ET 99-03

ETUDE STRUCTURALE DES MINERALISATIONS AURIFERES DU GROUPE DE MAGOG

Documents complémentaires

Additional Files





Licence



License

Cette première page a été ajoutée
au document et ne fait pas partie du
rapport tel que soumis par les auteurs.

Énergie et Ressources naturelles
Québec

Étude structurale des minéralisations aurifères du Groupe de Magog

Robert Marquis
Myriam Figueiredo
Denis-Jacques Dion
Michel Gauthier
Jean David
Jean Hubert

ET 99-03



Veines de quartz en échelons dans une zone cisaillée et faiblement minéralisée en or de la Formation de Frontière, au sud-ouest de Saint-Magloire.

2001

Québec

Étude structurale des minéralisations aurifères du Groupe de Magog

Robert Marquis
Myriam Figueiredo[1]
Denis-Jacques Dion
Michel Gauthier[1]
Jean David[1]
Jean Hubert[2]

ET 99-03

RÉSUMÉ

La présente étude définit le contexte structural des principaux indices aurifères du Groupe de Magog, en Beauce. Cette unité regroupe quatre formations déposées dans un bassin avant-arc, tectoniquement actif à l'Ordovicien moyen. La source de l'or se trouve dans le *mudslate* noir, graphiteux, pyriteux et aurifère de la Formation de Beauceville. Le *mudslate* noir alterne avec des tufs felsiques et cet assemblage est recoupé par des intrusions mafiques à intermédiaires « pénécontemporaines » de la sédimentation. Dans un nouveau site fossilifère à graptolites, nous avons daté à 462 Ma (U-Pb sur zircons) un tuf felsique intercalé avec le *mudslate* noir. Il s'agit de la première datation U-Pb disponible pour le Groupe de Magog.

Les veines de quartz aurifères sont contemporaines de la déformation acadienne. Localement la géométrie des veines minéralisées est contrôlée par des paramètres structuraux de deuxième ordre qui varient d'un indice à l'autre. Tous les éléments structuraux s'intègrent toutefois à un modèle tectonique régional impliquant une seule phase de déformation. Dans le secteur Bellechasse, à l'Indice Timmins, une zone de cisaillement senestre ductile-fragile de deuxième ordre, oblique au grain tectonique, contrôle la répartition des veines de quartz aurifère. Dans le secteur Etchemin, les veines, obliques à la schistosité, sont fortement plissées tandis que les veines sub-verticales sont lenticulaires et striées. Le stockwork minéralisé le mieux développé est riche en arsenic mais pauvre en or. Dans le secteur Beauceville, à l'Indice des Rapides-du-Diable, la géométrie des veines aurifères est contrôlée par le plissement régional. La minéralisation apparaît dans une zone de cisaillement à mouvement inverse, au flanc court d'un pli asymétrique, d'ordre décamétrique. Le stockwork aurifère est alors parallèle à la schistosité régionale.

1. Université du Québec à Montréal
2. Consultant en géophysique

DOCUMENT PUBLIÉ PAR GÉOLOGIE QUÉBEC

Direction
Alain Simard

Service géologique du Nord-Ouest
Robert Marquis

Responsable des études géoscientifiques
Pierre Verpaelst

Lecture critique
Pierre Lacoste

Édition et mise en pages
Denis L. Lefebvre

Dessin assisté par ordinateur
Charlotte Grenier

Supervision technique
André Beaulé

Document accepté pour publication le 14/12/1999

Dépôt légal – Bibliothèque nationale du Québec
ISBN : 2-551-21331-2
© Gouvernement du Québec, 2001

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION 5
Localisation géologique et géographique 5
Problématique 5
Travaux antérieurs 5
Méthodologie 6
CONTEXTE GÉOLOGIQUE RÉGIONAL 6
CADRE GÉOPHYSIQUE RÉGIONAL 14
Introduction 14
Types de données 14
Traitement des données 14
Levé magnétique héliporté 14
Levé électromagnétique héliporté 17
Données gravimétriques 17
Levés terrestres 23
Relief ombragé 23
Interprétation géophysique 23
ANALYSE STRUCTURALE 24
Introduction 24
Secteur de Bellechasse 24
Secteur d'Etchemin 30
Secteur de Beauceville 32
DISCUSSION 35
Introduction 35
Typologie des minéralisation aurifères 36
CONCLUSIONS 36
REMERCIEMENTS 36
RÉFÉRENCES 37

INTRODUCTION

Localisation géologique et géographique

La figure 1 représente une carte du champ magnétique total résiduel ombragé du feuillet SNRC 21L et l'encadré localise le secteur d'intérêt, au nord de Saint-Georges en Beauce; dans la zone étudiée, les signatures magnétiques les plus fortes correspondent aux roches ultramafiques qui délimitent la Ligne Baie Verte–Brompton et aux basaltes du Groupe de Caldwell qui affleurent à l'ouest de cette ligne. La Ligne Baie Verte–Brompton, les principaux contacts géologiques des unités du Groupe de Magog et deux familles de linéaments sont bien identifiés sur la figure 2 qui représente une carte détaillée de l'encadré de la figure 1. Sur la figure 2, les anomalies magnétiques positives d'intensité moyenne caractérisent les intrusions du Groupe de Magog particulièrement dans le secteur d'Etchemin.

Plus spécifiquement, nous avons étudié les minéralisations aurifères du Groupe de Magog dans la seigneurie de Saint-François et dans les cantons de Cranbourne, Ware, Langevin, Bellechasse, Roux et de Panet. Les indices aurifères sont répartis dans trois secteurs principaux (Beauceville, Etchemin et Bellechasse) identifiés par des encadrés sur la figure 2. Ces trois secteurs minéralisés chevauchent partiellement les feuillets SNRC 21L/02, 21L/07, 21L/08 et 21L/09; ils s'alignent vers le nord-est, parallèlement au grain tectonique régional.

Problématique

Nous proposons l'existence de cisaillements de deuxième ordre, obliques par rapport au grain tectonique et reliés aux grandes failles régionales tracées entre la Ligne Baie Verte–Brompton et la Faille de La Guadeloupe; ces cisaillements ont une incidence directe sur la localisation et la géométrie de certains indices aurifères. Nous avons utilisé les levés géophysiques disponibles pour localiser des linéaments magnétiques qui pourraient correspondre à ces structures et nous les avons tracés sur la carte. Une cartographie détaillée des principaux indices a permis également de vérifier cette hypothèse en décrivant les paramètres structuraux locaux qui contrôlent la dispersion et la géométrie des veines aurifères.

Le contexte géologique régional, la nature des contacts entre le Groupe de Magog et les unités adjacentes, l'intensité de la déformation et la cinématique des structures de premier ordre ont été bien décrits par Cousineau (1987). Par ailleurs, Gauthier *et al.* (1989) ont souligné l'importance des zones de cisaillement secondaire sur la répartition des indices aurifères. Cependant, à ce jour, la position, la nature et l'importance de ces zones de cisaillement de deuxième ordre demeurent moins bien connues.

Travaux antérieurs

Historiquement la découverte et l'exploitation de placers aurifères en Beauce, au XIX^{e} siècle, est à l'origine de l'intérêt porté à cette région. Les premières études géologiques (Logan, 1849 et 1864; Richardson, 1870) remontent à cette époque. Par la suite, la découverte d'indices aurifères associés à des veines de quartz dans des filons-couches (Béland, 1957; Blair, 1960; Bergman, 1960) de même que les travaux d'exploration ciblés sur une découverte de nickel et de cuivre par Eastern Metals Corporation en 1951, près de Saint-Fabien-de-Panet, ont soutenu cet intérêt. Plusieurs levés géologiques (MacKay, 1921; Tolman, 1936; Cooke, 1937 et 1950; Riordon, 1954; Gorman, 1954, 1955 et 1957; Béland, 1957; Benoit, 1958; Duquette, 1961; Saint-Julien, 1963, 1970 et 1987) témoignent des efforts déployés pour mettre en valeur le potentiel minier de la région. MacKay (1921) introduisit les termes Caldwell et Beauceville pour distinguer les roches de la Beauce. Tolman (1936) reconnut ces unités jusqu'à Lac-Etchemin et Cooke (1937) les étendit vers le sud-ouest jusqu'à Thetford Mines. Béland (1957) cartographia un complexe de diorite à albite cuprifère et zincifère dans sa partie nord-ouest, aurifère et arsénopyritique dans sa partie sud-est. Ce complexe est constitué en grande partie de filons-couches qui recoupent le Beauceville de MacKay (1921).

La cartographie la plus récente et la plus détaillée est celle de P. Cousineau. Au début de la décennie 1980, Cousineau a cartographié le Groupe de Magog, le Complexe de Saint-Daniel et le Groupe de Caldwell à l'échelle de 1 : 20 000. À la même époque, la compagnie Golden Hope Mines a effectué des travaux d'exploration minière importants dans les secteurs d'Etchemin et de Bellechasse (Schaaf, 1986; Burzynski, 1988 et 1991; Dupuis et Burzynski, 1991). Par la suite, dans le cadre d'une maîtrise à l'Université Queen's, Burzynski (1993) a utilisé les données de Golden Hopes Mines pour évaluer le potentiel économique du gîte aurifère Bellechasse.

Entre 1990 et 1992, deux feuillets SNRC à l'échelle de 1 : 50 000 ont fait l'objet d'une compilation géologique intégrant les données de Cousineau et celles de Golden Hope Mines. Il s'agit des feuillets 21L/08 (Marquis, 1992a) et 21L/09 (Marquis, 1992b).

Plusieurs projets thématiques ont également été réalisés dans le cadre du travail d'inventaire et de caractérisation des indices métallifères de l'Estrie et de la Beauce produit par Gauthier *et al.* (1989). Cette étude place pour la première fois les indices métallifères dans un contexte géotectonique global et elle souligne l'importance des zones de cisaillement secondaire sur la répartition des indices aurifères. L'étude de Camiré (1986) porta essentiellement sur l'Indice aurifère Timmins, tandis que Bossé (1994) a caractérisé l'amas

polymétallique Champagne, encaissé dans la Formation de Beauceville. La géochimie des roches sédimentaires du Groupe de Magog a également fait l'objet de deux maîtrises à l'UQAM. Desbiens (1988) a étudié la géochimie de toutes les unités pélitiques cambriennes et ordoviciennes des Appalaches du sud-est du Québec, incluant celles du Groupe de Magog, afin de retracer la provenance des sédiments. Godue (1988) a établi que le contenu aurifère du *mudslate* graphiteux de la Formation de Beauceville est anomalement élevé et qu'il y a souvent une corrélation entre les anomalies en arsenic et en or.

On sait depuis longtemps que l'épaisseur des dépôts volcanoclastiques de la Formation de Beauceville est beaucoup plus grande dans le secteur de la rivière Chaudière que dans le prolongement nord-est vers Lac-Etchemin et le canton de Bellechasse. Tremblay (1997) a démontré que la plupart de ces volcanoclastites sont des tufs primaires issus d'une activité volcanique sous-marine. Une caractéristique de ces coulées est l'épaisseur irrégulière des lits qui résulte du remplissage des vallées.

Méthodologie

Durant l'été 1996, nous avons revu les indices aurifères les mieux exposés entre la rivière Chaudière et le village de Saint-Magloire (figure 2). Il s'agit en grande partie des affleurements minéralisés décapés par Golden Hope Mines. Sur chaque affleurement, nous avons mesuré les éléments structuraux planaires et linéaires et échantillonné tous les réseaux de veines de quartz. Nous avons également cartographié à la planchette l'Indice Timmins et la Zone 88 du rang Saint-Joseph à Saint-Magloire. Une étude détaillée des paragénèses minérales a été menée dans le cadre du projet de maîtrise en Sciences de la Terre de M. Figueiredo, à l'Université du Québec à Montréal.

Dans le secteur de Beauceville, nous avons localisé deux nouveaux sites fossilifères et échantillonné un tuf felsique de la Formation de Beauceville pour réaliser une datation isotopique U-Pb. Dans le secteur de Bellechasse, à l'Indice Timmins, nous avons également prélevé deux échantillons de gabbro correspondant à des faciès différents pour réaliser une caractérisation géochimique et une datation isotopique U-Pb. Les échantillons de gabbro se sont avérés par la suite impossible à dater car dépourvus des minéraux nécessaires aux travaux de datation.

Les données géophysiques héliportées et terrestres ont été utilisées pour produire des cartes polychromes du champ magnétique total et du gradient magnétique vertical calculé. Ces cartes permettent de raffiner la géologie disponible pour le Groupe de Magog et pour les unités adjacentes. Nous avons utilisé également les cartes magnétiques pour localiser des linéaments obliques au grain tectonique régional. Puis, nous avons vérifié sur le terrain la signification géologique des linéaments de ce type. Pour cette partie de notre travail, nous avons utilisé les cartes géologiques de terrain de P. Cousineau produites à l'échelle de 1 : 20 000 et mises à notre disposition par l'auteur.

CONTEXTE GÉOLOGIQUE RÉGIONAL

Le Groupe de Magog, formé dans un bassin d'avant-arc à l'Ordovicien moyen, est l'unité volcano-sédimentaire porteuse de la minéralisation aurifère qui fait l'objet de cette étude. Les inventaires géologiques réalisés par P. Cousineau ont modifié sensiblement la stratigraphie interne du Groupe de Magog qui regroupe maintenant quatre formations. De la base au sommet, il s'agit de la Formation de Frontière, de la Formation d'Etchemin, de la Formation de Beauceville et de la Formation de Saint-Victor (tableau 1).

La position stratigraphique du Groupe de Magog (Caradoc) est établie à partir des graptolites trouvés dans les formations de Beauceville et de Saint-Victor (Cousineau 1990). Grâce à l'échantillon de tuf felsique prélevé pour une datation isotopique au site d'une nouvelle localité fossilifère à graptolites découverte durant l'été 1996 à la carrière de Beauceville-est (tableau 2), nous pouvons maintenant caler la position stratigraphique de la Formation de Beauceville dans l'échelle géochronologique à 462 +4/-5 Ma (tableau 3 et figure 3). Cette datation précise également l'âge maximum de la minéralisation aurifère.

Cousineau a également raffiné considérablement notre connaissance de la nature des contacts entre le Groupe de Magog et les unités adjacentes. Il a établi notamment que le Groupe de Magog repose en contact de faille sur le Complexe de Saint-Daniel, un dépôt chaotique de prisme d'accrétion contemporain de l'orogenèse taconique (Cousineau, 1987). En Beauce, ces deux unités définissent la Zone de Dunnage (Williams, 1979).

La Zone de Dunnage est limitée à l'ouest par la Ligne Baie Verte–Brompton, une structure majeure taconique réactivée durant l'orogenèse acadienne, et à l'est par la Faille de La Guadeloupe. La Faille de La Guadeloupe est un chevauchement acadien (Cousineau, 1990; Tremblay *et al*, 1989). Des copeaux de roches volcaniques bimodales attribuées au Complexe d'Ascot (Cousineau, 1990) affleurent sporadiquement le long de cette Faille.

Le Complexe structural d'Ascot regroupe plusieurs fragments d'un arc insulaire ordovicien dont les âges isotopiques varient entre 441 +6/-8 Ma et 460 ±3 Ma (David et Marquis, 1994). Cet arc insulaire était donc contemporain des formations de Beauceville et de Saint-Victor. Dans les secteurs de Sherbrooke et de Weedon (au SSW de la zone d'étude), des sulfures massifs cupro-zincifères ont été exploités dans le Complexe d'Ascot et des travaux d'exploration minière s'y poursuivent toujours.

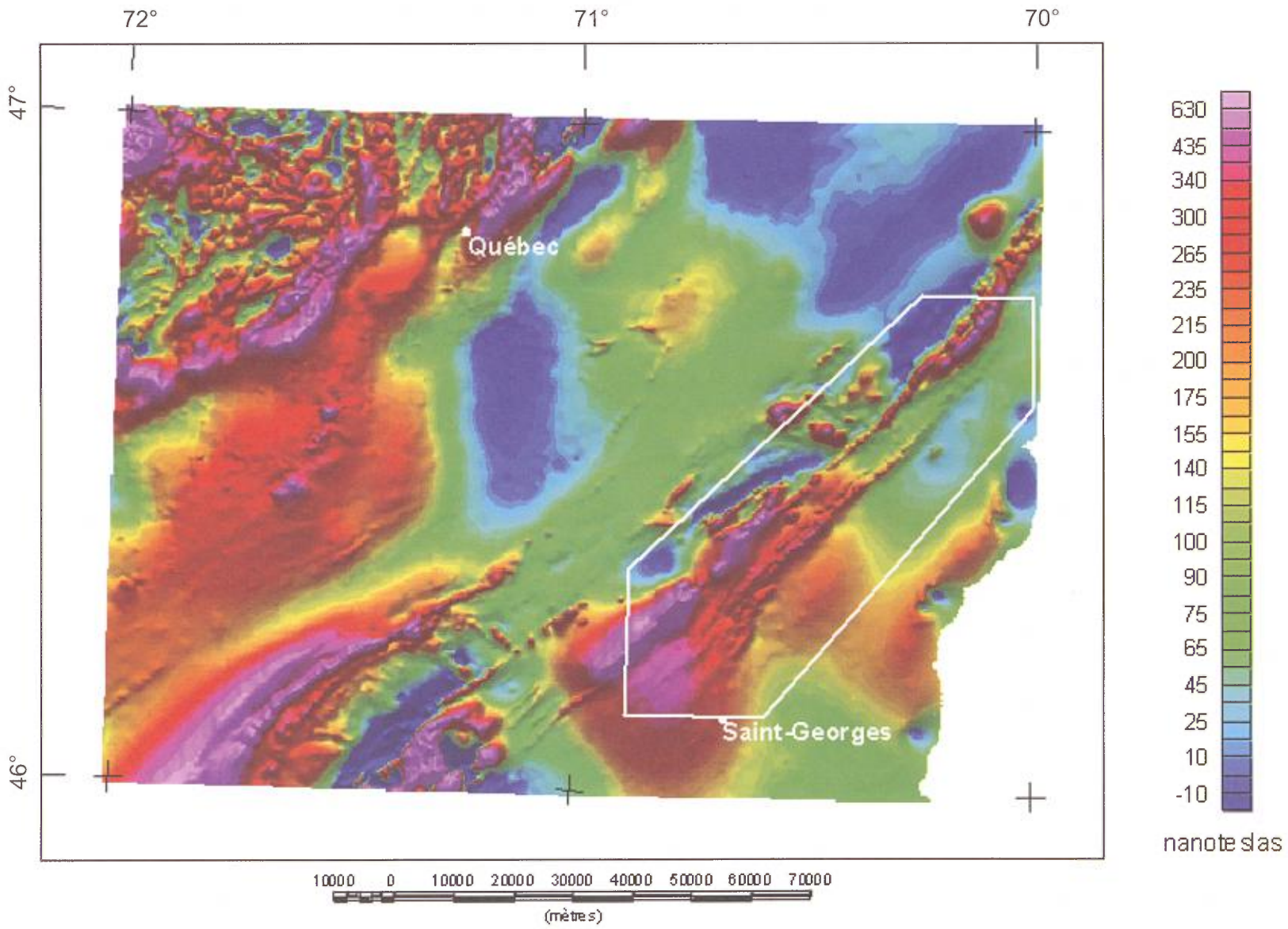
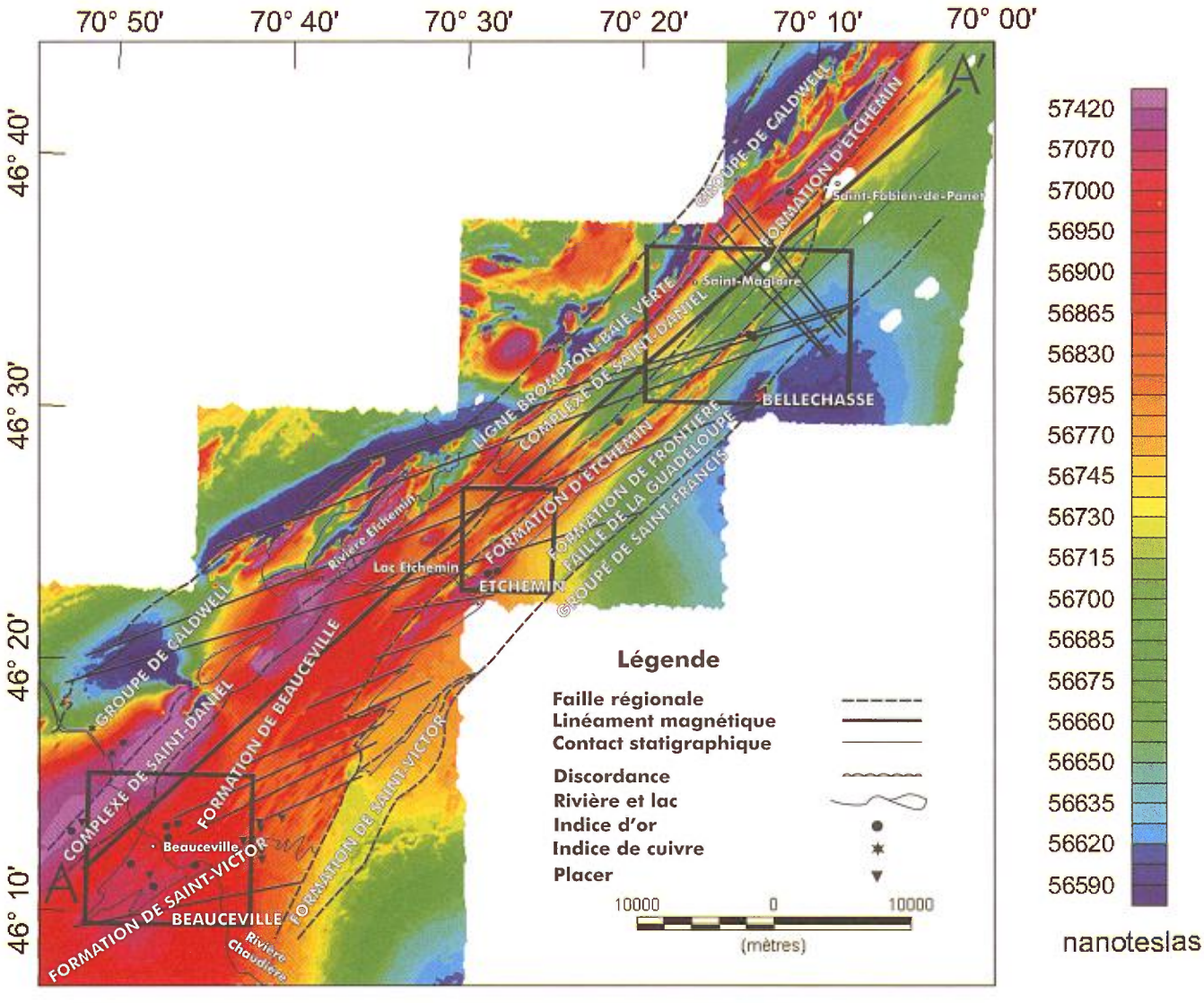


FIGURE 1 - Carte du champ magnétique total résiduel ombragé du feuillet SNRC 21L. La zone couverte par cette étude est délimitée par le périmètre indiqué en blanc.



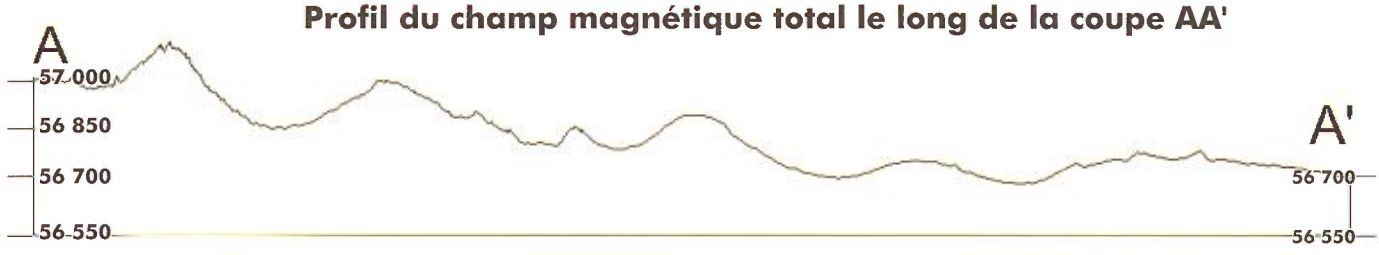


FIGURE 2 - Localisation des trois secteurs d'intérêt (Beauceville, Etchemin et Bellechasse) et des unités du Groupe de Magog sur une carte du champ magnétique total. Les contacts géologiques sont ceux de Cousineau (1990) et les linéaments aéromagnétiques ont été interprétés au cours de cette étude.

TABLEAU 1 - Stratigraphie du Groupe de Magog indiquant la position stratigraphique basée sur les biozones à graptolites et donnant l'âge absolu de la Formation de Beauceville. Les limites entre les périodes sont celles de : 1) McKerrow *et al.* (1980); 2) Harland *et al.* (1989); 3) Harland *et al.* (1982). Les âges Zr suivis d'un astérisque proviennent de Tucker *et al.* (1990).

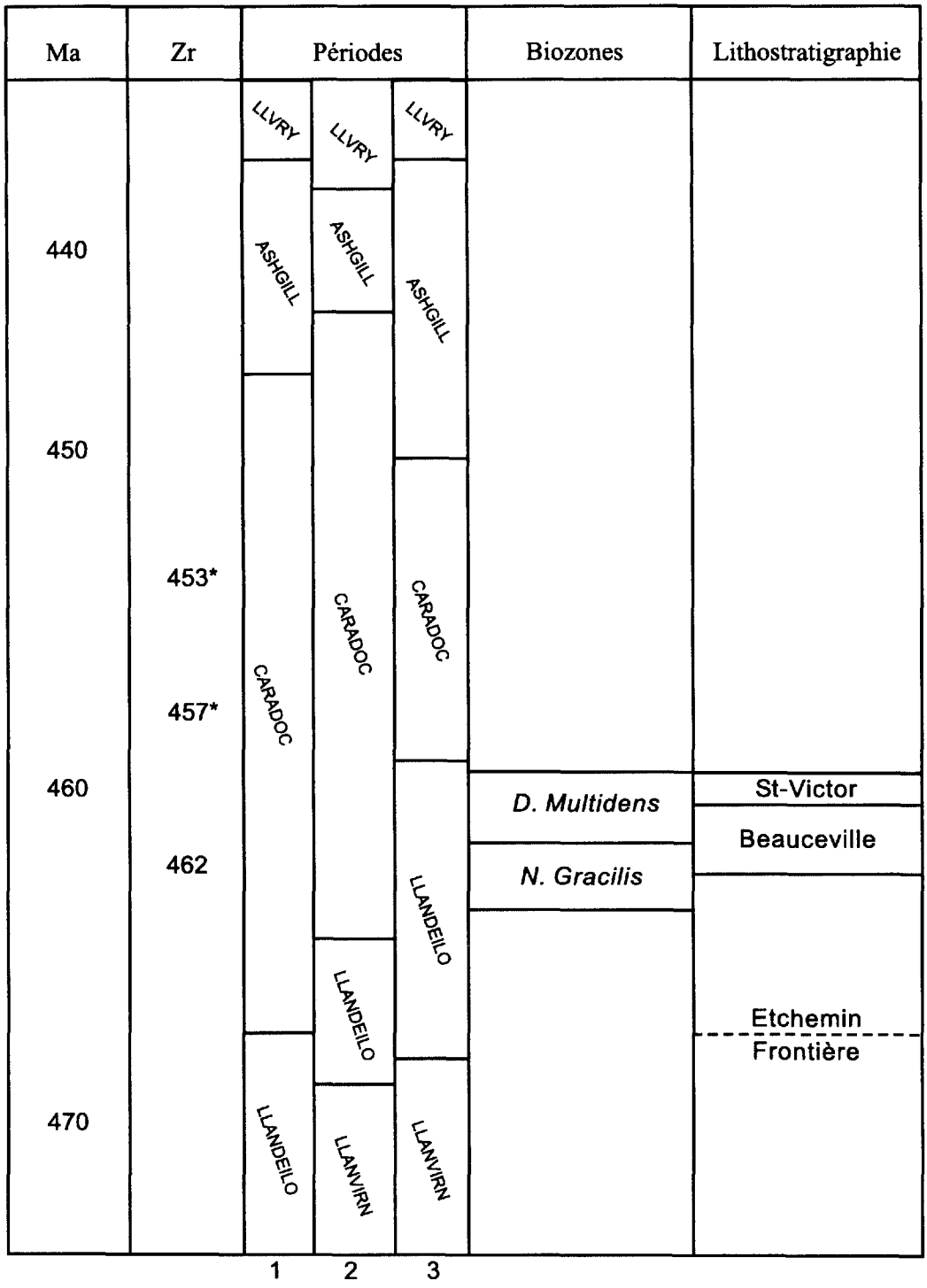


TABLEAU 2 - Graptolites de la Formation de Beauceville découverts durant l'été 1996 à la carrière de Beauceville-est (affleurement 96 RM 015) et identifiés par J. Riva (communication personnelle, 1996).

1. *Pseudoclimacograptus parvus* (Gurley)
2. *Pseudoclimacograptus modestus* (Ruedemann)
3. *Climacograptus bicornis* (Hall)
4. *Corynoides* sp.
5. *Cryptograptus tricornis* (Carruthers)
6. *Orthograptus calcaratus* (Lapworth)
7. *Orthograptus* tiré du groupe *calcaratus*
8. *« Glyptograptus » euglyphus* (Lapworth)
9. *Normalograptus brevis strictus* (Ruedemann)
10. *Dicellograptus contortus* (Ruedemann)
11. Branche probable de *Leptograptus*

Il s'agit fort probablement d'un assemblage de la zone à *Climacograptus bicornis*.

Ce terme est utilisé ici en remplacement de l'ancienne zone à *Diplograptus multidens*.

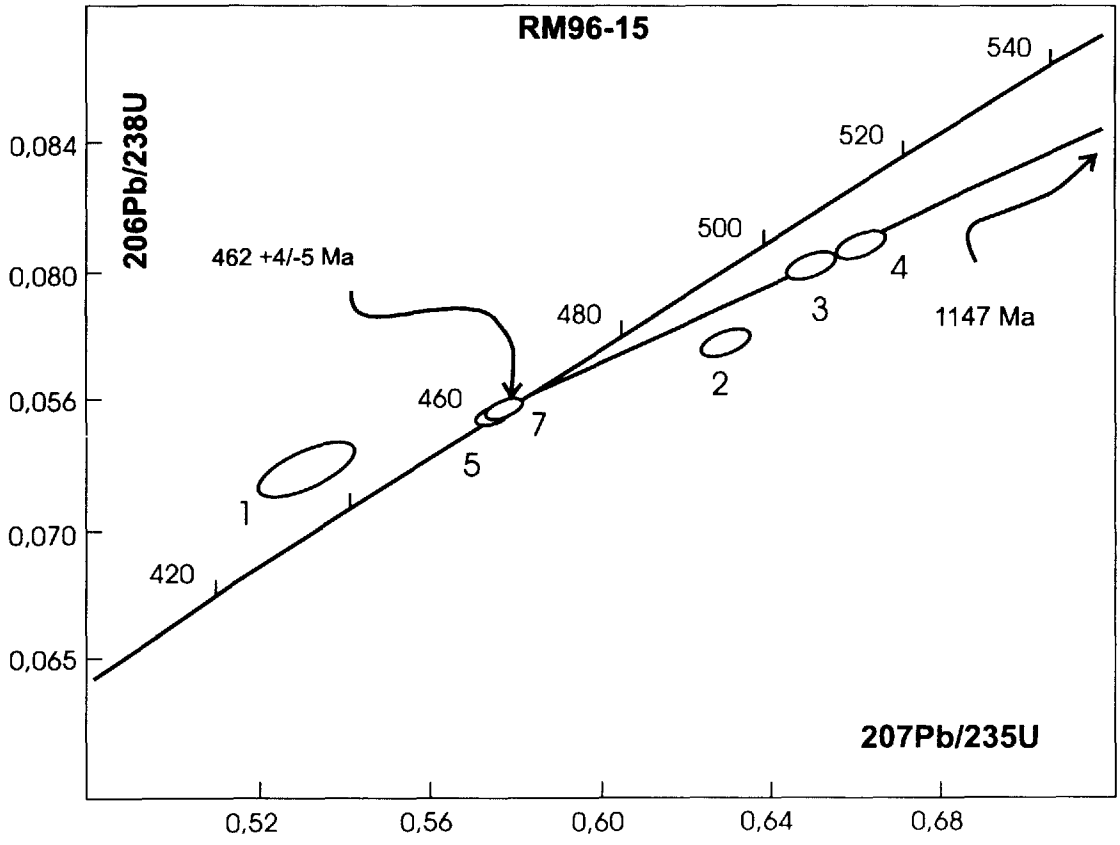


FIGURE 3 - Diagramme Concordia illustrant les résultats de la datation isotopique U-Pb obtenus pour la Formation de Beauceville (David et Parent, 1997).

TABLEAU 3 - Résultats analytiques des datations isotopiques des zircons pour déterminer l'âge de la Formation de Beauceville (méthode U-Pb décrite par David et Parent, 1997).

Échantillon			Concentrations			Rapports isotopiques					Âge	
#	Min. [1]	Poids (µg)	U (ppm)	Pb rad (ppm) [2]	Pb com (pg) [3]	Pb 206/204 [4]	Pb 208/206 [5]	Pb/U 206/238 [5]	Pb/U 207/235 [5]	Pb 207/206 [5]	Pb 207/206 (Ma)	Disc. % [6]
RM96-15 Pyroclastite - Formation de Beauceville (462 +4/-5 Ma)												
1	10z,ic,pc,sb,dia	30	84	7	8	1359	0,192	0,07210±92	0,5327±89	0,05358±58	353,4	-28,0
2	2z,ic,pc,au,dia	25	88	7	4	2771	0,186	0,07706±12	0,6278±50	0,05908±10	570,1	16,7
3	30z,ic,f,pc,dia	22	109	9	3	3720	0,177	0,07999±34	0,6478±46	0,05873±34	557,1	11,4
4	4z,ic,pl sb,fi	17	78	7	9	785	0,183	0,08086±36	0,6588±55	0,05909±40	570,3	12,6
5	15z,ic,pc,f,fi	20	80	6	7	1071	0,195	0,07421±26	0,5756±37	0,05626±30	462,6	0,3
6	14z,ic,pl,sb,nm	22	107	15	8	2480	0,119	0,13323±46	1,6333±64	0,08892±14	1402,3	45,2
7	10z,ic,pc,f,ml	27	129	10	5	3324	0,203	0,07423±32	0,5752±37	0,05621±28	460,6	-0,2

[1] Min. : nombre de grains; z=zircon; m=monazite; t=titanite; ic=incolore; b=brun; au=automorphe; sb=subautomorphe; hex=hexagonal; xn=xénomorphe; f=fragment; bp=bipyramide; pc=prisme court; pl=prisme long; eq=équidimensionnel à facettes; tb=tabulaire; susceptibilité du séparateur magnétique; dia=diamagnétique, nm=non-magnétique; m0=magnétique à 0° d'inclinaison etc., fi=non magnétique à 1,0-1,8 ampère et 10° de pente.

[2] Pb rad = plomb radiogénique.

[3] Corrigé pour la discrimination de masse. Pb com = Plomb commun total (étalon, contamination et minéral).

[4] Corrigé pour la discrimination de masse, la contamination moyenne (z, Pb=10 pg, U=1 pg; t,m, Pb=35 pg, U=5 pg), l'étalon et le Pb commun initial.

[5] Les erreurs sont présentées à 2 écarts-types. La composition isotopique du Pb commun initial a été calculée selon le modèle d'évolution à deux stades de Stacey-Kramers (1975).

[6] Disc. = discordance.

Dans le secteur de Bellechasse, des copeaux de basalte affleurent à l'intersection de linéaments aéromagnétiques ENE-WSW et NW-SE. L'aspect coussiné, hématisé et peu déformé de ce basalte rappelle les faciès volcaniques du Groupe de Caldwell. Cette corrélation pose un problème mécanique puisque la Faille de La Guadeloupe, un chevauchement vers le nord-ouest, se trouve à l'est de la Ligne Baie Verte–Brompton, tandis que le Groupe de Caldwell affleure uniquement à l'ouest de la Ligne Baie Verte–Brompton. Une hypothèse alternative consiste à attribuer l'épanchement de basalte à un épisode volcanique contemporain de la déformation acadienne, le long d'un segment en extension de la Faille de La Guadeloupe.

Les indices aurifères traités dans cette étude affleurent dans les secteurs de Bellechasse, d'Etchemin et de Beauceville. Dans les secteurs de Bellechasse et d'Etchemin, les roches hôtes de la minéralisation aurifère sont des intrusions mafiques non datées, plus jeunes (Béland, 1957) ou « pénécontemporaines » (Bossé, 1994) au dépôt des formations d'Etchemin et de Beauceville qu'elles recoupent. Dans le secteur de Beauceville, la situation est différente puisque les veines aurifères forment un stockwork dans le *mudslate* graphiteux et les volcanoclastites felsiques de la Formation de Beauceville. Récemment, les travaux stratigraphiques et pétrographiques détaillés de Tremblay (1997) ont mené à une meilleure compréhension de ces volcanoclastites felsiques. Nous savons maintenant qu'il s'agit de dépôts volcaniques subaquatiques primaires, surtout des assemblages de tufs à cristaux, décimétriques à décamétriques. L'épaisseur moyenne des assemblages tuffacés varie entre 10 et 34 mètres et l'épaisseur du *mudslate* interlité avec ces tufs varie entre 2 et 16,5 mètres. La préservation de nombreuses échardes de verre, les textures de résorbtion du quartz et les assemblages à double classement sont les principaux critères sédimentologiques invoqués pour proposer une origine primaire (Tremblay, 1997).

CADRE GÉOPHYSIQUE RÉGIONAL

Introduction

La signature aéromagnétique générale du feuillet SNRC 21L (figure 1) a été produite à partir des données numériques du DP 94-08X (Dion et Dumont, 1994). Les trois aires d'études détaillées (figure 2) sont localisées sur une carte plus précise du champ magnétique total ombragé produite à partir des données numériques du DP 96-10 (Dion et Lefebvre, 1997).

Types de données

Les cartes couleur du gradient magnétique vertical ombragé présentées ici (figures 4, 5 et 6) ont été produites en utilisant les levés électromagnétiques et magnétiques héliportés effectués pour le compte du MRNQ entre 1986 et 1991. Il s'agit des DP 86-16 de la région Beauce-Bellechasse (Jobin et Gaudreau, 1986), DP 87-15 de la région de Beauceville (Relevés géophysiques inc.,1987) et DP 91-02 de la région de St-Magloire (Sial géosciences, 1991). Les lignes de vol des levés électromagnétiques et magnétiques héliportés sont orientées N315°, perpendiculairement aux structures géologiques de premier ordre. La base de données est constituée des fichiers XYZ des données électromagnétiques et magnétiques (données en profil) et des fichiers mailles du champ magnétique total (Dion et Lefebvre, 1997). Pour compléter l'image détaillée des trois secteurs d'intérêt nous avons également utilisé certains levés géophysiques au sol, réalisés pour les compagnies d'exploration minière et déposés aux travaux statutaires. Ces données ont été intégrées aux autres en leur assignant des coordonnées compatibles.

La carte gravimétrique (figure 7) a été produite à partir des données extraites de la base de données gravimétriques disponibles à la Commission géologique du Canada (1994).

Traitement des données

Levé magnétique héliporté

Les mailles du champ magnétique total couvrant les trois secteurs d'intérêt (figure 2) ont été isolées. Le champ magnétique total a ensuite subi une continuation vers le haut de 20 m et le gradient magnétique vertical fut calculé dans le domaine des fréquences, par la transformée rapide de Fourier. Cette technique met en relief les anomalies de courtes longueurs d'ondes ou de faible extension spatiale, c'est à dire, les sources situées près de la surface. Si l'on suppose que la magnétisation est parfaitement induite et que les pendages sont verticaux alors l'isogramme zéro est une bonne approximation des contacts des corps magnétiques. Le gradient magnétique vertical facilite ainsi la cartographie géologique dans les régions où les affleurements sont absents. La version finale des mailles a nécessité un remaillage aux 25 m du champ total pour les secteurs de Bellechasse et d'Etchemin. Par la suite, l'intégration et le nivellement des données magnétiques terrestres, le calcul d'un nouveau gradient magnétique vertical après continuation vers le haut de 20 m et un nouveau découpage des secteurs d'intérêt ont été effectués.

Plusieurs cartes polychromes préliminaires du champ magnétique total et du gradient magnétique vertical furent produites pour réaliser les travaux de cartographie sur le

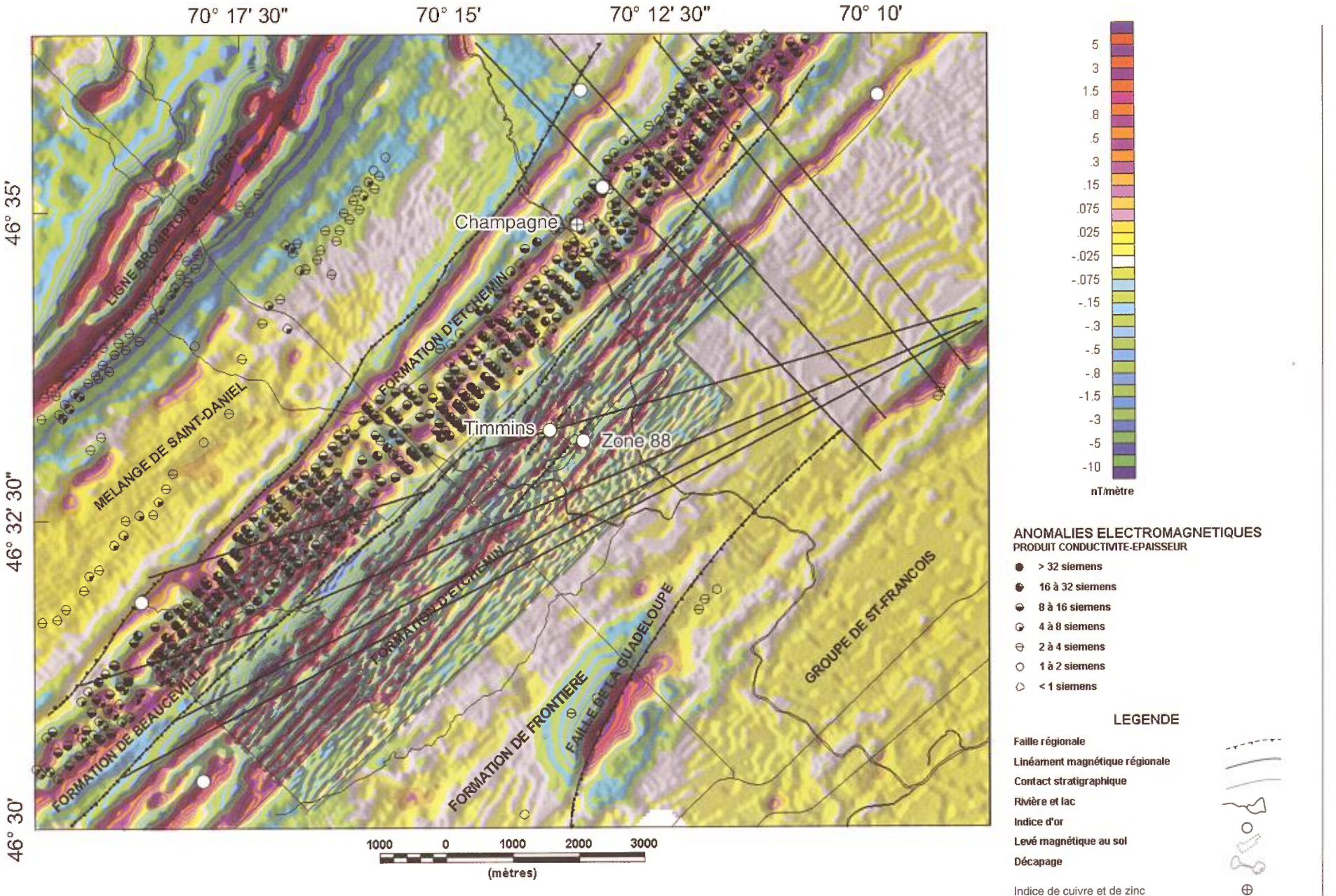


FIGURE 4 - Interprétation géophysique du gradient magnétique vertical ombragé et calculé à partir des levés aéroportés et terrestres du secteur de Bellechasse; sont aussi montrés la géologie (modifiée de Cousineau, 1990), les linéaments et la localisation des indices aurifères répertoriés sur les fiches de gîtes du MRN.

terrain. Toutes ces cartes ont été présentées selon la projection universelle transverse Mercator modifiée du système québécois de référence cartographique (S.Q.R.C.) et selon le système de référence géodésique nord-américain NAD27. Le choix de cette projection permet une superposition de l'information plus aisée avec les cartes géologiques existantes.

Levé électromagnétique héliporté

Des fichiers mailles ont été produits pour chacune des composantes en phase et en quadrature de toutes les fréquences mesurées lors des levés. Le calcul de la résistivité apparente a également été effectué.

Les données électromagétiques obtenues pour les secteurs de Bellechasse et d'Etchemin révèlent des informations sur les formations géologiques, les failles et les contacts qu'il est possible de confronter aux cartes géologiques les plus détaillées. La répartition et l'extension du *mudslate* graphiteux de la Formation de Beauceville est particulièrement évidente. Ce type d'information était déjà disponible sous une forme plus rudimentaire sur les cartes électromagnétiques déjà publiées (Jobin et Gaudreau, 1986; Les Relevés géophysiques inc., 1987 et Sial géosciences inc., 1991).

Données gravimétriques

Les données gravimétriques régionales du feuillet SNRC 21L ont été maillées selon un pas d'échantillonnage de 1000 m de côté, car la densité des points de mesure est faible et ne permet pas une meilleure résolution. La principale anomalie gravimétrique positive regroupe plusieurs unités géologiques qui ne sont pas concernées par la présente étude. Il s'agit de la Formation de Tibbit Hill du Groupe

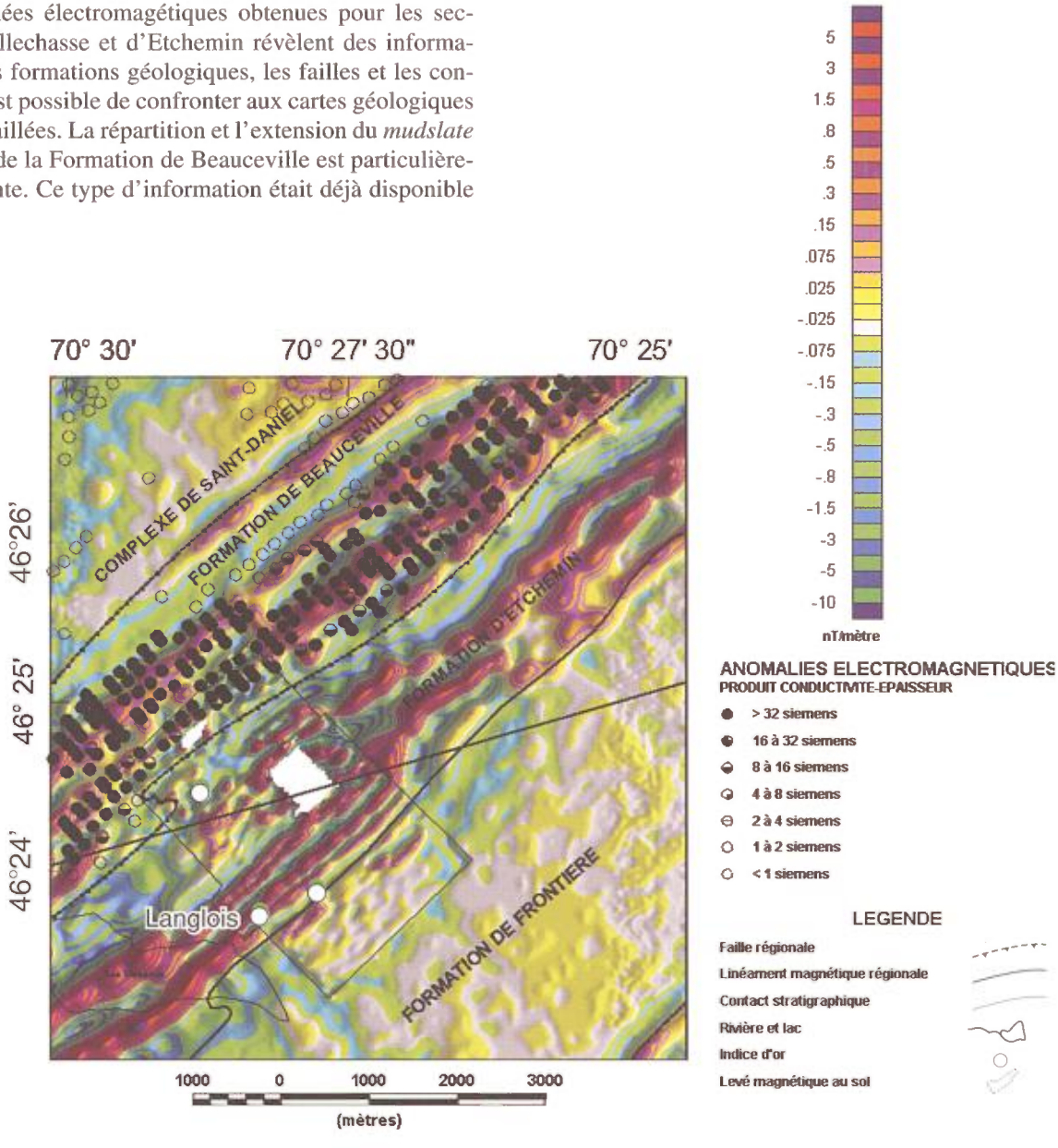


FIGURE 5 - Interprétation géophysique du gradient magnétique vertical ombragé et calculé à partir des levés aéroportés et terrestres du secteur d'Etchemin; sont aussi montrés la géologie (modifiée de Cousineau, 1990), les linéaments et la localisation des indices aurifères répertoriés sur les fiches de gîtes du MRN.

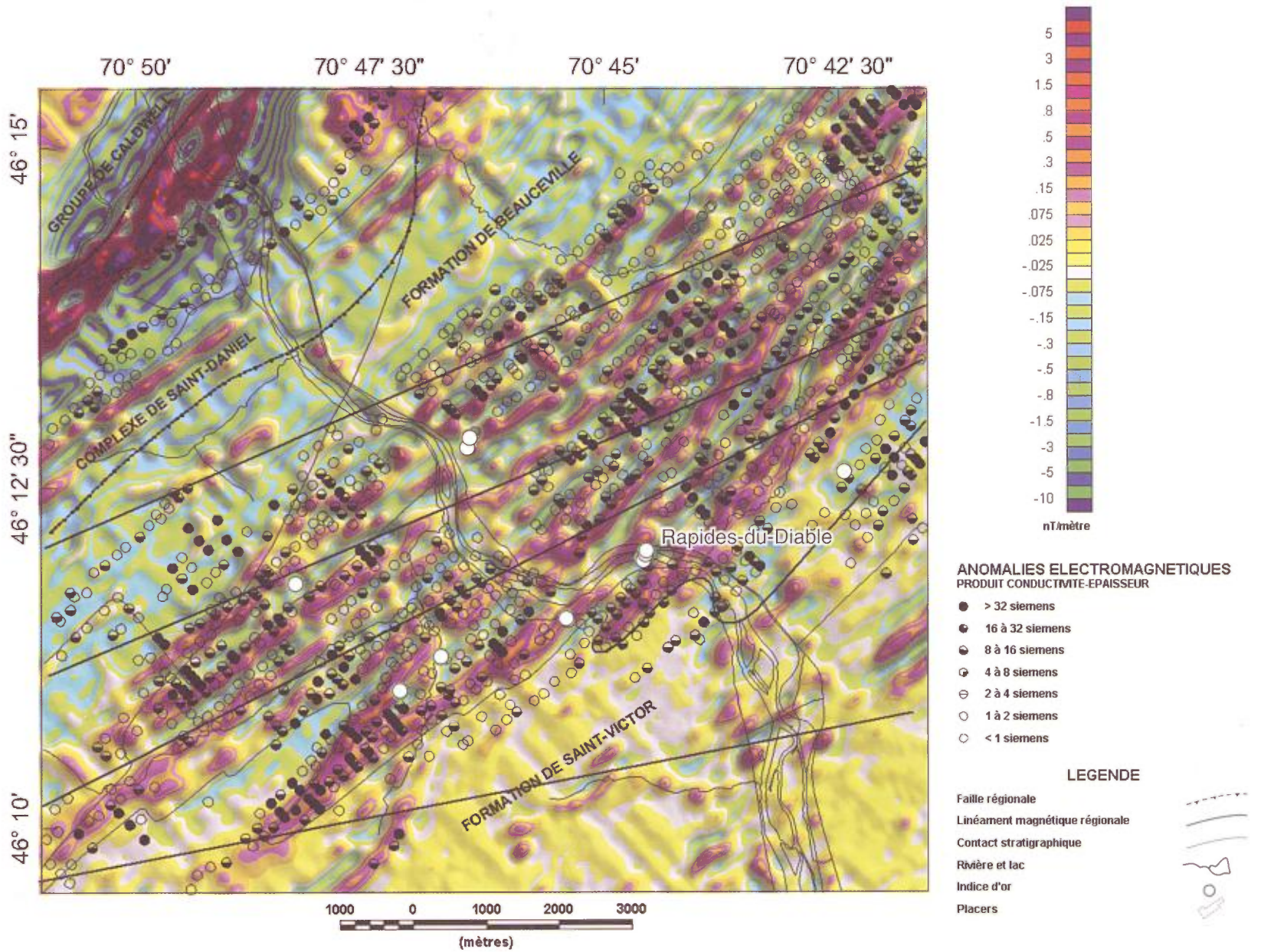


FIGURE 6 - Interprétation géophysique du gradient magnétique vertical ombragé et calculé à partir des levés aéroportés dans le secteur de Beauceville; sont aussi montrés la géologie (modifiée de Cousineau, 1990), les linéaments et la localisation des indices aurifères répertoriés sur les fiches de gîtes du MRN.

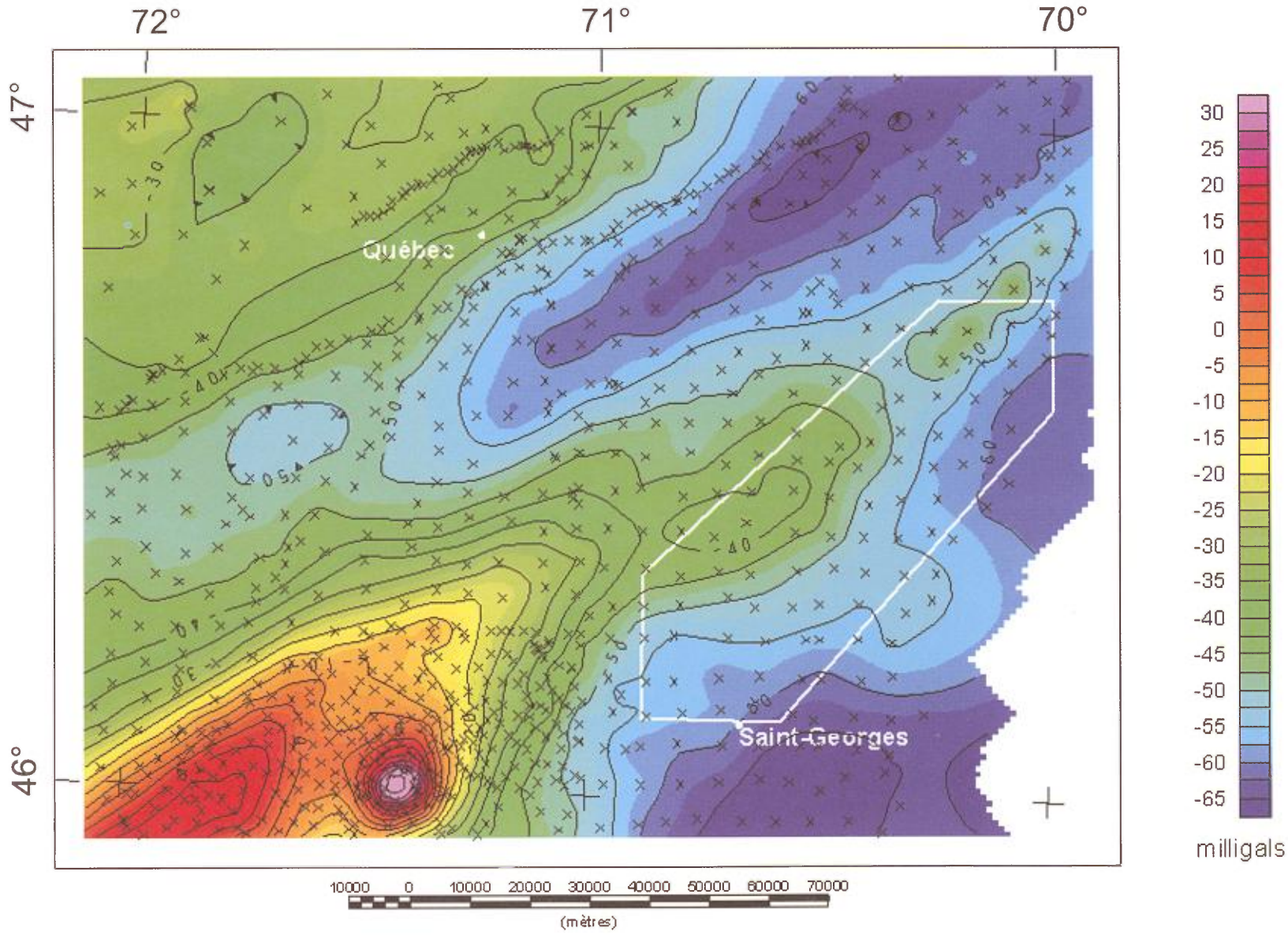


FIGURE 7 - Carte de l'anomalie de Bouguer du feuillet SNRC 21L avec des isocontours à tous les 5 milligals; les données sont issues de la base de données gravimétriques de la Commission géologique du Canada (1994). Les « X » représentent les stations de mesure. La zone couverte par cette étude est délimitée par le périmètre indiqué en blanc.

d'Oak Hill, du Complexe ophiolitique de Thetford Mines, et du basalte du Groupe de Cadwell (figure 7). Le Groupe de Magog n'a pas de signature gravimétrique particulière.

Levés terrestres

Les levés magnétiques terrestres effectués pour la compagnie d'exploration Golden Hope Mines dans les secteurs de Bellechasse et d'Etchemin ont été traités et intégrés aux levés héliportés. Nous avons complété les données numériques fournies par cette compagnie, en numérisant les cartes géophysiques du GM 51169 (Lavoie et Plante, 1991).

Nous avons fait subir une translation et une rotation à l'ensemble des données du secteur de Bellechasse pour les situer et les intégrer aux coordonnées UTM NAD27. Après avoir supprimé quelques valeurs erronées, très élevées, les données ont été maillées aux 25 m pour la produire la carte du champ magnétique total. Ces deux dernières opérations ont été répétées pour assurer une meilleure coïncidence entre les levés terrestres et héliportés. Cet ajustement a entraîné un déplacement du levé terrestre de 125 m vers le sud-est. Pour des raisons de commodité, c'est le levé terrestre qui a été déplacé, même s'il offrait, théoriquement, de meilleurs points de repère. Du fait de la linéarité des anomalies magnétiques, les mailles des levés au sol ont été générées par le programme BIGRID (GEOSOFT), afin de préserver la largeur des anomalies et leur individualité.

Le levé magnétique terrestre a été élevé au niveau du levé magnétique héliporté. Cet ajustement de niveau a été réalisé en ajoutant une constante au levé magnétique terrestre plutôt que de le continuer vers le haut, ce qui aurait donné une image identique à celle du levé héliporté. Le gradient magnétique vertical fut calculée à partir des données nivelées et unifiées de la maille du champ total.

Les données magnétiques terrestres de la région du Lac-Etchemin ont subi un traitement similaire à celles de Bellechasse. De fortes valeurs anomales provenant d'une ligne qui ne présentait pas de corrélation avec les lignes adjacentes ont été omises. Ce secteur du levé aérien étant relativement calme, nous considérons qu'il s'agit probablement d'une erreur de manipulation lors de la prise des lectures ou lors du traitement des données.

Relief ombragé

Les cartes ombragées des différentes composantes magnétiques ont été calculées. Ces calculs sont en quelque sorte des filtres rehaussant obtenus en calculant une maille représentant l'intensité lumineuse réfléchie par les données magnétiques. Nous avons fixé l'azimut de la source lumineuse à N315°, parallèlement à la direction des lignes de vol. L'angle d'inclinaison de la source lumineuse variait entre 35° et 40° et le contraste (ou l'exagération verticale) était défini par le logiciel utilisé ou légèrement rehaussé. L'information tirée du champ magnétique total donne l'expression géologique des principales unités tandis que le relief représentant le gradient magnétique vertical ombragé précise le style structural des unités.

Les cartes couleur que nous montrons ici (figures 4 à 6) contribuent à raffiner l'image géologique disponible pour le Groupe de Magog et pour les unités adjacentes. Ces cartes sont produites en superposant au gradient magnétique vertical calculé son ombragé et les contacts géologiques provenant des cartes géologiques déjà publiées à l'échelle du 1:20 000 par le MRNQ. Les indices métallifères sont localisés à partir de l'information disponible sur les fiches de gîtes revues et corrigées durant l'été 1996.

Interprétation géophysique

Les cartes géophysiques et particulièrement celle couvrant le secteur d'Etchemin (figure 5) montrent que les formations du Groupe de Magog possèdent des caractéristiques magnétiques et électromagnétiques qui permettent de les distinguer. La Formation de Frontière est caractérisée par des plages magnétiques uniformes de faible intensité. La Formation d'Etchemin contient les plus fortes anomalies magnétiques. Elle est toutefois dépourvue d'anomalies électromagnétiques. La Formation de Beauceville a une signature géophysique particulière causée par l'alternance de *mudslate* noir graphiteux fortement électromagnétique mais faiblement magnétique et de tuf felsique dont le relief magnétique est modéré. La Formation de Saint-Victor contient quelques anomalies magnétiques positives, isolées et discontinues (figure 6).

Des intrusions gabbroiques et dioritiques recoupent les unités métasédimentaires du Groupe de Magog. Comme les variations d'intensité du champ magnétique reflètent essentiellement le contenu en magnétite présent dans la roche, ces intrusions donnent des anomalies d'intensité moyenne, les plus fortes étant concentrées dans le secteur d'Etchemin (figure 5).

Le Groupe de St-Francis situé à l'est de la Faille de La Guadeloupe est caractérisé par des plages magnétiques uniformes. Il ne se distingue pas de la Formation de Frontière qui lui est adjacente. Par ailleurs, quelques anomalies magnétiques et électromagnétiques ponctuelles marquent le tracé de la Faille de La Guadeloupe qui sépare ces deux unités (figures 2 et 4).

Il est difficile également de tracer les contacts géologiques entre le Groupe de Caldwell, le Complexe de Saint-Daniel et la Formation de Beauceville en se basant uniquement sur les données géophysiques. Les divergences sont importantes entre l'interprétation géophysique et la carte géologique car les caractéristiques géophysiques des différents blocs qui constituent le Complexe de Saint-Daniel varient beaucoup. Certains blocs font plusieurs kilomètres de longueur et la signature géophysique de chaque bloc est

identique à celle de l'unité adjacente dont il est dérivé, ce qui complique l'interprétation des données géophysiques.

La distinction entre le Complexe de Saint-Daniel, la Formation de Beauceville et la Formation de Saint-Victor est parfois problématique. L'exemple le plus frappant apparait dans le secteur de Beauceville (figure 6) où une bande peu magnétique et contenant quelques anomalies électromagnétiques isolées regroupe trois unités géologiques différentes, le Complexe de Saint-Daniel, la Formation de Beauceville et la Formation de Saint-Victor. Au nord de cette bande, de fortes anomalies magnétiques marquent le contact faillé entre le Groupe de Caldwell et le Complexe de Saint-Daniel. Ces anomalies magnétiques correspondent à des roches intrusives ultramafiques interprétées comme des copeaux tectoniques incorporés au Complexe de Saint-Daniel.

Dans les secteurs de Bellechasse et d'Etchemin, la comparaison entre les levés terrestres et héliportés montre une bonne corrélation; mais il y a aussi des limites à l'utilisation des levés aériens qui regroupent fréquemment deux ou plusieurs anomalies que des levés terrestres permettent d'individualiser (figures 4 et 5).

Les cartes géophysiques sont très utiles pour identifier des structures de deuxième ordre, localiser des plis et tracer des failles ou des zones de cisaillement. Les linéaments aéromagnétiques les plus utiles sont révélés par des discontinuités ou par de brusque variations d'amplitude des anomalies magnétiques. Les cartes géophysiques dont nous disposons permettent de tracer deux familles de linéaments de ce type qui ont fait l'objet de vérifications de terrain pour en préciser la signification géologique. Par ailleurs, les failles et les zones de cisaillement parallèles au grain tectonique peuvent coïncider avec une dépression magnétique mais elles sont pratiquement indiscernables des contacts lithologiques.

Dans le secteur d'Etchemin, deux formations magnétiques sont plissées ou faillées au niveau du lac Caribou. Cette discontinuité correspond à un linéament de direction ENE qui affecte les formations de Beauceville et d'Etchemin (figure 5). Dans le secteur de Bellechasse, un linéament ENE du même type passe par l'Indice Timmins (figure 4). Il se poursuit sur plusieurs kilomètres, de part et d'autre de l'indice aurifère. Sur le terrain, ce linéament correspond à une zone de cisaillement ductile-fragile d'environ 100 m de largeur le long de laquelle la schistosité régionale subi une rotation anti-horaire vers le nord (figure 8). Sur la base de cette information, nous interprétons également les autres linéaments ENE-WSW qui affectent l'ensemble du Groupe de Magog comme des zones de cisaillement senestres de deuxième ordre qui se rattachent aux grandes failles acadiennes (figure 2).

Dans le même secteur, une autre famille de linéaments est orientée NW-SE (figures 2 et 4). Nos observations de terrain confirment les travaux de Bossé (1994) qui rapportait la présence de petites failles synsédimentaires ayant cette attitude près de l'Indice Champagne (figure 9). De plus, nous avons également observé un clivage NW-SE restreint au secteur où nous traçons ces linéaments. Ce clivage espacé recoupe la schistosité régionale. En nous basant sur ces observations, nous proposons que les linéaments NW-SE correspondent à des failles synsédimentaires réactivées durant la déformation acadienne.

Les linéaments NW-SE ne sont pas dispersés uniformément sur le terrain couvert par notre étude. Nous les avons reconnus uniquement dans la partie nord-est du secteur de Bellechasse. D'autres structures de ce type pourraient être suggérées sur la base d'un profil géophysique longitudinal (figure 2), qui chevauche le contact présumé entre le Complexe de Saint-Daniel et la Formation de Beauceville. Ce profil montre une série d'oscillations de 100 à 200 nT d'amplitude et d'une période de 15 à 20 kilomètres (figure 2). L'hypothèse de faibles plissements acadiens de direction NW-SE pourrait expliquer ces oscillations.

ANALYSE STRUCTURALE

Introduction

Dans les trois secteurs d'intérêt, nous avons relevé l'ensemble des structures planaires et linéaires: litage, schistosité, plans de cisaillement et linéations minérales, plans axiaux des plis mineurs et axes de plissement. Nous avons relevé également toutes les orientations de veines de quartz minéralisées ou non, en prenant soin de noter les paragenèses minérales caractéristiques de chaque veine et les relations de recoupement entre elles. Par la suite nous avons traité statistiquement ces données pour identifier des familles de veines. L'orientation et la cinématique des failles mineures et leurs stries ont également fait l'objet de levés systématiques.

Toutes les données structurales ont été utilisées pour identifier les contrôles structuraux locaux sur la minéralisation aurifère. Il en résulte trois modèles de déformation différents (figure 10). À l'échelle régionale, ces modèles locaux s'intègrent à une tectonique régionale impliquant une seule phase de déformation.

Secteur de Bellechasse

Dans le secteur de Bellechasse, l'attitude générale NE-SW de la schistosité régionale est comparable à celle qui prévaut pour l'ensemble du Groupe de Magog (figure 11). Toutefois, une linéation minérale fortement plongeante a été relevée sur plusieurs plans de schistosité. Cette fabrique linéaire enregistre un cisaillement empruntant les plans de

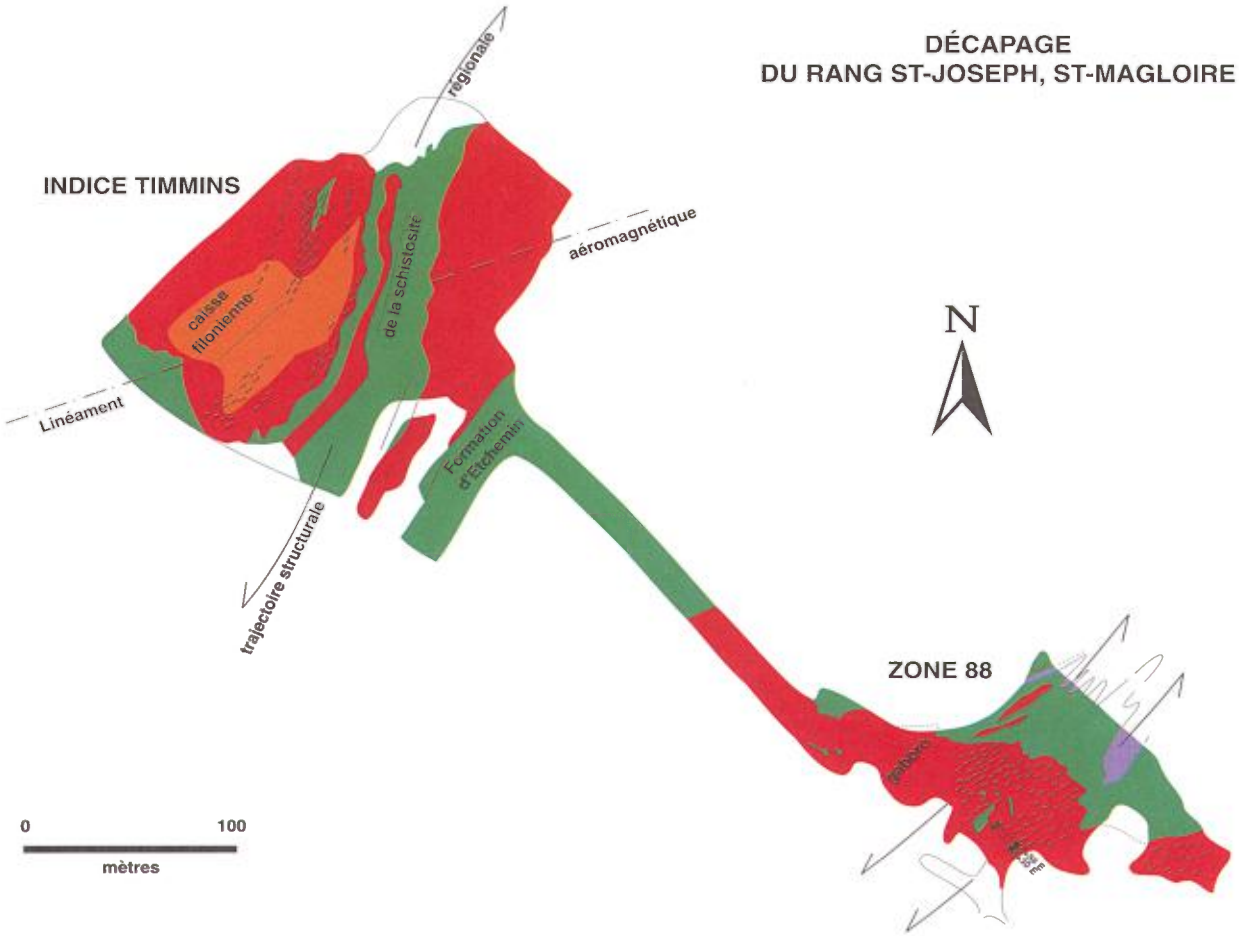


FIGURE 8 - Secteur de Bellechasse. Croquis à la planchette de l'Indice Timmins et de la Zone 88, rang Saint-Joseph, Saint-Magloire.

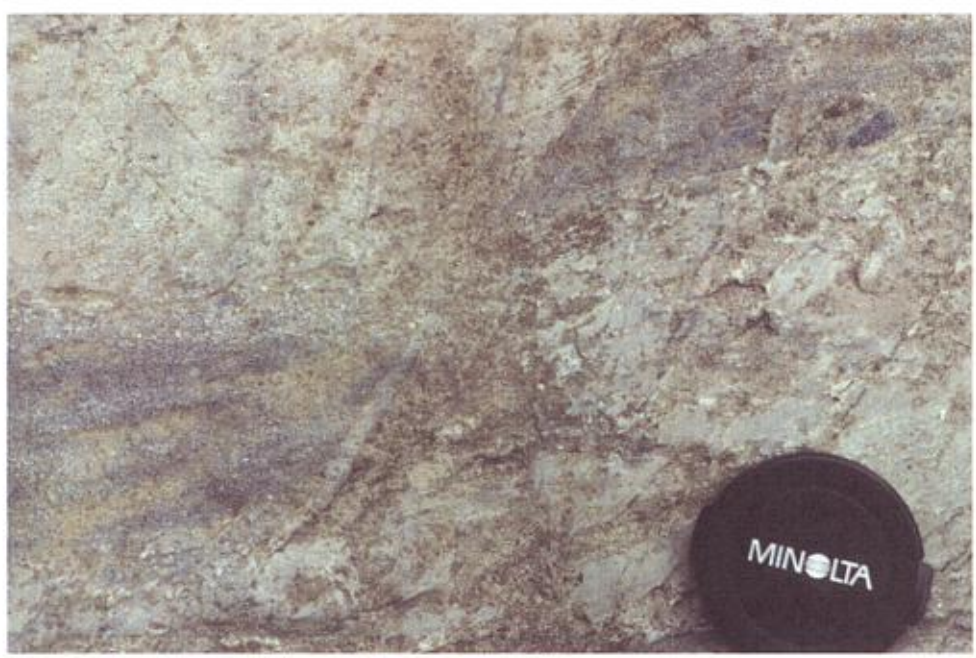


FIGURE 9 - Secteur de Bellechasse. Photographie d'une faille synsédimentaire affectant un tuf felsique de la Formation de Beauceville. Cette faille est parallèle aux linéaments aéromagnétiques NW-SE.

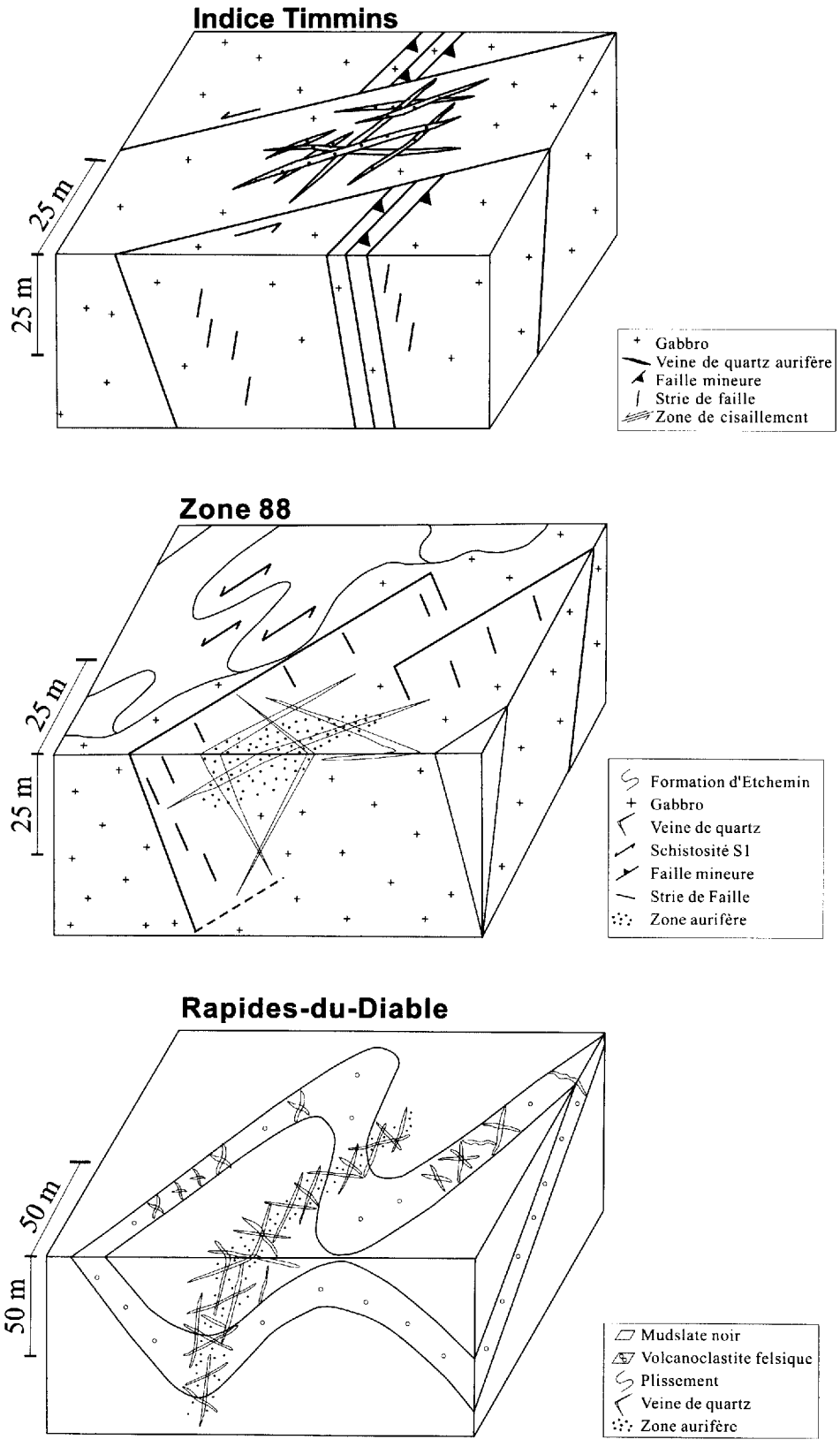


FIGURE 10 - Blocs-diagrammes montrant les principaux éléments structuraux contrôlant la répartition et la géométrie des veines de quartz: a) secteur de Bellechasse, Indice Timmins, b) secteur de Bellechasse, Zone 88, et c) secteur de Beauceville, Indice Rapides-du-Diable.

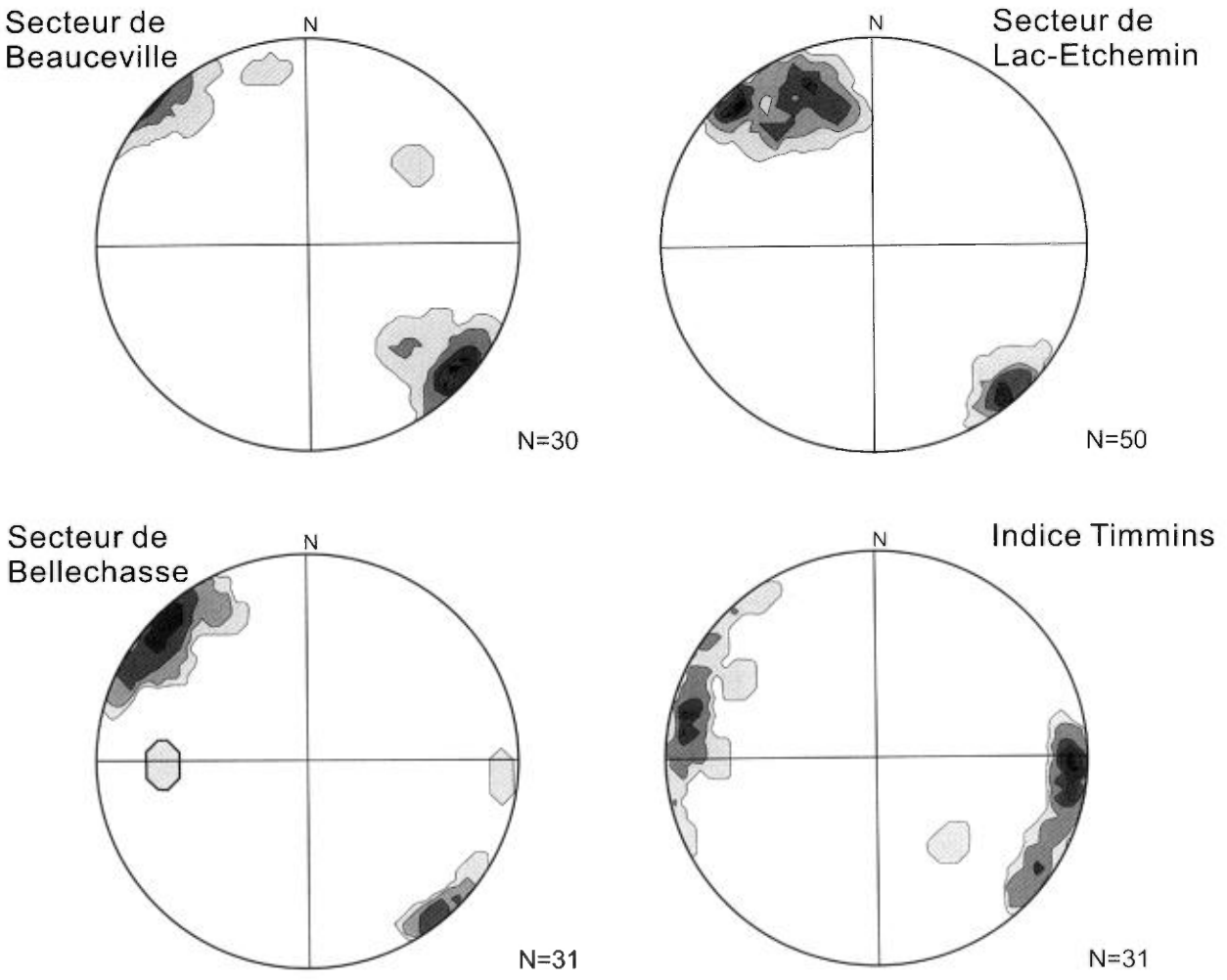


FIGURE 11 - Secteurs de Beauceville, d'Etchemin et de Bellechasse. Stéréogrammes équiaires illustrant l'attitude moyenne de la schistosité régionale et son attitude particulière à l'Indice Timmins.

schistosité déjà existant. Elle est bien développée à l'Indice Timmins et à la Zone 88 ainsi que sur les affleurements situés à proximité de ces indices.

Ces zones de cisaillement sont pratiquement indétectables sur les cartes géophysiques car elles sont parallèles au grain tectonique. Dans tous les cas, le plongement de la linéation minérale est parallèle au pendage de la schistosité ce qui indique un raccourcissement par cisaillement inverse. Nous pensons que ce cisaillement est tardif relativement au plissement régional car, dans le secteur cisaillé, le plongement des plis mineurs varie du SW vers le NE (figure 12).

À l'Indice Timmins, la schistosité régionale devient presque N-S (figure 11). Cousineau avait déjà reconnu à plusieurs endroits ces déviations locales d'attitude. Nos levés détaillés à l'Indice Timmins indiquent que la rotation antihoraire de la schistosité dans la Formation d'Etchemin est causée par une zone de cisaillement senestre, ENE-WSW (figure 8). À cet endroit, cette zone de cisaillement ductile-fragile a une épaisseur d'environ 100 m. Sur les cartes, elle correspond à un linéament oblique au grain tectonique régional, révélé par des discontinuités ou de brusque variations d'amplitude des anomalies magnétiques. À l'Indice Timmins, c'est ce cisaillement qui est responsable de la fracturation de la diorite à albite minéralisée. La zone de cisaillement senestre ENE-WSW qui passe par l'Indice Timmins est absente de la Zone 88.

Notre analyse démontre que l'attitude des veines de quartz diffère sensiblement entre les deux principaux indices aurifères, l'Indice Timmins et la Zone 88. À la Zone 88, la répartition globale des veines de quartz (figure 13) et leur subdivision en 4 familles incluant des veines subhorizontales (figure 14), sont compatibles avec un cisaillement inverse sur la schistosité. Les failles mineures et les stries associées sont également contemporaines de ce cisaillement (figure 15). À l'Indice Timmins (figure 16), c'est le cisaillement senestre ENE-WSW qui contrôle la répartition et la géométrie des 3 familles de veines de quartz (figure 17). De plus, les failles mineures et les stries associées montrent une dispersion

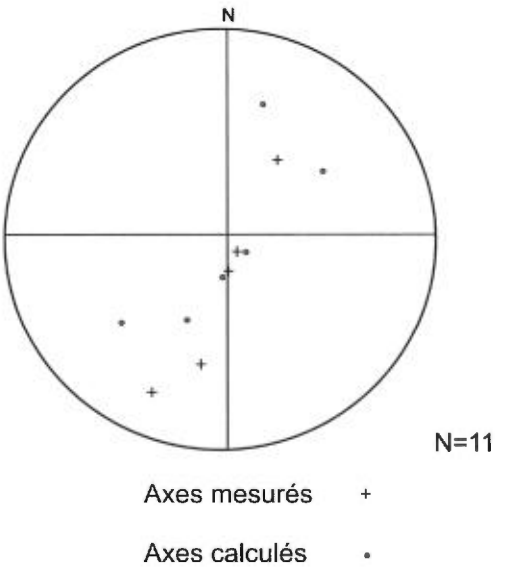


FIGURE 12 - Secteur de Bellechasse. Stéréogrammes équiaires montrant la répartition des axes de plissement mineur.

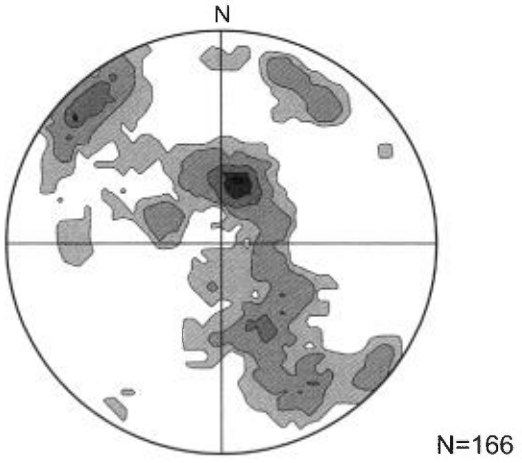


FIGURE 13 - Secteur de Bellechasse. Stéréogrammes équiaires montrant la répartition globale des veines de quartz à la Zone 88.

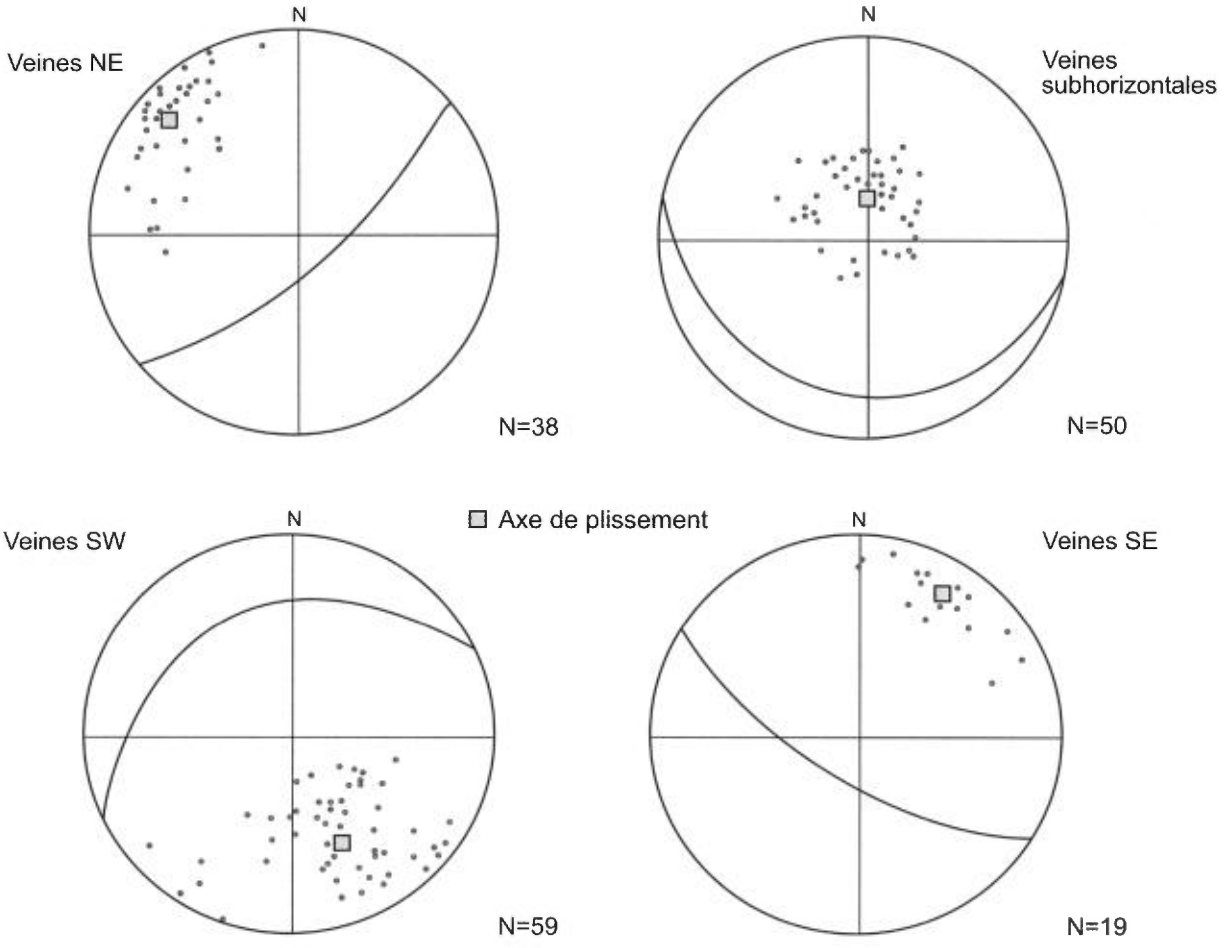
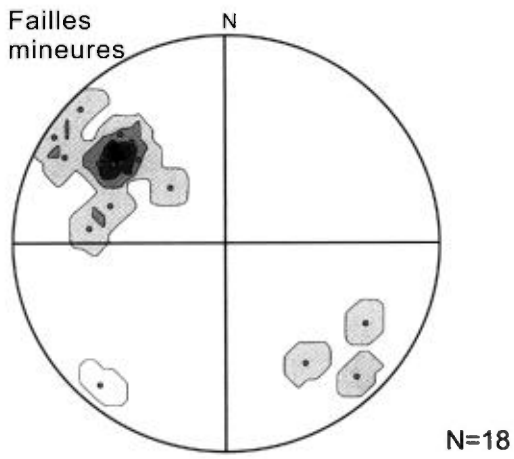
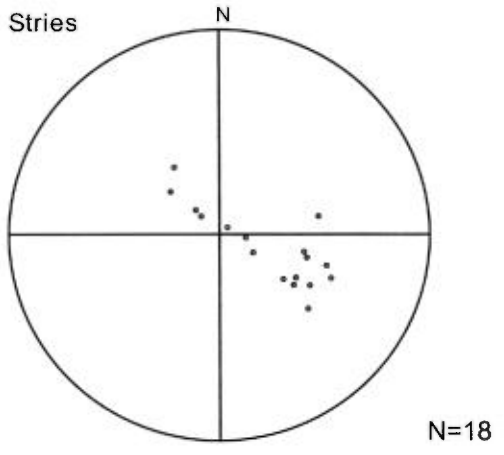


FIGURE 14 - Secteur de Bellechasse. Stéréogrammes équiaires montrant la répartition des veines de quartz par familles à la Zone 88.





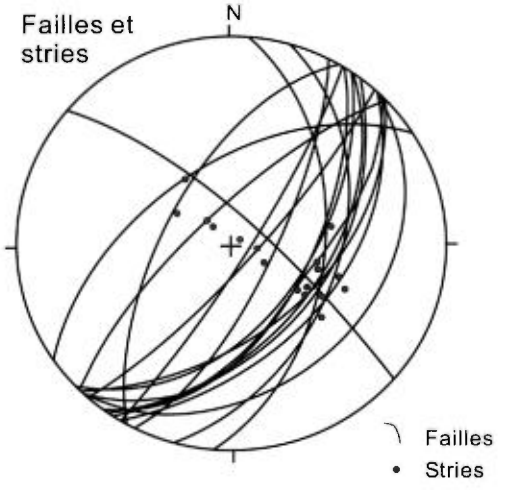


FIGURE 15 - Secteur de Bellechasse. Stéréogrammes équiaires montrant la répartition des failles mineures et des stries à la Zone 88.

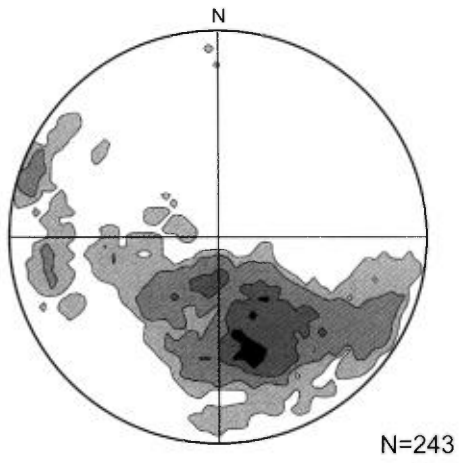


FIGURE 16 - Secteur de Bellechasse. Stéréogrammes équiaires montrant la répartition globale des veines de quartz à l'Indice Timmins.

plus grande qu'à la Zone 88 (figure 18). Selon nous, cette dispersion des failles et des stries est également causée par le cisaillement senestre ENE-WSW qui est un peu plus jeune que le cisaillement à rejet inverse, parallèle à la schistosité régionale.

Les levés aéromagnétiques permettent de tracer plusieurs linéaments du même type et de même orientation entre la Faille de La Guadeloupe et la Ligne Baie Verte–Brompton et même au-delà (figure 2). Nous interprétons ces linéaments ENE-WSW comme des structures de deuxième ordre développées durant l'orogenèse acadienne.

Dans le secteur de Bellechasse, plusieurs linéaments ENE-WSW dont celui passant par l'Indice Timmins, rejoignent la Faille de La Guadeloupe en un point où affleurent un basalte coussiné, hématisé et peu déformé (figure 4). Une anomalie magnétique positive et quelques anomalies électromagnétiques isolées caractérisent ce basalte dont la couleur et les structures primaires rappellent le Groupe de Caldwell connu pour son potentiel cuprifère de type *red-beds* (Gauthier *et al.*, 1989)

Secteur d'Etchemin

Dans le secteur d'Etchemin plusieurs indices ont fait l'objet de relevés structuraux. Les intrusions mafiques minéralisées forment des aires d'affleurements trop petites pour permettre une étude comparable à celle réalisée dans le secteur de Bellechasse. Le décapage le plus considérable est celui de l'Indice Langlois qui expose une séquence sédimentaire litée, typique de la Formation d'Etchemin. À cet endroit les roches sont plissées et injectées de nombreuses veines et veinules de quartz qui forment un véritable stockwork.

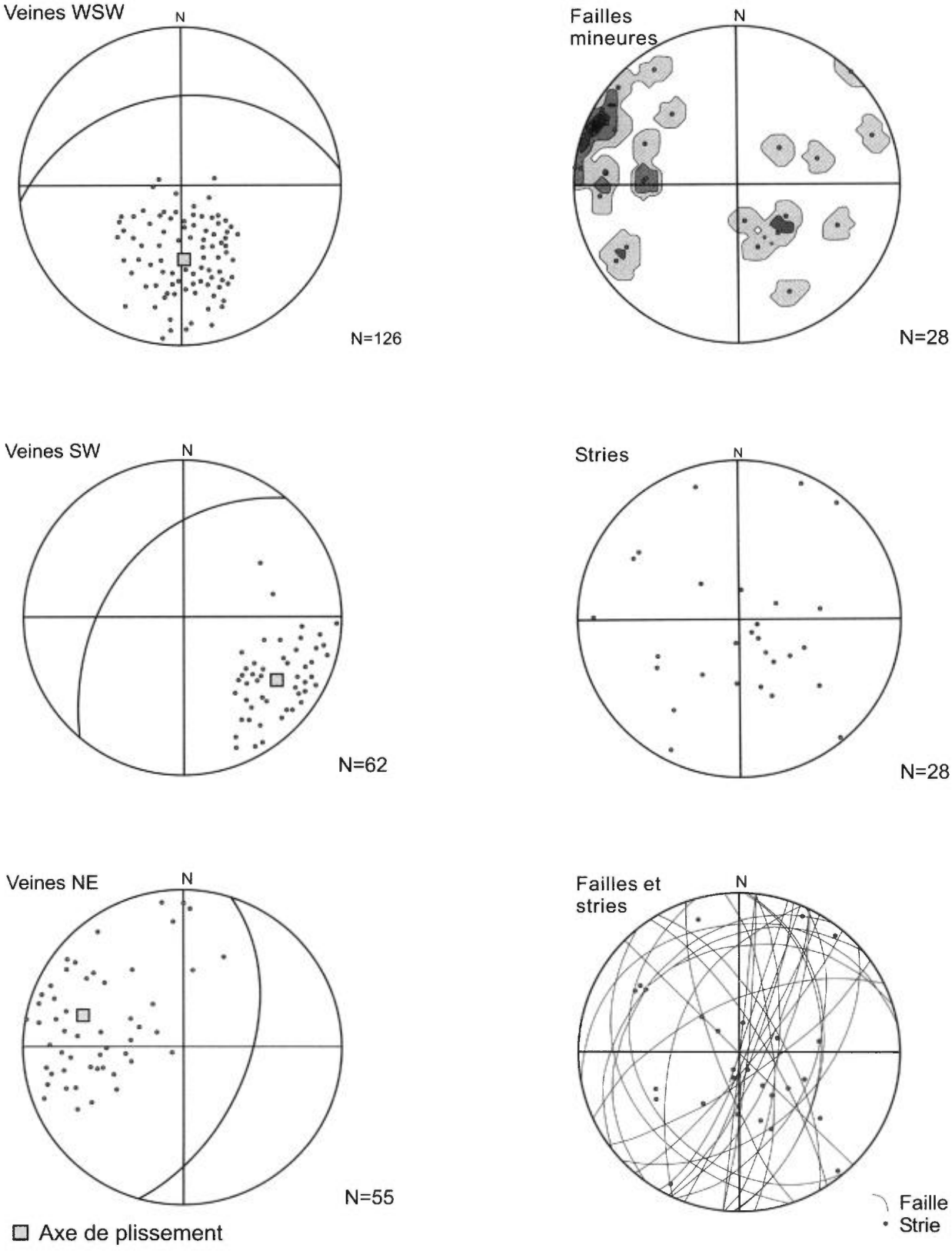


FIGURE 17 - Secteur de Bellechasse. Stéréogrammes équiaires montrant la répartition des veines de quartz par familles à l'Indice Timmins.

FIGURE 18 - Secteur de Bellechasse. Stéréogrammes équiaires montrant la répartition des failles mineures et des stries à l'Indice Timmins.

Nous avons pu établir les relations géométriques entre les veines de quartz, la schistosité, les linéations minérales et les axes de plissement mineur (figure 19). Les veines les plus abondantes sont sub-verticales, lenticulaires et un peu plus fortement pentées que la schistosité régionale. Ces veines sont souvent striées et le plongement des tiges de quartz est plus fort que celui des axes de plissement mineur attribués au plissement régional. La répartition des pôles des plans de stratification mesurés au même affleurement indique un axe de plissement moyen fortement plongeant au sud-ouest (figure 20). Certaines veines sont perpendiculaires à la schistosité régionale. Ces veines sont plissées et le pourcentage de raccourcissement est de l'ordre de 50% (figure 21).

Secteur de Beauceville

Dans le secteur de Beauceville, les indices aurifères se trouvent dans la Formation de Beauceville. Les indices connus sont regroupés à Beauceville ouest, dans la vallée du ruisseau des Meules et de la rivière du Moulin, ainsi que le long des Rapides-du-Diable. Dans ce secteur, la minéralisation aurifère est concentrée dans des veines dont la géométrie est contrôlée par le plissement régional. Ce sont les assemblages de tufs et l'épaisseur du *mudslate* noir entre ces niveaux compétents qui contrôlent la longueur d'onde du plissement.

Les veines sont lenticulaires et perpendiculaires au litage (figure 22). Elles se regroupent en trois familles dont un réseau sub-horizontal (figure 23). Nous n'avons pas observé de veines parallèles au litage, de type *saddle-reef*. Les veines de quartz et calcite restreintes aux niveaux compétents sont stériles. C'est généralement le cas des veines formées sur les flancs longs des plis. Les veines aurifères recoupent le litage. Elles forment alors un stockwork qui affecte également le *mudslate* pyriteux, silicifié, qui représente la source de l'or la plus probable (Godue, 1988).

La minéralisation aurifère de ce type la mieux connue est celle des Rapides-du-Diable où plusieurs forages ont intercepté des valeurs en or supérieures ou égales à 1 g/t, sur des intersections métriques (Bernard, 1995). À cet endroit, le stockwork minéralisé est développé dans une zone de cisaillement à mouvement inverse formée au flanc court d'un pli asymétrique de deuxième ordre.

La longueur d'onde du pli est de 60 m. Sa charnière affleure sur la rive est de la rivière Chaudière. À cet endroit, le tuf montre une épaississement important et un début de transposition qui suggère des conditions de température et de pression typiques du faciès schiste vert à chlorite. La zone minéralisée pourrait se poursuivre vers le sud-ouest car la structure porteuse affecte également le contact entre les formations de Beauceville et d'Etchemin situé à environ 1 km de l'indice aurifère.

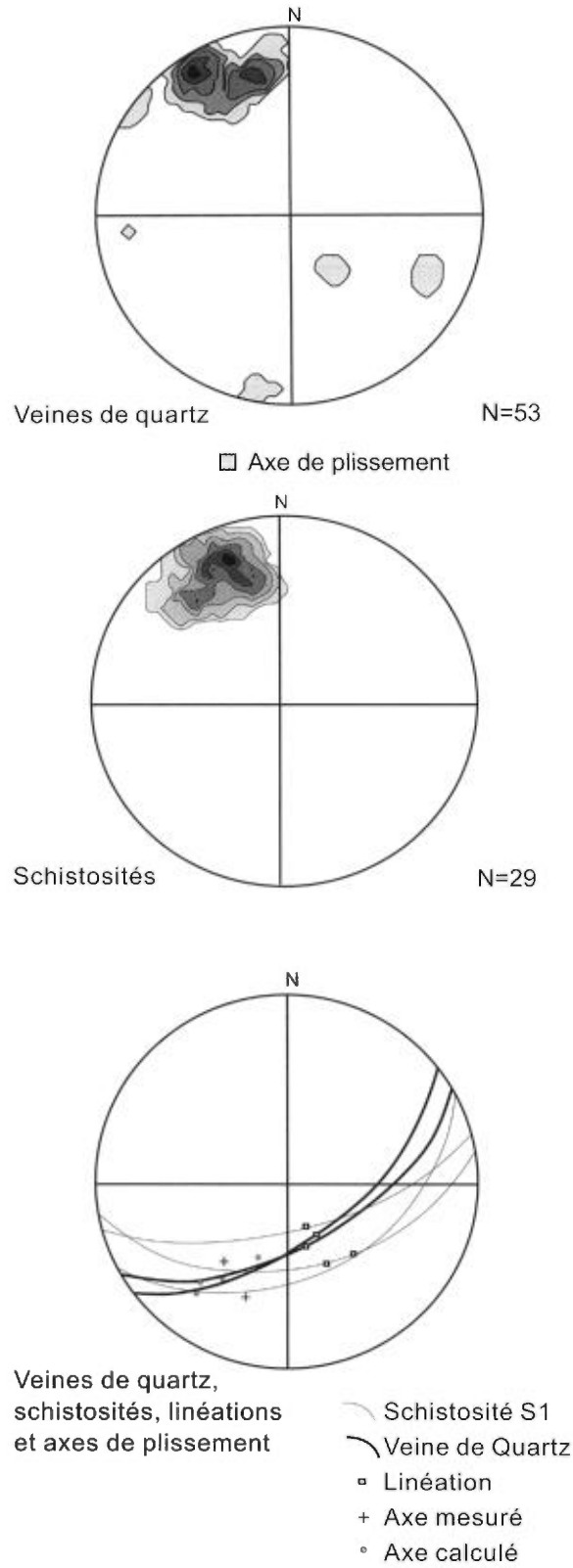


FIGURE 19 - Secteur d'Etchemin. Stéréogrammes équiaires montrant les relations géométriques entre les veines de quartz, la schistosité, les linéations minérales et les axes de plissement mineur.

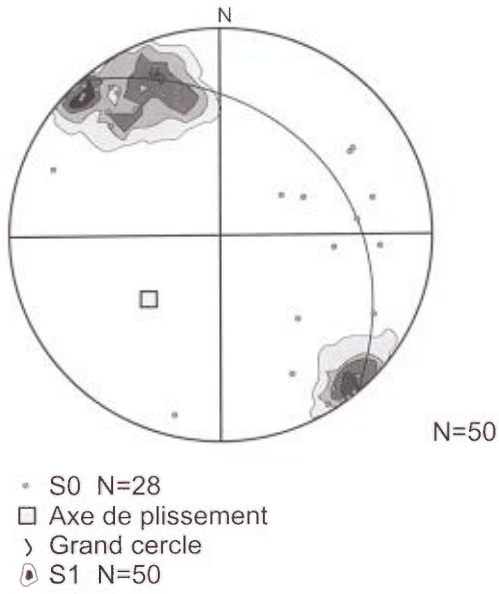


FIGURE 20 - Secteur d'Etchemin. Stéréogramme équiaire montrant les relations géométriques entre le litage S0 et la schistosité S1 représentée par des contours de densité.

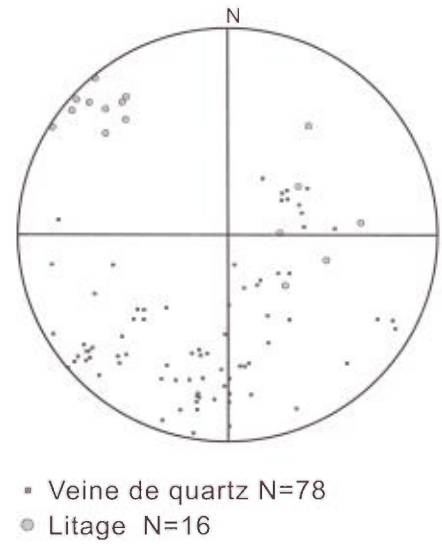


FIGURE 22 - Secteur de Beauceville. Stéréogramme équiaire montrant les relations géométriques entre les principaux éléments structuraux.



FIGURE 21 - Secteur d'Etchemin. Veines de quartz plissées à l'Indice Langlois. Le raccourcissement est de l'ordre de 50 %.

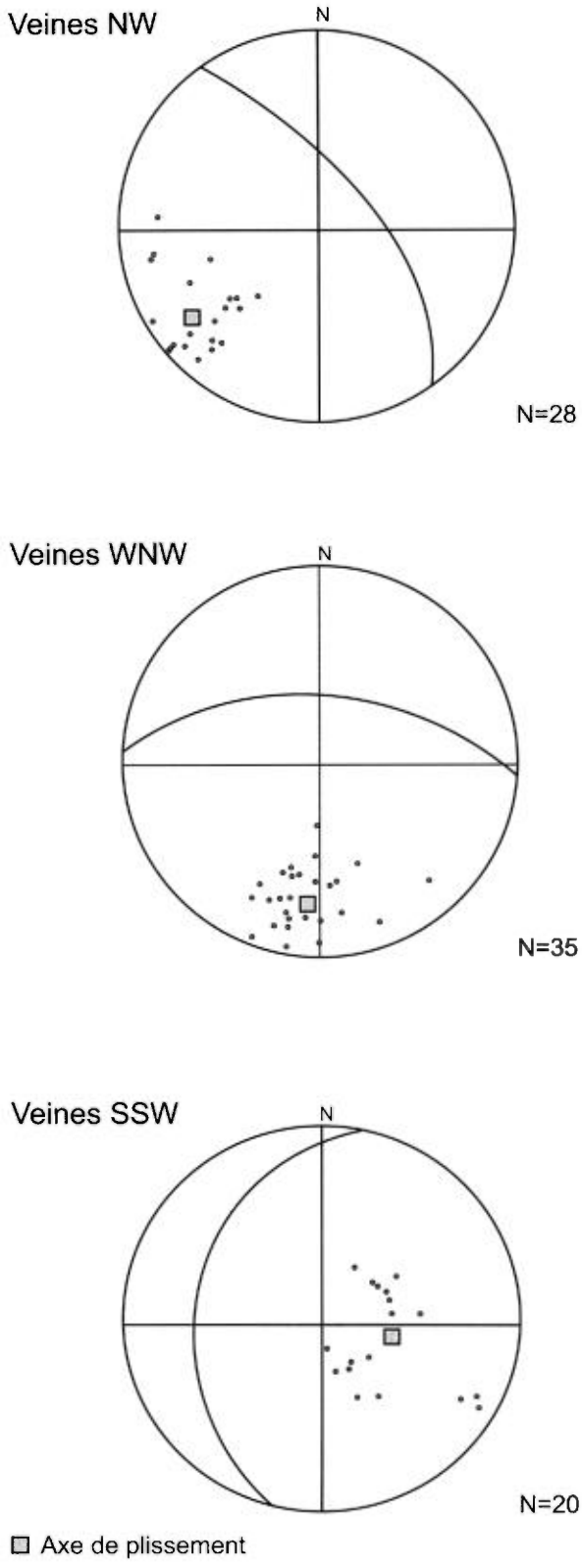


FIGURE 23 - Secteur de Beauceville. Stéréogrammes équiaires montrant la répartition des veines de quartz par familles à l'Indice Rapides-du-Diable.

DISCUSSION

Introduction

Le portrait géologique et géophysique du Groupe de Magog en Beauce est relativement précis. Le contexte géotectonique global est également assez bien établi. On sait maintenant qu'un volcanisme sous-marin était actif durant le dépôt du *mudslate* noir de la Formation de Beauceville. Certains faciès tufacés sont silicifiés et minéralisés en pyrite et en pyrrhotite disséminés. Une origine volcanogène est proposée pour la silicification, ce qui implique la circulation de fluides hydrothermaux minéralisateurs durant la sédimentation. Certains niveaux stratigraphiques de la Formation de Beauceville sont donc susceptibles de présenter un potentiel aurifère non négligeable. Ce contexte tectonique actif est démontré également par la présence de failles synsédimentaires près du gîte Champagne, une minéralisation zincifère, cuprifère et aurifère. La présence du gîte Champagne à proximité d'une ancienne faille synsédimentaire réactivée durant l'orogenèse acadienne suggère un contrôle structural sur la circulation des fluides minéralisateurs contemporains de l'activité volcanique. Par ailleurs, les veines aurifères du Groupe de Magog contiennent de l'or natif souvent associé à l'arsénopyrite, la sphalérite, la chalcopyrite, la galène, la pyrite et la pyrrhotite.

La région a été affectée par une seule phase de déformation qui a produit des failles de premier ordre parallèles à la Faille de La Guadeloupe, et des plis serrés sub-verticaux sur lesquels se superpose localement un cisaillement parallèle aux grandes failles régionales avec des mouvements inverses sur les plans de schistosité.

Nous avons reconnu également des linéaments aéromagnétiques correspondant à des cisaillements de deuxième ordre obliques au grain tectonique. Un cisaillement de ce type contrôle la géométrie des veines de quartz aurifères de l'Indice Timmins. Ce cisaillement senestre ENE se manifeste par des structures ductiles dans les roches sédimentaires, schistosées, et par des structures fragiles (veines et failles) dans les intrusions mafiques compétentes. C'est ce qui explique le développement d'une caisse filonienne à l'Indice Timmins.

En comparant l'Indice Timmins et la Zone 88, on s'aperçoit que le filon-couche injecté à la base de la Formation d'Etchemin, à la Zone 88, est peu minéralisé et que les veines sont petites alors qu'à l'Indice Timmins, le dyke recoupe le contact entre la Formation d'Etchemin et la Formation de Beauceville. Ce dyke est abondamment veiné, altéré et minéralisé. Son potentiel économique semble plus considérable que celui de la Zone 88.

Typologie des minéralisation aurifères

Nous avons étudié en détail trois indices et dans les trois cas les veines aurifères sont contemporaines de la déformation acadienne. Dans l'ensemble, le portrait des minéralisations aurifères de la Beauce s'intègre à l'image géotectonique régionale, cependant, les différences notables observées d'un indice à l'autre font ressortir l'importance du contexte géologique local sur le développement et la géométrie des veines minéralisées. Dans tous les cas, les meilleures teneurs en or se trouvent là où la fracturation a permis la circulation des fluides minéralisateurs à travers le *mudslate* graphiteux et aurifère de la Formation de Beauceville.

Dans les secteurs d'Etchemin et de Bellechasse, la minéralisation aurifère est associée aux intrusions mafiques cisaillées qui recoupent la Formation d'Etchemin. Les linéations minérales subverticales bien développées sur les plans de schistosité indiquent un cisaillement inverse postérieur au plissement mais appartenant à la même phase de déformation.

À l'Indice Timmins, une zone de cisaillement de deuxième ordre, oblique relativement au plissement régional, est l'élément structural déterminant qui contrôle la géométrie des veines minéralisées. En carte, ce cisaillement correspond à un linéament aéromagnétique ENE qui se poursuit sur plusieurs kilomètres, de part et d'autre de l'Indice. Il affecte une bande de terrain d'environ 100 m de largeur où la schistosité régionale subi une rotation anti-horaire vers le nord.

À l'Indice Timmins, on reconnaît trois réseaux de veines d'épaisseur décimétrique à métrique, orientés respectivement à 260°/50°, 220°/50° et 020°/85°. Toutes les veines ne sont pas minéralisées mais, les trois réseaux le sont . De plus les veines se recoupent mutuellement ce qui indique qu'elles sont toutes contemporaines. L'or natif est observé dans des veines de quartz, carbonate de fer, pyrite, arsénopyrite, sphalérite, galène, ± chalcopyrite ainsi que dans l'encaissant. En lame mince, nous avons observé l'or libre associé à la pyrite et à la sphalérite.

À la Zone 88, le seul cisaillement observé est parallèle au grain tectonique. Il se manifeste par des linéations minérales parallèles au pendage de la schistosité. Aucune structure oblique au grain tectonique n'affecte cette Zone peu minéralisée et beaucoup moins altérée que la précédente. À la Zone 88, les veines sont d'épaisseur centimétrique et elles sont disposées selon quatre orientations préférentielles : 250°/50°, 120°/75°, 106°/25° et 050°/80°.

Dans le secteur de Beauceville, le contexte structural est différent car les veines aurifères recoupent les tufs felsiques et le *mudslate* noir de la Formation de Beauceville. À l'Indice des Rapides-du-Diable, il n'y a pas d'intrusion mafique et la géométrie des veines est contrôlée par le plissement régional. La minéralisation à quartz, calcite, pyrite et arsénopyrite apparaît au flanc court d'un pli asymétrique, décamétrique. À cet endroit, le stockwork aurifère (9,5 g/t Au sur 0,5 m) sub-vertical, recoupe le litage. L'enveloppe minéralisée connue uniquement par forage semble sub-parallèle à la schistosité régionale.

CONCLUSIONS

Nous avons tenté de fusionner la géophysique et la géologie pour obtenir une meilleure image de la région. Il reste toutefois de nombreux endroits où persistent des divergences importantes; la réponse à ces questions nécessitent des levés de terrain détaillés qui dépassent largement le cadre de la présente étude.

L'analyse structurale détaillée des principaux indices aurifères de la Beauce démontre que la géométrie locale des veines minéralisées est contrôlée par des paramètres structuraux de deuxième ordre qui varient d'un indice à l'autre mais qui s'intègrent tous à un modèle géotectonique impliquant une seule phase de déformation.

Les levés géophysiques ont été particulièrement utiles pour tracer des linéaments aéromagnétiques ENE-WSW. Sur le terrain, ces linéaments obliques par rapport au grain tectonique correspondent à des zones de cisaillement senestres de deuxième ordre. Ils réorientent la schistosité régionale et ils se rattachent aux grandes failles acadiennes, contemporaines de la minéralisation aurifère filonienne.

Ces linéaments sont des métallotectes importants pour la prospection aurifère, car ils contrôlent la géométrie des veines minéralisées de l'Indice Timmins. À cet endroit, la minéralisation se trouve dans des veines de quartz lenticulaires ainsi que dans l'encaissant, une intrusion mafique cisaillée, relativement peu altérée.

Dans le même secteur, une autre famille de linéaments aéromagnétiques, orientée NW-SE, correspond à des failles synsédimentaires réactivées durant la déformation acadienne. Ces failles précoces indiquent que la Formation de Beauceville se forma dans un bassin de dépôt tectoniquement actif à l'Ordovicien. Certaines failles synsédimentaires ayant pu canaliser des fluides minéralisateurs, ces linéaments sont des métallotectes importants pour la recherche de sulfures massifs comparables au gîte Champagne.

La source de l'or de la Beauce est dans le *mudslate* noir de la Formation de Beauceville. Aux Rapides-du-Diable, les meilleures valeurs sont rapportées dans un stockwork recoupant le *mudslate* et un assemblage de tufs felsiques. À cet endroit, la géométrie du stockwork est contrôlée par un pli de deuxième ordre.

REMERCIEMENTS

Nous remercions Pierre Cousineau qui a aimablement mis à notre disposition ses carnets de notes, ses cartes de

terrain, ainsi que les photographies aériennes utilisées à l'origine pour réaliser ses travaux de cartographie en Beauce. Cette information pertinente était essentielle à la réalisation de notre étude. Nous voulons remercier également les détenteurs de titres miniers qui nous ont facilité l'accès à leurs propriétés : la compagnie Golden Hope Mines propriétaire de l'Indice Timmins et de la Zone 88 ainsi que les prospecteurs Rodrigue Mainville (Indice des Rapides-du-Diable), Roger Grondin, Claude Jacques et Jocelyn Ouellette. Nous sommes redevables également à Luc Lachance, pour son assistance dévouée sur le terrain et à Pierre Lacoste qui a commenté une version préliminaire de ce manuscrit.

RÉFÉRENCES

BÉLAND, J., 1957 - Régions de Saint-Magloire et de Rosaire - Saint-Pamphile. Ministère des Mines, Québec; RG 076, 71 pages.

BENOIT, F.W., 1958 - Geology of the Saint-Sylvestre and Saint-Joseph west half areas. Thèse de Ph.D., Université Laval, Québec, 116 pages.

BERNARD, J., 1995 - Gîte aurifère Propriété: Rapides-du-Diable, Seigneurie de Saint-François. Le Fonds d'Exploration Minérale de l'Estrie/Chaudière-Appalaches (FEMECA); Rapport d'évaluation, 41 pages.

BERGMANN, H.J., 1960 - Report on the property of Blackhawk Mining Ltd., Bellechasse Township, Bellechasse County, Quebec. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec; GM 10079, 15 pages.

BLAIR, G.A., 1960 - Geological report on property located in Bellechasse Township, Bellechasse County, Quebec. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec; GM 10101, 6 pages.

BOSSÉ, J., 1994 - Contexte géologique du gîte polymétallique de Champagne, Appalaches du Québec. Mémoire de M.Sc., Université du Québec à Montréal, 177 pages.

BURZYNSKI, J.F., 1988 - Report on diamond drilling on mining claims in Bellechasse and Panet townships, Quebec. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec; GM 48179, 13 pages.

BURZYNSKI, J.F., 1991 - Report on diamond drilling, Bellechasse township, Quebec. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec; GM 50951, 100 pages.

BURZYNSKI, J.F., 1993 - The Bellechasse gold deposits, Quebec: further discovery potential and economic criteria for open-pit gold mining in southern Quebec. M.Sc. Thesis, Queen's University, 84 pages.

CAMIRÉ, G., 1986 - Rapport gîtologique, Indice Timmins, Canton de Bellechasse. Rapport interne pour Michel Gauthier, Université du Québec à Montréal, 58 pages.

COMMISSION GÉOLOGIQUE DU CANADA, 1994 - Base de données gravimétriques. Ministère des Ressources naturelles du Canada, Ottawa; fichier numérique de données.

COOKE, H.C., 1937 - Thetford, Disraeli and Eastern half of Warwick Map area, Quebec. Geological Survey of Canada; memoir 211, 160 pages.

COOKE, H.C., 1950 - Geology of a southwestern part of the Eastern Townships of Quebec. Geological Survey of Canada; memoir 257, 142 pages.

COUSINEAU, P., 1987 - Paléogéographie et évolution tectonique d'une partie de la Zone de Dunnage à l'est de la rivière Chaudière, Québec. Thèse de Ph.D., Université Laval, 287 pages.

COUSINEAU, P. A., 1990 - Le Groupe de Caldwell et le domaine océanique entre Saint-Joseph-de-Beauce et Sainte-Sabine-de-Bellechasse. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec; MB 87-22, 165 pages.

DAVID, J. - MARQUIS, R., 1994 - Géochronologie U-Pb dans les Appalaches du Québec : application aux roches le la Zone de Dunnage. Revue géologique du Québec (une publication de l'Association professionnelle des géologues et géophysiciens du Québec); volume 1, pages 16-20.

DAVID, J. - PARENT, M., 1997 - Géochronologie U-Pb du projet Moyen-nord. Ministère des Ressources naturelles, Québec; Rapport interne non publié, 88 pages.

DESBIENS, H., 1988 - Géochimie des sédiments cambro-ordoviciens des Appalaches, Estrie et Beauce. Mémoire de M.Sc., Université du Québec à Montréal, 133 pages.

DION, D.J. - DUMONT, R., 1994 - Données numériques maillés du champ magnétique total résiduel-Territoire du Québec. Ministère des Ressources naturelles, Québec; MB 94-08X.

DION, D.J. - LEFEBVRE, D.L., 1997 - Données numériques (profil) des levés géophysiques aéroportés du Québec –SNRC 21L. Ministère des Ressources naturelles, Québec; DP-96-10.

DUPUIS, L. - BURZYNSKI, J.F., 1991 - Rapport d'exploration, projet Bellechasse, 1990-1991: Géologie et géochimie du groupe de claims Champagne, cantons de Bellechasse et de Panet, Québec. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec; GM 51254, 68 pages.

DUQUETTE, G., 1961 - Weedon area and its vicinity. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec; DP 025, 198 pages.

FIGUEIREDO, M. , 1998 - Analyse structurale et métallogénique des indices d'or filonniens de la Beauce. Mémoire de M. Sc., Université du Québec à Montréal, 156 pages.

GAUTHIER, M. - AUCLAIR, M. - BARDOUX, M. - BLAIN, M. - BOISVERT, D. - BRASSARD, B. - CHARTRAND, F. - DARIMONT, A. - DUPUIS, L. - DUROCHER, M. - GARIÉPY, C. - GODUE, R. - JÉBRAK, M. - TROTTIER, J., 1989 - Synthèse gitologique de l'Estrie et de la Beauce. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec; MB 89-20, 633 pages.

GODUE, R., 1988 - Étude métallogénique et lithogéochimique du Groupe de Magog, Estrie et Beauce, Québec. Mémoire de M.Sc., Université du Québec à Montréal, 75 pages.

GORMAN, W.A., 1954 - Région de Sainte-Justine. Ministère des Mines, Québec; RP-297, 6 pages.

GORMAN, W.A., 1955 - Région de Saint-Georges et de Saint-Zacharie. Ministère des Mines, Québec; RP-314, 5 pages.

ORMAN, W.A., 1957 - Geology of the Sainte-Justine Map area. Ph.D. Thesis, Mc Gill University, Montréal, 163 pages.

HARLAND, W.B. - COX, A.V. - LLEWELLYN, P.G. - PICKTON, C.A.G. - SMITH, A.G.- WALTERS, R.W., 1982 - A Geologic Time Scale. Cambridge University Press, Cambridge; 131 pages.

HARLAND, W.B. - ARMSTRONG, R.L. - COX, A.V. - CRAIG, L.E. - SMITH, A.G. -SMITH, D.G., 1989 - A revised geologic time scale. Cambridge University Press, Cambridge; 263 pages.

JOBIN, C. - GAUDREAU, Y., 1986 - Levé EM héliporté REXHEM IV-Région de Beauce-Bellechasse. Ministère des Ressources naturelles, Québec; DP-86-16, 141 pages.

LAVOIE, C. - PLANTE, L., 1991 - Report on magnetic (total field and vertical gradient) and electromagnetic (VLF-NSS & Maxmin) surveys, Bellechasse project. Ministère des Ressources naturelles, Québec; GM 51169, 57 pages.

LOGAN, W.E., 1849 - Sur la géologie de la contrée du sud du Saint-Laurent qui s'étend des environs de Montréal et du lac Champlain à la rivière Chaudière. Commission géologique du Canada; Rapport de progrès 1847-1848, pages 5-92.

LOGAN, W.E.- MURRAY, A.- STERRY HUNT, T.- BILLINGS, E., 1864 - Rapport de progrès depuis son commencement jusqu'à 1863. Commission géologique du Canada; 1043 pages.

MARQUIS, R. 1992a - Compilation géologique et métallogénique du feuillet de Sainte-Justine (21L/08)-Édition préliminaire. Ministère des Ressources naturelles, Québec; MB 92-02, 1 carte.

MARQUIS, R. 1992b - Compilation géologique et métallogénique du feuillet de Saint-Magloire (21L/09)-Édition préliminaire. Ministère des Ressources naturelles, Québec; MB 92-03, 1 carte.

MACKAY, B.R., 1921 - Beauceville Map area (Quebec). Geological Survey of Canada; Memoir 127, 105 pages.

McKERROW, W.S. - LAMBERT, R.ST.J. - CHAMBERLAIN, V.E., 1980 - The Ordovician, Silurian and Devonian time scales. Earth and Planetary Sciences Letters; volume 51, pages 1-8.

LES RELEVÉS GÉOPHYSIQUES INC., 1987 - Levé géophysique héliporté REXHEM IV-Région de Beauceville, Québec. Ministère des Ressources naturelles, Québec; DP 87-15, 157 pages.

RICHARDSON, J., 1870 - Rapport sur la région située au sud du Saint-Laurent, entre la rivière Chaudière et la route de Témiscouata, Québec. Commission géologique du Canada; Rapport de progrès 1866-1869, pages 1133-1157.

RIORDON, P.H., 1954 - Région de Thetford Mines-Black Lake. Ministère des Mines, Québec; RP-295, 27 pages.

STACY, J.S.- KRAMERS, J.D., 1975 - Approximation of terrestrial lead isotope evolution by two-stages model. Earth and Planetary Science Letters; volume 26, pages 207-221.

ST-JULIEN, P., 1963 - Géologie de la région d'Orford-Sherbrooke, Québec. Thèse de Ph.D., Université Laval, Québec, 369 pages.

ST-JULIEN, P., 1970 - Région de Disraeli (demie est). Ministère des Richesses naturelles, Québec; RP-587, 23 pages.

ST-JULIEN, P., 1987 - Géologie des régions de Saint-Victor et de Thetford Mines (moitié est). Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec; MM 86-01, 75 pages.

SCHAAF, R.E.,1986 - Report on geological reconnaissance and rock sampling of mining claims in Bellechasse-Panet townships, Quebec: Claim block F. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec; GM 44436, 44 pages.

SIAL GÉOSCIENCES INC., 1991 - Levé EM aérien héliporté REXHEM IV-Région de Saint-Magloire. Ministère des Ressources naturelles, Québec; DP-91-02.

TOLMAN, C., 1936 - Lake Etchemin Map-area. Geological Survey of Canada; memoir 199, 20 pages.

TREMBLAY, E., 1997 - Sédimentologie des volcanoclastites de la Formation de Beauceville, Appalaches du Québec. Mémoire de M.Sc., Université du Québec à Chicoutimi, 132 pages.

TREMBLAY, A. - ST-JULIEN, P. - LABBÉ, J.Y., 1989 - Mise à l'évidence de la cinématique de la Faille de La Guadeloupe, Appalaches du sud du Québec. Journal canadien des Sciences de la Terre; volume 26, pages 1932-1943.

TUCKER, R.D. - KROGH, T.E. - ROSS, R.J. Jr. - WILLIAMS, S.H., 1990 - Time-scale calibration by high-precision U-Pb zircon dating of interstratified volcanic ashes in the Ordovician and Lower Silurian stratotypes of Britain. Earth and Planetary Sciences Letters; volume 100, pages 51-58.

WILLIAMS, H., 1979 - Appalachian Orogen in Canada. Journal canadien des sciences de la terre; volume 16, numéro 3 (partie 2), pages 792-807.

Québec

Ministère des
Ressources naturelles