

Commission géologique
du Canada



Recherches en cours 2000-D12

Analyse structurale et tectonique de la Plate-forme du Saint-Laurent (Québec, Canada) : résultats préliminaires

Muriel Rocher, Alain Tremblay, Léopold Nadeau et Denis Lavoie

2000



Ressources naturelles
Canada

Natural Resources
Canada

Canada

©Sa Majesté la Reine du chef du Canada, 2000
N° de catalogue M44-2000/D12F-IN
ISBN 0-660-96282-9

Les bibliothèques de dépôt d'un bout à l'autre du pays ont accès à la présente publication par l'intermédiaire du site Web du Programme des services de dépôt (<http://dsp-psd.tpsgc.gc.ca>).

Pour un téléchargement gratuit de la version numérique de ce document, voir le site web de la Librairie de la Commission géologique du Canada :

<http://cgc.mcan.gc.ca/librairie/>

Cliquez sur «Téléchargement gratuit».

Les demandes de permission pour reproduire cet article, en tout ou en partie, à des fins d'utilisation commerciale, de revente ou de redistribution doivent être adressées à la Division de l'information géoscientifique, pièce 200, 601, rue Booth, Ottawa (Ontario) K1A 0E8.

Adresses des auteurs

M. Rocher (mrocher@NRCan.gc.ca)
A. Tremblay (atremblay@NRCan.gc.ca)
INRS-Géoresources
Centre géoscientifique de Québec
2535, boulevard Laurier
C.P. 7500
Sainte-Foy (Québec) G1V 4C7

L. Nadeau (lnadeau@NRCan.gc.ca)
D. Lavoie (delavoie@NRCan.gc.ca)
CGC-Québec
Centre géoscientifique de Québec
2535, boulevard Laurier
C.P. 7500
Sainte-Foy (Québec) G1V 4C7

Analyse structurale et tectonique de la Plate-forme du Saint-Laurent (Québec, Canada) : résultats préliminaires¹

Muriel Rocher, Alain Tremblay, Léopold Nadeau et Denis Lavoie
Centre géoscientifique de Québec, Sainte-Foy

Rocher, M., Tremblay, A., Nadeau, L. et Lavoie, D., 2000: Analyse structurale et tectonique de la Plate-forme du Saint-Laurent (Québec, Canada) : résultats préliminaires; Commission géologique du Canada, Recherches en cours 2000-D12, 7 p. (en ligne; <http://www.nrcan.gc.ca/gsc/bookstore>)

Résumé : La Plate-forme du Saint-Laurent constitue la marge passive occidentale de l’Océan Iapetus. Elle remonte au Cambrien-Ordovicien précoce et est recouverte en partie par des roches sédimentaires de l’Ordovicien du bassin d’avant-pays des Appalaches. Une étude est en cours afin de reconstituer l’évolution tectonique et structurale de cette plate-forme dans la région des basses terres du Saint-Laurent. Les mesures de fractures effectuées sur le terrain ont permis de réaliser une analyse des paléocontraintes. On met en évidence une extension nord-ouest–sud-est majeure, responsable du jeu normal des failles nord-est–sud-ouest bordant cette région au nord. Cette extension est attribuable à l’effondrement de la marge, mais semble s’être poursuivie pendant et après la collision appalachienne, laquelle est enregistrée localement dans les basses terres du Saint-Laurent sous forme de structures témoignant de compressions ouest-nord-ouest–est-sud-est à nord–sud. Enfin, des événements tardifs tels que des extensions nord-est–sud-ouest et nord–sud, ainsi qu’une compression nord-est–sud-ouest sont également reconstitués.

Abstract: The Cambrian-early Ordovician St. Lawrence Platform represents the eastern passive margin of the Iapetus Ocean and is partly covered by Ordovician sedimentary rocks of the Appalachian foreland basin. A study is underway to reconstruct the tectonic and structural history of the platform in the St. Lawrence Lowlands area. Field data were used for paleostress analyses. A major northwest-southeast extension, which caused normal movement along northeast-trending faults bordering the region to the north, is attributed to the collapse of the margin, but apparently continued during and after the Appalachian collision. This collision is recorded locally in the St. Lawrence Lowlands as structures indicating west-northwest–east-southeast to north-south compression. Late events such as northeast-southwest and north-south extension and northeast-southwest compression have also been recognized.

¹ Contribution au Projet de l’avant-pays appalachien et de la Plate-forme du Saint-Laurent du CARTNAT

INTRODUCTION

La région des basses terres du Saint-Laurent correspond à une plate-forme de roches sédimentaires du Cambrien-Ordovicien, située entre les provinces géologiques des Appalaches et de Grenville (fig. 1b). Cette région, légèrement plissée et faillée, est séparée des nappes allochtones des Appalaches, au sud-est, par le réseau de failles de chevauchement associé à la ligne de Logan et du socle grenvillien, au nord-ouest, par une discordance angulaire et par des failles d'orientation nord-est-sud-ouest, lesquelles sont communément considérées normales (fig. 1a, b).

L'origine et l'évolution de ces failles majeures, et plus particulièrement des failles de la bordure nord-ouest, sont mal connues.

PROBLÉMATIQUE

Les Appalaches se sont formées sur les terrains déjà intensément déformés de la Province de Grenville. Un cycle de Wilson (Wilson, 1966) a débuté avec la fragmentation (rifting) du socle grenvillien, menant à la formation de l'Océan Iapetus. Cet océan s'est ouvert à la fin du

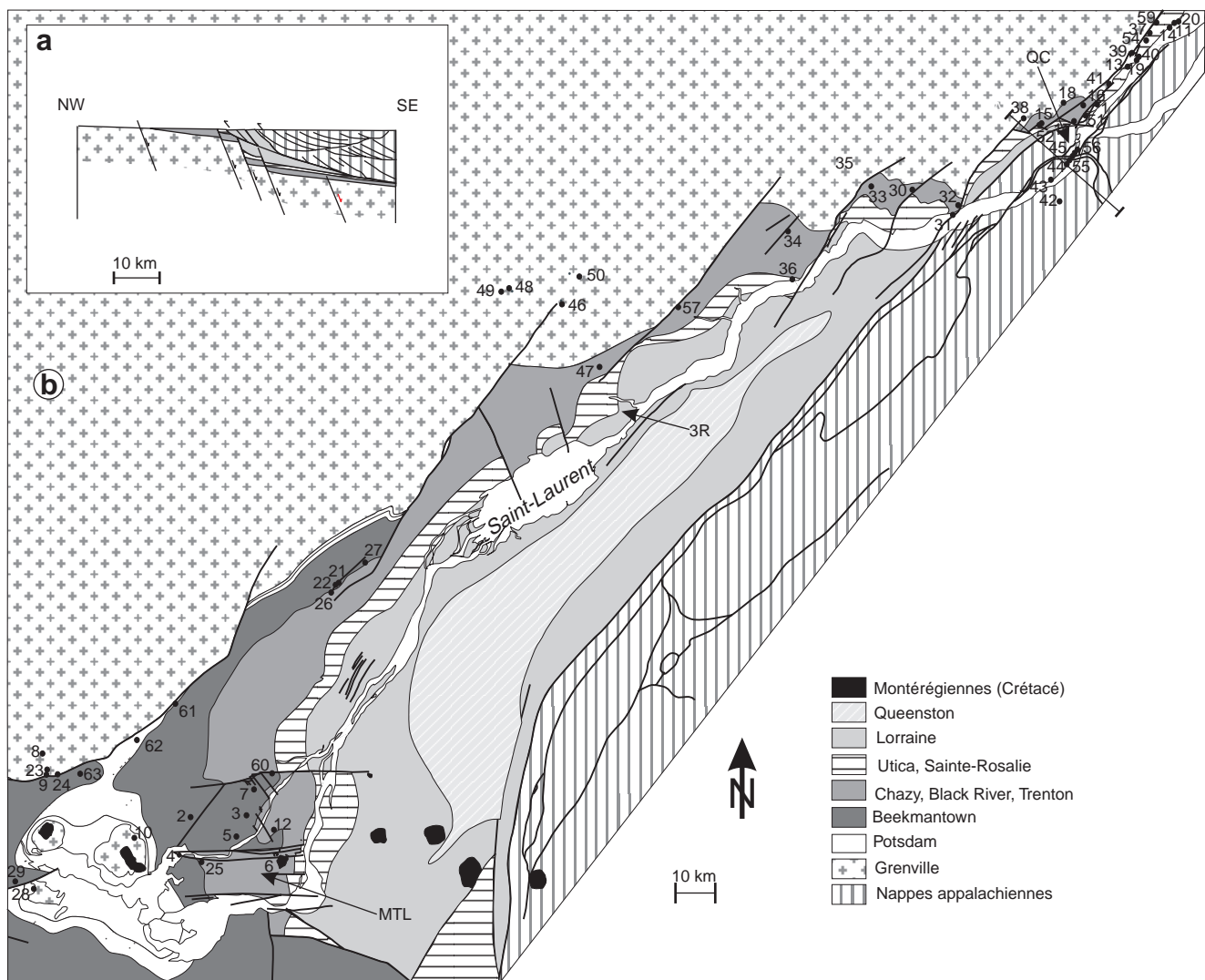


Figure 1. Géologie de la Plate-forme du Saint-Laurent. (a) Coupe géologique nord-ouest-sud-est passant par la ville de Québec (d'après St-Julien et Hubert, 1975). (b) Carte géologique (modifié d'après St-Julien et Slivitzky, 1985) avec numéro et emplacement de chacun des sites étudiés. QC = Québec; 3R = Trois-Rivières; MTL = Montréal. Nous indiquons ci-dessous les âges des formations géologiques indiquées dans la légende, selon Lavoie (1994). Potsdam : Ordovicien précoce (Trémadoc); Beekmantown : Ordovicien précoce et moyen (Arenig-Llanvirn); Chazy : Ordovicien moyen (Llandeilo); Black River et Trenton : Ordovicien tardif (Caradoc précoce et tardif, respectivement); Utica : Ordovicien tardif (Caradoc tardif-Ashgill précoce); Sainte-Rosalie, Lorraine et Queenston : Ordovicien tardif (Ashgill précoce, moyen et tardif, respectivement).

Précambrien et au début du Cambrien, séparant la Laurentie (ancien continent correspondant grossièrement à l'actuelle Amérique du Nord) de la Baltique. L'Océan Iapetus a commencé à se contracter à l'Ordovicien, amenant une succession de collisions qui ont formé les Appalaches au cours des orogènes taconique (Ordovicien moyen et tardif), acadienne (Dévonien moyen) et alléghanienne (fin Carbonifère-Permien). Au Dévonien, l'Océan Iapetus était totalement fermé. Un second cycle de Wilson a alors débuté au Trias (extensions approximativement est-ouest) avec le rifting atlantique, entraînant la formation d'aulacogènes, tels que le graben du Saint-Laurent, et la mise en place des intrusions montréalaises au Crétacé. Ce régime se traduit depuis le Tertiaire par une compression au niveau de la ride médio-atlantique, générée par la poussée de la plaque de l'Atlantique Nord sur la plaque nord-américaine (Zoback et al., 1986).

Les failles nord-est-sud-ouest limitant la bordure nord de la Plate-forme du Saint-Laurent ainsi que les failles est-ouest de la région de Montréal sont attribuées au graben du Saint-Laurent, que l'on croit être de la même génération que ceux d'Ottawa-Bonnechère, de Champlain et du Saguenay. On considère généralement que ces grabens se sont ouverts au Crétacé, mais certains auteurs (p. ex., Doig et Barton, 1968) croient qu'ils sont beaucoup plus anciens. D'après Kumarapeli (1985), les failles nord-est-sud-ouest correspondent à des failles normales de la marge passive de l'Océan Iapetus, alors que selon Shaw (1993), elles seraient apparues au début de la compression appalachienne sous forme de décrochements senestres.

Par ailleurs, la région de Montréal, plus complexe, est découpée par des failles est-ouest et nord-ouest-sud-est. Les failles est-ouest sont dans l'alignement de nombreuses intrusions crétacées (les Montréalaises, fig. 1a) ou plus anciennes, et la relation entre les structures est-ouest et nord-ouest-sud-est est très discutée (p. ex., Faure et al., 1995). Il était donc nécessaire d'effectuer des travaux de terrain dans la Plate-forme du Saint-Laurent, afin de connaître l'âge relatif des failles nord-est-sud-ouest qui touchent l'ensemble de la plate-forme par rapport à celui des failles nord-ouest-sud-est et est-ouest de la région de Montréal. Il était également important de comprendre la cinématique et l'évolution de ces failles par rapport aux événements tectoniques qui ont touché la plate-forme, de l'ouverture de l'Océan Iapetus à la formation des Appalaches.

Cette recherche constitue une thématique majeure du nouveau Projet de l'avant-pays appalachien et de la Plate-forme du Saint-Laurent du CARTNAT. Des travaux ont été menés dans les secteurs des transects n° 1 (Montréal-Mégantic) et n° 2 (Québec-Chaudière) de ce projet.

MÉTHODOLOGIE

La Plate-forme du Saint-Laurent, comme la plupart des régions d'avant-pays de chaîne de collision, présente peu d'affleurements naturels du fait de la subsidence (p. ex.,

Rocher et al., 1999). Une telle étude doit donc combiner de multiples méthodes d'approche, qui vont de la simple observation des déformations à la reconstitution des paléocontraintes à partir de données de surface (observation des fractures de toutes tailles sur le terrain, analyse du réseau hydrographique, imagerie satellitaire, modèle numérique de terrain) ou de sous-surface (puits, sismique-réflexion). La présente communication porte sur la première partie de notre étude, qui concernait les observations de terrain. Plus de 60 sites (carrières, bords de route et affleurements naturels) ont été visités (fig. 1a). Les environs de Québec et de Montréal ont été privilégiés, respectivement pour la qualité des affleurements et la diversité des types de failles exposées. Pour chaque site, une analyse structurale a été réalisée, ainsi qu'une mesure et une description systématique des fractures.

Les mesures de failles striées ont fait l'objet d'une analyse inverse (exemple à la fig. 2), permettant de reconstituer les paléocontraintes tectoniques qui sont responsables de la fracturation visible à l'affleurement et de la fracturation régionale. Après avoir présenté la méthode d'analyse des données de failles d'Angelier (1984, 1990), nous discuterons des résultats préliminaires de ce traitement.

ANALYSE INVERSE DES DONNÉES DE FAILLES PAR LA MÉTHODE D'ANGELIER

L'analyse inverse des données de failles permet de reconstituer les paléocontraintes à partir des mesures de direction et de sens de glissement d'un grand nombre de failles mineures (p. ex., Carey et Brunier, 1974; Etchecopar et al., 1981; Angelier, 1984, 1990) (exemple à la fig. 2a). Elle repose sur le principe selon lequel la strie observée sur un plan de faille est parallèle à la contrainte cisailante exercée sur ce plan.

Le programme d'inversion permet d'obtenir le tenseur réduit des contraintes (fig. 2c), comprenant l'orientation des contraintes principales σ_1 , σ_2 et σ_3 ($\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$, compression positive) et le rapport Φ ($\Phi = (\sigma_2 - \sigma_3) / (\sigma_1 - \sigma_3)$, $0 \geq \Phi \geq 1$). Dans cette étude, nous avons utilisé les méthodes INVD et R4DT d'Angelier (1984, 1990). Dans le cas fréquent de fracturation polyphasée, les systèmes de failles sont séparés sur la base de leur compatibilité mécanique et des observations de chronologie relative (superposition de stries sur un plan de faille, recoupement de failles, dépôts syntectoniques, relations temporelles entre fracturation et basculement, etc.). Les tenseurs sont calculés sur chaque lot de failles (fig. 2b). Lorsque les couches sont basculées (par du plissement ou par le jeu d'une faille majeure), les failles peuvent s'être formées avant, pendant ou après le basculement; les relations temporelles entre les paléocontraintes reconstituées à partir de ces failles et le basculement des couches sont considérées sur la base du principe d'Anderson (1951), selon lequel un des trois axes principaux du tenseur est vertical (p. ex., Angelier et al., 1986).

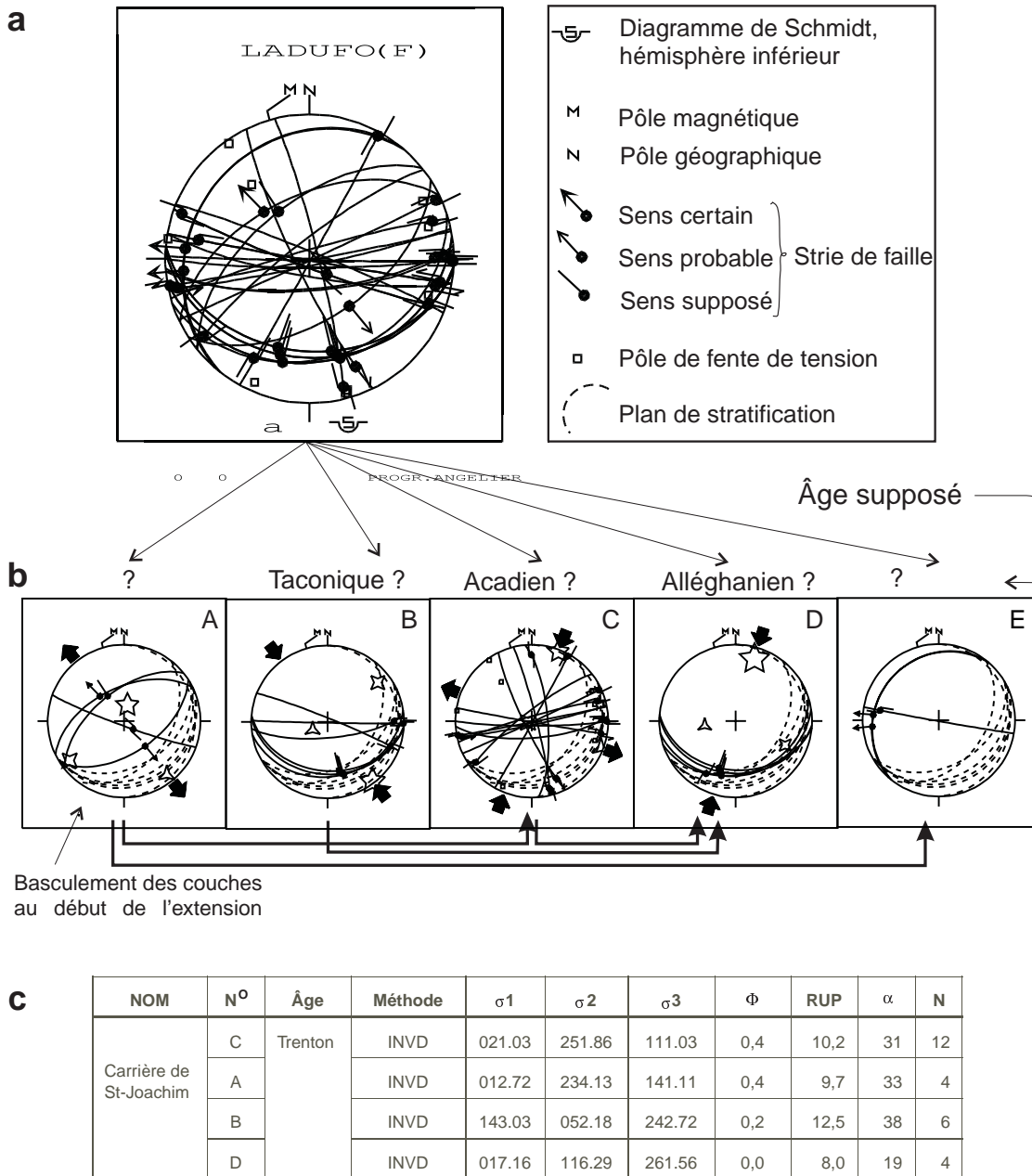


Figure 2. Exemple de résultat de l'analyse inverse des données de failles par la méthode d'Angelier (1984, 1990) : carrière de Saint-Joachim, nord-est de la ville de Québec, site 14 (fig. 1a). (a) Diagramme stéréographique des fractures mesurées avant séparation des données et légende des diagrammes. (b) Diagrammes stéréographiques de chaque lot de failles individualisé, et des tenseurs calculés sur ces failles par la méthode d'Angelier (1984, 1990). Les flèches au bas de la figure témoignent des indices de chronologie relative qui ont été observés (entre deux générations de stries sur un même plan de faille). Les épisodes orogéniques des Appalaches rattachés aux diagrammes ne reflètent qu'une interprétation possible. Symboles : étoile à cinq branches = σ_1 ; étoile à quatre branches = σ_2 ; étoile à trois branches = σ_3 . (c) Détail des tenseurs calculés. Les valeurs associées aux axes principaux des contraintes (σ_1 , σ_2 et σ_3) dans le tableau sont composées de deux éléments, la direction et le plongement (tous deux en degrés), séparés par un point. La méthode INVD fait référence à une des méthodes d'inversion d'Angelier (1990); $\Phi = (\sigma_2 - \sigma_3) / (\sigma_1 - \sigma_3)$; RUP = coefficient de qualité interne au programme d'Angelier (1990) (pourcentage); α = angle moyen entre la strie mesurée et le cisaillement calculé (degrés); N = nombre de failles incorporées dans le calcul.

Résultats de l'analyse inverse des données de failles

Fractures et états de contraintes associés

Dans chacun des sites présentant des failles, on a pu reconstituer un ou plusieurs état(s) de contraintes. Les événements le plus souvent représentés sont des compressions ouest-nord-ouest-est-sud-est à nord-sud et des extensions généralement nord-ouest-sud-est. Une compression nord-est-sud-ouest, une extension approximativement nord-sud et une extension nord-est-sud-ouest sont également localement identifiées.

Les événements compressifs ouest-nord-ouest-est-sud-est à nord-sud sont caractérisés par des décrochements est-ouest à déplacement dextre et des décrochements nord-nord-ouest-sud-sud-est à mouvement senestre, ainsi que, par endroits, par des failles inverses nord-est-sud-ouest. L'extension régionale nord-ouest-sud-est fait jouer des failles normales d'orientation nord-est-sud-ouest. Ces failles présentent des rejets qui peuvent parfois atteindre plusieurs centaines de mètres. Elles sont responsables d'accidents géographiques importants, tels que la chute Montmorency (site 1, fig. 1a), et de falaises spectaculaires (cap Tourmente, site 11, fig. 1a). Elles sont souvent soulignées par des brèches cataclastiques et des injections de pseudotachylite. La compression nord-est-sud-ouest se manifeste par des failles inverses et des décrochements. Les extensions nord-est-sud-ouest et nord-sud s'expriment par des failles normales et des décrochements. Dans le cas de ces trois derniers événements, les failles qui leur sont associées correspondent généralement à des structures réactivées.

Chronologie des événements

Des indices de chronologie relative, correspondant généralement au recoupement de plusieurs générations de stries sur un même plan de faille, ont pu être observés par endroits. Ils semblent indiquer la succession suivante: une extension nord-ouest-sud-est, à laquelle succèdent des compressions approximativement nord-ouest-sud-est (ouest-nord-ouest-est-sud-est à nord-sud), qui sont suivies d'extensions nord-est-sud-ouest puis nord-sud et, enfin, une compression nord-est-sud-ouest.

L'âge des terrains touchés par chaque génération de failles permet de proposer un intervalle de temps possible pour chacun des événements. Les structures associées à l'extension nord-ouest-sud-est et aux compressions approximativement nord-ouest-sud-est touchent des terrains s'échelonnant du Précambrien à l'Ordovicien tardif et nous indiquent donc que ces événements ont été actifs jusqu'à l'Ordovicien tardif et même au-delà. Le seul événement dont les intrusions montérégiennes (mont Royal, site 6, ou colline d'Oka, site 10; voir fig. 1a) conservent la trace est la compression nord-est-sud-ouest (l'événement le plus récent suivant les reconstitutions dans les autres sites); cette compression est donc postérieure à la formation des Montérégiennes au Crétacé et tous les autres événements tectoniques qui ont été reconstitués lui sont donc antérieurs.

INTERPRÉTATION ET DISCUSSION

La préexistence d'un jeu normal sur les failles nord-est-sud-ouest avant les compressions approximativement nord-ouest-sud-est, présumées appalachiennes (voir ci-dessous), comme l'indiquent la plupart de nos données de chronologie relative, est en accord avec un jeu précoce normal de ces failles. De nombreux auteurs ont montré que des failles nord-est-sud-ouest existaient avant que n'apparaissent les grabens du Saint-Laurent, d'Ottawa-Bonnechère, de Champlain et du Saguenay, dont la formation est liée à l'ouverture de l'océan Atlantique. Des massifs de carbonatite situés dans ces grabens, qui ont été datés à environ 565 Ma par analyse K/Ar (Doig et Barton, 1968), témoignent d'une activité intrusive associée à un système de rifting continental. Dans ces grabens, il existe également des dykes datant de la fin du Précambrien ou du début du Cambrien qui marquent l'ouverture de l'Océan Iapetus (Kumarapeli, 1985; Lafleur et Hogarth, 1981). Dans la région de Shawinigan (sites 46 à 50, fig. 1a), on peut observer des plans de faille ductile probablement d'âge grenvillien qui ont joué en failles normales ductiles (effondrement de l'orogène grenvillien), dans lesquels se sont mis en place des filons-couches mafiques (début de l'ouverture de l'Océan Iapetus?), et qui ont été réactivés finalement en failles normales cassantes (écroulement de la marge passive de l'Océan Iapetus?).

Ainsi, au moins une partie de l'extension nord-ouest-sud-est reconstituée est antérieure à l'événement appalachien le plus ancien (orogénèse taconique), c'est-à-dire qu'elle est antérieure à l'Ordovicien moyen. Cependant, dans les nappes allochtones, des failles normales formées avant et après le basculement des couches sont compatibles avec une extension nord-ouest-sud-est, comme on peut l'observer dans le Groupe de Sillery, au parc de la chute de la Chaudière et au pont de Québec (Cambrien inférieur, sites 32 et 33, fig. 1a). Le basculement des couches étant attribuable au transport des nappes, mises en place lors de l'orogénèse taconique (Ordovicien moyen) d'après St-Julien et Hubert (1975), on en déduit que l'extension nord-ouest-sud-est a perduré avant et après l'événement taconique. De plus, cette extension a laissé des traces dans des terrains plus récents (couches du Groupe de Trenton et de la Formation de Sainte-Rosalie, voir les âges à la fig. 1) ou qui ont été touchés plus tôt par l'épisode taconique (nappe de la Chaudière, site 32, fig. 1a). L'extension nord-ouest-sud-est pourrait donc avoir perduré après la compression taconique, comme le suggèrent Castonguay et al. (1997). L'absence de terrains plus récents que l'Ordovicien tardif ne permet cependant pas de préciser l'âge des mouvements postordoviens par l'analyse des failles. Lavoie (1994) a montré que le jeu normal de ces failles était probablement responsable des variations d'épaisseur du Groupe de Trenton; d'après St-Julien et Hubert (1975), les épisodes d'écroulement majeurs sont contemporains du dépôt des groupes de Trenton et d'Utica (Ordovicien tardif).

Mise à part l'extension nord-ouest-sud-est, les événements reconstitués d'après les observations dans la Plate-forme du Saint-Laurent ont déjà été mis en évidence par les traces qu'ils ont laissées dans les Appalaches canadiennes. Les compressions d'azimut proche de l'axe nord-ouest-sud-est

peuvent être attribuées, par leur direction et leurs âges approximatifs, à des événements appalachiens. Dans les Appalaches du Québec et du Nouveau-Brunswick, l'analyse tectonique de failles striées a permis à Faure (1995) de distinguer les trois épisodes orogéniques des Appalaches : une compression ouest-nord-ouest–est-sud-est taconique (failles inverses surtout); une compression acadienne de même direction (failles inverses et décrochements); et trois épisodes allégghaniens approximativement nord–sud (Faure et al., 1996). Il est très difficile de distinguer la trace de ces événements dans la plate-forme, en raison du faible nombre de failles. Les relations chronologiques entre failles, les variations de direction et la nature des failles en cause devraient permettre de réaliser une séparation fine des failles en les rattachant à plusieurs événements (p. ex., fig. 2b). Cependant, les seules structures clairement attribuables à un de ces événements sont des failles inverses observées aux quais de Grondines et de Neuville (sites 36 et 32; fig. 1a), lesquelles sont contemporaines de la mise en place des nappes (voir ci-dessus).

Enfin, les extensions nord-est–sud-ouest et nord–sud et la compression nord-est–sud-ouest tardive, qui se sont manifestées généralement par la réactivation d'anciennes failles, pourraient correspondre à des événements crétacés à actuels, dont les traces ont également été reconnues par Faure dans les Appalaches du Canada (Faure et al., 1995). Des données géochronologiques (traces de fission) se rapportant aux roches du socle grenvillien et de la plate-forme ordovicienne situées de part et d'autre de la faille de Montmorency laissent croire en effet au rejeu important de certaines structures nord-est–sud-ouest au Mésozoïque (Glasmacher et al., 1998). Il est difficile de dire si ce jeu peut être rattaché à la poursuite de l'extension nord-ouest–sud-est précoce ou à une des extensions de stade tardif dont il a été fait mention ci-dessus.

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Une partie de l'extension nord-ouest–sud-est dont les traces ont été conservées dans la Plate-forme du Saint-Laurent coïncide probablement avec la fin de l'ouverture de l'Océan Iapetus. Divers mécanismes, tels que l'étirement provoqué par l'entraînement de la plaque subductée, ou la subsidence due au poids des nappes sus-jacentes, peuvent expliquer la poursuite de l'effondrement de la marge passive tout au long de la compression appalachienne et même après. Un traitement affiné des nombreuses données acquises sur le terrain par la méthode d'Angelier (1984, 1990) permettra de préciser l'âge relatif de cette distension et de caractériser la succession des événements compressifs et extensifs ayant touché la région, de déduire les mouvements que chacun de ces événements a causé sur les failles majeures et ainsi de proposer pour cette région une histoire tectonique remontant jusqu'au Précambrien.

Cependant, la déformation assez faible de l'intérieur de cette plate-forme, ainsi que l'absence de roches sédimentaires d'âges intermédiaires entre l'Ordovicien et le Crétacé, limitent l'analyse inverse des données de failles. Des

échantillons contenant de la calcite ont été extraits chaque fois que possible afin de réaliser une analyse du maillage mécanique. L'analyse des macles de la calcite par la méthode inverse d'Etchecopar (1984) permet de reconstituer les paléocontraintes par des méthodes inverses (p. ex., Lacombe et Laurent, 1992, Rocher et al., 1996), et pourra donc conforter et compléter les résultats de l'analyse inverse des données de failles. Par ailleurs, des échantillons ont été prélevés dans le socle près des failles bordières nord-est–sud-ouest et permettront d'effectuer des datations par traces de fission (apatite ou zircon), et par la méthode $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ (micas ou amphiboles), respectivement dans le but de dater les déplacements verticaux et un éventuel rétro-métamorphisme associé.

REMERCIEMENTS

Cette étude est réalisée avec le soutien financier de la Commission géologique du Canada (Projet de l'avant-pays appalachien et de la Plate-forme du Saint-Laurent du CARTNAT), de l'Institut national de la recherche scientifique (bourse post-doctorale), ainsi que par le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie (A. Tremblay, subvention de recherche PG-105669). Nous remercions A. Fortin pour son active collaboration sur le terrain, ainsi que l'équipe du projet «Hydrogéologie de la région de Montréal» du Centre géoscientifique de Québec pour son accueil et l'hébergement à Oka. Enfin, merci à M. Malo pour sa révision constructive.

RÉFÉRENCES

- Anderson, E.M.**
1951: The dynamics of faulting (2nd edition); Oliver and Boyd, Edinburgh, 206 p.
- Angelier J.**
1984: Tectonic analysis of fault slip data sets; Journal of Geophysical Research, v. 89, no. B7, p. 5835-5848.
- Angelier, J., Barrier, E., and Chu, H.T.**
1986: Plate collision and paleostress trajectories in a fold-thrust belt; Foothills of Taiwan; Tectonophysics, v. 125, p. 161-178.
- Angelier J.**
1990: Inversion of field data in fault tectonics to obtain the regional stress. III: A new rapid direct inversion method by analytical means; Geophysical Journal International, v. 103, p. 363-376.
- Carey E. et Brunier B.**
1974: Analyse théorique et numérique d'un modèle mécanique élémentaire appliqué à l'étude d'une population de failles; Comptes-Rendus de l'Académie des Sciences, vol. 279, section D, p. 891-894.
- Castonguay, S., Tremblay, A., Ruffet, G., Féraud, G., Pinet, N., and Sosson, M.**
1997: Ordovician and Silurian metamorphic ages along the Laurentian margin of the Quebec Appalachians: bridging the gap between New England and Newfoundland; Geology, v. 25, no. 7, p. 583-586.
- Doig, R. and Barton, J.M.**
1968: Ages of carbonatites and other alkaline rocks in Quebec; Canadian Journal of Earth Sciences, v. 5, p. 1401.
- Etchecopar, A.**
1984: Etude des états de contraintes en tectonique cassante et simulation de déformations plastiques (approche mathématique); Thèse de Doctorat-ès-Sciences, Université Sciences et Techniques du Languedoc, Montpellier, 270 p.

Etchecopar, A., Vasseur, G., and Daignieres, M.

1981: An inverse problem in microtectonics for the determination of stress tensor from fault striation analysis; *Journal of Structural Geology*, v. 3, p. 51-65.

Faure, S.

1995: Reconstitution des paléocontraintes tectoniques dans les Basses-Terres du Saint-Laurent et les Appalaches du Québec et du Nord du Nouveau-Brunswick; *Philosophiae Doctor Thesis*, Sainte-Foy, Université du Québec, INRS-Géoresources, 259 p.

Faure, S., Tremblay, A., and Angelier, J.

1995: State of intraplate stress and tectonism of northeastern America since Cretaceous times, with particular emphasis on the New England-Quebec igneous province; *Tectonophysics*, v. 255, p. 111-134.

Faure, S., Tremblay, A., and Angelier, J.

1996: Alleghanian paleostress reconstruction in the northern Appalachian: intraplate deformation between Laurentia and Gondwana; *Geological Society of America Bulletin*, v. 108, no. 11, p. 1467-1480.

Glasmacher, U., Tremblay, A., and Zentilly, M.

1998: Post-Triassic thermo-tectonic evolution of the Laurentian margin in Quebec, Canada; GAC-MAC meeting, Québec city, Abstract volume, p. A-66.

Kumarapeli, P.S.

1985: Vestiges of Iapetan rifting in the craton West of the Northern Appalachians; *Geoscience Canada*, v. 12, no. 2, p. 54-59.

Lacombe, O. and Laurent, P.

1992: Determination of principal stress magnitudes using calcite twins and rock mechanics data; *Tectonophysics*, v. 202, p. 83-93.

Lafleur, J. and Hogarth, D.D.

1981: Cambro-Proterozoic volcanism near Buckingham, Quebec; *Canadian Journal of Earth Sciences*, v. 18, p. 1817-1823.

Lavoie, D.

1994: Diachronous tectonic of the Ordovician continental margin, eastern Canada: comparison between the Quebec Reentrant and St. Lawrence Promontory; *Canadian Journal of Earth Sciences*, v. 31, p. 1309-1319.

Rocher, M., Lacombe, O., Angelier, J., and Chen, R.W.

1996: Mechanical twin sets in calcite as markers of recent collisional events in a fold-and-thrust belt: evidence from the reefal limestones of southwestern Taiwan; *Tectonics*, v. 15, no. 5, p. 984-996.

Rocher, M., Lacombe, O., Angelier, J., Deffontaines, B., and Verdier, F.

1999: Cenozoic folding and faulting in the North Pyrenean Foreland (Aquitaine Basin, France): insights from combined structural and paleostress analyses; *Journal of Structural Geology*, sous presse.

Shaw, B.R.

1993: Strike-slip interpretation of basin-bounding faults of the St. Lawrence Lowlands Basin in the Quebec City area, Canada; *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, v. 77, no. 5, p. 743-760.

St-Julien, P. and Hubert, C.

1975: Evolution of the Taconian Orogen in the Quebec Appalachians; *American Journal of Science*, v. 275-A, p. 337-362.

St-Julien, P. et Slivitzky, A.

1985: Compilation géologique de la région de l'Estrie-Beauce; Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec, carte 2030, échelle 1/250 000.

Wilson, J. T.

1966: Did the Atlantic close and the reopen?; *Nature*, v. 211, p. 676-681.

Zoback, M.L., Nishenko, S.P., Richardson, R.M., Hasegawa, H.S., and Zoback, M.D.

1986: Mid-plate stress, deformation, and seismicity; *in* P. R. Vogt and B.E. Tuckolke (ed.), *The Western North Atlantic Region*. (The Geology of America, vol. M), Geological Society of America, Boulder, p. 297-312.