Université du Québec INRS Eau, Terre et Environnement

Diagenèse et potentiel en hydrocarbures des successions paléozoïques de la région du Lac Matapédia, Québec

Par Stéphanie Roy

Mémoire présenté pour l'obtention du grade de Maître ès sciences (M.Sc.)

Jury d'évaluation

Examinateur externe

Jean-Yves Laliberté Ministère des Ressources naturelles du Québec Direction du développement des hydrocarbures

Denis Lavoie

Examinateur interne

Commission géologique du Canada

Directeur de recherche

Codirecteur de recherche

Michel Malo INRS Eau, Terre et Environnement

Rudolf Bertrand INRS Eau, Terre et Environnement

© droits réservés de Stéphanie Roy, 2004

RÉSUMÉ

Depuis quelques années, plusieurs indices d'huile et de gaz naturel ont été découverts dans les successions siluro-dévoniennes de la région du Lac Matapédia au Québec. Jusqu'à tout récemment, le potentiel en hydrocarbures de ces strates était presque inconnu. Aucune étude sur les roches mères, la maturation thermique ou les biomarqueurs des huiles n'avait été entreprise dans ces successions.

Les successions de la région du Lac Matapédia montrent des roches mères ordoviciennes et dévoniennes qui sont assez riches en matière organique et suffisamment matures pour avoir généré des huiles. Les argilites noires du Black Shale Assemblage du Mélange du Ruisseau Isabelle au nord-est de la région (Ordovicien) et les calcaires argileux de la Formation de Forillon (Dévonien) sont les roches mères les plus probables pour les indices d'huile. Les teneurs en carbone organique total atteignent 2,7 et 1,7%, respectivement.

La plus grande partie des successions de la région (ordoviciennes à dévoniennes) sont supramatures en terme de génération d'huile (stades à condensats ou à gaz sec). Toutefois, localement, les roches siluro-dévoniennes sont encore dans la fenêtre à huile potentielle (matures), particulièrement dans la partie nord-est de la région étudiée.

Les huiles produites dans quelques puits sont presque totalement dépourvues de biomarqueurs du groupe des stéranes et ne permettent pas de faire de corrélations avec l'une ou l'autre des roches mères citées ci-haut. Par contre, leurs compositions isotopiques montrent une forte corrélation avec celles des huiles extraites d'échantillons de la Formation de Forillon.

Les huiles extraites des argilites du Black Shale Assemblage du Mélange du Ruisseau Isabelle (supramatures en terme de génération d'huile) montrent des compositions en stéranes et en isotopes du carbone différentes des huiles ordoviciennes de l'ouest de Terre-Neuve, mais la composition des stéranes est similaire à celle de la Formation de Macasty (Ordovicien de l'île Anticosti).

La maturation des argilites noires du Black Shale Assemblage du Mélange du Ruisseau Isabelle peut être d'âge Ordovicien tardif ou Dévonien. La maturation des successions dévoniennes est post-plissement (Dévonien à Carbonifère) et elle est en partie due à l'enfouissement par les Grès de Gaspé. Nos résultats montrent que les hydrocarbures ont migré du sud-est vers le nord-ouest. Cette migration des hydrocarbures est une conséquence de la différence d'enfouissement entre la partie sud (9 km) et la partie nord (4 km) de la région.

Étudiant

Directeur de recherche

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, j'aimerais remercier mes deux directeurs, Rudolf Bertrand et Michel Malo, pour leur précieuse aide, leur disponibilité et pour m'avoir permis de réaliser ce projet. Sans eux, ce projet n'aurait pu avoir lieu. Aussi, ils m'ont fait découvrir un domaine que je ne connaissais pratiquement pas, mais où je me suis découvert une passion : l'exploration pétrolière. De plus, j'aimerais remercier M. Bertrand pour son infinie patience face à mes nombreuses questions et pour m'avoir transmis ses connaissances.

Je tiens aussi à remercier plusieurs personnes qui travaillent au Centre géoscientifique de Québec. Ces personnes sont Esther Asselin, pour le travail de terrain et les analyses palynologiques, Kathleen Lauzière, pour son aide au niveau informatique, Denis Lavoie, pour le financement du projet, pour avoir répondu à mes questions et pour la correction de mon mémoire, et Martine Savard, pour les analyses isotopiques. J'aimerais aussi remercier André Hébert, Jean-Claude Bérubé et Stéfane Prémont du Complexe scientifique pour avoir effectué les analyses de laboratoire et la préparation des lames nécessaires à mon projet de maîtrise. Merci aussi à Claude Morin, anciennement au Ministère des Ressources naturelles du Québec, pour m'avoir transmis certaines informations, à Martin Fowler de la Commission géologique du Canada à Calgary pour avoir réalisé les analyses de Rock Eval et de biomarqueurs et à Jean-Yves Laliberté du Ministère des Ressources naturelles du Québec pour la correction de mon mémoire.

Je remercie l'INRS - Eau, Terre et Environnement, la Commission géologique du Canada et le Ministère des Ressources naturelles pour leur soutien financier.

J'aimerais remercier tout particulièrement mes parents, Antoinette et Albert, pour m'avoir donné leur amour d'un travail bien fait et pour m'avoir encouragée d'aller jusqu'au bout de mes objectifs et, surtout, de mes rêves.

Merci à Marc-André Lavigne pour m'avoir encouragée et supportée jusqu'à la fin de ma maîtrise, même durant mes sautes d'humeur.

Finalement, je remercie tous les étudiants et amis de l'INRS - Eau, Terre et Environnement pour leur support tant technique que moral.



TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉIII
REMERCIEMENTSV
TABLE DES MATIÈRESVII
LISTE DES FIGURESXI
LISTE DES TABLEAUXXIII
CHAPITRE 1 INTRODUCTION. 1 1.1- Problématique. 1 1.2- Objectifs. 2 1.3- Méthodologie. 3 1.3.1- Pétrographie et paragenèse organiques et minérales. 4 1.3.2- Maturation thermique. 5 1.3.3- Géochimie du kérogène. 6 1.3.4- Géochimie des huiles. 6 1.4.5 Géologie régionale. 8 1.4.1- Localisation. 8 1.4.2- Orogénies. 10 1.4.3- Géologie structurale et stratigraphie. 11 1.4.3.1- Géologie structurale. 11 1.4.3.2- Stratigraphie. 12 1.4.3.2.1- Black Shale Assemblage du Mélange du Ruisseau Isabelle. 1.4.3.2.2- Groupe de Chaleurs. 14 1.4.3.2.3- Calcaires supérieurs de Gaspé. 15 1.4.3.2.4- Grès de Gaspé. 16 1.4.3.2.5- Groupe de Fortin. 16
CHAPITRE 2 PÉTROGRAPHIE ET PARAGENÈSE MINÉRALES ET ORGANIOUES
2.1- Définitions
2 2- Résultats 17
2.2 1 Coultais
2.2.1 - 1 = 0 = 0 = 0 = 0 = 0 = 0 = 0 = 0 = 0 =
2.2.2- Falagenese initiciale
2.5- interpretation et discussion
2.3.1- Presence du blume
2.3.2- Migration du bitume
2.3.3- Stylolitisation23

CHAPITRE 3

PÉTROGRAPHIE ET MATURATION THERMIQUE DE LA MATIÈRE	
ORGANIQUE.	25
3.1- Définitions	25
3.2- Résultats	26
3.2.1- Pétrographie de la matière organique	26
3.2.2- Réflectance de la matière organique	29
3.2.3- Zonation de la réflectance et des hydrocarbures	38
3.3- Interprétation et discussion.	41
CHAPITRE 4	
GÉOCHIMIE DU KÉROGÈNE	45
4.1- Définitions	45
4.2- Résultats	47
4.2.1- Carbone organique total	47
4.2.2- Pyrolyse en programmation de température (Rock Eval)	48
4.2.2.1 - Indice d'oxygène	48
4.2.2.2. Indice d'hydrogène	
4 2 2 3 - T	
4 2 2 4- Potentiel génétique	52
4.2.2.4 Totentier generique	52
4.2.2.5- Indice de production	55
4.3- Interprétation et discussion	55
CHAPITRE 5	
GÉOCHIMIE DES HUILES	63
5 1- Définitions	63
5.2- Résultats	64
5.2 1. Biomarqueurs	64
5.2.1 · Diomarqueurs	61
$5.2.11^{-}$ Storahos	60
5.2.1.1.1 Diagramme termate	71
5.2.1.1.2 Age	72
5.2.1.2 Temanos	12 72
5.2.1.2- Terpanes	/J 72
5.2.2. Demonte instantique das a sloones	13 76
5.2.2- Rapports isotopiques des n-aicanes	/0
5.3- Interpretation et discussion	/9
CHAPIIKE 0 MODÉLICATION DE L'ENFOLUCCEMENT ET DE LA CÉNÉRATION	DEC
MUDELISATION DE L'ENFOUISSEMENT ET DE LA GENERATION	DES
HYDROCARBURES.	دة
6.1- Generalites et interpretation	83
6.2- Kesultats	84
6.2.1- Puts Mitis no 1	85
6.2.2- Puits Rivière à la Truite no 1	85
6.3- Interprétation et discussion	88

CHAPITRE 7

CONCLUSION
RÉFÉRENCES95
APPENDICE A : Localisation des échantillons103
APPENDICE B : Pétrographie des types de matière organique pour chaque échantillon de surface109
APPENDICE C : Résultats des analyses de réflectance des échantillons provenant de la région du Lac Matapédia
APPENDICE D : Pourcentage d'huile et de gaz produits en fonction du temps à la base de la Formation de Forillon pour le puits Mitis no 1, basés sur les valeurs de TTI d'Arrhenius du modèle de Hunt (1995)
APPENDICE E : Pourcentage d'huile et de gaz produits en fonction du temps au sommet de la Formation de Forillon pour le puits Mitis no 1, basés sur les valeurs de TTI d'Arrhenius du modèle de Hunt (1995)
APPENDICE F : Pourcentage d'huile et de gaz produits en fonction du temps à la base de la Formation de Forillon pour le puits Rivière à la Truite no 1, basés sur les valeurs de TTI d'Arrhenius du modèle de Hunt (1995)
APPENDICE G : Pourcentage d'huile et de gaz produits en fonction du temps au sommet de la Formation de Forillon pour le puits Rivière à la Truite no 1, basés sur les valeurs de TTI d'Arrhenius du modèle de Hunt (1995)
APPENDICE H : Pourcentage d'huile et de gaz produits en fonction du temps au sommet du Black Shale Assemblage du Mélange du Ruisseau Isabelle pour le puits Rivière à la Truite no 1, basés sur les valeurs de TTI d'Arrhenius du modèle de Hunt (1995) : Hypothèse 1
APPENDICE I : Pourcentage d'huile et de gaz produits en fonction du temps au sommet du Black Shale Assemblage du Mélange du Ruisseau Isabelle pour le puits Rivière à la Truite no 1, basés sur les valeurs de TTI d'Arrhenius du modèle de Hunt (1995) : Hypothèse 2
PLANCHES PHOTOGRAPHIQUES141

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Localisation du synclinorium de Connecticut Valley – Gaspé, de l'anticlinorium d'Aroostoock – Percé et du synclinorium de la Baie des Chaleurs
Figure 2 : Géologie de la région du Lac Matapédia9
Figure 3 : Stratigraphie de la région du Lac Matapédia13
Figure 4 : Paragenèse pour les groupes et les formations du Lac Matapédia18
Figure 5 : Histogramme de la réflectance pour les échantillons de surface et de puits
Figure 6a : Profil du puits 2000FC123 (Prospection 2000)
Figure 7 : Courbes d'isovaleurs de l'enfouissement maximal des séries sédimentaires de la région du Lac Matapédia
Figure 8 : Zonation de la réflectance et des stades de génération des hydrocarbures
Figure 9 : Valeurs de la réflectance en fonction du groupe ou de la formation et de la partie nord ou sud40
Figure 10 : Histogramme du carbone organique total (COT) pour les échantillons de surface et de puits de la région du Lac Matapédia48
Figure 11 : Histogramme de la température de pyrolyse maximale (T _{max}) pour les échantillons de surface et de puits de la région du Lac Matapédia52
Figure 12 : Courbes d'isovaleurs de l'indice de migration des hydrocarbures avec la zonation de la réflectance et des stades de génération des hydrocarbures
Figure 13 : Type de matière organique en fonction de la réflectance et de l'indice d'hydrogène

masse m/z 217), exemple du Mélange du Ruisseau Isabelle
Figure 15 : Biomarqueurs : Groupe des stéranes (chromatogramme de masse m/z 217)
Figure 16a : Diagramme ternaire modifié d'après Waples et Machihara (1993)70 b : Diagramme ternaire modifié d'après Hunt (1995)70
Figure 17 : Âge des roches mères (en millions d'années) en fonction du rapport C ₂₈ /C ₂₉ des stéranes réguliers72
Figure 18 : Biomarqueurs : Position des pics du groupe des terpanes (chromatogramme de masse m/z 191), exemple du Mélange du Ruisseau Isabelle76
Figure 19 : Rapports isotopiques du carbone-13 pour des échantillons de la région du Lac Matapédia, de l'Est de la Gaspésie et de Terre-Neuve77
 Figure 20a : Génération des hydrocarbures du puits Mitis no 1 utilisant le modèle de Hunt
Figure 21 : Événements tectoniques ayant affectés la région du Lac Matapédia, roches mères potentielles et génération des hydrocarbures

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Pétrographie en fonction de la formation
Tableau 2a : Pétrographie des types de matière organique pour chaque formation ou groupe 27
b : Pétrographie des types de matière organique dans les échantillons de puits
Tableau 3 : Gradients de réflectance et gradients géothermiques pour chaque puits
Tableau 4 : Résultats des analyses de carbone organique total et de Rock Eval49
Tableau 5 : Résultats des analyses élémentaires
 Tableau 6a : Valeurs actuelles et initiales pour le carbone organique total (COT), l'indice d'hydrogène (IH) et le potentiel génétique (PG) pour l'échantillon 30214 de la Formation de Forillon pour le type II
Tableau 7 : Hauteur des pics pour les stéranes du chromatogramme de masse m/z 21765
Tableau 8 : Rapports pour les stéranes du chromatogramme de masse m/z 21767
Tableau 9 : Hauteur des pics pour les terpanes du chromatogramme de masse m/z 19174
Tableau 10 : Rapports pour les terpanes du chromatogramme de masse m/z 19175
Tableau 11 : Valeurs des rapports isotopiques du carbone-13 en fonction du nombre de carbone 78



CHAPITRE 1 INTRODUCTION

1.1- Problématique

La région du Lac Matapédia en Gaspésie a été peu prospectée pour les hydrocarbures, et ce, depuis 1973. En 1996, l'entreprise Prospection 2000 a découvert des indices d'huile fort intéressants. La découverte de Prospection 2000 et celle de Portau-Port à Terre-Neuve ont eu pour effet de relancer l'exploration dans l'ensemble des Appalaches. Les valeurs de la réflectance dans le seul puits étudié (Great Plains Noel *et al.* La Vérendrye no 1 (1972FC090)) s'étant révélées très élevées (Sikander et Pittion, 1978), aucune étude exhaustive visant à évaluer le potentiel roche mère, la maturation thermique ou le potentiel réservoir des strates siluro-dévoniennes de la région du Lac Matapédia n'avait été faite. Donc, la découverte de ces nouveaux indices et le fait qu'il n'y a que très peu de connaissances sur cette région nous permettent de croire qu'il est pertinent d'évaluer plus à fond la maturation thermique et le potentiel en roches mères à hydrocarbures de la région du Lac Matapédia.

Des analyses sur des huiles trouvées dans des contextes géologiques similaires dans le Nord-Est de la Gaspésie, soit dans la région de Gaspé, ont suggéré que les roches mères de ces huiles puissent être ordoviciennes (Idiz *et al.*, 1997). Vu que les roches cambro-ordoviciennes de cette partie de la Gaspésie sont supramatures en terme de génération d'huile, aucune corrélation huile - roche mère n'a pu être établie à partir des roches de la péninsule (Islam *et al.*, 1982; Bertrand, 1987; Bertrand et Malo, 2001a).

Des roches mères potentielles d'âge siluro-dévonien ont été également identifiées dans le Nord-Est de la Gaspésie. Par contre, une corrélation roche mère – huile n'a pu être que partiellement établie. Les principales roches mères identifiées sont les formations de York River, de Forillon et d'Indian Point (Bertrand et Malo, 2001). L'absence de corrélation roche mère – huile avec la Formation de York River a pu être démontrée, mais l'absence de données pertinentes n'a pas permis d'évaluer les relations huile – roche mère avec les formations de Forillon et d'Indian Point, faute d'échantillonnage bien ciblé (Bertrand et Malo, 2001a, 2002).

Des résultats préliminaires de travaux effectués à l'INRS-ETE (R. Bertrand, 2002) montrent que la région du Lac Matapédia est similaire à celle du Nord-Est de la Gaspésie quant à son niveau de maturation thermique et son potentiel en hydrocarbures. Ils démontrent aussi qu'une étude régionale de la maturation thermique de la région du Lac Matapédia était nécessaire pour pouvoir déterminer les secteurs qui sont favorables à la conservation des huiles. Ceci a déjà été fait dans la région de Gaspé (Bertrand et Malo, 2001). Ces résultats démontrent qu'il faut identifier des roches mères potentielles. Des corrélations huile – roche mère doivent être établies pour orienter l'exploration des hydrocarbures dans la région du Lac Matapédia.

Quatre questions concernant l'origine des huiles sont à la base de ce projet de maîtrise :

- 1- Quelle est la roche mère à l'origine de ces huiles ?
- 2- Quand ces huiles ont-elles été générées et quand ont-elles migré ?
- 3- Dans quel secteur de la région se sont-elles accumulées ?
- 4- Quel est le périmètre qui est encore prospectif pour la conservation de l'huile et du gaz ?

1.2- Objectifs

Les objectifs qui découlent des questions précédentes sont de déterminer :

- 1- quelles sont les roches mères potentielles,
- 2- la chronologie de la genèse et de la migration des huiles par rapport aux événements géologiques qui ont affecté la région,
- 3- la région d'accumulation potentielle des huiles.

1.3- <u>Méthodologie</u>

La première étape de cette étude fut la campagne d'échantillonnage. Le terrain couvert pour l'échantillonnage couvre tout le Siluro-Dévonien entre la discordance taconienne et/ou la faille de Shickschock Sud (au nord) et la faille de Sainte-Florence (au sud). Une région couvrant de 25 à 30 km de part et d'autre de la rivière Matapédia a été étudiée. Environ quatre-vingt-dix échantillons de surface ont été collectés ainsi qu'une cinquantaine d'échantillons provenant de cinq puits ont été analysés. Ces puits sont : Associated Development Ltd Causapscal no 1 (1958FC002), 2000FC123 (Prospection 2000), Corridor Rivière à la Truite no 1 (1999FC120), Sun Exploration *et al.* Mitis no 1 (1967FC088) et Great Plains Noel *et al.* La Vérendrye no 1 (1972FC090). Deux huiles provenant de deux autres puits (1996FC119 et 1999FC121 : Prospection 2000) ont aussi été analysées. Des échantillons du Black Shale et du Composite Shale Assemblage du Mélange du Ruisseau Isabelle ont aussi été collectés.

La deuxième étape a été celle des analyses. Les types d'analyses effectuées sont la pétrographie de lames minces polies, la pétrographie du kérogène (qui est la partie insoluble au chloroforme de la matière organique), la réflectance des types de matière organique du kérogène, l'analyse du carbone organique et la pyrolyse en programmation de température (Rock Eval). Ces deux dernières analyses ont permis de caractériser toutes les formations échantillonnées en terme de roche mère potentielle (potentiel génétique actuel et ancien, proportion d'hydrocarbures produits, type de kérogène (I : algaire, II : sapropélique ou III : humique). La pétrographie des lames minces a servi à bien caractériser l'occurrence des bitumes dans les roches, soit des fractures ou des vacuoles. La pétrographie du kérogène, quant à elle, a servi à déterminer la nature de la matière organique qui le compose et à confirmer son type. La réflectance des types de matière organique du kérogène a permis de déterminer la maturation thermique des roches en terme de zone à hydrocarbures potentiellement générés.

Les échantillons qui ont été identifiés comme des roches mères ont subi des analyses élémentaires (CNS : carbone, azote et soufre). Ces analyses avaient pour but de bien caractériser la teneur en soufre des kérogènes. La teneur en soufre permet de

préciser la nature du kérogène et est un facteur déterminant dans la cinétique de la génération des huiles.

De plus, les extraits organiques (huile dissoute dans la roche et soluble au chloroforme) des échantillons identifiés comme des roches mères ont été analysés. Ces analyses ont permis de caractériser la nature des huiles générées en terme de familles d'hydrocarbures (GC : chromatographie gazeuse), de biomarqueurs (GC-MS : chromatographie gazeuse et spectroscopie de masse) ou de composition isotopique du carbone des types d'hydrocarbures (GC-IRMS : chromatographie gazeuse et rapports isotopiques par spectrométrie de masse).

Les huiles qui ont été produites au cours des tests de forage et qui proviennent des puits de la région du Lac Matapédia et de l'Ouest de Terre-Neuve ont été analysées avec les mêmes méthodes que les extraits organiques des roches mères. Ceci avait pour but de comparer leur composition avec celles des séries ordoviciennes et dévoniennes de notre région. Les biomarqueurs ont servi à déterminer le milieu de dépôt (marin ou terrestre), et à tenter de préciser la maturation thermique et l'âge de la roche mère. La GC-IRMS a servi à différencier les différents groupes d'huile. Les analyses effectuées sur les huiles et les extraits organiques de roches mères ont aussi permis de faire des corrélations huiles roches mères dans notre région et avec la région de Gaspé.

L'interprétation des résultats constitue la dernière étape de ce projet et vise à déterminer les roches mères et l'origine des huiles. Cette détermination est le résultat de l'intégration des données de maturation thermique, des données des études pétrographiques et géochimiques ou de géochimie des extraits et des huiles et, finalement, des données de surface et de puits.

1.3.1- <u>Pétrographie et paragenèse organiques et minérales</u>

L'analyse de la pétrographie et de la paragenèse organiques et minérales se fait à l'aide de lames minces polies. Pour analyser les lames minces polies, deux photomicroscopes, permettant de voir en lumière incidente et en lumière transmise, ont été utilisés. Le premier est un microscope de marque Nikon OPTIPHOT2-POL. Ce

microscope aide à bien voir la minéralisation. Le deuxième microscope est le même que celui qui est utilisé pour la réflectance (Chapitre 3), soit un photo-microscope III de Zeiss. Ce microscope aide à bien distinguer la matière organique contenue dans la roche. Soixante et une lames minces polies ont été analysées pour la pétrographie et la paragenèse minérales.

1.3.2- <u>Maturation thermique</u>

L'analyse de la réflectance se fait à l'aide de lames polies de concentré de kérogène. La technique de séparation du kérogène utilisée pour faire l'étude pétrographique de la matière organique est celle de Bertrand et Héroux (1987). Les lames polies de concentré de kérogène sont préparées selon la méthode de Bertrand *et al.* (1985). Plusieurs mesures de réflectance sous immersion d'huile ont été prises sur des particules non-orientées, et ce, en fonction de la taille des fragments de matière organique. Un photo-microscope III de Zeiss en lumière transmise et réfléchie est utilisé pour mesurer la réflectance. La longueur d'onde utilisée est de 546 nanomètres avec un objectif de 40X à immersion d'huile.

L'identification des composants du kérogène est basée sur la morphologie et les propriétés optiques des types de matière organique selon la méthode décrite par la Commission internationale de la Pétrologie du Charbon (Bertrand et Malo, 2001). Vu que la vitrinite est le macéral standard dans l'étude de la maturation thermique, c'est elle qui a été utilisée dans la zonation de la maturation thermique. La formule utilisée pour l'estimation de la réflectance de la vitrinite à partir de celle du migrabitume est tirée de Bertrand et Malo (2001). La formule utilisée est : R_o vitrinite = (R_o migrabitume – 0,059)/0.936. Cette formule a été choisie parce que la valeur moyenne de l'écart entre cette estimation et la réflectance de la vitrinite dans notre région est moins élevée qu'avec les formules de Bertrand (1993).

1.3.3- <u>Géochimie du kérogène</u>

Les valeurs d'analyses du carbone organique total (COT) et celles de la pyrolyse de la matière organique en programmation de température ont été obtenus avec une unité de pyrolyse Delsi Rock-Eval II. Ces analyses ont été effectuées à Calgary par la Commission géologique du Canada. L'appareil de pyrolyse Delsi Rock Eval II donne des valeurs de COT en additionnant le carbone pyrolysable et ce qui a été obtenu en oxydant la matière organique résiduelle à 600 °C (Peters et Moldowan, 1993). Une quantité de 100 mg d'échantillon est suffisante pour faire l'analyse. Un inconvénient à cette méthode est que, pour des échantillons matures, où la réflectance de la vitrinite est supérieure à 1,00%, le rendement de données du COT est pauvre parce que la température est insuffisante pour faire une combustion complète (Peters et Moldowan, 1993).

Les analyses élémentaires ont été obtenues avec un analyseur Leco de CNS (carbone, azote et soufre). Six échantillons ont été analysés. Une quantité de 3 mg d'échantillon est requise pour faire les analyses. L'analyseur Leco ne fait pas de différence entre le soufre organique et le soufre minéral qui se trouvent dans le kérogène. Les analyses élémentaires sont effectuées pour déterminer le type de matière organique pour la modélisation (Chapitre 6).

1.3.4- Géochimie des huiles

Les distributions de biomarqueurs ont été analysées avec la technique du chromatographe gazeux connecté avec un spectromètre de masse (GC-MS) combinée avec un contrôleur d'ion sélectionné ou un contrôleur d'ion seul (SIM) (Fowler *et al.*, 1995). Le GC-MS peut être utilisé pour les chromatogrammes m/z 217 (les stéranes) et m/z 191 (les terpanes). Le SIM est un processus qui consiste en un balayage de chaque composant qui émerge du chromatographe gazeux, et ce, pour détecter la présence de plusieurs ions fragmentés et présélectionnés (Waples et Machihara, 1993). Le SIM est très utile au GC-MS, car il classifie vite un grand nombre de molécules différentes pour

chaque échantillon (Waples et Machihara, 1993). Le SIM peut être utile autant pour le m/z 217 que pour le m/z 191.

Seulement huit échantillons d'huile ont été analysés au GC-MS dans le cadre de Cinq échantillons d'huile sont extraits de roche et les trois autres nos travaux. proviennent d'indices d'huile dans des puits. Deux extraits proviennent de la Formation d'Indian Cove (échantillons 13164 et 13222), un de la Formation de Forillon (échantillons 30211 et 30284) et un du Black Shale Assemblage du Mélange du Ruisseau Isabelle (échantillon 30391). Les deux premiers échantillons d'huile proviennent des puits 1996FC119 et 1999FC121 de la compagnie Prospection 2000, alors que le dernier échantillon d'huile provient de Saint-Paul Inlet (Terre-Neuve). Les échantillons de la Formation d'Indian Cove proviennent du Ruisseau Lézard (13164) et de la Rivière Mississippi (13222) situés dans le Nord-Est de la Gaspésie. Les échantillons de roche de la Formation d'Indian Cove (13164 et 13222) ainsi que l'échantillon d'huile de Saint-Paul Inlet ont été analysés pour faire une comparaison avec les échantillons de la région du Lac Matapédia. Les échantillons de la Formation d'Indian Cove ont été choisis car ils ont des compositions similaires à la Formation de Forillon, une roche mère potentielle de l'Est de la Gaspésie (Bertrand, 1987), tout en étant moins mature que cette dernière. L'échantillon d'huile de Saint-Paul Inlet a été choisi car il consiste en un indice d'huile de l'Ouest de Terre-Neuve (Fowler et al., 1995).

Les huit échantillons analysés pour les biomarqueurs ont aussi été analysés pour les rapports isotopiques. C'est un GC-IRMS (chromatographe de phase gazeuse couplé à un spectromètre de masse pour les rapports isotopiques) qui a été utilisé. Les analyses ont été effectuées par Delta-Lab (Commission géologique du Canada à Québec). L'appareil pour la partie chromatographie gazeuse est de type Hp, alors que pour la partie spectromètre de masse, c'est un interface de Fisons qui a été utilisé. Finalement, pour la partie des rapports isotopiques, c'est un appareil Prosm III de Fisons qui a effectué les analyses. Le GC-IRMS permet de faire des corrélations entre les valeurs de δ^{13} C des nalcanes allant du nC₄ au nC₃₅ dans les condensats, les huiles, les asphaltènes et les kérosènes (Hunt, 1995; Bjorøy *et al.*, 1994).

1.4- Géologie régionale

1.4.1- Localisation

La région du Lac Matapédia fait partie des Appalaches qui comprend des roches du Paléozoïque. On reconnaît trois assemblages distincts en Gaspésie, soit le Paléozoïque inférieur, le Paléozoïque moyen et le Paléozoïque supérieur. Le Paléozoïque inférieur, pour la Gaspésie, comprend la Zone de Humber et la Zone de Dunnage (Bourque *et al.*, 1995). Quant au Paléozoïque moyen, il correspond à la Ceinture de Gaspé. Cette dernière se divise en trois entités structurales : le synclinorium de Connecticut Valley – Gaspé, l'anticlinorium d'Aroostook – Percé et le synclinorium de la Baie des Chaleurs (Bourque *et al.*, 2001) (figure 1). Finalement, le Paléozoïque supérieur correspond à la Formation de Bonaventure (Bourque *et al.*, 1995)



Figure 1 : Localisation du synclinorium de Connecticut Valley - Gaspé, de l'anticlinorium d'Aroostook - Percé et du synclinorium de la Baie des Chaleurs. Figure modifiée de Bourque *et al.*, 2000.

✦ Localisation du Lac Matapédia





La région du Lac Matapédia fait partie du synclinorium Connecticut Valley – Gaspé (figure 1). Elle se situe entre la discordance taconienne et/ou la faille de Shickshock Sud (au nord) et la faille de Sainte-Florence (au sud) (figure 2).

1.4.2- Orogénies

La Ceinture de Gaspé a été affectée par les deux principales orogénies ayant modelé la partie nord des Appalaches : l'orogénie taconique et l'orogénie acadienne (Bourque et al., 2000). L'orogénie taconique a eu lieu de l'Ordovicien moyen à l'Ordovicien tardif, tandis que l'orogénie acadienne a eu lieu au Dévonien moyen. La région a aussi été affectée par la pulsation salinique qui s'est initiée du Silurien tardif et s'est terminée par la phase acadienne classique du Dévonien précoce (Bourque, 2001; Malo, 2001). En Gaspésie, l'orogénie taconique a été causée par la collision entre un arc insulaire avec la marge nord-américaine suivie par l'obduction de la croûte océanique (De Broucker, 1987; Pincivy et al., 2003). La discordance angulaire entre les strates du Siluro-Dévonien surmontant les roches du Cambro-Ordovicien plus déformées et métamorphisées constitue la limite entre les deux orogénies et indique que l'orogénie taconique est pré-silurienne (Slivitzky et al., 1991). Dans le Nord-Est de la Gaspésie, des failles majeures d'orientation nord-ouest ont agi en failles normales pendant la pulsation salinique, alors que durant l'orogénie acadienne, ces failles ont rejoué en failles de décrochement dextre (Bertrand et Malo, 2001a; Malo, 2001). La déformation de l'orogénie acadienne est expliquée par un processus de tectonique de coulissage qui a engendré des plis d'orientation nord-est, de grands décrochements est-ouest dans les roches du Siluro-Dévonien de la Ceinture de Gaspé ainsi que du chevauchement (Malo et Béland, 1989; Kirkwood et Malo, 1993; Malo et Kirkwood, 1995; Beausoleil et al., 2002).

1.4.3.1-<u>Géologie structurale</u>

Trois failles importantes traversent la région du Lac Matapédia : la faille de Shickshock Sud, celle de Causapscal et celle de Sainte-Florence (figure 2). Le synclinorium de Connecticut Valley - Gaspé est formé de plis acadiens, ainsi que de failles de décrochement acadiennes (Kirkwood et St-Julien, 1987). La faille de Shickshock Sud appartient à ce type de faille. La faille de Shickshock Sud montre des mouvements allant de l'Ordovicien (orogénie taconique), au Silurien (pulsation salinique) et au Dévonien (orogénie acadienne) (Sacks et al., 2004). L'orogénie taconique a engendré un glissement oblique le long de la faille de Shickshock Sud, associé à une déformation fragile, alors que l'orogénie acadienne a causé un mouvement de décrochement dextre (Sacks et al., 2004). La faille de Shickshock Sud est orientée estnord-est (Lachambre, 1987). Le pendage est fort et il varie du sud vers le sud-est (Sacks et al., 2004). Au nord de cette faille, il y a surtout des roches du Cambro-Ordovicien, ainsi que quelques roches du Dévonien. Les roches cambro-ordoviciennes sont passablement déformées (Lachambre, 1987). Au sud immédiat de la faille, les roches présentes sont celles du Siluro-Dévonien appartenant au Groupe de Chaleurs. Ces roches sont peu déformées (Lachambre, 1987). À quelques endroits, au sud de la faille, il y a les roches ordoviciennes du Black Shale Assemblage du Mélange du Ruisseau Isabelle qui sont recouvertes en discordance par les roches siluro-dévoniennes (Lachambre, 1987). La faille de Shickshock Sud représente donc en partie la limite entre la Zone de Humber -Dunnage et la Ceinture de Gaspé (Sacks et al., 2004).

Les failles de Sainte-Florence et de Causapscal sont orientées est-nord-est avec un pendage qui va de modéré à fort vers le sud-est (Kirkwood et St-Julien, 1987). La faille de Sainte-Florence a été interprétée comme une faille inverse vers le nord-ouest avec un mouvement tardif de décrochement dextre (Kirkwood, 1995). Sur le transect de sismique réflexion de la région de Val-Brillant, les plans de failles de Causapscal et de Sainte-Florence apparaissent comme des réflecteurs moyennement inclinés vers le sud-est (Beausoleil *et al.*, 2002).

Au nord de la faille de Sainte-Florence, on trouve de grands synclinaux à fond plat de direction nord-est qui impliquent des roches du Dévonien (Brisebois *et al.*, 1991) (figure 2). Il y a aussi des anticlinaux étroits et à flancs abrupts. Certains de ces anticlinaux sont asymétriques et leur flanc nord est légèrement plus abrupt que celui du sud. Les plis plongent soit vers l'est-nord-est ou soit vers l'ouest-sud-ouest. Le cœur des anticlinaux est constitué de roches allant du Silurien supérieur au Dévonien inférieur (Bourque *et al.*, 1995). La partie située au sud de la faille de Sainte-Florence constitue une vaste structure synclinoriale formée par les roches du Groupe de Fortin (Brisebois *et al.*, 1991). Cette région comprend des plis droits et ouverts de direction nord-est avec un clivage ardoisier bien développé (Kirkwood et St-Julien, 1987).

1.4.3.2- Stratigraphie

1.4.3.2.1- Black Shale Assemblage du Mélange du Ruisseau Isabelle

La région du Lac Matapédia comprend un mélange tectonique, le Mélange du Ruisseau Isabelle (figure 3). Ce mélange comprend divers assemblages lithologiques dont l'âge varie du Cambrien à l'Ordovicien tardif (Malo *et al.*, 2001). Le Mélange du Ruisseau Isabelle montre des affinités communes aux zones de Humber et de Dunnage (Malo *et al.*, 2001). Il a été formé entre l'Ordovicien tardif et le Dévonien moyen par un jeu complexe de failles normales, chevauchantes et coulissantes (Malo *et al.*, 2001). Les roches sédimentaires du Mélange du Ruisseau Isabelle proviennent de roches ayant des affinités continentales, par exemple celle de la marge passive du Cambro-Ordovicien de la zone de Humber, ou sont érodées du biseau tectonique taconique (Malo *et al.*, 2001). Dans la région à l'étude, c'est l'assemblage du Black Shale qui est investiguée. Cette unité présente des aspects d'une formation chaotique (Malo *et al.*, 2001). Elle est constituée de lits d'épaisseur fine à moyenne de shale graphitique et noir qui est fortement clivé avec d'épais interlits de siltstone et de lits de calcilutite dolomitique. Quatre différents événements tectoniques sont responsables de la nature chaotique du Black Shale Assemblage du Mélange du Ruisseau Isabelle. Ces épisodes sont : 1) le chevauchement durant la juxtaposition des terranes de Humber et de Dunnage, 2) les failles normales avant le Llandovérien tardif, 3) les failles normales saliniques durant le Ludlovien, et 4) les failles acadiennes de décrochement dextre du post-Dévonien précoce (Malo *et al.*, 2001).

			No	rd faille de	Ste-Florence	Sud fa	aille de Ste-Florence
	Ρ	ériode	Gr	Fm	Litho.	Gr	Litho.
382,5 Ma		Moven		Battery Point	Grès et mudrocks		
		Moyen	e Gaspé	Lake Branch	Shale, siltstone, grès et mudcrack		
			Grès de	York River	Grès et mudrocks		
				York Lake	Calcaire siliceux, grès et mudrock		
	lien		e Gaspé	Indian Cove	Calcaire siliceux silto-gréseux, arénite quartzitique, calcaré- nite et mudrock	Fortin	Mudstone, grès, clay- slate, mudslate, cal- calre et conglomé- rat
	Dévor	Précoce	es sup. de	Shiphead	Mudstone vert, muds- tone calcareux et cal- caire sublithographique		
			Calcair	Forillon	Calcilutite et cal- caire argileux		
418 Ma 🚥				Saint-Léon	Mudrocks, grès,cal- caires et calcaires		
	Silurien	Tardif	Chaleurs	Sayabec Val-Brillant Awantiish	rècifaux Mudrocks, grès, cal- caires, calcaires ré- cifaux et conglomérat		
442 Ma		Précoce	\sim	لمنما	\sim		
443 Ma	en	Tardif		\sim	$\sim\sim\sim$		
	ovici	Moyen	Melan sea	ge du Ruis- u Isabelle	Mélange tectonique		
495 Ma	Orde	Précoce	Supe C	rgroupe de Juébec	Grès, mudrock, cal- caire et conglomérat		

Figure 3 : Stratigraphie de la région du Lac Matapédia. Gr = Groupe, Fm = Formation, Litho. = Lithologie, Sup. = Supérieur et Inf. = Inférieur.

1.4.3.2.2- Groupe de Chaleurs

Dans la région du Lac Matapédia, le Groupe de Chaleurs est constitué de quatre formations, de la base vers le sommet : la Formation d'Awantjish, la Formation de Val-Brillant, la Formation de Sayabec et la Formation de Saint-Léon (figure 3). Ces formations sont des faciès marins d'eau peu profonde (Bourque et al., 2001). Localement, la base de la Formation d'Awantjish repose en discordance sur les roches cambro-ordoviciennes (Lachambre, 1987). Généralement, c'est la Formation de Val-Brillant qui repose en discordance sur les roches du Cambro-Ordovicien. Dans sa partie inférieure, la Formation d'Awantjish est constituée de siltstone laminé alors que dans sa partie supérieure, elle est constituée de minces lits de calcaire très riche en brachiopodes (Lachambre, 1987). Son âge est du Llandovérien tardif. Dans la partie ouest de la région du Lac Matapédia, la Formation de Val-Brillant est sus-jacente à la Formation d'Awantjish. Cette formation est surtout composée de grès quartzeux. Ces grès montrent souvent des laminations parallèles et entrecroisées. Dans la partie inférieure de la séquence de grès, il y a des niveaux comprenant des laminations convolutées, des conglomérats intraformationnels, des structures d'extrusion et des veines de grès, le tout suggérant des déformations synsédimentaires (Lachambre, 1987). Des brachiopodes sont parfois présents. L'âge de la Formation de Val-Brillant varie du Llandovérien tardif au Wenlockien précoce. La Formation de Sayabec, quant à elle, se situe au-dessus de la Formation de Val-Brillant et au-dessous de la Formation de Saint-Léon. Le contact de la Formation de Sayabec avec les formations de Val-Brillant et de Saint-Léon est concordant et graduel (Lachambre, 1987). L'âge de la Formation de Sayabec est du Llandovérien tardif au Wenlockien tardif (Lavoie et al., 1992). La Formation de Sayabec comprend des carbonates d'eau peu profonde (Lavoie et Chi, 2001). Cette formation est divisée en quatre membres non-officiels (Lavoie et al., 1992). Le membre A est constitué de calcaire sableux, le membre B se compose d'un calcaire nodulaire, le membre C comprend un calcaire de bioherme et de biostrome et le membre D est constitué lui aussi d'un calcaire nodulaire (Lavoie et al., 1992). Il y a présence de brachiopodes et de graptolites. La Formation de Saint-Léon représente le sommet du Groupe de Chaleurs. Le contact supérieur avec les Calcaires supérieurs de Gaspé est concordant et graduel (Lachambre, 1987). Le passage entre la Formation de Saint-Léon et les Calcaires supérieurs de Gaspé se passe à l'intérieur d'une série rythmique de grès-mudstone et se traduit par la présence d'un mudstone très calcareux, appartenant aux Calcaires supérieurs de Gaspé, qui remplace un mudstone non calcareux, rattaché à la Formation de Saint-Léon. Cette formation est surtout composée de siltstone et de grès très fin avec, dans la partie supérieure, des niveaux de mudstone et, dans les parties inférieure et médiane, des niveaux de calcaire rubané (Lachambre, 1987). Les brachiopodes sont les fossiles qui dominent dans la Formation de Saint-Léon. L'âge de cette formation s'étend probablement du Ludlovien précoce au Lochkovien précoce.

1.4.3.2.3- Calcaires supérieurs de Gaspé

Les Calcaires supérieurs de Gaspé sont en concordance sur les strates de la Formation de Saint-Léon (Lachambre, 1987). Ce groupe est constitué de trois formations, de la base vers le sommet : la Formation de Forillon, la Formation de Shiphead et la Formation d'Indian Cove (figure 3). Ces formations sont d'âge Dévonien précoce. Les Calcaires supérieurs de Gaspé résultent d'une sédimentation dans un milieu de plate-forme d'eau profonde (Lavoie, 1992). La Formation de Forillon est constituée de lits de calcilutites argileuses non-fossilifères montrant une texture de mudstone avec, parfois des interlits de mudstones calcareux siliciclastiques (Lavoie, 1992). L'âge de cette formation est du Dévonien précoce. La Formation de Shiphead est composée de mudstones siliciclastiques érodés localement dolomitisés (Lavoie, 1992). Le litage est souvent caché par de la fissilité et du clivage (Lavoie, 1992). Finalement, la Formation d'Indian Cove comprend des lits de calcilutites argileuses siliceuses non-fossilifères generation de sur la Formation de sur de la fissilité et du clivage (Lavoie, 1992). Finalement, la Formation d'Indian Cove comprend des lits de calcilutites argileuses siliceuses non-fossilifères generation de sur de la fissilité et du clivage (Lavoie, 1992). Finalement, la Formation d'Indian Cove comprend des lits de calcilutites argileuses siliceuses non-fossilifères montrant une texture de mudstone (Lavoie, 1992). Il y a aussi des laminations parallèles et des lentilles de siltstone dolomitique qui sont localement bioturbées (Lavoie, 1992).

1.4.3.2.4- Grès de Gaspé

Les Grès de Gaspé sont situés au-dessus des Calcaires supérieurs de Gaspé. Les Formations de York Lake, de York River, de Lake Branch et de Battery Point constituent ce groupe (figure 3). Celui-ci est constitué de grès et de conglomérats littoraux à continentaux (Brisebois *et al.*, 1991). Ce groupe est d'âge Emsien. La transition des faciès d'eau profonde des Calcaires supérieurs de Gaspé à des sables d'eau peu profonde des Grès de Gaspé se fait de façon gradationnelle dans la région du Lac Matapédia (Bourque *et al.*, 2001). La Formation de York Lake est constituée de calcaires siliceux, de grès et de mudrocks gris-vert avec des arénites et des wackes de quartz, alors que celle de York River comprend des grès et des mudrocks gris-vert ainsi que des siltstones et des mudstones (Brisebois *et al.*, 2000; Bourque *et al.*, 2001). La Formation de Lake Branch, quant à elle, est composée de shale rouge, de siltstone et de grès fins contenant des fentes de retrait. Finalement, la Formation de Battery Point comprend des grès et des mudrocks gris-vert et/ou rouges (Brisebois *et al.*, 2000).

1.4.3.2.5- Groupe de Fortin

Le Groupe de Fortin se trouve en contact de faille avec le Groupe des Calcaires supérieurs de Gaspé et celui des Grès de Gaspé. Le Groupe de Fortin est d'âge Dévonien précoce (figure 3). Ce groupe est composé de mudstone, de grès, de siltstone noir et de shale (Kirkwood et St-Julien, 1987). Le Groupe de Fortin est le résultat d'une transgression marine et il s'est formé sous des conditions qui sont comparables à une subsidence rapide (Duba et Williams-Jones, 1983). Le passage entre le groupe des Calcaires supérieurs de Gaspé et celui de Fortin se fait par la transition d'un plateau continental de carbonates à un plateau continental distal avec une séquence de calcaire (Lavoie *et al.*, 1992).

CHAPITRE 2 <u>PÉTROGRAPHIE ET PARAGENÈSE MINÉRALES ET</u> <u>ORGANIQUES</u>

2.1- Définitions

La paragenèse sert à déterminer l'ordre relatif d'événements diagénétiques et tectoniques enregistrés dans les roches. Cette technique permet aussi de déterminer où se concentre le bitume solide : soit dans les fractures, les vacuoles ou dispersé dans la matrice de la roche. Par conséquent, la paragenèse minérale sert à déterminer l'ordre d'apparition du bitume par rapport aux différents événements diagénétiques et tectoniques.

2.2- <u>Résultats</u>

2.2.1- <u>Pétrographie minérale</u>

Le tableau 1 présente les observations pétrographiques en fonction des divers formations et groupes. Ce tableau présente les éléments structuraux (le type de déformation associé à la présence de stylolites, le type de veine et autres éléments structuraux pouvant être vus), la matière organique (le type de matière organique, les fossiles et l'endroit où se concentre la matière organique) et la minéralisation (le type de minéralisation, l'endroit où elle se concentre et les inclusions).

				Groupe	s ou form	nations				
Évènements	Mélange du Ruisseau Isabelle	-ormation d'Awantjish	-ormation de Sayabec	⁻ ormation de Saint-Léon	⁻ ormation de Forillon	-ormation de Shiphead	⁻ ormation d'Indian Cove	-ormation de York Lake	-ormation de York River	Groupe de Fortin
	E		E.	Ľ	-	Ŧ		-	-	Ū
1- Sédimentation	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2- Bioturbation		2	2	2	2	2	2	2	2	
4- Cimentation de calcite (1er épisode)	4	3	3	3	3	3	3	3	J	
5- Stylolitisation	5	7	4	4	4	4	4	5	7	4
6- Pyritisation	2	6	5	7	9	5	8	6	4	2
7- Fracturation	3	5	8	5	5		6	8		
8- Dolomitisation	6									
9- Migration du bitume	8	4	7	11	8	7	5	4	6	3
10- Cimentation de quartz	7				6					
11- Précipitation de la sphalérite				8	10	6	9	7	5	
12- Formation de vacuole			10	9						
13- Cimentation de calcite (2e épisode)			9	6	7		7	9		
14- Cimentation de calcite (3e épisode)				10						

Figure 4 : Paragenèse pour les groupes et les formations du Lac Matapédia. Les chiffres représentent l'ordre dans lequel les évènements sont survenus.

Groupe	Formation	Lithologie	Élément	ts struc	turaux			MO			Minérali	sation
			Déformation/stylolitisation	Litage	Veine	Autre	Туре	Fossiles	Concentration	Туре	Concentration	Inclusions
Mélange du Ruisseau Isabelle		Shale	A	0	Q/AN		BI, FU, SF	GR	ST, VE, VAQ	РҮ	MA	
Chaleurs	Awantjish	Grès	S	0	MI		BI		MA	PΥ	VE	
Chaleurs	Sayabec	Calcaire	S/A	P/O	C/AN	DO	B	BA, AL, OS	ZD	PY, SP, OR	MA, ST	
Chaleurs	Saint-Léon	Siltstone ou mudstone	S/A	P/O	C/AN/CI		BI, FU, SF	CH	VAC	PY, SP	MA, MO, ST, VE	PY dans SP et SP dans PY
Calcaires supérieurs de Gaspé	Forillon	Calcaire	S/A	P/O	Q/C/SY/AN/EX/SR		FU, SF, VI, BI	BV, SE, BA, CH, TR	ST, CA, QZ, VE	PY, SP, CY	BI, MA, CA, ST	PY dans SP et SP dans PY
Calcaires supérieurs de Gaspé	Shiphead	Mudstone	A	0			FU, BI	CH, SE	MA	PY, SP	ST	
Calcaires supérieurs de Gaspé	Indian Cove	Calcaire	S/R/A	P/O	C/AN		BI, FU, VI, SF	CR, BA, TR	ST	PY, SP, OR	MA, VE	PY dans SP
Grès de Gaspé	York Lake	Calcaire	A	P/O	C/SR		FU, BI	SE, BA, TR, EC	MA	PY, SP	MA, ST	PY dans SP
Grès de Gaspé	York River	Shale ou grès	A	P			FU, VI, SF, BI	CR	MA	PY, SP	MA	PY dans SP
Fortin		Phyllade	S	P			B		MA	PΥ	MA	
Fableau 1 : Pétrographie en f	onction de	la formation.										

raux, VAC = Vacuoles de calcite, CA = Carbonates, PY = Pyrite, SP = Sphalérite, OR = Or, CY = Chalcopyrite et MO = Matière organique. SR = «Stretched », DO = Dolomitisation, BI = Bitume, FU = Fusinite, SF = Semi-fusinite, VI = Vitrinite, GR = Graptolites, BA = Brachiopodes, AI = Algues, OS = Ostracodes, CH = Chitinozoaires, BV = A = Anastomosé, S= Sinueux, R = « Rough », O = Oblique au litage, P = Parallèle au litage, Q = Quartz, AN = Antitaxial, MI = Minéralisée, C = Calcite, CI = Cisaillement, SY = Syntaxial, EX = Extension, Bivalves, SE = Spicules d'éponge, TR = Trilobites, CR = Crinoïdes, EC = Échinodermes, ST = Stylolites, VE = Veines, VAQ = Vacuoles de quartz, MA = Matrice, ZD = Zones dolomitisées autour des co-

2.2.2- Paragenèse minérale

La paragenèse pour chaque formation et groupe est présentée à la figure 4.

2.3- Interprétation et discussion

Les événements allant du synsédimentaire jusqu'à l'enfouissement précoce pour les groupes de Chaleurs, des Calcaires supérieurs de Gaspé et des Grès de Gaspé sont relativement similaires : sédimentation, bioturbation et la cimentation de d'argile ou de calcite (figure 4). Ensuite, les paragenèses varient d'une formation à une autre. En effet, la paragenèse peut ensuite se continuer soit par la stylolitisation (d'enfouissement ou tectonique), la pyritisation ou encore par la migration du bitume. La fracturation peut soit se produire vers le début de la paragenèse (Black Shale Assemblage du Mélange du Ruisseau Isabelle et formations d'Awantjish, de Saint-Léon et de Forillon) ou soit vers la fin de la paragenèse (formations de Sayabec, d'Indian Cove et de York Lake) (figure 4). Par contre, la formation de vacuole a toujours lieu vers la fin de la paragenèse (vacuoles de quartz pour le Black Shale Assemblage du Mélange du Ruisseau Isabelle et vacuoles de calcite pour la Formation de Saint-Léon).

2.3.1- Présence du bitume

Dans le cas du Black Shale Assemblage du Mélange du Ruisseau Isabelle et de la Formation de Forillon, le bitume se trouve dans les veines. Il y a aussi du bitume dans des vacuoles dans le Black Shale Assemblage du Mélange du Ruisseau Isabelle et la Formation de Saint-Léon. La présence du bitume dans des veines et des vacuoles est un indice de migration. La présence de bitume dans les veines et/ou les vacuoles est expliquée par le fait que le bitume a migré dans ces veines et/ou vacuoles pendant la cimentation par des fluides de remplissage de ces veines et de ces vacuoles. Pour les autres formations, le bitume se trouve surtout dans la matrice et/ou dans les stylolites. En ce qui concerne la présence de bitume dans les veines, il n'y a pas de distinction entre les parties nord et sud de la région du Lac Matapédia. Dans la partie nord de la région, il n'y a que le Black Shale Assemblage du Mélange du Ruisseau Isabelle et un échantillon du puits 2000FC123 de la compagnie Prospection 2000 (échantillon 30294 provenant de la Formation de Forillon) qui ont du bitume dans des veines. Dans la partie sud de la région, il y a seulement un échantillon (30262) de la Formation de Forillon dont les veines contiennent du bitume.

2.3.2- Migration du bitume

Pour la migration du bitume, cet événement s'est produit vers le début de la paragenèse pour les formations d'Awantjish, d'Indian Cove et de York Lake (migration précoce) et vers la fin de la paragenèse pour le Black Shale Assemblage du Mélange du Ruisseau Isabelle, les formations de Sayabec, de Saint-Léon, de Forillon, de Shiphead et de York River et pour le Groupe de Fortin (migration tardive) (figure 4). Pour le Black Shale Assemblage du Mélange du Ruisseau Isabelle et les formations de Saint-Léon et de Forillon, la migration du bitume a eu lieu après la fracturation et la formation de vacuoles, tandis que pour les formations d'Awantjish, de Sayabec, d'Indian Cove et de York Lake, la migration du bitume s'est faite avant la fracturation et la formation de vacuoles. Dans le cas de la Formation d'Awantjish et les groupes des Grès de Gaspé et de Fortin, la migration du bitume a eu lieu avant la stylolitisation. Pour le Black Shale Assemblage du Mélange du Ruisseau Isabelle, les formations de Sayabec et de Saint-Léon et le Groupe des Calcaires supérieurs de Gaspé, la migration du bitume s'est produite après la stylolitisation. La migration du bitume a aussi eu lieu avant la pyritisation pour les formations d'Awantjish, de Forillon, d'Indian Cove et de York Lake.

Dans les formations de Saint-Léon et de Forillon, la migration du bitume a lieu juste après le deuxième épisode de cimentation de calcite (figure 4). Dans le cas de la Formation de Saint-Léon, la migration du bitume a aussi eu lieu après le troisième épisode de cimentation de calcite. De plus, la migration du bitume de la Formation de
Saint-Léon étant un événement très tardif dans la paragenèse de cette formation et survenant après la migration du bitume dans la Formation de Forillon, le bitume de la Formation de Saint-Léon proviendrait de la Formation de Forillon. Pour la Formation de Sayabec, la migration du bitume arrive avant le deuxième épisode de cimentation de calcite (figure 4). Le bitume de cette formation aurait donc comme origine le Black Shale Assemblage du Mélange du Ruisseau Isabelle. Le bitume de la Formation de Sayabec proviendrait de la migration du bitume de la Formation de Forillon, car ces événements sont synchrones (figure 4). Pour les autres formations (Awantjish et Indian Cove) et groupes (Grès de Gaspé et Fortin), il est difficile de déterminer l'origine du bitume, car il n'y a pas d'indicateur évident comme dans les autres formations et groupes (figure 4).

2.3.3- <u>Stylolitisation</u>

Pour les formations de Sayabec, de Saint-Léon et de York Lake et le Groupe des Calcaires supérieurs de Gaspé, la stylolitisation s'est produite vers le début de la paragenèse, alors que pour le Black Shale Assemblage du Mélange du Ruisseau Isabelle, les formations d'Awantjish et de York River et le Groupe de Fortin, la stylolitisation s'est produite vers la fin de la paragenèse (figure 4).

Dans le Black Shale Assemblage et les formations d'Awantjish et de Shiphead, la stylolitisation est oblique au litage et semble représentée un clivage ardoisier. Elle serait donc causée par la tectonique (Ramsay et Huber, 1983; Davis et Reynolds, 1996). Par contre, dans la Formation de York River et le Groupe de Fortin, la stylolitisation est parallèle au litage. Elle est alors causée par l'enfouissement (Ramsay et Huber, 1983; Davis et Reynolds, 1996). Dans le cas des formations de Sayabec, de Saint-Léon et de York Lake ainsi que dans le Groupe des Calcaires supérieurs de Gaspé, la stylolitisation est oblique et parallèle. Cette stylolitisation est alors due à la tectonique et à l'enfouissement (Ramsay et Huber, 1983; Davis et Reynolds, 1996).

Pour les formations d'Awantjish, de York Lake et de York River et le Groupe de Fortin, la stylolitisation a eu lieu après la migration du bitume (figure 4). La migration du bitume ne serait donc pas causée par l'enfouissement (pour les formations de York Lake et York River et le Groupe de Fortin) et la tectonique (formations d'Awantjish et de York Lake). Par contre, pour le Black Shale Assemblage du Mélange du Ruisseau Isabelle, les formations de Sayabec et de Saint-Léon et le Groupe des Calcaires supérieurs de Gaspé, la stylolitisation a eu lieu avant la migration du bitume (figure 4). Par conséquent, la migration du bitume est due soit à l'enfouissement (formations de Sayabec, de Saint-Léon, de Forillon et d'Indian Cove) et/ou à la tectonique (Black Shale Assemblage du Mélange du Ruisseau Isabelle et formations de Sayabec et de Saint-Léon et Groupe des Calcaires supérieurs de Gaspé).

Finalement, le Black Shale Assemblage du Mélange du Ruisseau Isabelle et les formations de Saint-Léon et de Forillon bénéficient d'une paragenèse plus favorable à la migration du bitume dû à la chronologie de la fracturation et de la dissolution (vacuoles et stylolites). La migration du bitume pour ces unités est dite tardive dans l'ordre temporel des différents événements diagénétiques et tectoniques. De plus, le bitume des formations de Saint-Léon et de Shiphead proviendrait de la Formation de Forillon, alors que le bitume de la Formation de Sayabec aurait comme origine le Black Shale Assemblage du Mélange du Ruisseau Isabelle. En ce qui concerne la stylolitisation, elle est soit d'origine tectonique ou due à l'enfouissement (Ramsay et Huber, 1983; Davis et Reynolds, 1996). Dans la majorité des formations et des groupes, la stylolitisation provient de la tectonique et de l'enfouissement. Pour le Black Shale Assemblage du Mélange du Ruisseau Isabelle et des formations d'Awantjish et de Shiphead, la stylolitisation provient de la tectonique, alors que dans la Formation de York River et dans le Groupe de Fortin, la stylolitisation provient de l'enfouissement. De plus, la migration du bitume aurait été provoquée soit par l'enfouissement et/ou la tectonique, sauf dans quatre cas, c'est-à-dire dans les formations d'Awantjish, de York Lake et de York River et du Groupe de Fortin.

24

CHAPITRE 3

<u>PÉTROGRAPHIE ET MATURATION THERMIQUE DE</u> <u>LA MATIÈRE ORGANIQUE</u>

3.1- <u>Définitions</u>

La réflectance de la matière organique est le rapport de la quantité de lumière réfléchie à celle de la lumière incidente (Taylor et al., 1998). Elle représente un indicateur de la maturation thermique. Cette dernière est «l'étendue des réactions conduites par la chaleur lesquelles convertissent la matière organique sédimentaire en pétrole et, finalement, en gaz et en graphite» (Peters et Moldowan, 1993). Vu que la vitrinite est le macéral standard dans l'étude de la maturation thermique et qu'elle est présente dans plusieurs échantillons, c'est elle qui sera utilisée dans la zonation de la maturation thermique. La vitrinite dérive des tissus de plantes terrestres (Peters et Moldowan, 1993). Un macéral est un «composant organique particulier de kérogène reconnaissable au microscope montrant des propriétés physico-chimiques distinctes lesquelles changent avec la maturation thermique» (Peters et Moldowan, 1993). Ils existent trois groupes principaux de macéral. Ceux-ci sont la liptinite, la vitrinite et l'inertinite. Si la vitrinite est absente d'un échantillon, les zooclastes constituent les meilleurs indicateurs de maturation thermique. Les zooclastes sont des restes d'animaux (Taylor et al., 1998). Les zooclastes les plus abondants retrouvés dans les séquences paléozoïques sont les graptolites, les chitinozoaires, les hydroïdes et les scolécodontes.

La maturation de la vitrinite est une transformation thermochimique habituellement irréversible. Par conséquent, une valeur de réflectance de la vitrinite ne peut pas diminuer (Hunt, 1995). La maturation peut être réversible dans les cas d'altération de surface et lorsque la maturation est associée à de la minéralisation (Héroux *et al.*, 1994, 1996; Bertrand *et al.*, 1998). Les valeurs de réflectance de la vitrinite indiquent seulement le niveau de maturation. Ces valeurs n'indiquent pas la présence d'huile ou de gaz, parce que les hydrocarbures migrent souvent le long des lits perméables ou à travers les systèmes de fractures et de failles vers des réservoirs peu profonds à des niveaux de maturation plus faibles (Hunt, 1995). La maturation thermique n'est pas affectée de façon significative par la pression. Par contre, elle est fortement affectée par la température (Hunt, 1995). La durée d'exposition à de fortes températures affecte aussi la maturation thermique (Héroux *et al.*, 1979; Taylor *et al.*, 1998)

Il existe quatre stades pour décrire la maturation thermique en terme de génération des hydrocarbures : le stade immature, le stade à huile, le stade à condensats et le stade à gaz sec (Héroux *et al.*, 1979; Tissot et Welte, 1984; Taylor *et al.*, 1998). Le stade immature montre des valeurs de pouvoirs réflecteurs qui sont inférieures à 0,65%. Le stade à huile se trouve entre 0,65 et 1,35%, alors que le stade à condensats se situe entre 1,35 et 2,10%. Finalement, le stade à gaz sec affiche des valeurs de pouvoirs réflecteurs qui sont supérieures à 2,10% (Héroux *et al.*, 1979; Tissot et Welte, 1984; Taylor *et al.*, 1984; Taylor *et al.*, 1998).

3.2- <u>Résultats</u>

3.2.1- <u>Pétrographie de la matière organique</u>

La vitrinite, le migrabitume (bitume solide ayant migré montrant une grande réflectance et formant de larges bandes (Bertrand, 1993)) (planches 3, 4, 5 et 6) et le pyrobitume (bitume solide formé par craquage thermique gazeux (Alpern, 1980)) sont les principaux macéraux retrouvés dans la région du Lac Matapédia (tableau 2a). Les zooclastes (chitinozoaires, graptolites (planches 1 et 2) et scolécodontes) sont présents dans le Black Shale Assemblage du Mélange du Ruisseau Isabelle, dans le Groupe de Chaleurs et dans les Calcaires supérieurs de Gaspé seulement. Les chitinozoaires sont les zooclastes les plus abondants, alors que les scolécodontes sont les moins abondants (seulement deux échantillons en contiennent, soit 30196 et 30275). Les scolécodontes sont donc retrouvés seulement dans le Groupe de Chaleurs (formations de Sayabec et de Saint-Léon). Les chitinozoaires semblent beaucoup plus abondants dans la partie nord-est de la région. Les graptolites, quant à eux, se trouvent essentiellement dans la Formation de Saint-Léon dans le puits Associated Development Ltd Causapscal no 1 et dans les roches du Black Shale Assemblage du Mélange du Ruisseau Isabelle (tableau 2a). Vu que la vitrinite est le macéral standard dans l'étude de la maturation thermique et qu'elle est présente dans presque tous les échantillons, c'est elle qui sera utilisée dans la zonation de la maturation thermique. De plus, plusieurs échantillons contiennent du pyrobitume avec des structures de coke (bitume ou charbon qui a été carbonisé naturellement par un contact avec une intrusion ignée ou par la combustion naturelle (Campbell, 1973)). Le migrabitume est plus abondant que le pyrobitume (tableau 2a). Par contre, ce sont les amorphes qui sont retrouvés en très fort pourcentage dans toutes les unités de la région du Lac Matapédia (tableau 2a).

Formation	Am	Ch	Gr	Sc	Inert	Vitr	Migr	Pya	Gout	Coke
Mélange du Ruisseau										
Isabelle	80	1	7				3			20
Awantish	75	5					15		5	
Sayabec	53	5		1	5	19	38			1
St-Léon	65	15	1	1	7	13	16	18	5	12
Forillon	62	6			7	12	31		1	6
Shiphead	63				12	16	16			4
Indian Cove	64	2			11	15	19	4	2	4
York Lake	51				12	24		63		
York River	59				13	27	17			1
Fortin	60				15	22	3			

Tableau 2a : Pétrographie des types de matière organique pour chaque formation ou groupe.

> Am = Amorphe, Ch = Chitinozoaires, Gr = Graptolites, Sc = Scolécodontes, Inert = Inertinite (groupe de macéraux de charbon montrant peu ou pas de réaction durant le processus de cokéfaction et ayant une réflectance élevée (Hunt, 1995)), Vitr = Vitrinite, Migr = Migrabitume, Pya = Pyrobitume à anisotropie (la réflectance varie selon la direction (Foucault et Raoult, 2001)) plus ou moins ondulante et Gout = Gouttelettes de migrabitume.

> > 27

Les chitinozoaires et le migrabitume sont les principaux types de matière organique retrouvés dans le puits 2000FC123 de Prospection 2000. Le puits Associated Development Ltd Causapscal no 1 contient surtout du migrabitume, du pyrobitume et des graptolites (tableau 2b). Il y a très peu de zooclastes dans le puits Rivière à la Truite no 1. Seulement un échantillon montre des chitinozoaires (30101) et un autre contient des scolécodontes (30100). Par contre, la vitrinite se retrouve seulement dans sept échantillons (tableau 2b). La plupart des échantillons du puits Mitis no 1 ont de la vitrinite. Deux échantillons contiennent des chitinozoaires (30011 et 30015), deux autres ont des scolécodontes (30017 et 30018), alors que trois échantillons ont des graptolites (30011, 30015 et 30018). Pour le dernier puits étudié, Great Plains Noel *et al.* La Vérendrye no 1, il n'y a que les données pour la moyenne estimée de la vitrinite qui ont été publiées (INRS-Pétrole, 1973).

No INRS	Puits	Formation	Am	Ch/Sc	Gr	zooi	Inert	Vitr	Migr	Pya	Coke	Gout
30007	Mitis	Saint-Léon	70						5	25		
30008	Mitis	Saint-Léon	70						15	15		
30011	Mitis	Saint-Léon			1		9		60		30	
30012	Mitis	Saint-Léon		-								
30015	Mitis	Saint-Léon			10		30			60		
30016	Mitis	Saint-Léon										
30017	Mitis	Sayabec			30		20			50		
30018	Mitis	Sayabec			40		20			40		
30100	Riv. la Truite	St-Léon		2			40	8	40	10		
30101	Riv. la Truite	St-Léon		1			24	5	70			
30284	2000FC123	Forillon		20		20	5		55			
30285	2000FC123	Forillon	61				8	5	24		2	
30287	2000FC123	Forillon	60				10	2	25		3	
30289	2000FC123	Forillon	60				10		30			
30291	2000FC123	Forillon	60				9	5	24		2	
30292	2000FC123	Forillon	54				8		32		3	3
30294	2000FC123	Forillon	60				7		33			
30329	Causapscal	Saint-Léon	55						45			
30330	Causapscal	Saint-Léon	40				60					
30331	Causapscal	Saint-Léon	40						20	40		
30332	Causapscal	Saint-Léon	55		3			3		37	2	
30333	Causapscal	Saint-Léon	55					5	5	20	15	
30335	Causapscal	Saint-Léon	5		95							
30336	Causapscal	Saint-Léon	55		30					15		
30337	Causapscal	Saint-Léon	53		10					35		2

Tableau 2b : Pétrographie des types de matière organique dans les échantillons de puits.

3.2.2- <u>Réflectance de la matière organique</u>

Les valeurs de la réflectance pour l'estimation de la vitrinite varient beaucoup, et ce, pour une même formation (figure 5). Par exemple, pour la Formation de Forillon, la réflectance varie de 0.81 à 3.13%. La valeur 1.25% (échantillon 30265) indique le stade à huile, alors que la valeur 3,13% (échantillon 30201) indique le stade à gaz sec (figure 5). Les valeurs de réflectance de la vitrinite pour les échantillons de surface varient entre 0,78 (Formation d'Awantjish, échantillon 30199) et 4,62% (Groupe de Fortin, échantillon 30229), mais la majorité des échantillons ont des valeurs se situant entre 1,30 et 2,20%. La majorité des échantillons se situent donc dans le stade à condensats et dans le stade à gaz sec (figure 5). Une petite partie seulement des échantillons appartenant aux formations de Sayabec, de Saint-Léon et de York River et au Groupe des Calcaires supérieurs de Gaspé se trouvent dans le stade à huile (figure 5). Par contre, la Formation de Forillon est celle qui a le plus grand nombre d'échantillons dans le stade à huile (quatorze échantillons). La Formation d'Awantjish (échantillon 30199) étant placée à la limite de la zone d'altération, soit en dessous de la dolomie hydrothermale, a donc une valeur de réflectance qui est basse (0,78%) (Héroux et Bertrand, 1991). Les valeurs les plus basses des échantillons de surface de la région du Lac Matapédia se trouvent dans les formations d'Awantjish, de Sayabec, de Forillon, d'Indian Cove, de York Lake et de York River (figure 5). Les valeurs basses varient entre 0,80 et 1,35% et se situent dans le stade à huile. Les valeurs de réflectance les plus élevées des échantillons de surface se trouvent dans les formations de Saint-Léon et de Forillon, le Groupe de Fortin et le Black Shale Assemblage du Mélange du Ruisseau Isabelle (figure 5). Les valeurs élevées varient entre 3,11 et 4,62% et se situent dans les stades à gaz sec et du stérile. Les successions du Siluro-Dévonien de la région du Lac Matapédia montrent des valeurs de réflectance beaucoup plus élevées que celles du secteur de Gaspé (Bertrand et Malo, 2001). En effet, les valeurs de réflectance pour les roches du Siluro-Dévonien de l'Est de la Gaspésie varient entre 0,60 et 2,50%, ce qui est moins élevé que dans la région du Lac Matapédia.

Dans tous les puits, la réflectance de la vitrinite augmente en fonction de la profondeur (figure 6). Dans le puits 2000FC123 de Prospection 2000 (Formation de

Forillon) et dans le puits Rivière à la Truite no 1 (Formation de Saint-Léon), les valeurs de réflectance dans la partie supérieure du puits se situent d'abord dans le stade à huile et augmentent dans le stade à condensats vers le bas (figures 6a et b). Dans les trois autres puits, Associated Development Ltd Causapscal no 1 (Formation de Saint-Léon), puits Mitis no 1 (formations de Sayabec et de Saint-Léon) et Great Plains Noel *et al.* La Vérendrye no 1 (Groupe de Chaleurs), les valeurs de réflectance commencent dans le stade à gaz sec et finissent par atteindre le seuil de l'anchimétamorphisme (figures 6c, d et e). Le puits Associated Development Ltd Causapscal no 1 atteint le seuil de l'anchimétamorphisme à environ 625 m (figure 6c). Le puits Mitis no 1 atteint, quant à lui, le seuil de l'anchimétamorphisme à environ 875 m (figure 6d), tandis que le puits Great Plains Noel et al. La Vérendrye no 1 atteint ce seuil à environ 1190 m (figure 6e).



Figure 5 : Histogramme de la réflectance pour les échantillons de surface et de puits.



Figure 6a : Profils du puits 2000FC123 (Prospection 2000). Les lignes pleines sont des intrapolations et les lignes tiretées sont des extrapolations.



(Pétrographie	Réfle	ctance
Profondeur (m	Formation	Lithologie	de la matière organique Composition (%) ⁰ ²⁰ ⁴⁰ ⁶⁰ ⁸⁰	Matière organique dispersée (%) 1.0 2.0	Estimée de la réflectance de la vitrinite (%) et température (°C) 175 200 225 (°C) 1 1.25 1.5 1.75 (%)



Figure 6b : Profils du puits Rivière à la Truite no 1.

Légen et d	de des stades à hydrocarbures es zones de métamorphisme	Réflectance
	Stade à huile	0,65-1,35 %
	Stade à condensats	1,35-2,10 %
	Stade à gaz sec	2,10-3,00 %
	Anchimétamorphisme	3,00-4,00 %
	Épimétamorphisme	> 4,00 %

Légende du carbone organique total

Pas de potentiel

Potentiel à gaz



Figure 6c : Profils du puits Associated Development Ltd Causapscal no 1.

Légende de la matière organique dispersée

Bitume



- Chitinozoaire
- Graptolite
- X Scolécodonte
- Vitrinite



Figure 6d : Profils du puits Mitis no 1.



Figure 6e : Profils du puits Great Plains Noel et al. La Vérendrye no 1.

Puits		Réflectance		Gradien	$t (^{\circ}C/km)$	Enfouis	sement
1 4105						(1	`
						(kn	n)
	Réflectance	Gradient (log	Gradient	Calculé	Corrigé	Calculé	Corrigé
	(surface)	R _o /km)	corrigé				
2000FC123	1,30	-0,12	-0,09	-35,7	-27,4	5,93	4,54
Causapscal	2,75	-0,21		-62,0		4,96	
Riv. la Truite	1,10	-0,20	-0,16	-61,2	-50,1	5,38	4,41
La Vérendrye	2,48	-0,09		-25,1		11,71	
Mitis	2,49	-0,11	-0,09	-31,1	-26,9	9,48	8,21

Tableau 3 : Gradients de réflectance et gradients géothermiques pour chaque puits de

la région du Lac Matapédia.

Le tableau 3 présente les valeurs calculées pour les gradients de réflectance et les gradients géothermiques pour chaque puits de la région du Lac Matapédia. Les gradients de la réflectance ont été calculés à partir des courbes de logarithmes de la réflectance en fonction de la profondeur. Les gradients correspondent à la pente de ces courbes. Les valeurs de réflectance à la surface sont les ordonnées à l'origine pour les courbes de logarithmes de la réflectance en fonction de la profondeur. Pour les gradients géothermiques, ils correspondent à la pente des courbes de la température en fonction de la profondeur. Les températures ont été déterminées à partir de l'équation de Barker et Pawlewicz (1986). Les valeurs d'enfouissement correspondent à la partie érodée de chaque puits lorsque la réflectance était de 0,25% (réflectance initiale). Cette méthode est celle de Bertrand (1990). Pour les puits 2000FC123 de Prospection 2000, Mitis no 1 et Rivière à la Truite no 1, toutes les valeurs ont été corrigées, car les strates sont à 40° du forage pour le puits 200FC123, à 30° pour le puits Mitis no 1 et à 35° pour le puits Rivière à la Truite no 1.

Les gradients de réflectance et géothermiques peuvent être séparés en deux groupes. Les puits 2000FC123, Mitis no 1 et Great Plains Noel *et al.* La Vérendrye no 1 forment le premier groupe avec une valeur de gradient de réflectance de -0,09 et des valeurs de gradients géothermiques variant entre -25,1 et -27,4 °C/km (tableau 3). Le deuxième groupe comprend les puits Associated Development Ltd Causapscal no 1 et Rivière à la Truite no 1. Les valeurs des gradients de réflectance sont de -0,16 et -0,21, alors que les valeurs des gradients géothermiques sont de -50,1 et -62,0 °C/km (tableau 3).

L'enfouissement se divise lui aussi en deux groupes. Le premier groupe est formé des puits 2000FC123, Associated Development Ltd Causapscal no 1 et Rivière à la Truite no 1. Les valeurs d'enfouissement varient entre de 4,41 et 4,96 km (tableau 3). Le deuxième groupe est formé des puits Mitis no 1 et Great Plains Noel *et al.* La Vérendrye no 1 et les valeurs sont de 8,21 et de 11,71 km (tableau 3). La figure 7 montre les courbes d'isovaleurs de l'enfouissement maximal des séries sédimentaires des puits par d'autres séries sédimentaires qui sont aujourd'hui érodées. L'enfouissement est plus grand dans la partie sud de la région du Lac Matapédia que dans la partie nord.



Figure 7 : Courbes d'isovaleurs de l'enfouissement maximal des séries sédimentaires de la région du Lac Matapédia.

3.2.3- Zonation de la réflectance et des hydrocarbures

La figure 8 a été construite afin de faire ressortir de possibles corrélations entre la maturation thermique et la stratigraphie ainsi que pour déterminer les zones favorables à la prospection des hydrocarbures. Sur cette carte, les courbes d'isovaleurs recoupent la stratigraphie. Dans le sud de la région, une importante différence s'observe entre les échantillons situés de part et d'autre de la faille de Sainte-Florence. En effet, au nord de la faille, les valeurs de réflectance sont autour de 1,50 et 1,70% (Formation de York River), tandis qu'au sud, qui est formé du Groupe de Fortin, les valeurs sont d'environ 4,60%. De plus, la figure 8 montre qu'il y a un corridor, de direction est-ouest, dont les valeurs de réflectance sont plus élevées, et ce, entre les puits Associated Development Ltd Causapscal no 1 et Mitis no 1. De part et d'autre de ce corridor, la maturation thermique est moindre. Au nord et au sud de ce corridor, les valeurs de réflectance sont d'environ 1,40 et 1,60%, soit dans le stade à condensats. Dans le corridor, les valeurs varient entre 2,00 et 5,20%, soit dans le stade à gaz sec et celui qui est dit stérile.

La zone la moins mature de la région du Lac Matapédia se situe donc au nord-est, plus précisément au sud de la faille de Shickschock Sud. Il y a à cet endroit une mince zone appartenant à la fenêtre à huile potentielle.

La figure 9 montre les différences dans les variations de valeurs (entre le minimum et le maximum) et les moyennes de réflectance pour les parties nord et sud. Pour les formations de Sayabec, de Saint-Léon et de Forillon, les moyennes et les variations de valeurs de réflectance des parties nord et sud sont différentes (figure 9). Par conséquent, il n'y a pas de corrélation stratigraphique qui peut être faite pour ces formations, car les pouvoirs réflecteurs varient d'une partie à l'autre. Par contre, pour les formations de Shiphead et d'Indian Cove et le Groupe des Grès de Gaspé, les moyennes de réflectance sont semblables (figure 9). Il y a donc une corrélation stratigraphique pour ces formations et ce groupe. Pour le Black Shale Assemblage du Mélange du Ruisseau Isabelle, les formations d'Awantjish et de Val-Brillant et le Groupe de Fortin, il est impossible de déterminer s'il y a ou pas une corrélation stratigraphique, car ces formations et ces groupes se retrouvent dans une seule partie, soit dans le nord ou le sud







Figure 9 : Valeurs de la réflectance en fonction du groupe ou de la formation et de la partie nord ou sud.

Moyenne de la réflectance pour la partie nord

O Moyenne de la réflectance pour la partie sud

Variation de la réflectance

(figure 9). Pour les formations de Saint-Léon et de Forillon, les valeurs de réflectance les plus élevées se retrouvent dans la partie nord, alors que pour la Formation de Sayabec, les valeurs les plus élevées se retrouvent dans la partie sud de la région du Lac Matapédia.

3.3- Interprétation et discussion

La présence de zooclastes (chitinozoaires, graptolites et scolécodontes) est un indicateur d'un milieu marin. Les graptolites sont retrouvés dans les environnements distaux, les chitinozoaires se retrouvent dans les environnement intermédiaires, alors que les scolécodontes sont caractéristiques des environnements proximaux (Héroux et Bertrand, 1991). Par conséquent, vu qu'il y a plusieurs graptolites dans le Black Shale Assemblage du Mélange du Ruisseau Isabelle (tableau 2a), ce groupe s'est donc formé dans un environnement marin distal. De plus, puisqu'il y a peu de chitinozoaires et de scolécodontes et qu'il n'y a aucun graptolite dans la Formation de Sayabec (tableau 2a), ceci indique un environnement marin proximal. Dans la Formation de Saint-Léon, il y a beaucoup de chitinozoaires et peu de graptolites et de scolécodontes (tableau 2a), ce qui indique un milieu marin intermédiaire. Pour la Formation d'Awantjish et du Groupe des Calcaires supérieurs de Gaspé, il n'y a que des chitinozoaires (tableau 2a), présence due à un milieu marin intermédiaire. Finalement, pour les groupes des Grès de Gaspé et de Fortin, le fait qu'il y ait beaucoup de vitrinite et aucun zooclaste indique un milieu continental.

Dans les formations de Sayabec et de Forillon, il y a une grande concentration de bitume. Deux explications sont possibles : présence d'une ou de plusieurs roches mères et/ou migration du bitume. En ce qui concerne la Formation de Forillon, elle a été interprétée comme roche mère (Chapitre 2), donc elle appartient à la première explication. Pour la Formation de Sayabec, elle n'a pas été interprétée comme une roche mère, donc elle appartient à la deuxième explication. Le Black Shale Assemblage du Mélange du Ruisseau Isabelle a été interprété comme une roche mère. Le bitume de la Formation de Sayabec pourrait donc provenir du Black Shale Assemblage du Mélange du Ruisseau Isabelle. Les formations d'Awantjish et de Saint-Léon contiennent beaucoup de gouttelettes de bitume comparativement aux autres formations et groupes. Ces gouttelettes indiquent une migration. Les gouttelettes de bitume de la Formation d'Awantjish proviendraient du Black Shale Assemblage du Mélange du Ruisseau Isabelle, alors que celles de la Formation de Saint-Léon proviendraient soit du Black Shale Assemblage du Mélange du Ruisseau Isabelle ou de la Formation de Forillon (Chapitre 2).

Lorsque considérés puits par puits, les résultats de réflectance de la région du Lac Matapédia indiquent que l'enfouissement est un facteur déterminant dans l'explication de la maturation thermique des successions siluro-dévoniennes de la région du Lac Matapédia. Puisqu'il n'y a pas de corrélation entre la réflectance et les gradients géothermiques (tableau 3), la maturation est donc due à l'enfouissement. De plus, les courbes de maturation recoupent la stratigraphie et les plis (figure 8). La maturation postdaterait donc le plissement du Dévonien moyen.

La grande différence de réflectance entre le nord et le sud de la faille de Sainte-Florence indiquerait que ces deux parties sont deux régions thermiquement différentes. De plus, la différence de maturation entre les parties nord et sud de la région du Lac Matapédia serait le résultat d'un enfouissement plus grand de la partie sud que celui de la partie nord (tableau 3 et figure 7). L'enfouissement plus grand de la partie sud pourrait être dû à une subsidence accélérée durant le Dévonien précoce (Lochkovien) dans cette partie du bassin de la Ceinture de Gaspé (Bourque *et al.*, 2001). Par contre, il se peut qu'il y ait localement de l'hydrothermalisme, augmentant ainsi le niveau de maturation. En effet, le puits Rivière à la Truite no 1 (figure 6b) présente des échantillons qui ne suivent pas la droite de régression de la réflectance de la vitrinite en fonction de la profondeur. Cet écart s'expliquerait par de l'hydrothermalisme. Le fait qu'il y ait peu d'échantillons analysés dans le puits Rivière à la Truite no 1 rend l'hypothèse de l'hydrothermalisme incertaine.

En ce qui concerne le Groupe de Fortin, il n'y a qu'un seul échantillon qui a été analysé. Mais, Duba et Williams-Jones (1983) et Hesse et Dalton (1991) ont étudié plus en détail ce groupe au sud de la région du Lac Matapédia. Leurs valeurs de réflectance sont supérieures à 4,00%. Les roches du Groupe de Fortin se situent donc dans le stade de l'anchimétamorphisme, comme pour le seul échantillon qui a été analysé dans la région du Lac Matapédia.

Si on compare la région du Lac Matapédia avec la partie est de la Gaspésie, on s'aperçoit que ces deux régions sont très différentes. En effet, la région du Lac Matapédia a des valeurs de réflectance élevées (stades à condensats et à gaz sec), alors que la partie est de la Gaspésie a des valeurs de réflectance assez basses (stade à huile). La carte de la zonation de la maturation thermique des échantillons de surface de Bertrand et Malo (2001a) montre que la grande majorité des successions qui affleurent dans l'Est de la Gaspésie se situe dans la fenêtre à huile. Donc, le niveau de la maturation thermique atteint dans ces deux régions n'est pas le même.

CHAPITRE 4 <u>GÉOCHIMIE DU KÉROGÈNE</u>

4.1- **Définitions**

Le kérogène est analysé par une méthode de combustion et par pyrolyse en programmation de température. Le résultat de la combustion permet d'obtenir le carbone organique total (COT) qui permet de quantifier la teneur en matière organique que contient une roche (Hunt, 1995). En général, dans les shales, la teneur moyenne en COT est de 1,14%, tandis que dans les calcaires, elle est de 0,24% (Bertrand et Héroux, 1981). Des valeurs de COT se situant entre 0,50 et 1,00% indiquent un potentiel à gaz, alors que des valeurs supérieures à 1,00% indiquent un potentiel à huile (Hunt, 1995). Des valeurs de COT inférieures à 0,50% indiquent qu'il n'y a aucun potentiel (Hunt, 1995). Ces valeurs de COT sont pour la matière organique originelle. Lors de la diagenèse, les valeurs de COT diminuent, car il y a du carbone qui part pour former des hydrocarbures.

La pyrolyse de la matière organique en programmation de température est une dégradation sous atmosphère inerte qui se fait à des températures qui sont progressivement de plus en plus élevées (Peters et Moldowan, 1993). La pyrolyse se fait avec un appareil qui a été commercialisé sous le nom de « Rock Eval ». L'appareil Rock Eval donne un diagramme à trois pics (P_1 à P_3), ainsi que trois intégrales (S_1 à S_3) (Hunt, 1995). S_1 représente la quantité d'hydrocarbures présente dans la roche. Ce paramètre se mesure en milligramme d'hydrocarbures par gramme de roche (mg HC/g roche) (Peters et Moldowan, 1993). S_2 , aussi mesuré en milligramme d'hydrocarbures par gramme de roche (mg HC/g roche) (Peters et Moldowan, 1993). S_2 , aussi mesuré en milligramme d'hydrocarbures par gramme de roche, est la quantité de composés organiques qui est générée par le craquage du kérogène (Peters et Moldowan, 1993), tandis que S_3 représente la quantité de gaz carbonique par gramme de roche qui est généré lors de la pyrolyse du kérogène (mg CO₂/g COT). S_2 sert à calculer l'indice d'hydrogène (IH), alors que S_3 permet de calculer l'indice d'oxygène (IO) (Hunt, 1995). L'indice d'hydrogène se calcule par l'équation : (S_2 /COT)*100 et son unité de mesure est mg HC/g COT. Lorsqu'une roche présente des valeurs entre 100 et 400 mg HC/g COT, elle est considérée comme une bonne roche mère (Hunt, 1995). Des

valeurs faibles pour l'indice d'hydrogène sont d'environ 70 mg HC/g COT, alors que des valeurs élevées peuvent atteindre 900 mg HC/g COT (Espitalié *et al.*, 1977). L'indice d'oxygène se calcule de la même façon, sauf que S₂ est remplacé par S₃ et son unité de mesure est en mg CO₂/g COT. Des valeurs faibles pour l'indice d'oxygène sont évaluées à 30 mg CO₂/g COT, alors que des valeurs élevées sont de 150 mg CO₂/g COT (Espitalié *et al.*, 1977). Les indices d'hydrogène et d'oxygène sont proportionnels aux rapports atomiques H/C et O/C du diagramme van Krevelen et servent à déterminer le type de matière organique grâce à un diagramme van Krevelen modifié (Peters et Moldowan, 1993).

D'autres paramètres peuvent aussi être déterminés avec le Rock Eval : la température de pyrolyse maximale en °C (T_{max}), le potentiel génétique en mg HC/ gr de roche (PG) et l'indice de production (IP). La valeur de la T_{max} croît avec la maturation de la matière organique et sert donc d'indicateur de maturation thermique. Le stade à huile est placé à des valeurs de T_{max} entre 430 et 470 °C (Hunt, 1995). Le stade à condensats se situe entre 470 et 535 °C, alors que le stade à gaz sec correspond à des valeurs supérieures à 535 °C. Le potentiel génétique représente la quantité totale d'hydrocarbures qu'une roche peut produire. Il se calcule par la formule suivante : potentiel génétique = $S_1 + S_2$, S1 et S2 étant les intégrales décrites ci-dessus (Espitalié et al., 1977). Des valeurs du potentiel génétique inférieures à 2 mg HC/gm de roche indiquent une roche mère qui est pauvre, alors que des valeurs supérieures à 10 mg HC/gm de roche indiquent une très bonne roche mère. Des valeurs entre 2 et 5 mg HC/gm de roche indiquent une roche mère passable, tandis que des valeurs entre 5 et 10 mg HC/gm de roche indiquent une bonne roche mère (Hunt, 1995). Finalement, l'indice de production se calcule lui aussi par une formule : indice de production = $S_1/(S_1 + S_2)$, S_1 et S_2 étant là aussi les intégrales décrites ci-dessus (Espitalié et al., 1977). Donc, l'indice de production est le rapport de la quantité d'hydrocarbures présente dans la roche à la quantité totale d'hydrocarbures pouvant être produite par le kérogène.

4.2- <u>Résultats</u>

4.2.1- <u>Carbone organique total</u>

Dans cette étude, peu de valeurs de COT sont élevées (figure 10 et tableau 4). En effet, la grande majorité des échantillons ont des valeurs de COT qui varient entre 0,02 et 0,52%. Les valeurs les plus élevées, pour les échantillons de surface, proviennent du Black Shale Assemblage du Mélange du Ruisseau Isabelle (1,59 et 2,73% appartenant aux échantillons 30392 et 30391 respectivement) qui sont situés dans le Nord-Est de la région (figure 2). L'autre valeur élevée, 1,74%, se trouve dans la Formation de Forillon (échantillon 30214) qui se situe au centre de la région d'étude. Donc, seulement trois échantillons montrent des valeurs supérieures à 1,00%. Il y a seulement quatre échantillons de surface qui se situent entre 0,50 et 1,00% : 30211 et 30218 (Formation de Forillon), 30219 (Formation de Shiphead) et 30226 (Formation de York River). Les valeurs sont de 0,51% pour l'échantillon 30211, 0,46% pour l'échantillon 30218, de 0,36% pour l'échantillon 30219 et de 0,52% pour l'échantillon 30226. Les échantillons 30218 et 30219 ont été inclus dans le potentiel à gaz, car leur valeur de COT est près de la valeur limite du potentiel à gaz (0,50%). Tous les autres échantillons de surface ont des valeurs inférieures à 0,50% (figure 10 et tableau 4). Par contre, les valeurs de COT originelles ne sont pas connues.

Les valeurs de COT pour le puits 2000FC123 de Prospection 2000 varient entre 0,19 et 0,74%. Les valeurs du puits Associated Development Ltd Causapscal no 1, quant à elles, varient entre 0,11 et 0,67%. Pour le puits Great Plains Noel et al. La Vérendrye no 1, les valeurs de COT sont entre 0,04 et 0,47%. Il n'y a aucune donnée sur le COT pour les puits Rivière à la Truite no 1 et Mitis no 1. Si l'on considère les puits 2000FC123 de Prospection 2000, Associated Development Ltd Causapscal no 1 et Great Plains Noel et al. La Vérendrye no 1, il n'y a aucun échantillon ayant une valeur supérieure à 1,00%. Par contre, il y a onze échantillons qui ont des valeurs de COT entre 0,50 et 1,00% : les échantillons 30284, 30285, 30287, 30289, 30291 et 30294 du puits 2000FC123 de Prospection 2000 (Formation de Forillon), les échantillons 30334, 30335 et 30338 du puits Associated Development Ltd Causapscal no 1 et les échantillons 4186 et 4190 du

puits Great Plains Noel et al. La Vérendrye no 1. Les valeurs de COT de ces échantillons varient entre 0,36 et 0,74% (figure 10 et tableau 4). Finalement, les valeurs de COT des échantillons de puits ont en général des valeurs inférieures à 0,50% (figure 10 et tableau 4).



Figure 10 : Histogramme du carbone organique total (COT) pour les échantillons de surface et de puits de la région du Lac Matapédia.

4.2.2- Pyrolyse en programmation de température (Rock Eval)

4.2.2.1- Indice d'oxygène

Les valeurs de l'indice d'oxygène varient beaucoup d'une formation à une autre (tableau 4). En effet, une valeur de 3 mg CO₂/g COT est observée dans le Black Shale Assemblage du Mélange du Ruisseau Isabelle (échantillon 30391), alors qu'il y a des valeurs supérieures à 2000 mg CO₂/g COT dans la Formation de Saint-Léon (2250 mg CO_2 /g COT pour l'échantillon 30195 et 2700 mg CO₂/g COT pour l'échantillon 30207).

L'échantillon 30324 de la Formation de Sayabec, l'échantillon 30259 de la Formation de Forillon et l'échantillon 30206 de la Formation de York Lake ont des valeurs supérieures ou égales à 1000 mg CO₂/g COT (1750, 1817 et 1000 mg CO₂/g COT respectivement). Ces valeurs élevées sont toutefois assez rares. Les autres valeurs varient entre 3 et 775 mg CO₂/g COT.

4.2.2.2- Indice d'hydrogène

Les valeurs de l'indice d'hydrogène de la région du Lac Matapédia sont très faibles : elles varient entre 0 et 67 mg HC/g COT (tableau 4). Les valeurs les plus élevées se situent dans la Formation de Forillon (entre 4 et 67 mg HC/g COT). Dans cette formation, il y a sept valeurs qui se situent au-dessus de 30 mg HC/g COT (échantillons 30211, 30265, 30282, 30284, 30285, 30287 et 30289 avec des valeurs de 67, 53, 45, 57, 40, 30 et 38 mg HC/g COT respectivement). Parmi les sept valeurs qui sont élevées, quatre d'entre elles appartiennent au puits 2000FC123 de Prospection 2000, soit des valeurs de 57, 40, 30 et 38 mg HC/g COT. Les trois autres valeurs du puits varient entre 6 et 17 mg HC/g COT. Pour ce puits, les valeurs élevées se situent au sommet du puits, alors que les valeurs basses se trouvent à la base du puits. Parmi tous les échantillons analysés pour l'indice d'hydrogène, cinq échantillons ont des valeurs de 0 (30324 de la Formation de Sayabec, 30195, 30196 et 30207 de la Formation de Saint-Léon et 30229 du Groupe de Fortin). Les autres valeurs varient entre 1 et 25 mg HC/g COT. Pour le puits Associated Development Ltd Causapscal no 1, les valeurs sont plus basses que celles du puits 2000FC123 : elles varient entre 1 et 14 mg HC/g COT. Les puits 2000FC123 et Associated Development Ltd Causapscal no 1 sont les seuls puits à avoir été analysés au niveau de l'indice d'hydrogène.

No INRS	Puits	Formation	COT	S 1	S2	S3	IH	ΙΟ	Tmax	PG	IP	IM
4158	La Vérendrye	Saint-Léon	0,23									
4161	La Vérendrye	Saint-Léon	0,16									
4163	La Vérendrye	Saint-Léon	0,12									
4168	La Vérendrye	Saint-Léon	0,18									
4171	La Vérendrye	Saint-Léon	0,13									

No INRS	Puits	Formation	COT	S 1	S2	S3	IH	Ю	Tmax	PG	IP	IM
4174	La Vérendrye	Saint-Léon	0,12									
4176	La Vérendrye	Saint-Léon	0,12									
4177	La Vérendrye	Saint-Léon	0,17									
4179	La Vérendrye	Saint-Léon	0,25									
4180	La Vérendrye	Saint-Léon	0,17									
4183	La Vérendrye	Saint-Léon	0,33									
4186	La Vérendrye	Saint-Léon	0,42									
4190	La Vérendrye	Saint-Léon	0,47									
4193	La Vérendrye	Saint-Léon	0,31									
4198	La Vérendrye	Sayabec	0,34									
4202	La Vérendrye	Sayabec	0,07									
4206	La Vérendrye	Sayabec	0,04									
4210	La Vérendrye	Sayabec	0,15									
4216	La Vérendrye	Val-Brillant	0,17									
4218	La Vérendrye	Val-Brillant	0,18									
4229	La Vérendrye	Awantjish	0,22									
30195		Saint-Léon	0,02			0,45		2250	503		0,43	
30196		Saint-Léon	0,04			0,31		775	566		0,55	
30197		Sayabec	0,09									
30206		York Lake	0,07	0,01	0,01	0,70	14	1000	586	0,02	0,51	0,70
30207		Saint-Léon	0,02			0,54		2700	503		0,36	
30209		Saint-Léon	0,09		0,01	0,37	11	411	516	0,01	0,39	43,3
30211		Forillon	0,51	0,20	0,33	0,45	67	88	486	0,53	0,37	28,9
30212		Forillon	0,11		0,01	0,14	9	127	566	0,01	0,33	39,9
30214		Forillon	1,74	0,01	0,06	0,15	4	9	596	0,07	0,12	90,5
30215		Forillon	0,21		0,02	0,61	10	290	602	0,02	0,20	83,3
30218		Forillon	0,46	0,02	0,03	0,81	7	176	585	0,05	0,32	56,1
30219		Shiphead	0,36	0,01	0,02	0,52	6	144	576	0,03	0,19	78,4
30221		Indian Cove	0,25	0,01	0,02	0,42	8	168	576	0,03	0,25	63,0
30226		York River	0,52	0,01	0,04	0,17	8	33	469	0,05	0,14	83,6
30228		York River	0,05		0,01	0,19	20	380	539	0,01	0,16	75,6
30229		Fortin	0,10			0,59		590	479		0,41	
30240		Shiphead	0,21		0,01	0,46	5	219	586	0,01	0,30	49,1
30243		Forillon	0,34		0,02	0,46	6	135	600	0,02	0,18	82,3
30249		Saint-Léon	0,05		0,01	0,30	20	600	538	0,01	0,32	
30256		York River	0,32	0,01	0,02	0,41	6	128	584	0,03	0,31	44,1
30259		Forillon	0,06	0,01	0,01	1,09	17	1817	407	0,02	0,36	34,9
30262		Forillon	0,32	0,02	0,02	0,76	6	238	582	0,04	0,40	
30265		Forillon	0,17	0,07	0,09	0,41	53	241	486	0,16	0,42	-20,5
30269		York Lake	0,08	0,01	0,02	0,50	25	625	503	0,03	0,25	57,4
30270		Indian Cove	0,13	0,01	0,02	0,60	15	462	561	0,03	0,30	52,9
30282		Forillon	0,29	0,10	0,13	0,54	45	186	424	0,23	0,43	-3,2
30284	2000FC123	Forillon	0,74	0,25	0,41	0,53	57	72	438	0,66	0,37	11,8
30285	2000FC123	Forillon	0,42	0,13	0,16	0,52	40	124	421	0,29	0,44	-6,5
30287	2000FC123	Forillon	0,4	0,13	0,12	0,39	30	98	446	0,25	0,50	-31,6
30289	2000FC123	Forillon	0,48	0,14	0,17	0,36	38	75	450	0,31	0,45	9,2
30291	2000FC123	Forillon	0,41	0,06	0,07	0,73	17	178	445	0,13	0,44	6,6

No INRS	Puits	Formation	COT	S1	S2	S 3	IH	ΙΟ	Tmax	PG	IP	IM
30292	2000FC123	Forillon	0,19	0,02	0,03	0,47	16	247	506	0,05	0,37	39,0
30294	2000FC123	Forillon	0,50	0,01	0,03	0,52	6	104	457	0,04	0,34	51,2
30324		Sayabec	0,02			0,35		1750	489		0,36	
30326		York River	0,30		0,04	0,62	13	207	524	0,04	0,09	80,3
30329	Causapscal	Saint-Léon	0,14	0,01	0,02	0,33	14	236	328	0,03	0,36	71,0
30333	Causapscal	Saint-Léon	0,14	0,01	0,01	0,29	7	207	384	0,02	0,49	64,0
30334	Causapscal	Saint-Léon	0,67	0,01	0,01	0,25	1	37	315	0,02	0,52	
30335	Causapscal	Saint-Léon	0,60	0,01	0,01	0,41	2	68	371	0,02	0,44	88,2
30336	Causapscal	Saint-Léon	0,11		0,01	0,23	9	209	387	0,01	0,30	92,3
30338	Causapscal	Saint-Léon	0,46	0,01	0,02	0,44	4	96	318	0,03	0,36	
30391	Causapscal	Mélange du Ruisseau Isabelle	2,73	0,03	0,05	0,09	2	3	600	0,08	0,35	64,9
30392	Causapscal	Mélange du Ruisseau Isabelle	1,59	0,01	0,03	0,77	3	48	603	0,04	0,24	82,6

Tableau 4 : Résultats des analyses de carbone organique total et de Rock Eval.

4.2.2.3- <u>T_{max</u></u></u>}

Les valeurs de T_{max} les plus élevées, c'est-à-dire les valeurs supérieures à 585 °C, se trouvent dans le Black Shale Assemblage du Mélange du Ruisseau Isabelle, dans les Calcaires supérieurs de Gaspé (formations de Forillon et de Shiphead) et dans les Grès de Gaspé (formations de York Lake et de York River). Aucune carte de courbes d'isovaleurs de la T_{max} n'a été réalisée, car aucune corrélation significative n'est observée entre la T_{max} et la réflectance. Lorsque les valeurs de la T_{max} ne se trouvent plus dans la fenêtre à huile (entre 430 et 470 °C), la T_{max} n'est alors pas valide (Taylor *et al.*, 1998).

Les échantillons du puits Associated Development Ltd Causapscal no 1 ont des valeurs de T_{max} qui sont très basses et qui ne sont pas significatives : entre 315 et 387 °C (tableau 4), car ces valeurs sont plus basses que les autres échantillons. C'est pour cette raison que les résultats de ce puits n'apparaissent pas dans la figure 11. En ce qui concerne les trois autres puits, Mitis no 1, Rivière à la Truite no 1 et Great Plains Noel et al. La Vérendrye no 1, il n'y a pas de données sur la T_{max} .



Figure 11 : Histogramme de la température de pyrolyse maximale (T_{max}) pour les échantillons de surface et de puits de la région du Lac Matapédia.

4.2.2.4- Potentiel génétique

Dans la région du Lac Matapédia, toutes les valeurs observées pour le potentiel génétique sont inférieures à 1,00 mg HC/gm de roche. Les roches mères ont des valeurs basses. Dans toutes les groupes et formations, exception faite de la Formation de Forillon, les valeurs sont inférieures à 0,10 mg HC/gm de roche (tableau 4). Les résultats sont parfois de 0, comme dans les formations de Sayabec et de Saint-Léon et dans le Groupe de Fortin. Par contre, dans la Formation de Forillon, le potentiel génétique peut atteindre des valeurs de 0,53 et même de 0,66 mg HC/gm de roche.

Le potentiel génétique pour les puits indique là aussi que les valeurs des roches mères sont basses. Pour le puits 2000FC123 de la compagnie Prospection 2000, le potentiel génétique varie beaucoup : de 0,04 à 0,66 mg HC/gm, alors que pour le puits Associated Development Ltd Causapscal no 1, les valeurs sont de 0,01 à 0,03 mg HC/gm.

Il n'y a pas de données de potentiel génétique pour les trois autres puits (Mitis no 1, Rivière à la Truite no 1 et Great Plains Noel et al. La Vérendrye no 1).

4.2.2.5- Indice de production

L'indice de production étant le rapport de la quantité d'hydrocarbures en place sur la quantité d'hydrocarbures pouvant être produite par le kérogène est avant tout un indicateur de maturation thermique (Espitalié et al., 1977), mais accessoirement il peut aussi être un indicateur de migration des hydrocarbures. En effet, l'indice de production peut être un indicateur de migration lorsque les valeurs de l'indice de production sont supérieures à ce qui est prévu, c'est-à-dire que pour une valeur de réflectance donnée, il y a une valeur d'indice de production précise (Hunt, 1995). Dans le cas de la région du Lac Matapédia, les valeurs d'indice de production sont supérieures aux valeurs prévues par Hunt (1995). Notre indice de migration (IM) des hydrocarbures a été calculé à partir de l'indice de production et de la figure 10-38 de Hunt (1995). L'équation pour calculer l'indice de migration est : IM = $(S_1 \text{ prévu} - S_1 \text{ mesuré})/S_1 \text{ prévu}$, le S_1 prévu étant calculé à partir de l'indice de production prévu dans la charte de Hunt (S1 prévu = S2 * IP prévu/(1 - IP prévu). La figure 12 montre les courbes d'isovaleurs de l'indice de migration des hydrocarbures avec, pour comparaison, la zonation de la réflectance et des stades de génération des hydrocarbures. La majorité des échantillons ont un indice de migration qui varie entre 30 et 90% (tableau 4). Par contre, il y a deux échantillons de surface et deux échantillons provenant du puits 2000FC123 de Prospection 2000 qui ont des valeurs négatives (tableau 4). Des valeurs positives indiquent qu'il y a eu expulsion d'hydrocarbures, alors que des valeurs négatives indiquent une accumulation d'hydrocarbures dans la roche. Les deux indices de migration négatifs dans les échantillons de surface se trouvent dans la Formation de Forillon et leur valeur est de – 3,2% (échantillon 30282) et de -20,5% (échantillon 30265) (tableau 4). Les autres valeurs négatives sont observées dans le puits 2000FC123 de Prospection 2000 et montrent un indice de migration de -6,5% (échantillon 30285) et de -31,6% (échantillon 30287) (tableau 4).





4.2.3- Analyses élémentaires

Sur les six échantillons où des analyses élémentaires ont été tentées, un seul n'a pu être analysé (échantillon 13222 appartenant à la Formation d'Indian Cove), car il n'y avait pas assez de résidu pour faire les analyses élémentaires (tableau 5). La quantité totale de soufre est assez élevée, sauf pour les échantillons 30214 (3,7% de soufre) et 30211 (6,7% de soufre) (tableau 5). Tous les autres échantillons ont une quantité de soufre qui dépasse les 10% : 14,5%, 11,7% et 17,6% pour les échantillons 13164, 30284 et 30391 respectivement (tableau 5).

No		%	%	%
INRS	Formation	Carbone	Azote	Soufre
13164	Indian Cove	60.6	0.9	14.5
13222	Indian Cove	N/A	N/A	N/A
30211	Forillon	66.6	1.7	6.7
30214	Forillon	57.2	1.3	3.7
30284	Forillon	65.2	1.6	11.7
30391	Mélange du Ruisseau Isabelle	54.7	1.8	17.6

Tableau 5 : Résultats des analyses élémentaires.

4.3- Interprétation et discussion

Plusieurs facteurs peuvent diminuer ou augmenter les valeurs des analyses de Rock Eval : l'effet d'échelle, l'effet des carbonates, l'effet de matrice, l'effet d'oxygène et l'effet des bitumes (Bertrand, 1987). D'après la discussion faite par cet auteur, les résultats de la majorité de nos échantillons suggèrent que plusieurs de ces effets perturbateurs affectent nos analyses. En effet, l'abondance des carbonates dans nos échantillons, les valeurs très basses de COT et de potentiel génétique, la maturation thermique élevée et l'abondance relative de migrabitume dans nos échantillons suggèrent que nos valeurs d'indice d'oxygène sont largement surestimées, que celles de l'indice d'hydrogène sont peut-être sous-estimées et, finalement, que celles de la T_{max} ne sont pas très fiables. En conséquence, une interprétation de nos résultats de Rock Eval en terme de nature du kérogène serait douteuse, principalement dû à l'indice d'oxygène. De plus, les valeurs de la T_{max} , au niveau de la maturation thermique, doivent être interprétées avec prudence avant l'interprétation pour éviter qu'il y ait des valeurs douteuses.

La majorité des échantillons de la région du Lac Matapédia ont des valeurs de COT qui se situent dans la zone où il n'y a pas de potentiel (figure 10 et tableau 4). Par contre, trois échantillons se situent dans la zone du potentiel à huile : deux appartenant au Black Shale Assemblage du Mélange du Ruisseau Isabelle (30391 et 30392) et un appartenant à la Formation de Forillon (30214). D'après leurs valeurs de COT, ces unités pourraient être des roches mères potentielles soit ordoviciennes (Black Shale Assemblage du Mélange du Ruisseau Isabelle (2,73 et 1,59%)) ou soit dévoniennes (Formation de Forillon (1,74%)). Ces roches sont assez riches en matière organique et elles sont suffisamment matures pour avoir généré des huiles. Le tableau 6 présente les valeurs actuelles et initiales de COT pour l'échantillon 30392 du Black Shale Assemblage du Mélange du Ruisseau Isabelle et l'échantillon 30214 de la Formation de Forillon. Les valeurs initiales ont été calculées à partir des valeurs actuelles et de la différence entre les valeurs actuelles et initiales. La différence entre les valeurs initiales et actuelles est de 20% pour le type II et de 60% pour le type III (Peters et Cassa, 1994). La différence entre les valeurs initiales et actuelles provient de la combinaison de plusieurs effets : la diagenèse, la maturation thermique et la différence de matière organique (Peters et Cassa, 1994). Les valeurs initiales pour le Black Shale Assemblage du Mélange du Ruisseau Isabelle et la Formation de Forillon se situent dans la zone du potentiel à huile (tableau 6). Mais, il est impossible de déterminer avec précision le type de matière organique car il y a beaucoup d'amorphes, ce qui rend l'identification imprécise (Chapitre 3). Les valeurs initiales ne sont donc pas précises.

Les valeurs de COT pour la région du Lac Matapédia sont comparables à celles de l'Est de la Gaspésie. En effet, ces deux régions ont des valeurs de COT qui sont basses : entre 0,02 et 0,52%, principalement, pour la région du Lac Matapédia et entre 0,10 et 0,30% pour l'Est de la Gaspésie (Bertrand et Malo, 2001a). De plus, dans les deux cas, la Formation de Forillon a localement des valeurs de COT supérieures à 1,00%. Par contre, dans l'Est de la Gaspésie, plusieurs formations du Siluro-Dévonien sont des roches mères potentielles (formations d'Indian Point, de Forillon et de York River) (Bertrand et Malo, 2001a). Les valeurs basses de COT de la région du Lac Matapédia pourraient être dues soit à une faible production de matière organique (peu d'organismes), à de l'oxydation (Taylor *et al.*, 1998) et/ou à une forte dilution. Lorsqu'il y a de l'oxygène (milieu oxique), la matière organique se dégrade plus rapidement, donc les valeurs de COT diminuent (Taylor *et al.*, 1998). La dilution peut être expliquée par l'exemple d'une même quantité de matière organique prise dans des sédiments dont l'épaisseur est différente (10 m et 1 km). Puisqu'il y a beaucoup plus de sédiments dans le cas du 1 km, les valeurs de COT seront plus faibles que dans le cas du 10 m. Les valeurs élevées de COT, quant à elles, seraient dues soit à une production de matière organique (beaucoup d'organismes) élevée et/ou à une faible dilution (Taylor *et al.*, 1998).

	COT	IH	PG
Actuel	1,74	4,00	6,96
Différence	20%	20%	
Initial	2,09	4,80	10,02

Tableau 6a : Valeurs actuelles et initiales pour le carbone organique total (COT), l'indiced'hydrogène (IH) et le potentiel génétique (PG) pour l'échantillon 30214de la Formation de Forillon pour le type II.

	COT	IH	PG
Actuel	1,74	4,00	6,96
Différence	60%	60%	
Initial	2,78	6,40	17,82

Tableau 6b : Valeurs actuelles et initiales pour le carbone organique total (COT), l'indice d'hydrogène (IH) et le potentiel génétique (PG) pour l'échantillon 30214 de la Formation de Forillon pour le type III.

	·COT	IH	PG
Actuel	1,59	3,00	4,77
Différence	20%	20%	
Initial	1,91	3,60	6,87

Tableau 6c : Valeurs actuelles et initiales pour le carbone organique total (COT), l'indice
d'hydrogène (IH) et le potentiel génétique (PG) pour l'échantillon 30392
du Black Shale Assemblage du Mélange du Ruisseau Isabelle pour le type
II.

	COT	IH	PG
Actuel	1,59	3,00	4,77
Différence	60%	60%	
Initial	2,54	4,80	12,21

Tableau 6d : Valeurs actuelles et initiales pour le carbone organique total (COT), l'indice
d'hydrogène (IH) et le potentiel génétique (PG) pour l'échantillon 30392
du Black Shale Assemblage du Mélange du Ruisseau Isabelle pour le type
III.

Les valeurs de l'indice d'oxygène varient beaucoup : entre 3 et 2700 mg CO₂/g COT. Les valeurs de cet indice qui sont supérieures à 200 mg CO₂/g COT ne sont pas valides, car les valeurs supérieures à 200 mg CO₂/g COT se situent en-dehors de la gamme des valeurs vraisemblables pour la matière organique (Espitalié *et al.*, 1977; Hunt, 1995). Donc, le CO₂ proviendrait des carbonates et non pas de la matière organique (effet des carbonates) (Bertrand, 1987). Normalement, les valeurs de l'indice d'oxygène sont élevées lorsque les valeurs de COT sont inférieures à 2,00% (Hunt, 1995). Dans la région du Lac Matapédia, les valeurs de COT sont pratiquement toutes inférieures à 2,00% (voir plus haut dans ce chapitre). Ceci expliquerait les valeurs supérieures à 200 mg CO₂/g COT.

Les très basses valeurs de l'indice d'hydrogène (entre 0 et 25 mg HC/g COT) sont dues au fait que la maturation thermique de la région d'étude est très élevée (Bertrand, 1991). Selon Hunt (1995), une valeur d'indice d'hydrogène supérieure à 200 mg HC/g
COT indique une grande génération et une expulsion d'huile. Par contre, si les valeurs sont inférieures à 150 mg HC/g COT, le gaz est alors le principal produit généré. Donc, dans la région du Lac Matapédia, le gaz serait le principal produit généré, car les valeurs sont inférieures à 150 mg HC/g COT. De plus, les valeurs initiales de l'indice d'hydrogène, calculées de la même manière que le COT, indiquent elles aussi que le gaz est le principal produit généré (tableau 6). Les valeurs de l'indice d'hydrogène tendent à diminuer avec la profondeur du puits, car l'indice d'hydrogène diminue avec l'augmentation de la maturation. Puisque la maturation dans les puits de la région du Lac Matapédia est toujours plus basse à leur sommet, l'indice d'hydrogène est donc plus élevé au sommet des puits.

L'indice d'hydrogène sert entre autre à déterminer indirectement le type de matière organique. La figure 13 montre la réflectance en abscisse et l'indice d'hydrogène en ordonnée. Malheureusement, dans le cas de la région du Lac Matapédia, il est impossible de déterminer le type de matière organique par cette figure, car les échantillons se situent tous dans la zone où les trois courbes se rejoignent, les roches de la région d'étude étant trop matures. Dans la figure 13, la Formation de Sayabec et le Groupe de Fortin n'apparaissent pas, car, dans le cas de la Formation de Sayabec, il n'y a pas de réflectance et l'indice d'hydrogène a une valeur de 0, alors que dans le cas du Groupe de Fortin, l'indice d'hydrogène a une valeur de 0. De plus, il n'y a qu'une seule valeur d'indice d'hydrogène pour la Formation de Sayabec et le Groupe de Fortin, ce qui n'est pas très représentatif.

Les valeurs de T_{max} de la région du Lac Matapédia varient beaucoup : entre 315 et 603 °C. Par contre, les valeurs inférieures à 400 °C ne sont pas utiles, car les échantillons ayant de telles valeurs se situent en-dehors des zones de la matière organique (Hunt, 1995). Puisque la majorité des échantillons ont des valeurs supérieures à 465 °C, ces échantillons sont donc supramatures en terme de génération d'huile. La grande majorité de nos échantillons indiquent les stades à condensats et à gaz sec (figure 11 et tableau 4). Par contre, cinq échantillons appartenant au puits 2000FC123 de Prospection 2000 (30284, 30287, 30289, 30291 et 30294) indiquent le stade à huile (figure 11 et tableau 4), alors que trois autres échantillons (30259, 30282 et 30285) appartiennent au stade

immature (figure 11 et tableau 4). Tous ces échantillons sont dans la Formation de Forillon.

Les valeurs de potentiel génétique sont très basses dans la région du Lac Matapédia : entre 0 et 0,66 mg HC/gm de roche. Le potentiel génétique est donc pauvre. Ces valeurs basses seraient dues au fait que la maturation thermique est élevée et que le COT est bas (Bertrand, 1991). Par contre, le potentiel génétique initial calculé à partir du COT et de l'indice d'hydrogène ((COT*IH)/100) donne des valeurs élevées (tableau 6). En effet, la valeur 6,87 mg HC/gm de roche pour l'échantillon 30392 du Black Shale Assemblage du Mélange du Ruisseau Isabelle de type II indique une bonne roche mère, alors que les trois autres valeurs (12,21, 10,02 et 17,82 mg HC/gm de roche) indiquent une très bonne roche mère (tableau 6).



Les valeurs de l'indice de migration sont assez élevées : entre 30 et 90% pour la grande majorité des analyses. L'analyse des échantillons de la partie sud de la région du Lac Matapédia montre qu'il y a eu une expulsion des hydrocarbures, alors que celle de la partie nord indique une accumulation des hydrocarbures (figure 12). Les hydrocarbures expulsés de la partie sud se sont présumément déplacés du sud-est vers des zones d'accumulation dans la partie nord-ouest par migration. La migration des hydrocarbures est démontrée grâce à l'indice de migration, mais aussi par la présence de bitume dans les veines et/ou les vacuoles (Chapitre 2). L'indice de migration est probablement plus valide que l'indice d'hydrogène ou le potentiel génétique, parce qu'il constitue le rapport de deux valeurs qui, si elles peuvent être sous-estimées, le sont simultanément.

La seule méthode pouvant être utilisée pour déterminer le type de matière organique est la pétrographie. Les deux roches mères de la région d'étude, le Black Shale Assemblage du Mélange du Ruisseau Isabelle et la Formation de Forillon, contiennent beaucoup de matière amorphe, respectivement 83 et 63%, du bitume (10 et 25%), des graptolites dans le Black Shale Assemblage et des matières organiques humiques (vitrinite et fusinite) dans la Formation de Forillon (tableau 2a). La matière amorphe est surtout trouvée dans les types I et II, alors que la vitrinite est trouvée dans le type III (Hunt, 1995). Une matière organique de même composition que celle du Black Shale Assemblage du Mélange du Ruisseau Isabelle est retrouvée dans la Formation de Macasty (Île d'Anticosti) qui est interprétée comme étant de type II (Bertrand, 1991). De plus dans l'Est de la Gaspésie nous retrouvons la même Formation de Forillon que la région du Lac Matapédia, mais elle est moins mature que dans la région de notre étude. La matière organique trouvée y est interprétée comme étant de types II et III (Bertrand et Malo, 2001a). Par conséquent, nous croyons que la matière organique des deux roche mères de la région du Lac Matapédia sont respectivement de type II et un mélange des types II et III comme dans l'île d'Anticosti et l'Est de la Gaspésie.

• .

CHAPITRE 5 GÉOCHIMIE DES HUILES

5.1 – <u>Définitions</u>

Les biomarqueurs sont des molécules fossiles complexes qui sont dissoutes dans le pétrole. Ils dérivent de précurseurs biologiques conservant les attributs qui les relient à leurs précurseurs et indiquant ainsi leur stade d'altération. Leur structure est composée de carbone (Hunt, 1995). Les biomarqueurs servent à déterminer le milieu de dépôt (marin ou terrestre), la maturation thermique et l'âge de la roche hôte. Ils peuvent aussi donner de l'information sur le type de matière organique dans la roche mère (soit la source), les conditions environnementales durant leur dépôt et leur enfouissement, le degré de biodégradation ainsi que la lithologie (Peters et Moldowan, 1993).

Les deux types de biomarqueurs les plus communs sont les stéranes et les triterpanes (aussi appelés terpanes) (Waples et Machihara, 1993). Les stéranes et les triterpanes ne sont pas présents dans la matière organique. Pour les stéranes, ce sont les stéroïdes qui sont leurs précurseurs, tandis que pour les terpanes, ce sont les triterpénoïdes. Les précurseurs des biomarqueurs contiennent habituellement un ou plusieurs atomes d'oxygène et ils ont souvent des liens doubles. Lors du début de la diagenèse, c'est-à-dire pendant les processus de basses températures qui ont lieu après la mort d'un organisme mais qui sont antérieurs à l'enfouissement profond et à la maturation thermique, les atomes d'oxygène sont perdus et les liens doubles sont réduits pour pouvoir produire des biomarqueurs qui sont saturés en hydrocarbures (Waples et Machihara, 1993). Par contre, contrairement à leurs précurseurs, les biomarqueurs sont peu ou pas du tout affectés par les réactions qui se produisent durant la diagenèse.

Les stéranes sont principalement retrouvés dans les plantes et les algues supérieures (Waples et Machihara, 1993). Par contre, ils sont très rares voire même absents dans les organismes procaryotiques. Le chromatogramme de masse le plus souvent utilisé pour les analyser est le m/z 217 (Peters et Moldowan, 1993). Les chromatogrammes de masse des stéranes montrent des numéros allant de 27 à 29. Ces numéros correspondent au nombre de carbone. Il y a quatre pics par carbone. Les carbones 27, 28 et 29 servent à déterminer l'origine des huiles, c'est-à-dire le milieu de dépôt grâce à un diagramme ternaire. Les terpanes, quant à eux, proviennent des bactéries (Waples et Machihara, 1993). Pour analyser les terpanes, c'est le chromatogramme de masse m/z 191 qui est utilisé (Peters et Moldowan, 1993).

Les rapports isotopiques du carbone-13 sont utilisés pour corréler soit deux huiles ou soit une huile et une roche mère (Hunt, 1993). Présentement, il est difficile d'utiliser les isotopes du carbone dans les corrélations huile - roche mère, car les différences de maturité peuvent causer des variations isotopiques de plus de 3‰ (Hunt, 1995). Par contre, les rapports isotopiques peuvent tout de même être utilisés, car les compositions isotopiques du carbone stable des biomarqueurs sont conservées durant la diagenèse (Peters et Moldowan, 1993).

5.2-<u>Résultats</u>

5.2.1-<u>Biomarqueurs</u>

5.2.1.1- Stéranes

Le tableau 7 montre les différents types de stéranes du chromatogramme de masse m/z 217, c'est-à-dire le numéro du pic, le nom du stérane, le nombre de carbone et la hauteur du pic, alors que la figure 14 montre la position des différents pics. Le tableau 8 montre, quant à lui, les différents rapports utilisés et leurs résultats pour chaque chromatogramme de masse m/z 217. Ces rapports vont servir à déterminer le milieu de dépôt, l'âge et la maturation thermique des roches ou des huiles des biomarqueurs. Les quatre chromatogrammes de masse provenant des échantillons de la région du Lac Matapédia (puits 1996FC119 et 1999FC121 et échantillons de la Formation de Forillon (30211 et 30284)) (figure 15) montrent des pics mal définis et des valeurs très basses comparativement à celles des autres chromatogrammes du Black Shale Assemblage du

No pic	Nom	Nbre C				H	auteur (cn	1)		
		-	Forillon (30211)	Forillon (30284)	1996FC119	1999FC121	MRI (30391)	Saint-Paul Inlet	Indian Cove (13164)	Indian Cove (13222)
1	C ₂₁ stérane	21	1,30	0,85	0,30	0,20	5,75	3,40	3,50	3,70
2	C ₂₂ stérane	22	0,75	0,70	0,20	0,20	2,95	1,60	2,15	2,40
з	$\beta\alpha$ - 20S C ₂₇ diastérane	27	0,80	0,65	0,20	0,20	4,70	7,60	4,10	5,35
4	$\beta\alpha$ - 20R C ₂₇ diastérane	27	0,60	0,40	0,15	0,15	2,90	4,80	2,70	3,50
S	$\alpha \alpha$ - 20S C ₂₇ stérane	27	0,50	0,40	0,10	0,05	2,80	3,90	3,50	3,60
9	$\beta\alpha$ - 20R C ₂₇ stérane + $\beta\alpha$ - 20S C ₂₉ diastérane	27+29	1,30	1,20	0,25	0,25	9,00	9,15	8,70	12,20
7	$BB - 20S C_{27}$ stérane	27	0,45	0,70	0,20	0,20	2,15	5,80	3,70	2,50
8	$\alpha \alpha$ - 20R C ₂₇ stérane	27	0,55	0,45	0,10	0,10	2,30	3,10	3,40	4,20
6	βα - 20R C ₂₉ diastérane	29	1,05	0,75	0,20	0,20	7,00	7,20	6,75	9,00
0	$\alpha \alpha$ - 20S C ₂₈ stérane	28	0,30	0,35	0,05	0,05	2,90	3,10	3,20	4,25
R	ßß - 20R C ₂₈ stérane	28	1,35	1,15	0,25	0,25	2,80	4,60	4,50	4,45
S	ßß - 20S C ₂₈ stérane	28	0,80	0,75	0,10	0,15	2,70	4,00	5,15	4,35
10	$\alpha \alpha$ - 20R C ₂₈ stérane	28	0,60	0,50	0,05	0,10	0,70	1,05	1,10	0,85
11	$\alpha \alpha$ - 20S C ₂₉ stérane	29	1,00	0,35	0,10	0,10	4,50	6,80	9,00	7,90
12	ßß - 20R C ₂₉ stérane	29	1,30	0,65	0,20	0,20	5,00	11,40	12,10	8,05
13	$BB - 20S C_{29}$ stérane	29	0,85	0,45	0,10	0,10	3,45	9,30	10,35	6,05
14	$\alpha \alpha$ - 20R C ₂₉ stérane	29	0,90	0,55	0,15	0,20	5,35	7,40	10,35	11,20
Ţ	ableau 7 : Hauteur des pics pour les stéranes	du chro	matogra	umme de	masse m/z	217.				

Nbre C = Nombre de Carbone et MRI = Mélange du Ruisseau Isabelle.

Les échantillons des formations de Forillon (30211 et 30284) et d'Indian Cove (13164 et 13222) et le Black Shale Assemblage du Mélange du Ruisseau Isabelle (30391) sont des roches mères. Les puits 1996FC119, 1999FC121 et Saint-Paul Inlet sont des huiles.



Figure 14 : Biomarqueurs : Position des pics du groupe des stéranes (chromatogramme de masse m/z 217), exemple du Mélange du Ruisseau Isabelle.

Mélange du Ruisseau Isabelle (30391), de la Formation d'Indian Cove (13164 et 13222) et de Saint-Paul Inlet. Les résultats que l'on peut tirer de ces huiles ou extraits organiques sont conséquemment sujets à caution.

La figure 15 présente tous les chromatogrammes de masse m/z 217 (stéranes). Les chromatogrammes de masse m/z 217 ont été séparés en trois groupes selon la qualité des pics. Le premier groupe, soit celui dont les pics sont mal définis et moins précis, est constitué de deux huiles provenant de deux puits de la région du Lac Matapédia, soit les puits 1996FC119 et 1999FC121. Le deuxième groupe est celui dont les pics sont un peu plus définis. Ce groupe comprend deux extraits de roche de la Formation de Forillon (échantillons 30211 et 30284). Finalement, le troisième groupe montre des pics

Échantillon			m/z 217	1		
	20S/(20S+20R) C29	$BB/(BB+\alpha\alpha) C29$	Diastéranes/stéranes réguliers	s20S/20R C29	BB 20R/aa 20R C ₂₉	C ₂₈ /C ₂₉ stéranes réguliers
Forillon (30211)	0,46	0,53	0,33	0,84	1,44	0,75
Forillon (30284)	0,40	0,55	0,28	0,67	1,18	1,38
1996FC119	0,36	0,55	0,35	0,57	1,33	0,82
1999FC121	0,33	0,50	0,37	0,50	1,00	0,92
MRI (30391)	0,43	0,46	0,32	0,77	0,93	0,5
Saint-Paul Inlet	0,46	0,59	0,36	0,86	1,54	0,37
Indian Cove (13164) 0,46	0,54	0,26	0,86	1,17	0,33
Indian Cove (13222) 0,42	0,42	0,28	0,72	0,72	0,42
Tableau 8 : Rapport	s pour les stéranes du	chromatogramm	te de masse m/z 217.	-		



beaucoup plus hauts et étroits que les aux autres groupes. Ce groupe comprend un extrait de roche du Black Shale Assemblage du Mélange du Ruisseau Isabelle (échantillon 30391), deux extraits de roche de la Formation d'Indian Cove du Nord-Est de la Gaspésie (échantillons 13164 et 13222) et une huile provenant de l'Ouest de Terre-Neuve de l'indice de Saint-Paul Inlet (Fowler *et al.*, 1995). Un extrait de roche de la Formation de Macasty provenant de l'Île d'Anticosti a aussi été ajouté, et ce, à titre de comparaison.

Il est impossible de faire de bonnes corrélations entre les chromatogrammes des deux premiers groupes avec ceux du troisième groupe, car les pics des premiers groupes sont trop imprécis. Dans le troisième groupe, le chromatogramme de masse m/z 217 du Black Shale Assemblage du Mélange du Ruisseau Isabelle ressemble à celui de la Formation de Macasty, mais il est différent de celui de l'Ouest de Terre-Neuve et de ceux de la Formation d'Indian Cove (figure 15). De plus, les chromatogrammes de masse des échantillons de la Formation d'Indian Cove diffèrent par l'importance relative de l'isomère $\beta\alpha$ 20R – C₂₇ dans l'échantillon 13222 et par celles des isomères $\beta\beta$ 20R et $\beta\beta$ 20S – C₂₉ dans l'échantillon 13164 (tableau 7).

Les résultats des différents rapports sont montrés dans le tableau 8. Les rapports $20S/(20S + 20R) C_{29}$, $\beta\beta/(\beta\beta + \alpha\alpha) C_{29}$ et diastéranes/stéranes réguliers sont des paramètres de maturation des biomarqueurs (Waples et Machihara, 1993). Les rapports 20S/20R et $\beta\beta$ $20R/\alpha\alpha$ $20R C_{29}$ servent à déterminer s'il y a de la migration, alors que le rapport C_{28}/C_{29} stéranes réguliers est un paramètre de détermination de l'âge (Waples et Machihara, 1993).

5.2.1.1.1–<u>Diagramme ternaire</u>

La figure 16 montre deux diagrammes ternaires basés sur la proportion relative des pics C_{27} à C_{29} des chromatogrammes de masse m/z 217 des stéranes. L'un est modifié de Waples et Machihara (1993) et l'autre est modifié de Hunt (1995). Les échantillons de la région du Lac Matapédia (1996FC119, 1999FC121 et les échantillons de la Formation de Forillon (30211 et 30284)) n'apparaissent pas sur la figure, car leurs valeurs de hauteur de pic ne sont pas fiables.



Les figures 16a et 16b montrent que les échantillons contiennent beaucoup plus de C_{27} et de C_{29} que de C_{28} . Dans la figure 16a, les échantillons sont tous situés dans le champ des zones marine et d'estuaire (ou de baie). Par contre, l'un des échantillons de la Formation d'Indian Cove (13164) se trouve à la limite du champ des zones marine et d'estuaire (ou de baie). La figure 16b, quant à elle, montre qu'un échantillon de la Formation d'Indian Cove (13222) et l'échantillon de Saint-Paul Inlet se trouvent dans le champ de la zone des carbonates. L'autre échantillon de la Formation d'Indian Cove (13164) se trouve à la limite du champ de la Formation d'Indian Cove (13164) se trouve à la limite du champ de la zone des carbonates. L'autre échantillon de la Formation d'Indian Cove (13164) se trouve à la limite du champ de la zone des carbonates. Finalement, l'échantillon du Black Shale Assemblage du Mélange du Ruisseau Isabelle (30391) se trouve à la limite de trois zones : la zone des shales générateurs d'huile en milieu lacustre et salin, la zone des huiles marines provenant des carbonates et la zone des huiles provenant des shales. Il y a eu une biodégradation mineure sur les biomarqueurs, car les n-alcanes ont été détruits (Hunt, 1995).

5.2.1.1.2–<u>Âge</u>

La figure 17 représente la courbe de l'âge des roches mères (en millions d'années) en fonction du rapport C_{28}/C_{29} des stéranes réguliers du chromatogramme de masse m/z 218 (le chromatogramme de masse m/z 218 est beaucoup plus précis dans l'évaluation des âges que celui du m/z 217, car il n'y a pas de superposition de pics). Une fois de plus, les échantillons de la région du Lac Matapédia (1996FC119, 1999FC121 et les échantillons de la Formation de Forillon (30211 et 30284)) n'apparaissent pas sur la figure, car leurs valeurs de pics ne sont pas fiables.

La roche mère de l'échantillon du Black Shale Assemblage du Mélange du Ruisseau Isabelle (30391) et celle de Saint-Paul Inlet aurait un âge semblable, soit environ 370 millions d'années. En ce qui concerne les échantillons de la Formation d'Indian Cove (13164 et 13222), les rapports suggèrent des âges différents entre eux pour leur roche mère, mais plus vieux que les deux autres échantillons, soit environ 490 millions d'années pour l'échantillon 13164 et 420 millions d'années pour l'échantillon 13222.



Figure 17 : Âge des roches mères (en millions d'années) en fonction du rapport C_{28}/C_{29} des stéranes réguliers. Modifiée de Waples et Machihara (1993).

5.2.1.1.3-<u>Maturation thermique</u>

Plusieurs rapports peuvent être utilisés pour analyser la maturation thermique, mais c'est le rapport 20S/(20S + 20R) C₂₉ des stéranes qui est a été utilisé pour le graphique de la maturation, car il représente le paramètre de maturité des biomarqueurs qui est le plus fiable et le plus utile (Waples et Machihara, 1993). N'importe quel stérane, C₂₇, C₂₈ ou C₂₉, pourrait être utilisé, mais c'est le C₂₉ qui possède les données les plus précises, car les données du C₂₉ sont les moins susceptibles d'être chevauchées par les autres pics des chromatogrammes de masse (Waples et Machihara, 1993). Les valeurs du rapport 20S/(20S + 20R) C₂₉ pour les échantillons analysés varient entre 0,33 et 0,46 (tableau 8). Ces valeurs se situent près de la valeur maximale de maturation que peut donner ce paramètre, c'est-à-dire que les valeurs se trouvent au-delà du seuil d'évolution (Waples et Machihara, 1993). En effet, les échantillons tendent à atteindre un plateau qui correspond à un stade où il n'y a plus d'évolution de la maturation qui se fait (Waples et Machihara, 1993).

5.2.1.2-<u>Terpanes</u>

Le tableau 9 montre les différents types de terpanes, soit le numéro du pic, le nom du terpane, le nombre de carbone et la hauteur du pic, alors que le tableau 10 présente les différents rapports utilisés et leurs résultats pour chaque chromatogramme de masse m/z 191. Ces rapports vont servir à déterminer la maturation thermique des roches ou des huiles des biomarqueurs (Hunt, 1995; Waples et Machihara, 1993). La figure 18 montre un exemple d'un chromatogramme de masse m/z 191 pour les terpanes avec la position des pics. Comme dans le cas des stéranes, les pics des quatre chromatogrammes de masse provenant de la région du Lac Matapédia (1996FC119, 1999FC121 et Formation de Forillon (échantillons 30211 et 30284)) sont mal définis et montrent des valeurs très basses comparativement à celles des autres chromatogrammes (Black Shale Assemblage du Mélange du Ruisseau Isabelle (échantillon 30391), Formation d'Indian Cove (échantillons 13164 et 13222) et Saint-Paul Inlet).

5.2.1.2.1- Maturation thermique

Tous les rapports du tableau 10 peuvent être utilisés pour caractériser la maturation thermique, mais c'est le rapport Ts/Tm (ou Ts/(Ts + Tm)) qui est le plus discuté dans la littérature (Peters et Moldowan, 1993; Waples et Machihara, 1993). Toutes les valeurs sont supérieures à 1, ce qui indique, une fois de plus, que les échantillons tendent à atteindre le plateau de maturation, c'est-à-dire l'endroit où il n'y a plus d'évolution au niveau de la maturation (Waples et Machihara, 1993).

No pic	Nom	Nbre C				Η	auteur (cr	. (u		
			Forillon (30211)	Forillon (30284)	1996FC119	1999FC121	MRI (30391)	Saint-Paul Inlet	Indian Cove (13164)	Indian Cove (13222)
1	C ₂₁ terpane tricyclique	21	1,00	0,60	0,30	0,20	4,90	1,20	2,00	1,40
2	C ₂₃ terpane tricyclique	23	1,55	1,60	0,20	0,20	7,10	1,50	3,60	2,95
ю	C ₂₄ terpane tricyclique	24	0,75	0,60	0,40	0,20	4,60	1,25	2,70	2,10
4	C ₂₅ terpane tricyclique	25	0,60	0,45	0,10	0,10	2,20	0,70	1,70	1,20
S	C ₂₆ terpane tricyclique	26	0,40	0,40	0,10	0,05	1,10	1,15	0,80	0,60
9	C ₂₈ terpane tricyclique	29	0,50	0,60	0,20	0,10	2,00	0,75	1,40	1,35
7	C ₂₉ terpane tricyclique	29	0,70	0,25	0,10	0,10	1,80	0,70	1,70	1,10
8.	Ts	27	0,50	0,80	0,20	0,10	2,30	3,30	2,40	3,00
6	Tm	27	0,50	0,30	0,20	0,10	1,50	1,60	1,20	1,10
11	Norhopane	29	0,50	0,35	0,10	0,05	2,00	1,60	2,00	1,75
12	$C_{29} Ts$	29	1,30	0,80	0,50	0,30	7,80	5,60	8,70	9,30
13	Diahopane	30	0,30	0,35	0,10	0,10	0,50	2,50	0,75	0,55
14	αß - C ₃₀ hopane	30	2,55	2,05	0,95	0,50	11,05	13,45	13,50	13,60
15	$\beta\alpha$ - C ₃₀ morétane	30	0,40	0,35	0,20	0,10	1,70	1,85	1,85	2,20
16	αß - 22S C ₃₁ homohopane	31	1,15	1,15	0,40	0,20	3,50	4,50	4,15	3,80
16	$\alpha\beta$ - 22R C ₃₁ homohopane	31	0,80	0,70	0,30	0,15	2,75	3,60	3,40	3,00
17	aß - 22S C ₃₂ homohopane	32	0,60	0,75	0,20	0,10	2,90	3,60	3,50	3,40
17	αß - 22R C ₃₂ homohopane	32	0,75	0,90	0,20	0,10	2,00	2,60	2,40	2,45
18	aß - 22S C ₃₃ homohopane	33	0,65	0,80	0,15	0,10	1,85	2,30	2,10	2,00
18	αß - 22R C ₃₃ homohopane	33	0,55	0,75	0,15	0,10	1,30	1,50	1,40	1,40
19	αß - 22S C ₃₄ homohopane	34	0,50	0,55	0,10	0,05	1,45	1,90	1,60	1,60
19	αß - 22R C ₃₄ homohopane	34	0,50	0,50	0,05	0,05	0,70	1,15	1,10	1,00
20	αß - 22S C ₃₅ homohopane	35	0,30	0,35	0,10	0,05	1,20	0,80	1,05	1,00
20	$\alpha\beta$ - 22R C ₃₅ homohopane	35	0,40	0,40	0,10	0,05	0,70	0,55	0,70	0,80
Tableau	u 9 · Hauteur des pics pou	Ir les ter	nanes d	lu chrom	atogramme	de masse n	191			

Échantillon	$22S/(22S+22R) C_{31}$ + homohopanes	Ts/(Ts+Tm)	Tricycliques/(tricycliques + 17α hopanes)	Ts/Tm
Forillon (30211)	0,52	0,50	0,60	1,00
Forillon (30284)	0,53	0,73	0,61	2,67
1996FC119	0,54	0,50	0,51	1,00
1999FC121	0,53	0,50	0,58	1,00
MRI	0,59	0,61	0,63	1,53
Saint-Paul Inlet	0,58	0,67	0,26	2,06
Indian Cove (13164)	0,58	0,67	0,43	2,00
Indian Cove (13222)	0,58	0,73	0,36	2,73
Tableau 10 · Bannor	ts nour les ternanes du chromatogramm	ne de masse m	/~ 101	-

h



Figure 18 : Biomarqueurs : Position des pics du groupe des terpanes (chromatogramme de masse m/z 191), exemple du Mélange du Ruisseau Isabelle.

5.2.2- Rapports isotopiques des n-alcanes

La figure 19 montre la variation des rapports isotopiques du carbone pour les nalcanes, alors que le tableau 11 présente les valeurs des rapports isotopiques du carbone-13 pour chaque échantillon, en fonction du nombre de carbone. La grande majorité des huiles ou des extraits organiques de nos échantillons sont dans la même gamme de valeurs. Plus en détails, on remarque que les huiles des puits 1996FC119 et 1999FC121 ont des courbes de composition isotopique semblables (figure 19). De plus, les courbes de composition isotopique des extraits organiques des deux échantillons de la Formation de Forillon (30211 et 30284) se ressemblent (figure 19), ainsi que les courbes des échantillons de la Formation d'Indian Cove (13164 et 13222). Par contre, il n'y a aucune courbe de variation des rapports isotopiques du carbone pour les n-alcanes qui ressemble à celle de l'huile de l'indice de Saint-Paul Inlet (figure 19). En ce qui concerne l'échantillon du Black Shale Assemblage du Mélange du Ruisseau Isabelle (30391) (figure 19), il est impossible de faire une comparaison, car cette courbe de variation des rapports isotopiques est imprécise dû au fait qu'il n'y avait pas assez d'extrait de roche pour faire une analyse précise.



Figure 19 : Rapports isotopiques du carbone-13 pour des échantillons de la région du Lac Matapédia, de l'Est de la Gaspésie et de Terre-Neuve. Modifiée de Chung *et al.* (1994).

ľ								Z	ombre	de ca	rbone	с U						-		
C12		C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	C21	C22	C23	C24	C25	C26	C27	C28	C29 (C30 C	31
-27,	চি	-29,9	-29,7	-30,1	-29,9	-29,9	-29,8	-29,7	-29,3	-29,6	-29,7	-29,3	-29,2	-29,1	-29,2	-29,0	-28,7	-29,7		
-29,	3	-29,9	-30,0	-30,2	.30,1	-30,3	-29,9	-29,5	-29,1	-29,2	-29,4	-29,5	-29,3	-29,4	-29,5					
-28	m.	-29,3	-29,3	-29,7	-30,0	-30,1	-29,9	-29,7	-29,9	-29,6	-29,5	-29,4	-29,1	-29,0	-29,0	-28,8	-28,6	-28,7	28,3 -2	28,1
-28	,1	-29,8	-29,5	-29,7	, -29,8	3 -29,5	-29,7	-29,1	-29,4	-29,3	-29,6	-29,3	-29,2	-29,0	-29,1	-28,8	-28,8	-28,7 -	28,1	
			-31,0		-31,2	-31,3	-30,4	-31,3	-30,1			-29,2		-30,5						
-78	0,	-28,8	-29,1	-29,0	-28,8	-28,8	-28,5	-29,1	-29,1	-29,1	-28,8	-28,4	-28,1	-28,3	-27,9	-27,7	-27,3			
-29	,2	-29,7	-29,8	-29,8	-29,7	-29,6	-29,7	-30,0	-30,0	-30,7	-29,9	-29,8	-29,6	-29,7	-29,7	-29,7	-29,7	-30,0		
-31	ý	-32,7	-32,9	-33,1	-32,7	-32,7	-32,1	-32,0	-31,7	-31,3	-31,3	-31,5	-30,8	-30,4	-30,3	-29,7	-29,3	-29,1		

Tableau 11 : Valeurs des rapports isotopiques du carbone-13 en fonction du nombre de carbone.

Les valeurs sont en ‰.

5.3-<u>Interprétation et discussion</u>

Les chromatogrammes de masse m/z 217 (stéranes) et m/z 191 (terpanes) des huiles et de extraits organiques des échantillons provenant de la région du Lac Matapédia (puits 1996FC119 et 1999FC121 et Formation de Forillon (30211 et 30284)) présentent des pics peu marqués et, donc, peu fiables (valeurs faibles pour les pics) en comparaison des chromatogrammes des échantillons (Saint-Paul Inlet, Black Shale Assemblage du Mélange du Ruisseau Isabelle (30391) et Formation d'Indian Cove (13164 et 13222)). La cause la plus probable qui explique pourquoi les extraits de roche et les huiles qui proviennent de la région du Lac Matapédia sont presque totalement dépourvus de biomarqueurs du groupe des stéranes et des terpanes, est qu'ils sont supramatures en terme de génération d'huile (Peters et Moldowan, 1993). Les autres échantillons (Saint-Paul Inlet, Black Shale Assemblage du Mélange du Ruisseau Isabelle (30391) et Formation d'Indian Cove (13164 et 13222)) sont matures. Cette absence de biomarqueurs fait qu'il a été impossible de faire des corrélations avec les autres chromatogrammes provenant des autres régions investiguées ainsi que de déterminer le milieu de dépôt et l'âge de la ou des roches mères d'où proviennent ces huiles et ces extraits organiques.

Les comparaisons entre les chromatogrammes de masse m/z 217 (figure 15) démontrent que les hydrocarbures du Black Shale Assemblage du Mélange du Ruisseau Isabelle n'ont pas la même composition que ceux de l'Ouest de Terre-Neuve et que ceux du Nord-Est de la Gaspésie, mais ils ont la même composition que ceux de la Formation de Macasty. Les différences entre les chromatogrammes de masse des échantillons d'Indian Cove (13164 et 13222), provenant du même secteur du Nord-Est de la Gaspésie, résulte probablement d'une fractionation lors de la migration de ces hydrocarbures (Peters et Moldowan, 1993; Hunt, 1995).

Les échantillons du Black Shale Assemblage du Mélange du Ruisseau Isabelle (30391), de Saint Paul Inlet et de la Formation d'Indian Cove proviennent tous d'un milieu marin et/ou d'estuaire ou de baie (figure 16a). Par contre, l'un des échantillons de la Formation d'Indian Cove (13164) indique un milieu de dépôt à la limite du milieu terrestre et diffère des autres échantillons. Cette différence serait due à un apport en

matière organique continentale terrigène beaucoup plus important pour l'échantillon 13164.

La figure 17 suggère que la roche mère qui a généré l'huile de Saint-Paul Inlet, la Formation de Green Point datant de l'Ordovicien inférieur (Fowler *et al.*, 1995), a sensiblement le même âge que celle du Black Shale Assemblage du Mélange du Ruisseau Isabelle, qui lui aussi est de l'Ordovicien inférieur, mais serait dévonienne. Sachant que ces deux roches mères sont ordoviciennes (Fowler *et al.*, 1995; Malo *et al.*, 2001; Fowler *et al.*, 1995), les âges déterminés par la méthode des biomarqueurs nous apparaissent non crédibles dans le cas présent. En conséquence, les âges ordoviciens suggérés dans la figure 17 pour les roches mères ayant généré les huiles extraites des échantillons d'Indian Cove (13164 et 13222) deviennent donc non fiables eux aussi. Le fait qu'une très faible erreur sur la hauteur des pics entraîne une grande erreur sur l'âge pourrait être la cause des résultats de la figure 17.

Les valeurs du rapport 20S/(20S + 20R) C₂₉ des stéranes pour la maturation thermique ont révélé que tous les échantillons analysés atteignent le seuil au-delà duquel la valeur du rapport ne montre plus d'évolution. Ce résultat s'explique par le fait que les échantillons sont supramatures en terme de génération d'huile (Waples et Machihara, 1993). En conséquence, cette technique d'interprétation de la maturation thermique devient peu pertinente pour notre région.

On observe que les courbes de variation des rapports isotopiques des indices d'huile des puits (1996FC119 et 1999FC121) et des extraits organiques (Formation d'Indian Cove (échantillons 13164 et 13162) et Formation de Forillon (échantillons 30211 et 30284)) se ressemblent. La composition isotopique des huiles des puits est donc la même que celle des extraits. Vu qu'il y a corrélation entre les indices d'huile et les extraits, et que la Formation de Forillon est une roche mère potentielle, les indices d'huile des puits auraient comme roche mère la Formation de Forillon. Par conséquent, comme la Formation de Forillon est dévonienne, les huiles des indices sont dévoniennes. Les valeurs des rapports isotopiques du carbone-13 varient entre -27,0 (1996FC119) et -33,7% (Saint-Paul Inlet) (tableau 11) résultant de la diagenèse de la matière organique (Ohmoto et Goldhaber, 1997). Les huiles de Saint-Paul Inlet sont moins matures que les autres échantillons analysés et elle sont appauvries en carbone-13 comparativement aux

autres échantillons. L'appauvrissement en carbone-13 de Saint-Paul Inlet est dû à la provenance de la matière organique. La roche mère de Saint-Paul Inlet étant la Formation de Green Point et sachant que la matière organique de cette formation est appauvrie en carbone-13, les huiles de Saint-Paul Inlet seront elles aussi dépourvues en carbone-13 (Fowler *et al.*, 1995).

CHAPITRE 6

MODÉLISATION DE L'ENFOUISSEMENT ET DE LA <u>GÉNÉRATION DES HYDROCARBURES</u>

6.1- Généralités et introduction

La modélisation a été réalisée pour déterminer le ou les épisode(s) de génération des huiles et des gaz, et ce, à partir des données de la réflectance. Elle a été faite avec la méthode de Hunt. Le modèle de Hunt présente la progression de la génération des huiles en utilisant des graphiques d'indice de temps et de température (TTI) qui sont basés sur l'équation d'Arrhenius (Hunt, 1995). Les valeurs de TTI d'Arrhenius sont calculées pour chaque intervalle de 10 °C. La fenêtre à huile se situe entre 1 et 150 des valeurs de TTI. Pour modéliser la génération d'huile par la méthode de Hunt, le temps d'exposition d'une roche mère à des températures variables lors de l'enfouissement, le gradient géothermique, la température et les épaisseurs d'enfouissement (et les épaisseurs des séries sédimentaires érodées) sont requis. Le gradient géothermique a été déterminé à partir des données de réflectance de chaque puits.

Pour la température, il faut connaître la température initiale de surface lors de la sédimentation, pour bien commencer la modélisation. La température initiale est estimée à 20 °C (Bertrand, 1990; Bertrand et Malo, 2001), soit la température de l'eau de mer pour un climat tropical (l'Amérique du Nord avait alors une position équatoriale (Smith *et al.*, 1981)). Les gradients géothermiques ont tout d'abord été calculés avec l'équation de Barker et Pawlewicz (1986) (Chapitre 3). Ils ont ensuite été ajustés en fonction de l'histoire géologique de la région du Lac Matapédia et de l'évolution de la réflectance en fonction de la profondeur des puits (Bertrand, 1990). Plusieurs itérations et tests statistiques ont été nécessaires pour minimiser les écarts entre les valeurs expérimentales de réflectance et les valeurs prévues par le modèle (Bertrand, 1990). Finalement, les épaisseurs d'enfouissement maximales ont été calculées à partir de droites de régression (Chapitre 3) et les épaisseurs des séries sédimentaires érodées ont été déterminées à partir

de coupes structurales et d'épaisseurs connues prises dans la littérature (Brisebois *et al.* (2000) et Beausoleil (2003, communication personnelle)).

Pour faire une modélisation de la génération des hydrocarbures, la connaissance précise du type de matière organique et la quantité de soufre qui sont contenues dans les successions de la région du Lac Matapédia est nécessaire. Pour y arriver, il faut séparer le soufre organique du soufre minéral. Les analyses élémentaires avaient pour but de déterminer le sous-type des types I, II ou III de la matière organique par la proportion de soufre qui y est incorporé. Dans notre cas, il a été impossible de séparer les deux types de soufre, et conséquemment de déterminer le sous-type de matière organique tel que défini par Hunt (1995). Les valeurs élevées de soufre peuvent être dues à la présence de pyrite incorporée dans la matière organique (Chapitre 2).

Les types de kérogènes retrouvés dans la région du Lac Matapédia sont donc IIA, IIB, IIC, IID et III. Les types IIA et IIB ont un taux de réaction rapide et ils contiennent beaucoup de sulfure (11%) (Hunt, 1995). Le type IIC a un taux de réaction moyen, alors que le type IID a un taux de réaction lent. Les deux derniers types de kérogène ont un faible contenu en sulfure (5,4%) (Hunt, 1995). Le type III produit beaucoup plus de gaz et de condensats que d'huile comparé aux autres types, car sa vitesse de réaction est équivalente à celle du craquage de l'huile vers le gaz (Hunt, 1995). La modélisation par la méthode de Hunt varie donc d'un type de kérogène à l'autre. La modélisation est la même pour chaque type de kérogène, mais ce sont les paramètres qui changent, comme l'énergie d'activation et la constante de vitesse. Par exemple, l'intervalle de température requis pour qu'une roche mère obtienne un TTI d'Arrhenius de 1 en 1 million d'années varie en fonction du type de matière organique. Le type IIA a besoin d'une température entre 50 et 60 °C, tandis que le type IID a besoin d'une température entre 120 et 130 °C (Hunt, 1995).

6.2-<u>Résultats</u>

Deux puits ont été choisis pour la modélisation par la méthode de Hunt : le puits Mitis no 1 et le puits Rivière à la Truite no 1. Le puits Mitis no 1 a été choisi car les valeurs de réflectance sont très élevées (entre 2,52 et 4,08%) et il se situe au sud de la région du Lac Matapédia (figure 2), contrairement au puits Rivière à la Truite no 1 qui a des valeurs de réflectance qui sont basses (entre 1,25 et 1,75%), lequel se situe au nord de la région (figure 2). Les types de matière organique utilisés pour la modélisation sont le type II, soit tous les sous-types IIA, IIB, IIC, IID, et le type III qui ont été déterminés par pétrographie (Chapitre 4).

6.2.1–<u>Puis Mitis no 1</u>

La figure 20a représente la modélisation du puits Mitis no 1. C'est la génération des hydrocarbures de la Formation de Forillon qui est modélisée, car cette formation est une roche mère potentielle. Le gradient géothermique de ce puits a été évalué a 25 °C/km à partir de nos données (6.1- Généralités et introduction). La profondeur d'enfouissement maximale est d'environ 9 km. Elle a été calculée au Chapitre 3. Nos résultats basés sur la modélisation proposée par Hunt (1995) indiquent que tous les hydrocarbures de la Formation de Forillon ont été générés durant le Dévonien (figure 20a).

6.2.2- Puits Rivière à la Truite no 1

La figure 20b montre la modélisation du puits Rivière à la Truite no 1. Dans ce puits, il y a deux roches mères potentielles : le Black Shale Assemblage du Mélange du Ruisseau Isabelle et la Formation de Forillon. Pour pouvoir modéliser le Black Shale Assemblage du Mélange du Ruisseau Isabelle, les épaisseurs des successions sousjacentes à la Formation de Forillon ont été déterminées à partir de données factuelles. Le gradient géothermique de ce puits a été évalué a 29 °C/km à partir de nos données (6.1-Généralités et introduction). La profondeur d'enfouissement maximale pour la Formation de Saint-Léon est d'environ 4 km. En ce qui concerne le Black Shale Assemblage du Mélange du Ruisseau Isabelle, il y a deux hypothèses (figure 20b). La première hypothèse est celle où tous les hydrocarbures ont été générés à l'Ordovicien. La



Figure 20a : Génération des hydrocarbures du puits Mitis no 1 utilisant le modèle de Hunt.



Shale et calcaire





87

Shale

deuxième hypothèse est celle où les hydrocarbures ont presque tous été générés durant le Dévonien, excepté les huiles générées à partir du kérogène de type IIA qui auraient commencé à être produites à l'Ordovicien. La génération de ces huiles s'est arrêtée, due à la discordance taconienne, puis a reprise au Silurien pour se poursuivre jusqu'au Dévonien (figure 20b). Pour la Formation de Forillon, la plus grande partie des huiles a été générées au Dévonien (figure 20b). Les huiles produites par le kérogène de type III ont pu être générées jusqu'au Carbonifère. À la base de la Formation de Forillon, les hydrocarbures n'ont pas tous fini d'être générés, comme les huiles produites par le kérogène des types IID et III ainsi que les gaz (figure 20b). Au sommet de la Formation de Forillon, en ce qui concerne les types IIC, IID et III, il n'y a pratiquement pas d'huile de générée, surtout dans le type III. Finalement, toujours au sommet du Forillon, aucun gaz n'a été généré (figure 20b).

6.3- Interprétation et discussion

La différence entre les gradients géothermiques calculés au Chapitre 3 (tableau 3) et ceux déterminés par la modélisation est due au facteur temps. L'équation de Barker et Pawlewicz (1994) ne tient pas compte du temps, alors que pour la modélisation par la méthode de Hunt, le temps est très important (indice de temps et de température).

En général, les hydrocarbures de la région du Lac Matapédia ont été générés durant le Dévonien, excepté les hydrocarbures de la première hypothèse du Black Shale Assemblage du Mélange du Ruisseau Isabelle qui ont été générés à l'Ordovicien (figure 20). Par contre, il existe une différence entre le nord et le sud de la région. Pour le sud de la région, tous les hydrocarbures (huiles et gaz confondus) ont été complètement produits, alors que pour le nord, les huiles n'auraient pas été complètement générées. Aussi, il n'y aurait pratiquement pas de gaz généré dans cette dernière région (figure 20).

La différence entre le nord et le sud ne se situe pas seulement au niveau de la production des hydrocarbures. En effet, cette différence se remarque aussi au niveau de la maturation et elle s'explique par une différence d'enfouissement, car les gradients géothermiques augmentent avec la profondeur et ils sont différents d'un puits à l'autre

(Chapitre 3). Par conséquent, la différence dans la production d'hydrocarbures proviendrait de la maturation et, donc, de l'enfouissement. Pour la Formation de Forillon, autant pour le sud que pour le nord, l'enfouissement a eu lieu au Dévonien par le Groupe des Grès de Gaspé (figure 20), mais l'enfouissement a été beaucoup plus important au sud qu'au nord. Pour le Black Shale Assemblage du Mélange du Ruisseau Isabelle, l'enfouissement a eu lieu à l'Ordovicien par des formations équivalentes à celles des groupes de Mictaw, de Garin et de Matapédia et/ou au Dévonien par des formations équivalentes à celles des groupes des Calcaires supérieurs de Gaspé et des Grès de Gaspé.

Par contre, pour le Black Shale Assemblage du Mélange du Ruisseau Isabelle, il n'y a pas que l'enfouissement qui explique la maturation. En effet, le Black Shale Assemblage du Mélange du Ruisseau Isabelle a été affecté par plusieurs phénomènes hydrothermaux le long de la faille de Shickshock Sud (Gosselin, 2000). Les deux types d'altération hydrothermale retrouvée dans le Black Shale Assemblage du Mélange du Ruisseau Isabelle sont la serpentinisation des écailles de péridotites et la dolomitisation des serpentinites (Gosselin, 2000). Ces altérations hydrothermales ont donc pu elles aussi affecter la maturation. De plus, des effets locaux d'hydrothermalisme ont pu affecter certaines parties de la région du Lac Matapédia. Le puits Rivière à la Truite no 1 présente des échantillons qui ne suivent pas la droite de régression de la réflectance de la vitrinite en fonction de la profondeur. Ceci pourrait s'expliquer par de l'hydrothermalisme. Par contre, le peu d'échantillons analysés dans ce puits rend l'hypothèse de l'hydrothermalisme incertaine (Chapitre 3).

Pour finir, si les profondeurs d'enfouissement maximales diffèrent d'un puits à l'autre (9 km pour le puits Mitis no 1 et 4 km pour le puits Rivière à la Truite no 1) (figure 7), c'est dû au fait qu'il y aurait eu une subsidence dans le sud de la région du Lac Matapédia lors du Dévonien précoce (Bourque *et al.*, 2001).

CHAPITRE 7 CONCLUSION

La région du Lac Matapédia a été affectée par deux orogénies : l'orogénie taconique (Ordovicien) et l'orogénie acadienne (Dévonien) (figure 21). L'orogénie acadienne a causé du plissement ainsi que des failles de décrochement. L'enfouissement maximal des successions de la région aurait eu lieu au Dévonien, toujours durant l'orogénie acadienne.

La composition pétrographique de la matière organique des successions de la région du Lac Matapédia comprend surtout des amorphes, de la vitrinite, du migrabitume et du pyrobitume (tableau 2). Les principaux zooclastes retrouvés sont les chitinozoaires. Il y a aussi des graptolites dans le Black Shale Assemblage du Mélange du Ruisseau Isabelle et dans les formations de Sayabec et de Saint-Léon et des scolécodontes dans les formations de Sayabec et de Saint-Léon et des scolécodontes dans les formations de Sayabec et de Saint-Léon (tableau 2). Le Black Shale Assemblage du Mélange du Mélange du Mélange du Ruisseau Isabelle est différent des autres unités. En effet, il contient beaucoup plus d'amorphes et de coke que les autres unités. De plus, il y a peu de migrabitume et aucune vitrinite (tableau 2a).

La grande majorité des successions (ordoviciennes à dévoniennes) sont supramatures en terme de génération d'huile (stades à condensats et à gaz sec) (figures 5 et 8). Par contre, il y a encore des zones où les roches du Siluro-Dévonien sont, localement, dans la fenêtre à huile potentielle, particulièrement dans la partie nord-est de la région du Lac Matapédia (figures 5 et 8).

Dans la région du Lac Matapédia, la seule méthode pour déterminer le type de matière organique est donc la pétrographie, car les valeurs de l'indice d'hydrogène sont trop basses pour pouvoir donner avec précision le type de matière organique (figure 13). Les valeurs de l'indice d'hydrogène sont basse dû au fait que les roches sont trop matures (Chapitre 4). Puisque les successions de cette région contiennent beaucoup d'amorphes et de vitrinite, les types de matière organique retrouvés sont les types II et III (Chapitre



Figure 21 : Événements tectoniques ayant affectés la région du Lac Matapédia, roches mères potentielles et génération des hydrocarbures.

Le Black Shale Assemblage du Mélange du Ruisseau Isabelle (Ordovicien) et la Formation de Forillon (Dévonien) sont les deux roches mères potentielles de la région du Lac Matapédia, et ce, d'après les valeurs de COT. Les roches du Black Shale Assemblage du Mélange du Ruisseau Isabelle et de la Formation de Forillon sont les roches mères dans le nord, alors que celles de la Formation de Forillon sont les seules roches mères en surface au sud, bien qu'il y ait des roches mères ordoviciennes en sous-surface dans le synclinorium de la Baie des Chaleurs (Wilson *et al.*, 2004). Ces roches sont assez riches en matière organique et suffisamment matures pour avoir généré des hydrocarbures, mais les huiles sont trop matures pour préserver des biomarqueurs qui permettraient de déterminer si la roche mère de ces huiles est soit ordovicienne ou soit dévonienne (figure 15). Par contre, les rapports isotopiques des n-alcanes indiquent que la roche mère est dévonienne (Formation de Forillon) (figure 19).

La maturation de la région serait avant tout due à l'enfouissement sédimentaire qui serait post-plissement, car les courbes d'isovaleurs de la réflectance recoupent la stratigraphie (figure 8). Pour le Black Shale Assemblage du Mélange du Ruisseau Isabelle, la maturation serait due à l'enfouissement par des formations équivalentes à celles des groupes de Mictaw, de Garin et de Matapédia à l'Ordovicien (Brisebois *et al.*, 1991) et/ou à l'enfouissement subséquent par des formations équivalentes à celles des groupes de Chaleurs, des Calcaires supérieurs de Gaspé et des Grès de Gaspé au Dévonien. La maturation du Black Shale Assemblage du Mélange du Ruisseau Isabelle pourrait aussi être due à de l'altération hydrothermale le long de la faille de Shickshock Sud (Gosselin, 2000). La maturation de la Formation de Forillon, quant à elle, serait due à l'enfouissement par les Grès de Gaspé au Dévonien. L'enfouissement par les Grès de Gaspé de la partie sud de la région du Lac Matapédia aurait été beaucoup plus grand que celui de la partie nord. La différence entre les profondeurs d'enfouissement maximales des puits (Mitis no 1 et Rivière à La Truite no 1) serait due à une subsidence dans le sud de la région du Lac Matapédia lors du Dévonien précoce.

Une différence dans l'enfouissement, et donc de maturation, entre les parties nord et sud de la région serait la cause de la diachronie des épisodes de génération des hydrocarbures. Pour la partie nord, les huiles et les gaz de la Formation de Forillon

4).

auraient été générés du Dévonien précoce jusqu'au Carbonifère moyen (figures 20 et 21). Pour la partie sud, tous les hydrocarbures de la Formation de Forillon ont été produits au Dévonien précoce (figures 20 et 21). Pour le Black Shale Assemblage du Mélange du Ruisseau Isabelle, il y a deux hypothèses. Dans la première, tous les hydrocarbures auraient été générés à l'Ordovicien (figures 20 et 21). Dans la seconde hypothèse, les huiles auraient commencé à être générées à l'Ordovicien tardif et leur génération aurait arrêté pendant l'épisode qui correspond à la discordance entre le Black Shale Assemblage du Mélange du Ruisseau Isabelle et la reprise de la sédimentation avec le Groupe de Chaleurs, pour ensuite se poursuivre au Silurien tardif jusqu'au Dévonien précoce. Les gaz auraient ensuite été générés du Dévonien précoce jusqu'au Carbonifère précoce (deuxième hypothèse) (figures 20 et 21).

La paragenèse minérale et organique a démontré que le bitume a migré (Chapitre 2). En effet, le bitume du Black Shale Assemblage du Mélange du Ruisseau Isabelle aurait migré vers la Formation de Sayabec, alors que le bitume de la Formation de Forillon aurait migré vers les formations de Saint-Léon et de Shiphead (Chapitre 2). La figure 12 montre la direction de la migration des hydrocarbures, soit du sud-est vers le nord-ouest. La migration des hydrocarbures serait due à une différence d'enfouissement entre le sud (environ 9 km) et le nord (environ 4 km) de la région. Les hydrocarbures ont migré vers les zones qui sont matures (figure 12). Dans la partie nord de la région du Lac Matapédia, pour le Black Shale Assemblage du Mélange du Ruisseau Isabelle, la migration aurait eu lieu soit à l'Ordovicien (première hypothèse) et/ou au Dévonien (deuxième hypothèse). Par contre, pour les huiles de la Formation de Forillon, elles n'auraient pas encore migré, dans la partie nord, alors que, dans la partie sud, elles auraient migré lors de la génération des gaz et de l'enfouissement maximal, c'est-à-dire au Dévonien.

Finalement, les hydrocarbures se seraient accumulés au nord de la région, plus précisément au sud de la faille de Shickshock Sud, dans la zone où les valeurs de réflectance se trouvent dans la fenêtre à huile (figure 8). Cette zone serait encore prospective pour les huiles.
<u>RÉFÉRENCES</u>

- ALPERN, B. 1980. « Pétrographie du kérogène ». In B. Durand. Kerogen, insoluble organic matter from sedimentary rocks. Paris : Éditions Technip, 1980, p. 339-393.
- BARKER, CH.E. et M.J. Pawlewicz. 1986. The correlation of vitrinite reflectance with maximum temperature in humic organic matter. <u>Paleogeothermics</u>, vol. 5, p. 79-93.
- BEAUSOLEIL, C., M. Malo, C. Morin, J.-Y. Laliberté et D. Brisebois. 2002. Contrasting Taconian and Acadian structural styles along the new geophysical seismic reflection profiles in western Gaspé Appalachians, Matapedia Valley. <u>Canadian</u> <u>Society of Petroleum Geologists</u>, Diamond Jubilee Convention, Calgary, Program and Abstracts, p. 67.
- BERTRAND, R. 1987. « Maturation thermique et potentiel pétroligène des séries posttaconiennes du Nord-Est de la Gaspésie et de l'Île d'Anticosti (Canada) ». Thèse de doctorat, Neuchâtel, Université de Neuchâtel, 676 p.
- BERTRAND, R. 1990. Maturation thermique et histoire de l'enfouissement et de la génération des hydrocarbures du bassin de l'archipel de Mingan et de l'île d'Anticosti, Canada. Journal canadien des sciences de la terre, vol. 27, p. 731-741.
- BERTRAND, R. 1991. Maturation thermique des roches mères dans les basins des basses-terres du Saint-Laurent et dans quelques buttes témoins au sud-est du Bouclier canadien. International Journal of Coal Geology, vol. 19, p. 359-383.
- BERTRAND, R. 1993. Standardization of solid bitumen reflectance to vitrinite in some Paleozoic sequences of Canada. Energy Sources, vol. 15, p. 269-287.
- BERTRAND, R. 2002. Rapport préliminaire sur la pétrographie et la réflectance de la matière organique des successions siluro-dévoniennes de la région du Lac Matapédia. <u>INRS-Géoressources</u>, 20 p.
- BERTRAND, R., J.-C. Bérubé, Y. Héroux et A. Achab. 1985. Pétrographie du kérogène dans le Paléozoïque inférieur: méthode de préparation et exemple d'application. <u>Revue de l'Institut français du Pétrole</u>, Éditions Technip, vol. 40, p. 155-167.

- BERTRAND, R., A. Chagnon, Y. Héroux et M.M. Savard. 1998. Hydrothermal Alteration of Clay Minerals and Organic Matter Within and Outside the Jubilee Carbonate-Hosted Zn-Pb Deposit, Cape Breton Island, Nova Scotia, Canada. <u>Economic Geology</u>, vol. 93, p. 746-756.
- BERTRAND, R. et Y. Héroux. 1981. Carbone organique : indicateur potentiel de paléoenvironnements ; deux exemples. Journal canadien des sciences de la terre, vol. 18, p. 1838-1849.
- BERTRAND, R. et Y. Héroux. 1987. Chitinozoan, graptolite, and scolecodont reflectance as an alternative to vitrinite and pyrobitumen reflectance in Ordovician and Silurian strata, Anticosti Island, Quebec, Canada. <u>Bulletin American Association</u> <u>of Petroleum Geologists</u>, vol. 71, p. 951-957.
- BERTRAND, R. et M. Malo. 2001a. Source rock analysis, thermal maturation and hydrocarbon generation in the Siluro-Devonian rocks of the Gaspé Belt basin, Canada. <u>Bulletin of Canadian Petroleum Geology</u>, vol. 49, p. 238-261.
- BERTRAND, R. et M. Malo. 2001b. Analyses de roches mères, maturation thermique, histoire de l'enfouissement et de la génération des hydrocarbures dans les roches siluro-dévoniennes de la ceinture de Gaspé, Canada. <u>CIM</u> (Minespace2001, Québec), p.91.
- BERTRAND, R. et M. Malo. 2002. Source Rock and Oil Analysis Thermal Maturation and Hydrocarbon Generation Histories in the Siluro-Devonian Rocks of the Gaspé Belt Basin, Canada. <u>CSPG Diamond Jubilee Convention</u>, Calgary.
- BJORØY, M., P.B. Hall et R.P. Moe. 1994. Stable carbon isotope variation of *n*-alkanes in Central Graben oils. <u>Organic Geochemistry</u>, vol. 22, p. 355-381.
- BOURQUE, P.-A. 1986. Synthèse stratigraphique et paléogéographique du bassin silurien de Gaspésie-Matapédia-Témiscouata. <u>Ministère de l'Énergie et des</u> <u>Ressources du Québec</u>, MB 86-01, 46 p.
- BOURQUE, P.-A. 2001. Sea-level, synsedimentary tectonics and reefs: implication for hydrocarbon exploration in Silurian-lowermost Devonian Gaspé Belt, Québec Appalachians. Bulletin of Canadian Petroleum Geology, vol. 49, p. 217-237.
- BOURQUE, P.-A., D. Brisebois et M. Malo. 1995. «Ceinture de Gaspé»; dans <u>Géologie de l'orogène appalachien-calédonien au Canada et au Groenland</u>, chap. 4,

rév. par H. Williams, Commission géologique du Canada, Géologie du Canada no 6, p. 347-387.

- BOURQUE, P.-A., C. Gosselin, D. Kirkwood, M. Malo et P. St-Julien. 1993. Le Silurien du segment appalachien Gaspésie-Matapédia-Témiscouata : stratigraphie, géologie structurale et paléogéographie (rapport final). <u>Ministère de l'Énergie et des</u> <u>Ressources du Québec</u>, MB 93-25, 115 p.
- BOURQUE, P.-A., D. Kirkwood et M. Malo. 2001. Stratigraphy, tectono-sedimentary evolution and paleogeography of the post-Taconian pre-Carboniferous Gaspé Belt : an overview. <u>Bulletin of Canadian Petroleum Geology</u>, vol. 49, p. 186-201.
- BOURQUE, P.-A., M. Malo et D. Kirkwood. 2000. Paleogeography and tectonosedimentary history at the margin of Laurentia during Silurian to earliest Devonian time : The Gaspé Belt, Québec. <u>Geological Society of America Bulletin</u>, vol. 112, p. 4-20.
- BRISEBOIS, D., S. Chevé, C. Beausoleil et C. Morin. 2000. Le Synclinorium de Connecticut Valley - Gaspé dans l'ouest de la Gaspésie. Affiche # 38 présente au séminaire annuel du MERQ, Québec, novembre 2000.
- BRISEBOIS, D., G. Lachambre et G. Piché. 1991. Carte géologique, Péninsule de la Gaspésie (22A, 22B, 22G, 22H et 21O) (1 : 250000). <u>Ministère de l'Énergie et des Ressources</u>, Québec, carte 2146 DV 91-21.
- CAMPBELL, I. « Natural coke ». In Glossary of geology, second edition. 1973.
- CHUNG, H.M., G.E. Claypool, M.A. Rooney et R.M. Squires. 1994. Source characteristics of marine oils as indicated by carbon isotopic ratios of volatile hydrocarbons. <u>American Association of Petroleum Geologists Bulletin</u>, vol. 78, p. 396-408.
- DAVIS, G.H. et S.J. Reynolds. 1996. <u>Structural geology of rocks and regions</u>; second edition. John Wiley and Sons, Inc., New York, 776 p.
- DE BROUCKER, G. 1987. Stratigraphie, pétrographie et structure de la boutonnière de Maquereau-Mictaw (Région de Port-Daniel, Gaspésie). <u>Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec</u>, Mémoire MM 86-03, 160 p.

- DUBA, D. et A.E. Williams-Jones. 1983. Studies of burial metamorphism in the post-Taconic stage of the Appalachian orogen, southwestern Gaspé. <u>Canadian Journal of</u> <u>Earth Sciences</u>, vol. 20, p. 1152-1158.
- ESPITALIÉ, J., J.L. Laporte, M. Madec, F. Marquis, P. Leplat, J. Paulet et A. Boutefeu. 1977. Méthode rapide de caractérisation des roches mères, de leur potentiel pétrolier et de leur degré d'évolution. <u>Revue de l'Institut français du Pétrole</u>, vol. 32, p. 23-42.
- FOUCAULT, A. et J.-F. Raoult. « Anisotropie ». In <u>Dictionnaire de géologie</u>, cinquième édition. 2001.
- FOWLER, M.G., A.P. Hamblin, D. Hawkins, L.D. Stasiuk et I. Knight. 1995. Petroleum geochemistry and hydrocarbon potential of Cambrian and Ordovician rocks of western Newfounland. <u>Bulletin of Canadian Petroleum Geology</u>, vol. 43, p. 187-213.
- GOSSELIN, P. 2000. « Cadre structural et métallogénique des indices de nickel le long de la faille de Shickshock-Sud, Appalaches de la Gaspésie ». Mémoire de maîtrise, Québec, Institut nationale de la recherche scientifique, 147 p.
- HÉROUX, Y. et R. Bertrand. 1991. Maturation thermique de la matière organique dans un bassin du Paléozoïque inférieur, basses-terres du Saint-Laurent, Québec, Canada. Journal canadien des Sciences de la Terre, vol. 28, p. 1019-1030.
- HÉROUX, Y., A. Chagnon et R. Bertrand. 1979. Compilation and correlation of the major thermal maturation indicators. <u>American Association of Petroleum Geologists</u> <u>Bulletin</u>, vol. 63, p. 2128-2144.
- HÉROUX, Y., A. Chagnon et M.M. Savard. 1994. Anomalies des propriétés de la matière organique et des assemblages argileux associés au gîte de Pb-Zn de Gays River, Nouvelle-Écosse, Canada. <u>Explor. Mining Geol.</u>, vol. 3, p. 67-79.
- HÉROUX, Y., A. Chagnon et M.M. Savard. 1996. Organic matter and clay anomalies associated with base-metal sulfide deposits. Ore Geology Reviews, vol. 11, p. 157-173.
- HESSE, R. et E. Dalton. 1991. Diagenetic and low-grade metamorphic terranes of Gaspé Peninsula related to the geological structure of the Taconian and Acadian orogenic belts, Quebec Appalachians. Journal of Metamorphic Geology, vol. 9, p. 775-790.

- HUNT, J.M. 1995. <u>Petroleum Geochemistry and Geology</u>, second edition. W.H. Freeman and Company, New York, 743 p.
- IDIZ, E., M.G. Fowler et R. Bertrand. 1997. Oils and source rocks from the Gaspé Peninsula, Quebec; geochemical characteristics and provenance. <u>CSPG – SEPM</u> <u>Joint Convention</u>, June 1 – 6, Calgary, Alberta, Canada, Program with Abstracts, p. 139.
- INRS-PÉTROLE. 1973. Study of Great Plains Noel et al. La Vérendrye no 1. <u>Ministère des Richesses naturelles</u>, MRN-2-73, 30 p.
- ISLAM, S., R. Hesse et A. Chagnon. 1982. Zonation of diagenesis and low-grade metamorphism in Cambro-Ordovician flysch of Gaspé Péninsula, Quebec Appalachians. <u>Canadian Mineralogist</u>, vol. 20, p. 155-167.
- KIRKWOOD, D. 1995. Strain partitioning and progressive deformation history of a transpressive belt, Northern Appalachians. <u>Tectonophysics</u>, vol. 241, p. 15-34.
- KIRKWOOD, D. et M. Malo. 1993. Across strike geometry of the Grand Pabos fault zone: evidence for Devonian dextral transpression in the Québec Appalachians. <u>Revue Canadienne des Sciences de la Terre</u>, vol. 30, p. 1363-1373.
- KIRKWOOD, D., M. Malo, P. St-Julien et P. Therrien. 1995. Vertical and fold-axis parallel extension within a slate belt in a transpressive setting, northern Appalachians. Journal of Structural Geology, vol. 17, p. 329-343.
- KIRKWOOD, D. et P. St-Julien. 1987. Analyse structurale du Siluro-Dévonien dans la vallée de la Matapédia. <u>Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec</u>, MB 87-33, 21p.
- LACHAMBRE, G. 1987. <u>Le Silurien et le Dévonien basal du nord de la Gaspésie</u>. Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec, ET 84-06, 83 p.
- LAVOIE, D. 1992. Contrasting styles of Lower Devonian sedimentation : the Upper Gaspé Limestones of the southeastern (Percé area) and western (Lac Matapédia area) segments of Gaspésie, Québec. Current Research, Commission géologique du Canada, p. 235-239.
- LAVOIE, D., P.-A. Bourque et Y. Héroux. 1992. Early Silurian carbonate platforms in the Appalachian orogenic belt : the Sayabec – La Vieille formations of the Gaspé – Matapédia basin, Québec. <u>Canadian Journal of Earth Sciences</u>, vol. 29, p. 704-719.

- LAVOIE, D. et G. Chi. 2001. The Lower Silurian Sayabec Formation in northern Gaspé : carbonate diagenesis and reservoir potential. <u>Bulletin of Canadian Petroleum</u> <u>Geology</u>, vol. 49, p. 282-298.
- 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. <u>Bulletin of the Canadian Society of Petroleum Geologists</u>, vol. 49, p. 202-216.
- MALO, M. et J. Béland. 1989. Acadian strike-slip tectonics in the Gaspé region, Québec Appalachians. <u>Canadian Journal of Earth Sciences</u>, vol. 26, p. 1764-1777.
- MALO, M., P.A. Cousineau, P.E. Sacks, J.F.V. Riva, E. Asselin et P. Gosselin. 2001. Age and composition of the Ruisseau Isabelle Mélange along the Shickshock Sud fault zone : constraints on the timing of mélanges formation in the Gaspé Appalachians. <u>Canadian Journal of Earth Sciences</u>, vol. 38, p. 21-42.
- MALO, M. et D. Kirkwood. 1995. Faulting and progressive strain history of the Gaspé Peninsula in post-Taconian time: A review. *In* Current Perspectives in the Appalachian- Caledonian Orogen. *Edited by* J.P. Hibbard, C.R. van Staal, and P.A. Cawood. <u>Geological Association of Canada</u>, Special Volume 41, p. 267-282.
- OHMOTO et Goldhaber. 1997. Chapter11 : Sulfur and carbon isotopes. <u>Geochemistry</u> of hydrothermal ore deposits, third edition. H.L. Barnes, Ore deposits research section, Pennsylvania State University, p..
- PETERS, K.E. et M.R. Cassa. 1994. Applied source rock geochemistry. <u>The petroleum</u> <u>system – from source to trap</u> : American Association of Petroleum Geologists Memoir 60, p. 93-120.
- PETERS, K.E. et J.M. Moldowan. 1993. <u>The Biomarker Guide : Interpreting Molecular</u> <u>Fossils in Petroleum and Ancient Sediments</u>. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 363 p.
- PINCIVY, A., M. Malo, G. Ruffet, A. Tremblay et P.E. Sacks. 2003. Regional metamorphism of the Appalachian Humber Zone of Gaspé Peninsula: 40Ar/39Ar evidence for crustal thickening during the Taconian orogeny. <u>Canadian Journal of Earth Sciences</u>, vol. 40, p. 301-315.

- RAMSAY, J.G. et M.I. Huber. 1983. <u>The techniques of modern structural geology</u>; volume 1 : strain analysis. Academic Press Inc., London, 307 p.
- RODGERS, K., M. Savard, M. Fowler et R. Bertrand. 1998. A geochemical study of oils and possible source rocks from the Gaspe Peninsula, Québec. Réunion annuelle conjointe <u>GAC/MAC</u>, 18-21 mai, Québec, Québec, Programme et résumés, vol. 23, p. A158.
- SACKS, P.E., M. Malo, W.E. Trzcienski Jr., A. Pincivy, et P. Gosselin. 2004. Taconian and Acadian transpression between the internal Humber zone and the Gaspé Belt in the Gaspé Peninsula: tectonic history of the Shickshock Sud fault zone. <u>Canadian</u> <u>Journal of Earth Sciences</u>. (Sous presse.)
- SIKANDER, A. H. et J.L. Pittion. 1978. Reflectance studies on organic matter in Lower Paleozoic sediments of Quebec. <u>Bulletin of Canadian Petroleum Geology</u>, vol. 26, p. 132-151.
- SLIVITZKY, A., P. St-Julien et G. Lachambre. 1991. Synthèse géologique du Cambro-Ordovician du nord de la Gaspésie. <u>Ministère de l'Énergie et des Ressources</u>, <u>Québec</u>, ET 88-14, 61 p.
- SMITH, A.G., A.M. Hurley et J.C. Briden. 1981. Phanerozoic paleocontinental world maps. Cambridge University Press, Cambridge, Cambridge Earth Sciences Series.
- TAYLOR, G.H, M. Teichmüller, A. Davis, C.F.K. Diessel, R. Littke et P. Robert. 1998. Organic Petrology. Gebrüder Borntraeger, Berlin, 704 p.
- TISSOT, B.P. et D.H. Welte. 1984. <u>Petroleum Formation and Occurrence</u>. Springer, Berlin, 699 p.
- WAPLES, D. et T. Machihara. 1993. <u>Biomarkers for geologists A pratical guide to the</u> <u>application of steranes and triterpanes in petroleum geology</u>. The American Association of Petroleum Geologists, methods in exploration, 91p.
- WAPLES, D. 1981. Organic geochemistry for exploration geologists. Burgess Publishing Company, Minneapolis, 151 p.
- WILSON, R.A., E.T. Burden, R. Bertrand, E. Asselin et A.D. McCracken. 2004. Stratigraphy and tectono-sedimentary evolution of the Late Ordovician to Middle Devonian Gaspé Belt in northern New Brunswick : evidence from the Restigouche area. <u>Canadian Journal of Earth Sciences</u>. (Sous presse)

APPENDICE A

Localisation des échantillons

1	2	Г
ς		⊳
-		-

No INRS	Puits	Formation	5	LM	Zone
		• · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	UTM-E	UTM-N	
4158	Great Plains Noel et al. La Vérendrye no 1	Saint-Léon	651804	5367736	19
4161	Great Plains Noel et al. La Vérendrye no 1	Saint-Léon	651804	5367736	19
4163	Great Plains Noel et al. La Vérendrye no 1	Saint-Léon	651804	5367736	19
4168	Great Plains Noel et al. La Vérendrye no 1	Saint-Léon	651804	5367736	19
4171	Great Plains Noel et al. La Vérendrye no 1	Saint-Léon	651804	5367736	19
4174	Great Plains Noel et al. La Vérendrye no 1	Saint-Léon	651804	5367736	19
41.76	Great Plains Noel et al. La Vérendrye no 1	Saint-Léon	651804	5367736	19
4177	Great Plains Noel et al. La Vérendrye no 1	Saint-Léon	651804	5367736	19
4178	Great Plains Noel et al. La Vérendrye no 1	Saint-Léon	651804	5367736	19
4179	Great Plains Noel et al. La Vérendrye no 1	Saint-Léon	651804	5367736	19
4180	Great Plains Noel et al. La Vérendrye no 1	Saint-Léon	651804	5367736	19
4181	Great Plains Noel et al. La Vérendrye no 1	Saint-Léon	651804	5367736	19
4182	Great Plains Noel et al. La Vérendrye no 1	Saint-Léon	651804	5367736	19
4183	Great Plains Noel et al. La Vérendrye no 1	Saint-Léon	651804	5367736	19
4186	Great Plains Noel et al. La Vérendrye no 1	Saint-Léon	651804	5367736	19
4190	Great Plains Noel et al. La Vérendrye no 1	Saint-Léon	651804	5367736	19
4193	Great Plains Noel et al. La Vérendrye no 1	Saint-Léon	651804	5367736	19
4196-97	Great Plains Noel et al 1 a Vérendrve no 1	Groupe de Chaleurs - Val Brillant	651804	5367736	19
4197	Great Plains Noel et al. La Vérendrye no 1	Groupe de Chaleurs	651804	5367736	19
4198	Great Plains Noel et al. La Vérendrye no 1	Groupe de Chaleurs	651804	5367736	19
4199	Great Plains Noel et al. La Vérendrye no 1	Groupe de Chaleurs	651804	5367736	19
4202	Great Plains Noel et al. La Vérendrye no 1	Groupe de Chaleurs	651804	5367736	19
4206	Great Plains Noel et al. La Vérendrye no 1	Groupe de Chaleurs	651804	5367736	19
4210	Great Plains Noel et al. La Vérendrye no 1	Groupe de Chaleurs	651804	5367736	19
4211	Great Plains Noel et al. La Vérendrye no 1	Val Brillant	651804	5367736	19
4215	Great Plains Noel et al. La Vérendrye no 1	Val Brillant	651804	5367736	19
4216	Great Plains Noel et al. La Vérendrye no 1	Val Brillant	651804	5367736	19

		UTM-E	UTM-N	
La Vérendrye no 1	Val Brillant	651804	5367736	19
La Vérendrye no 1	Awantjish	651804	5367736	19
	Indian Cove	367000	5413350	20
	Indian Cove	357557	5421333	20
	Sayabec	599500	5379850	19
	Forillon	610670	5375900	19
	Forillon	619120	5372950	19
	Forillon	591221	5367635	19
-	Forillon	619300	5374420	19
	Saint-Léon	579966	5356349	19
	Saint-Léon	579966	5356349	19
	Saint-Léon	579966	5356349	19
	Saint-Léon	579966	5356349	19
	Saint-Léon	579966	5356349	19
	Saint-Léon	579966	5356349	19
	Sayabec	579966	5356349	19
	Sayabec	579966	5356349	19
	Saint-Léon	649599	5389839	19
	Saint-Léon	649599	5389839	19
	Saint-Léon	649599	5389839	19
	Saint-Léon	649599	5389839	19
	Saint-Léon	649599	5389839	19
	Saint-Léon	649599	5389839	19
	Saint-Léon	649599	5389839	19
	Saint-Léon	590409	5373756	19
	Saint-Léon	591751	5372577	19
	Sayabec	591063	5368491	19
	Awantjish	591854	5368546	19
- n	La Vérendrye no 1 La Vérendrye no 1	La Vérendrye no 1Val BrillantLa Vérendrye no 1AwantjishLa Vérendrye no 1AwantjishIndian CoveIndian CoveSayabecSayabecForillonForillonForillonForillonRaint-LéonSaint-Léon	La Vérendrye no 1 Val Brillant 651804 La Vérendrye no 1 Awantjish 651804 Brillant Nal Brillant 651804 Ia Vérendrye no 1 Indian Cove 357557 Brillant Cove 357557 599500 Forillon Forillon 619120 Forillon Forillon 619300 Forillon Saint-Léon 579966 Saint-Léon Saint-Léon 579966 Forillon Saint-Léon 579966 Forillon Saint-Léon 579966 Forillon Saint-Léon 579966 Fori Sayabec 579966	La Vérendrye no 1 Val Brillant 651804 5367736 La Vérendrye no 1 Awantjish 651804 5367736 La Vérendrye no 1 Awantjish 651804 5367736 Bridian Cove 357557 541333 Broin Love 357557 541333 Portillon 599500 5379850 Forillon 599200 5379850 Forillon 51221 5375960 Forillon 619120 5379360 Forillon 619120 5376349 Saint-Léon 579966 5356349 Saint-Léon <td< td=""></td<>

Puits	Formation		IM	Zone
		UTM-E	N-MTU	
	Forillon	583311	5353811	19
	Indian Cove	599559	5370413	19
	Indian Cove	600741	5368490	19
	York Lake	595154	5363129	19
	Saint-Léon	600753	5368440	19
	Saint-Léon	609418	5361883	19
	Saint-Léon	612175	5355341	19
	Forillon	617811	5369840	19
	Forillon	617949	5366267	19
	Forillon	620600	5365551	19
	Forillon	622211	5360063	19
	Forillon	631409	5356863	19
	Shiphead	631893	5355826	19
	Indian Cove	630846	5355276	19
	York River	640324	5355958	19
	York River	630532	5352714	19
	Fortin	631247	5347343	19
	Sayabec	624329	5374584	19
	Forillon	628721	5377762	19
	Indian Cove	626942	5374999	19
	York Lake	628423	5374937	19
	York River	633699	5374091	19
	Shiphead	637384	5368747	19
	Forillon	635597	5363380	19
	Saint-Léon	576859	5359986	19
	Saint-Léon	575899	5365777	19
	Saint-Léon	575640	5362388	19
	Saint-Léon	578576	5356963	19

											_																		
Zone		19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
M	N-MTU	5346986	5348993	5354377	5373052	5372189	5368258	5367559	5368245	5359126	5372950	5370043	5372751	5372751	5372751	5372751	5372751	5372751	5372751	5377210	5359246	5359788	5359788	5359788	5359788	5359788	5359788	5359788	5359788
UT	UTM-E	614678	617053	625296	615609	616086	632514	633172	580438	577117	619120	616735	608038	608038	608038	608038	608038	608038	608038	605354	646261	629171	629171	629171	629171	629171	629171	629171	629171
Formation		York Lake	Forillon	Forillon	Indian Cove	Forillon	York Lake	Indian Cove	Sayabec	Forillon	Indian Cove	Forillon	Forillon	Forillon	Forillon	Forillon	Forillon	Forillon	Forillon	Sayabec	York River	Saint-Léon							
Puits													Prospection 2000 - 2000FC124	Prospection 2000 - 2000FC125	Prospection 2000 - 2000FC126	Prospection 2000 - 2000FC127	Prospection 2000 - 2000FC128	Prospection 2000 - 2000FC129	Prospection 2000 - 2000FC130			Associated Development Ltd Causapscal #1							
No INRS		30256	30259	30262	30264	30265	30269	30270	30275	30276	30281	30282	30284	30285	30287	30289	30291	30292	30294	30324	30326	30329	30330	30331	30332	30333	30334	30335	30336

Vo INRS	Puits	Formation	5	M	Zone
			UTM-E	UTM-N	
30337	Associated Development Ltd Causapscal #1	Saint-Léon	629171	5359788	19
30338	Associated Development Ltd Causapscal #1	Saint-Léon	629171	5359788	19
		Mélange du Ruisseau			
30391		Isabelle	668121	5404618	19
		Mélange du Ruisseau			
30392		Isabelle	662211	5401245	19
				-	

APPENDICE B

Pétrographie des types de matière organique pour chaque échantillon de surface

No INRS	Formation	Am	Ch	Gr	Sc	Inert	Vitr	Migr	Pya	Coke	Gout
30195	Saint-Léon	97						3			
30196	Saint-Léon	60	33		1			6			
30197	Sayabec	60	8			8		24			
30199	Awantjish	75	5					15			5
30201	Forillon	75	4					18		3	
30203	Indian Cove	75	2			8		15			
30204	Indian Cove	65				10	2	17	-	6	
30206	York Lake	30				7			63		
30207	Saint-Léon	55	19					9		12	5
30208	Saint-Léon	50	5					45			
30209	Saint-Léon	50	5					15	30		
30211	Forillon	10	10			20	5	55			
30212	Forillon	50	5			10	~~~	35			
30214	Forillon	15				5		80			
30215	Forillon	60				7	5	28			
30218	Forillon	53				7		35		5	
30219	Shiphead	50				16		30		4	
30221	Indian Cove	55				10		30	5		
30226	York River	70				4		26			
30228	York River	48				13	32	7			
30229	Fortin	60				15	22	3 -			
30230	Sayabec	35	2			4	7	52			
30231	Forillon	75				2		23			
30232	Indian Cove	65				18	4	13			
30235	York Lake	63				14	23				
30236	York River	65				14	20			1	
30240	Shiphead	75				7	16	2			
30243	Forillon	80				7	12				1
30247	Saint-Léon	60				2	10	28			
30251	Saint-Léon	77				8	12	3			
30253	Saint-Léon	67				10	18		5		
30256	York River	55				19	26				
30259	Forillon	70				10		20			
30262	Forillon	86								14	
30264	Indian Cove	65				10	19			4	2
30265	Forillon	75				6	14	3		2	
30269	York Lake	60				15	25				
30270	Indian Cove	60				12	24		3		1
30275	Sayabec	65			1	3	30			1	
30276	Forillon	70				4	26				
30281	Indian Cove	65				10	24			1	
30282	Forillon	86				4		10			
30326	York River	55				17	28				
30391	Mélange du Ruisseau	90		7				3			

	Isabelle										
No INRS	Formation	Am	Ch	Gr	Sc	Inert	Vitr	Migr	Pya	Coke	Gout
	Mélange du Ruisseau			[
30392	Isabelle	70	1	7				2		20	

nertinite, Vitr = Vitrinite, Migr = Migrabitume, Pya = Pyrobitume à anisotropie plus ou moins ondulante et Gout = Gouttelettes de migrabitume.

APPENDICE C

Résultats des analyses de réflectance des échantillons provenant de la région du Lac Matapédia (Bertrand, 2002)

No		Formation							Est.		
INRS	Puits	-	Zooclaste	es Vitr	Migral	bitume	Pyrobit	ume	Vitr	Métamorphisme	Zone HC
					ri ou		Ani.			- -	
			Ch Gr	Sc	ind	Sec	ond.	Cok			
					9	out Res					
4178	La Vérendrye	Saint-Léon							2,96	Catagenèse	Gaz sec
4179	La Vérendrye	Saint-Léon							2,72	Catagenèse	Gaz sec
4181	La Vérendrye	Saint-Léon			-				3,10 /	Anchimétamorphisme	Gaz sec
4182	La Vérendrye	Saint-Léon							2,76	Catagenèse	Gaz sec
4190	La Vérendrye	Saint-Léon							3,32 /	Anchimétamorphisme	Gaz sec
4193	La Vérendrye	Saint-Léon							3,20 4	Anchimétamorphisme	Gaz sec
4196-97	, La Vérendrye	Groupe de Chaleurs - Val Brillant							3,13	Anchimétamorphisme	Gaz sec
4199	La Vérendrye	Groupe de Chaleurs	·						3,40 /	Anchimétamorphisme	Gaz sec
4211	La Vérendrye	Val Brillant							3,83	Anchimétamorphisme	Gaz sec
4215	La Vérendrye	Val Brillant							3,91 /	Anchimétamorphisme	Gaz sec
29251		Sayabec		,501,75	1,54				1,66	Catagenèse	Condensats
		÷				-			i 	,	Fenêtre à
29253		Forillon	0	<u>,871,14 (</u>	966,(1,15	Catagenèse	huile
											Fenêtre à
29261		Forillon		1,03 (0,85	0,92			1,05	Catagenèse	huile
29740		Forillon	1	,28 1,47	1,38		1,39		1,50	Catagenèse	Condensats
29741		Forillon		1,16	1,24		1,45	1,52	1,50	Catagenèse	Condensats
											Fenêtre à
29742		Forillon					1,04		1,22	Catagenèse	huile

No		Formation								Est.		
INRS	Puits		Zoo	clastes	Viti	Mig	rabitume	Pyrobi	tume	Vitr	Métamorphisme	Zone HC
			Ch	Gr	0	Pri ou ind	Sec	Ani. ond.	Cok			
							Gout Res					
												Fenêtre à
29743		Shiphead			0,85	3 0,83	1,01	1,35	0,95	1,21	Catagenèse	huile
29744		Shiphead				1,40		1,43	2,24	1,57	Catagenèse	Condensats
29745		Indian Cove			1,48	3 1,15	1,31	1,43		1,49	Catagenèse	Condensats
29746		Indian Cove					1,35	1,60		1,66	Catagenèse	Condensats
29747		Indian Cove	1,99		1,47	2		1,89		1,87	Catagenèse	Condensats
29748		Indian Cove			1,71			1,93		1,95	Catagenèse	Condensats
29749		Indian Cove	1,77		1,65	2	1,98	1,82		1,93	Catagenèse	Condensats
29750		Indian Cove	1,81		1,4;			1,89		1,77	Catagenèse	Condensats
29751		York Lake			1,5(2		1,85		1,68	Catagenèse	Condensats
29752		Forillon				1,33		1,58		1,70	Catagenèse	Condensats
29753		Forillon	1,58		1,4;	5 1,47	1,49	1,49		1,59	Catagenèse	Condensats
29754		Forillon	1,84		1,65	8	1,54	1,67		1,70	Catagenèse	Condensats
29755		Shiphead					1,44	1,69		1,75	Catagenèse	Condensats
29756		Forillon						1,89		1,97	Catagenèse	Condensats
29757		Forillon	1,66				1,55	1,82		1,86	Catagenèse	Condensats
29758		Indian Cove						1,82		1,95	Catagenèse	Condensats
29759		Shiphead	1,54		1,4{	3 1,03		1,73		1,63	Catagenèse	Condensats
					_							Fenêtre à
29760		Forillon	0,85		0,91	0,82			-	0,91	Catagenèse	huile
				e								Fenêtre à
29761		Forillon	0,97		0,65	3 0,79			_	0,88	Catagenèse	huile
	-											Fenêtre à
29762		Indian Cove	0,83		0,82	2 0,64				0,80	Catagenèse	huile

				_					_		_			-			_			_	_		and the second se	the second se	
	Zone HC				Fenêtre à	huile	Gaz sec	Gaz sec	Gaz sec	Gaz sec	Gaz sec	Gaz sec	Gaz sec												
	Métamorphisme					Catagenèse	Catagenèse	Catagenèse	Catagenèse	Anchimétamorphisme	Anchimétamorphisme	Anchimétamorphisme	Anchimétamorphisme												
	Est. Vitr					1,05		0,81		1,14		1,03		0,85		0,82		1,27	2,75	2,52	2,79	3.63	3,53	3,64	4,08
	obitume	ni.	d. Cok																						
	Pyrc	An .	on	S	 					1													+	-	
	abitume		Sec	Gout Re																					
	tr Migr	Pri ou	ind			0 0,92		0,62		0,99		5 0,83		3 0,74		8 0,85		4 1,08	0	0	0	0	0	0	0
F	s Vi		S			1,0						1,0		0,7		640,9		1,3	2,8	2,5	2,8	3.6	3,5	00[3,6	004,1
	claste		Gr													Ó					,30	10	<u> </u>	4	,604,
-	Zoo		Ch			1,09		1,05		1,09		1,19		0,91		0,88					3,003	4.004			4
	Formation					Forillon	Saint-Léon	Saint-Léon	Saint-Léon	Saint-Léon	Saint-Léon	Sayabec	Sayabec												
	Puits																		Mitis	Mitis	Mitis	Mitis	Mitis	Mitis	Mitis
ļ	No INRS					29763	-	29764		29765		29766		29767		29768		29769	30007	30008	30011	30015	30016	30017	30018

	Zone HC				Fenêtre à	huile		Condensats		Condensats	Condensats	Condensats	Condensats	Fenêtre à	huile	Gaz sec	Fenêtre à	huile	Condensats	Condensats	Gaz sec								
	Metamorphisme					Catagenèse	Catagenèse	Catagenèse	Catagenèse		Catagenèse	Anchimétamorphisme		Catagenèse	Catagenèse	Catagenèse	Anchimétamorphisme												
Est.	Vıtr					1,29		1,25		1,34		1,20		1,32		1,44		1,75	1,59	1,98	1,61		0,78	3,13	1.	1,11	1,56	1,85	3,11
	Itume	(Š																					3,60			2,70	2,90	3,80
ŕ	Pyrob.	Ani.	ond.																										
	ume		Sec	tt Res																	1,60		-+	3,60		1,30	1,70		2
-	grabit		<i>/</i>	Gou	-														10	(3 2,74				2		1 2,62
	III .	Pri o	Ind							_				(_	1,55	1,75	1,91		0,83		-	1,61	1,86	1,64	2,64
	<u><</u> It					01,30		1,30		1,30		1,20		1,30		1,40		1,80)	1,50			3,30		1,20	1,70	1,90	
-	astes	C	<u>ึ</u> ้ง			1,0(1,7(
-	00018	(5	_				0												0	0		0	0		0	0		0
		ζ	5	_				1,2										_		2,3	1,5		0,5	3,4		1,1	1,6		3,5
Formation						Saint-Léon	Saint-Léon	Saint-Léon	Sayabec		Awantjish	Forillon		Indian Cove	Indian Cove	York Lake	Saint-Léon												
	Puits				Rivière à la	Truite																							
oN o	INKS					30100		30101		30102		30103		30105		30107		30108	30195	30196	30197		30199	30201		30203	30204	30206	30207

N0		Formation					Est.		
INRS	Puits		Zooclastes	Vitr Mig	rabitume	Pyrobitum	le Vitr	Métamorphisme	Zone HC
				Pri ou		Ani.			
			Ch Gr Sc	ind	Sec	ond. Cc	ok		
					Gout Res				
30208		Saint-Léon	2,80	2,11	2,60		2,48	Catagenèse	Gaz sec
30209		Saint-Léon	2,002,40	2,66		2,03	1,95	Catagenèse	Condensats
30211		Forillon	1,80	1,60 1,53	1,40	1,74	1,56	Catagenèse	Condensats
30212		Forillon	1,60	1,80 1,64	2,10		1,55	Catagenèse	Condensats
30214		Forillon		-	2,20		2,31	Catagenèse	Gaz sec
30215		Forillon		2,40 2,44	2,20		2,38	Catagenèse	Gaz sec
30218		Forillon		1,82		2,8	30 1,88	Catagenèse	Condensats
30219		Shiphead		1,72	2,00	2.(00 1,90	Catagenèse	Condensats
30221		Indian Cove		1,58	1,70	1,61	1,66	Catagenèse	Condensats
30226		York River		1,81	1,50		1,78	Catagenèse	Condensats
30228		York River		1,50 1,66	1,60		1,5	Catagenèse	Condensats
30229		Fortin		4,60	5,60		4,62	Schiste vert	Stérile
				-					Fenêtre à
30230		Sayabec		1,20 1,33	1,40		1,17	Catagenèse	huile
		-							Fenêtre à
30231		Forillon		1,31	1,40		1,35	Catagenèse	huile
30232		Indian Cove		1,70 1,71	1,80		1,72	Catagenèse	Condensats
				-					Fenêtre à
30235	-	York Lake		1,30 1,48			1,31	Catagenèse	huile
30236		York River		1,40		2,4	1,43	Catagenèse	Condensats
30240		Shiphead	1,70	1,60 1,88			1,58	Catagenèse	Condensats
30243		Forillon		2,10 2,30	4,20		2,09	Catagenèse	Gaz sec
30247		Saint-Léon		1,90 1,48			1,88	Catagenèse	Condensats
30251		Saint-Léon		1,60 1,56			1,58	Catagenèse	Condensats
30253		Saint-Léon		2,20		1,76	2,17	Catagenèse	Gaz sec

Zone HC				Condensats	Condensats	Stérile	Condensats	Fenêtre à	huile	Condensats	Condensats	Fenêtre à	huile	Condensats	Fenêtre à	huile	Condensats	Fenêtre à	huile	Condensats	Condensats	Condensats	Condensats	Condensats	Condensats	Fenêtre à	huile	Gaz sec
Métamorphisme				Catagenèse	Catagenèse	Schiste vert	Catagenèse		Catagenese	Catagenèse	Catagenèse		Catagenèse	Catagenèse		Catagenèse	Catagenèse		Catagenèse		Catagenèse	Catagenèse						
Est. Vitr				1,53	1,61		1,55		1,25	1,50	1,67		1,33	1,45		1,26	1,43		1,34	1,44	1,47	1,66	1,58	1,74	1,86		1,11	2,83
itume		Cok		1,70		3,00	2,10		1,40		1,20		2,80			2,70				1,90	1,70		3,20	1,40				
Pyrob	Ani.	ond.								;	1,76								1,25									
bitume		Sec	jout Res				,45		1,10	1,60	,90									1,40	1,70			,96 1,80				3,00
Migra	Pri ou	ind			1,57		0,83 3		1,38	1,36	1,29 3		1,24			0,84	1,40	-	1,37	1,50	1,39	1,61	1,71	1,64 1	1,80			2,66
Vitr				1,50			1,60		1,30	1,50	1,70		01,20	1,50		1,30			1,40	1,40	1,50		1,60				1,10	
istes		Sc											1,3(
Zoocla		Ch G									1,70								1,20									
Formation		-		York Lake	Forillon	Forillon	Indian Cove		Forilon	York Lake	Indian Cove		Sayabec	Forillon		Indian Cove	Forillon		Forillon		York River	Saint-Léon						
Puits	· · ·													-					2000FC123			Causapscal						
No INRS				30256	30259	30262	30264		30265	30269	30270		30275	30276		30281	30282		30284	30285	30287	30289	30291	30292	30294		30326	30329

	.	[-				Sc N
	Zone HC				Gaz sec	Gaz sec	Gaz sec	Stérile	Stérile	Stérile		Gaz sec		Gaz sec	raptolites,
	Métamorphisme				Anchimétamorphisme	Anchimétamorphisme	Anchimétamorphisme	Schiste vert	Schiste vert	Schiste vert		Catagenèse		Catagenèse	chitinozoaires, Gr = g
Est.	Vitr				3,46	4,29	3,44	5,18	4,87	5,07		2,42		2,71	Ch =
	itume		Cok			3,40	3,00							2,30	ures,
	Pyrobi	Ani.	ond.		3,89	3,72	3,63		3,89	4,04					rocarb
	ame		ç	t Res	3,20		3,40					1,90		2,20	= hyd
	grabiti	T	Ň	Gout						1,87					HC
	Mig	Pri oı	ind		3,13										rinite,
	Vitr					4,50									la vit
	istes		Sc		0	0	0	0	0	0		0		0	e de
	oocla		ਹੁੰ		3,7	4,2	3,6	5,5(5,2(5,4		2,5(<u>7</u> 9,0	ctanc
	Z		<u>ਹ</u>								n		n		réfle
Formation		-			Saint-Léon	Saint-Léon	Saint-Léon	Saint-Léon	Saint-Léon	Saint-Léon	Mélange du Ruissea	Isabelle	Mélange du Ruissea	Isabelle	vitr = estimée de la
	Puits				Causapscal	Causapscal	Causapscal	Causapscal	Causapscal	Causapscal					itrinite, Est.
No	INRS				30331	30332	30333	30335	30336	30337	-	30391		30392	Vitr = vi

scolécodontes, Pri ou ind = primaire ou indéterminé, Sec = secondaire, Ani. ond. = anisotropie ondulante Cok = avec structures de coke, Gout = gouttelette de migrabitume et Res = de réservoir.

APPENDICE D

Pourcentage d'huile et de gaz produits en fonction du temps à la base de la Formation de Forillon pour le puits Mitis no 1, basés sur les valeurs de TTI d'Arrhenius du modèle de Hunt (1995)

(Les âges et le temps sont en millions d'années.)

	Tatoa	-11										
			Profo	ndenr	œ	Temns		μ.	Juile (%)	÷		Gaz (%)
Sédimentation de la formation	Min	Max	Min	Max	MaxMir		Type IIA	Type IIB	Type IIC	Type IID	Type III	
Forillon érodé	20	30	0	400	413 406	5 7,3	0	0	0	0	0	0
Forillon + Shiphead érodés	30	40	400	800	406 403	3,2		0	0	0	0	0
Indian Cove + York Lake érodés	40	50	800	1200	403 402	0,7	1	0	0	0	0	0
York Lake érodé	50	60	1200	1600	402 401	0,8	2	0	0	0	0	0
York River érodé	60	70	1600	2000	401 401	0,3	n	0	0	0	0	0
York River érodé	70	80	2000	2400	401 400	0,4	11	0	0	0	0	0
York River + Lake Branch érodés	80	90	2400	2800	400 399	1,4	68	1	0	0	0	0
Lake Branch érodé	90	100	2800	3200	399 396	3,2	100	9	0	0	0	0
Lake Branch + Battery Point érodés	100	110	3200	3600	396 395	1	100	13	1	0	0	0
Battery Point érodé	110	120	3600	4000	395 394	1 0,4	100	23	1	0	0	0
Battery Point érodé	120	130	4000	4400	394 394	0,4	100	53	4	1	0	0
Battery Point érodé	130	140	4400	4800	394 394	1 0,4	100	94	14	4	1	0
Battery Point érodé	140	150	4800	5200	394 393	0,4	100	100	46	16	4	0
Battery Point érodé	150	160	5200	5600	393 393	0,4	100	100	92	52	16	2
Battery Point érodé	160	170	5600	6000	393 392	0,4	100	100	100	96	54	6
Battery Point érodé	170	180	6000	6400	392 392	0,4	100	100	100	100	97	22
Battery Point érodé	180	190	6400	6800	392 392	0,4	100	100	100	100	100	64
Battery Point érodé	190	200	6800	7200	392 391	0,5	100	100	100	100	100	66
Érosion	200	190	7200	6800	391 369	21,7	100	100	100	100	100	100
Érosion	190	180	6800	6400	369 348	3 21,7	100	100	100	100	100	100
Érosion	180	170	6400	6000	348 326	21,7	100	100	100	100	100	100
Érosion	170	160	6000	5600	326 304	1 21,7	100	100	100	100	100	100
Érosion	160	150	5600	5200	304 282	21,7	100	100	100	100	100	100
Érosion	150	140	5200	4800	282 261	21,7	100	100	100	100	100	100
Érosion	140	130	4800	4400	261 239	21,7	100	100	100	100	100	100
Érosion	130	120	4400	4000	239 217	7 21,7	100	100	100	100	100	-100

	Gaz (%)	be III	00 100	00 100	00 100	00 100	00 100	00 100	00 100	00 100	00 100	00 100
		ype IID Ty	100 1	100 1	100 1	100 1	100 1	100 1	100 1	100 1	100 1	100 1
	Huile (%)	Type IICT	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	ł	Type IIB	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
		Type IIA	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Temps		21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7
	ge	(Min	196	174	152	130	109	87	65	43	22	0
	r Â	K Max	0 217	196	0 174	0 152	0 130	109	87	65	43	22
	ondeu	Max	360(320(2800	240(2000	160	120(800	400	0
	Profe	Min	4000	3600	3200	2800	2400	2000	1600	1200	800	400
valle	C	Max	110	100	90	80	70	60	-50	40	30	20
Inter	Τ	Min	120	110	100	60	08	70	09	50	40	30
		Sédimentation de la formation	Irosion	Irosion	frosion	Irosion	rosion	Irosion	Trosion	frosion	frosion	Irosion



APPENDICE E

Pourcentage d'huile et de gaz produits en fonction du temps au sommet de la Formation de Forillon pour le puits Mitis no 1, basés sur les valeurs de TTI d'Arrhenius du modèle de Hunt (1995)

(Les âges et le temps sont en millions d'années.)

	Inter T°	valle C	Profo	ndeur	Âge	<u> </u>	emps		H	[uile (%)			Gaz (%)
Sédimentation de la formation	Min	Max	Min	Max	MaxN	fin		Type IIA	Type IIB	Type IIC	Type IID	Type III	
Shiphead + Indian Cove									1				
érodés	20	30	0	400	404 4	02	1,7	0	0	0	0	0	0
ndian Cove + York Lake													
érodés	30	40	400	800	402 4	02	0,7	0	0	0	0	0	0
York Lake érodé	40	50	800	1200	402 4	01	0,6	0	0	0	0	0	0
York River érodé	50	60	1200	1600	401 4	01	0,4	1	0	0	0	0	0
York River érodé	60	70	1600	2000	401 4	00	0,4	n	0	0	0	0	0
York River + Lake Branch													-
érodés	70	80	2000	2400	400 3	98	2,1	36	0	0	0	0	0
Lake Branch érodé	80	90	2400	2800	398 3	95	3,1	93	2	0	0	0	0
Battery Point érodé	90	100	2800	3200	395 3	95	0,4	98	2	0	0	0	0
Battery Point érodé	100	110	3200	3600	395 3	94	0,4	100	5	0	0	0	0
Battery Point érodé	110	120	3600	4000	394 3	94	0,4	100	16	1	0	0	0
Battery Point érodé	120	130	4000	4400	394 3	93	0,4	100	49	3	1	0	0
Battery Point érodé	130	140	4400	4800	393 3	93	0,4	100	93	13	4	1	0
Battery Point érodé	140	150	4800	5200	393 3	93	0,4	100	100	45	16	4	0
Battery Point érodé	150	160	5200	5600	393 3	92	0,4	100	100	92	52	16	2
Battery Point érodé	160	170	5600	6000	392 3	92	0,3	100	100	100	92	47	5
Battery Point érodé	170	180	6000	6400	392 3	91	0,5	100	100	100	100	98	25
Battery Point érodé	180	190	6400	6800	391 3	91	0,4	100	100	100	100	100	65
Érosion	190	180	6800	6400	391 3	69	21,7	100	100	100	100	100	100
Érosion	180	170	6400	6000	369 3.	48	21,7	100	100	100	100	100	100
Érosion	170	160	6000	5600	348 3	26	21,7	100	100	100	100	100	100
Érosion	160	150	5600	5200	326 3	04	21,7	100	100	100	100	100	100
Érosion	150	140	5200	4800	304 2	82	21,7	100	100	100	100	100	100
Érosion	140	130	4800	4400	282 2	61	21,7	100	100	100	100	100	100

	Inter	valle										-	
	T°	С	Profor	Ideur	Âg	e]	Cemps		H	[uile (%)			Gaz (%)
								Type	Type	Type	Type	Type	
Sédimentation de la formation	Min	Max	Min	Max]	Max	Min		IIA	IB	IIC	IID	III	
Érosion	130	120	4400	4000	261 2	239	21,7	100	100	100	100	100	100
Érosion	120	110	4000	3600	239 2	217	21,7	100	100	100	100	100	100
Érosion	110	100	3600	3200	217	196	21,7	100	100	100	100	100	100
Érosion	100	06	3200	2800	196	174	21,7	100	100	100	100	100	100
Érosion	90	80	2800	2400	174	152	21,7	100	$1^{0}00$	100	100	100	100
Érosion	80	0/	2400	2000	152]]	130	21,7	100	100	100	100	100	100
Érosion	70	60	2000	1600	130]	109	21,7	100	100	100	100	100	100
Érosion	60	50	1600	1200	109	87	21,7	100	100	100	100	100	100
Érosion	50	40	1200	800	87	65	21,7	100	100	100	100	100	100
Érosion	40	30	800	400	65	43	21,7	100	100	100	100	100	100
Érosion	30	20	400	0	43	22	21,7	100	100	100	100	100	100

APPENDICE F

Pourcentage d'huile et de gaz produits en fonction du temps à la base de la Formation de Forillon pour le puits Rivière à la Truite no 1, basés sur les valeurs de TTI d'Arrhenius du modèle de Hunt (1995)

(Les âges et le temps sont en millions d'années.)

	Interv	valle											
	L	С	Prof	ondeur	Â	ge	Temps		H	uile (%	(Gaz (%)
Sédimentation de la formation	Min	Max	Min	Max	Max	Min		Type IIA	Type IIB	Type IIC	Type IID	Type III	
Forillon érodé	20	30	0	345	413	407	6,1	0	0	0	0	0	0
Forillon + Shiphead + Indian Cove								•					
érodés	30	40	345	069	407	403	4,2	0	0	0	0	0	0
Indian Cove érodé	40	50	690	1034	403	402	0,7	0	0	0	0	0	0
York Lake érodé	50	60	1034	1379	402	402	0,5	0	0	0	0	0	0
York Lake + York River érodés	60	70	1379	1724	402	401	0,6	1	0	0	0	0	0
York River érodés	70	80	1724	2069	401	401	0,3	ю	0	0	0	0	0
York River érodés	80	60	2069	2414	401	400	0,4	10) 0	0	0	0	0
York River + Lake Branch érodés	90	100	2414	2759	400	398	2,1	81	-1	0	0	0	0
Lake Branch + Battery Point érodés	100	110	2759	3103	398	394	3,9	100	8	0	0	0	0
Battery Point érodé	110	120	3103	3448	394	393	1,7	100	19	1	0	0	0
Battery Point érodé	120	130	3448	3793	393	391	1,5	100	87	10	3	1	0
Érosion	130	140	3793	4138	391	361	30,1	100	100	100	88	41	5
Érosion	140	130	4138	3793	361	331	30,1	100	100	100	92	47	6
Érosion	130	120	3793	3448	331	301	30,1	100	100	100	- 93	49	<u> </u>
Érosion	120	110	3448	3103	301	271	30,1	100	100	100	93	49	7
Érosion	110	100	3103	2759	271	241	30,1	100	100	100	93	49	7
Érosion	100	60	2759	2414	241	211	30,1	100	100	100	93	49	7
Érosion	60	80	2414	2069	211	180	30,1	100	100	100	93	49	7
Érosion	80	70	2069	1724	180	150	30,1	100	100	100	93	49	7
Érosion	70	60	1724	1379	150	120	30,1	100	100	100	93	49	7
Érosion	60	50	1379	1034	120	90	30,1	100	100	100	93	49	۲ -
Érosion	50	40	1034	690	90	60	30,1	100	100	100	93	49	7
Érosion	40	30	690	345	60	30	30,1	100	100	100	93	49	7
Érosion	30	20	345	0	30	0	30,1	100	100	100	93	49	7
APPENDICE G

Pourcentage d'huile et de gaz produits en fonction du temps au sommet de la Formation de Forillon pour le puits Rivière à la Truite no 1, basés sur les valeurs de TTI d'Arrhenius du modèle de Hunt (1995)

(Les âges et le temps sont en millions d'années.)

	T	11 -											
			Drofo	ովուր	Âge	Ļ	autue		д	(<u>)</u> 0/ eliul			C207 (02)
Códimentation de le formetion	1				1150			<u>т</u> т т			E	- L	(1/) mn
Sequentation de la formation	Min	Max	MIN	Max	MaxM	<u>=</u>		ype IIA	1 ype 11B	I ype IIC	1 ype IIU	I ype III	
Shiphead + Indian Cove érodés	20	30	0	345	404 4(02	1,6	0	0	0	0	0	0
Indian Cove + York Lake érodés	30	40	345	690	402 4(02	0,6	0	0	0	0	0	0
York Lake érodé	40	50	690	1034	402 4(01	0,6	0	0	0	0	0	0
York Lake + York River érodés	50	09	1034	1379	401 4(01	0,4	1	0	0	0	0	0
York River érodés	60	02	1379	1724	401 4(00	0,4	ŝ	0	0	0	0	0
York River érodés	70	80	1724	2069	400 4(00	0,3	8	0	0	0	0	0
York River + Lake Branch érodés	80	06	2069	2414	400 39	96	4,6	67	2	0	0	0	0
Lake Branch + Battery Point érodés	90	100	2414	2759	396 39	33	2,1	100	9	0	0	0	0
Battery Point érodé	100	110	2759	3103	393 39	92	1,6	100	16	1	0	0	0
Battery Point érodé	110	120	3103	3448	392 39	91 (0,8	100	35	5		0	0
Érosion	120	110	3448	3103	391 30	51 3	0,1	100	93	12	3	1	0
Érosion	110	100	3103	2759	361 33	31 3	0,1	100	96	14	4	1	0
Érosion	100	90	2759	2414	331 3(01 3	0,1	100	96	15	4	1	0
Érosion	90	80	2414	2069	301 27	71 3	0,1	100	96	15	4	1	0
Érosion	80	70	2069	1724	271 24	41 3	0,1	100	96	15	4	1	0
Érosion	70	60	1724	1379	241 21	[1] 3	0,1	100	96	15	4	1	0
Érosion	60	50	1379	1034	211 18	80 3	0,1	100	96	15	4	1	0
Érosion	50	40	1034	690	180 1;	50 3	0,1	100	96	15	4	- 1	0
Érosion	40	30	690	345	150 12	20 3	0,1	100	96	15	4	1	0
Érosion	30	20	345	0	120 9	0 3	0,1	100	96	15	4	1	0
Érosion	20	10	0	-345	90 6	0 3	0,1	100	96	15	4	1	0
Érosion	10	0	-345	-690	60 3	0 3	0,1	100	96	15	4	1	0
Êrosion	0	-10	-690	-1034	30 (3	0,1	100	96	15	4	1	0

APPENDICE H

Pourcentage d'huile et de gaz produits en fonction du temps au sommet du Black Shale Assemblage du Mélange du Ruisseau Isabelle pour le puits Rivière à la Truite no 1, basés sur les valeurs de TTI d'Arrhenius du modèle de Hunt (1995)

Hypothèse 1

(Les âges et le temps sont en millions d'années.)

Sédimentation de la	Interva	lle T°C	Profo	ndeur	Å9	ŝe	Temps			Huile (%)			Gaz (%)
formation	Min	Max	Min	Max	Max	Min		Type IIA	Type IIB	Type IIC	Type IID	Type III	
Honorat érodé	20	30	0	345	451	451	0,3	0	0	0	0	0	0
Honorat érodé	30	40	345	690	451	450	0,4	0	0	0	0	0	0
Honorat érodé	40	50	069	1034	450	450	0,3	0	0	0	0	0	0
Honorat érodé	50	09	1034	1379	450	450	0,3	1	0	0	0	0	0
Honorat érodé	60	70	1379	1724	450	449	0,4	3	0	0	0	0	0
Honorat érodé	70	80	1724	2069	449	449	0,3	8	0	0	0	0	0
Honorat érodé	80	90	2069	2414	449	449	0,3	26	0	0	0	0	0
Honorat érodé	90	100	2414	2759	449	448	0,4	75	1	0	0	0	0
Honorat érodé	100	110	2759	3103	448	448	0,3	66	с С	0	0	0	0
Honorat érodé	110	120	3103	3448	448	448	0,3	100	12	1	0	0	0
Honorat érodé	120	130	3448	3793	448	447	0,4	100	46	ŝ	1	0	0
Honorat érodé	130	140	3793	4138	447	447	0,3	100	88	11	ę	1	0
Matapédia érodé	140	150	4138	4483	447	446	1	100	100	72	29	∞	1
Matapédia érodé	150	160	4483	4828	446	445	1	100	100	100	82	35	4
Matapédia érodé	160	170	4828	5172	445	444	1	100	100	100	100	85	14
Matapédia érodé	170	180	5172	5517	444	443	1	100	100	100	100	100	46
Matapédia érodé	180	190	5517	5862	443	442	1	100	100	100	100	100	92
Matapédia érodé	190	200	5862	6207	442	441	1	100	100	100	100	100	100
Erosion	200	190	6207	5862	441	439	2,5	100	100	100	100	100	100
Érosion	190	180	5862	5517	439	436	2,5	100	100	100	100	100	100
Érosion	180	170	5517	5172	436	434	2,5	100	100	100	100	100	100
Érosion	170	160	5172	4828	434	431	2,5	100	100	100	100	100	100
Érosion	160	150	4828	4483	431	429	2,5	100	100	100	100	100	100
Érosion	150	140	4483	4138	429	426	2,5	100	100	100	100	100	100

Sédimentation de la	Interva	lle T ^o C	Profo	ndeur	Åg	e	Temps		H	Huile (%)			Gaz (%)
formation	Min	Max	Min	Max	Max	Min		Type IIA	Type IIB	Type IIC	Type IID	Type III	
Erosion	140	130	4138	3793	426	424	2,5	100	100 -	100	100	100	100
Erosion	130	120	3793	3448	424	421	2,5	100	100	100	100	100	100
Erosion	120	110	3448	3103	421	419	2,5	100	100	100	100	100	100
Érosion	110	100	3103	2759	419	416	2,5	100	100	100	100	100	100
Érosion	100	06	2759	2414	416	414	2,5	100	100	100	100	100	100
Erosion	90	80	2414	2069	414	411	2,5	100	100	100	100	100	100
Érosion	80	70	2069	1724	411	409	2,5	100	100	100	100	100	100
Érosion	70	60	1724	1379	409	406	2,5	100	100	100	100	100	100
Érosion	60	50	1379	1034	406	404	2,5	100	100	100	100	100	100
Érosion	50	40	1034	690	404	401	2,5	100	100	100	100	100	100
Érosion	40	30	069	345	401	399	2,5	100	100	100	100	100	100
Érosion	30	20	345	- 0	399	396	2,5	100	100	100	100	100	100

APPENDICE I

Pourcentage d'huile et de gaz produits en fonction du temps au sommet du Black Shale Assemblage du Mélange du Ruisseau Isabelle pour le puits Rivière à la Truite no 1, basés sur les valeurs de TTI d'Arrhenius du modèle de Hunt (1995)

Hypothèse 2

(Les âges et le temps sont en millions d'années.)

Gaz (%)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	13
	Type III	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Ţ	10	81
	Type IID	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	ŝ	34	100
(%)	Lype IIC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4	11	17	100
	Type IIB	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	4	6	20	51	68	100	100
	Lype IIA	0	0	0	1	7	8	19	22	23	23	23	23	23	23	24	31	48	84	100	100	100	100	100	100	100	100
Temps		0,3	0,4	0,3	0,4	0,3	0,3	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,8	2,7	2,5	6,7	5,5	6,1	4,9	0,7	0,7	0,4	0,4	0,3	1,2	4,6
Âge	Aax Min	151 451	151 450	150 450	150 450	150 449	449 449	449 447	147 444	144 442	442 439	139 437	137 434	134 431	1 31 429	t29 426	t26 419	1 19 414	114 408	403 403	403 402	401 401	401 401	401 401	401 400	400 399	399 395
ndeur	Max N	345 4	7 069	1034 4	1379 4	1724 4	2069 4	1724	1379 4	1034 4	7 069	345 4	7 0	345 4	7 069	1034 4	1379 4	1724 4	2069 4	2414	2759 4	3103 4	3448	3793	4138 4	4483 4	4828
Profor	Min	0	345	069	1034	1379	1724	2069	1724	1379	1034	069	345	0	345	690	1034	1379	1724	2069	2414	2759	3103	3448	3793	4138	4483
valle C	Max	. 30	40	50	60	70	80	70	60	50	6	30	20	30	40	50	60	70	80	60	100	110	120	130	140	150	160
Inter T°	Min	20	30	40	50	60	70	80	70	60	50	40	30	20	30	40	50	09	70	80	90	100	110	120	130	140	150
	Sédimentation de la formation	Chloridorme érodés	irosion	Irosion	Irosion	irosion	Irosion	Irosion	Chaleurs érodés	Chaleurs érodés	Chaleurs érodés	saint-Léon érodé	saint-Léon érodé	saint-Léon + Forillon érodés	⁷ orillon + Shiphead + Indian Cove érodés	ndian Cove érodé	ndian Cove + York Lake érodés	Vork Lake érodé	York River érodé	York River érodé	York River + Lake Branch érodés	Lake Branch + Battery Point érodés					

	Inter	valle										
	T'	C	Profon	deur	Âge	Temps		I.	Huile (%)			jaz (%)
Sédimentation de la formation	Min	Max	Min	Aax N	Aax Mir		Type IIA	Type IIB	Type IIC	Type IID	Type III	
Battery Point érodé	160	170	4828 5	172 3	395 393	1,7	100	100	100	100	98	29
Battery Point érodé	170	180	5172 5	517 3	393 391	1,8	100	100	100	100	100	69
Érosion	180	170	4483 5	172 3	391 361	30,1	100	100	100	100	100	66
Érosion	170	160	5172 4	828 3	361 331	30,1	100	100	100	100	100	100
Érosion	160	150	4828 4	483 3	331 301	30,1	100	100	100	100	100	100
Érosion	150	140	4483 4	138 3	301 271	30,1	100	100	100	100	100	100
Erosion	140	130	4138 3	793 2	271 241	30,1	100	100	100	100	100	100
Érosion	130	120	3793 3	448 2	241 211	30,1	100	100	100	100	100	100
Érosion	120	110	3448 3	103 2	211 180	30,1	100	100	100	100	100	100
Érosion	110	100	31032	759 1	150 150	30,1	100	100	100	100	100	100
Érosion	100	90	2759 2	414]	150 120	30,1	100	100	100	100	100	100
Érosion	60	80	24142	069	120 90	30,1	100	100	100	100	100	100
Érosion	80	70	2069 1	724	90 60	30,1	100	100	100	100	100	100
Érosion	70	60	1724 1	379	60 30	30,1	100	100	100	100	100	100

PLANCHES PHOTOGRAPHIQUES

<u>Planche 1</u> : Graptolite provenant du Black Shale Assemblage du Mélange du Ruisseau Isabelle (échantillon 30392). Lame polie, vue en lumière incidente et sous immersion d'huile, 340X.

<u>Planche 2</u> : Vue rapprochée du même graptolite que la planche 1 provenant du Black Shale Assemblage du Mélange du Ruisseau Isabelle (échantillon 30392). Lame polie, vue en lumière incidente et sous immersion d'huile, 800X.



Planche 1



Planche 2

<u>Planche 3</u> : Mudstone calcaire riche en pyrite provenant de la Formation de Forillon et une plage de migrabitume dans un stylolite anastomosé (échantillon 30284). Lame polie, vue en lumière incidente et sous immersion d'huile, 800X.

<u>Planche 4</u> : Grande vacuole de calcite remplie de migrabitume de réservoir et graptolite dans le Black Shale Assemblage du Mélange du Ruisseau Isabelle (échantillon 30392). Lame polie, 160X.



Planche 3



Planche 4

- <u>Planche 5</u> : Migrabitume de réservoir avec une anisotropie ondulante dans une zone de calcite très cisaillée au sommet de la Formation de Forillon (échantillon 30214). Lame polie, vue en lumière incidente et sous immersion d'huile, 330X.
- <u>Planche 6</u> : Migrabitume présent dans une veine de calcite disséquée par le cisaillement dans la Formation de Forillon (échantillon 30214). Lame polie, vue en lumière incidente à l'air, 160X.



Planche 5



Planche 6