



# Recherche réglementaire de la CCSN sur le stockage en formations géologiques

**Peter Elder, vice-président  
et conseiller scientifique principal  
Direction générale du soutien technique  
Le 10 octobre 2017  
Kingston (ON)**



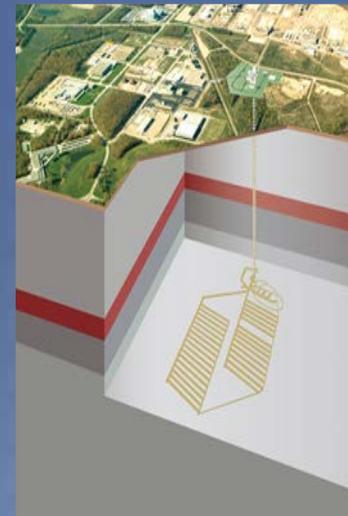
# Contenu

- La Commission canadienne de sûreté nucléaire, l'organisme de réglementation nucléaire du Canada
- Deux projets en cours au Canada pour le stockage en formations géologiques
- Justification et vue d'ensemble de la recherche de la CCSN sur le stockage en formations géologiques
- Projets de recherche en cours et état d'avancement
- Acronymes

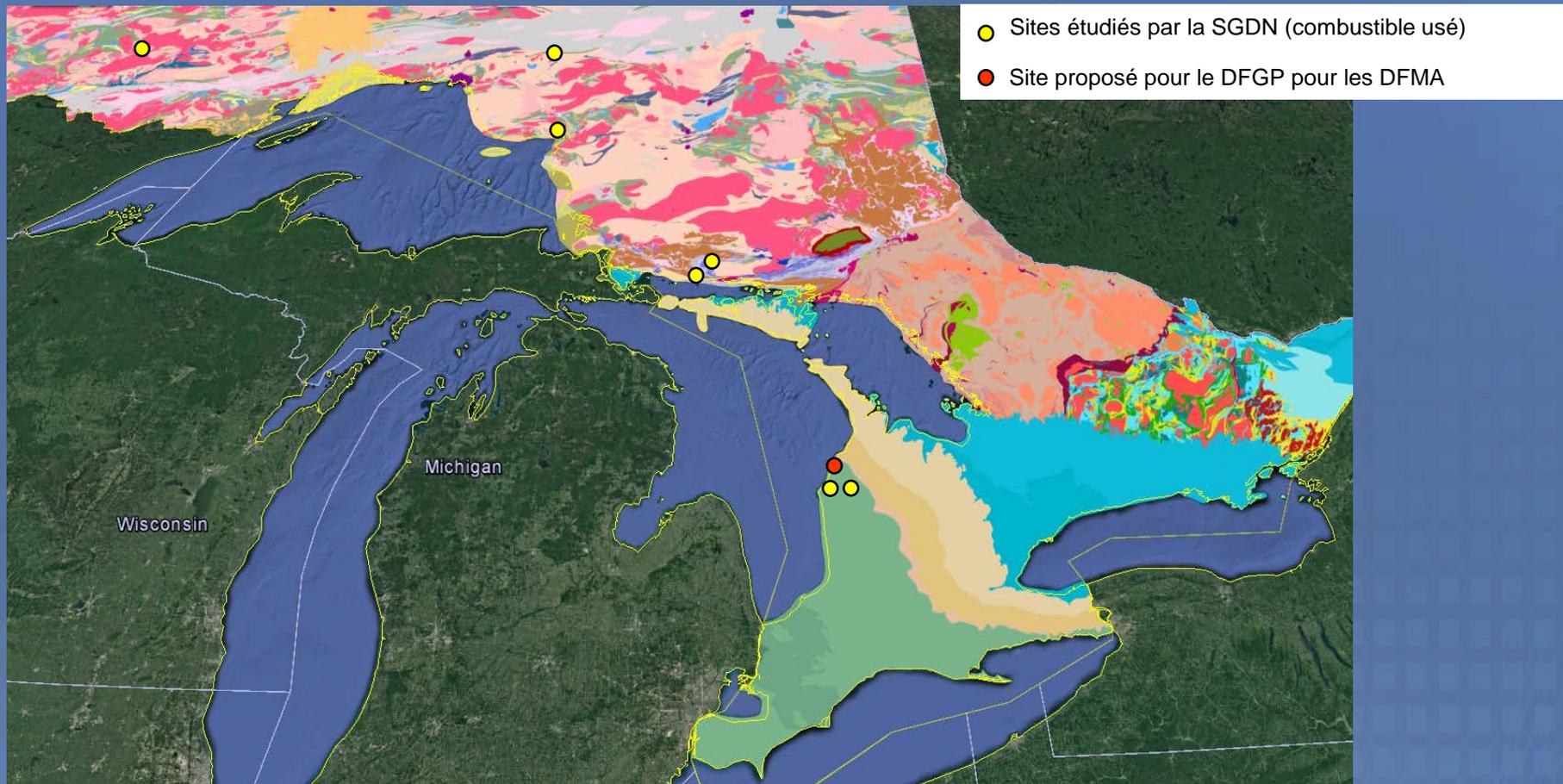


# Commission canadienne de sûreté nucléaire

- La Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN) :
  - réglemente l'utilisation de l'énergie et des matières nucléaires afin de préserver la santé, la sûreté et la sécurité, et de protéger l'environnement
  - respecte les engagements internationaux du Canada à l'égard de l'utilisation pacifique de l'énergie nucléaire
  - diffuse de l'information technique, scientifique et réglementaire objective au public
- La CCSN réglemente toutes les installations et les activités liées au cycle du combustible nucléaire au Canada.



# Deux projets en cours de stockage en formations géologiques



Les roches cristallines et sédimentaires sont toutes les deux étudiées

# Justification et vue d'ensemble des recherches menées par la CCSN

- Les projets de stockage en formations géologiques peuvent durer des décennies (du concept à la mise en oeuvre).
- L'intervention au début du processus de l'organisme de réglementation est considérée comme une pratique exemplaire internationale pour être à l'avant-garde des percées technologiques, sociales et réglementaires.
- La recherche indépendante de l'organisme de réglementation est un aspect important de cette participation.
- La CCSN optimise ses ressources en collaborant à l'échelle nationale et internationale tout en développant son expertise.
- Objectif de la recherche : avoir les compétences nécessaires à la CCSN pour formuler des recommandations éclairées lors du processus d'autorisation
- Le résumé des résultats de recherche se trouve [sur le site Web de la CCSN](#).



# Chronologie de la recherche effectuée par la CCSN (1)

- La chronologie de la recherche de la CCSN est résumée sur un [graphique](#) montrant :
  - le lien entre la recherche de la CCSN et les projets de stockage en formations géologiques des promoteurs
  - la façon dont les résultats ont été utilisés par la CCSN pour examiner les soumissions des promoteurs et pour formuler des recommandations aux autorités responsables
- La CCEA (le prédécesseur de la CCSN) a commencé ce programme de recherche à la fin des années 1970 pour se préparer à l'examen du concept d'EACL pour la gestion en formations géologiques du combustible utilisé dans la roche cristalline.

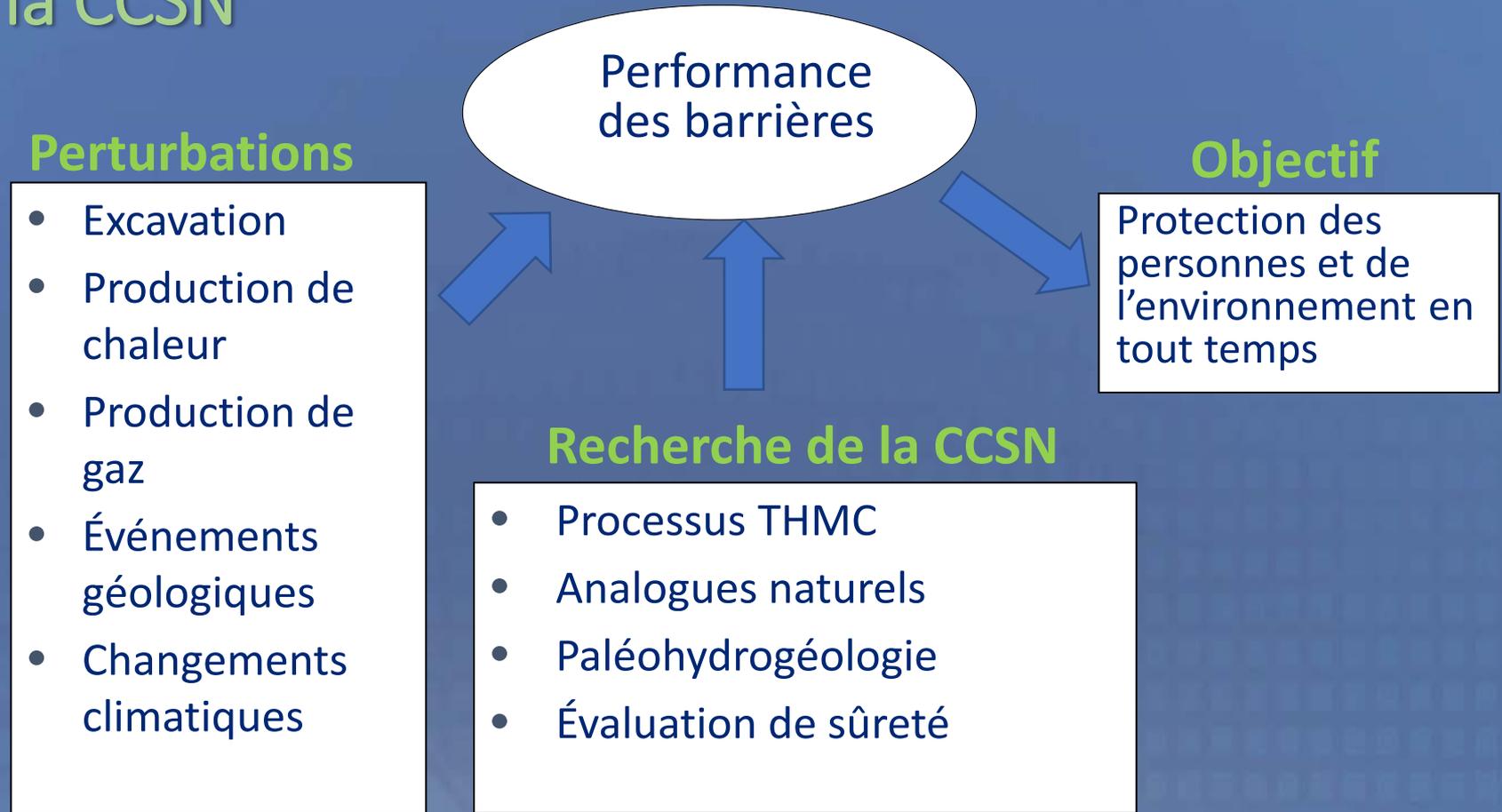


# Chronologie de la recherche effectuée par la CCSN (2)

- La CCEA a conclu en 1996 que le concept d'EACL était acceptable et a recommandé que le CANADA entame le processus de sélection d'un site.
- Les recherches menées par la CCEA et la CCSN se poursuivent depuis 1996. Les résultats ont permis et permettront à la CCSN de donner des recommandations fondées sur la science concernant :
  - la sûreté à long terme d'un DFGP de DFMA dans des roches sédimentaires proposé par OPG
  - le processus de sélection de site de la SGDN pour le combustible usé du Canada et la future demande de permis pour la construction de l'installation sur un site choisi



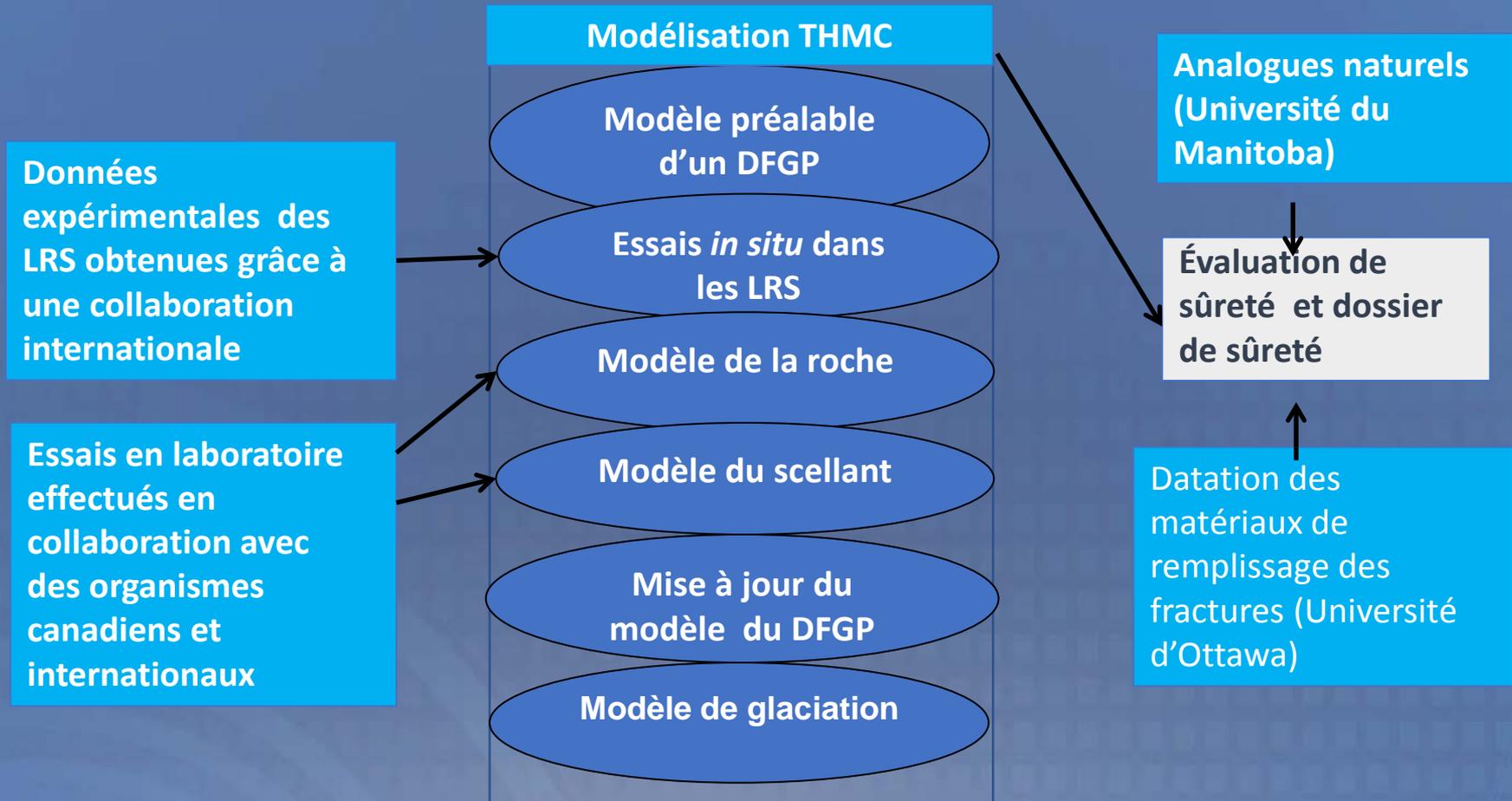
# Programme coordonné d'évaluation et de recherche de la CCSN



La recherche de la CCSN porte sur la sûreté du stockage en formations géologiques



# Projets de recherche en cours

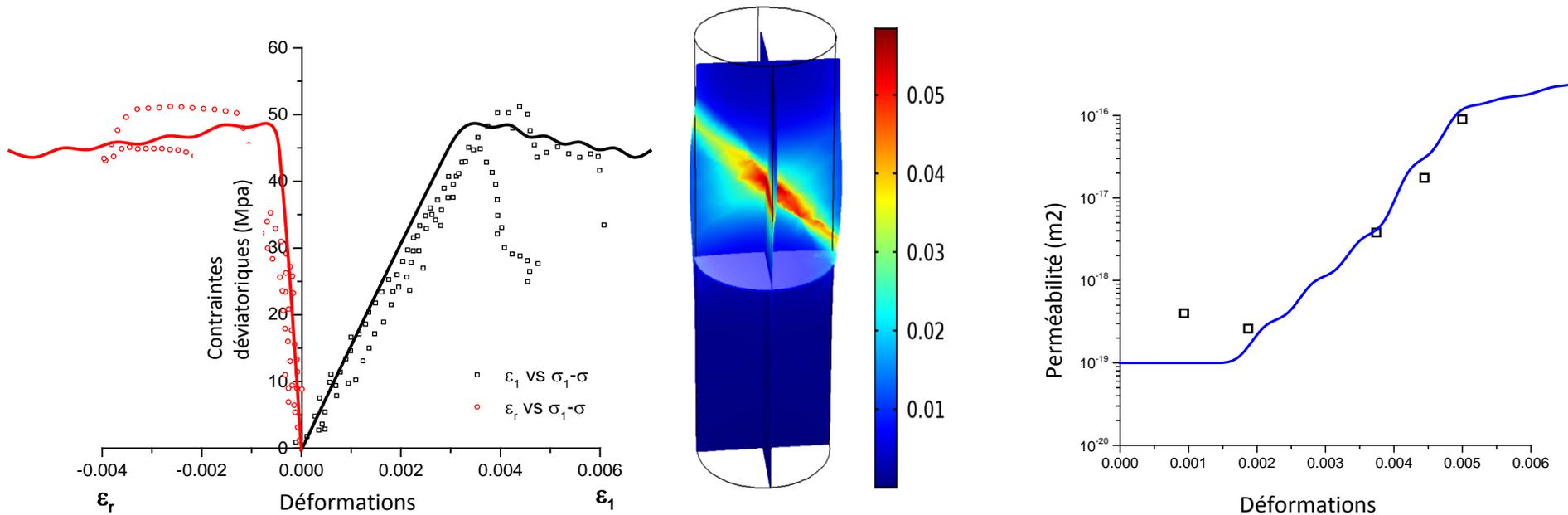


Ajout des données expérimentales avec la modélisation pour vérifier le dossier de sûreté

# Géomécanique

- Développement de modèles de comportement de l'argile d'Opalinus, de Tournemire et du calcaire de Cobourg
- Les modèles ont servi et ont permis de valider par simulation des essais en laboratoire et *in situ* d'excavation, et d'injection d'eau et de gaz.

# Géomécanique du calcaire de Cobourg – Essais triaxiaux avec mesures de perméabilité



La réponse hydraulique-mécanique est bien simulée par le modèle.  
Le modèle est un outil fiable pour estimer la zone d'endommagement attribuable à l'excavation.

# Comportement des scellants à base de bentonite

- Simulation d'un essai de chauffage (appelé HE) au laboratoire de recherche souterrain (LRS) du Mont Terri, en Suisse
- Simulation de l'essai SEALEX au LRS de Tournemire, en France
- Programme expérimental sur les effets de la saumure sur la bentonite

# Pression de gonflement de la bentonite



- La salinité est très élevée dans les eaux interstitielles des roches sédimentaires canadiennes.
- Des essais de gonflement à l'Université Queen's montrent une grande réduction du potentiel de gonflement de la bentonite infiltrée avec de la saumure.

**Les effets de la saumure sur la performance des scellants de bentonite doivent être pris en compte dans le programme canadien**

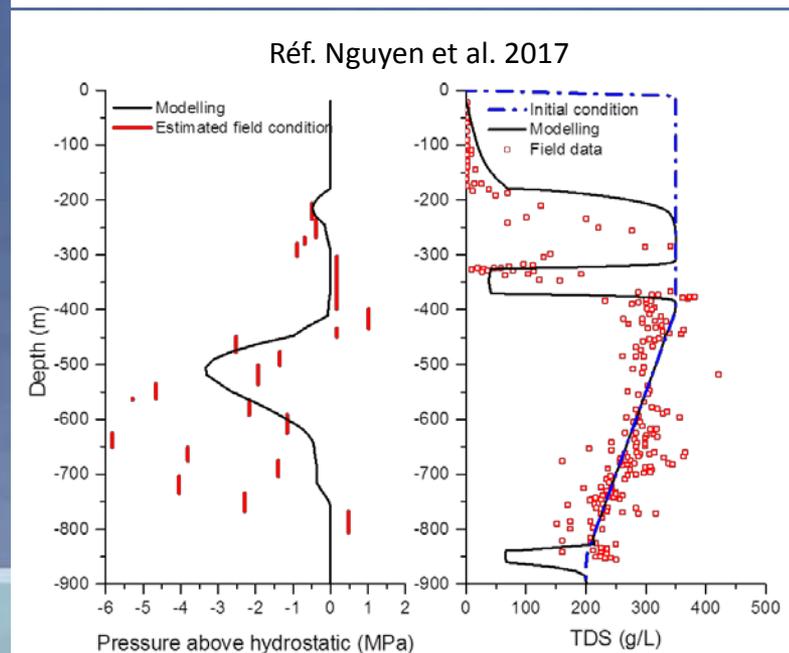
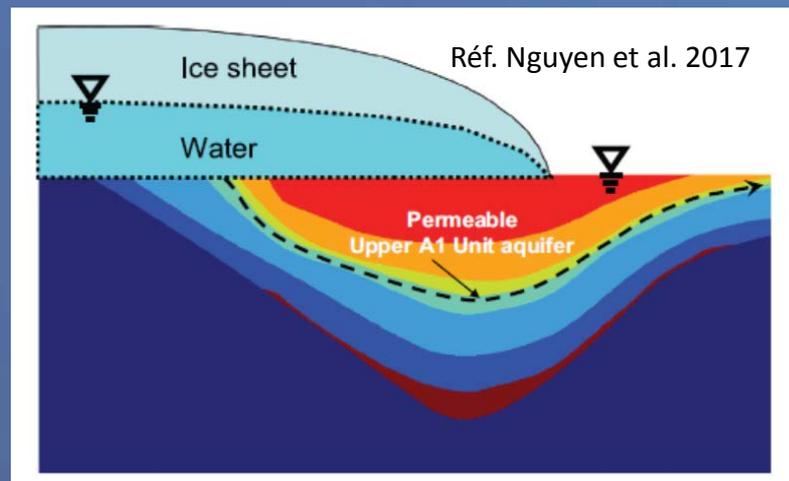
# DECOVALEX

- La CCSN prend part au projet DECOVALEX depuis 1992. Il s'agit d'une collaboration très fructueuse avec d'autres chercheurs sur les processus THMC.
- La CCSN participe à deux tâches dans la phase actuelle du DECOVALEX (D-2019):
  - transfert de gaz dans les matériaux peu perméables
  - glissement d'une faille induit par injection d'eau.



# Modélisation de la glaciation

- Il y a un million d'années, il y a eu neuf cycles de glaciation au Canada.
- Pour chaque cycle, la calotte glaciaire a subi une charge en surface de 30 à 40 MPa, ce qui entraîne :
  - une augmentation importante des gradients hydrauliques
  - une redistribution des traceurs naturels par advection, dispersion et diffusion.
- La CCSN a développé et validé un modèle mathématique du comportement de la roche sédimentaire pendant les neuf cycles de glaciation précédents autour d'un DFGP de DFMA proposé par OPG.



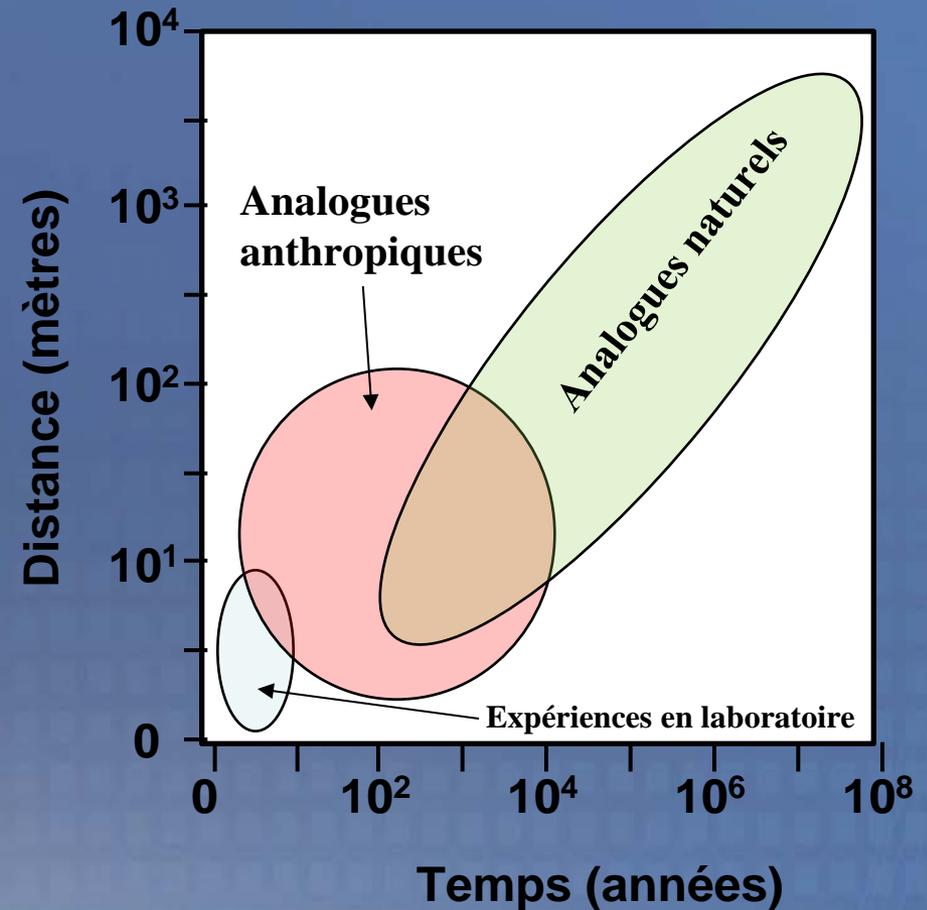
# Conclusions tirées de la modélisation de la glaciation

- La modélisation mathématique et les données sur le terrain présentent des éléments de preuves multiples montrant qu'au site de la DFGP pour les DFMA :
  - la roche hôte, la formation rocheuse et les eaux souterraines n'ont pas été affectées par les neuf cycles de glaciation du dernier million d'années
  - les eaux souterraines dans les roches hôte et la formation rocheuse ont été formées depuis des centaines de millions d'années et sont demeurées pratiquement stagnantes (le transport des solutés est régi par la diffusion)
  - les Grands Lacs ont été formés par les cycles de glaciation du Quaternaire – les plans d'eaux de surface comme les Grands Lacs sont restés isolés des eaux souterraines profondes.



# Examen des analogues naturels et anthropiques (1)

- Faire le pont entre la durée des essais en laboratoire et la période de temps requise (souvent plus grande que 10 000 ans) pour l'évaluation de sûreté
  - Les études des analogues donnent plus de confiance envers la sûreté des DFGP en fournissant des données sur des échelles géologiques et spatiales qui ne peuvent être reproduites avec des essais (voir la diapositive suivante).



# Examen des analogues naturels et anthropiques (2)

Un analogue canadien pour le terme source – Kiggavik (Nunavut)



- Image de carottes du minerai d'uranium provenant du End deposit, à Kiggavik, au Canada. À la zone 1, on aperçoit des minéraux d'uranium le long d'une fracture, tandis qu'aux zones 2 et 3 on trouve une minéralisation secondaire d'uranium dans une matrice argileuse .

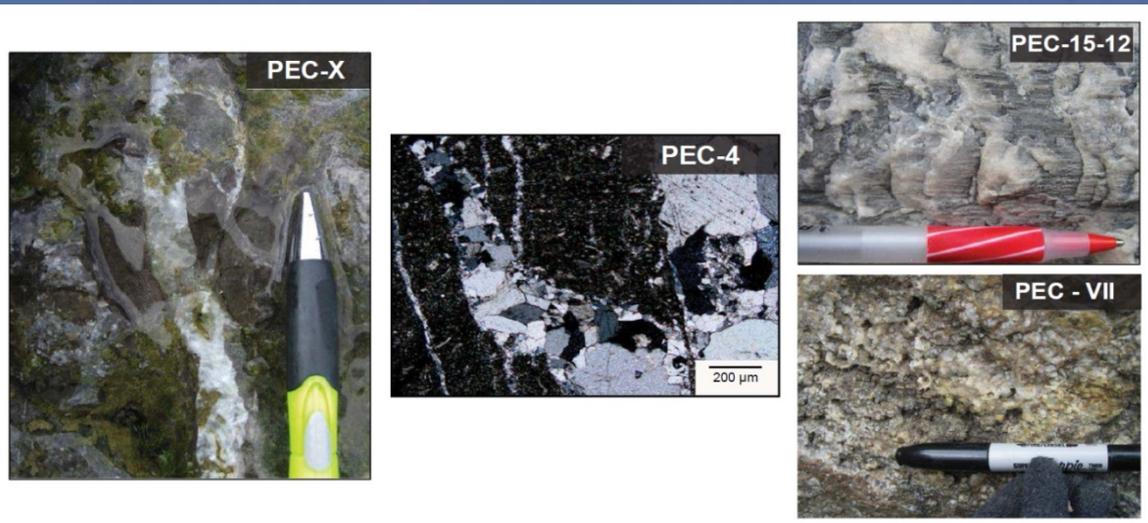
# Examen des analogues naturels et anthropiques (3)

- Conclusions et conséquences :
  - Les analogues fournissent des données pour le dossier de sûreté à long terme. Ils renforcent la confiance du public à l'égard des concepts de stockage en formations géologiques pour toutes les étapes du projet.
  - Les analogues nationaux peuvent susciter plus de soutien du public en raison de la familiarité géographique et culturelle.
  - Les analogues qui sont propres à un site ont encore plus de poids. Exemples : traceurs naturels et glaciation passée.
  - C'est en intégrant les analogues aux autres études (hydrogéologiques ou géomécaniques), y compris les essais de laboratoire, qu'on peut couvrir une grande marge spatio-temporelle.



# Recherche sur les fractures du sud de l'Ontario

- Examen de la possibilité de réactivation des failles du sud de l'Ontario par l'étude des fractures et de leurs matériaux de remplissage :
  - étude de terrain sur la stabilité de la géosphère
  - datation de l'âge absolu des matériaux de remplissage
  - soutien de l'évaluation des aléas sismiques.



# Matériau de remplissage des fractures – démarche analytique et conclusions

- Démarche analytique :
  - Cartographie sur le terrain et analyse structurale : 35 veines de calcite échantillonnées à partir de 15 affleurements; détermination géochimique d'oligoéléments sur 33 échantillons
  - Analyse d'isotopes stables de  $\delta^{13}\text{C}$  et  $\delta^{18}\text{O}$  sur 37 échantillons
  - Datation radiométrique
- Conclusions scientifiques :
  - Les fluides proviennent de sources éloignées et sont mobilisés à environ 100 Ma à travers les fractures produites à partir des structures du socle de Grenville.
  - Hypothèse : réorganisation de la plaque à 100 Ma

**Les fractures datent de millions d'années  
et n'ont pas été réactivées**



# Mot de la fin

- Les recherches de la CCSN sur la sûreté du stockage en formations géologiques ont commencé dès la fin des années 1970.
- La CCSN collabore avec d'autres organismes nationaux et internationaux.
- Les recherches menées par la CCSN permettent :
  - de développer son expertise de façon indépendante
  - de lui apporter une bonne crédibilité
  - d'offrir un fondement solide à ses décisions et recommandations relatives aux demandes de permis.



# Publications récentes

- G. Su, T.S. Nguyen, E. Haghghat, S. Pietruszczak, D. Labrie, J-D. Barnichon, and H. Abdi, 2016. Characterizing the mechanical behaviour of the Tournemire argillite. Geological Society of London, Special Publications: [SP443 Radioactive Waste Confinement: Clays in Natural and Engineered Barriers](http://sp.lyellcollection.org/cgi/reprint/SP443.20v1.pdf?ijkey=PYP8oeb2w1U2GID&keytype=finite). <http://sp.lyellcollection.org/cgi/reprint/SP443.20v1.pdf?ijkey=PYP8oeb2w1U2GID&keytype=finite>
- Z. Li, T.S. Nguyen, G. Su and J.D. Barnichon, 2016: Development of a visco-elastoplastic model for a bedded argillaceous rock from triaxial tests, *Canadian Geotechnical Journal*, doi: 10.1139/cgj-2016-0100
- J. Spalding, D.A. Schneider, J. Brown, 2016. Long-term stability at the edge of the Canadian Shield: insights from calcite-filled fracture inherited from basement structures, southern Ontario, Canada. GACMAC 2016 poster.
- M. Fayek and J.L. Brown, 2015. Natural and Anthropogenic Analogues for High-Level Nuclear Waste Disposal Repositories: A Review. Canadian Nuclear Safety Commission RSP-310. 59p.
- T.S. Nguyen and D.A. Le, 2014, Development of a constitutive model for a bedded argillaceous rock from triaxial and true triaxial tests, *Canadian Geotechnical Journal*, d.o.i. 10.1139/cgj-2013-0323
- T.S. Nguyen and D.A. Le, 2014, Simultaneous gas and water flow in a bedded argillaceous rock, *Canadian Geotechnical Journal*, d.o.i. 10.1139/cgj-2013-0457
- D.A. Le and T.S. Nguyen, 2014, Hydromechanical response of a bedded argillaceous rock formation to excavation and water injection, *Canadian Geotechnical Journal*, d.o.i. 10.1139/cgj-2013-0324
- T.S. Nguyen, Z. Li, J.D. Barnichon and B. Garitte, 2017. Modelling a heater experiment for radioactive waste disposal, *Environmental Geotechnics*, doi.org/10.1680/jenge.15.00060
- O. Nasir, T.S. Nguyen, J.D. Barnichon and A. Millard, 2017. Simulation of Hydromechanical behaviour of bentonite seals for containment of radioactive wastes, *Canadian Geotechnical Journal*, [doi.org/10.1139/cgj-2016-0102](https://doi.org/10.1139/cgj-2016-0102)
- M.H.B. Nasser, M. Tibbo, M. Sehzadeh, S. Ye, R.P. Young, G. Su and T.S. Nguyen, 2016, “Coupled hydro-mechanical properties of Cobourg limestone with special reference to excavation damaged zones”, European Geosciences Union fall meeting, Vienna
- T.S. Nguyen, Z. Li, G. Su and M. Herod, 2017. Swelling of bentonite hydrated with brine- a double porosity model, poster presentation, GEOPROC conference 2017
- T.S. Nguyen, Z. Li and M. Herod, 2017. Effects of glaciation on the rock formations around a proposed nuclear waste repository, oral presentation, GEOPROC conference 2017.



# Acronymes

- CCSN : Commission canadienne de sûreté nucléaire
- DFGP : dépôt dans des formations géologiques profondes
- DFMA : déchets de faible et de moyenne activité
- EACL : Énergie atomique du Canada limitée
- GAP : gestion adaptative progressive
- LRS : laboratoire de recherche souterrain
- OPG : Ontario Power Generation
- SGDN : Société de gestion des déchets nucléaires
- THMC : thermique-hydrologique-mécanique-chimique





Commission canadienne  
de sûreté nucléaire

Canadian Nuclear  
Safety Commission

# Questions?

**Merci!**



Canada 