

**Les enjeux reliés aux levés sismiques dans l'estuaire et le golfe
du Saint-Laurent – Le potentiel gazier et pétrolier**

Mémoire présenté au BAPE par

Pierre-André Bourque, Géo., Ph.D.
Professeur émérite
Département de géologie et de génie géologique
Université Laval, Québec

André Desrochers, Géo. Ph.D.
Professeur agrégé
Département des Sciences de la Terre
Université d'Ottawa, Ottawa

Bruce Hart, Ph.D.
Assistant professor
Department of Earth and Planetary Sciences
Université McGill, Montréal

Donna Kirkwood, Géo., Ph.D.
Professeure agrégée
Département de géologie et de génie géologique
Université Laval, Québec

Michel Malo, Géo., ing., Ph.D.
Professeur-chercheur
INRS-ETE
Université du Québec, Québec

Mai 2004

PRÉSENTATION DES AUTEURS

Les auteurs de ce mémoire sont tous actifs en recherche fondamentale et appliquée. Ils sont intervenus à divers titres dans l'exploration pétrolière et gazière dans l'est du Québec.

Pierre-André Bourque, Géo. Ph.D.

Professeur émérite de l'Université Laval, au département de géologie et de génie géologique.

Monsieur Bourque a enseigné la géologie sédimentaire, incluant la géologie du pétrole, la paléontologie et la stratigraphie. Il est toujours titulaire d'un cours de géologie générale (Planète Terre), enseigné en salle à l'université, transmis régulièrement à la télévision au Canal-Savoir (13 émissions d'une heure chacune) et disponible au grand public sur internet.

Sa recherche porte sur l'évolution sédimentaire et diagénétique des milieux carbonatés anciens et l'analyse de bassins géologiques, en particulier sur l'implantation et le développement des complexes récifaux et leur potentiel comme roche-réservoir. Elle est subventionnée, entre autres, par le CRSNG (Conseil de Recherches en Sciences naturelles et en Génie du Canada). Son expérience en géologie du pétrole inclut des travaux d'expertise pour diverses sociétés pétrolières au Québec, en particulier depuis 1967 en Gaspésie, et à l'international, ainsi que de l'enseignement et de la formation pratique pour les ingénieurs de sociétés pétrolières en Algérie, au Maroc et au Québec. Il a mené des projets de recherche pour le compte du ministère des Ressources naturelles du Québec sur la stratigraphie et l'évolution paléogéographique du bassin de Gaspésie.

André Desrochers, Géo. Ph.D.

Professeur agrégé au département des sciences de la Terre de l'Université d'Ottawa.

Monsieur Desrochers est professeur en géologie sédimentaire depuis 1986 et a été directeur du département des sciences de la Terre de 1999 à 2002. Il y enseigne des cours sous-gradués et gradués en stratigraphie, sédimentologie et analyse de bassins sédimentaires avec des stages pratiques de terrain dans les milieux sédimentaires modernes (ex., Barbade, Antilles, Bermudes) et dans les bassins sédimentaires paléozoïques (ex., Mingan-Anticosti, Nouveau Mexique, Texas). Il possède une riche expérience dans l'élaboration, la mise en œuvre, et la coordination de programmes d'enseignement universitaire de premier, deuxième et troisième cycles en sciences de la Terre et de l'environnement. Il a contribué à la formation de plus de 25 jeunes chercheurs dans ces domaines de recherche.

Il détient des subventions de recherche du CRSNG. Il a travaillé depuis plus de 25 ans dans les successions sédimentaires des bassins d'Anticosti et de Sverdrup (Arctique canadien) et sur la caractérisation de leur potentiel en hydrocarbures, tout en réalisant des travaux de recherche pour le ministère des Ressources naturelles du Québec et la Commission géologique du Canada. Il a aussi réalisé des contrats de recherche pour des compagnies pétrolières au Québec et dans le grand Nord canadien.

Bruce Hart, Ph.D.

Professeur adjoint (*assistant professor*) au département des Sciences de la Terre et des Planètes de l'Université McGill.

Monsieur Hart enseigne la géophysique sismique, la séismostratigraphie, la stratigraphie séquentielle et les milieux sédimentaires. Sa recherche porte sur l'intégration de la sismique 2-D et 3-D, des diagraphies de forages et des données de surface pour décrypter la stratigraphie de sous-surface. Ses projets en cours incluent des études sur les essais de fractures dans les réservoirs clastiques et carbonatés à faible perméabilité, la détection de porosité dans des édifices calcaires (Ordovicien et Jurassique) et la cartographie de glissements de terrain sous-marins actuels à l'aide de la sismique de haute résolution. D'une manière générale, ses projets de recherche tentent d'établir des liens entre les propriétés physiques des roches et sédiments et leurs attributs sismiques.

Il travaille en particulier dans les bassins de San Juan, du Permien, de Williston, des Appalaches, du Sud de l'Alabama et de l'offshore canadien. Sa recherche est subventionnée, entre autres, par le CRSNG.

Donna Kirkwood, Géo. Ph.D.

Professeure titulaire au département de géologie et de génie géologique de l'Université Laval.

Madame Kirkwood assume les tâches d'enseignement et de recherche en géologie structurale et tectonique depuis 1995 au département de géologie et de génie géologique. Elle est responsable des cours de géologie structurale, de géologie pratique (méthodes de levés de terrain et de cartographie) et de géodynamique. Elle a également été appelée à assurer l'enseignement de nature plus générale pour le cours d'Introduction aux sciences de la terre.

Ses activités de recherche se font dans le domaine de l'analyse tectonique des environnements géologiques et la modélisation des milieux déformés et fracturés. Elle s'intéresse plus particulièrement à la migration syntectonique des paléo-fluides dans les avants-pays de chaînes de montagnes. Les résultats de ses recherches peuvent être appliqués au développement de réservoirs fracturés et à la migration des hydrocarbures associée aux mouvements orogéniques, à l'étude de la formation des gîtes minéraux en contexte tectonique, ainsi qu'à la migration des eaux souterraines et/ou des contaminants en milieu rocheux fracturé.

Elle entretient des liens de collaboration scientifique avec les acteurs du domaine pétrolier. Elle a développé une expertise en caractérisation de réservoirs fracturés dans les Cordillères de l'Ouest canadien, en partenariat avec Shell, Talisman et Husky Oil. Elle mène présentement des travaux de recherche conjointement avec des chercheurs de l'IFP (Institut français du pétrole) sur le développement d'une méthodologie intégrée pour l'exploration pétrolière dans des zones géologiquement complexes s'appuyant sur l'imagerie sismique, l'interprétation structurale et la modélisation cinématique. Elle est régulièrement mandatée par des entreprises privées telles qu'Hydro-Québec, Shell Canada, JUNEX Inc., Richmond Mines et Corridor Resources pour effectuer des expertises professionnelles dans le domaine de la géologie structurale appliquée aux ressources en hydrocarbures et en métaux précieux.

Michel Malo, Géo., ing., Ph.D.

Professeur titulaire au centre Eau, Terre et Environnement de l'Institut national de la recherche scientifique (INRS-ETE), Université du Québec.

Monsieur Malo est professeur-chercheur en géologie structurale et tectonique. Il enseigne des cours gradués en géologie structurale, géodynamique et géologie des Appalaches, avec des stages pratiques de terrain dans les Appalaches et les Alpes. Sa recherche porte sur l'analyse structurale et la fracturation des roches, l'étude des relations entre la structure des roches et la mise en place de corps minéralisés, la définition de la géométrie des réservoirs fracturés d'hydrocarbures, et l'évolution des chaînes de montagnes. Ses travaux sont appliqués à l'exploration pour les ressources minérales et les hydrocarbures. Il détient des subventions de recherche du CRSNG et du fonds VRQ (Valorisation recherche Québec). Il est directeur du GIRGAB (Groupe interuniversitaire de recherches en géodynamique et analyse de bassin) qui regroupe des chercheurs de l'INRS, l'Université Laval et la Commission géologique du Canada à Québec. Il est également co-directeur du réseau DIVEX-VRQ (Diversification de l'exploration minérale au Québec) qui regroupe des chercheurs de tous les départements de Sciences de la Terre du Québec, et des ministères des ressources naturelles du Québec et du Canada. Il a travaillé depuis plus de 26 ans dans les Appalaches du Québec, et plus particulièrement en Gaspésie, en réalisant des projets de recherche pour le ministère des Ressources naturelles du Québec et la Commission géologique du Canada sur l'évolution tectonique des Appalaches gaspésiennes, la mise en place des minéralisations et la définition de pièges structuraux pour les hydrocarbures. Il a également poursuivi des travaux de recherche dans les Appalaches de Terre-Neuve, le bouclier canadien de l'Ontario, les Alpes

françaises et les Pyrénées d'Espagne. Il a réalisé des contrats de recherche pour des compagnies minières et pétrolières au Québec, au Maroc, en Côte d'Ivoire et au Mali.

TABLE DES MATIÈRES

SOMMAIRE	vii
1 – INTRODUCTION	1
2 – ARGUMENTAIRE	3
2.1 – Une banque de données géoscientifiques fiable	3
2.1.1 – Contexte géologique	3
2.1.2 – Historique et niveau de maturité de l’exploration dans l’est du Québec	4
Bassin de Gaspésie	5
Bassin d’Anticosti	7
Bassin de Madeleine	9
2.2 – La nécessité des levés sismiques	11
2.3 – Estuaire et golfe : clé d’une modélisation du potentiel de l’est du Québec ...	14
2.3.1 – Le potentiel de l’estuaire et du golfe	14
Bassin d’Anticosti	15
Bassin de Madeleine	18
2.3.2 – La pièce manquante du puzzle entre deux domaines géologiques	19
2.4 – Une contribution à l’avancement de la science des orogènes	19
3 – CONCLUSIONS	23
RÉFÉRENCES CITÉES	25

LISTE DES FIGURES

Figure 1 – Bassins géologiques de l’estuaire et du golfe du Saint-Laurent	4
Figure 2 – Bilan des levés sismiques dans le bassin de Gaspésie	7
Figure 3 – Bilan des levés sismiques dans le bassin d’Anticosti	9
Figure 4 – Bilan des levés sismiques dans le bassin de Madeleine	10
Figure 5 – Comparaison entre un profil sismique provenant de l’estuaire du Saint-Laurent et un profil provenant d’Indonésie	12
Figure 6 – Coupe structurale dans la zone de failles inverses au front des Appalaches, péninsule de Port-au-Port, Terre-Neuve	15
Figure 7 – Coupe conceptuelle entre l’anticlinorium Aroostook-Percé (Gaspésie) et Anticosti	16
Figure 8 – Modèle conceptuel de développement d’une barrière récifale à la marge du plateau continental d’Anticosti à la fin du Silurien	17
Figure 9 – Répartition des diapirs de sel répertoriés dans le bassin de Madeleine et vue en coupe illustrant ces diapirs	18
Figure 10 – Portion nord du profil sismique 2001 du MRNQ montrant l’architecture du front appalachien dans la région de Québec	20
Figure 11 – Bassins géologiques paléozoïques de l’est de l’Amérique ayant produit des hydrocarbures	22

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 – Bref historique de l’exploration pétrolière et gazière dans le bassin de Gaspésie	6
Tableau 2 – Bref historique de l’exploration pétrolière et gazière dans le bassin d’Anticosti	8

Tableau 3 – Bref historique de l’exploration pétrolière et gazière dans le bassin de Madeleine	10
--	----

SOMMAIRE

Parmi les arguments utilisés par les opposants aux relevés sismiques dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent, celui à l'effet que le potentiel en hydrocarbures du territoire concerné serait négligeable a été avancé. Nous voulons démontrer dans ce mémoire que, bien que l'exploration dans l'est du Québec soit encore à un stade relativement immature, le potentiel gazier et pétrolier est des plus prometteurs, et qu'en conséquence on ne peut utiliser l'argument d'un potentiel négligeable pour contrer le projet de levés sismiques proposé. Quatre points en particulier concernant ce potentiel sont discutés :

- La somme des études géologiques et géophysiques exécutées à ce jour par les divers niveaux de gouvernement, les universités et le secteur privé minier ou pétrolier ont conduit à constituer une banque de données géoscientifiques fiable permettant de procéder avec rigueur à l'évaluation de son potentiel pétrolier et gazier.
- Les levés sismiques terrestres et subaquatiques sont essentiels à la compréhension de la géologie et à la détection de structures favorables à l'accumulation de gaz ou de pétrole ; en mer, ils sont une condition *sine qua non*, et sans rendre totalement caduques les informations obtenues des anciens levés sismiques subaquatiques dans l'estuaire et le golfe, les récents progrès de la technologie en ce domaine commandent l'exécution de nouveaux levés.
- Bien que le territoire de l'estuaire et du golfe possède en soi un potentiel prometteur, l'enjeu de l'exploration sismique proposée déborde l'évaluation de ce strict territoire : la compréhension de la géologie subaquatique de ce territoire est une des clés de la modélisation géologique des zones terrestres adjacentes de Gaspésie et d'Anticosti, et conséquemment de l'évaluation du potentiel en hydrocarbures de ces dernières.
- La compréhension de la jonction entre le front orogénique des Appalaches et sa plateforme adjacente (Anticosti), jonction qui se fait dans l'estuaire et le golfe et par conséquent qui n'est pas observable directement, représentera une contribution importante à la recherche scientifique sur la géodynamique des orogènes (chaînes de montagnes).

Dans la perspective des enjeux majeurs reliés aux levés sismiques et sur la base des connaissances géologiques et géophysiques actuelles, nous concluons que le système pétrolier a vraisemblablement fonctionné dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent et que le potentiel gazier et/ou pétrolier y est prometteur. L'évaluation de ce potentiel ne peut être poursuivie sans l'acquisition de levés sismiques. La découverte de champs gaziers ou pétroliers dans l'est du Québec est un enjeu économique important pour les populations de la Gaspésie, de la Côte-Nord et des Îles-de-la-Madeleine, et l'argument d'un potentiel négligeable pour contrer le projet de levés sismiques est à notre avis irrecevable sur le plan scientifique.

1 - INTRODUCTION

Plusieurs arguments ont été avancés par les opposants au projet de levés sismiques proposé par Geophysical Services Inc. (GSI) dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent, des arguments relevant de l'écologie benthique et nectonique, de l'acoustique marine, de la géophysique sismique ou de la géologie. Le présent mémoire porte sur un des arguments de nature géoscientifique, souvent véhiculé par les médias, à savoir que depuis le temps qu'on explore pour les hydrocarbures dans l'est du Québec (Gaspésie, Anticosti, estuaire et golfe du Saint-Laurent), on devrait se rendre à l'évidence, qu'en absence de découvertes probantes, le potentiel est très faible, pour ne pas dire négligeable. Plus d'un siècle d'exploration pétrolière dans les zones terrestres limitrophes de Gaspésie et d'Anticosti n'a à peu près rien donné de concret ! Alors, pourquoi mettre en péril la faune aquatique de l'estuaire et du golfe pour une hypothétique découverte? L'argument serait recevable s'il s'avérait vrai que le potentiel en hydrocarbure du territoire en question est négligeable.

C'est en notre qualité de géologues impliqués en recherche scientifique sur la sédimentologie, la paléontologie, la stratigraphie, la sismostratigraphie, la géologie structurale et la géodynamique des couches du Paléozoïque, et en particulier depuis deux ou trois décennies sur l'incidence de ces connaissances sur l'exploration pétrolière et gazière dans l'est du Québec, que nous présentons ce mémoire. Nous voulons démontrer que, bien que l'exploration dans l'est du Québec soit encore à un stade relativement immature, le potentiel gazier et pétrolier est des plus prometteurs, et qu'en conséquence on ne peut utiliser l'argument d'un potentiel négligeable pour contrer le projet de levés sismiques proposé. En fait, nous évaluons que, compte tenu de la qualité de la banque de données géoscientifiques construites au fil des ans et des récentes découvertes effectuées dans les bassins paléozoïques de l'est du Québec et des Maritimes, on n'a jamais été aussi près d'une découverte importante au Québec.

Bien qu'il affirme que « le potentiel pétrolier et gazier de l'estuaire et du golfe Saint-Laurent a été démontré », le rapport du comité d'experts sur les enjeux environnementaux liés aux levés sismiques (mars 2003, p. iii) omet de présenter les éléments et arguments de

cette démonstration. Nous croyons nécessaire que ces éléments et arguments soient présentés au BAPE dans le cadre de l'évaluation des enjeux liés aux levés sismiques. Nous développerons ici quatre points de la problématique qui nous font conclure que les levés sismiques sont justifiables géologiquement.

- i. La somme des études géologiques et géophysiques exécutées à ce jour par les divers niveaux de gouvernement, les universités ou le secteur privé minier ou pétrolier, tout particulièrement durant les trois dernières décennies, constitue une banque de données géoscientifiques fiable permettant de procéder avec rigueur à l'évaluation de son potentiel pétrolier et gazier.
- ii. Les levés sismiques terrestres et subaquatiques sont essentiels à la compréhension de la géologie et à la détection de structures favorables à l'accumulation de gaz ou de pétrole ; en mer, ils sont une condition *sine qua non*, et sans rendre totalement caduques les informations obtenues des anciens levés sismiques subaquatiques dans l'estuaire et le golfe, les récents progrès de la technologie en ce domaine commandent l'exécution de nouveaux levés.
- iii. Bien que le territoire de l'estuaire et du golfe possède en soi un potentiel prometteur, l'enjeu de l'exploration sismique proposée déborde l'évaluation de ce strict territoire : la compréhension de la géologie subaquatique de ces derniers est une des clés de la modélisation géologique des zones terrestres adjacentes de Gaspésie et d'Anticosti, et conséquemment de l'évaluation du potentiel en hydrocarbures de ces dernières.
- iv. La compréhension de la jonction entre le front orogénique des Appalaches et sa plateforme adjacente (Anticosti), jonction qui se fait dans l'estuaire et le golfe et par conséquent qui n'est pas observable directement, représentera une contribution importante à la recherche scientifique sur la géodynamique des orogènes (chaînes de montagnes).

2 - ARGUMENTAIRE

2.1 – Une banque de données géoscientifiques fiable

2.1.1 – Contexte géologique

Géologiquement, l'est du Québec compte trois bassins sédimentaires susceptibles de contenir des hydrocarbures, tous trois d'âge Paléozoïque (figure 1).

- Le bassin d'Anticosti, occupant essentiellement l'estuaire et incluant la partie terrestre de l'île d'Anticosti ; formé de roches ordoviciennes à siluriennes (peut-être dévoniennes?), très peu ou non déformées.
- Le bassin de Gaspésie, uniquement terrestre, correspondant à la péninsule gaspésienne, la vallée de la Matapédia et le Témiscouata ; formé de roches cambriennes à dévoniennes, variant de moyennement à très déformées par les orogénies taconienne et acadienne.
- Le bassin de Madeleine¹, essentiellement subaquatique au Québec (sauf aux Îles-de-la-Madeleine) et confiné au golfe ; formé de roches permo-carbonifères, variant de peu à moyennement déformées par des mouvements diapiriques et une tectonique post-acadienne verticale.

Le bassin d'Anticosti appartient à la province géologique de la Plate-forme du Saint-Laurent, alors que les deux autres bassins font partie de la province des Appalaches.

¹ À noter que certains considèrent que le bassin de Madeleine se divise en deux parties, de part et d'autre d'une ligne sud-ouest – nord-est passant à l'ouest des Îles-de-la-Madeleine (ligne brisée, figure 1) : à l'est, le bassin de Madeleine (*sensu strictu*) et, à l'ouest, la plate-forme du Nouveau-Brunswick (aussi appelée plate-forme de Bradelle dans certaines études géologiques) se divisant en plusieurs sous-bassins.

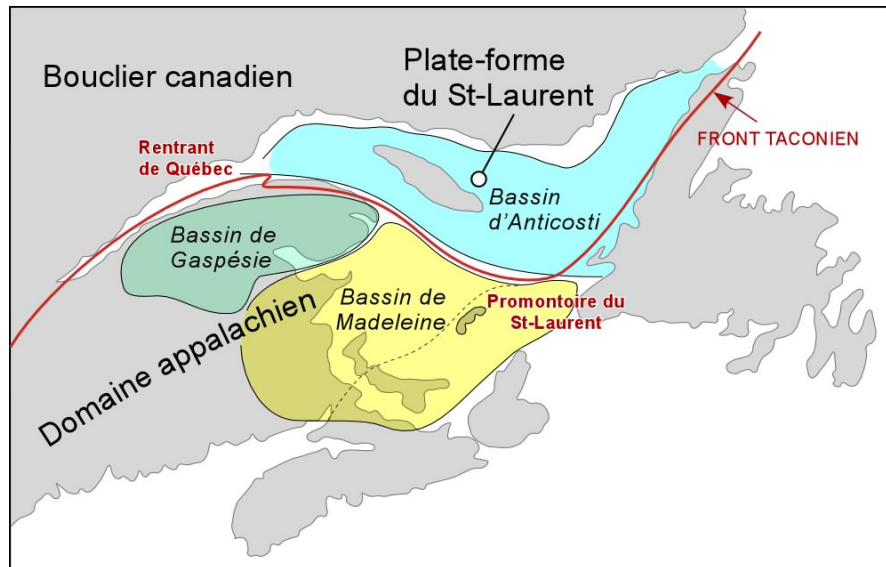


Figure 1 – Bassins géologiques de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent.

2.1.2 – Historique et niveau de maturité de l'exploration dans l'est du Québec

Il n'est pas nécessaire de relater dans tous ses détails l'histoire de l'exploration pour les hydrocarbures dans l'est du Québec. Nous nous contenterons ici de signaler les principaux jalons et surtout les principaux acquis qui ont contribué à construire le savoir qui nous permet aujourd'hui de brosser un tableau réaliste du niveau de maturité des connaissances en termes d'exploration et du potentiel gazier et pétrolier.

L'exploration pétrolière et gazière dans un bassin géologique est un long processus itératif. En simplifiant, on peut diviser ce processus en deux grands groupes d'activités : les études qui visent la caractérisation du système pétrolier d'un bassin (*e.g.*, cartographie, sédimentologie, paléontologie, stratigraphie, géochimie organique et minérale, géologie structurale et paléogéographie), et les travaux plus lourds et plus onéreux visant la localisation et l'évaluation de pièges (géophysique sismique et forages). Les premiers sont le plus souvent effectués par des offices gouvernementaux et des chercheurs universitaires, alors que les seconds sont plutôt le fait des sociétés pétrolières, avec occasionnellement la participation des gouvernements. Évidemment, il se doit d'avoir une interaction entre les deux : les premiers servent de support aux stratégies d'exploration et à la localisation de levés sismiques, alors que les seconds viennent nourrir les études de caractérisation du

système pétrolier. Les paragraphes qui suivent exposent où se situe l'exploration des bassins géologiques de l'est du Québec dans ce processus itératif.

Bassin de Gaspésie. – C'est certes le bassin de Gaspésie qui possède la plus longue histoire d'exploration pétrolière et gazière de l'est du Québec. Elle a débuté avec la première découverte de suintements d'huile à l'ouest de Gaspé en 1836. Le tableau 1 ci-dessous présente les principaux jalons de cette exploration.

-
- 1836-1950 : période qu'on peut qualifier d'artisanale. La découverte des suintements d'huile de la région de Gaspé suscite rapidement l'intérêt de l'industrie pétrolière. Les premiers forages (moins de 200 m de profondeur) en 1860 par la Gaspé Mining Company procurent de modestes indices d'huile et de gaz. Entre 1889 et 1901, la Petroleum Oil Trust (P.O.T.) fore 53 puits et produit une quantité limitée d'huile. À la fin de la décennie 1940, 70 puits au total auront été forés dans le nord-est de la Gaspésie par diverses compagnies, dont 48 auront produit des quantités variables d'huile ou de gaz, mais jamais en volume important. Aucuns travaux n'auront été effectués.
 - 1950-1967 : période stagnante en ce qui concerne l'exploration en Gaspésie ; les yeux sont tous tournés vers le Bassin sédimentaire de l'Ouest canadien (Alberta) qui s'affirme comme un des grands producteurs mondiaux.
 - 1967-1970 : la Gulf Oil Ltée entreprend une campagne d'exploration dans le nord-est de la Gaspésie par l'intermédiaire d'une équipe de l'Université de Montréal, campagne qui se couronne par le forage Gulf Sunny Bank No. 1, d'une profondeur de 3536 m, entièrement carotté de 308 m à sa base, un record mondial pour l'époque. Ce forage est un jalon important, car il a constitué par la suite une source inestimable d'informations sur la stratigraphie, la paléontologie, la diagenèse minérale et organique, et l'évolution thermique de la succession dévonienne. C'est aussi dans le cadre de cette campagne d'exploration que les premiers récifs furent découverts (Bourque, 1969 ; Lespérance et Bourque, 1970).
 - 1969 : création de Soquip par le gouvernement du Québec, avec comme mandat d'évaluer le potentiel en hydrocarbures du Québec. En même temps, c'est la création d'un centre de recherche, l'INRS-Pétrole (plus tard rebaptisé INRS-Géoressources, aujourd'hui incorporé à l'INRS-ETE) de l'Université du Québec, ayant pour mandat d'appuyer les efforts de Soquip dans les domaines de la sédimentologie, de la biostratigraphie et de la diagenèse minérale et organique.
 - 1971-1976 : Soquip, avec divers partenaires, exécute les premiers travaux sismiques (voir figure 2). On peut dire que c'est le début d'une véritable exploration pétrolière et gazière moderne. Concurrentement, le ministère des Ressources naturelles du Québec charge l'INRS-Pétrole d'étudier les anciens puits par des méthodes nouvelles de géochimie organique et minérale, de palynologie et de maturation des matières organiques. C'est le début de la construction d'une banque de données géoscientifiques sur des bases fiables.
 - Du milieu de la décennie 1970 au début de la décennie 1980, Soquip et ses partenaires procèdent à huit forages en Gaspésie. Plusieurs découvertes relativement modestes sont faites, mais ne peuvent être exploitées sur une base commerciale à cette époque (*e.g.*, le champ de Galt No 1, présentement en production en Gaspésie, est une de ces découvertes « redécouvertes » en 1999).
 - 1984 : c'est le rapport Soquip 84 qui conclut au faible potentiel en hydrocarbure du Québec. À toute fin pratique, la section exploration de Soquip est démantelée. Par la suite, plusieurs observateurs, dont des universitaires, ont remis en question les bases sur lesquelles Soquip a fondé ses conclusions. C'est le début d'une période creuse pour l'exploration au Québec.

- 1985-1988 : dans le but de promouvoir l'exploration minière et pétrolière et d'offrir un support scientifique à l'industrie, le ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec patronne un projet de grande envergure, conduit par l'Université Laval, sur une analyse synthétique du bassin siluro-dévonien représenté par le segment appalachien de Gaspésie-Matapédia-Témiscouata (bassin de Gaspésie, figure 1), un projet qui a contribué à l'enrichissement de la banque de données géoscientifiques sous forme de publications et rapports scientifiques et techniques (e.g., Bourque *et al.*, 1993, 1995, 2000; Lavoie *et al.*, 1992; Lavoie and Bourque, 1993; Malo and Bourque, 1993; Kirkwood, 1999), de thèses (Lavoie, 1988; Dansereau, 1989; Kirkwood, 1993) et de divers rapports géologiques préliminaires et intérimaires. Cette analyse de bassin a subséquentement servi de fondement aux travaux d'exploration de Shell Canada en 1996-97 (voir plus bas).
- 1995 : c'est la découverte de pétrole dans le forage Port-au-Port #1, dans l'ouest de Terre-Neuve, à la péninsule de Port-au-Port (figure 6, plus-bas). Une impulsion nouvelle est donnée à l'exploration dans l'est du Québec.
- 1996-1997 : Shell Canada, par l'intermédiaire d'une équipe de chercheurs de l'Université Laval et de l'INRS-Géoresources, mène un vaste projet d'évaluation du potentiel pétrolifère principalement centré sur le nord-est de la Gaspésie (résultats publiés dans Immertz, 1997 ; Lavoie et Bourque, 2001).
- 1999 : La Commission géologique du Canada, en partenariat avec le ministère des Ressources naturelles du Québec et plusieurs universités canadiennes, initie un vaste projet de recherches, étalé sur 5 ans, sur l'architecture et l'évolution des bassins sédimentaires paléozoïques inférieurs-moyens de l'est du Canada, incluant plusieurs études thématiques sur les systèmes pétroliers. Une abondante documentation est venue depuis enrichir la banque de données géoscientifiques en ce qui touche le bassin de Gaspésie.
- 1999-2003 : la compagnie Junex met en valeur et en production le puits de Galt No 1 par des travaux de sismique et de forages. Concurrément, le ministère des Ressources naturelles du Québec procède à 613 km de levés sismiques, principalement sous forme de mégatranssects (voir figure 2).
- 2002 : Hydro-Québec annonce un investissement de \$330M sur 10 ans pour l'exploration pétrolière et gazière dans les bassins de l'est du Québec ; une portion modeste du budget est réservée pour le bassin de Gaspésie.
- 2003 : une équipe de chercheurs de l'Université Laval, l'INRS-ETE et la Commission géologique du Canada procède à une étude de synthèse des données géologiques et à une évaluation du potentiel pétrolifère du bassin de Gaspésie pour le compte d'Hydro-Québec (Bourque *et al.*, 2003) et contribue ainsi à l'enrichissement de la banque de données géoscientifiques.

Tableau 1 – Bref historique de l'exploration pétrolière et gazière dans le bassin de Gaspésie.

Le bilan de l'exploration dans le bassin de Gaspésie se dresse comme suit. Au chapitre des connaissances touchant la caractérisation du système pétrolier, la documentation est importante. Elle démontre bien que le système a fonctionné : la roche-mère est identifiable et plusieurs faciès sont identifiés comme roche-réservoir potentielle. Quant aux chemins de migration et aux pièges potentiels, nous possédons plusieurs hypothèses de travail vérifiables qui demandent justement à être confirmées, infirmées ou précisées par les travaux sismiques. En termes d'exploration, on peut qualifier ce volet des connaissances de relativement mature. La figure 2 exprime l'état d'avancement des travaux sismiques. On y

note essentiellement qu'ils ont été concentrés en trois périodes : Soquip (1971-76), Soquip – Pétro-Canada (1980-82), MRNQ – Compagnies juniors (1996-2003), pour un grand total de 2064 km de lignes sismiques, ce qui est relativement peu pour un bassin de cette taille. Au niveau des sondages, on compte un total de 97 forages, dont 80 durant une période plutôt « artisanale » (1860-1967). Seulement 10 forages en tout ont été localisés sur la base de levés sismiques, soit 1 puits par 3420 km². En guise de comparaison, le bassin des Basses-Terres dans la vallée du Saint-Laurent compte 245 puits forés dans le Paléozoïque, sans compter les nombreux puits dans le Quaternaire, pour un ratio de 1 puits par 151 km². À titre de comparaison toujours, le grand gisement de Leduc en Alberta a été découvert après le forage de 113 puits secs. Le moins qu'on puisse dire, c'est qu'en termes de sismique et de forages, nos connaissances du bassin de Gaspésie se situe au stade immature.

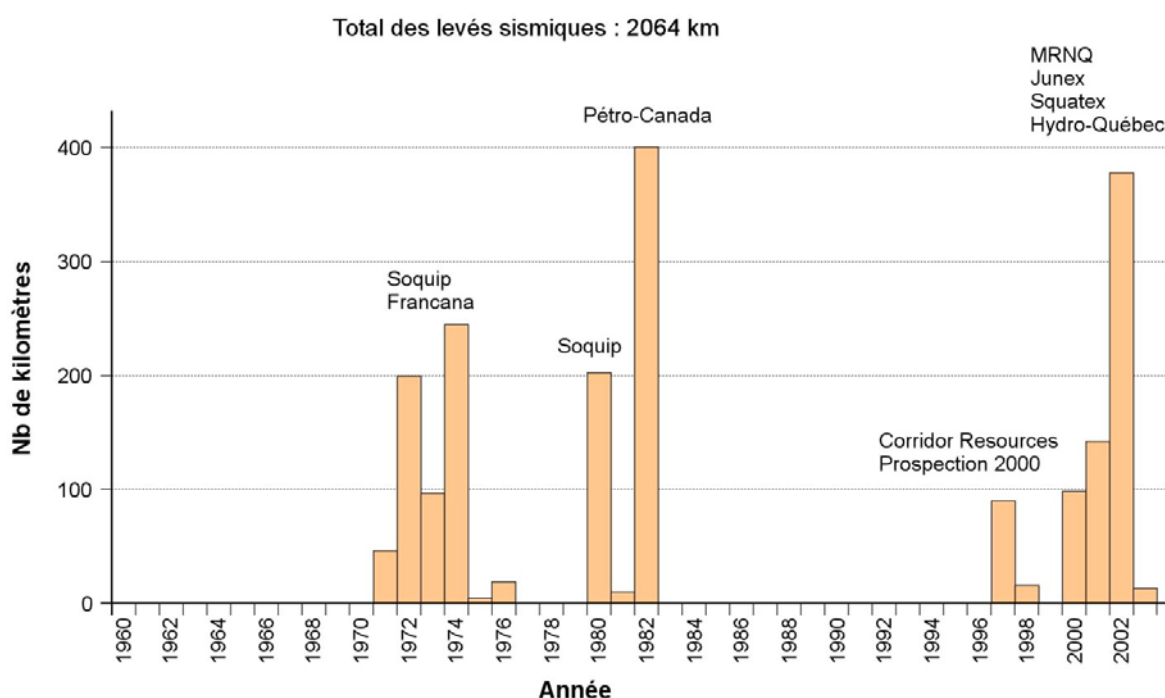


Figure 2 – Bilan des levés sismiques dans le bassin de Gaspésie. Source : compilation C. Morin, ministère des Ressources naturelles du Québec, direction du développement des hydrocarbures.

Bassin d'Anticosti. – L'exploration dans le bassin d'Anticosti a démarré dans les années 1960. Sauf pour des travaux de cartographie géologique de l'île, de paléontologie (l'île

recèle de riches couches fossilifères) et d'analyses pétrographiques ponctuelles et de maturation thermique (*e.g.*, Bertrand, 1987), elle a principalement consistée en levés sismiques et forages. Le tableau 2 ci-dessous résume cette histoire.

-
-
- 1962-1965 : 435 km de levés sismiques (voir figure 3) et 5 forages dans la partie occidentale de l'île d'Anticosti par Imperial Oil et Consolidated Paper Corp. marquent le début de l'exploration.
 - 1970-1974 : Soquip, avec divers partenaires, exécute les premiers travaux sismiques, tant sur terre (2784 km) que sur mer (1700 km). Deux forages sont effectués : par ARCO (1970) dans le sud-ouest et par Soquip (1974) dans l'est.
 - 1975-1978 : campagne de cartographie géologique de l'île par le ministère des Richesses naturelles du Québec (*e.g.*, Petryk, 1979, 1981).
 - 1980-1983 : Soquip et ses partenaires mènent une campagne sismique marine dans l'estuaire pour un total de 11 975 km (figure 3).
 - 1987 : implantation d'un forage (Brick No 1) dans le sud-ouest de l'île.
 - 1996-1999 : la découverte de pétrole dans le forage Port-au-Port #1 en 1985, dans l'ouest de Terre-Neuve, (figure 6, plus-bas) incite à l'exploration sur Anticosti, comme en Gaspésie. Corridor Resources, Encal et Shell Canada effectuent 631 km de levés sismiques ciblés et 5 forages qui s'avèrent infructueux.
 - 1999-2000 : des travaux de caractérisation du système pétrolier sont menés principalement par la Commission géologique du Canada sur Anticosti, dans le cadre de son projet sur l'architecture et l'évolution des bassins sédimentaires paléozoïques inférieurs-moyens de l'est du Canada (*e.g.*, Chi *et al.*, 2000 ; Chi et Lavoie, 2001 ; Lavoie *et al.*, 2003 ; Lavoie, sous presse).
 - 2002 : sans négliger les portions terrestres des bassins de l'est du Québec, l'investissement de \$330M sur 10 ans pour l'exploration pétrolière et gazière devrait se concentrer sur les bassins subaquatiques.
 - 2003 : Hydro-Québec acquiert les permis abandonnés par Shell sur Anticosti et entreprend une réévaluation des données de la sismique et des forages dans l'est de l'île, particulièrement en regard du potentiel en réservoirs dolomitiques hydrothermaux (Morin, 2003).
-
-

Tableau 2 – Bref historique de l'exploration pétrolière et gazière dans le bassin d'Anticosti (île et estuaire).

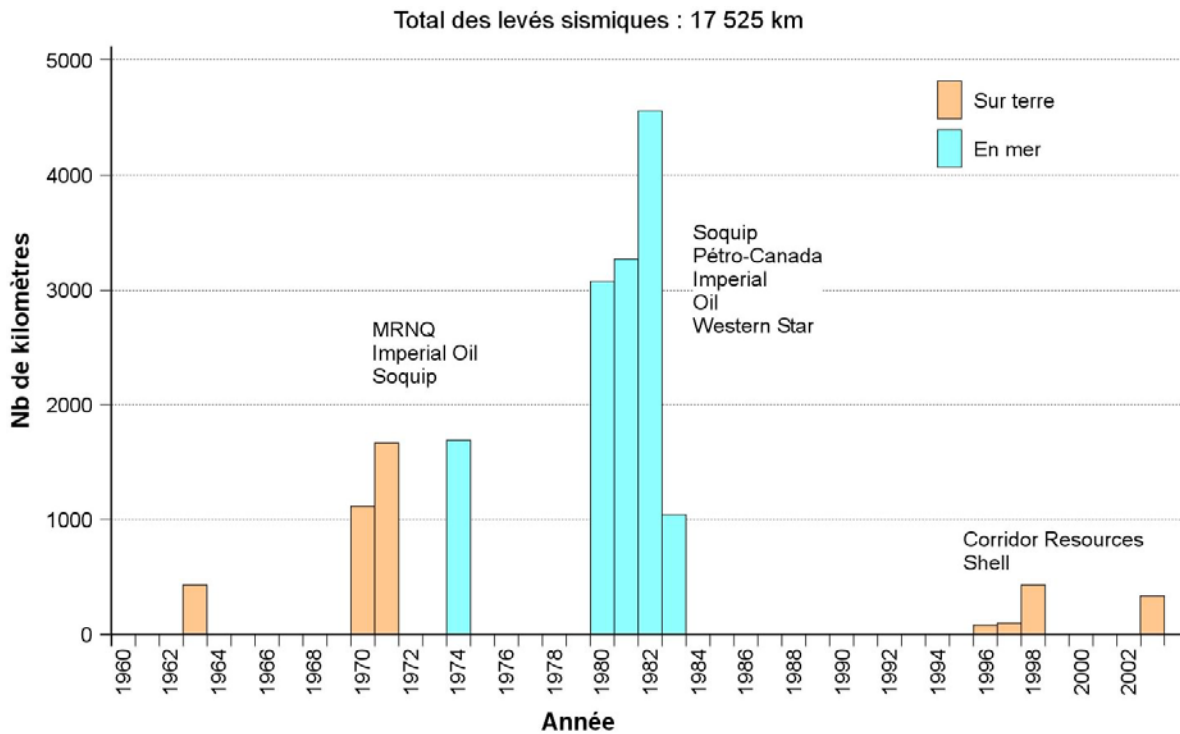


Figure 3 – Bilan des levés sismiques dans le bassin d’Anticosti. Source : compilation C. Morin, ministère des Ressources naturelles du Québec, direction du développement des hydrocarbures.

Comparées au bassin de Gaspésie où les connaissances sur la caractérisation du système pétrolier sont relativement satisfaisantes, ces mêmes connaissances sont peu avancées dans le bassin d’Anticosti, compte tenu que la plus grande partie du bassin se situe sous l’eau et que par conséquent, les roches ne sont accessibles que par forage. Tant au niveau des levés sismiques (17 525 km au total) que des forages (14, pour un ratio de 1 puits par 8645 km²), on peut dire que compte tenu de la taille du bassin, les connaissances sont au stade immature.

Bassin de Madeleine. – Au Québec, le bassin de Madeleine se situe pratiquement entièrement sous l’eau. C’est dire que les connaissances géologiques qu’on a de ce bassin se fondent essentiellement sur les levés sismiques et les forages, sauf pour la connaissance que l’on a de la géologie des Îles-de-la-Madeleine. Le tableau 3 ci-dessous résume l’histoire de l’exploration de ce bassin.

- 1963 : Hydro-Québec obtient les permis de recherche et le mandat d'explorer le domaine marin québécois (estuaire et golfe).
- 1966-1974 : 14 437 km de levés sismiques marins sont effectués par diverses sociétés pétrolières (voir figure 4). En 1969, lors de la création de Soquip par le gouvernement du Québec, les permis d'Hydro-Québec dans le domaine marin lui sont transférés.
- 1970 : Hydro-Québec, en partenariat avec SAREP (Texaco), fore le premier puits dans le golfe du Saint-Laurent à l'île Brion, au nord des Îles-de-la-Madeleine (voir figure 9, plus bas).
- 1973 : forage du puits de Bradelle, dans l'ouest du bassin.
- 1998 et 2002 : levés sismiques par Corridor Resources qui met en évidence la structure de Old Harry dans le bassin de Madeleine (voir plus bas).
- 1999 : forage de Fatima aux Îles-de-la-Madeleine, avorté avant d'avoir atteint la cible à cause de problèmes mécaniques.
- 2002 : sans négliger les portions terrestres des bassins de l'est du Québec, l'investissement de \$330M sur 10 ans pour l'exploration pétrolière et gazière devrait se concentrer sur les bassins subaquatiques.

Tableau 3 – Bref historique de l'exploration pétrolière et gazière dans le bassin de Madeleine.

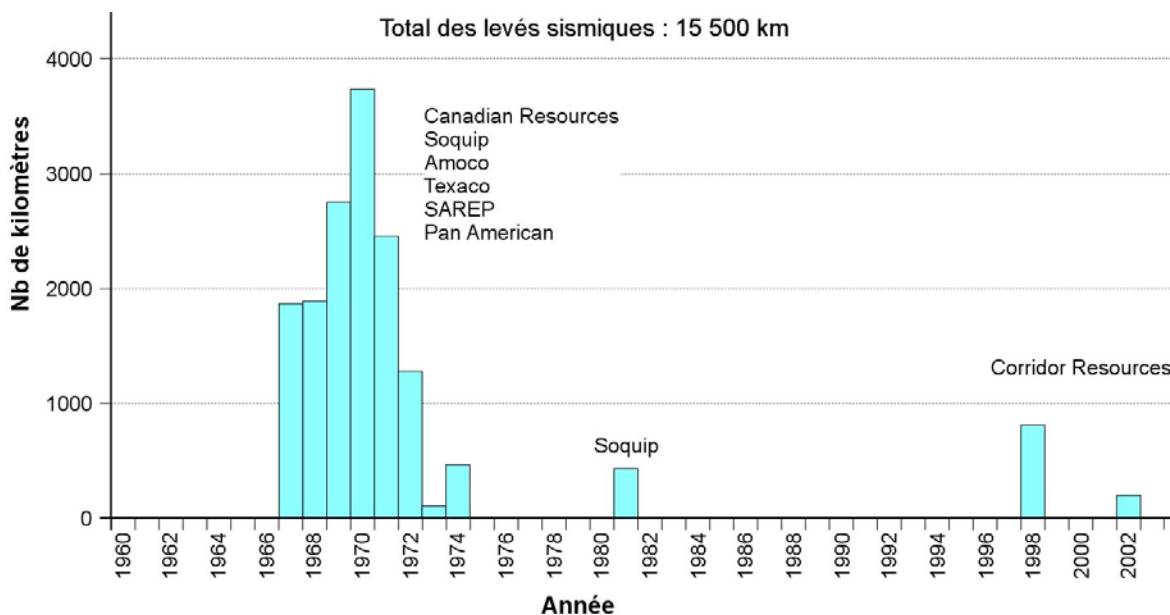


Figure 4 – Bilan des levés sismiques dans le bassin de Madeleine. Source : compilation C. Morin, ministère des Ressources naturelles du Québec, direction du développement des hydrocarbures.

Dans la portion québécoise du bassin de Madeleine, on compte 15 500 km de levés sismiques (figure 4), soit un volume légèrement supérieur à celui de la partie marine du bassin d'Anticosti qui compte 13 675 km en mer. Trois forages seulement ont été réalisés au Québec, pour un ratio de 1 puits par 14 900 km², alors que 7 puits ont été forés dans le

bassin de Madeleine hors-Québec dont deux ont produit des hydrocarbures. En guise de comparaison, disons qu'il a fallu forer 42 puits secs avant de découvrir le gisement d'Hibernia sur le plateau continental des Maritimes. Encore ici, on peut dire que l'exploration est au stade immature, bien que la structure de Old Harry soit prête à être forée (voir plus bas).

2.2 – La nécessité des levés sismiques

En milieu subaquatique comme dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent, l'acquisition de connaissances géologiques ne peut se faire qu'indirectement à l'aide de levés sismiques et éventuellement de forages. Même si des milliers de kilomètres de lignes sismiques ont été tirés par le passé, les récents progrès de la géophysique sismique commande que l'on procède à de nouveaux tirs.

En effet, la technologie sismique a beaucoup évolué durant les quatre dernières décennies, en particulier durant les années 1960 à 1980. D'énormes progrès ont été réalisés au niveau de l'acquisition, du traitement et de l'interprétation des données. En milieu marin, parmi les changements les plus importants, on compte la mise au point de meilleures sources d'énergie, la conception de techniques 3-D et l'utilisation de géophones sur le fond marin. On peut maintenant produire une imagerie de sous-surface beaucoup plus claire qui permet aux géologues et géophysiciens, non seulement d'identifier des cibles qui n'auraient pas été détectables auparavant, mais aussi de reconnaître la non-prospective de certaines structures et d'éviter ainsi de les forer.

À titre d'exemple, la figure 5 compare un profil sismique qui provient de l'estuaire du Saint-Laurent réalisé dans les années 1970 et un profil qui provient d'Indonésie effectué dans les années 1990. Deux aspects sont à noter: a) que la définition de la stratigraphie (architecture des couches) et de la structure est de loin supérieure sur l'image la plus récente, à cause de l'amélioration des techniques d'acquisition et de traitement; b) qu'un nouveau traitement des données du profil plus ancien ne pourrait améliorer l'image de façon significative, à cause de la méthode d'acquisition utilisée à l'époque. On peut douter

que les profils sismiques de l'estuaire et du golfe que nous possédons présentement offre une image réaliste de la stratigraphie et de la géologie structurale de la sous-surface. De nouveaux levés sont nécessaires pour acquérir des images fiables essentielles au processus d'évaluation du potentiel gazier et pétrolier de ce territoire.

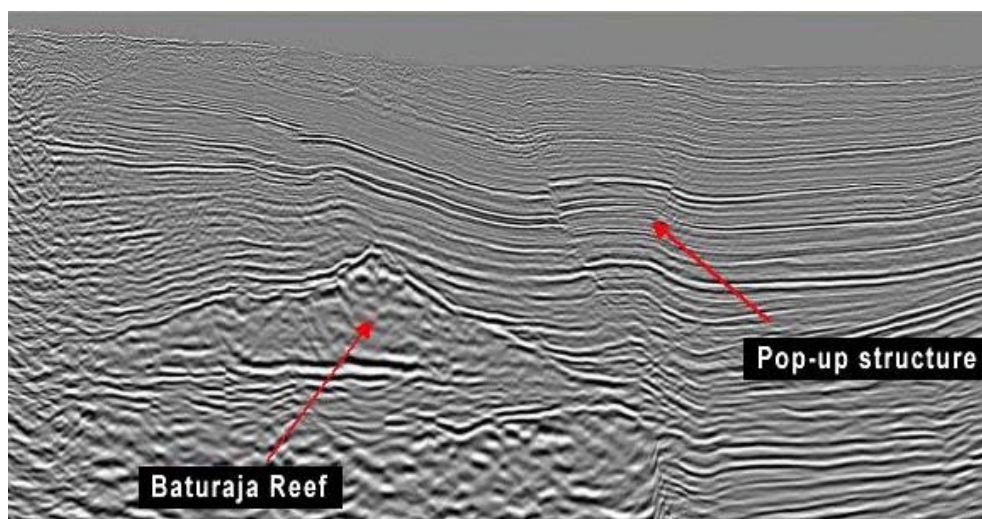
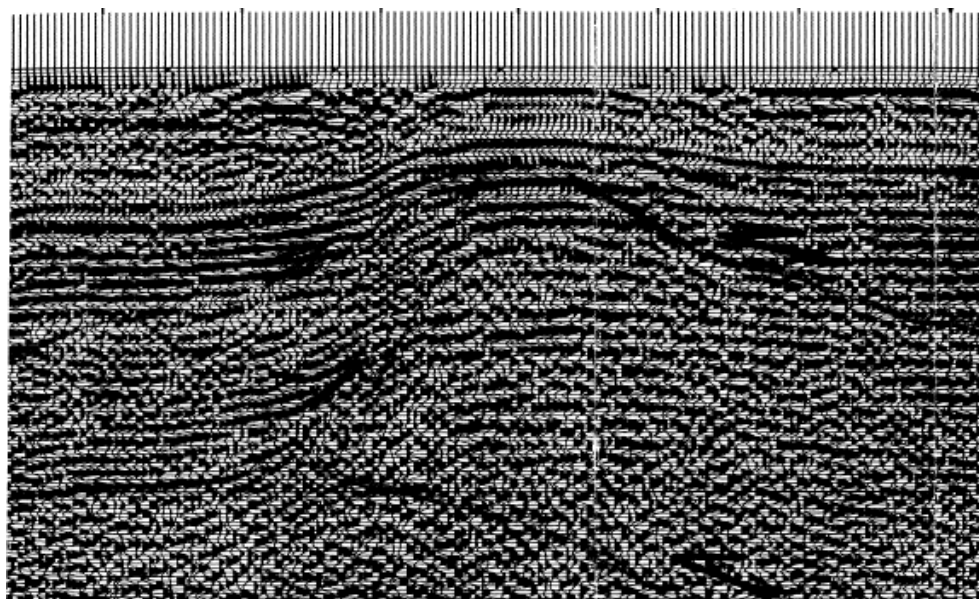


Figure 5 – Comparaison entre un profil sismique provenant de l'estuaire du Saint-Laurent réalisé dans les années 1970 et un profil provenant d'Indonésie effectué dans les années 1990.

Du point de vue de la sismique, l'orogène appalachien présente une opportunité unique de recherche fondamentale et appliquée sur l'imagerie sismique en zones géologiquement complexes. Les conditions de surface très hétérogènes de la chaîne appalachienne, pouvant provenir du relief ou de la structuration complexe des formations superficielles, représentent un défi pour l'exploration pétrolière au Québec, ainsi que dans les zones de chevauchement présentes sur la plupart des continents, où elles jalonnent les chaînes de montagnes. La géologie complexe de l'orogène appalachien met en contact des unités déformées mécaniquement avec des caractéristiques pétrophysiques contrastées, induisant des variations latérales et verticales rapides des vitesses de propagation sismique. Les conséquences de ces hétérogénéités sont, d'une part l'apparition de larges zones dites aveugles ou sourdes à la sismique, et d'autre part la discontinuité des événements sismiques (réflexions ou autres) interprétables sur les sections sismiques traitées. Une solution à ce problème est d'appliquer et de valider sur données réelles, les logiciels réalisant l'imagerie sismique et l'inversion tomographique.

Une des causes principales des échecs de l'exploration pétrolière dans ces zones à tectonique complexe tient aussi à la difficulté de transformer les images sismiques enregistrées en temps en coupes-profondeur, beaucoup de structures anticlinales sur les sections temps se révélant être des artefacts (*pull-ups*) après vérité-forage. Dans ces zones, le petit nombre de puits disponibles en contexte exploratoire, associé à la mauvaise qualité de la sismique, amène à rechercher l'intégration des données géologiques dès les phases de traitement sismique, notamment pour établir et valider le modèle de vitesse utilisé dans la migration profondeur. Ces données proviennent à la fois d'observations de terrain, de mesures en laboratoire, de modélisations géologiques et s'appuient sur des connaissances géologiques régionales et locales.

Des travaux de recherche présentement menés conjointement entre l'université Laval et l'IFP (Institut français du pétrole) sur les données sismiques acquises récemment en Gaspésie contribueront au développement d'une méthodologie intégrée s'appuyant sur l'imagerie sismique, l'interprétation structurale et la modélisation cinématique et assureront la validité des modèles d'exploration construits. Les données sismiques acquises dans

l'estuaire du Saint-Laurent constitueraient une base de donnée incomparable pour l'avancement de notre compréhension de l'architecture interne et de la migration des hydrocarbures dans les zones géologiquement complexes.

2.3 – Estuaire et Golfe : clé d'une modélisation du potentiel de tout l'est du Québec

2.3.1 – Le potentiel de l'estuaire et du golfe

Sur la base des connaissances acquises de la géologie de surface dans les zones terrestres de Gaspésie-Matapédia-Témiscouata et d'Anticosti, ainsi que des levés sismiques terrestres et subaquatiques dans l'ensemble du territoire, on peut conclure avec un degré de fiabilité suffisamment élevé que l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent présentent un potentiel pétrolier et gazier prometteur. Il a été démontré que la roche-mère existe, tant sur Anticosti (shale de Macasty) que dans le bassin de Gaspésie (shales noirs du Cloridorme et du Mélange de Cap-Chat, niveaux riches en carbone organique total dans le Rivière-Ouelle et le Rivière-du-Loup). Le synchronisme essentiel entre génération des hydrocarbures, migration et disponibilité de roches poreuses a aussi été démontré (*e.g.*, voir plusieurs articles dans Lavoie et Bourque, 2001; ainsi que Chi *et al.*, 2000; Chi et Lavoie, 2001; Lavoie *et al.*, 2003; Lavoie, sous presse).

À ce stade-ci, on n'a plus à faire la démonstration que le système pétrolier a fonctionné. L'histoire de petites exploitations de pétrole, la présence de suintements d'huile et une production de gaz en cours (Junex) dans le bassin de Gaspésie, la découverte d'un champ pétrolier dans la partie orientale du bassin d'Anticosti (péninsule de Port-au-Port, Terre-Neuve), ainsi que les découvertes de East Point (Île-du-Prince-Édouard) et de McCully (Nouveau-Brunswick), respectivement dans les bassins de Madeleine et du Nouveau-Brunswick, en témoignent. La banque de données géoscientifiques en ce qui concerne ces aspects est bien garnie. L'exploration en est présentement au stade de la recherche de pièges, et l'estuaire et le golfe offrent plusieurs situations favorables pour des pièges, tant structuraux que stratigraphiques. Les quelques exemples qui suivent illustrent ce potentiel.

Bassin d'Anticosti. – On l'a dit plus haut, c'est la découverte de Port-au-Port à Terre-Neuve, à la limite sud-est du bassin d'Anticosti jouxtant le front appalachien, qui a donné une nouvelle impulsion à l'exploration dans les bassins de l'est du Québec. La zone d'intérêt à Terre-Neuve se situe au passage entre les Appalaches et la plate-forme du Saint-Laurent, là où une série de failles inverses issues de l'orogénie acadienne (milieu du Dévonien) a engendré des pièges de type structural (figure 6).

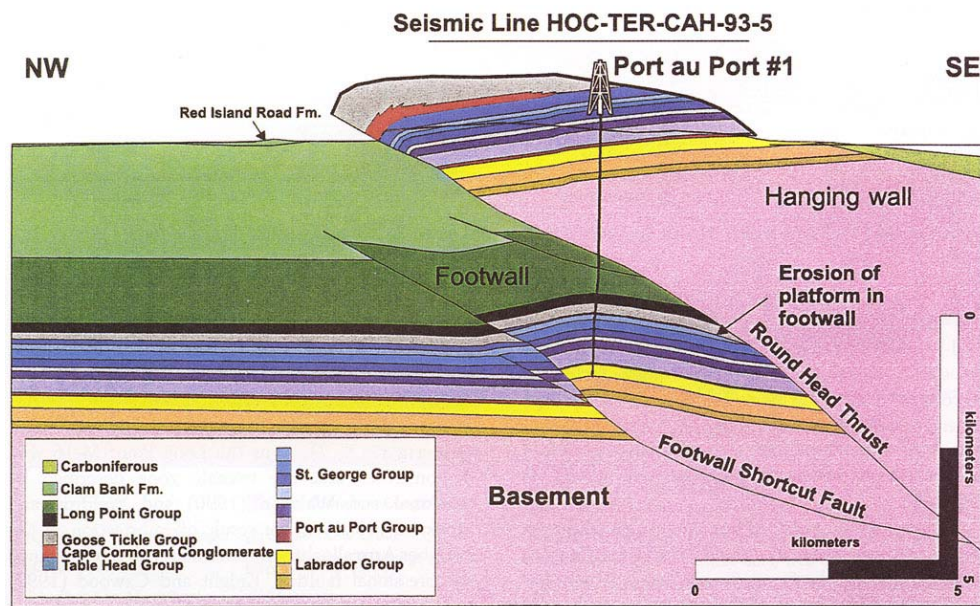


Figure 6 – Coupe structurale dans la zone de failles inverses au front des Appalaches, péninsule de Port-au-Port, Terre-Neuve. Extrait de Cooper *et al.*, 2001, figure 7.

Il est fort probable que la situation est la même au front appalachien au large de la péninsule gaspésienne dans l'estuaire du Saint-Laurent. La coupe géologique conceptuelle de la figure 7 ci-dessous exprime cette probabilité.

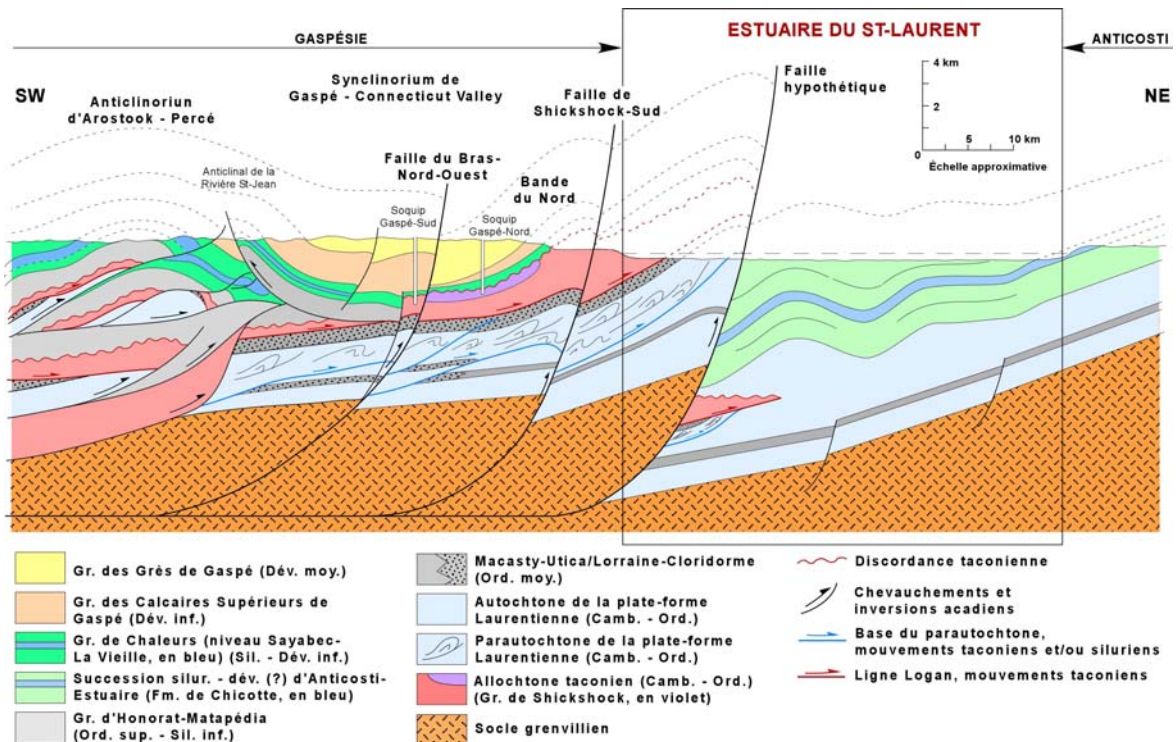


Figure 7 – Coupe conceptuelle entre l’anticlinorium Aroostook-Percé (Gaspésie) et Anticosti, intégrant les données des anciens profils sismiques de Soquip (Roksandic et Granger, 1981, pour l’estuaire), du profil sismique 2000 du MRNQ, de deux forages de Soquip (Gaspé-Nord et Gaspé-Sud) et de la géologie de surface de la Gaspésie (e.g., Malo, 2001; Kirkwood *et al.*, 2002 et sous presse). La boîte met en évidence la section de l’estuaire. Selon P.-A. Bourque et B. Granger (août, 2002, inédit).

Le système de failles acadiennes est bien documenté sur terre dans le nord-est de la Gaspésie (e.g., Bourque *et al.*, 2000, 2001; Malo, 2001; Kirkwood *et al.*, sous presse) et se compare à celui de l’ouest de Terre-Neuve (figure 6). Plus vers le nord-est dans l’estuaire, les anciens profils sismiques de Soquip (Roksandic et Granger, 1981) suggèrent la présence de grands plis ouverts susceptibles de créer de grands pièges structuraux. Des unités géologiques comme la Formation de Chicotte très poreuse en affleurements sur Anticosti (A. Desrochers, travaux en cours), les Formations de Romaine-Mingan présentant des structures suggérant la présence de réservoirs issus de phénomènes hydrothermaux sur les profils sismiques d’Anticosti (Morin, 2003), ou encore des corps récifaux siluriens (voir plus bas), pourraient très bien être impliqués dans ces pièges et former d’excellents réservoirs de grande taille. De nouveaux travaux sismiques sont absolument nécessaires pour préciser cette structuration du bassin d’Anticosti et possiblement détecter des réservoirs.

Outre les pièges structuraux, le bassin d'Anticosti dans l'estuaire pourrait receler des pièges stratigraphiques importants. À titre d'exemple, la figure 8 présente l'hypothèse d'une grande barrière récifale développée à la marge du plateau continental d'Anticosti à la fin du Silurien.

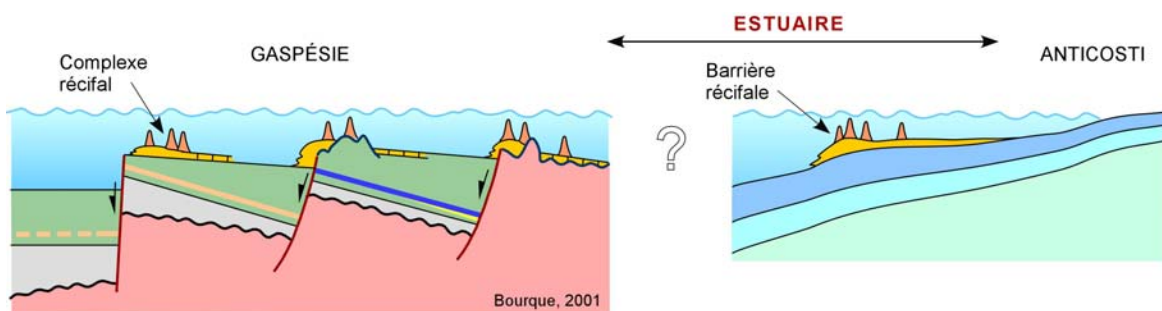


Figure 8 – Modèle conceptuel de développement d'une barrière récifale à la marge du plateau continental d'Anticosti à la fin du Silurien. Selon P.-A. Bourque (2004, inédit).

Cette hypothèse se fonde sur un modèle développé pour le bassin de Gaspésie (Bourque, 2001). Des complexes récifaux, très semblables à ceux qui forment les réservoirs pétrolifères du Dévonien d'Alberta (*e.g.*, le grand gisement de Leduc), se seraient implantés et développés sur les points hauts de blocs faillés et basculés durant la phase d'extension du début de l'orogénie acadienne à la fin du Silurien. Cette structuration en blocs basculés et la présence des complexes récifaux sont fortement suggérées par les profils sismiques de Soquip qui traversent la bande nord du Siluro-Dévonien de Gaspésie. Si les conditions océanographiques et climatiques ont été favorables au développement de tels récifs en Gaspésie à la fin du Silurien, on peut logiquement postuler qu'elles ont prévalu aussi sur le plateau continental d'Anticosti à la même époque. Une barrière récifale pouvant s'étendre sur quelques centaines de kilomètres a très bien pu s'y développer. La connexion entre les bassins de Gaspésie et d'Anticosti au temps siluro-dévonien demeure une inconnue géologique pour le moment. À nouveau, on voit ici l'importance d'exécuter de nouveaux levés sismiques pour infirmer ou confirmer ce modèle qui, s'il s'avérait fondé, pourrait offrir un nouveau Leduc.

Bassin de Madeleine. – Ce bassin a été affecté par deux types de mouvements, des mouvements du socle, principalement verticaux, en touches de piano, reliés à la tectonique de relaxation post-acadienne (post-Dévonien Moyen), et des mouvements associés à une tectonique de diapirisme salifère (évacorites du Groupe de Windsor, Carbonifère inférieur). Ces mouvements ont engendré deux types de pièges potentiels. Des pièges stratigraphiques ont pu être engendrés par le basculement des unités basales de grès et conglomérats perméables du Groupe de Horton lors des mouvements verticaux, suivi par une période d'érosion et le dépôt des couches imperméables du Groupe de Windsor en discordance sur le Horton ; une telle conjoncture d'événements est susceptible d'avoir créé des pièges stratigraphiques sous discordance. Ce type de pièges se retrouverait plus particulièrement dans la partie occidentale du bassin de Madeleine (plate-forme de Bradelle). Le champ gazier de McCully en est un exemple. Des pièges structuraux constitués de grandes structures anticlinales ou en dôme, fermées, favorables à l'accumulation d'hydrocarbures, peuvent être associées au diapirisme salifère dans la partie orientale du bassin de Madeleine (soit le bassin de Madeleine, *s.s.*, figure 9) ou aux mouvements verticaux du socle dans l'ensemble du bassin.

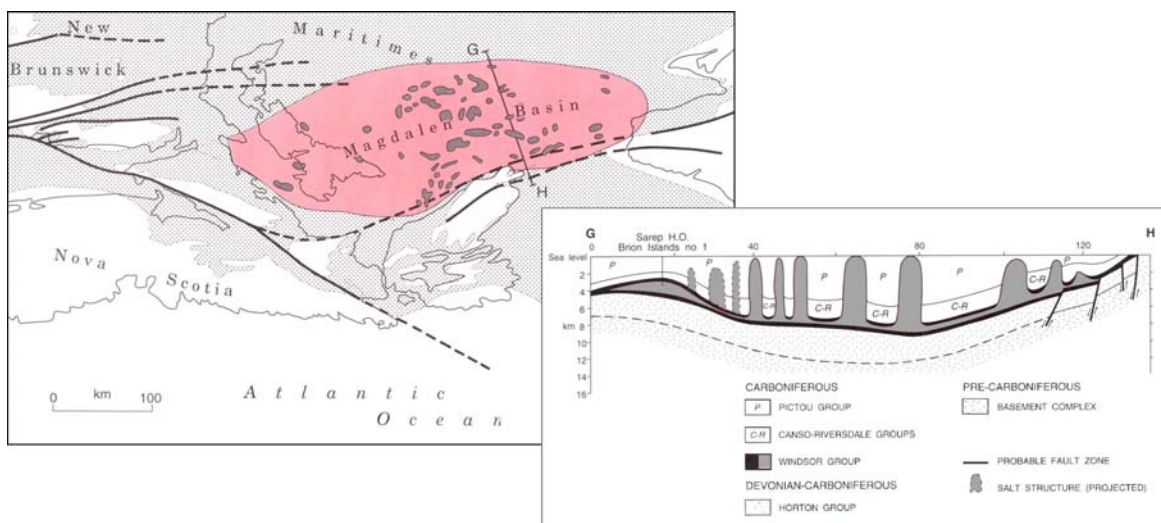


Figure 9 – Répartition des diapirs de sel répertoriés dans le bassin de Madeleine et vue en coupe illustrant ces diapirs. Selon van de Poll, 1995, figures 5.11 et 5.15.

La structure géologique nommée Old Harry est l'une de ces grandes structures en dôme identifiée puis délimitée par de nombreux levés sismiques dans le bassin de Madeleine, à

cheval sur la frontière Québec – Terre-Neuve. Old Harry est considérée aujourd’hui comme un prospect, c’est-à-dire qu’elle est prête à être testée par un puits d’exploration. Le rapport du comité d’experts sur les enjeux environnementaux liés aux levés sismiques (mars 2003, p. 4) note, avec justesse, que compte tenu de sa très grande superficie, « la structure Old Harry pourrait receler à elle seule des réserves récupérables ...[qui] permettraient d’approvisionner le Québec en gaz naturel pendant environ vingt ans ... [un] potentiel ... comparable aux réserves de l’Île de Sable près de la Nouvelle-Écosse ». Le contexte géologique se prête à la découverte d’autres structures du même type et calibre.

2.3.2 – *La pièce manquante du puzzle entre deux domaines géologiques*

Des levés sismiques dans l’estuaire et le golfe ont certes comme incidence première de conduire à une bonne compréhension de la géologie de cette pièce manquante du puzzle entre Appalaches et Plate-forme du Saint-Laurent et à l’évaluation de son potentiel pétrolier et gazier. Il y a cependant une autre incidence qui déborde le strict territoire de l’estuaire et du golfe. Du simple fait que les connaissances acquises de ce territoire permettront d’avoir une image globale du couple Appalaches-Plate-forme du Saint-Laurent, elles viendront éclairer notre compréhension de la géologie terrestre de part et d’autre de la zone subquatique. Elles contribueront ainsi à parfaire nos modèles géologiques en Gaspésie et sur Anticosti, conduisant à développer de meilleures stratégies d’exploration dans ces deux régions du Québec.

2.4 – Une contribution à l’avancement de la science des orogènes

L’architecture d’un orogène résulte de processus géodynamiques qui prennent racine à des profondeurs kilométriques dans la croûte terrestre à la faveur de la tectonique des plaques. Notre connaissance de l’orogène appalachien au Canada se fonde principalement sur une cartographie géologique de surface (*e.g.*, Williams, 1978) qui, par sa nature, ne présente qu’une vue superficielle de l’architecture de l’orogène. La géophysique sismique

constitue l'outil privilégié pour sonder la croûte terrestre et donner une image de l'architecture profonde d'une chaîne de montagnes.

Ces dernières décennies, les études tectoniques pour comprendre l'origine et l'évolution des orogènes et des zones qui leur sont adjacentes ont grandement bénéficié des programmes nationaux de sismique réflexion à grande échelle, comme Lithoprobe au Canada (Clowes *et al.* 1992) ou ECORS dans les Alpes (Roure *et al.* 1996). Ainsi, le programme Lithoprobe, financé par le CRSNG (Conseil de Recherches en Sciences naturelles et en Génie du Canada) dans les années 1990, a permis de comprendre comment se sont formées les chaînes de montagnes qui entourent le bouclier canadien. Dans les Appalaches canadiennes, les travaux du projet Lithoprobe ont donné un bon aperçu de l'architecture en profondeur des Appalaches à Terre-Neuve et dans le golfe du Saint-Laurent, tandis qu'au Québec seule la ligne 2001 du ministère des Ressources naturelles du Québec (figure 10), entre la ville de Québec et la frontière des États-Unis, a donné des renseignements sur la géométrie en profondeur des zones tectonostratigraphiques des Appalaches (St-Julien *et al.* 1983; Castonguay *et al.* 2001).

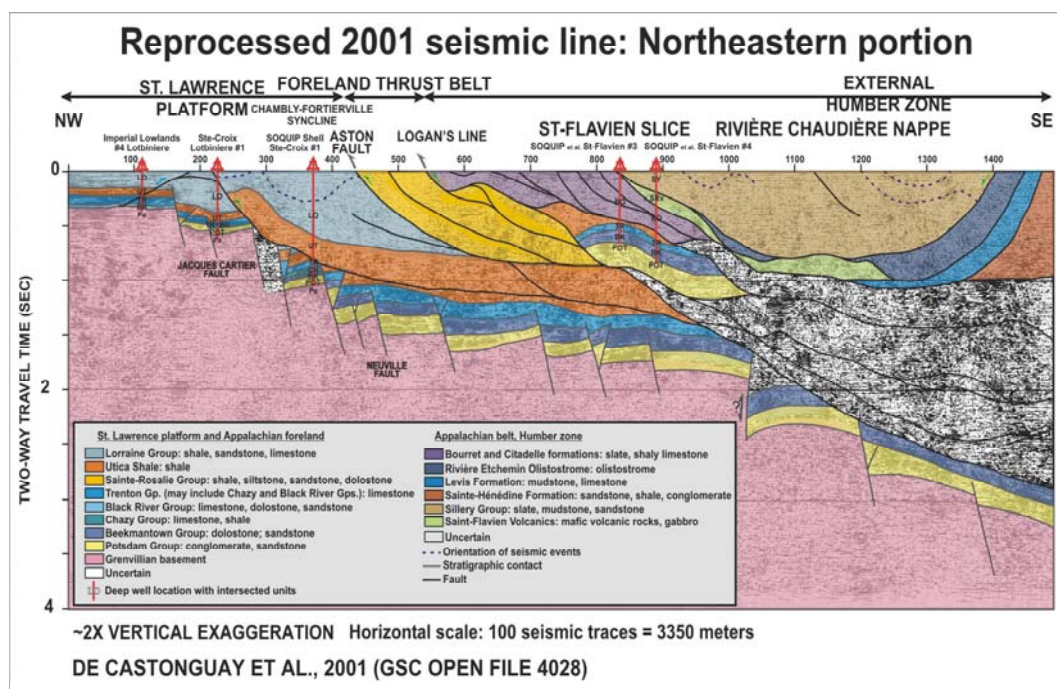


Figure 10 – Portion nord du profil sismique 2001 du MRNQ montrant l'architecture du front appalachien dans la région de Québec.

Entre la région du golfe du Saint-Laurent et la région de Québec, aucune donnée publique de sismique n'existait avant l'automne 2000. Depuis, le ministère des Ressources naturelles du Québec a acquis de nouveaux profils géophysiques de sismique réflexion totalisant 613 km dans la péninsule gaspésienne venant combler un vide de plus de 650 kilomètres entre la ligne 2001 et les lignes de Lithoprobe dans le golfe du Saint-Laurent. Malheureusement, les nouveaux profils gaspésiens sont terrestres et s'arrêtent au fleuve ne permettant pas d'avoir une coupe complète en profondeur des Appalaches de la Gaspésie jusqu'au bouclier canadien comme la ligne 2001 plus à l'ouest. Il manque cette partie des Appalaches qui représente le front tectonique, ou front de déformation de la chaîne (figures 1, 10), qui fait le lien avec la plate-forme stable du Saint-Laurent non-déformée. C'est donc une zone critique pour la compréhension globale de la chaîne appalachienne.

Notons aussi que de manière générale le front des chaînes de montagnes, incluant la plate-forme stable, représente une zone d'intérêt économique pour la recherche de ressources naturelles. De nombreux champs d'hydrocarbures, de même que des camps miniers en métaux de base, sont localisés dans ces régions. Par exemple, la plate-forme du Paléozoïque inférieur en bordure du bouclier précambrien et le front des Appalaches constituent une vaste région qui s'étend du sud-est des États-Unis jusqu'à Terre-Neuve. Des productions d'hydrocarbures y sont connues aux États-Unis, en Ontario, au Québec et à Terre-Neuve (figure 11). Des gisements de Pb-Zn ont été exploités aux États-Unis, tandis que de nombreux indices minéralisés sont répertoriés au Québec et à Terre-Neuve. Pour comparaison, mentionnons que la production d'hydrocarbures de l'Alberta se trouve dans la zone géologique de la Cordillère canadienne homologue au front des Appalaches.

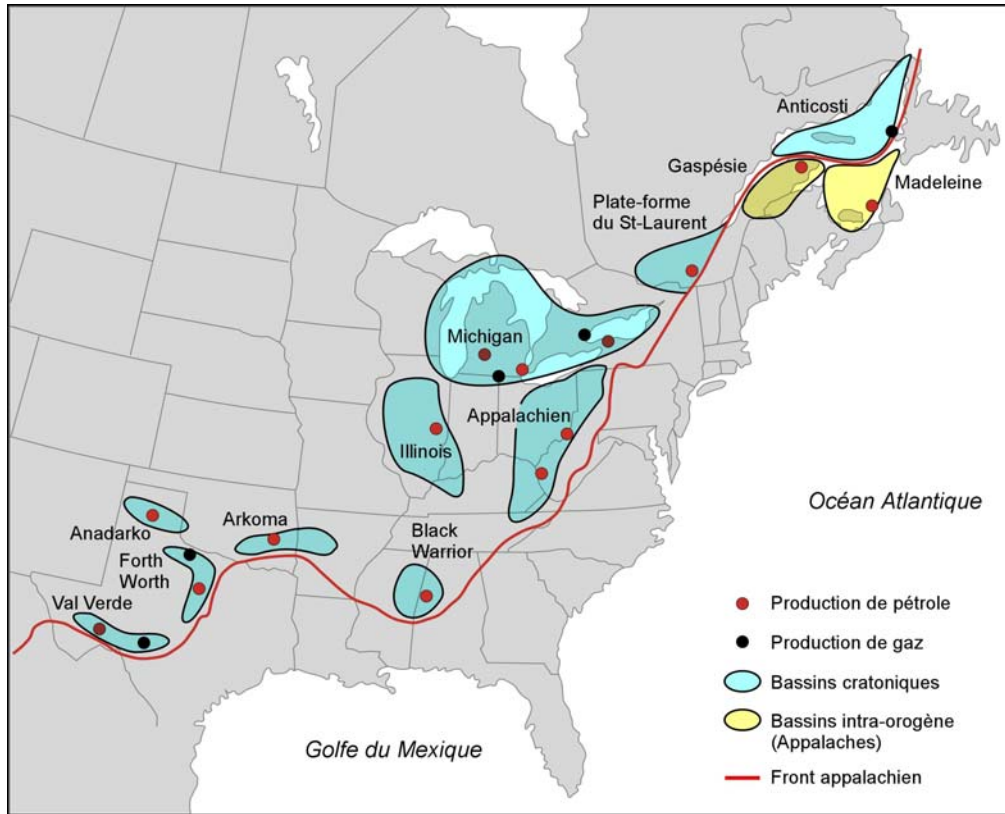


Figure 11 – Bassins géologiques paléozoïques de l’est de l’Amérique ayant produit des hydrocarbures.

Les données de sismique réflexion qui seraient acquises dans l’estuaire du Saint-Laurent permettraient de mieux comprendre l’évolution des Appalaches canadiennes dans un secteur particulier de la chaîne appalachienne, le rentrant de Québec (figure 1), et de comparer sa géométrie en profondeur avec celle du promontoire du Saint-Laurent à Terre-Neuve. L’acquisition de données scientifiques pour imager l’architecture du couple rentrant-promontoire des Appalaches serait unique et fort utile pour comprendre globalement l’évolution des chaînes de montagnes le long des marges irrégulières de collision.

Notons enfin que le coût d’acquisition de données sismiques est élevé et inaccessible pour nous, chercheurs universitaires, qui ne pouvons que compter profiter des levés sismiques faits par l’industrie pour faire avancer nos connaissances en géodynamique continentale.

3 - CONCLUSIONS

L'état actuel des connaissances géologiques et géophysiques en ce qui concerne l'exploration pétrolière et gazière dans les bassins géologiques de l'est du Québec permet de conclure que :

- roches-mères et roches-réservoirs sont présentes et ont été identifiées dans les trois bassins concernés, bassins de Gaspésie, d'Anticosti et de Madeleine;
- vraisemblablement le système pétrolier a fonctionné et ses éléments sont bien documentés;
- l'exploration en est au stade de la recherche et de la mise en évidence de pièges, ce qui nécessite de procéder à des levés sismiques;
- l'estuaire et le golfe présentent un potentiel prometteur et on ne peut poursuivre son évaluation autrement que par des levés sismiques;
- l'estuaire constitue, entre la Gaspésie et Anticosti, la pièce manquante d'un puzzle géologique complexe; la connaissance de sa géologie permettrait non seulement de pouvoir évaluer son potentiel pétrolier et gazier propre, mais aussi de mieux comprendre la géologie de la Gaspésie et d'Anticosti, et de mieux évaluer leur propre potentiel.

Les choix que doit faire notre société se doivent d'être faits en toute connaissance des faits. Le potentiel en hydrocarbures de l'estuaire et du golf penche plutôt du côté du gaz naturel, le combustible fossile le moins polluant, celui qui, comparé aux huiles et aux charbons, rejette le moins de CO₂ et surtout peu de soufre. Une découverte importante dans le Golfe, tout comme d'ailleurs en Gaspésie ou sur Anticosti, générerait une activité économique très importante pour la Gaspésie, la Côte-Nord et les Îles-de-la-Madeleine. On parle d'emplois de haut niveau pour nos techniciens, ingénieurs, chercheurs, comptables, économistes, etc., mais aussi de l'émergence d'une économie fondée sur des industries de haute technologie. S'il fallait abandonner ce rêve, il faudrait s'assurer que ce soit pour les bonnes raisons. Sans l'ombre d'un doute, nous croyons que la règle de précaution vaut pour

la faune aquatique du Golfe, mais nous croyons qu'elle vaut aussi pour la survie économique de la population de l'est du Québec. L'argument d'un potentiel négligeable pour l'estuaire et le golfe est à notre avis irrecevable sur le plan scientifique.

RÉFÉRENCES CITÉES

- BAPE. 2004. Rapport du comité d'experts sur les enjeux environnementaux liés aux levés sismiques dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent, mars 2004, 183 p.
- Bertrand, R. 1987. Maturation thermique et potentiel pétrologène des séries post-taconiennes du nord-est de la Gaspésie et de l'île d'Anticosti. Thèse de doctorat, Université de Neuchâtel, Suisse, 647 p.
- Bourque, P.-A. 1969. Stratigraphie du Silurien et du Dévonien inférieur du nord-est de la Gaspésie. Thèse de M.Sc., Université de Montréal, Montréal, 93 p.
- Bourque, P.-A. 2001. Sea-level, synsedimentary tectonics, and reefs: implications for hydrocarbon exploration in the Silurian-lowermost Devonian Gaspé Belt, Québec Appalachians. *Bulletin of the Canadian Petroleum Geology*, v. 49, p. 217-237.
- Bourque, P.-A., Bertrand, R., Kirkwood, D., Lavoie, D. et Malo, M. 2003. Synthèse géologique du segment appalachien de Gaspésie-Matapédia-Témiscouata à des fins d'exploration pétrolière et gazière. Rapport d'expertise à Hydro-Québec, 179 p. (texte) + 107 figures.
- Bourque, P.-A., Brisebois, D. et Malo, M. 1995. Gaspé belt. *In*: William, H. (ed.). *Geology of the Appalachian-Caledonian Orogen in Canada and Greenland*. Boulder, Colorado, Geological Society of America, *Geology of North America*, v. F-1, p. 316-351.
- Bourque, P.-A., Gosselin, C., Kirkwood, D., Malo, M. et St-Julien, P. 1993. Le Silurien du segment appalachien Gaspésie-Matapédia-Témiscouata: stratigraphie, géologie structurale et paléogéographie. Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec, MB93-25, 115 p. + 23 cartes.
- Bourque, P.-A., Malo, M. et Kirkwood, D. 2000. Paleogeography and tectono-sedimentary history at margin of Laurentia during Silurian-Earliest Devonian time: the Gaspé Belt, Québec. *Geological Society of America Bulletin*, vol. 112, p. 4-20.
- Bourque, P.A., Malo, M. et Kirkwood, D. 2001. Stratigraphy, tectono-sedimentary and paleogeography of the post-Taconian - pre-Carboniferous Gaspé Belt: an Overview. *Bulletin of the Canadian Society of Petroleum Geologists*, vol. 49, p. 186-201.
- Castonguay, S., Dietrich, J., Morin, C. et Laliberté, J.-Y. 2001. Structural architecture of the St. Lawrence platform and Quebec Appalachians insights from reprocessed (MNRQ) seismic reflection data, Open file 4028, Geological Survey of Canada.
- Chi, G., Bertrand, R. et Lavoie, D. 2000. Regional-scale variation of characteristics of hydrocarbon fluid inclusions and thermal conditions along the Paleozoic Laurentian continental margin in eastern Quebec. Canada. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, v. 48, p. 193-211.
- Chi, G. et Lavoie, D. 2001. A diagenetic study of dolostones of the Lower Ordovician Romaine Formation, Anticosti Island. *Current Research*, 2001-D17, Geological Survey of Canada, 16 p.
- Clowes, R.M., Cook, F.A., Green, A.G., Keen, C.E., Ludden, J.N., Percival, J.A., Quinlan, G.M. et West, G.F. 1992. Lithoprobe: new perspectives on crustal evolution. *Canadian Journal of Earth Sciences*, v. 29, p. 1813-1864.
- Cooper, M., Weissenberger, J., Knight, I., Hostad, D., Gillespie, D., Williams, H., Burden, E., Porter-Chaudhry, J., Ray, D. et Clark, E. 2001. Basin evolution in western Newfoundland: New insights from hydrocarbon exploration. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, v. 85, p. 393-418.

- Dansereau, P. 1989. Sédimentologie et diagenèse de la brèche calcaire de Neigette, Silurien supérieur du bassin de Gaspésie. Mémoire de M.Sc., Université Laval, Québec.
- Immertz, P. 1997. Tectonic evolution and hydrocarbon potential of the Late Ordovician to Early Devonian Gaspé Basin : the sleeping beauty. CSPG-SEPM Joint Convention, 1997, Calgary, Alberta, Program with abstracts, p. 140.
- Kirkwood, D. 1993. Étude qualitative et quantitative de la déformation acadienne du bassin siluro-dévonien de la péninsule gaspésienne, Appalaches du Nord. Thèse de Ph.D. non publiée, Université Laval, Québec, 178 p.
- Kirkwood, D. 1999. Palinspastic restoration of a post-Taconian successor basin deformed within a transpressive regime, northern Appalachians. *Tectonics*, v. 18, p. 1027-1040.
- Kirkwood D., Lavoie, M., Lavoie, V. et Marcil, J.S. 2002. Acadian tectonic wedging, stacking, and triangle zone in northeastern Gaspé Appalachians? Canadian Society of Petroleum Geologists, Diamond Jubilee Convention, June 3-7, 2002, Calgary, Alberta, Program with Abstracts.
- Kirkwood, D., Lavoie, M. et Marcil, J.-S. Sous presse. Structural style and hydrocarbon potential in the Acadian foreland thrust and fold belt, Gaspé Appalachians, Canada. *In* Roure, F., Granath, J. et Swennen, R., "Deformation, fluid flow and reservoir Appraisal in foreland fold-and-thrust belts", American Association of Petroleum Geologists, Memoir.
- Lavoie, D. 1988. Stratigraphie, sédimentologie et diagenèse du Wenlockien (Silurien) du bassin de Gaspésie - Matapédia. Thèse de Ph.D. non publiée, Université Laval, Québec, 330 p.
- Lavoie, D. Sous presse. Lower Paleozoic belts - Hydrocarbon potential of the Anticosti Basin. *Bulletin Geological Survey of Canada* (publication prévue mars 2005).
- Lavoie, D., et Bourque, P.-A. 1993. Marine, burial and meteoric diagenesis of Early Silurian carbonate ramps, Québec Appalachians, Canada. *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 63, p. 233-247.
- Lavoie, D. et Bourque, P.-A. (eds). 2001. Hydrocarbon plays in the Silurian-Devonian Gaspé Belt, Québec Appalachians, *Bulletin of the Canadian Petroleum Geology*, v. 49, no 2 (numéro spécial), 367 p.
- Lavoie, D., Bourque, P.-A. et Héroux, Y. 1992. Early Silurian carbonate platforms in the Appalachian orogenic belt: the Sayabec - La Vieille formations of the Gaspé-Matapédia basin, Québec. *Canadian Journal of Earth Sciences*, v. 29, p. 704-719.
- Lavoie, D., Burden, E. et Lebel, D. 2003. Stratigraphic framework of the Cambrian-Ordovician rift-early drift and passive margin slope succession from southern Quebec to Newfoundland. *Canadian Journal of Earth Sciences*, Numéro spécial, v. 40, p. 177-205.
- Lespérance, P.J. et Bourque, P.-A. 1970. Silurian and basal Devonian stratigraphy of Northeastern Gaspé Peninsula, Québec. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, v. 54, p. 1868-1886.
- Logan, W.E. 1863. *Geology of Canada*. Geological Survey of Canada, Report of progress to 1863, 983 p.
- Malo, M. 2001. The Late Silurian-Early Devonian tectono-sedimentary history of the Gaspé Belt in the Gaspé Peninsula : from a transtensional Salinic basin to an Acadian foreland basin. *Bulletin of the Canadian Society of Petroleum Geologists*, v. 49, p. 202-216.
- Malo, M. et Bourque, P.A. 1993. Timing of the deformation events from Late Ordovician to mid-Devonian in the Gaspé Peninsula *In: The Acadian Orogeny: Recent Studies in New England, Maritime Canada*,

- and the Autochthonous Foreland. D.C. Roy et S.J. Skehan (eds). Geological Society of America, Special Paper 275, p. 101-122.
- Morin, C. 2003. Anticosti: le prochain Albion-Scipio? Colloque Québec Exploration 2003, Association de l'Exploration minière du Québec et Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, novembre 2003.
- Petryk, A.A. 1979. Stratigraphie révisée de l'île d'Anticosti. Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec, DPV 711.
- Petryk, A.A. 1981. Lithostratigraphie, paléogéographie et potentiel en hydrocarbures de l'île d'Anticosti. Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec, DPV 816.
- Roksandic, M.M. et Granger, B. 1981. Structural style of Anticosti Island, Gaspé Passage, and eastern Gaspé Peninsula inferred from reflection seismic data. *In*: Lespérance P.J. (ed.). Field Meeting Anticosti-Gaspé, Québec. Subcommission on Silurian Stratigraphy, Ordovician-Silurian Boundary Working Group, v. 2: Stratigraphy and Paleontology, p. 211-221.
- Roure, F., Bergerat, F., Damotte, B., Mugnier, J.-L. et Polino, R. 1996. The ECORS-CROP Alpine Seismic Traverse. Mémoires de la Société Géologique de France, 113 p.
- St-Julien, P., Slivitsky, A. et Feininger, T. 1983. A deep structural profile across the Appalachians of southern Quebec. In Hatcher, R. D., Jr., Williams, H. et Zietz, I., Contributions to the tectonics and geophysics of mountain chains, Geological Society of America, Memoir 158, p. 103-112.
- Williams, H. 1978. Tectonics lithofacies map of the Appalachian orogen. Memorial University of Newfoundland, Map no. 1.