétaire soumise à l'INQ en septembre 2023.