

Institut national de la Recherche scientifique —Géoressources—

DP 83-03

TABLE DES MATIÈRES

Page

RÉSUMÉ	4
INTRODUCTION	5
Remerciements	6
Géologie régionale	6
Méthodes de travail	8
Travaux antérieurs	10
CHAPITRE I - DISTRIBUTION ET NATURE DES MATIÈRES ORGANIQUES	
DISPERSÉES (MOD)	12
Quantité de MOD	12
Type de MOD	12
Observations en lumière réfléchie	14
Observations en lumière transmise	15
Analyse par pyrolyse	17
CHAPITRE II - NATURE ET DISTRIBUTION DES MINÉRAUX D'ARGILE.	20
IIIIte	20
Interstratifiés illite/smectite	21
Smectite	21
Chlorite	21
CHAPITRE III - CORRÉLATION DES PARAMÈTRES DE CATAGENÈSE	22
Mesures du pouvoir réflecteur	22
Coloration	23
Analyses par pyrolyse	23
Minéralogie des argiles	38
Les smectites	40
L'indice d'aigu de l'illite	40
Discussion	41
CHAPITRE IV - ZONÉOGRAPHIE THERMIQUE DES UNITÉS STRUCTURALES	i 42
Bloc sud	42
Puits Québec Oil	43
Puits York	43
Bloc central	46
Puits Sunny-Bank	42
Puits Gaspé-Sud	43
Bloc nord	48
Puits Douglas	49
Puits Gaspé-Nord	49
Coupe de la rivière au Renard	50
Coupe de Forillon (route 132)	51
CHAPITRE V - RELATIONS TEMPORELLES ENTRE LA TECTONIQUE ET	
LA CATAGENÈSE	52
RÉFÉRENCES	59

ANNEXES:

1	1 - Planches photographiques des matières organiques d persées dans les séquences sédimentaires de la rég	lis- ion
	de Gaspe	••• 62
2	2 - Teneurs en carbone organique et du résidu insolubl	e
	au HCI dans les séquences forées et les coupes de	
	terrain de la région de Gaspé (figures 2a à 2g)	••• 67
3	3 - Composition élémentaire et niveau de maturation th	er-
	mique des matières organiques dispersées de la rég	ion
	de Gaspé, d'après le diagramme de Van Krevelen (19	61)
	modifié par Bostick (1979) (figures 3a à 3d)	••• 75
4	4 - Composition élémentaire et niveau de maturation th	er-
	mique des matières organiques dispersées de la rég	Ion
	de Gaspé, d'après le diagramme de Hunt (1979), mod	i –
	fié par Héroux et al. (1981) (figures 4a à 4d)	••• 80

ILLUSTRATIONS

FIGURES

1 - Localisation et géologie de la région étudiée	7
2 - Teneur en carbone organique en fonction du résidu inso-	
luble au HC1 pour la région de Gaspé	13
3 - Composition élémentaire et niveau de maturation thermi-	
que des MOD de la région de Gaspé, d'après le diagramme	
de Van Krevelen	16
4 - Composition élémentaire et niveau de maturation thermi-	
que des MOD de la région de Gaspé, d'après le diagramme	
de Hunt	18
5a-5d - Evolution dia-catagénétique des macéraux, des pyro-	
bitumes et des asphaltites: puits Gaspé-Nord,	
Douglas, Gaspé-Sud et Sunny-Bank	24-27
6a-6g - Régression des pouvoirs réflecteurs avec la profon-	
deur: coupes de terrain et puits	29-35
7a-7d - Pyrolyse programmées des MOD: puits Douglas, Gaspé-	
Sud, Sunny-Bank, York	36-39
8 - Gradient des pouvoirs réflecteurs pour chacun des trois	
assemblages de MOD dans les puits et coupes de terrain.	44
9 - Corrélation des indicateurs thermiques et niveau de ma-	
turation des séquences dans les unités structurales de	
la région de Gaspé	45
10- Profils structuraux E-W, à partir des données de la ma-	
turation thermique	53
11- Profils structuraux N-S, à partir des données de la ma-	
turation thermique	54
IABLEAUX	•
1 - Litnostratigraphie de l'Est de la Gaspesie	9
2 - Nombre d'echantilions étudies dans les puits et les	
coupes de terrain	10

- 3 -

Page

RÉSUMÉ

Une ré-évaluation du potentiel à hydrocarbures des séquences siluro-dévoniennes du synclinorium Gaspé-Connecticut Valley à l'extrémité orientale de la péninsule gaspésienne ainsi que l'évolution thermique et structurale de celles-ci font l'objet de cette étude. Six séquences forées et deux coupes de terrain, réparties dans trois unités structurales ou blocs, sont décrites et échantillonnées pour l'étude des matières organiques et des argiles. Ces unités sont les blocs nord, central et sud, séparés par la faille du Bras Nord-Ouest et la faille du Troisième lac.

La distribution, la quantité et les types des matières organiques indiquent que les végétaux supérieurs prédominent dans les Grès de Gaspé. Les matières organiques amorphes à caractère sapropélique sont plus abondantes dans les Calcaires Supérieurs de Gaspé et le Groupe de Chaleurs alors que, toujours présentes dans la séquence cambro-ordovicienne, le pyrobitume y est prédominant. L'abondance de ces matières organiques indique que la séquence cambro-ordovicienne, parfois la Formation de West Point et, à un degré beaucoup moindre, les Calcaires Supérieurs de Gaspé ont un potentiel roche mère à huile. La présence de pyrobitume indique que ces huiles sont déjà partiellement altérées.

La zonéographie thermique montre une augmentation régionale de la maturation du nord vers le sud et de l'est vers l'ouest. Le bloc sud a franchi le seuil des gaz à condensats inférieur, le bloc central se situe entre le milieu de la fenêtre à huile potentielle (FHP) et le milieu de la zone à condensats alors que le bloc nord couvre toute la FHP.

La reconstruction de l'évolution structurale du bassin sédimentaire par le calcul des enfouissements suggère que la faille du Bras Nord-Ouest a joué tout au long de la période de maturation thermique. La faille du Troisième lac serait née de mouvements isostasiques postérieurs à la maturation thermique. L'ordre de grandeur des déformations tectoniques reste néanmoins très approximatif.

INTRODUCTION

Les premières études de maturation thermique de l'est de la Péninsule gaspésienne (puits de Sunny-Bank, York, Tar Point et Québec Oil) ont été réalisées en 1972 et au début de 1974. Α cette époque, la recherche portant sur la maturation thermique des séquences sédimentaires n'en était qu'à ses débuts. Les équivalences entre les principaux indicateurs thermiques et les niveaux de formation des hydrocarbures étaient encore mal définies (Héroux et al., 1979). De prime abord, il s'avère que le potentiel en hydrocarbures attribué aux séquences des puits ci-haut mentionnés fut surévalué. Des travaux plus récents ont posé, de façon plus aigüe, la nécessité de ré-examiner ces données antérieures.

Selon B. Granger, de la Société québécoise d'initiative pétrolière (communication personnelle, 5 février 1980), les sondages de SOQUIP (Blanchet, Gaspé-Sud et Douglas) montrent une homogénéité des indices de gaz relevés lors de la diagraphie de la boue. Le gaz est humide. Les gaz provenant des essais aux tiges de Gaspé-Sud donnent des composantes supérieures jusqu'en C₈. La composition de ces gaz suggère une maturation moins élevée que ce qui est proposé dans les études géochimiques effectués sur Sunny-Bank (Héroux et al., 1979). Ces nouvelles données ont amené B. Granger (communication personnelle, 5 février 1980) à élaborer certaines hypothèses: - la maturation plus avancée de la matière organique (MO) du puits de Gaspé-Sud dépendrait du contexte paléogéographique et structural local;

- la maturation serait comparable à celle de Gulf Sunny-Bank, mais les divergences viendraient d'un type de MO peu propice à la génération d'hydrocarbures liquides;
- le gradient thermique inféré pour Sunny-Bank serait plus élevé que prévu, dû à une meilleure préservation de la MO dans les calcaires.

Afin de répondre aux précédentes interrogations, le ministère de l'Energie et des Ressources du Québec a commandé le présent ouvrage qui a pour buts de:

 Vérifier certains résultats analytiques et de les enrichir de données techniques plus récentes afin de ré-évaluer plus correctement le potentiel à hydrocarbures de cette région;

• Présenter un modèle d'évolution thermique pour la péninsule gaspésienne. A ce chapitre, cette étude essaie d'apporter une première réponse concernant les relations temporelles entre la maturation thermique et l'évolution géologique de l'extrémité nord-est du bassin de la péninsule gaspésienne.

En termes concis, l'intérêt de cette étude pour l'exploration pétrolière consiste notamment à définir si chaque unité structurale s'individualise par son potentiel en hydrocarbures ou si ce dernier est indépendant des unités structurales.

REMERCIEMENTS

Cette recherche est née d'une concertation entre Messieurs Daniel Brisebois, du MER, et Bernard Granger, de la Société québécoise d'initiative pétrolière, et de représentants de l'Institut national de la Recherche scientifique.

Monsieur Brisebois nous a instruits de la stratigrahie de la région et nous a assistés tout au long de la description et de l'échantillonnage des coupes de terrain.

Finalement, notre cheminement dans cette recherche a maintes fois été éclairé par les précieux conseils de Messieurs Brisebois et Granger. Nous ne saurions trop leur exprimer notre gratitude.

GÉOLOGIE RÉGIONALE

La région considérée dans la présente étude est délimitée sur la figure 1. Les raisons ayant conduit au choix de cette région dépendent entre autres:

- de l'intérêt de la SOQUIP pour l'est de la péninsule, là où les suintements d'huile ainsi que les données géochimiques (Sunny-Bank, Tar Point) indiquent une maturité de la matière organique favorable à la génération d'huile;
- du désir du MER d'inclure des secteurs délaissés par l'exploration et peu connus.

Ainsi, outre la bande de roches s'étendant le long de la faille du Bras Nord-Ouest et qui intéresse plus particulièrement la SOQUIP, la présente étude inclut les régions situées au sud de la faille du Troisième lac, où les analyses de deux puits sont reconsidérées dans cette étude, ainsi que celles situées au nord de la faille du Bras Nord-Ouest, où le manque de puits a été compensé par l'étude de deux coupes de terrain.

La géologie structurale, la lithostratigraphie ainsi qu'une description pétrographique détaillée des unités lithologiques de cette région (fig. 1) sont présentées par Brisebois (1981) et Roksandic & Granger (1981). Seul un bref résumé des principaux traits de la géologie structurale et de la lithostratigraphie sont décrits ci-après.

La région se divise en trois unités structurales (figure 1):

- Un monoclinal à pendage sud-ouest et le synclinal de la Bale de Gaspé qui forment une première entité, désignée dans ce rapport sous le vocable de bloc nord. Le bloc nord est compris entre, d'une part, la faille du Bras Nord-Ouest ou son prolongement, la faille de Belle-Anse et, d'autre part, le Groupe de Québec;
- 2) Un bloc central coincé entre la faille du Troisième lac et celle du Bras Nord-Ouest. Le



FIGURE 1 - Localisation et géologie de la région étudiée. Simplifié de Brisebois (1981).

synclinal de la rivière York est le pli majeur de ce bloc central;

3) Un bloc situé au sud-ouest de la faille du Troisième lac, jusqu'au contact de la Formation de White Head.

La lithostratigraphie de la région est schématisée au tableau 1. La localisation des affleurements des unités lithostratigraphiques, une description pétrographique généralisée ainsi que les variations stratigraphiques et géographiques de leur composition sont présentées dans Brisebois (1981). Les unités lithostratigraphiques et lithologiques reconnues dans les puits et coupes de terrain localisés sur la figure 1 sont indiquées aux tableaux 3a à 3g (annexe 5).

METHODES DE TRAVAIL

Ce travail comporte l'analyse des matières organiques dispersées (MOD) et des argiles dans six puits et deux coupes de terrain répartis dans les trois unités structurales que nous venons de définir. Le nombre d'échantilions prélevés à ces sites est indiqué dans le tableau 2.

La maille d'échantillonnage (tab. 3a) dans les coupes de terrain est d'environ 30 m. A chacun de ces intervalles furent prélevés un échantillon de calcaire et/ou de shale. Les carottes des puits York (tab. 3f) et Sunny-Bank (tab. 3e), entreposées à l'INRS lors de la précédente étude en 1972 (MRNQ, DP-0067), ont étéré-utilisées. Les déblais des puits Douglas (tab. 3c), Gaspé-Sud (tab. 3c) et Gaspé-Nord (tab. 3b) ont aussi été échantillonnés à tous les 30 m, sauf au niveau de la Formation de Battery Point du puits Douglas, où ils ont été échantillonnés à tous les 200 m. D'autre part, le puits Québec Oil n'offre plus suffisamment de déblais de forage, à la lithothèque gouvernementale, pour permettre une analyse systématique.

La nature des MOD et des argiles, ainsi que leur caractère hérité, les conditions qui prévalent lors de leur sédimentation et la composition des fluides post-sédimentaires associés à la fraction argileuse, affectent la valeur des paramètres d'évaluation de la maturation thermique (Héroux et al., 1979; Kubler et al., 1979). Pour cette raison, la nature et la distribution des MOD et des argiles sont discutées, respectivement, dans les chapitres I et II. Les quantités de MOD nécessaires à l'évaluation du potentiel à hydrocarbures d'un bassin sont aussi discutées au chapitre I.

La pondération des facteurs qui influencent la valeur des paramètres de la dia-catagenèse fait l'objet d'une présentation (chapitre III). La limitation des indicateurs d'évolution de la maturation thermique y est discutée afin de circonscrire les meilleurs paramètres d'évaluation de la dia-catagenèse. Les concor-

PÉRIODE	ÉTAGE	GROUPE	SÉQUENCE DE L'EST	LITHOLOGIE		
	Couvi- nien	e, d	Malbaie			
	5	ēs d s p	Battery Point			
	ms.	Gr	York River York Lake F			
_			Indian Cove	Grande		
lien	ien	ien s u p. s p é		Grève		
évo	egen		Shiphead $ abla$	Cap Mb.	[] 돌고축렬	
	Si	C al de	Forillon	Bon Mb.		
			Mh Cape Road	A Turb.		
	nien		A Sindian Mb Quay Rock			
	Gedi		Point	Indian		
		1		Point		
	l ien	Pridolien leurs	Mb Rosebush Cove			
	Prido		Roncelles			
			Cove Price West Point			
	Wenlock. Ludlow.	C h a				
			Gascons			
r i e		2	Louis			
Silu			Laforce			
				7	<u> </u>	
		- 		Burnt lam		
) rien) rien	1	Sauraan a	, ∠ Brook	
	dove dove	dia	3001005 6	·		
		apě	White			
	×	M at				
t	Vshgi aradı					
cien (<u>.l</u>		Murphy		
lovi			Groupe de Québec	creek		
Can			(Fm de Cap-des-Rosiers)	Corner of		
				the Beach		

TABLEAU 1 - Lithostratigraphie de l'Est de la Gaspésie. D'après Roksandic & Granger (1981).

Localités	Bloc nord			Bloc central		Bloc sud	
Puits	Gaspé-Nord	Douglas	Coupes	Sunny-Bank	Gaspé Sud	York	Québec Oil
Analyses	2771 m	2000 m	2000 m	3534 m	3460 m	1130 m	1800 m
	.				· · · ·		
Carbone organique total	14	27	73	40	84	21	5
Réflectance des kérogènes	25	17	23	16	26	ł 1	17
Coloration des palynomorphes	14	17	73	14	22	11	29
Pyrolyses sur roche totale		27		40	84	12	
Analyses élémentaires		4		12	11	6	
Minéralogie des argiles	13	27	25	9	24	5	12

TABLEAU 2 - Nombre d'échantillons étudiés dans les puits et les coupes de terrain.

dances entre les principaux indicateurs de maturation thermique suggèrent que la réflectance, la coloration des palynomorphes et la minéralogie des argiles sont, dans la présente étude, les meilleurs paramètres.

Les résultats d'analyses de l'évolution thermique pour chacun des puits et des coupes de terrain sont présentés et discutés dans un quatrième chapitre afin d'établir une zonation de la maturation par séquence stratigraphique et par unité structurale.

Un cinquième et dernier chapitre présente les modèles plausibles de relations temporelles entre la maturation thermique des séquences et leurs déformations tectoniques. Ces modèles font intervenir quelques éléments nouveaux dans l'évolution du potentiel pétroligène du bassin.

L'élaboration d'un ou plusieurs modèles d'évolution de la tectonique versus la maturation thermique de ce bassin est fonction de l'état de nos connaissances sur la géologie structurale de cette région. Sur cet aspect, sont retenus pour les fins de ce projet, les travaux de terrain de Béland (1978), de Brisebois (1981), de McGerrigle (1950) et les interprétations séismiques de la SQQUIP (Roksandic & Granger, 1981).

TRAVAUX ANTERIEURS

Les premiers travaux relatifs à la maturation de la MOD ont été effectués sur les séquences des puits de Québec Oil, Sunny-Bank et York. Ces travaux de l'INRS (1972) montrent que, dans la séquence dévonienne de Sunny-Bank, la fin de la fenêtre à huile potentielle (FHP) est atteinte vers 2100 m, que la zone mixte huile-gaz à condensat s'étend de 2150 à 3000 m et que la zone de gaz à condensat se poursuit au-dessous de 3000 m. Ces travaux montrent, à niveau stratigraphique équivalent, que le degré de diagenèse est beaucoup plus faible à York qu'à Sunny-Bank, probablement par suite d'un enfouissement moindre. Malgré un niveau de maturation moins élevé à la base de la série du puits York qu'à la base du puits Sunny-Bank, le stade atteint se situe probablement déjà au seuil de la "zone de diagenèse à gaz".

Sikander & Pittion (1978) ont examiné trois puits de la séquence silurienne (La Vérendrye, New Peninsular et York) et trois puits de la séquence dévonienne (Sunny-Bank: 7; Tar Point: 8: Québec Oil). Ils précisent que la série silurienne du puits York indique un état peu mature à mature à sa partie supérieure, correspondant à un pouvoir réflecteur (Ro) de 1%, mais qu'une évolution rapide de la maturation est observée pour atteindre un niveau supra-mature au fond du puits (Ro = 2%). D'autre part, les mêmes auteurs indiquent que les valeurs du pouvoir réflecteur passsent de 2% à 3,5% pour la série silurienne des puits La Vérendrye et New Peninsular situés plus à l'ouest. Cet accroissement des Ro serait attribuable, selon eux, à l'épaississement de la couverture post-silurienne vers le centre de la péninsule ainsi qu'à une activité thermique régionale plus intense, reflétée par les volcaniques dans la Formation de Saint-Léon et les intrusifs dévoniens vers le centre du bassin sédimentaire. Cependant, la présence d'une activité ignée régionale vers le centre de la Péninsule gaspésienne ne semble pas être supportée par une analyse des gradients des pouvoirs réflecteurs avec l'enfouissement (% Ro/100 m). Ainsi, ces auteurs notent des gradients très variables, passant de 0,096% à York, à 0,030% à New Peninsular et à 0,063% à La Vérendrye, alors qu'on devrait observer un accroissement du gradient à l'approche du centre d'activité ignée. Sikander & Pittion (1978) concluent aussi que la couverture sédimentaire érodée au-dessus du Silurien était de 3660 m à La Vérendrye, de 4575 m à New Peninsular et de 2745 m à York. Ils obtiennent ces valeurs en considérant un enfouissement continu et un gradient géothermique normal. On note cependant que, pour de telles épaisseurs de couverture érodée, leur figure 8 laisse voir que ce gradient géothermique normal correspond à 0,03% Ro/100 m pour les puits La Vérendrye et York et à 0,04% Ro/100 m pour New Peninsular, ce qui est différent des valeurs qu'ils ont calculées. De plus, ils ne semblent pas tenir compte des différences dans le % Ro/100 m pour le calcul des épaisseurs de couverture érodée.

Pour l'étude des strates dévoniennes de la Gaspésie, Sikander & Pittion (1978) font état d'une évolution immature à mature pour les Grès de Gaspé, pour atteindre les niveaux mature à supra-mature à la base des Calcaires Supérieurs de Gaspé. Au puits Sunny-Bank, les pouvoirs réflecteurs passent de 0,8% dans les Grès de Gaspé à environ 1,5% à la base des Calcaires Supérieurs de Gaspé. A ce niveau, il y a une cassure dans l'évolution des Ro, suggérant la présence probable d'une faille normale. Selon ces travaux, l'épaisseur de la couverture érodée au-dessus du puits Sunny-Bank est de l'ordre de 915 m, alors qu'elle est de 3050 m, avec un gradient de 0,02% Ro/100 m, pour Tar Point. Tout comme pour la séquence silurienne, les auteurs tiennent compte des mêmes prémices pour le calcul des épaisseurs érodées. Ils concluent également à un accroissement de la maturation vers le centre de la Péninsule gaspésienne dû aux intrusifs dévoniens.

Cette discussion, fort sommaire, des travaux antérieurs nous incite à reconsidérer l'évaluation de l'évolution dia-catagénétique de l'est de la Gaspésie. Finalement, Sikander & Pittion (1978) concluent que les Formations de Grande-Grève et de Cap Bon Ami sont les roches mères à l'huile les plus probables alors que les unités siluriennes sont davantages à potentiel gazéigène. Une analyse des teneurs en carbone organique (COT) et de la composition des MOD permettra d'étoffer ces conclusions.

CHAPITRE I

DISTRIBUTION ET NATURE DES MATIÈRES ORGANIQUES DISPERSÉES (MOD)

Les techniques d'évaluation de la maturation thermique des MOD dans les roches sédimentaires sont conditionnées tant par la quantité que par le type de matière organique (MO). La quantité et la nature des MOD sont également deux paramètres essentiels à l'évaluation du potentiel pétroligène des séquences. Une analyse de la quantité et des types de MOD s'impose donc avant d'amorcer ces évaluations.

QUANTITÉ DE MOD

La répartition du carbone organique total (COT) dans les séquences est présentée aux tableaux 3a à 3g (annexe 5) ainsi que sur la figure 2. Ces tableaux montrent de faibles teneurs en carbone organique pour l'ensemble de la région, ces teneurs excédant rarement 0,5% alors que 75% de ces échantillons contiennent moins de COT que la moyenne des séquences de même teneur en résidus insolubes (fig. 2). On note, dans le puits Gaspé-Sud (tab. 3d), un enrichissement au niveau des Formations de Shiphead et de Cap-des-Rosiers. Le type d'échantillonnage ainsi que les résultats obtenus ne favorisent pas une zonation stratigraphique du COT.

Sous réserve d'études plus détaillées, la distribution aléatoire des faibles teneurs en COT dans l'ensemble de la région, exception faite du Groupe de Québec, peut s'expliquer: soit par une réduction des teneurs originelles en COT par dégazéTfication des MOD lors de la dia-catagenèse à savoir la formation et l'évacuation de ∞_2 (décarboxylisation) et de CH₄ (déméthylation); soit par une migration des hydrocarbures silurodévoniens dans le Groupe de Québec et dans certains niveaux réservoirs des Formations de West Point et de Griffon Cove River.

TYPE DE MOD

L'examen du résidu palynologique, tant en lumière transmise que réfléchie, permet une évaluation semi-quantitative des MOD (tab. 3). De façon très schématique, on note:

 Une nette prédominance des végétaux supérieurs dans les Grès de Gaspé;



FIGURE 2 - Teneur en carbone organique en fonction du résidu insoluble au HCl pour l'ensemble des puits et coupes de terrain. Pour détails, voir les figures 2a à 2g (annexe 2). Diagramme de Sourisse & Gauthier (1969).

- 2) Un enrichissement des substances amorphes dans les Calcaires Supérieurs de Gaspé ainsi qu'à la partie supérieure du Groupe de Chaleurs;
- Une occupation apparente, par les microfossiles, d'un intervalle stratigraphique plus important en passant du bloc central au bloc nord;
- 4) Une distribution hétérogène des pyrobitumes;
- 5) Une distribution qui reste à être précisée en ce qui à trait aux exinites (mégaspores) et aux alginites.

L'étude détaillée des MOD sera publiée sous peu. Ce qui suit fait toutefois office d'ébauche sur la distribution des divers types de MO (tab. 3a à 3g). Cet examen succint vise à mesurer l'incidence de la nature des MOD sur le comportement des indicateurs de maturation thermique.

OBSERVATIONS EN LUMIÈRE RÉFLÉCHIE

L'examen des sections polies en lumière transmise laisse voir de gros fragments de végétaux dans les Grès de Gaspé. Parfois très abondants, les débris de ces végétaux forment un lit de charbon à l'anse à Brillant (fig. 1), mais se retrouvent le plus souvent sous forme dispersés ou concentrés en laminae (annexe 1, pl. 1, fig. 1). La MOD ligno-humique est d'ailleurs suffisamment abondante pour être reconnue par combustion (fig. 2c) et pyrolyse (fig. 3 et 4). Ces débris de végétaux se composent de macéraux fréquemment associés à des pyrobitumes. Les assemblages macéraux-pyrobitumes observés sont, par importance décroissante:

- L'assemblage vitrinite (annexe 1, pl. 1, fig. 2) - pyrobitume (pl. 1, fig. 4) ou huminite-pyrobitume selon le niveau de maturation;
- L'assemblage exinite (pl. 1, fig. 6) "pyrobitume" ou liptinite-"pyrobitume" selon le rang;
- L'assemblage pseudo-vitrinite (pl. 1, fig. 2)semifusinite (pl. 2, fig. 1);
- L'assemblage inertinite (biofusinite)-sphérolite (pl. 2, fig. 2 et 3).

Dans l'assemblage vitrinite-pyrobitume, le pyrobitume affiche un pouvoir réflecteur très près de celui de la vitrinite. Les vitrinites bien texturées (pl. 1, fig. 2 et 3) passent localement à des collinites, lesquelles se confondent à des fragments de pyrobitume. Ce pyrobitume renferme encore fréquemment des quartz terrigènes fins (pl. 1, fig. 4) de quelques microns de diamètre. Une description plus détaillée des pyrobitumes est présentée à la fin de ce chapitre.

L'assemblage exinite-"pyrobitume" se compose, en plus des sporinites (pl. 1, fig. 4), d'un macéral de teinte foncée en lumière réfléchie et autofluorescent en lumière ultra-violette. Ce macéral, parfois bien texturé (pl. 1, fig. 4), fréquemment associé à la micrinite (pl. 1, fig. 5 et 6), montre une frange périphérique plus réfléchissante semblable au "pyrobitume" de cet assemblage (pl. 1, fig. 5). Quoique l'identification précise de ce macéral reste encore à faire, nous l'associons à l'"alginite". Certains fragments très semblables en lumière réfléchie montrent des structures cellulaires suggérant qu'il pourrait s'agir, dans ce cas, d'humotélinite. Le "pyrobitume" de cet assemblage a un pouvoir réflecteur intermédiaire entre l'exinite ou la résinite (pl. 1, fig. 6) et celui des vitrinites associées. De plus, il existe une complète transition entre l'exinite et le "pyrobitume" où toutes les valeurs intermédiaires des pouvoirs réflecteurs sont observées. C'est ce type d'association avec les exinites qui incite à croire qu'il s'agit là de bituminite ou possiblement d'exudatinite altérées. Considérant l'incertitude qui persiste quant à l'affinité précise de cette MO et de son caractère hautement insoluble aux solvants organiques, nous employons le terme "pyrobitume". Les sporinites (pl. 1, fig. 4) constituent un autre macéral de cet assemblage d'origine sapropelique.

L'assemblage pseudo-vitrinite - semifusinite se caractérise le plus souvent par des figures de dégazélfication, telles que vacuoles et fissures (pl. 2, fig. 1). Ces macéraux sont parfois bien texturés et leurs cellules végétales sont alors fréquemment remplies de quartz terrigène fin et de pyrite framboïdale.

L'assemblage inertinite-sphérolite représente les MOD à pouvoir réflecteur très élevé. Les sphérolites (pl. 2, fig. 3) montrent un liséré de teinte foncée en lumière réfléchie. Ce liséré de moindre pouvoir réflecteur pourrait résulter du polissage moins prononcé en bordure de

l'élément figuré, dû à la forme sphérique de ces matières organiques. Il pourrait, localement, refléter la présence d'une substances néoformée exudatinite - ultérieurement altérée - "pyrobitume" - ayant agglutiné le pourtour des sphérolites. Les inertinites (figure 5) regroupent les pyrofusinites (Ro > 5%), les biofusinites (5% > Ro > 2%) et les semifusinites (Ro < 2%). D'une manière générale, seul le pouvoir réflecteur semble permettre de différencier ces divers macéraux. Les figures de dégazélfication des semifusinites - pseudo-vitrinites ne suffisent pas toujours pour les différencier des inertinites. Ces dernières possèdent fréquemment des cavités (pl. 2, fig. 2) pouvant s'apparenter soit aux vacuoles de dégazéification (op. cit.) soit aux cellules végétales.

OBSERVATIONS EN LUMIÈRE TRANSMISE

L'examen du résidu palynologique en lumière transmise montre, dépendamment des sondages (ou coupes) et du niveau stratigraphique considérés, des microfossiles (spores, acritarches, chitinozoaires), des tissus végétaux, des fragments anguleux noirs, de la matière organique amorphe et de la pyrite. En dehors des sondages Québec Oil et York, le résidu palynologique des échantillons étudiés a livré des microfossiles en quantité suffisante pour permettre l'évaluation de l'indice d'altération thermique.

De façon générale, on note que les microfossiles organiques sont plus abondants et présents sur un intervalle stratigraphique plus



FIGURE 3 - Composition élémentaire et niveau de maturation thermique des matières organiques dispersées de la région étudiée, d'après le diagramme de Van Krevelen (1961) modifié par Bostick (1979). Voir les figures 3a à 3d (annexe 3) pour plus de détails.

important au fur et à mesure que l'on se déplace vers le nord. Ainsi, alors que seul l'intervalle Shiphead - York River est fossilifère à Sunny-Bank et Gaspé-Sud, les microfossiles organiques sont présents depuis le Roncelles jusqu'au York River dans les sondages Douglas et Gaspé-Nord ainsi que dans les coupes de terrain.

L'évaluation semi-quantitative de la matière organique amorphe (ou amorphogène) dans les lames palynologiques a été esquissée pour faciliter l'interprétation des données de l'analyse élémentaire (fig. 3 et 4) et de la pyrolyse en température programmée (fig. 7a-7d). De fait, l'enrichissement concomittant en amorphogène et en hydrogène dans les Calcaires Supérieurs de Gaspé du puits Sunny-Bank (IH, tab. 3e, annexe 5) ou en azote dans le Groupe de Québec du puits Douglas (N\$, tab. 3c, annexe 5) laisse penser à une origine sapropélique de l'amorphe dans cette portion du bassin appalachien. Cette nature sapropélique du kérogène est supportée par la présence d'algues et l'abondance d'acritarches dans le résidu polynologique des Calcaires Supérieurs de Gaspé du puits Sunny-Bank.

ANALYSE PAR PYROLYSE

Le diagramme de Hunt (1979) a été conçu pour permettre une différenciation entre les charbons sapropéliques, les charbons ligno-humiques, les pyrobitumes asphaltiques, les "reservoir bitumen" et les asphaltites (fig. 4). Pour l'interprétation de ce diagramme, seul le soufre organique doit être retenu dans le calcul du rapport atomique N+S/O. Dans la figure 4, ce rapport tient compte du soufre total et, à ce titre, des analyses supplémentaires doivent être réalisées pour une interprétation adéquate du diagramme. Néanmoins, et malgré le caractère ubiquiste des pyrites, cette figure laisse présumer:

- Que les Grès de Gaspé renferment surtout des MOD charbonneuses de type III (Van Krevelen, 1961);
- Que la Formation d'Indian Cove est encore marquée par les MOD charbonneuses mais que les unités sous-jacentes contiennent surtout des kérogènes qui, selon le diagramme de Hunt (1979), seraient de type pyrobitume asphaltique, "reservoir bitumen" et asphaltite.

Selon la version originale de ce diagramme, aucun des échantillons répertoriés dans la figure 4 ne supporterait la nature sapropélique de l'amorphogène et ce, même dans les intervalles enrichis en matière organique amorphe. Toutefois, si l'on trace sur ce diagramme les zones correspondant aux quatre types de MOD identifiés dans la diagramme de Van Krevelen (1961) à divers niveaux d'évolution dia-catagénétique (Héroux **et ai**., 1981), alors la figure 4 n'excluerait pas une source sapropélique pour les MOD dans les groupes sous-jacents aux Grès de Gaspé.

La figure 3 corrobore la prédominance de végétaux supérieurs dans les Grès de Gaspé et la nature sapropélique des MOD à 535, 1908 et 2535 m dans le puits Gaspé-Sud (fig. 3b, annexe 3). Ces niveaux correspondent également à un enrichissement en amorphogène (tab. 3d, annexe 5).



FIGURE 4 - Composition élémentaire et niveau de maturation thermique des matières organiques dispersées de la région étudiée. D'après le diagramme adapté de Hunt (1979). Voir l'annexe 4 (figures 4a à 4d) pour plus de détails.

Cette dernière relation entre l'enrichissement en amorphogène et l'origine sapropélique des MOD s'observe également dans les puits Sunny-Bank (1376 et 1605 m, fig. 3c - 4c et tab. 3e) et Douglas (1855 et 1990 m, fig. 3a et tab. 3c). Cette relation n'étant pas systématisée pour l'ensemble de la région, des études plus détaillées sont nécessaires afin de préciser le caractère pétroligène ou gazéigène de la MOD dans cette région. Toutefois, les analyses par pyrolyse programmée confirment que l'intervalle enrichi en amorphogène dans le puits Douglas, la Formation de Griffon Cove River et le Groupe de Québec est, de toute la séquence, celui qui contient le plus d'hydrocarbures (tab. 3c). L'augmentation de l'index hydrogène, la réduction de l'indice de production et les hautes valeurs du rapport H/C pour ce même intervalle (tab. 3c) confirment le caractère pétroligène (oil prone) de l'amorphogène par oppòsition aux MOD charbonneuses à caractère gazéigène des unités sus-jacentes. Dans le puits Sunny-Bank (tab. 3e), il y a une bonne relation entre l'accroissement des teneurs en MOD amorphe et le potentiel pétroligène.

Les pyrobitumes asphaltiques se présentent essentiellement sous deux formes. Dans les Calcaires Supérieurs de Gaspé et dans le Groupe de Chaleurs, les pyrobitumes se présentent, le plus souvent, sous forme de remplissage intracristallin (pl. 2, fig. 4) et inter-cristallin (pl. 2, fig. 5). Ce kérogène s'apparente aux épi-impsonites par son pouvoir réflecteur (1,60%) et son habitat. Toutefois, dans les préparations où il est détaché de son contexte minéral, il ressemble aux vitrinites et aux organoclastes, lesquels affichent des pouvoirs réflecteurs équivalents, notamment pour des niveaux de maturation équivalents à 1% < Ro < 2%. Cette dernière observation concorde avec celle de Robert (1973). Ces pyrobitumes correspondent, de par leur habitat, aux "reservoir bitumen" de Hunt (1979) et renferment parfois des quartz néoformés.

Dans les unités terrigènes à grains fins, lesquelles sont les principales lithologies des Groupes de Chaleurs et de Québec, les pyrobitumes asphaltiques forment une trame filamenteuse, le plus souvent associée à des sphérules de pyrite framboïdale et des quartz terrigènes de la taille des silts (pl. 2, fig. 6). L'habitat de ce kérogène laisse croire à un coimatage de la roche mère. D'autre part, les pyrobitumes intimement associés à des derniers, ayant un pouvoir réflecteur plus élevé et s'apparentant au type "reservoir bitumen" ou épi-impsonite, suggèrent un remplissage de fissures et/ou de cavités. Le pyrobitume de type "reservoir" ou "épi-impsonite", ressemblant à la vitrinite, a un caractère migré par opposition au pyrobitume de colmatage de la roche mère. L'écart des pouvoirs réflecteurs entre ces deux types remet en cause la signification des pouvoirs réflecteurs dans les séquences dépourvues de végétaux supérieurs.

Seuls la séquence cambro-ordovicienne, la Formation de West Point (localement) et les Grès de Gaspé ont des teneurs en carbone organique plus élevées que la normale. La prédominance de végétaux supérieurs dans les Grès de Gaspé confère à cette lithologie un potentiel essentiellement gazéigène (gas prone). L'enrichissement en matière organique amorphe, possiblement de nature sapropélique, dans la Formation de West Point et la séquence cambro-ordovicienne, et plus particulièrement de type algaire dans les Calcaires Supérieurs de Gaspé, confère un caractère pétroligène (oil prone) à ces unités. Ainsi donc, la séquence cambro-ordovicienne, la Formation de West Point et les Calcaires Supérieurs de Gaspé ont, à des degrés divers, un potentiel roche mère à huile. Néanmoins, la présence de pyrobitume indique que ces huiles sont déjà partiellement altérées. Dans les chapitres qui suivent, l'étude de la maturation thermique permettra de préciser le potentiel à hydrocarbures de cette région.

CHAPITRE II

NATURE ET DISTRIBUTION DES MINERAUX D'ARGILE

Les minéraux des argiles qui ont été détectés dans l'ensemble des échantilions étudiés sont l'illite, la chiorite, la smectite et deux interstratifiés, soit un type irrégulier, formé d'illite et de smectite, et un type régulier, formé, à part égale, de chiorite et de smectite, nommé corrensite. Ce dernier minéral n'est pas très commun et sa formation est souvent le résultat de l'évolution dia-catagénétique des smectites dans des environnements appauvris en aluminium et potassium et plus riches en fer et en magnésium. On retrouve ces conditions, en particulier, dans les faciès volcano-détritiques.

ILLITE

L'illite est, en règle générale, le minéral le plus abondant parmi ceux identifiés dans les fractions granulométriques inférieures à 2 μ m et comprises entre 2 μ m et 16 μ m. On note deux exceptions, les puits Gaspé-Sud et Douglas, où plusieurs échantillons montrent des teneurs minoritaires en illite (tab. 3c et 3d).

Dans les roches sédimentaires, l'illite peut avoir trois origines. Elle peut être héritée, formée par aggradation à partir des smectites à travers un stade intermédiaire d'interstratifiés illite-smectite, ou être entièrement néoformée à partir des solutions circulant dans la roche. Il est très important de pouvoir différencier les modes d'origine si l'on veut utiliser l'abondance relative et les propriétés de ce minéral comme indicateur d'évolution dia-catagénétique.

L'évolution de la température et des fluides interstitiels au cours de l'enfouissement induit des transformations cristallochimiques à l'intérieur des cristallites d'illite. Les illites héritées ne seront affectées que lorsque les conditions thermodynamiques les placeront en déséquilibre par rapport à celles où elles étaient lors de leur formation. Ce sera généralement à des profondeurs où règnent des températures qui ont conduit les matières organiques à un stade d'évolution correspondant à la limite de la zone à gaz à condensats et de la zone à gaz sec. D'autre part, les illites résultant de la filière smectite-interstratifiés-illite apparaîtront beaucoup plus tôt, soit dans la zone à gaz humide précoce ou au tout début de la fenêtre à huile. On note leur apparition à la dégradation apparente du stock d'illite, tel que reflété par la plus grande asymétrie et par l'élargissement du pic 001 de l'illite. Dans les puits étudiés, comme c'est le cas en général, les illites ont une double origine: une partie est héritée et est plus abondante dans la fraction 2-16 µm et l'autre est le résultat de l'évolution de la phase smectitique. Nous verrons au chapitre suivant les implications de cette observation.

INTERSTRATIFIÉS ILLITE/SMECTITE

Tout comme l'illite, ce type minéral est présent dans pratiquement tous les échantilions. bien qu'en quantité moindre que le premier. De même, comme l'illite, une partie est héritée alors qu'une autre provient de l'évolution des smectites. Cette conclusion est tirée à partir de la détermination de la proportion de feuillets gonflants dans l'édifice phyllosilicaté. En effet, une partie du stock montre moins de 25% de feuillets smectitiques alors que, d'autre part, on observe des taux de 25 à 80% de ce type de feuillets, dépendant du degré d'évolution dia-catagénétique. La limite inférieure d'existence de ces minéraux, de même que le taux de gonflants qu'ils contiennent, sont des indicateurs importants pour "chiffrer" la diagenèse d'enfouissement.

SMECTITE

Dans le présent ouvrage, les smectites sont définies comme étant les minéraux qui montrent, à la diffraction aux rayons X, une réflexion entre 1,25 nm, et 1,45 nm sur échantillons non saturés à l'éthylène glycol et à 1,75 nm, si saturés au glycol. Il est bien entendu, que souvent pour ne pas dire toujours, ces minéraux renferment des feuillets illitiques. Cependant, la méthode utilisée pour la détermination des feuillets non gonflants est très mauvaise si ces feuillets forment moins de 20% des cristallites.

Dans le cas présent, les smectites observées montraient une réflexion à 1,25 nm à 50% d'humidité relative, réflexion qui passait à 1,75 nm par saturation au glycol. Cette observation indique qu'elles avaient déjà perdu une des deux couches d'eau interfoliaire qui les caractérisent habituellement, ou que le sodium est le cation interfoliaire.

Des smectites ont été détectées dans deux forages seulement: Gaspé-Sud et Douglas. Dans le premier cas, elles constituent généralement la plus grande part de la fraction inférieure à 2µm, bien qu'elles montrent une régression quantitative avec l'enfouissement. Dans Douglas, leur présence est plus aléatoire et leur abondance beaucoup plus faible. Dans ce dernier cas, il est probable qu'il s'agisse d'un effet de faciès et non pas de diagenèse d'enfouissement, cette dernière ayant pour effet la diminution graduelle des smectites au profit des interstratifiés et des illites. Il est cependant possible que les smectites des puits Gaspé-Sud et Douglas soient une contamination par la boue de forage.

CHLORITE

La formation de chlorite au cours de la dia-catagenèse a été observée, mais le phénomène est encore mal connu et les limites de cette genèse ont été peu étudiées. Cependant, il semble que les chlorites néoformées n'apparaissent qu'assez tard, aux limites de la zone à gaz sec et de l'anchizone. Dans les échantillons étudiés, tout porte à croire que la chlorite est héritée. En effet, et compte tenu de ce qui précède, on en trouve en plus grande quantité dans la fraction 2-16 µm et dans les faciès terrigènes plus grossiers. On en retrouve aussi en grande abondance dans le conglomérat contenant des fragments de roches ignées basiques de la Formation Griffon Cove River. Il est à noter que l'on retrouve aussi de la corrensite dans cet horizon.

En résumé, les minéraux dominants dans

l'ensemble des forages sont l'illite et les interstratifiés illite-smectite. Une partie de ces minéraux est héritée alors que l'autre provient de la transformation de smectites lors de la diacatagenèse d'enfouissement. Les smectites sont présentes dans deux forages seulement, Gaspé-Sud et Douglas, et montrent un pic à 1,25nm, indiquant qu'elles ont déjà commencé à évoluer à cause de l'enfouissement par la perte d'une couche d'eau intorfoliaire. Les chlorites sont assez rares et sont de toute évidence héritées.

CHAPITRE 111

CORRÉLATION DES PARAMÈTRES DE CATAGENÈSE

Les paramètres d'évaluation de la maturation thermique utilisés pour cette étude sont:

- Le pouvoir réflecteur; la coloration; la pyrolyse, tant sur la roche totale (rock eval) que sur le kérogène (analyses élémentaires) en ce qui a trait aux MOD;
- La minéralogie des argiles; la position du pic
 001 des smectites et l'indice d'aigu de l'illite en ce qui a trait à la phase minérale.

Une corrélation entre ces paramètres est présentée par Espitalié et al. (1977), Héroux et al. (1979) et Kubler et al. (1979). Ces auteurs soulignent que les principaux facteurs affectant ces paramètres sont: l'imprécision dans l'identification des MOD servant aux mesures des pouvoirs réflecteurs, l'incertitude dans la signification des pouvoirs réflecteurs mesurés sur les organoclastes et les pyrobitumes (Robert, 1973), l'interaction nature-degré d'évolution des MOD dans les analyses par pyrolyse, et la sensibilité des phases argileuses aux facteurs autres que la maturation thermique, tels l'héritage et le chimisme du milieu.

Le présent chapitre a pour objet de préciser la limitation des indicateurs d'évolution de la maturation thermique utilisés dans cette étude, tels qu'ils apparaissent à la figure 9.

MESURES DU POUVOIR RÉFLECTEUR

Les mesures de réflectance ont été effectuées sur trois des assemblages de MOD décrits au premier chapitre: l'assemblage vitrinite-pyrobitume, l'assemblage exinite-"pyrobitume", et l'assemblage pseudo-vitrinite-semifusinite.

En zone immature, les liptinites, les huminites et les inertinites ont des pouvoirs réflecteurs très différents (fig. 5a à 5d). Ces écarts diminuent avec l'évolution thermique pour ne former qu'une seule lignée évolutive à partir de 1,3% Ro pour les exinites-vitrinites et à 5% pour les vitrinites-inertinites. L'évolution des pouvoirs réflecteurs pour chacun des assemblages de MOD dans la région étudiée, telle qu'on peut la lire dans les figures 5a à 5d est comparable à celle proposée par Alpern (1970). Cette évolution indique que l'on peut utiliser dans une certaine mesure les valeurs du Ro sur les pyrobitumes. De plus, les figures 6b à 6e montrent un bon parallélisme entre l'évolution des pouvoirs réflecteurs de ces trois assemblages de MOD et la profondeur, ce qui corrobore les précédentes affirmations. En l'absence de macéraux, notamment de la vitrinite, l'utilisation des pouvoirs réflecteurs sur pyrobitume dans un certain intervalle de maturation est tout à fait justifiée quoique l'interprétation des valeurs mesurées reste sujette à vérification si l'on compare à l'évolution du Ro de la vitrinite.

COLORATION

L'indice d'altération thermique est estimé à partir de la coloration des microfossiles organiques. Dans les niveaux où ceux-ci sont absents, seule une approximation est proposée, établie à partir de l'état de conservation des tissus et de l'amorphogène présent dans les lames.

Dans le but de faciliter la comparaison

entre les données des observations en lumière transmise et en lumière réfléchie, la corrélation entre l'échelle de l'indice d'altération thermique (IAT), la coloration des microfossiles et le pouvoir réflecteur de la vitrinite a été suivie. Cette corrélation, proposée par Hood, Gutjahr & Heacock (1975, fig. 2) a été reprise par Héroux et al. (1979), en y ajoutant d'autres paramètres. Elle s'établit comme ci-dessous.

Coloration Jaune				Bru	Notr	
IAT	1	2	2,5	3	3,5	4
Réflectance	0,2	2	0,5	1,15	1,5	2,5

Pour chacun des sondages et des coupes étudiées, l'estimation de l'I.A.T. et son évolution à travers la séquence sont représentées sur les tableaux 3a à 3g (annexe 5).

Les indications de maturation thermique fournies par la coloration de la matière organique sont de plus comparées à celles établies par la réflectométrie et la minéralogie des argiles (fig. 9). Ainsi, malgré son caractère subjectif, l'IAT est un outil valable pour apprécier l'évolution thermique des sédiments.

ANALYSES PAR PYROLYSE

Plusieurs travaux font état de corrélations entre les rapports atomiques H/C et O/C et d'autres paramètres d'évaluation de la dia-catagenèse. Une compilation de ces travaux est présentée dans Héroux **et al.** (1979). Ces rapports reflètent tant la nature que l'état de





- 24 -





- 25 -





- 26 -





- 27 -

maturation du kérogène. Le diagramme de Van Krevelen (1961) a toutefois été conçu pour diverses lignées de la biomasse pouvant générer des hydrocarbures. Aucune étude n'a jusqu'à présent tenté d'établir l'influence des pyrobitumes asphaltiques (pl. 2, fig. 4, 5) sur ces rapports atomiques. A cet égard, on note que les échantillons pauvres en pyrobitume dans le puits Douglas (tab. 3c) montrent un certain décalage entre le niveau de maturation dans la figure 3a (Ro = 0,5à 0.55%) et les valeurs de réflectance du tableau 3c. D'autre part, les échantillons du Cambro-Ordovicien enrichis en pyrobitume (pl. 2, fig. 6) montrent un décalage encore plus grand entre les réflectances des figures 3a et 6c. Ces pyrobitumes asphaltiques, dérivés d'hydrocarbures liquides - enrichis en hydrogène, montrent une teneur élevée en oxygène pouvant résulter de l'altération. Le caractère oxydé des pyrobitumes serait alors responsable de l'augmentation de l'index oxygène correspondant à des teneurs plus élevées en pyrobitume dans le puits Douglas (tab. 3c). Lorsque ces pyrobitumes asphaltiques sont soumis à des conditions de maturation thermique ne permettant pas la conservation des hydrocarbures liquides (Ro > 1,3%), ils semblent se conformer davantage au comportement des macéraux associés (fig. 3b).

Le diagramme de Hunt (fig. 4) n'a pas été conçu dans le but de permettre l'évaluation du niveau de maturation thermique des MOD. Pour l'utilisér de la sorte, il faut déterminer le % de soufre organique, celui qui compte dans cette évaluation. Pour éliminer le soufre d'origine non organique du diægræmme de la figure 4 il faudrait procéder æu dosæge du fer. La présence ubiquiste de pyrite suggère que cela produirait une diminution des rapports atomiques (N+S)/O dans les figures 4a à 4d (annexe 4). Il s'ensuivrait que la maturation thermique serait moins élevée que l'indiquent actuellement les figures 4a à 4d.

Exception faite des travaux d'Espitalié et al. (1977) où les index hydrogène (IH) et oxygène (10) sont corrélés aux rapports atomiques H/C et O/C, nous ne connaissons pas d'ouvrages où ces index sont comparés à d'autres paramètres de maturation thermique. Cette corrélation entre index et rapports atomiques est en fait très imprécise tant en ce qui a trait aux séquences immatures qu'à celles dont l'évolution est plus avancée (fig. 7a à 7c). Le rapport H/C versus IH montre des effets de tassement de l'IH pouvant être attribués à la rétention des hydrocarbures par la matrice minérale (Espitalié et al., 1980). Exception faite de la figure 7b, où l'index oxygène montre une diminution systématique en passant des Grès de Gaspé aux Calcaires Supérieurs de Gaspé puis au Groupe de Québec, l'utilisation de ces figures reste particulièrement douteuse. D'autre part, l'interprétation globale des paramètres de la pyrolyse programmée (tab. 3c à 3f) permet de conclure que:

 Dans le puits Douglas (tab. 3c) la séquence se situe, en terme de catagenèse des MOD, au niveau de la fenêtre à huile potentielle (FHP) pour un indice de production (IP) infé-



FIGURE 6a - Régression des pouvoirs réflecteurs avec la profondeur. Coupes de terrain.



FIGURE 6b - Régression des pouvoirs réflecteurs avec la profondeur. Puits Gaspé-Nord.

- 30 -



FIGURE 6c - Régression des pouvoirs réflecteurs avec la profondeur. Puits Douglas.

- 31 -



FIGURE 6d - Régression des pouvoirs réflecteurs avec la profondeur. Puits Gaspé-Sud.

- 32 -



FIGURE 6e - Régression des pouvoirs réflecteurs avec la profondeur. Puits Sunny-Bank.



FIGURE 6f - Régression des pouvoirs réflec teurs avec la profondeur. Puits York.



FIGURE 6g - Régression des pouvoirs réflecteurs avec la profondeur. Puits Québec Oil.

ו 35 י



FIGURE 7a - Pyrolyse programmée des MOD du puits Douglas. A - Index d'hydrogène (IH) en fonction de l'index d'oxygène (IO). B - Corrélation du rapport atomique H/C en fonction de l'index d'hydrogène. C - Corrélation du rapport atomique O/C en fonction de l'index d'oxygène.

rieur à 1,0 et dans la zone à condensats (conservation des hydrocarbures liquides) pour un IP de 1,0. Considérant les relations entre les énergies d'activation (E = Kcal./Mol; fig. 3a) et les courbes de réflectance dans la figure 6c, on constate un niveau de maturation thermique plus avancé (Ro > 1%) pour que l'amorphogène à tendance sapropélique atteigne la fin de la FHP à la base du puits.

2 - Dans le puits de Gaspé-Sud (tab. 3d), la sé-

quence se situe dans la FHP jusqu'à 2000 m. Cet intervalle ne montre que très peu ou pas d'évolution des paramètres de la pyrolyse programmée. Cette absence d'évolution thermique correspond à la très faible augmentation des réflectances et des colorations. Au-dessous de 2000 m, la séquence se situe dans la zone de conservation des hydrocarbures liquides, ce qui correspond à des réflectances comprises entre 1,0% et 1,4%. La chute plus rapide de l'index oxygène et l'augmentation rapide du potentiel génétique re-


FIGURE 7b - Pyrolyse programmée des MOD du puits Gaspé-Sud. Voir figure 7a pour explications.

flètent soit la présence d'une plus grande quantité d'amorphogène, soit un gradient géothermique plus prononcé, soit les deux à la fois. Cette dernière hypothèse semble la plus probable, compte tenu d'un enrichissement en amorphogène et de la pente de la droite de régression des réflectances.

3 - Dans le puits Sunny-Bank (tab. 3e), l'intervalle au-dessus de 2250 m se situe dans la FHP (0,5% < Ro <1,0%), si on considère l'IP inférieur à 1,0 et les températures de pyrolyse maximales d'environ 450°C. La diminution progressive de l'IH et de l'IO suggère l'augmentation graduelle de la catagenèse avec la profondeur, ce qui corrobore l'allure des droites de régression de la réflectance et de la coloration. La séquence comprise entre 2250 et 3000 m témoigne pour sa part d'un niveau de maturation correspondant à la zone de conservation des hydrocarbures liquides (1% < Ro < 1,5%). Dans cette partie de la séquence, les IP égalent 1,0. Au-dessous de 3000 m, l'absence des extraits organiques (IH) pourrait signifier que la base du puits est supramature - zone à gaz sec ou plus évo-'uée (Ro > 1,5%).



FIGURE 7c - Pyrolyse programmée des MOD du puits Sunny-Bank. Voir figure 7a pour explications.

4 - Dans le puits York (tab. 3f), l'IH, l'IP et le potentiel génétique (Pg) supposent que la Formation de Saint-Léon a atteint la zone des gaz à condensats. L'absence de ces paramètres dans la Formation de Burnt Jam Brook et le membre de Owl Capes témoigne d'une évolution thermique plus avancée (Ro > 1,5%).

MINÉRALOGIE DES ARGILES

Nous avons défini, plus ou moins arbitrairement, différentes zones caractérisées par des assemblages bien précis. Ces zones sont bien définies par rapport à leur contenu en argiles et non pas par rapport au degré d'évolution de la matière organique. Ce sont les suivantes:

Zones à smectite:

- A₀ Les smectites forment plus de 90% de la fraction argileuse.
- A1 II y a plus de 40% de smectite. Celle-ci est à la fois plus abondante que les interstratifiés illite/smectite et que les illites.



FIGURE 7d - Pyrolyse programmée des MOD du puits York. Voir figure 7a pour explications.

Zones à interstratifiés illite/smectite

Zone à illite

 B_0 - 11 y a encore un peu de smectite; l'illite est à peu près égale aux interstratifiés 1/S. $B_1 = \frac{1}{1/S} < 2$

 $B_2 - \frac{1}{1/S} > 2$

$$c_0 - \frac{1}{1/S} > 4$$

 $c_1 - 1/s < 10\%, \frac{1}{1/s} > 8$

Ces divisions reflètent les situations observées et les diverses zones peuvent être reliées à des stades d'évolution de plus en plus élevés de A₀ jusqu'à C₁.

L'utilisation des assemblages de minéraux à dominante smectite, interstratifiés et illite pour quantifier la dia-catagenèse est basée sur l'évolution des smectites vers les illites avec l'enfouissement. Ce phénomène a été maintes fois observé depuis Burst (1969). A la figure 9, à la colonne "Argiles/minéralogie", nous avons illustré cette évolution. Les données sont tirées de Héroux et al. (1979). On remarque qu'il y a chevauchement entre les divers types de minéraux indicateurs. C'est tout à fait normal si l'on considère l'origine des minéraux impliqués, tel qu'il en a été discuté au chapitre précédent. De plus, l'évolution des smectites vers les illites est un phénomène progressif et la présence d'un minéral déterminé n'est pas exclusive.

Les zones qui ont été définies plus haut sont appliquées au cadre lithostratigraphique et structural, tel qu'illustré aux figures 10 et 11, chacun des puits ayant été découpé suivant la définition des dites zones. Il faut blen noter que la limite de ces zones est très différentes de celles définies par la matière organique, blen que des corrélations puissent être établies entre les deux (voir figures 9, 10, 11). De plus, ces limites ont été établies pour le cas présent et il n'est pas évident qu'elles pourraient s'appliquer ailleurs.

LES SMECTITES

Les smectites qui ont été détectées dans les échantillons ont toutes montré une réflexion située entre 1,25 nm et 1,3 nm, ce qui implique qu'elles avaient déjà subi une déshydratation partielle de leur espacement interfoliaire. Ce passage des smectites 1,4 nm - 1,5 nm à des smectites 1,3 nm - 1,25 nm correspondrait à l'intervalle 0,45% Ro à 0,50% Ro dans les séquences terrigènes fines. Il se peut aussi qu'il s'agisse de smectite Na⁺, de type bentonite.

Le point de disparition des smectites est aussi un indicateur utile de la catagenèse. Cependant, son équivalence exacte avec le faciès organique ne fait pas encore l'unanimité. Nous le fixons autour de 1.1% Ro.

L'INDICE D'AIGU DE L'ILLITE

L'indice d'aigu de l'illite est la mesure en degré 20 de la largeur à mi-hauteur du pic 001 de l'illite (≈1,0 nm). Théoriquement, cette largeur diminue avec l'enfouissement, car l'augmentation de la température, combinée à l'action des fluides présents, contribue à l'amélioration du degré d'ordre et à l'homogénéisation des feuillets, d'où la diminution de la largeur du pic de diffraction. Pratiquement, la théorie ne semble se vérifier que dans les stades avancés de la catagenèse, quand il n'y a plus ou que peu d'interstratifiés. L'abondance relative et le type d'interstratifiés, de même que l'apparition d'illite catagénétique désordonnée, peuvent faire varier de façon inverse l'indice d'aigu avec l'enfouissement (élargissement du pic avec la profondeur). En effet, à mesure que les interstratifiés perdent des feuillets gonflants, la réflexion qu'ils provoquent aux rayons X se rapproche de celle des illites (1,0 nm). A un point donné, elle s'y combine et forme un pic plus large et asymétrique vers les bas angles 20. De même, l'apparition d'illite désordonnée à réflexion plus haute (1,01 nm à 1,02 nm) que l'illite (1,0 nm) provoque l'élargissement du pic de ce dernier.

Il est cependant possible de départager ces divers effets et de s'en servir comme indicateurs de maturation. Sur la figure 9, à la colonne "argiles/indice d'aigu", on note que la limite gauche subit une inflexion vers des indices plus grands puis redevient pratiquement verticale pour évoluer par la suite vers les indices plus Cette courbe représente les indices pris bas. sur les échantillons glycolés. L'inflexion vers la droite représente l'apparition des illites désordonnées et, à la limite, la présence d'interstratifiés avec moins de 15-20% de feuillets gonflants. Par la suite, ces illites évoluent "normalement" vers des polymorphes mieux ordonnés et, nonobstant leur origine, présentent des indices d'algu montrant une moindre dispersion.

Les indices mesurés sur les échantillons non saturés au glycol sont assez variables dans les premiers stades de la diagenèse. Leur valeur dépend de la minéralogie en général car, au naturel, plusieurs pics peuvent s'additionner autour de 1,0 nm et le résultat ne représente en rien l'état d'ordre (ou cristallinité) des illites. Cependant, avec l'évolution de la dia-catagenèse et, donc, la diminution des interstratifiés et du taux de feuillets gonflants dans ceux-ci, la largeur du pic "composite" diminue, d'où l'expression amélioration de la cristallinité alors qu'il n'en est rien.

Pour bien utiliser le paramètre indice d'aigu, il faut donc utiliser les valeurs mesurées sur échantilions naturels et glycolés et analyser les variations avec la profondeur (trend) aussi bien que les valeurs numériques comme telles.

DISCUSSION

Comme nous l'avons vu précédemment, la composition et les propriétés de la phase argileuse que l'on peut observer dans une roche sédimentaire peuvent être la résultante de plusieurs phénomènes. Parmi les plus significatifs, citons l'évolution de la température et du chimisme du milieu avec l'enfouissement, l'héritage ainsi que le faciès lithologique étudié. L'étude des minéraux d'argile peut donc donner des renseignements intéressants sur ces divers phénomènes, à la condition toutefois de pouvoir en départager les divers effets. On sait que la réflectance des divers macéraux organiques dépend de leur nature, de la température à laqueile ils sont soumis et du temps pendant lequel ils y sont effectivement soumis. Ainsi, pour évaluer la maturation thermique, une certaine prudence s'impose quand on compare les résultats ou les interprétations tirés de l'étude minéralogique et ceux provenant de l'étude des matière organiques.

Dans les sédiments terrigènes fins, les divers indicateurs minéralogiques et organiques ont été confrontés et nous avons établi, de façon empirique, les équivalences entre eux. Dans le présent travail, nous donnons des valeurs de réflectance en fonction des assemblages et propriétés minéralogiques observés. Ces valeurs sont celles qui seraient "normalement" mesurées dans les séquences terrigènes fines. Il n'est donc pas surprenant qu'il arrive, dans quelques cas, qu'il y ait disparité entre ces valeurs et celles effectivement mesurées sur le matériel étudié. On sait aussi (Bertrand **et al**., 1983) que ces disparités reliées principalement aux faciès lithologiques s'amenuisent et disparaissent dans les stades les plus évolués de la catagenèse, soit à partir de la zone à condensat.

Si on ajoute à ce qui précède que la coloration des MOD et l'IAT qui s'y rattache sont des données subjectives, ordinales, non traitables en statistique gaussienne, on comprendra que l'on retienne la réflectométrie comme le meilleur indicateur quantifiable.

CHAPITRE IV

ZONÉOGRAPHIE THERMIQUE DES UNITÉS STRUCTURALES

La zonéographie thermique des unités structurales sera présentée, successivement, pour le bloc sud (puits Québec Oil et York), le bloc central (puits Sunny-Bank et Gaspé-Sud) et le bloc nord (puits Douglas et Gaspé-Nord et coupes de terrain).

BLOC SUD

Les puits Québec Oil et York se composent de séquences sédimentaires se situant dans la catagenèse avancée. Seuls les 500 premiers mètres du Québec Oil sont encore dans la zone mature mais à un niveau de maturation plus avancé que celui de la FHP. Les indicateurs thermiques placent les séquences forées du bloc sud parmi les plus évoluées de la région étudiée. Ces observations sont compatibles avec les travaux réalisés en 1972 par l'INRS mais diffèrent quelque peu des travaux de Sikander & Pittion (1978).

PUITS QUEBEC OIL

Les pyrobitumes asphaltiques du puits Québec OII s'apparentent par leur morphologie et leur réflectance à ceux de l'assemblage vitrinite-pyrobitume. Au sommet du puits, dans la Formation d'Indian Cove, les réflectances voisinent des valeurs de 1%, pour progresser linéairement jusqu'à des valeurs de 2,2% à la base du puits, dans la Formation de Shiphead (tab. 3g, fig. 6g). Cette progression a un gradient de 0,705% Ro/km (fig. 6g, fig. 8). Ces valeurs correspondent au début de la zone à condensats, au sommet du puits, et au milieu de la zone à gaz secs à sa base.

L'IAT des palynomorphes s'étale de 3,0 à 3,8 avec un gradient Ro équivalent de 0,60%/km (tab. 3g). Ces colorations corroborent le niveau de catagenèse à la base du puits, mais suggèrent un degré d'évolution légèrement plus avancé pour le sommet (fig. 9).

L'indice d'aigu de l'illite (tab. 3g) est corrélé négativement avec la profondeur (r_{n=12} = 0,52). D'autre part, la fraction argileuse inférieure à 2 microns se compose:

- Surtout d'illite, avec un peu d'interstratifiés, entre 240 m et 816 m (zone C_0);
- Essentiellement d'illite dans l'intervalle
 816 m à 1733 m (zone C₁).

Ces minéralogies correspondraient, respectivement, à des réflectances de 1,0% à 1,5% et 1,5% à 2,0% (Héroux et al., 1979), bien que l'indice d'aigu suggère une évolution un peu plus élevée. L'apparition des chlorites vers 800 m correspond au changement de faciès entre la Formation d'Indian Cove, essentiel lement calcareuse, et la Formation de Shiphead, beaucoup plus détritique. Cette coïncidence incite à croire que la chlorite est héritée.

PUITS YORK

La séquence du puits York (tab. 3f) se situe stratigraphiquement au-dessous de celle du puits Québec Oil. Néanmoins, les réflectances mesurées sur les pyrobitumes asphaltiques et les organoclastes du puits York suggèrent un niveau de maturation moindre qu'à la base du puits Québec Oil. Les pouvoirs réflecteurs du puits York tournent autour de 1,8% et les colorations passent de 3 à 3,5. Ces valeurs (fig. 6f) marquent la fin de la zone à condensats (Cl sur la figure 9).

L'absence de corrélation entre l'indice d'aigu naturei (IAn) et la profondeur (tab. 3f), la faible valeur moyenne et la faible variation de cet indice ($IAn = 0,70 + 0,04^{\circ}2\theta$) indiquent un équilibre entre la production d'illite désordonnée et l'homogénéisation du stock illitique. Elle correspondrait à des réflectances de 1,5% -1,8%. La haute teneur d'illite et la faible quantité d'interstratifiés (zone C1, tab. 3f) favoriseraient plutôt l'hypothèse que la zone à gaz sec inférieur est atteinte. A noter que les hautes teneurs en chlorite dans la Formation de Saint-Léon du puits York sont probablement de caractère hérité, tout comme dans la Formation de Shiphead de Québec Oil.

En définitive, tous les précédents indicateurs thermiques témoignent que la séquence du puits York a au moins atteint la zone des gaz à condensats (fig. 9). Cette conclusion corrobore les observations basées sur les analyses de pyrolyse programmée. Celles-ci supportent un pouvoir réflecteur de plus de 1,5% dans la formation de Burnt Jam Brook et le membre de Owl Capes. Dans ce dernier cas, la base du puits York se situerait dans la zone (étage) supra-mature, au début du sous-étage des gaz secs (sous-étage MEI de la figure 9).



FIGURE 8 - Gradient des pouvoirs réflecteurs pour chacun des trois assemblages de MOD répartis dans les puits et coupes de terrain.



FIGURE 9 - Corrélation des indicateurs thermiques et niveaux de maturation des séquences dans les unités structurales de la région de Gaspé. 1 45 1 La figure 9 permet donc de conclure que toutes les séquences du bloc sud ont dépassé la FHP et que seuls les 500 premiers mètres du puits Québec 011 sont encore dans la zone mature. Le reste des séquences est supramature. Cette maturation thermique est indépendante du contexte stratigraphique. Pour un même niveau stratigraphique, elle croît du nord vers le sud (fig. 11).

BLOC CENTRAL

Bien que les séquences traversées par les puits Sunny-Bank et Gaspé-Sud soient plus épaisses que celles étudiées dans le bloc sud, elles sont sensiblement moins matures à niveaux stratigraphiques équivalents.

PUITS SUNNY-BANK

La vitrinite de la partie sommitale du puits Sunny-Bank a une réflectance moyenne de 0,7%; à la base du puits, les pouvoirs réflecteurs sur pyrobitume asphaltique dépassent 1,7% (tab. 3e, fig. 6e). Le gradient de progression de ces pouvoirs réflecteurs est de 0,15%/km du sommet jusqu'à 2300 m et de 0,60%/km au-dessous (fig. 6e et 8). Ce bris de pente dans l'évolution des pouvoirs réflecteurs (tab. 3e) n'est pas lié au changement de faciès lithologique comme on serait tenté de le croire, même s'il coïncide avec le contact entre les Calcaires Supérieurs de Gaspé et les unités plus terrigènes du Groupe de Chaleurs. Ainsi, les calcaires dans le puits Québec Oil et les faciès terrigènes du Groupe de Chaleurs dans le puits Sunny-Bank affichent tous

deux des réflectances dépassant 1% et des gradients assez semblables (fig. 8). De plus, il n'y a pas de changements notables dans le gradient des colorations (tab. 3e). L'indice d'altération thermique (IAT), basé sur cette coloration, passe de 2,5 (Rô = 0,5%) au sommet du puits, dans la Formation de York River, à 3,2 (Rô = 1,5%) dans le Groupe de Chaleurs. Le gradient Ro équivalent (Rô) de l'IAT est identique au gradient des Ro observés (0,32%/km). Le bris de pente dans la droite de régression des réflectances correspond à la fin de la FHP dans le puits Sunny-Bank. Ce brusque saut des pouvoirs réflecteurs reflète vraisemblablement une modification dans la composition du kérogène qui, dès lors, ne produit plus d'extraits organiques. Dans ce sens, nous ne croyons pas que le bris de pente du gradient des pouvoirs réflecteurs soit dû à la présence d'une faille normale comme le proposent Sikander & Pittion (1978).

La réflectance et l'IAT corroborent en tout point la zonation thermique établie, au chapitre précédent, à l'aide des analyses par pyrolyse programmée: la FHP se situe au-dessus de 2250 m; l'invervalle compris entre 2250 m et 3000 m correspond à la zone de conservation des hydrocarbures liquides ou aux condensats de la zone mature; au-dessous de 3000 m, la séquence est supramature et atteint la zone à gaz secs (MEI, fig. 9).

L'indice d'aigu des illites ne montre pas de corrélation avec l'enfouissement dans le puits Sunny-Bank (tab. 3e). La valeur moyenne de cet indice est de 0,79 + 0,10°20. Ces trois observations laissent présumer que cette séquence, bien que moins mature que celle du puits York, est située à la fin de la zone mature (0,9% < Ro < 1,7%). La minéralogie des argiles se découpe en deux zones: au- dessus de 2000 m, la séquence appartient à la zone à interstratifiés (zone B₁); au-dessous de 2000 m, eile appartient à la zone à illites, quoique les chlorites et les interstratifiés solent présents (zone Co). Tout comme pour les MOD, l'association minéralogique des argiles (B1) témoigne d'une maturation équivalente à la fin de la FHP ou à la zone à condensats inférieure (CI) dans la demie supérieure du puits (0,9% $< R\hat{o} < 1,3\%$) et à la fin de la zone à condensats à la base du puits (1,4% < $R_0^{\circ} < 1.8\%$). La distribution des chlorites va de pair avec les faciès les plus terrigènes, la Formation de York River et le Groupe de Chaleurs. L'absence de chlorite héritée dans la Formation de Shiphead suggère un environnement de dépôt plus distal par rapport aux deux précédentes unités lithostratigraphiques.

PUITS GASPE-SUD

La séquence du puits de Gaspé-Sud a une zonation thermique comparable à celle du puits Sunny-Bank (fig. 9). Ces zones thermiques sont toutefois décalées vers le haut de la séquence lithostratigraphique à comparer avec Sunny-Bank (fig. 10, 11). Au-dessus de 1600 m, les réflectances s'étalent de 0,9% à 1,1% avec un gradient de 0,11%/km (fig. 6d, tab. 3d). Ce gradient est comparable à celui du puits Sunny-Bank pour des réflectances inférieures à 1%. Depuis 1600 m, où les pouvoirs réflecteurs sont de 1,1%, jusqu'à 2850 m, où ils atteignent 1,6% Ro, le gradient est de 0,42%/km (fig. 6d). Cet intervalle couvre toute la zone des gaz à condensats qui, contrairement à son homologue du puits Sunny-Bank, se produit dans les Calcaires Supérieurs de Gaspé pour un gradient équivalent (fig. 9). Cette dernière observation appuie l'hypothèse selon laquelle ce bris de pente est attribuable à une modification dans la composition du kérogène. Dans la séquence cambro-ordovicienne, les réflectances fluctuent entre 1,48% et 1,65% (fig. 6d). Ajouté aux interprétations basées sur les analyses par pyrolyse du chapitre précédent, le puits Gaspé-Sud se situe dans la FHP jusqu'à une profondeur de 1600 à 2000 m et dans le sous-étage des gaz à condensats de la zone mature de cette profondeur jusqu'à la base. Les gaz provenant des essais des essais aux tiges de Gaspé-Sud donnent des composantes supérieures jusqu'en C₈, ce qui appuie les précédentes conclusions (B. Granger, SOQUIP, communication personnelle, fevrier 1980). Quoique le sommet du puits Gaspé-Sud ait des MOD à pouvoirs réflecteurs plus élevés que dans le puits Sunny-Bank (fig. 9), le gradient plus faible rencontré dans le puits Gaspé-Sud (fig. 8) fait que la base de ce dernier possède des réflectances légèrement plus faibles que celles de Sunny-Bank (fig. 9).

L'indice d'altération thermique dans le puits Gaspé-Sud est identique à celui de Sunny-Bank (fig. 9). De 2,5 au sommet du puits, dans la Formation de York River, il atteint 3,2 dans le Groupe de Chaleurs. Dans les deux puits, l'intervalle couvert est de 2800 m, ce qui donne un même gradient Ro équivalent de 0,31%/km.

C'est par la minéralogie de ses argiles (tab. 3d) que le puits Gaspé-Sud se différencie le plus du puits Sunny-Bank. A unité lithologique constante, les Calcaires Supérieurs de Gaspé dans le puits Gaspé-Sud appartiennent à des zones à smectites. Ces smectites, de type d (001) = 1,2 nm, marquent généralement l'apparition de la FHP. Cependant, il est possible que ces smectites soient les bentonites de forage contaminant les échantillons. Les réflectances correspondantes aux zones minéralogiques sont, pour l'ensemble du puits, de 0,5 à 0,6% pour l'intervalle 540 à 1450 m (A₀) et de 0,5 à 1,0% pour l'intervalle 1610 à 3354 m (A₁). D'autre part, les argiles de la Formation de York River (B_n) suggèrent davantage un niveau de maturation équivalent à 1% de pouvoir réflecteur pour le sommet du puits Gaspé-Sud. De plus, l'IAn et l'IAg ne confirment pas l'existence du début de la FHP, car aucune corrélation positive significative n'est trouvée entre ces indices et la profondeur. Cependant, bien que la valeur moyenne de cet indice soit identique à celle du puits Sunny-Bank (IAn = 0,80 + 0,13°20), la variation de cet indice est beaucoup plus grande. Ces quelques observations portent à conclure que la séquence du puits Gaspé-Sud, sur la base de sa minéralogie argileuse, est nettement moins mature que celle de Sunny-Bank.

De ce qui précède, et malgré les écarts de maturation estimée, on peut conclure que la séquence du bloc central va du milieu de la FHP jusqu'au milieu de la zone à condensat. Il est difficile de préciser le sens de la croissance de la maturation. Toutefois, les argiles et la coloration favorisent une augmentation de la maturation thermique du nord vers le sud et de l'est vers l'ouest.

BLOC NORD

Nous ne pouvons pas préciser si la séquence du puits Douglas appartient à cette unité structurale ou à celle du bloc central. Toutefois, compte tenu de ses caractéristiques stratigraphiques et structurales (B. Granger, communication personnelle; D. Brisebois, 1981), on présume qu'elle présente plus d'affinités avec les unités du bloc nord.

PUITS DOUGLAS

La séquence du puits Douglas a un pouvoir réflecteur moyen de 0,8% à son sommet. Cette moyenne, établie sur les vitrinites, diffère sensiblement de celle des pyrobitumes asphaltiques (fig. 6c). Cet écart s'explique par la coexistence d'un pyrobitume asphaltique de l'assemblage vitrinite-pyrobitume et d'une MOD qui lui ressemble mais qui peut être liée à la frange d'aitération des "alginites" (pl. 1, fig. 3). La réflectance croît très lentement, atteignant 0,95% au sommet de la Formation de Roncelles (tab. 3c). Le gradient dans cet intervalle est de 0,068%/km ou 0,091%/km, selon que l'échantillon à 55 m est inclus ou non. Les Grès de Gaspé du puits Douglas ont donc une maturation thermique équivalente à celle du Groupe de Chaleurs dans la coupe de Rivière au Renard. L'IAT, dans ce même intervalle, s'échelonne de 2,6 à 2,8 (tab. 3c), ce qui confère un niveau de maturation moins avancé que les pouvoirs réflecteurs (fig. 9) (0,6% < Rô < 0,8%). Le gradient de ces Ro équivalents est de 0,13%/km, soit 1,5 à 2 fois plus élevé que celui de la réflectométrie.

L'IAg croît de façon significative avec la profondeur (tab 3c°; $R_{n=26} = 0,34$). Pareil comportement pour cet indicateur thermique intervient généralement au tout début de la catagenèse (fig. 9; 0,4% < Rô < 0,9%). La minéralogie des argiles dans le puits Douglas ressemble beaucoup à celle du puits Gaspé-Sud. La zone à smectite (A_1) couvre l'intervalle 55 à 1840 m, avec un intervalle à interstratifiés (B1) entre 520 et 1370 m; la zone à interstratifiés (B₀) stétend de 1840 à 1990 m. Ce dernier intervalle inclut la séquence cambro-ordovicienne. Les différences minéralogiques de la fraction argileuse entre les puits Douglas et Gaspé-Sud reflètent beaucoup plus des variations de faciès que des variations de maturation.

Les analyses par pyrolyse confirment les résultats précédents. Ainsi, compte tenu de la discussion au chapitre précédent, la FHP est toujours perceptible à la base du puits. Le retour à des valeurs moindres pour la réflectance et l'IP, en passant du Groupe de Chaleurs au Groupe de Québec, est lié à la nature du kérogène. Des études plus détaillées ont été amorcées à ce sujet. Si celles-ci confirment l'existence de la FHP dans la séquence cambro-ordovicienne, nous devrons alors remettre en cause notre perception du socle économique à hydro-carbures dans la péninsule gaspésienne.

PUITS GASPE-NORD

Ce puits offre la séquence la plus mature du bloc nord (fig. 9). A son sommet, les réfiectances sont de 1% et progressent lentement avec un gradient de 0,046%/km pour atteindre 1,1% à 1950 m (fig. 6b; tab. 3b) où les études sismiques montrent une discordance. Dans la Formation de Griffon Cove (?), les échantillons à 2200 et 2400 m ont des réflectances de plus de 7%. Ces deux échantillons de l'épizone (fig. 9), ont un IAn de 0,22 à 0,52°20. Quoique l'existence d'une intrusion en profondeur soit hautement spéculative, cette existence reste possible, compte tenu de la croissance rapide du pouvoir réflecteur: la réflectance croît de 1,1% à 1950 m à une valeur moyenne de 8,0% à 2200 m. Ces quelques valeurs mises à part, la séquence se situe dans la zone mature, plus particulièrement au début du stade des gaz à condensats (fig. 9).

Tout comme pour le gradient des réflectances, lequel est le plus faible de toute la région dans le puits Gaspé-Nord (fig. 8), la croissance de l'IAT conduit à un gradient Ro équivalent (Rô) de 0,15%/km dans ce même puits, ce qui est près de la moitié de ceux du bloc central mais trois fois plus que celui calculé par la réflectance. Ainsi, l'IAT démarre à 2,7 (Rô = 0,7%) au sommet de Gaspé-Nord pour se terminer à 2,9 (Rô = 1,0%) vers 2000 m. Ces valeurs correspondent à la demie inférieure de la FHP (fig. 9).

L'IAn et l'IAg ne sont pas corrélés à la profondeur (tab. 3b). Cette observation, ajoutée au fait que l'IAn égale 0,76°20 avec une faible variation (\pm 0,06°20), laisse soupçonner que la FHP est dépassée (1,0% < Rô < 1,5%) (fig. 9). Si on exclut les chlorites qui sont probablement liées au faciès détritique grossier des Grès de Gaspé, la séquence au-dessus de 1000 m appartiendrait à la zone à interstratifiés (B₀). Les 885 m suivants appartiennent à la zone B₂. Cette minéralogie indique une évolution correspondant à la zone à condensats, tout comme le fait l'indice d'aigu.

En résumé, la séquence du puits Gaspé nord se situe thermiquement entre la fin de la FHP (coloration) ou, plus probablement, dans les 2/3 supérieurs de la zone des gaz à condensats. La conservation des huiles est prouvée par les essais aux tiges qui montrent une récupération d'huile au toit de la Formation de Forillon (Ro = 1,1%).

COUPE DE LA RIVIÈRE AU RENARD

Cette coupe se corrèle stratigraphiquement avec l'intervalle de 1500 à 2000 m du puits Gaspé-Nord (fig. 11). Au sommet de la coupe, le pouvoir réflecteur moyen est de 0,82% (fig. 6a). A la base du Groupe de Chaleurs, il avoisine le 1,0%. Le gradient relativement élevé de 0,19%/km se compare au tronçon supérieur de Sunny-Bank (fig. 8). Cette coupe appartiendrait à la fin de la FHP (fig. 9).

L'IAT passe de 2,5 à 2,9 (tab. 3a), ce qui suppose un niveau de maturation couvrant toute la FHP. L'intervalle couvert par ces valeurs va de la Formation de Rosebush Cove au Membre de Cape Road. Le gradient des Ro équivalents (0,47%/km) se compare à celui de Gaspé-Sud (0,42%/km). Il est cependant 2,5 fois plus élevé que celui de la réflectométrie.

Il n'y a pas d'évolution significative de l'IAg avec la stratigraphie. L'IAn moyen (0,78 + 0,04°20) est identique à celui de Gaspé-Nord (0,76 + 0,06°20) mais la variation est plus faible. Cette coupe devrait donc être légèrement plus mature que la séquence de Gaspé-Nord, mais ne pas avoir dépassé un pouvoir réflecteur équivalent à 1,5%. Les argiles de cette coupe sont typiques de la zone à illite (C_0) . Un peu moins riches en chlorite que Gaspé-Nord, la coupe est tout de même marquée par le détritisme: les interstratifiés varient inversement par rapport aux chlorites. Ces indicateurs thermiques confèrent à la coupe une maturation équivalant au milieu de la zone à condensats pour des réflectances de 1,1% à 1,5%.

Globalement, les indicateurs thermiques sont peu concordants dans cette coupe, tout comme dans le puits Gaspé-Nord. Néanmoins, les MOD dans ces deux séquences suggèrent une maturation légèrement moins avancée dans la coupe de la rivière au Renard (fig. 9).

COUPE DE FORILLON (ROUTE 132)

La coupe sur la route 132, dans la péninsule de Forillon, contient les Calcaires Supérieurs de Gaspé les moins matures de toute la région étudiée. Les vitrinites de la Formation de York River, à 10 m au-dessus des Calcaires Supérieurs de Gaspé, ont été immatures. Des études par microspectrofluorescence ont été amorcées afin d'établir la signification de pouvoirs réflecteurs aussi faibles. A première vue, ces valeurs semblent anormales puisque les MOD au sommet de la Formation d'Indian Cove ont des réflectances d'environ 0,6% (fig. 6a). Les réflectances progressent très lentement pour atteindre 0,75% au sommet du Groupe de Chaleurs (tab. 3a). Le gradient des réflectances est comparable à celui du puits Douglas (fig. 8). Ces valeurs de la réflectance placent la séquence de Forillon au début de la FHP (fig. 9). Les différences de gradient dans l'évolution des réflectances entre les coupes de la rivière au Renard et de Forilion (fig. 8), lesquelles forment une continuité lithostratigraphique (tab. 3a), pourraient s'expliquer comme pour les séquences des puits Gaspé-Sud et Sunny-Bank. Au niveau de la Formation de Forillon, la différence du pouvoir réflecteur des deux coupes est de 0,1%. La plus forte valeur du gradient dans la coupe de la rivière au Renard par rapport aux puits Gaspé-Sud et Sunny-Bank (fig. 8), au niveau de la FHP, pourrait ici refléter une différence du gradient géothermique entre ces localités.

Grès de Gaspé à 2,7 (Rô = 0,70%) au sommet du Groupe de Chaleurs (tab. 3a). Ces valeurs soulignent une meilleure continuité que les réflectances dans le niveau de diagenèse des Grès de Gaspé à la catagenèse des Calcaires Supérieurs de Gaspé. Par tant, l'IAT soulève un doute sur la signification des réflectances sur pyrobitume.

L'IAn ne montre pas de corrélation avec le niveau stratigraphique (tab. 3a) et sa valeur est très élevée (1,15 + 0,19°20). Cet indice suggère donc un niveau de maturation équivalent au début de la FHP (fig. 9). La minéralogie des argiles de cette coupe appartient aux zones à interstratifiés: B₁ pour les échantillons à moins de 400 m et B₂ pour ceux entre 825 et 1080 m. D'après cet indicateur, cette coupe serait donc plus mature que celle du puits Gaspé-Sud, les séquences étant lithostratigraphiquement équivalentes. Cette contradiction apparente pourrait s'expliquer si des transformations non liées à la température, telle la silicification. ont affecté spécifiquement les calcaires de cette coupe.

En résumé, la coupe de Forillon semble la moins mature de toute la région étudiée. De plus, à niveau lithostratigraphique égal, le niveau de maturation est moins avancé dans le nord que dans le sud du bloc.

* * *

La zonéographie thermique de la région se résume par une augmentation progressive de la maturation thermique du nord vers le sud ainsi

L'IAT passe de 2,4 (Rô = 0,47%) dans les

que de l'est vers l'ouest. Les unités structurales des blocs nord et sud montrent dans le détail le même type de variation du niveau de catagenèse. Le bloc central présente, d'après la réfiectance seulement, une variation du niveau de catagenèse qui décroît du nord vers le sud et d'est en ouest. Le bloc sud a franchi le seuil des gaz à condensats inférieur, le bloc central va du milieu de la FHP jusqu'au milieu de la zone à condensat, et le bloc nord couvre toute la FHP.

CHAPITRE V

RELATIONS TEMPORELLES ENTRE LA TECTONIQUE ET LA CATAGENÈSE: (DISCUSSIONS DES RÉSULTATS ET CONCLUSIONS)

Les variations de la maturation thermique à l'intérieur de chacune des unités structurales, telles que présentées au chapitre de la zonéographie thermique, nous incitent à proposer un premier modèle d'évolution de la maturation thermique pour trois périodes géologiques. Celles-ci sont schématisées sur les profils A, B et C des figures 10 et 11.

La coupe de la figure 10 est grossièrement orientée E-W, la coupe de la figure 11 est pour sa part approximativement perpendiculaire au grain tectonique et s'oriente N-S. Afin d'éviter que le bloc central ne soit représenté que par un seul sondage (Gaspé-Sud) dans la coupe de la figure 11, la séquence du puits Sunny-Bank y a été projetée, bien que située à l'ouest de celle-ci (fig. 1).

Dans chacune de ces figures, le profil A représente l'interprétation de la structure, de la stratigraphie et de la zonéographie thermique actuelle. La lithostratigraphie, l'estimé des réflectances, l'IAT et la minéralogie des argiles sont reportés pour chacun des forages et pour les coupes de terrain. Les reconstructions géologiques sont tirées de McGerrigle (1950), Roksandic & Granger (1981) et de Brisebois (1981). Le profil B représente la structure hypothétique et la zonéographie thermique lors de l'enfouissement maximum. Le profil C représente les mêmes données lors du début de la sédimentation de la Formation de York River. Les isogrades de maturation à 0,5% et 1,0% (2% lorsque applicables) de réflectance sont ajoutés dans les profils.

Les figures 10 et 11 permettent un certain nombre de considérations géologiques.

1) Il y a accroissement de la maturation thermique dans une même unité lithostratigraphique du nord vers le sud et de l'est vers l'ouest. La réflectance dans le bloc central fait exception (profil A des figures 10 et 11). Cet accroissement particulier peut s'expliquer par une rotation, dans le plan vertical, du bloc central, an-



.

FIGURE 10 - Profils structuraux E-W, à partir des données de la maturation thermique.





térieure ou synchrone à l'accumulation des Grès de Gaspé (profil B, fig. 10, 11). L'effondrement maximum du bloc nord et du bloc central aurait eu lieu à l'emplacement actuel de la faille du Bras Nord-Quest, qui aurait alors joué en chevauchement.

2) La faille du Troisième lac ne s'est probablement manifestée qu'après la période d'enfouissement maximum; aussi n'est-elle pas active dans les profils B et C de la figure 11. Cette hypothèse est des plus vraisemblables si l'on estime le gradient du puits York à partir des séquences voisines. Si le gradient (b_{1g} = 1,17% Ro/km) ici calculé d'après les travaux réalisés par l'INRS en 1972 et repris par Sikander & Pittion (1978), était retenu, l'enfouissement maximum calculé selon notre méthode serait de moins de 2,5 km et la faille du Troisième lac aurait joué en même temps que celle du Bras Nord-Ouest, avant la période d'enfouissement maximal. Dans cette hypothèse, le gradient du puits York serait de beaucup supérieur à celui de Québec Oil $(\hat{b}_{1p} = 0,39\% \text{ Ro/km},$ b_{1g} = 0,70% Ro/km, fig. 8). Un gradient estimé aussi élevé pour la séquence York s'expliquerait difficilement par rapport aux valeurs dans l'ensemble de la région (fig. 8).

3) Selon le modèle proposé dans les figures 10 et 11, la portion du bassin qui s'est enfoncée le plus profondément était un haut structural lors de la sédimentation des Calcaires Supérieurs de Gaspé et de la Formation de York River. Ce haut structural, qui longe le côté nord de la faille du Bras Nord-Ouest, est représenté dans le profil C des figures 10 et 11. Cette interprétation s'appuie sur les faibles gradients de réflectances des puits Douglas et Gaspé-Nord ainsi que sur les valeurs élevées des pouvoirs réflecteurs dans les grès de la Formation de Battery Point. Selon cette hypothèse, le mouvement de subsidence le long de la faille du Bras nord-ouest aurait agi durant la sédimentation des Calcaires Supérieurs de Gaspé pour se poursuivre, tel que suggéré dans la première hypothèse, par des mouvements de chevauchements lors de l'accumulation des Grès de Gaspé. Ces mouvements différentiels, ainsi que l'état de compression affectant ce bassin, sont inférés de l'attitude fortement inclinée des strates du bloc nord dans le profil B des figures 10 et 11. Les impératifs de cette reconstruction reposent sur le fait que, pour tenir compte de la disposition géographique et des valeurs observées des pouvoirs réflecteurs, de même que de la différence de gradient des pouvoirs réflecteurs (plus du double entre les séquences du forage Gaspé-Nord) et de la coupe de la rivière au Renard; fig. 8), il aurait fallu introduire une faille à rejet vertical important entre ces deux séquences pour ne pas modifier l'attitude de leurs strates. Or, cette faille n'est observée ni en surface ni en sub-surface. Il faut donc présumer que les strates du bloc nord ont été fortement plissées entre le temps de dépôt des grès de la Formation de York River (profil C, fig. 10, 11) et le temps de l'enfouissement maximum (profil B, fig. 10, 11).

4) Les coupes géologiques du profil A dans les

figures 10 et 11 montrent qu'il a y eu réajustement isostasique des unités structurales lors de l'érosion des Grès de Gaspé. La faille du Troisième lac serait née de ces mouvements de réajustement et serait ainsi postérieure à la maturation thermique. La faille du Bras Nord-Ouest aurait vraisemblablement joué en faille de gravité lors de ces réajustements tardifs. Le synclinal et l'anticlinal du bloc nord se sont réouverts lors de ces réajustements, sans pour autant reprendre leur position initiale dans le profil C. Leur attitude actuelle dans le profil A, inclinée vers le sud, témoigne d'une sédimentation terrigène au moment de l'enfouissement régional. Paradoxalement, les quelque 2 km de la Formation de Battery Point recouvrent aujourd'hui une région qui formait un horst lors de la sédimentation des Calcaires Supérieurs de Gaspé. Cette observation et nos hypothèses laissent croire que la faille du Bras Nord-Ouest a joué avant, pendant et après l'acquisition du présent niveau de maturation thermique dans la région.

L'amplitude des déformations préconisées par le modèle géologique proposé est largement tributaire des faibles gradients des pouvoirs réflecteurs dans les puits Douglas et Gaspé-Nord (fig. 8); les chronologies relatives de la maturation et de la tectonique ne sont pas affectées, même si l'on change l'ordre de grandeur de ces gradients. Il y a lieu de s'interroger sur la signification des faibles gradients de ces deux séquences, qui se composent de 50% ou plus d'unités terrigènes grossières (les Grès de Gaspé), contrairement aux autres séquences de cette étude. Les Grès de Gaspé, de par leur perméabilité, se prêtent davantage à la circulation des fluides; la conductivité y est aussi plus grande Dans l'éventualité de telles (Clark, 1966). circulation de fluides, il est plausible de s'attendre à une homogénéisation des pouvoirs réflecteurs. Cette homogénéisation sera donc plus prononcée dans les séquences perméables des Grès de Gaspé que dans les séquences argilo-carbonatées des Calcaires Supérieurs de Gaspé et du Groupe de Chaleurs. Les implications de cette éventualité sont importantes, puisque les profondeurs d'enfouissement sont calculées à partir des gradients. Si l'on pouvait quantifier ce phénomène, les profondeurs d'enfouissement calculées pour le bloc nord pourraient être de beaucoup diminuées par rapport à celles des blocs centre et sud, qui resteraient pratiquement inchangées.

Si, par contre, l'on tient compte des différences de pouvoir réflecteur inhérentes à la lithologie, les profondeurs d'enfouissement calculées pourraient se voir sensiblement accentuées. Ainsi, selon Timofeev & Bogalyubova (in Bostick & Foster, 1975), pour un même niveau de maturation thermique, les pouvoirs réflecteurs passent de 0,80% dans les grès à 1,0% dans les charbons. Une pondération des pouvoirs réflecteurs en fonction du lithofaciès permettrait également d'obtenir un gradient plus réaliste pour une séquence donnée et, partant, une image plus exacte des profondeurs d'enfouissement calculées.

SI, de fait, la maturation thermique augmente régionalement d'est en ouest, une compo-

sante de décrochement appréciable entre les blocs nord et centre pourrait expliquer les différences dans les gradients des pouvoirs réflecteurs de part et d'autre de la faille du Bras Nord-Ouest.

Plusieurs hypothèses et contraintes limitent la fiabilité du modèle proposé (fig. 10 et 11). Outre les limitations intrinsèques aux techniques analytiques, le calcul des profondeurs d'enfouissement dans le profil B et la validité des isoréflectances dans les profils B et C sont hypothéqués par les restrictions suivantes.

Pour la majorité des puits, en particulier ceux des blocs centre et sud, les enfouissements ont été estimés à partir de droites de régression (fig.6a à 6g; tab.3a à 3g). En l'absence de celles-ci, ils ont été extrapolés des pentes de la figure 8 et de la réflectance moyenne du puits ou de la profondeur correspondant à un pouvoir réflecteur de 1,0%. L'importance de l'enfouissement, évalué en km, est égale à la valeur absolue de la profondeur dans les équations des droites de régression % Rô = gradient (% Ro/km) x profondeur km + % Ro (surface actuelle) pour un pouvoir réflecteur estimé (% Ro) de 0,3%. Cette valeur de 0,3% de réflectance est ici fixée arbitrairement mais correspond aussi à la valeur minimum de la réflectance que l'on devrait trouver pour de la vitrinite dévonienne. Cet estimé est dérivé des équations de Waples (1981). Il appert, d'autre part, qu'en séquence immature, tel l'offshore du Labrador (Héroux et al., 1981), les réflectances ne commencent à croître significativement qu'à partir de 2,2 km pour des valeurs de 0,25% à 0,30%. Selon Cassou et al. (1977), les gradients géothermiques mesurés en région offshore de l'est du Canada se situent entre 20°C/km et 30°C/km. Or, Gretener (1981) considère que des gradients géothermiques aussi faibles que 20°C/km (1,0°F/100') et aussi élevés que 45°C/km (2,5°F/100') doivent être considérés comme "normaux". Les valeurs extérieures à ces limites indiquent des conditions anormales qui méritent plus ample étude. Ce qui précède nous conduit à fixer une épaisseur maximale de sédiments de 2,2 km au-dessus des niveaux correspondant à des Ro de 0,3% dans la région étudiée (fig. 10 et 11). Il va de soi que, dans le calcul de ces profondeurs d'enfouissement, on considère que la température augmente linéairement avec la profondeur lors de l'enfoulssement.

Cette dernière hypothèse ne tient pas compte, comme l'ont fait Sikander et Pettion (1978), de la possibilité que des intrusions ou la circulation de fluides chauds aient modifié les gradients. De plus, il est connu que la réflectance croît de façon logarithmique avec la température (Waples, 1981) et que, par conséquent, le gradient des réflectances change avec la profondeur. Un exemple de cette variation du gradient des pouvoirs réflecteurs avec l'enfouissement est donné par Alpern (1978). En l'absence d'équation exponentielle permettant de relier la réflectance, le temps et la température aux profondeurs d'enfouissement, nous avons utilisé plusieurs estimations linéaires des réflectances en fonction de la profondeur lorsque des bris de

pentes ont été observés (fig. 6a, d, e). Il en résulte que le calcul des épaisseurs érodées a été estimé par la régression linéaire basée sur les réflectances des échantillons les moins profonds. Ainsi, considérant que le gradient géothermique n'est pas nécessairement uniforme dans la région étudiée, les droites de régression estimées sont, notamment pour les puits Québec Oil et York, inadéquates pour calculer la profondeur équivalente aux pouvoirs réflecteurs de 0,25% -0,30%. Pour la séquence du puits Québec Oil, le gradient correspondant aux réflectances inférieures à 1% de la séquence érodée doit être extrapolé (fig. 8: 0,38%/km). Dans le puits York, l'effectif des échantillons est insuffisant pour le calcul d'une droite de régression. Seule une valeur moyenne a pu être calculée. Les pentes faibles (b_{1p}) et forte (b_{1g}) de la fiqure 8 sont des approximations. Les valeurs de ces gradients observés (b₁) et estimés (\hat{b}_1) de la réflectance versus la profondeur pour toutes les séquences apparaissent à la figure 8. L'intervalle de confiance de ces pentes est établi à un niveau de confiance de 90%.

De ce qui précède, il ressort que, pour estimer les profondeurs d'enfouissement dans le bloc nord, seul le puits Douglas fournit une réponse crédible sans devoir modifier l'attitude structurale de la séquence. Le puits Gaspé-Nord et les coupes de terrain nécessitent que les strates soient plissées et inclinées, tel qu'illustré dans les figures 10 et 11. Cette opération évite de faire appel à des intrusions, des fluides hydrothermaux ou des failles hypothétiques reconnues ni en surface ni en subsurface. Les courbes d'isomaturation ont été tracées à partir du profil B (0,5%, 1,0% et 2,0% de réflectance). Puisque la maturation est vraisemblablement achevée lors de l'enfouissement optimal, les courbes y sont lisses et simples. Dans le profil A, les courbes ont été placées en tenant compte des valeurs des pouvoirs réflecteurs dans chacune des séquences et, pour les zones extrapolées entre les puits, d'après leur position stratigraphique dans le profil B.

La position des isogrades de réflectances dans les profils B et C n'est valable que si les gradients de réflectance, tels que mesurés et reproduits dans le profil A, témoins de la période d'enfouissement maximum (profil B), étaient déjà les mêmes à la fin de la sédimentation des Calcaires Supérieurs de Gaspé (profil C). Dans une telle éventualité, le profil C montrerait les séquences ayant franchi le seuil de la FHP lors de l'accumulation de l'unité-réservoir potentiel, les Grès de Gaspé.

Notons finalement que les coupes géologiques des figures 10 et 11 servent à expliquer la zonéographie établie au chapitre précédent. L'hypothèse majeure nous conduit à représenter les séquences de ce bassin dans une attitude structurale différente de celle qui les caractérise présentement. Cette reconstruction, qui évite, comme on l'a vu, de faire intervenir l'influence de points chauds, s'impose tant par l'existence de gradients de réflectance trop faible (Gaspé nord) que par la nécessité d'introduire le gradient des coupes de terrain subhorizontales. Ainsi, compte tenu de l'obligation de respecter la longueur des contacts inter-formation et leur épaisseur et considérant par ailleurs que le gradient de réflectance dans une coupe subhorizontale ne reflète pas celui de la maturation thermique, les reconstructions des figures 10 et 11 nous apparaissent les plus vraisemblables.

RÉFÉRENCES

ALPERN, B., 1970 - Classification pétrographique des constituants organiques fossiles des roches sédimentaires. Revue de l'Institut français du pétrole; volume 29, no 11, pages 1233-1267.

1978 - Optical properties of palynomorphs and petroleum potential. VI International Palynological Conference, Lucknow (1976-77); volume 1, pages 110-125.

BÉLAND, J., 1978 - Les failles du Bassin du nord-ouest et du Troisième lac de l'est de la Gaspésie. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec; DP-740.

BERTRAND, R. - HÉROUX, Y., 1981 - Carbone organique: indicateur potentiel de palécenvironnements; deux exemples. Journal canadien des Sciences de la Terre; volume 18, no 12, pages 1838-1849.

BERTRAND, R. - HUMBERT, L. - ACHAB, A. - CA-LISE, G. - CHAGNON, A. - HÉROUX, Y. - GLOBEN-SKY, Y., 1982 - Recristallisation des calcaires micritiques en fonction de la maturation thermique dans les Basses Terres du Saint-Laurent du Québec. Journal canadien des Sciences de la Terre; volume 20, no 12, pages 66-85.

BOSTICK, N.H. - FOSTER, J.N., 1975 - Comparison of vitrinite reflectance in coal seams and in kerogen of sandstones, shales and limestones in the same part of sedimentary section. Centre national de la Recherche scientifique, Paris; Colloque international de pétrographie de la matière organique des sédiments; pages 14-25.

BOSTICK, N+H+, 1979 - Microscopic measurements of the level of catagenesis of solid organic matter in sedimentary rocks to aid exploration for petroleum and to determine former burial temperatures - a review. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists; Special publication 26, pages 17-43.

BRISEBOIS, D., 1981 - **Géologie de la région de** Gaspé. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec; rapport intérimaire; DPV-824; 19 pages.

BURST, J.F., 1969 - Diagenesis of Gulf Coast clayey sediments and its possible relation to petroleum migration. American Association of Petroleum Geologists; bulletin, volume 53, no 1, pages 73-93.

CASSOU, A.M. - CONNAN, J. - PORTHAULT, B., 1977 -Relations between maturation of organic matter and geothermal effect, as examplified in Canadian east coast offshore wells. Bulletin of Canadian Petroleum Geology; volume 25, pages 174-194.

CLARK, S.P., 1966 - Handbook of physical constants. Geological Society of America; Memoir 97; 587 pages.

ESPITALIÉ, J. - LAPORTE, J.L. - MADEC, M. - MAR-QUIS, F. - LEPLAT, P. - POULET, J. - BOUTEFEU, A., 1977 - Méthode rapide de caractérisation des roches mères, de leur potentiel pétrolier et de leur degré d'évolution. Institut français du Pétrole, volume 32, pages 23-42.

ESPITALIÉ, J. - MADEC, M. - TISSOT, B., 1980 -Role of mineral matrix in kerogen pyrolysis: influence on petroleum generation and migration. American Association of Petroleum Geologists; bulletin, volume 64, no 1, pages 59-66.

GRETENER, P.E., 1981 - Geothermics: using temperature in hydrocarbon exploration. American Association of Petroleum Geologists; San Francisco annual meeting, May 1981. Short course, education course note series no. 17; 156 pages.

HÉROUX, Y. - CHAGNON, A. - BERTRAND, R., 1979 -Compilation and correlation of the major thermal maturation indicators. American Association of Petroleum Geologists; bulletin, volume 63, no 12, pages 2128-2144.

HÉROUX, Y. - BERTRAND, R. - CHAGNON, A. - CONNAN, J. - PITTION, J.-L. - KUBLER, B., 1981 - Évolution thermique et potentiel pétroligène par l'étude des kérogènes, des extraits organiques, des gaz absorbés et des argiles du sondage Karlsefni H-13 (offshore Labrador Canada). Journal canadien des sciences de la Terre; volume 18, no 12, pages 1856-1877.

HOOD, A. - GUTJAHR, C.C.M. - HEACOCK, R.L., 1975 - Organic metamorphism and the generation of petroleum. American Association of Petroleum Geologists; builetin, volume 59, pages 986-996.

HUNT, J.M., 1979 - The source rock. IN Petroieum geochemistry and geology. W.H. Freeman and Company, San Francisco, Cal., 266 pages.

KUBLER, B. - PITTION, J.L. - HÉROUX, Y. - CHAROL-LAIS, J. - WEIDMANN, M., 1979 - Sur le pouvoir réflecteur de la vitrinite dans quelques roches du Jura, de la Molasse et des Nappes préalpines, helvétiques et penniques. Eclogae Geologicae Helvetiae; volume 72, no 2, pages 347-373.

McGERRIGLE, H.W., 1950 - La géologie de l'est de Gaspé. Ministère des Mines du Québec; RG-35.

INRS-PÉTROLE, 1972 - Étude géochimique de la sé-

rie siluro-dévonienne des sondages Sunny-Bank no 1 et York no 1. Ministère des Richesses naturelles, Québec; DP-0067.

ROBERT, P., 1973 - Analyse microscopique des charbons et des bitumes dispersés dans les roches et mesure de leur pouvoir réflecteur. Application à l'étude de la paléogéothermie des bassins sédimentaires et de la genèse des hydrocarbures. Advances in Organic Geochemistry; 6^e congrès international de géochimie organique, Rueil-Malmaison, France; pages 549-569.

ROKSANDIC, M.M. - GRANGER, B., 1981 - Structural styles of Anticosti Island, Gaspé Passage, and eastern Gaspé Peninsula inferred from reflection seismic data. IN Subcommission on Silurian stratigraphy, Ordovician-Silurian boundary working group. Field meeting, Anticosti-Gaspé, Québec, 1981; volume II: Stratigraphy and Paleontology (P.J. Lespérance, editor; université de Montréal), pages 211-221.

SIKANDER, A.H. - PITTION, J.L., 1978 - Reflectance studies on organic matter in Lower Paleozoic sediments of Quebec. Bulletin of Canadian Petroleum Geology; volume 26, pages 132-151.

SOURISSE, C. - GAUTHIER, J., 1969 - Contribution à la géochimie du carbone organique des roches sédimentaires. Rapport inédit de la Société nationale des Pétroles d'Aquitaine (SNPA).

VAN KREVELEN, D.W., 1961 - Coal-typology, chemistry, physics, constitution. Elsevier Publishing Co., New York; 538 pages.

WAPLES, D., 1981 - Organic geochemistry for expioration geologists. Burgess Publishing Co., Minnesota; 151 pages.

ANNEXE 1

Planches photographiques des matières organiques dispersées dans les séquences sédimentaires de la région de Gaspé.

PLANCHE I

A moins d'indication contraire, toutes les photos montrent des observations en lumière réfléchie avec un grossissement de 600.

FIGURE 1 - Galets de shales (S) et d'anthraxylon (A) à la base de Grès de Gaspé, coupe Forillon.

FIGURE 2 - Vitrinite (Vi) et pseudo-vitrinite (Ps VI.) où les pouvoirs réflecteurs sont respectivement de 1,09% et 1,42%. La vitrinite est bien texturée alors que la pseudo-vitrinite est homogène, avec des vacuoles de dégazéification. Formation de York River, puits Gaspé-Nord, à 830 m.

FIGURE 3 - Vitrinite (Vi) associée à "l'alginite" (Alg.). Même échantillon que celui de la figure 2.

FIGURE 4 - Pyrobitume (Py), ressemblant à la vitrinite, avec un pouvoir réflecteur de 0,93%; mégaspore (B); "alginite" (Alg.) avec Ro = 0,2%; et fusinite (F) avec Ro = 4,0%. Formation de Battery Point, puits Douglas, à 55 m.

FIGURE 5 - "Alginite" (Alg.) contenant quelques zones à micrinite (Mi.). L'alginite, dont la partie centrale a des Ro = 0,11%, est fréquemment bordée d'une frange plus réfléchissante (0,20% < Ro < 0,50%). Zone de transition entre les Formations de York River et Battery Point, puits Douglas, à 1370 m.

FIGURE 6 - Pyrobitume (Py., Ro = 0,8%) associé à l'exinite (E.) ou à la résinite (Re.) 0,2% < Ro < 0,3%. La micrintie (Mi.) est également présente. Formation de Battery Point, puits Douglas, à 100 m.





Planche_1 Figure_4

- 63 -

Planche_I Figure_I



Planche_1 Figure_2



Planche_1 Figure_3



Planche_1 Figure_5



Planche_1 Figure_6

PLANCHE 2

FIGURE 1 - Semifusinite (SF, Ro = 1,88%), avec vacuoles et fissures de dégazéification. Formation de Battery Point, puits Douglas, à 55 m.

FIGURE 2 - Biofusinite (Ro = 2,5%), avec cavités pouvant s'apparenter aux vacuoles de dégazéification des semifusinites. Formation de York River, puits Gaspé-Nord, à 830 m.

FIGURE 3 - Sphérolite de la Formation de West Point, montrant une zonation de son pouvoir réflecteur. Puits Douglas, à 1650 m.

FIGURE 4, 5 - Pyrobitume asphaltique intracristallin et intercristallin dans les calcaires de la zone de discordance séparant les Groupes de Chaleurs et de Québec. Puits Gaspé-Sud, à 2860 m.

FIGURE 6 - Pyrobitume asphaltique, associé à des sphérules de pyrite framboïdale et des quartz de la taille des silts. Le contour des pyrobitumes suggère un moulage de particules pour habitat des kérogènes. Séquence cambro-ordovicienne, puits Douglas, à 1900 m.





Planche_2 Figure_3





Planche_2 Figure_2



Planche_2 Figure_5



Planche_2 Figure_4



Planche_2 Figure_6

ANNEXE 2

Teneurs en carbone organique et en résidu insoluble au HCI dans les séquences forées et les coupes de terrain de la région de Gaspé (figures 2a à 2g)

۲



FIGURE 2a - Teneur en carbone organique (COT) en fonction du résidu insoluble (RI). Coupes de Forillon et de la rivière au Renard.

- 67 -



FIGURE 2b - Teneur en carbone organique (COT) en fonction du résidu insoluble (RI). Puits Gaspé-Nord.



FIGURE 2c - Teneur en carbone organique (COT) en fonction du résidu insoluble (RI). Puits Douglas.



FIGURE 2d - Teneur en carbone organique (COT) en fonction du résidu insoluble (RI). Puits Sunny-Bank







tion du résidu insoluble (RI). Puits York.


tion du résidu insoluble (RI). Puits Québec Oil.

ANNEXE 3

Composition élémentaire et niveau de maturation thermique des matières organiques dispersées de la région de Gaspé, d'après le diagramme de Van Krevelen (1961), modifié par Bostick (1979) (figures 3a à 3d)



FIGURE 3a - Composition élémentaire et niveau de maturation thermique des MOD du puits Douglas.

_



FIGURE 3b - Composition élémentaire et niveau de maturation thermique des MOD du puits Gaspé-Sud.



FIGURE 3c - Composition élémentaire et niveau de maturation thermique des MOD du puits Sunny-Bank.



FIGURE 3d - Composition élémentaire et niveau de maturation thermique des MOD du puits York.

ANNEXE 4

.

Composition élémentaire et niveau de maturation thermique des matières organiques dispersées de la région de Gaspé, d'après le diagramme de Hunt (1979), modifié par Héroux et al. (1981) (figures 4a à 4d)



FIGURE 4a - Composition élémentaire et niveau de maturation thermique des MOD du puits Douglas.



FIGURE 4b - Composition élémentaire et niveau de maturation thermique des MOD du puits Gaspé-Sud.



FIGURE 4c - Composition élémentaire et niveau de maturation thermique des MDD du puits Sunny-Bank.



FIGURE 4d - Composition élémentaire et niveau de maturation thermique des MOD du puits York.

ANNEXE 5

Compilation des analyses (tableaux 3a à 3g)

C	OORDONN	IÉES	STR	AT IGR /	PHIE		M	ATIËRE ORGANIQUE		MINĒRALOGIE DES ARGILES							
	PROFO	NDEUR	10DE	ATION	DLOGIE	QUANTITÉ	NATURE	0,5 IJ IS 20 →	NINĚ	RALOGIE	Γ	INDICE	D'AIGU				
H DING	PIE QS	MÈTRES	PÉR	FORM	L: TH	COT %	AN ORPH.	UO 1.5 20 25 COLORATION DE LA MATIÈRE ORGANIQUE (Col.)	D (2 /4m	16 A4 m) D) 2 A4 m	24 42	D { 2 بلا m	16 /4m) () 2 /4m				
14 606 14 605 14 500 14 500 14 595 14 595 14 595 14 588 14 588	2000	500		arillon Shiphead Indian York Cove River				Ro. Point exclus solution of the sector of				2	00 20				
14 578 14 567-68 14 564-66 14 563 14 563 14 559-60-74 14 557-58-73 14 555-56	4000	1000-		Point R.P. o.a. C.a. F		ي ال											
14 554 14 553 14 550-51 14 548-49		1500 —	Děvo	iles Resebusch Ceve		-	2	Renord Rivière au Reno									
14 545 14 544 14 539-41 14 539-41 14 535 14 535 14 536	8000	2000 	Cambro-Silurian ordovician superiaur	ffon Cove			3	E CENDE LITHOLOGIQUE				**	•				
	8800 —	2300 —		Gri				Conglomérat Grés T. x Grés calcareux Image: Shale Shale									
	10000-	3000 —						L = Mudstone calcareux L = Nudstone dalamitique Calcaire argileux Calcaire dalamitique argileux Calcaire dalamitique argileux Calcaire Calcaire calcareux Calcaire Calcaire calcaire Calcaire Calcaire calcaire calcareux Calcaire Calcaire calcaire calcareux Calcaire calcaire calcareux Calcaire calcaire calcarique L amină	Illite Chlorite Smectile	Interstratifiée	∳ ¢	– Nature) – Glycolée					

TABLEAU 3a - Compilation des analyses. Coupes de Forillon et de la rivière au Renard.

MINÉRALOGIE DES ARGILES ORGANIQUE STRATIGRAPHIE COORDONNÉES MATIËRE RÉFLECTANCE (Ro.) 10 15 20 -----
 PROFONDEUR
 BOANTIE
 NATURE

 MEDS
 WETRES
 BOANTIE
 COT 1/2
 ANORPH.
 VEG.SUR
 EXINITE
 PYROBIT.
MINÉRALOGIE 0,5 Nº INRS 10 1.5 20 2.5 COLORATION DE LA NATIÈRE ORGANIQUE (Col.)---D < 2 /4m |6 /4m) D) 2 /4m D{2/4m 19347 Point 14 3 4 8 500 Batter, 2000nférie 14 349 NITES VITRIMITE VITRIMITE 14 350 SPHEROL ITE 1000 14 351 1.0 14 352 RARE 4000 a .a vitrinte 14 353 ÷ alan t orillo 1500-14 354 14355 6000 - 14 356 14 381 2000supérieur 14 382 Silurien ndéte PYROBITUME Romogene 14 383 8 000 ---Ro. 7.5% 2500-Cambro-ordovicien 14 384 ((.~~~) 10000 - 3000 -22 mite Interstratifiée —— Naturel Chlorite Corrensite ---- Glycolée Smectite

TABLEAU 3b - Compilation des analyses. Puits Gaspé-Nord.

- 86 -

I.

.





COORDONNÉES STRATIGRAPHIE MATIÈRE ORGANIQUE REFLECTANCE (R₀.) 1,0 1,5 2,0 <u>→ → →</u> P ERIODE FORMATION LITHOLOGIE QUANTITÉ PYROLYSE PROGRAMMÉE PROFONDEUR NATURE KEROGENE 0.5 N* IN RS H mgHC/gcot 10 mgC0/gcot 1 Prod. E0/HCT PC6A6. 11200 5600 1.00 0.00 0.00 0.00 0.00 10 LS 20 25 COLORATION_DE_LA_MATIÈRE_ORGANIQUE (Col) S1% CENDRE% H/c 0/c FIEDS NÊTRES THer. . C % COT % AMORPH. VEG. SUP. EXINITE PYROBIT. N/c N+St/ o H% 0% N% 14223 EXIMITE SPORES ET RÉSIMITE ? Re Ĉ٥ River -0-I 33 34 VITRINITE York 35 E 14 240 أستبيبالاليلسا 500 -41 42 43 2000 -15 48 49 14 250 51 PSEUDO-VI / SEMIF 1000-58 4000---____ 59 14 260 أيبلياليي 61 PERONITUME ressemblent & In 2 1500 -8 ____ ____ 55 69 14 2 70 łį 6000-73 _ 74 75 ____ 76 77 2000-14 280 81 82 83 84 009-85 89 14290 91 92 93 2500ŧ 94 95 96 97 95 99 E 0 0 8 9 14 300 01 02 03 04 len Roslers 10000-3000-..... 05 06 20.0 07 08 14 3 10

- 88 -

1

.



	COORDON	NÉES	STR	ATIGRAPH	IE					·						MATIĒRE	0 R (
	PROFI	DNDEUR	1 ODE	VTION	S QUANTITÉ		NA.	IVRE		PYROLYSE PROGRAMMEE					KÉROGÈNE								REFLECTANCE (Ro.) 05 10 1.5		
N* INR:	PIEDS	NETRES	PÉRI	FORMA	COT %	AMORPH.	VEG. SUP.	EXINITE	PYROBIT.	IH #gHC/gCOT	10 mgC0/gCOT	I Prod. EO/HCI	PGéné. mgHCT/gR	T Mor.	c C %	Н%	0 %	N %	St %	CENDRE %	"∕c	º/c	*/c	N+St/ 0	20 2'5 3'0 <u>Coloration_de_la_matière_org</u> anic
13 017 13 085 13 087 13 089 13 091 13 095 13 098 13 098	2000 -	500		York River HHHH			MINNIE PSEUDO-NITNATE Startus, & INERT.	Etuit	a situta		• • • • • • • • • • • • • • • • • • •	• · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·								• ' 2: 					Re.
14 004 14 005 14 010 14 012 14 014 14 017 14 021 14 023 14 025 14 025 14 033 14 037 14 044	4000 -	1000	färlaur	d Indian Cove 1. Att HELETELETE				RÉSINITE	10X13531																
14 046 14 050 14 055 14 065 14 065 14 065 14 065 14 075 14 075 14 075 14 075 14 075 14 075 14 075 14 075 14 075 14 075	6000-	2000-	Dévanien inf	Forillon Shiphea ParkHHHHHHHHHHHHH					e la attraite		- - - -		atestiat pitratigan mya	<u>↓ 405</u>						 					
14 094 14 095 14 095 14 101 14 101 14 115 14 116 14 115 14 116 14 117 14 117 14 120	8000-	2500-		0R (CR Ind. 4.H.Hoge IIII * 5.H.F. + R.H.H.					F:SOBITUNE resemblad						_	-									
14 122 14 124 14 126 14 129 14 131 14 135 14 136 14 130	10 000 -	3000-		celles Indian Point Periodical Point							- - - - -			-	-				<u>.</u>			 		-	-~-\ -\ -\

- 89 -





- 90 -



00	ORDONN	ÉES	STRA	TIGR/	PHIE													MAT	IÉRE	ORGAN	IQUE						
	PROFO	IDEUR	IODE	ATION	DLOGIE	QUANTITÉ	É		NATURE				PYROLYS	SE PROG	RANNÉE						KÉR	OGENE					0,5 1,5 1,5 2,0 <u>→</u> C
	PIEDS	MÊTRES	PÉR	FORM	E	COT %	<u> </u>	MORPH.	VEG. SUP	EXIN	TE	H mgHC/gCOT	10 mg C0/gCOT	Prod EO/HCT	Pcéne. mgHCT/st	T Hez, M	C %	Н %	0 %	N %	St %	CENDRE %	[₩] /c	º/c	. ^N /c	N+St/ 0	10 15 20 25 COLORATION DE LA MATIÈRE ORGANIQUE (Col.)
48 49 50 53			— Devonien	Paint					PSEUDO-VITRIMITE		SPHEROLITE					31400 42		5000					<u> </u>	0 13	<u> </u>		Col.
0 .2 i4		500 -		nt – Léon Gascor		-)					-														
	2000 -			luis. 1 Owl Soli		• ' • •		,		EXUDATINITE				1		-	-	-		-	-	<u> </u>			-	-	
		1000	rien —	m Laforce	H H H H H	-	$\ $				-		L_							——.	-			_			
	4000 -		5 i l u	Burnt Jo Brook			-						.					<u> </u>	-	- <u></u> -	<u>-</u>						
		1500 -									ŝ																
	6000 -																										
		2000 -														,						and multiplicate states are a					
,	. 00 0 -														i												
		2500 -																				-					
		1000 -																									
		2000 -										-															

- 91 -

i



TABLEAU 3f - Compilation des analyses. Puits York.