

Introduction et sommaire

D. Lavoie^{1,2}, K. Dewing^{3*}, M. Bringué³, K.M. Fallas³, R.A. Fensome⁴,
S.A. Gouwy³, T. Hadlari³, P. Kabanov³, L.S. Lane³, S. Larmagnat¹,
R.B. MacNaughton³, K.T. McDannell^{3,5} et N. Pinet¹

Lavoie, D., Dewing, K., Bringué, M., Fallas, K.M., Fensome, R.A., Gouwy, S.A., Hadlari, T., Kabanov, P., Lane, L.S., Larmagnat, S., MacNaughton, R.B., McDannell, K.T. et Pinet, N., 2022. Introduction et sommaire; in Sedimentary basins of northern Canada: contributions to a 1000 Ma geological journey and insight on resource potential, (éd.) D. Lavoie et K. Dewing; Commission géologique du Canada, Bulletin 609, p. 11–22. <https://doi.org/10.4095/331203>

Résumé : Le programme Géocartographie de l'énergie et des minéraux (GEM) de la Commission géologique du Canada, en activité de 2008 à 2020, a grandement contribué à la connaissance des bassins sédimentaires du Nord dans l'archipel Arctique canadien, la baie d'Hudson et la partie continentale des Territoires du Nord-Ouest. L'objectif du programme était d'approfondir les connaissances de la géologie du Nord canadien, afin que l'industrie de l'exploration et les communautés du Nord puissent s'en servir pour prendre des décisions en matière d'exploration et de développement. Les progrès les plus importants sont présentés dans les articles de ce volume, et résumés dans le présent article d'introduction. Dans chaque région, les connaissances approfondies de la stratigraphie, acquises grâce au travail sur le terrain, aident les chercheurs à comprendre les paléoenvironnements, les variations d'épaisseur, les périodes d'interruption de la sédimentation et les périodes d'érosion. À leur tour, ces nouvelles connaissances permettent d'approfondir la compréhension de l'histoire tectonique de chaque région. Les projets du programme GEM ont mené à la création d'une vaste gamme de produits, comprenant des cartes géologiques et géophysiques, des données géochimiques et des articles scientifiques révisés par des pairs. Les produits les plus importants sont mentionnés dans les articles qui suivent.

Abstract: The Geo-mapping for Energy and Minerals (GEM) program (2008-2020) of the Geological Survey of Canada made important contributions to the understanding of northern sedimentary basins in the Canadian Arctic Islands, Hudson Bay, and the mainland Northwest Territories. The goal of the program was to advance the geological understanding of the Canadian north, which the exploration industry and northern communities could then use for decision-making related to exploration and development. The most important advances are outlined in the papers in this volume and summarized in this introductory paper. In each area, improvements in the stratigraphic understanding gained through fieldwork help researchers decipher paleoenvironments, thickness variations, timing of nondeposition, and timing of erosion. These in turn allow for improved understanding of the tectonic history of each area. GEM projects produced a vast array of products, from geological and geophysical maps and geochemical data to peer-reviewed scientific papers. Reference to the most important of these products is made in the individual papers.

¹Commission géologique du Canada, 490, rue de la Couronne, Québec (Québec) G1K 9A9

²Retraité

³Commission géologique du Canada, 3303–33rd Street N.W., Calgary (Alberta) T2L 2A7

⁴Commission géologique du Canada, 1 Challenger Drive, P.O. Box 1006, Dartmouth (Nouvelle-Écosse) B2Y 4A2

⁵Adresse actuelle : Department of Earth Sciences, Dartmouth College, Hanover, New Hampshire 03755 U.S.A.

*Auteur correspondant : K. Dewing (courriel : keith.dewing@nrcan-mcan.gc.ca)

INTRODUCTION

Le programme Géocartographie de l'énergie et des minéraux (GEM) de la Commission géologique du Canada (CGC) a été lancé en 2008, à la suite de consultations auprès des partenaires géoscientifiques provinciaux et territoriaux. L'objectif du programme était d'acquérir une compréhension moderne de la géologie de l'ensemble du Nord canadien, afin que l'industrie de l'exploration et les communautés du Nord puissent s'en servir pour prendre des décisions en matière d'exploration et de développement. En 2020, après 12 ans de recherche dans le Nord, la seconde phase du programme GEM s'est terminée. Au cours de ces deux phases (GEM-1 et GEM-2), entrecoupées d'un exercice de consolidation et de réflexion, le programme GEM a été la source de riches connaissances en géosciences fondamentales et appliquées, lesquelles ont contribué à la compréhension des bassins sédimentaires du Nord canadien.

Dans le cadre de la première phase du programme GEM (de 2008 à 2013), cinq projets de recherche ont été réalisés dans les bassins sédimentaires du Nord canadien (fig. 1), plus précisément ceux de l'est de l'Arctique, de l'ouest de l'Arctique, du Yukon, du delta et du corridor du Mackenzie, et de la baie d'Hudson-bassin Foxe. À l'exception du projet réalisé au Yukon, tous les projets comportaient des composantes terrestres et extracôtières. Ces nouvelles recherches géoscientifiques ont mené à la production d'un grand nombre de cartes géologiques et géophysiques, de rapports techniques, d'évaluations des ressources, d'articles publiés dans des revues scientifiques à comité de lecture, et de chapitres dans des ouvrages de synthèse.

En 2012, au moment où la première phase du programme GEM tirait à sa fin, de nouvelles activités de recherche ont été proposées pour pallier le manque de connaissances géoscientifiques essentielles dans les régions les moins connues du Nord canadien. Le projet « Opération GEM » visait 1) à consolider et

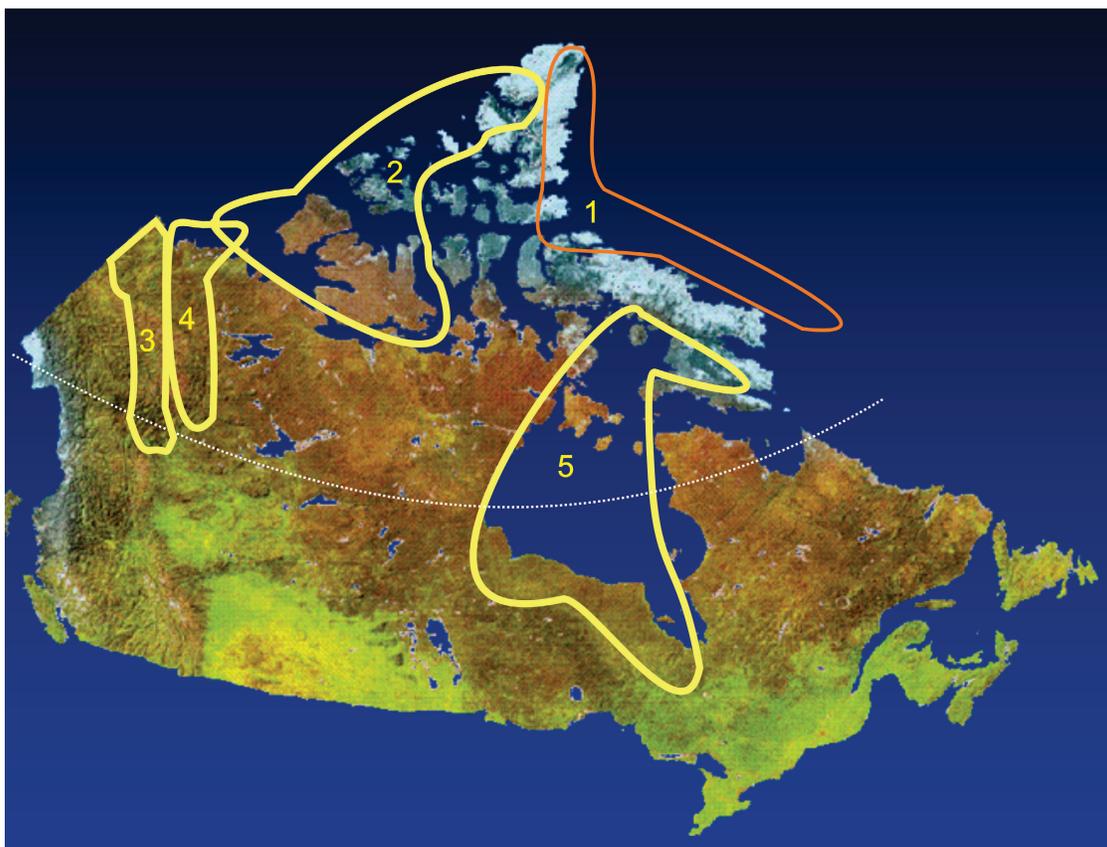


Figure 1. Limites schématiques des bassins sédimentaires étudiés au cours de la phase 1 du programme GEM. 1 = est de l'Arctique; 2 = ouest de l'Arctique; 3 = Yukon; 4 = delta et corridor du Mackenzie; 5 = baie d'Hudson-bassin Foxe. Image de fond *modifiée de* Géomatique Canada (2006).

à améliorer l'information existante; 2) à acquérir de nouvelles données géophysiques et géochimiques; 3) à mettre à l'épreuve de nouveaux modèles issus des travaux du programme GEM au moyen d'activités ciblées sur le terrain; et 4) à soutenir la planification liée aux travaux futurs. Deux activités de bureau fondées sur des données sismiques ont été définies dans le cadre du volet axé sur l'énergie dans le Nord : la cartographie du sous-sol (production de huit cartes publiées en 2013 dans la série des Cartes géo-scientifiques du Canada de la CGC, d'un rapport et d'un article scientifique publié dans une revue à comité de lecture); et les indicateurs d'hydrocarbures (production de deux articles portant sur la méthodologie publiés dans des revues à comité de lecture). Les deux activités s'appuyaient sur de volumineuses bases de données prélevées dans l'Arctique, à savoir des données sismiques terrestres et extracôtées, d'une part, et des données de puits, d'autre part.

À partir des résultats du programme GEM-1 et d'Opération GEM, les scientifiques de la CGC ont été mobilisés pour formuler des hypothèses scientifiques fondamentales à l'échelle régionale, assorties d'implications d'ordre économique, qui pourraient être mises à l'épreuve sur le terrain au cours d'une seconde phase du programme GEM. Les activités de recherche du programme GEM-2 (de 2013 à 2020) ont été réalisées dans six domaines géologiques, et quatre projets étaient conçus pour vérifier des hypothèses scientifiques dans les bassins sédimentaires suivants (fig. 2) : Baffin, ouest de l'Arctique, Mackenzie, et Hudson-Ungava. Dans un effort complémentaire pour produire des corrélations transarctiques fondamentales entre bassins sédimentaires, deux projets de recherche ont été définis : les corrélations de stratigraphie événementielle, et l'historique d'enfouissement et d'exhumation à l'échelle régionale dans le Nord canadien.

Les réalisations scientifiques découlant des projets du programme GEM dans l'est de l'Arctique et la baie de Baffin sont présentées dans un bulletin distinct. Le présent bulletin offre une synthèse des activités du programme GEM dans les bassins sédimentaires des régions de l'ouest de l'Arctique (y compris le bassin de Sverdrup), du Yukon, de Mackenzie et de la baie d'Hudson, de même que celles réalisées dans le cadre

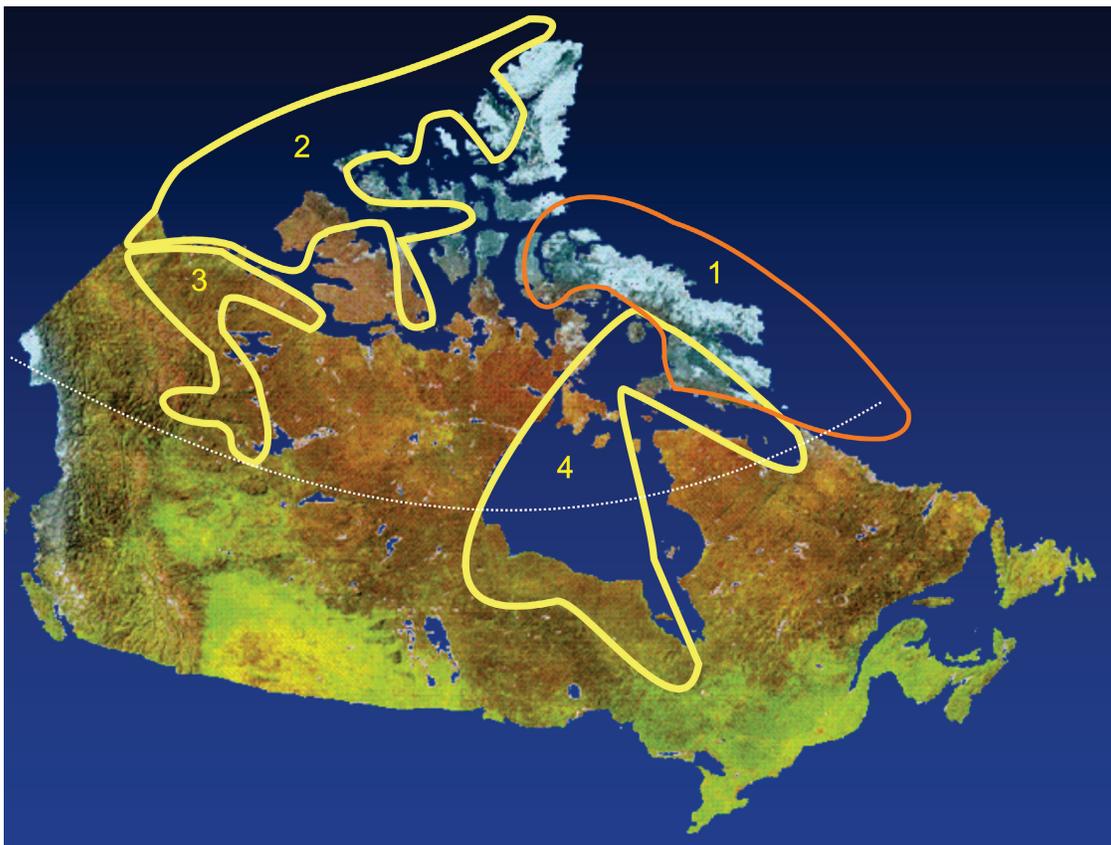


Figure 2. Limites schématiques des bassins sédimentaires étudiés au cours de la phase 2 du programme GEM. 1 = baie de Baffin; 2 = ouest de l'Arctique; 3 = Mackenzie; 4 = Hudson-Ungava. Image de fond *modifiée de* Géomatique Canada (2006).

de deux projets de recherche transarctiques. Des articles faisant état de trois activités thématiques sur le Dévonien sont également présentés, à savoir, dans la zone de projet de Mackenzie, la tectonostratigraphie du Dévonien et la biostratigraphie des conodontes du Dévonien, et dans les bassins de la baie d'Hudson et de Moose River, la synthèse stratigraphique du Dévonien. Les faits saillants de ces projets de recherche sont présentés ci-dessous. Des précisions se trouvent dans chacun des articles du présent bulletin, en plus, dans la plupart des cas, de la référence aux articles publiés dans les revues à comité de lecture, lesquels présentent les principaux progrès scientifiques réalisés en lien avec ces bassins sédimentaires.

FAITS SAILLANTS

Geo-mapping for Energy and Minerals program activities in the lower Paleozoic Franklinian succession in the Canadian Arctic Islands (Activités du programme Géocartographie de l'énergie et des minéraux dans la succession franklinienne du Paléozoïque inférieur dans l'archipel Arctique canadien) (par Dewing et Hadlari)

Les strates de la marge franklinienne, à prédominance d'unités du Paléozoïque inférieur, se sont déposées entre le Néoprotérozoïque et le Dévonien tardif et témoignent d'un cycle de Wilson complet, depuis le rifting de la Rodinia et l'établissement d'une marge passive (du Néoprotérozoïque à l'Ordovicien), puis la formation d'une marge instable (de l'Ordovicien au Dévonien moyen), jusqu'à la formation d'un bassin d'avant-pays et à sa déformation subséquente (Dévonien moyen et tardif). Les strates du Paléozoïque inférieur au gisement de Bent Horn constituent la source du seul pétrole produit dans le Haut-Arctique canadien. L'intervalle du Paléozoïque inférieur abrite aussi le vaste gisement de plomb-zinc de la mine Polaris.

Le projet de l'ouest de l'Arctique du programme GEM a cerné plusieurs problèmes et lacunes dans les connaissances géoscientifiques, à savoir : 1) la difficulté d'accéder aux données géochimiques et géologiques par voie électronique; 2) le manque de données sur certains éléments des systèmes pétroliers; 3) les lacunes importantes dans la couverture cartographique de la géologie de l'île Victoria; et 4) les lacunes dans la compréhension de la chronologie des événements tectoniques et de la provenance du terrane de Pearya. Ces lacunes ont été comblées en premier lieu par l'entremise de nombreux dossiers publics de la CGC, tous avec un titre commun commençant par « Geological and geochemical data from the Canadian Arctic Islands » (données géologiques et géochimiques en provenance de l'archipel Arctique canadien), et d'une série de cartes géologiques numériques des îles de l'Arctique comportant une légende uniformisée, compilée par Harrison et ses collaborateurs. En deuxième lieu, des études sur le terrain et en laboratoire ont été réalisées dans les zones à fort potentiel de ressources, ce qui a mené à la rédaction d'articles sur l'origine du gisement de plomb-zinc de la mine Polaris, la caractérisation du gisement pétrolier de Bent Horn et l'évaluation des niveaux de maturité thermique. En troisième lieu, la première carte géologique du nord-ouest de l'île Victoria a été produite à partir des travaux réalisés sur le terrain de 2009 à 2011. Enfin, des études de l'âge et de la provenance des grès du terrane de Pearya et des zones adjacentes ont été amorcées, afin de déterminer quand le terrane de Pearya est devenu une source de sédiments pour la marge nord de la Laurentie.

En plus de recherches visant à déterminer le potentiel économique de l'archipel Arctique, le volet sur le Paléozoïque inférieur du projet de l'ouest de l'Arctique du programme GEM a servi à soutenir des projets d'étudiants des cycles supérieurs sur les dépôts tidaux du Cambrien et la provenance des strates du Dévonien, de même que d'autres projets avec des collaborateurs universitaires sur la provenance des sédiments entre le Néoprotérozoïque et le Dévonien, et sur l'histoire tectonique de la marge laurentienne. Le projet a également servi de soutien à un vaste ensemble de travaux sur les strates du Paléozoïque supérieur et du Mésozoïque dans l'archipel Arctique. Ces travaux sont décrits ailleurs dans ce volume.

Les principales conclusions de ces études sont notamment qu'au moins certaines parties du terrane composite de Pearya dans le nord de l'île d'Ellesmere ont toujours été proches de leur position actuelle et ne sont donc pas des blocs ayant été déplacés sur de grandes distances. La clarification des relations tectoniques dans cette région aide à la reconstitution de l'ouverture de l'océan Arctique, et ultimement aux revendications du Canada dans l'océan Arctique. La prospectivité en hydrocarbures d'une grande partie

de la succession du Paléozoïque inférieur est limitée à la fois par la grande ancienneté de la formation des hydrocarbures et le fait que, à de nombreux endroits, les hydrocarbures ont migré avant la formation de pièges. Les zones où la prospectivité est la plus élevée se trouvent probablement à proximité de la marge sud du bassin de Sverdrup.

Hudson Bay, Hudson Strait, Moose River, and Foxe basins: synthesis of Geomapping for Energy and Minerals (GEM) program activities from 2008 to 2018 (Bassins de la baie d'Hudson, du détroit d'Hudson, de Moose River et Foxe : synthèse des activités du programme Géocartographie de l'énergie et des minéraux [GEM] de 2008 à 2018) (par Lavoie, Pinet et al.)

Le bassin de la baie d'Hudson et ses bassins satellites (Moose River, Foxe et détroit d'Hudson) forment ce qu'on appelle la Plate-forme d'Hudson. Cette succession consiste principalement en unités carbonatées du Paléozoïque. Avant le programme GEM, ce domaine en grande partie marin était, sur le plan géologique, le domaine sédimentaire le moins connu au Canada. De 2008 à 2018, des scientifiques de la CGC et du Bureau géoscientifique Canada-Nunavut, en collaboration avec les services géologiques et les universités de l'Ontario et du Manitoba, ont réalisé de nombreuses activités de recherche, axées sur trois thèmes majeurs : l'architecture stratigraphique, le cadre tectonique, et les systèmes pétroliers.

La stratigraphie de l'Ordovicien et du Silurien est résumée à l'aide d'un cadre régional unique dont les unités sont corrélées dans l'ensemble de la zone d'étude, y compris la partie extracôtière. L'architecture stratigraphique de la succession du Dévonien est présentée dans l'un des articles du présent bulletin. Ces nouvelles synthèses d'importance découlent de vastes travaux en zone terrestre, de travaux sur des puits d'exploration terrestres et extracôtiers, lesquels ont mené à la production de nouveaux profils géophysiques et stratigraphiques, et enfin de nouvelles données biostratigraphiques et chimiostratigraphiques.

Un nouveau cadre tectonique est fondé sur la réévaluation des données sismiques marines disponibles et l'intégration de nouvelles données biostratigraphiques. Le modèle fait ressortir l'existence de discordances majeures, et entraîne la définition d'un nouveau cadre chronologique pour l'évolution tectonique du bassin. Depuis le début de la formation du bassin de la baie d'Hudson à l'Ordovicien tardif jusqu'à une importante interruption à la fin du Silurien et au Dévonien précoce, le bassin était tectoniquement actif. Il y avait alors formation de nombreuses failles, en grande partie régies par un important épisode de déformation (orogénèse salinique) qui s'est produit le long de l'ancienne marge continentale du sud de la Laurentie. Par la suite, au cours du Dévonien moyen et tardif, le bassin de la baie d'Hudson a évolué en un bassin d'affaissement tectoniquement inactif, à mesure que le régime tectonique le long de la marge laurentienne passait d'une accretion en direction du nord-ouest, au Silurien tardif et Dévonien précoce, à la collision oblique dirigée vers le sud-ouest de l'orogénèse acadienne, au Dévonien.

Une première vague d'exploration à la recherche d'hydrocarbures dans le bassin de la baie d'Hudson, réalisée de 1970 à 1985, a mené au forage de cinq puits extracôtiers infructueux. Au milieu des années 1980, l'industrie a quitté la région, citant comme motifs le manque de roches mères à l'échelle régionale et un enfouissement insuffisant. De nouvelles recherches sur les roches mères ont permis de clarifier le potentiel des shales de l'Ordovicien supérieur, dans lesquels les hydrocarbures peuvent se former aux températures d'un faible enfouissement. Diverses techniques ont été utilisées pour retracer l'histoire thermique/d'enfouissement de ce vaste bassin; des méthodes axées sur la matière organique et sur les minéraux ont été testées, avec des résultats divergents qui indiquaient tantôt des roches immatures, tantôt des conditions se situant dans la fenêtre à huile. De multiples formations de roches poreuses de l'Ordovicien au Dévonien susceptibles d'être des réservoirs d'hydrocarbures sont présentes, et cinq nouvelles zones d'exploration importantes ont été proposées au cours du programme GEM. La présence de systèmes pétroliers actifs est appuyée par les éléments suivants : 1) la présence de pétrole mort et de pétrole libre dans plusieurs unités de roches poreuses en milieu terrestre; 2) la réévaluation des profils de puits extracôtiers, indiquant que plusieurs forages ont raté des zones productives; et 3) la détection de possibles nappes d'hydrocarbures naturelles dans les eaux de surface à partir d'images satellite et d'images radar aériennes recueillies sur plusieurs années.

Overview of the age, evolution, and petroleum potential of the Eagle Plain Basin, Yukon (Aperçu de l'âge, de l'évolution et du potentiel pétrolier du bassin d'Eagle Plain, au Yukon) (par Lane et al.)

Les activités du programme GEM ont mené à la production de nouvelles cartes géoscientifiques cadres, de publications de synthèse, et d'évaluations de ressources énergétiques dans les bassins sédimentaires du Yukon. Une grande partie de l'étude était centrée sur le bassin d'Eagle Plain et les bassins adjacents, ainsi que sur leurs bordures déformées dans le nord du Yukon. Les nouvelles données sur la cartographie de la surface et du sous-sol, la biostratigraphie, la géochimie, la pétrologie organique et l'histoire thermique ont permis d'acquérir une nouvelle compréhension de l'évolution structurale, de l'histoire sédimentaire et du potentiel en ressources de la région.

Une analyse thermochronologique multicinétique des traces de fission dans l'apatite (TFA) a permis de préciser l'histoire thermique des bassins du nord du Yukon. De nouvelles méthodes de modélisation ont été peaufinées et testées au cours du programme GEM, puis mises en application pour cerner l'histoire thermique de la région. Les premières interprétations indiquent qu'au moins deux cycles distincts de réchauffement-refroidissement se dégagent des données de TFA. Ces résultats laissent aussi supposer que les sédiments déposés dans le bassin d'Eagle Plain provenaient de l'est de même que du sud, et que la charnière du bassin est située approximativement le long de la limite est des strates du Crétacé conservées.

Ces nouveaux résultats viennent appuyer et étendre les interprétations antérieures du Groupe d'Eagle Plain, à savoir que celui-ci se serait déposé principalement dans un milieu de plate-forme continentale marine, avec de nouveaux indices de l'existence d'un milieu de talus marin dans l'ouest du bassin. Cela représente une possible nouvelle zone d'exploration pétrolière.

Les progrès dans la connaissance de l'âge et de l'histoire sédimentaire du Groupe d'Eagle Plain découlent de l'étude de nombreuses nouvelles localités fossilifères, d'une nouvelle datation radiométrique U-Pb sur zircon d'un horizon de bentonite, et de datations supplémentaires de zircons détritiques tirés des unités de grès. La Formation de Parkin, l'unité basale du groupe, est datée du Cénomanién, quoiqu'elle puisse comprendre des strates de la fin de l'Albien dans les parties ouest (les plus profondes) du bassin. La Formation de Fishing Branch sus-jacente est mal datée, mais localement, elle est du Cénomanién. On a démontré que les formations de Burnthill Creek et de Cody Creek sont diachrones dans l'ensemble du bassin. Un nouvel échantillonnage a permis de circonscrire l'âge de ces formations entre le Santonien et le Maastrichtien dans le nord-est. La marge orientale du bassin comporte la plus mince coupe conservée, ce qui témoigne de sa position à proximité de la charnière du bassin, à l'est de laquelle la subsidence au Crétacé tardif a été faible ou nulle.

Une nouvelle évaluation des ressources pétrolières à partir des données et des publications du programme GEM comprend des zones d'exploration pétrolière conceptuelles non définies antérieurement, de même qu'une évaluation qualitative du potentiel en pétrole et en gaz non conventionnels. Une étude distincte d'établissement de portée recourant aux publications du programme GEM a fait part du potentiel en pétrole et en gaz non conventionnels au Yukon et a conclu que des systèmes pétroliers à réservoirs peu perméables sont présents dans le bassin. De plus, le projet a vraisemblablement stimulé l'activité économique du secteur privé d'une valeur de 120 millions de dollars, offrant ainsi des possibilités d'emplois aux résidents du Nord.

Bedrock mapping and stratigraphic studies in the Mackenzie Mountains, Franklin Mountains, Colville Hills, and adjacent areas of the Northwest Territories, Geo-mapping for Energy and Minerals program 2009–2019 (Cartographie du substratum rocheux et études stratigraphiques dans les monts Mackenzie, les monts Franklin, les collines Colville et les régions adjacentes des Territoires du Nord-Ouest, programme Géocartographie de l'énergie et des minéraux, 2009-2019) (par McNaughton et Fallas)

Au cours du programme GEM, les projets réalisés dans la région de Mackenzie des Territoires du Nord-Ouest étaient fortement multidisciplinaires et collaboratifs. Lors de la première phase du programme, les travaux dans la région étaient centrés sur des études liées aux ressources énergétiques. Parmi ces travaux,

on compte notamment la réalisation de la première évaluation probabiliste des ressources pétrolières dans la zone continentale des Territoires du Nord-Ouest, de nouveaux travaux de cartographie du substratum rocheux et de stratigraphie (y compris des levés de sismique-réflexion) dans la région entourant le champ pétrolifère en exploitation de longue date de Norman Wells, et des études liées aux systèmes pétroliers et gaziers dans la région du delta du Mackenzie et de la mer de Beaufort. Au cours de la seconde phase du programme GEM, la cartographie du substratum rocheux et les travaux stratigraphiques connexes se sont étendus à une région plus vaste des Territoires du Nord-Ouest. Cet article présente les progrès réalisés sur les plans de la cartographie et de la stratigraphie au cours des deux phases du programme, et résume brièvement d'autres aspects des travaux.

Au début du programme GEM, la géologie du substratum rocheux de grandes parties des Territoires du Nord-Ouest était représentée par des cartes sur papier au niveau de détail variable, publiées dans une variété de formats et fondées sur des travaux de reconnaissance réalisés à la fin des années 1960. Au cours des deux phases du programme GEM, l'un des objectifs principaux pour la région de Mackenzie était de mettre à jour la couverture cartographique du substratum rocheux à l'échelle régionale de zones clés, de même que de créer des produits cartographiques exploitables par les SIG. Les activités de cartographie du programme GEM-1 ont été concentrées dans la région entourant le champ pétrolifère de Norman Wells, laquelle englobait la partie est des monts Mackenzie, la plaine Mackenzie, les monts Franklin, et des parties adjacentes de la plaine du Grand lac de l'Ours. Lors de la phase GEM-2, les activités se sont d'abord déplacées au nord dans les collines Colville, une région connue pour son potentiel pétrolier et gazier, puis à l'ouest dans la zone à ressources minérales de la partie nord des monts Mackenzie. Les données archivées et bien conservées des travaux de reconnaissance antérieurs ont abondamment servi lors des travaux de cartographie des deux phases du programme. Au moment de la rédaction du présent article, 14 nouvelles cartes à l'échelle de 1/100 000 (plaine Mackenzie et monts Mackenzie adjacents) et quatre à l'échelle de 1/250 000 (collines Colville) ont été publiées. Six autres cartes du nord des monts Mackenzie à l'échelle de 1/100 000 sont sous presse ou en cours de préparation. Au total, les cartes couvriront près de 92 000 km² de territoire. Les nouvelles cartes confirment que les structures antérieures à l'orogénèse du Laramide et les structures laramidiennes ont toutes contribué à l'évolution de la région.

L'évolution géologique des régions cartographiées est inscrite dans les strates âgées du Tonien (Néoprotérozoïque précoce) au Paléocène-Éocène. Depuis la production des cartes du substratum rocheux des années 1960, un grand nombre de clarifications et de révisions de la nomenclature lithostratigraphique ont été proposées, lesquelles touchent pratiquement l'ensemble de la stratigraphie de la région. Dans le cadre des activités cartographiques du programme GEM, la terminologie mise à jour a été appliquée à l'ensemble de la région, de manière uniforme. De plus, il s'est révélé être souhaitable de réviser la lithostratigraphie formelle de plusieurs unités du Tonien, de l'Édiacarien et du Cambrien dans les monts Mackenzie. Comme les rapports qui portent sur l'intervalle crucial entre l'Édiacarien et le Cambrien sont toujours en préparation, l'article dans ce volume présente un résumé de l'usage stratigraphique plutôt qu'une synthèse de l'évolution stratigraphique. Les références à des rapports de synthèse du programme GEM publiés à l'externe, lesquels traitent de l'évolution des régions à l'est des monts Mackenzie au cours du Phanérozoïque, sont également incluses.

Devonian of the Mackenzie (Le Dévonien de la région de Mackenzie) (par Kabanov)

Cet article examine les strates du Dévonien-Mississippien des régions cartographiques (SNRC 96 et 106) couvertes par les activités de cartographie géologique du substratum rocheux du projet Mackenzie du programme GEM et les environs. Les mises à jour découlant de l'activité sur le cadre stratigraphique du Dévonien du projet Mackenzie du programme GEM y sont mises en évidence. Les strates examinées sont situées dans le prolongement nord du Bassin sédimentaire de l'Ouest du Canada (BSOC), lequel est connu dans certains ouvrages anglophones sous l'appellation de « Canadian Mainland Sedimentary Basin ». Tout comme dans le cas du BSOC, les strates examinées renferment un important système pétrolier caractérisé par une grande épaisseur de roches mères de grande qualité situées dans l'intervalle du Dévonien moyen et supérieur et regroupées dans le Groupe de Horn River (GHR). Une prospectivité en ressources pétrolières additionnelle est indiquée par la présence de shales du Dévonien terminal-Mississippien précoce dans le coin nord-ouest de la zone étudiée.

Les strates du Dévonien ont une épaisseur généralement bien supérieure à 1 km dans les coupes non érodées; elles affleurent de manière très étendue dans la Cordillère et sont présentes dans le sous-sol des Plaines intérieures adjacentes. Les principaux assemblages stratigraphiques sont les suivants : 1) des unités carbonatées et évaporitiques d'eau peu profonde de plate-forme du Silurien terminal-Eifélien; 2) des shales de bassin, des mudrocks siliceux et des bancs carbonatés isolés de l'Eifélien terminal-Frasnien, regroupés dans le GHR; et 3) une épaisse succession silicoclastique à granocroissance ascendante du Frasnien-Tournaisien, déposée dans le milieu distal du bassin d'avant-pays ellesmérien. L'examen de la nomenclature lithostratigraphique est complété par des faits saillants sur les milieux de dépôt et les modèles de maturité thermique dans le GHR. Cet examen est l'occasion d'approfondir la compréhension des surfaces stratigraphiques délimitant les formations et comprises à l'intérieur de celles-ci, ce qui mène à des réinterprétations et soulève des questions pour des recherches futures.

Le GHR fait l'objet de mises à jour particulièrement détaillées en raison de la mise en application à grande échelle des outils chimiostatigraphiques. Dans la partie centrale de la vallée du Mackenzie, des profils détaillés d'analyse élémentaire par plasma à couplage inductif et de pyrolyse sur des intervalles carottés de shale noir fournissent d'additionnels facteurs limitatifs pour la détermination des subdivisions. Les profils de U et de Mo normalisés en fonction de la concentration d'aluminium ont révélé l'existence de quatre principaux horizons où l'anoxie était plus prononcée, lesquels peuvent être corrélés à l'échelle globale en tant que « épisodes de shale noir du Dévonien ». Dans les formations de Hare Indian et de Canol et la partie basale de la Formation d'Imperial, six nouveaux membres ont été définis et deux membres existants ont été redéfinis en combinant l'information provenant d'observations, de diagraphies de puits et de la chimiostatigraphie. Les levés de spectrométrie gamma des affleurements de référence du GHR confirment les corrélations avec les coupes dans les puits. Les horizons d'anoxie plus prononcée et les subdivisions établies dans la partie centrale de la vallée du Mackenzie peuvent être suivis sur de grandes distances et à travers les zones de faciès grâce à une combinaison de diagraphies par spectrométrie gamma et de diagraphies en forage classiques. Dans la zone où il y a particulièrement peu de puits, dans l'ouest de la plaine et du plateau Peel, des levées de fluorescence X à dispersion d'énergie sur des échantillons de déblais de forage produisent de solides profils de la concentration des oxydes majeurs, ce qui permet d'augmenter la résolution obtenue à partir d'anciennes diagraphies en forage. Les mises à jour quant aux sommets des formations dans les données de puits d'exploration découlant de ces travaux sont très importantes; elles peuvent être consultées dans les publications associées au projet.

Devonian conodont biostratigraphy of the Mackenzie Mountains, western part of the Northwest Territories (Biostratigraphie des conodontes du Dévonien dans les monts Mackenzie, dans la partie ouest des Territoires du Nord-Ouest) (par Gouwy)

Les strates du Dévonien des monts Mackenzie font l'objet de recherches sur la biostratigraphie des conodontes depuis le début des années 1970. La croissance de la plate-forme continentale du Dévonien inférieur et de la partie inférieure du Dévonien moyen, son ennoyage subséquent accompagné du dépôt de shales noirs riches en matière organique (shales de Hare Indian et de Canol) et enfin la formation de faciès de plate-forme et de faciès récifal (calcaire de Remparts) sont à l'origine d'une succession de paléoenvironnements diversifiés, caractérisés par une faune de conodontes variée. Par comparaison avec les données sur les conodontes du bassin de Selwyn, dans la partie ouest des monts Mackenzie, il est possible d'établir des corrélations entre les dépôts de plate-forme continentale et les dépôts au large de celle-ci.

L'aperçu des connaissances actuelles sur la biostratigraphie des conodontes du Dévonien dans les monts Mackenzie s'appuie sur la réévaluation des données disponibles combinée à l'examen du nouveau matériel biostratigraphique suivant les unités stratigraphiques. Des cartes de répartition des unités donnent une idée de l'étendue des formations dans les monts Mackenzie. Deux tableaux chronostratigraphiques présentent la stratigraphie du Dévonien des parties nord et sud des monts Mackenzie en lien avec la biozonation des conodontes, depuis les premiers dépôts surmontant la discordance subdévonienne jusqu'à la partie inférieure des formations d'Imperial et de Fort Simpson. Ces tableaux pourront servir de cadre biostratigraphique lors de futures recherches sur le Dévonien de la région.

La mise à jour révèle que plusieurs assemblages et contacts de formations sont plus récents que le laissait supposer un tableau chronostratigraphique antérieur.

Plusieurs formations et membres sont maintenant mieux encadrés dans les tableaux. La mise à jour indique aussi dans les tableaux les intervalles pour lesquels aucune donnée n'est disponible et ceux pour lesquels davantage de recherches sont nécessaires afin de bien délimiter les formations dans la biozonation des conodontes du Dévonien.

Regional and global correlations of the Devonian stratigraphic succession in the Hudson Bay and Moose River basins from onshore Manitoba and Ontario to offshore Hudson Bay (Corrélations régionales et globales de la succession stratigraphique du Dévonien dans les bassins sédimentaires de la baie d'Hudson et de Moose River, depuis la région côtière du Manitoba et de l'Ontario jusqu'à la zone extracôtière de la baie d'Hudson) (par Larmagnat et Lavoie)

Le bassin de la baie d'Hudson est le plus grand bassin intracratonique en Amérique du Nord. Les premières descriptions géologiques, surtout stratigraphiques et paléontologiques, ont été réalisées au milieu du XX^e siècle. Elles consistaient en descriptions de successions lithologiques en milieux terrestre et extracôtier ayant produit une nomenclature et des cadres stratigraphiques locaux, difficiles à corrélés d'une région à l'autre. Au début du programme GEM, l'un de ses principaux objectifs était d'acquérir une connaissance unifiée, ou du moins moderne, de la succession stratigraphique de l'ensemble de ce vaste domaine géologique. Cet article présente le cadre stratigraphique proposé après neuf ans (de 2008 à 2017) de travaux portant sur de nouvelles données lithostratigraphiques, biostratigraphiques et chemostratigraphiques du Dévonien dans l'ensemble du bassin, tant en milieu terrestre qu'extracôtier.

Les successions terrestres du Dévonien inférieur à supérieur dans le nord-est du Manitoba et le nord de l'Ontario qui sont présentes dans les basses terres de la baie d'Hudson et le bassin de Moose River sont intégrées dans un cadre stratigraphique unique. Au nord, dans la zone extracôtier du bassin de la baie d'Hudson, la nomenclature stratigraphique est unifiée en un cadre modifié unique, lequel est maintenant corrélé avec celui d'autres successions situées plus au sud. Les données biostratigraphiques et chemostratigraphiques ont été déterminantes dans l'établissement de ces corrélations.

Les tendances de la signature des isotopes stables du carbone ($\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$, où VPDB est le standard de référence Vienna Pee Dee Belemnite) dans les unités carbonatées du Dévonien inférieur et moyen du bassin de Moose River et des basses terres de la baie d'Hudson servent aux corrélations régionales et sont comparées aux départs de la courbe globale de la composition des isotopes stables du carbone du Dévonien. Les importants départs positifs de la courbe de $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ à l'échelle globale nous fournissent des indices quant à la possible position stratigraphique de l'évasive limite entre le Silurien et le Dévonien dans la Plate-forme d'Hudson.

La succession du Dévonien de la Plate-forme d'Hudson appartient à la séquence de Kaskaskia de l'Amérique du Nord. La stratigraphie de la succession de la Plate-forme d'Hudson est comparée à celles des bassins intracratoniques de Williston et de Michigan, lesquelles sont toutes caractérisées par une prédominance de roches carbonatées-évaporitiques. Dans ces trois bassins intracratoniques, deux épisodes de formation de récifs dont les âges concordent approximativement (Emsien tardif à Eifélien et Givétien précoce) sont reconnus, où les coraux et les stromatopores constituent les principaux organismes constructeurs des récifs.

Les récifs du Dévonien et les faciès dolomités de la Plate-forme d'Hudson présentent une porosité importante et pourraient former de volumineux réservoirs d'hydrocarbures. Dans les puits extracôtiers, certains intervalles présentent d'importants indices locaux directs et pétrophysiques de l'existence d'une charge en hydrocarbures.

Geo-mapping for Energy and Minerals program: activities in the Sverdrup Basin, Canadian Arctic Islands (Programme Géocartographie de l'énergie et des minéraux : activités dans le bassin de Sverdrup, dans l'archipel Arctique canadien) (par Hadlari)

Le bassin de Sverdrup est l'homologue continental d'un bassin de rift adjacent, qui s'est finalement ouvert pour former le bassin amériasien, l'une des parties constitutives de l'océan Arctique. Il témoigne de l'histoire d'un milieu continental réagissant aux événements tectoniques à la paléomarge du Pacifique de l'Amérique du Nord au Carbonifère et au Crétacé précoce, puis à la tectonique d'extension liée à l'ouverture de la partie nord de l'océan Atlantique au Crétacé tardif et au Cénozoïque.

La première des quatre principales phases de formation du bassin de Sverdrup correspond au dépôt de strates dans des bassins d'extension, au Carbonifère et au début du Permien. D'importantes roches mères d'hydrocarbures se sont formées au cours de la subsidence prononcée de la deuxième phase, du milieu du Permien au Trias tardif. La troisième phase correspond à un autre épisode de rifting déjà en cours au Jurassique précoce qui a culminé par une rupture au Crétacé précoce et l'expansion subséquente des fonds marins dans le bassin amériasien, ce qui a mené à la subsidence de marge passive de la quatrième phase, jusqu'à la transition vers un soulèvement et une érosion liés à l'orogénèse eurékienne au Cénozoïque.

Le programme GEM a permis d'approfondir la connaissance du cadre géoscientifique du bassin de Sverdrup, surtout en ce qui concerne la tectonique, le potentiel pétrolier et minéral, la chronostratigraphie, les paléoenvironnements et les paléoclimats. Les principaux résultats sont ceux qui se concentrent sur l'intervalle stratigraphique qui couvre les périodes syn-rift, de rupture et post-rift liées à l'ouverture du bassin amériasien. L'étude de cet intervalle s'est faite grâce à l'interaction de plusieurs disciplines géoscientifiques. On a découvert que de nombreuses roches antérieurement cartographiées comme étant des laves volcaniques étaient en fait des filons-couches, ce qui a permis, en combinaison avec les preuves de terrain de l'existence de coulées volcaniques plus haut dans la coupe, de resserrer les corrélations entre les roches volcaniques de la grande province ignée du Haut-Arctique et la stratigraphie sédimentaire. À l'inverse, de nouvelles couches de cendres ont été identifiées et datées dans les strates du Crétacé inférieur, élargissant ainsi la période connue d'activité volcanique. L'intégration de la chimiostratigraphie et de la biostratigraphie a produit de nouvelles limites d'âge pour la succession post-rift dans la Formation d'Isachsen, ce qui a finalement permis d'insérer les roches magmatiques dans le cadre géochronologique. L'origine de la marge de divergence de l'ouest de l'Arctique a été précisée et clarifiée grâce à la combinaison de méthodes propres aux domaines de la biostratigraphie, de la pétrologie ignée et de la géochronologie, de la chimiostratigraphie, de la chronostratigraphie radiométrique, de la géologie structurale, et de la tectonostratigraphie. On a ainsi montré que la grande province ignée du Haut-Arctique fait partie de la succession post-rift, de formation plus récente que la rupture, et ses éléments se sont mis en place lorsque l'épaisseur de la croûte du bassin amériasien était probablement semblable à celle d'aujourd'hui.

The 2020 Canada datapack for TimeScale Creator: a new tool for Mesozoic–Cenozoic stratigraphy of the Canadian North (Le dossier de données Canada 2020 pour TimeScale Creator : un nouvel outil pour la stratigraphie du Mésozoïque-Cénozoïque du Nord canadien) (par Bringué et al.)

La biostratigraphie est une discipline fondamentale pour la compréhension de l'histoire géologique du Nord canadien. Traditionnellement, la biostratigraphie se fonde sur des schémas de zonation qui intègrent des aspects liés à l'extension des espèces. De tels schémas sont encore largement utilisés, surtout en ce qui concerne les macrofossiles. Au cours des dernières décennies, certaines sous-disciplines micropaléontologiques se sont plutôt appuyées sur des sélections d'événements plutôt que sur les zones. Les promoteurs d'une approche événementielle affirment que celle-ci favorise une meilleure intégration d'une région à l'autre et entre les groupes de fossiles. Ainsi, l'élaboration d'un schéma événementiel pour le Mésozoïque et le Cénozoïque dans l'ensemble des régions couvertes par le programme GEM a été amorcée en 2017 dans le cadre de l'activité de stratigraphie événementielle trans-GEM.

La disponibilité de TimeScale Creator® en début d'activité en a toutefois modifié quelque peu l'orientation. TimeScale Creator est un progiciel Java géré par la Geologic TimeScale Foundation de l'Université Purdue, en Indiana. Ce progiciel gratuit permet d'explorer et de créer des tableaux de n'importe quelle partie de

l'échelle des temps géologiques à partir d'une longue série d'événements globaux et régionaux. TimeScale Creator est conçu pour contenir des quantités illimitées de données, qui peuvent ensuite être téléchargées de manière sélective. De plus, les utilisateurs de la version professionnelle peuvent y ajouter leurs propres données. Les données dans TimeScale Creator sont regroupées par sous-discipline, par région, ou autrement, sous forme d'ensemble de données appelés « datapacks » ou dossiers de données.

Même si l'activité de stratigraphie événementielle trans-GEM conservait comme priorité la stratigraphie événementielle de caractère biostratigraphique, une attention égale a été accordée à l'élaboration d'un nouveau dossier de données pour TimeScale Creator afin d'y incorporer les données stratigraphiques des régions du programme GEM, dans l'optique de faciliter la visualisation, la comparaison et la corrélation des données dans et entre les régions du programme GEM grâce au contenu accumulé. Un aspect des objectifs modifiés de l'activité consistait en l'incorporation des données révisées et mises à jour de l'intervalle du Mésozoïque-Cénozoïque d'un dossier de données Canada antérieur compilé par la TimeScale Foundation dans le cadre d'un contrat de la CGC en 2010, mais dont la qualité des données n'avait pas été vérifiée. Ce dossier antérieur comprenait à la fois des données lithostratigraphiques et biostratigraphiques. L'un des principaux avantages d'utiliser TimeScale Creator est que le progiciel est révisé périodiquement et que l'étalonnage de l'échelle des temps géologiques est régulièrement mis à jour. Ces mises à jour s'appliquent ensuite automatiquement à l'âge absolu des événements ou des limites de zones, facilitant ainsi la comparaison des données stratigraphiques.

Le nouveau dossier de données Canada 2020 comprend à la fois de nouvelles données et des données vérifiées et importées du précédent dossier de 2010. Le dossier Canada 2020 se concentre sur la lithostratigraphie et la biostratigraphie du Mésozoïque-Cénozoïque, et sur la stratigraphie événementielle lorsque possible. Il comprend des données stratigraphiques révisées de même que de nouvelles entrées, dont un grand nombre proviennent des activités de recherche financées dans le cadre du programme GEM. Une attention particulière a été accordée à la mise à jour des horizons d'ammonites du Jurassique du bassin de Sverdrup et du nord du Yukon. De nouveaux ensembles de données lithostratigraphiques et palynostratigraphiques pour le bras de mer Labrador-Baffin sont inclus, ce qui vient combler une lacune fondamentale dans la couverture spatiale et chronologique des strates canadiennes dans TimeScale Creator. Parmi les autres ajouts dignes de mention au dossier de données Canada 2020, citons la série d'ensembles de données biostratigraphiques de foraminifères benthiques des strates du Jurassique supérieur au Cénozoïque du bassin de Beaufort-Mackenzie, extraites de cinq tableaux de l'*Atlas géologique de la région de Beaufort-Mackenzie* (Dixon, 1996). Enfin, en raison de leur pertinence pour le contrôle (bio) stratigraphique des strates d'âge équivalent dans le Nord canadien, plusieurs ensembles de données qui ne proviennent pas directement ni principalement des régions visées par le programme GEM sont aussi inclus.

Exhuming the Canadian Shield: preliminary interpretations from low-temperature thermochronology and significance for the sedimentary succession of the Hudson Bay Basin (Exhumation du Bouclier canadien : interprétations préliminaires de la thermochronologie de basse température et importance pour la succession sédimentaire du bassin de la baie d'Hudson) (par McDannell et al.)

Le Bouclier canadien est une entité géomorphologique caractérisée par des pénéplaines de roches cristallines en grande partie anciennes, datant de l'Archéen et du Paléoprotérozoïque, ayant subi un métamorphisme élevé et exposées à la surface. La différence d'âge entre la plupart des roches du Bouclier canadien et les roches sédimentaires de couverture du Phanérozoïque est considérable. Elle représente un hiatus de plus de 2 milliards d'années, soit plus de 50 % de l'histoire de la Terre qui est absente des archives géologiques. La présence de vestiges de bassins intracratoniques d'âge protérozoïque ainsi que de roches sédimentaires de plates-formes fragmentées du Paléozoïque dans l'ensemble de l'archipel Arctique canadien et dans le bassin de la baie d'Hudson indique que ce paysage a été enfoui par intermittence dans le passé. Toutefois, comme la majeure partie du Bouclier canadien est exempte de preuves d'un enfouissement sédimentaire, la question du moment, de l'étendue et de l'ampleur de l'érosion et de l'enfouissement sédimentaire demeure sans réponse. Les principales questions liées à l'évolution de ce paysage sont les suivantes :

- L'historique de l'enfouissement sédimentaire et de l'exhumation du Bouclier canadien est-elle uniforme, diachronique ou les deux?
- Les bassins sédimentaires conservés sont-ils intacts, ou ont-ils été latéralement ou verticalement plus étendus dans le passé? Si tel est le cas, y a-t-il des indices qui appuient une connectivité des bassins?
- Quel est le potentiel en hydrocarbures des bassins reconstitués, et comment est-il lié à celui des bassins productifs ou des bassins des zones pionnières qui renferment des ressources connues en hydrocarbures?

Le projet trans-GEM des historiques de basse température à l'égard du potentiel en ressources a été amorcé dans le but d'étudier l'historique d'érosion et d'enfouissement à l'échelle continentale à l'aide de la thermochronologie de basse température par les traces de fission dans l'apatite (TFA). La détermination de l'âge par TFA est fondée sur la quantification de la relation entre les traces de dommages produits dans les cristaux d'apatite au cours d'épisodes de fission spontanée causés par la désintégration radioactive de l'uranium 238 (^{238}U). L'âge « apparent » des traces de fission est proportionnel au temps écoulé depuis la formation de traces appréciables dans un cristal donné par rapport à sa teneur en uranium parent, alors que la répartition des longueurs de traces mesurées produit des renseignements sur son histoire thermique, puisque le recuit des traces de fission dépend de la température. Au moment de leur formation initiale, les traces sont longues, mais lorsqu'elles sont soumises à un réchauffement, elles raccourcissent progressivement par effet de recuit. La relation entre le recuit des traces de fission, la température et la composition chimique de l'apatite a été étalonnée au cours de multiples expérimentations en laboratoire. Cette relation a ensuite été extrapolée à l'échelle des temps géologiques pour servir à la reconstitution de l'histoire thermique des roches. La méthode des traces de fission dans l'apatite est généralement sensible aux températures comprises entre 60 °C et 120 °C, mais cette fourchette peut varier en fonction de la composition chimique de l'apatite.

Dans le cadre de ce projet, des données de TFA issues d'échantillons de roches cristallines du substratum rocheux de l'ensemble du Bouclier canadien ont été obtenues, afin d'en recréer l'historique d'érosion et d'enfouissement au cours du Phanérozoïque. Les résultats préliminaires indiquent que les roches du Bouclier canadien de l'île Southampton (au nord de la baie d'Hudson) et du nord de l'Ontario ont été enfouies sous environ 2 à 4 km de sédiments au cours de l'Ordovicien et jusqu'au Dévonien, et qu'une partie de ces sédiments a par la suite été enlevée par érosion. Les historiques thermiques modélisés pour l'Ontario indiquent que le bassin de la baie d'Hudson s'étendait plus loin au sud que ses affleurements actuels, et révèlent que la région a été enfouie sous une faible épaisseur de sédiments au Crétacé, lorsque le niveau de la mer était élevé. Ces modèles sont appuyés par la préservation locale de roches du Jurassique et du Crétacé inférieur dans le bassin de Moose River et par des études antérieures qui laissent supposer une extension à la Mer intérieure occidentale lors de l'Albien. La modélisation par inversion de l'histoire thermique vient aussi corroborer la thèse d'un enfouissement mineur au Crétacé dans l'île Southampton, d'une épaisseur d'environ 1 km à moins de 3 km, lequel pourrait avoir été concentré sur le plan structural par le système de failles du détroit d'Hudson. Les valeurs prédites pour la réflectance de la vitrinite vont généralement dans le même sens que les données mesurées dans la région de la baie d'Hudson, et les modèles d'histoire thermique laissent supposer que les roches ont atteint une maturité précoce pour l'huile au cours du Paléozoïque. Ces résultats, en plus de ceux d'autres études thermochronologiques publiées, appuient pour l'instant l'hypothèse selon laquelle les localités fragmentées où une couverture de roches sédimentaires du Paléozoïque et de la fin du Mésozoïque a été conservée pourraient avoir été quasi contiguës, avec des roches sédimentaires d'épaisseurs variables. Ces résultats impliqueraient également que l'érosion a été dominante au cours des intervalles du Paléozoïque terminal, du début au milieu du Mésozoïque, et du Cénozoïque.

RÉFÉRENCES

- Dixon, J. (éd.), 1996. Atlas géologique de la région de Beaufort-Mackenzie / Geological atlas of the Beaufort-Mackenzie area; Commission géologique du Canada, Rapport divers 59, 173 p. <https://doi.org/10.4095/207658>
- Géomatique Canada, 2006. Image satellite / Satellite image; Série de cartes de référence du 100^e anniversaire de l'Atlas du Canada n° 8, 1 affiche (sixième édition). <https://doi.org/10.4095/295435>