CR 2004-03

Front de Grenville: approche géophysique, projet 2003-02B

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.

Ressources naturelles et Forêts
Québec



Front de Grenville
Approche géophysique

Projet 2003-2B

Par Stéphane Faure, Ph.D. géo.

Avril 2004

CONSOREM
Consortium de Recherche en exploration minérale

Résumé

Une interprétation géophysique a été réalisée dans le Parautochtone archéen et l'Allochtone protérozoïque de la Sous-province de Grenville à l'est de la Sous-province d'Abitibi. L'étude comporte quatre principaux thèmes : 1) identification des lithologies favorables à l'exploration minérale, 2) relation entre métamorphisme et signature géophysique, 3) étude des linéaments et 4) guide d'exploration régionale pour les minéralisations volcanogènes et aurifères hypozonales.

La majorité des minéralisations en or et métaux de base dans le Parautochtone sont associées à des gneiss mafiques et des amphibolites. L'extension des unités favorables à partir de la signature géophysique de bandes mafiques connues a permis d'établir une nouvelle carte prospective pour l'exploration minérale. De nouveaux secteurs pour l'exploration des métaux de base sont mis en évidence sur cette carte, notamment entre Senneterre et Chibougamau et à l'ESE de Chibougamau. D'après les signatures géophysiques régionales, la plus forte densité de gneiss mafiques et d'amphibolites demeure la région située à l'est de Senneterre, dans le Terrain du Lac Témiscamingue et le Complexe de Serpent. La signature gravimétrique de ce domaine mafique montre que les lithologies favorables se poursuivent en profondeur sous l'Allochtone à plus de 100 km vers l'est. Par conséquent, la limite entre le Parautochtone et l'Allochtone représente une cible d'exploration de choix, notamment pour les minéralisations aurifères qu'on retrouve à la Mine Renco (Zimbabwe) ou dans le Sud Limpopo (Afrique du Sud).

L'interprétation géophysique permet d'émettre des hypothèses sur le métamorphisme. Le Parautochtone amphibolitisé de l'Allochtone granulitisé se distingue clairement avec le magnétisme. Cependant, le faciès métamorphique des granulites cartographié dans le Parautochtone ne se distingue pas en géophysique parmi les roches amphibolitisées. Il est possible que le rétromorphisme partiel des granulites au faciès des amphibolites explique l'absence de signature géophysique. Un chevauchement à faible pendage est interprété par géophysique à la limite entre le Parautochtone et l'Allochtone (Front des Granulites). La forte diminution du magnétisme dans l'éponte supérieure de cette faille est interprétée comme une réhydratation des granulites par rétrométamorphisme à la semelle d'une nappe allochtone.

La caractérisation de linéaments géophysiques syn- et post-tectoniques a permis de distinguer plusieurs familles de linéaments. Une série de linéaments E-O, interprétés comme des reliques de structures ductiles archéennes, est présente tout le long du Front de Grenville. Une structure E-O de plus de 100 km de longueur a été identifiée dans le Terrain du lac Témiscamingue. Cette structure est interprétée pour la première fois comme étant le prolongement de la Faille Cadillac – Larder Lake dans le Parautochtone. Il s'agit d'un métallotecte important et d'une cible aurifère de première importance. D'autres linéaments orientés E-O à ENE sont mis en valeurs par différents traitements géophysiques. Plusieurs de ces linéaments s'inscrivent, avec un certain décalage, dans le prolongement de corridors de déformation minéralisés de la Sous-province d'Abitibi. Ces linéaments représentent également de bonnes cibles d'exploration pour l'or hypozonal. Dans le Parautochtone et l'Allochtone, les linéaments

NE et parallèles au Front de Grenville sont majoritairement interprétés comme des failles ductiles-cassantes et grenvilliennes. Des indices minéralisés ou de sulfures disséminés y sont parfois associés. À la lumière d'une chronologie relative établie entre ces deux familles de linéaments, un modèle tectonique régional est proposé. D'autres linéaments recoupant les fronts de Grenville et des Granulites sont interprétés comme des failles cassantes et post-grenvilliennes. Les linéaments NO tardifs sont corrélés avec le Rift du Saguenay, des dykes ESE dans le Parautochtone à l'est de Chibougamau, des cabonatites dans le Grenville et les deux essaims de kimberlites de l'Abitibi.

Table des matières

Résumé ii
Table des matières iv
Liste des figures v
1. Introduction 1
2. Méthodologie 2
2.1 Traitements géophysiques 2
2.2 Compilation de données géologiques 3
2.3 Interprétation géologique et linéaments 4
3. Analyse et interprétation géophysique 4
3.1 Front de Grenville et limite Parautochtone-Allochtone 5
3.2 Extension des gneiss mafiques et amphibolites dans le Parautochtone 6
3.2.1 Extension du Terrain du Lac Témiscamingue sous l'Allochtone 6
3.2.2 Extension des gneiss mafiques entre Senneterre et Chibougamau 7
3.3 Signature géophysique d'intrusions 8
3.4 Métamorphisme et magnétisme 8
3.5 Linéaments géophysiques 10
3.5.1 Linéaments d'entraînement 11
3.5.2 Interprétation tectonique basée sur les linéaments et la géophysique 13
3.5.3 Linéaments francs 14
4. Guides et modèles d'exploration pour le Parautochtone 14
4.1 Les minéralisations dans le Parautochtone 15
4.2 Potentiel pour les minéralisations en métaux de base 16
4.3 Potentiel pour les minéralisations en or 16
5. Conclusions 17
Remerciements 18
Références 19
Cahier des figures 22

Liste des figures

Figure 1. Localisation de la région d'étude montrant les limites des principaux domaines lithotectoniques de la Province de Grenville 23
Figure 2. La trace du front de Grenville est nettement perceptible A) sur projection vers le haut à 1 km du champ magnétique total et B) sur le gradient vertical de la gravité 23
Figure 3. Les deux limites proposées pour la frontière entre le Parautochtone et l'Allochtone dans le Grenville selon le Ministère des Ressources naturelles ou la Commission géologique du Canada 24
Figure 4. Connaissance actuelle des amphibolites dans le Parautochtone selon compilation de Goutier et Melançon (en préparation) sur le champ magnétique total 24
Figure 5. Le Terrain du Lac Témiscamingue dans le Parautochtone à l'est de Val-d'Or. 25
Figure 6. Extension proposée pour l'Archéen sous l'Allochtone grenvillien et basée sur le gradient vertical de la gravité 25
Figure 7. Localisation des gneiss mafiques et amphibolites cartographiés et interprétation géophysique de l'extension possible de ces unités 26
Figure 8. Carte synthèse montrant les gneiss mafiques et amphibolites sur les cartes géologiques du ministère provincial et leur extension proposée par l'interprétation géophysique 26
Figure 9. Signatures du gradient vertical de la gravité au sud de Chibougamau montrant l'enracinement des plutons Du Sud, La Dauversière et de Boisvert 27
Figure 10. L'intégration verticale du champ magnétique total montrant les signatures de certaines intrusions, tant dans la Sous-province d'Abitibi que dans le Grenville 27
Figure 11. Tableau montrant l'effet du métamorphisme sur la recristallisation ou le remplacement de certains minéraux et les réponses magnétiques 28
Figure 12. Section métamorphique NO-SE dans le Grenville le long de la route 117 entre le Front de Grenville (GF) et les terrains à granulites 28
Figure 13. Champ total montrant la signature magnétique des différents domaines métamorphiques 29
Figure 14. Cartographie des isogrades métamorphiques dans le Parautochtone à l'est de Val-d'Or 29
Figure 15. Front des granulites marqué par un contraste géophysique prononcé entre le Parautochtone et l'Allochtone en utilisant le signal analytique de l'intégration verticale du champ magnétique 30
Figure 16. Front des granulites exprimé par une zone démagnétisée de plusieurs kilomètres en utilisant un filtre passe-bas à 1 km 30
Figure 17. Localisation des failles cartographiées ou interprétées par géophysique sur les cartes à l'échelle 1 :50000 du gouvernement provincial 31
Figure 18. Carte géologique à l'est de Senneterre montrant le contour des différentes unités, les failles cartographiées/interprétées et les principaux domaines lithotectoniques 31

Figure 19. Interprétation des linéaments géophysiques d'entraînement à l'est de Senneterre 32
Figure 20. Interprétation des linéaments géophysiques d'entraînement à l'est de Senneterre 32
Figure 21. Cohérence entre les linéaments géophysiques interprétés et la géologie à l'est de Senneterre 33
Figure 22. Carte géologique régionale montrant les roches volcaniques, les couloirs de déformation de l'Abitibi et les métasédiments de la Sous-province du Pontiac 33
Figure 23. Les failles cartographiées dans le feuillet 32B14 par Bandyayera et al. (2003, 2004) ont une expression magnétique. Les linéaments d'entraînement sont en partie interprétés à l'extérieur de ce feuillet avec le champ magnétique total 34
Figure 24. Linéaments d'entraînement interprétés à partir de la 1ière dérivée horizontale du champ magnétique dans la direction N-S 34
Figure 25. Compilation des linéaments géophysiques d'entraînement archéens dans le Parautochtone avec histogramme de distribution des longueurs et rosette des directions 35
Figure 26. Compilation des linéaments géophysiques d'entraînement protérozoïques dans le Parautochtone et l'Allochtone avec histogramme de distribution des longueurs et rosette des directions 35
Figure 27. Interprétation tectonique et séquence de mise en place des terrains archéens et grenvilliens sur la Province du Lac Supérieur d'après la géophysique et la chronologie relative entre les linéaments E-O et NE 36
Figure 28. Linéaments francs interprétés par géophysique au SE du Front de Grenville 37
Figure 29. Les linéaments francs interprétés par géophysique sont mis en relation avec les rifts avortés du Protérozoïque tardif – Cambrien inférieur sur un modèle numérique de terrain 37
Figure 30. A) Localisation des indices, gîtes et mines d'or dans la Sous-province d'Abitibi. B) Localisation des indices, gîtes et mines de métaux usuels dans la Sous-province d'Abitibi 38
Figure 31. Carte de localisation des indices à Cu-Zn ou rouillés dans le Parautochtone à l'est de Senneterre avec les gneiss mafiques/amphibolites et les linéaments d'entraînement 38
Figure 32. Carte de localisation des indices aurifères ou rouillés dans le Parautochtone à l'est de Senneterre avec les gneiss mafiques/amphibolites et les linéaments d'entraînement 39
Figure 33. Modèle de minéralisation à la Mine Renco (Zimbabwe) impliquant une nappe de granulites chaude chevauchant un bloc archéen froid contenant des ceintures de roches vertes 39

1. Introduction

Le Parautochtone de la Province de Grenville à l'est de la Sous-province de l'Abitibi (figure 1) est actuellement une des régions les moins bien connues du Québec sur le plan géologique. Avant 1990, seuls des travaux de reconnaissance à une échelle régionale ont permis de distinguer des différences pétrographiques, métamorphiques et structurales entre les roches de la Sous-province de l'Abitibi à l'ouest du Front de Grenville (FG) et les roches archéennes du Parautochtone à l'est (Faessler, 1935; Tiphane et Dawson, 1950; Gilbert, J.E. 1959; Charbonneau, 1973; Laurin et Sharma, 1975; Ciesielski et Ouellette, 1985). Depuis 1991, particulièrement entre Senneterre et Chibougamau, les travaux de cartographie faits par les gouvernements provincial et fédéral ont permis d'établir certaines corrélations stratigraphiques entre les roches du Parautochtone et celles de la Sous-province d'Abitibi (Ciesielski 1988, Birkett et al., 1991; Girard et Moorhead, 1994). Actuellement, il est possible d'estimer que moins de 50% du Parautochtone à l'est de l'Abitibi a été cartographié d'une manière systématique. Ce rapport vise à combler ce vide cartographique dans le Parautochtone, en documentant essentiellement par la géophysique (levés magnétiques et gravimétriques) la continuité des principales roches hôtes de la minéralisation (gneiss mafiques et amphibolites) et les principaux linéaments.

Dans le Grenville, le potentiel pour les minéralisations aurifères et les métaux de base dans le prolongement de la prolifique Ceinture de roches vertes de l'Abitibi a été souligné par Birkett et al. (1991), Moorhead et al. (1991) et Girard et Moorhead (1993a). L'assemblage volcano-sédimentaire, métamorphisé généralement au faciès amphibolite, montre un assemblage lithologique et des altérations favorables pour des minéralisations de type volcanogène (Girard et Moorhead, 1993b). La présence dans le Parautochtone de zones de déformation ductile et cassante (Girard et Moorhead, 1994) suggère également un potentiel pour des minéralisations aurifères de type mésozonal et hypozonal. Jusqu'à présent, seuls quelques indices aurifères et de métaux de bases ont été trouvés dans le Parautochtone. Le manque de levés géologiques, la complexité structurale de la Province de Grenville et le peu d'exploration minérale expliquent probablement ce faible taux de découvertes. Par contre, plusieurs dépôts sont connus et exploités en Australie, en Afrique du Sud, au Zimbabwe et aux Indes dans des terrains archéens de haut grade métamorphique comparables à ceux connus dans le Grenville (Mueller, 1988 ; Siva Siddaiah et Rajami, 1989 ; Van Reenen et al., 1994 ; Kisters et al., 1998).

Les observations géophysiques présentées dans ce document permettent d'interpréter de nouvelles bandes de gneiss mafiques et d'amphibolites dans la continuité des séries connues. La géophysique permet également de préciser la position de la limite entre l'Allochtone et le Parautochtone et de suggérer la nature probable de ce contact. Pour la première fois, plusieurs familles de linéaments géophysiques ont été mises en relief dans le Parautochtone et l'Allochtone. Des hypothèses sur les effets du métamorphisme et sur l'évolution tectonique du FG sont également présentées. Le potentiel pour les minéralisations en métaux de base et en or est aussi discuté à la lumière des traitements, observations et interprétations géophysiques. Des modèles d'exploration à une échelle régionale sont proposés pour le Parautochtone et l'Allochtone à l'est du FG.

2. Méthodologie

Contrairement à la cartographie, la géophysique a l'avantage d'avoir une base d'information uniforme pour l'ensemble d'une région. Elle pénètre le mort-terrain et devient donc un outil indispensable pour les régions avec peu d'affleurements. L'approche préconisée est d'utiliser des données magnétiques et gravimétriques et des filtres géophysiques afin de générer des images de qualité supérieure. Une approche géo-intégrée, combinant les données géophysiques et géologiques, est réalisée par la suite. À partir d'images géophysiques, il est possible d'établir des corrélations entre la signature géophysique et certaines unités ou ensembles géologiques. Généralement, la rupture du grain magnétique et la limite entre deux domaines géophysiques distincts sont soulignées par des linéaments géophysiques. Ces linéaments sub-concordants ou sécants par rapport au grain magnétique témoignent généralement de la présence d'une faille. Par la suite, une corrélation spatiale peut être faite entre des minéralisations connues et des unités favorables ou des linéaments interprétés par géophysique.

2.1 Traitements géophysiques

Les données magnétiques proviennent du gouvernement fédéral (*http://gdcinfo.agg.nrcan.gc.ca:80/cat/cat2_f.html*). Les levés aéroportés utilisés ont été faits à une altitude moyenne de 300 m avec un espacement des lignes de vol aux 800m. Le levé gravimétrique du gouvernement fédéral est le seul disponible pour le secteur. Il est disponible gratuitement sur Internet (*http://gdcinfo.agg.nrcan.gc.ca:80/cat/cat3_f.html*).

Les traitements faits sur le champ magnétique total ont été effectués avec le logiciel Geosoft. La signification des filtres mathématiques est décrite ici. La signification de ces filtres provient du logiciel Geosoft et des auteurs Allard et Bois (1999).

1ères dérivées et gradient vertical

La 1ière dérivée verticale (selon l'axe Z), ou gradient vertical, est communément appliquée sur le champ magnétique total. Elle permet de rehausser les anomalies de faible profondeur en amplifiant les hautes fréquences. La 1ière dérivée horizontale permet de mettre en évidence des accidents géologiques selon une composante horizontale, soit nord-sud (axe Y) ou est-ouest (axe X). Le gradient vertical est communément appliqué sur la gravité. Il s'agit de calculer la 1ière dérivée sur les anomalies de Bouguer.

Projection vers le haut

La projection vers le haut est un filtre mathématique qui permet de simuler les résultats d'un levé aéroporté fait à X m au-dessus de l'altitude du levé original. C'est un filtre sans artefact dans le sens où il ne produit pas d'effet de bordure. Ce traitement sert à

diminuer l'effet des anomalies dont les sources se trouvent près de la surface, ce qui met en valeur les anomalies magnétiques profondes.

Filtre passe-bas

Ce filtre permet d'enlever certaines longueurs d'ondes d'un levé magnétique afin de mettre en valeur les basses fréquences. Ce filtre permet entre autres de faire ressortir les grands domaines magnétiques en surface ou enfouis.

Le signal analytique

Le signal analytique est la racine carrée de la somme des dérivées X, Y et Z au carré. Le signal analytique est utile pour localiser la marge des anomalies de source magnétique, en particulier où la rémanence complique l'interprétation.

Intégration verticale

Ce filtre calcule l'intégral des données selon l'axe Z. C'est l'inverse de la 1^{ière} dérivée verticale. Combiné au signal analytique (signal analytique intégré), ce filtre permet de rehausser le contraste dans les régions de faibles reliefs magnétiques.

En plus des filtres mathématiques appliqués sur les données, des filtres directionnels d'ombrage sont utilisés sur des images afin de faire rehausser des ruptures ou des contrastes dans le grain magnétique.

2.2 Compilation de données géologiques

Une synthèse géologique régionale couvrant le Parautochtone et une partie de l'Allochtone dans la Province de Grenville nous a été fournie par Goutier et Melançon (carte en préparation) du Ministère des Ressources naturelles du Québec. La carte de compilation couvre le FG entre les latitudes 47° et 51° et a été géoréférencée dans un logiciel SIG. Comme toutes cartes de compilation, cette carte comporte une certaine part d'interprétation géologique puisque la nomenclature et la définition des roches varient beaucoup d'une carte ou d'une région à l'autre et en fonction de l'époque et des auteurs.

Les indices minéralisés et les anomalies aurifères ou en métaux de base (Cu, Zn) ont été répertoriés en utilisant l'information du SIGEOM du Ministère des Ressources naturel du Québec. Les chapeaux de fer et autres indices rouillés identifiés par Girard et Moorhead (1993a, 1993b, 1994) ont été également intégrés dans la base de données numérique.

2.3 Interprétation géologique et linéaments

L'interprétation des unités mafiques et des linéaments par géophysique est faite en utilisant différentes images géophysiques. Les extensions de gneiss mafiques et d'amphibolites à partir de la signature géophysique des bandes mafiques connues ont été tracées directement dans un SIG. En général, on note que les amphibolites sont situées en bordures des anomalies magnétiques positives engendrées par les gneiss à biotite ou les paragneiss.

Deux types de linéaments sont distingués dans cette étude : les linéaments d'entraînement et les linéaments francs. Un linéament d'entraînement se défini comme étant un creux magnétique continu et linéaire recoupant une fabrique magnétique à faible angle. Un mouvement apparent d'entraînement et de plissement de la fabrique magnétique est observé de part et d'autre ou d'un seul coté de cette dépression. Ce type de linéaments peut atteindre plusieurs centaines de mètres de largeur et plusieurs dizaines de kilomètres de longueur. Les linéaments d'entraînement sont interprétés comme des corridors de déformation ductiles séparant des domaines magnétiques ou gravimétriques distincts. Un linéament franc se défini comme étant une rupture avec déplacement apparent ou un bris net de susceptibilité magnétique à l'intérieur d'un domaine magnétique. Ce type de linéaments est généralement à un angle supérieur à 30 degrés par rapport au grain magnétique et montre un déplacement apparent faible par rapport aux linéaments d'entraînement. Les linéaments francs sont interprétés comme des failles formées en régime cassant parce qu'il n'y a pas de plissement apparent en bordure de ces linéaments.

3. Analyse et interprétation géophysique

Cette section présente les résultats de l'analyse et des interprétations faites à partir des données magnétiques et gravimétriques. Les caractéristiques géophysiques régionales de la frontière géologique entre la Province du Lac Supérieur et de celle de Grenville ainsi que la limite entre le Parautochtone-Allochtone seront brièvement abordées. L'extension latérale des gneiss mafiques et des amphibolites dans le Parautochtone, en utilisant les signatures géophysiques, est discutée pour trois secteurs en particulier. La signature gravimétrique d'intrusions bordant le FG ainsi que la présence possible d'intrusions non-cartographiées ou non-affleurantes sont analysées à l'échelle du FG. La signature magnétique des roches archéennes est aussi comparée aux données de la cartographie métamorphique du Parautochtone. L'interprétation des linéaments géophysiques dans le Parautochtone et l'Allochtone montre des résultats significatifs quant à la continuité des couloirs de déformation de la Sous-province d'Abitibi dans le Grenville de même que sur la tectonique grenvillienne.

3.1 Front de Grenville et limite Parautochtone-Allochtone

Le FG est un accident lithotectonique majeur séparant la Province de Supérieur à l'ouest de celle de Grenville à l'est (Rivers et Chown, 1986). Cette frontière, reconnue d'abord par Faessler (1935) et Norman (1940) et nommée par Derry (1950), délimite les roches métamorphisées au faciès des schistes verts de l'Abitibi à l'ouest des domaines métamorphisés aux grades amphibolites et granulites de la Province de Grenville à l'est. À une échelle régionale, cette limite est marquée à la fois par un contraste magnétique et gravimétrique (figure 2) et un contraste topographique. Le contraste magnétique de part et d'autre du FG a déjà été étudié par MacLaren et Charbonneau (1969) et Charbonneau (1973). Le champ magnétique de la Sous-province d'Abitibi est caractérisé par un plateau magnétique d'intensité supérieure par rapport au magnétisme de l'ensemble du Parautochtone (figure 2a). À l'est du FG, une bonne partie du Parautochtone est située dans un domaine relativement homogène et faiblement magnétique, tandis que les terrains granulitiques (Allochtone) situés plus à l'est montrent de forts contrastes magnétiques.

Le FG est bien délimité par le gradient vertical de la gravité (figure 2b). Une importante anomalie gravimétrique positive située au SE du FG marque l'interface Grenville-Supérieur. Entre Senneterre et Chibougamau, l'intensité de la gravité est similaire de part et d'autre du front mais une modification linéaire du patron gravimétrique est nettement perceptible.

Dans la Province de Grenville, la frontière entre les roches archéennes (Parautochtone) et protérozoïques (Allochtone) n'est pas clairement établie, en particulier dans la région du Réservoir Gouin (figure 3). Le Ministère des Ressources naturelles du Québec met cette limite à une cinquantaine de kilomètres au SE du FG alors que la Commission géologique du Canada place cette frontière beaucoup plus au SE. La géophysique ne permet pas de déterminer l'âge de ces roches. Cependant, le grain magnétique au SE du Parautochtone, tel que défini par le ministère provincial, montre clairement qu'il existe deux domaines distincts.

Les fortes anomalies magnétiques positives dans l'Allochtone sont caractéristiques des roches métamorphisées au faciès des granulites. À ce faciès métamorphique, la disparition de minéraux ferro-magnésiens, comme la biotite et l'amphibole, favorise la formation de magnétite secondaire (Grant, 1984a). La limite Parautochtone-Allochtone fixée par le ministère provincial est nette sur les cartes magnétiques (figure 3) et délimite des roches métamorphisées au faciès des amphibolites à l'ouest et des roches granulitiques à l'est (Ciesielski, 1988). Cette limite correspond probablement à un plan de chevauchement majeur, ce qui implique que les roches à l'est ont été transportées vers le NO et remontées vers la surface sur une certaine distance. Alors, il est logique de penser que la limite proposée par le Ministère des Ressources naturelles du Québec représente la frontière entre les domaines Parautochtone et Allochtone.

3.2 Extension des gneiss mafiques et amphibolites dans le Parautochtone

L'extension des gneiss mafiques et des amphibolites dans le Parautochtone archéen est l'un des deux thèmes les plus importants de cette étude avec l'interprétation des linéaments géophysiques. La présence de ces roches mafiques métamorphisées, surtout si ces roches sont d'origine volcanique, est un métallotecte de première importance pour l'exploration minérale dans le Parautochtone. Ces roches, formées en proportions variables de hornblende, de diopside, d'hypersthène, de grenat et de plagioclase, sont interprétées comme étant le prolongement des unités volcaniques de la Ceinture de roches vertes archéennes de l'Abitibi (Allard, 1978; Lacoste, 1986; Birkett et al., 1991). La majorité des indices minéralisés dans le Parautochtone, à l'est de Val-d'Or et de Senneterre, sont localisés près ou à l'interface de gneiss mafiques et de gneiss quartzofeldspathiques ou de paragneiss (Girard et Moorhead, 1994).

La figure 4 montre la connaissance actuelle de l'étendue des gneiss mafiques et des amphibolites dans le Parautochtone (Goutier et Melançon, en préparation). À une échelle régionale, le champ magnétique total montre que les amphibolites cartographiées sont localisées dans un domaine magnétique (en vert pomme sur la figure 4) plus élevé et légèrement plus contrasté que le reste du Parautochtone (en bleu sur la figure 4). À partir de cette signature géophysique, il est possible de proposer une étendue probable des domaines de gneiss mafiques et d'amphibolites vers le SE (figure 4).

3.2.1 Extension du Terrain du Lac Témiscamingue sous l'Allochtone

À l'est de Val-d'Or, le Terrain du Lac Témiscamingue (Indarès et Martignole, 1989) se compose d'environ 45% de paragneiss et de gneiss quartzofeldspathiques, 20% de gneiss tonalitiques, près de 20% de gneiss mafiques, intermédiaires et d'amphibolites, de 10% de diatexites et de 5% de gneiss de composition variée (Girard et al., 1993). La signature magnétique de ce terrain est caractérisée par l'alternance d'anomalies magnétiques positives et négatives (figure 5a). En cartographie et en géophysique, le grain structural et magnétique E-O de ce terrain se bute à l'est sur la limite Parautochtone-Allochtone orientée NE (figure 5a).

Le Terrain du Lac Témiscamingue est également marqué par une anomalie gravimétrique positive orientée E-O qui s'incurve vers l'ouest parallèlement au FG (figure 5b). Dans le Parautochtone, la marge nord de l'anomalie gravimétrique correspond à la limite entre le Terrain du Lac Témiscamingue au sud et le Complexe de Serpent au nord. Le Complexe de Serpent est caractérisé par une alternance de gneiss quartzofeldspathiques et de 30% de gneiss mafiques et amphibolites à grenat (Girard et Moorhead, 1994). Il présente également une plus grande complexité structurale que le Terrain du Lac Témiscamingue. L'anomalie gravimétrique de ce terrain ne peut pas être expliquée uniquement que sur la base d'une proportion de roches mafiques. Si on considère que les paragneiss dans ce terrain contiennent environ 10% de lambeaux, d'enclaves et de rubans de gneiss mafiques, le total des roches mafiques et des

amphibolites présentes dans ce domaine lithotectonique est d'environ 30%, ce qui est comparable à la proportion de roches mafiques du Complexe de Serpent. Le Terrain du Lac Témiscamingue contient plus de paragneiss à biotite et grenat que dans le Complexe de Serpent. Il serait surprenant qu'une plus grande proportion de métasédiments puisse générer une anomalie gravimétrique positive. La seule explication plausible pour expliquer cette anomalie gravimétrique est que le Terrain du Lac Témiscamingue est enraciné alors que le Complexe de Serpent ne l'est pas. Ainsi la quantité de gneiss mafiques et d'amphibolites dans le Terrain du Lac Témiscamingue serait la plus importante considérant l'importance de l'enracinement. Le fait saillant est que cette anomalie gravimétrique se poursuit au-delà de la limite Parautochtone-Allochtone en plongeant sous l'Allochtone. Cette observation démontre la possibilité que des terrains archéens se poursuivent à plus de 100 km vers l'est (figure 6).

3.2.2 Extension des gneiss mafiques entre Senneterre et Chibougamau

L'interprétation géophysique de l'extension des gneiss mafiques et des amphibolites dans le Parautochtone entre Senneterre et Chibougamau n'est pas évidente. D'abord parce que le contraste magnétique est généralement faible. Ensuite parce que la signature magnétique des gneiss mafiques et des amphibolites n'est pas constante d'une région à l'autre. Finalement, parce que la proportion de gneiss mafiques et d'amphibolites semblent diminuer considérablement au nord du Complexe de Serpent (figure 4 et figure 5). Cependant, il semble possible d'extrapoler par géophysique certaines bandes de gneiss mafiques et d'amphibolites connues. À l'est de Senneterre, les anomalies magnétiques positives se corrèlent principalement aux gneiss quartzofeldspathiques, alors que les anomalies négatives sont principalement corrélées aux paragneiss à biotite-grenat. Les gneiss mafiques et les amphibolites sont localisés à l'interface des ces deux types d'anomalies magnétiques (d'après carte de Girard et Moorhead, 1994), dans des zones de forts gradients magnétiques. Le feuillet SNRC 32B11, qui n'a jamais été cartographié à une échelle de 1 :50000, est présenté à titre d'exemple d'extrapolation des unités mafiques par géophysique (figure 7). La même observation est faite plus au NE, dans la région du Lac Lagacé (SNRC 32B/14; Bandyayera et al., 2004), où les gneiss mafiques sont préférentiellement localisés en bordure d'anomalies magnétiques positives.

La figure 8 montre l'étendue possible des gneiss mafiques et des amphibolites dans le Parautochtone par interprétation géophysique. Au SE de Senneterre, près de la limite Parautochtone-Allochtone, seulement quelques bandes de gneiss mafiques ont été interprétées à l'aide du signal analytique intégré. D'ailleurs, la quantité d'unités mafiques cartographiées par Girard et Moorhead (1994) diminue progressivement vers le SE.

À l'ENE de Senneterre et dans la continuité NE du Complexe de Serpent (figure 5a et figure 8), les gneiss mafiques et les amphibolites semblent se poursuivent jusqu'à mi-chemin entre Senneterre et Chibougamau. Par contre, il semble y avoir un secteur de forme ovale avec absence de roches mafiques tel que cartographié en partie par Bandyayera et al. (2004). Il pourrait s'agir, à l'image de ce qu'on connaît en Abitibi,

d'intrusions tonalitiques gneissiques autour desquelles sont concentrées des roches volcaniques.

La continuité des gneiss mafiques et des amphibolites à l'est de Chibougamau (figure 8) est très spéculative à cause du faible contraste magnétique. Il existe donc une plus grande marge d'erreur en ce qui concerne l'interprétation de ces roches dans ce domaine magnétique. Par contre, de faibles ondulations magnétiques de formes allongées et montrant une signature géophysique similaire à celle qu'on note au sud et au NE de Chibougamau, suggèrent la présence de bandes mafiques. Cette série interprétée de gneiss mafiques et d'amphibolites à l'est de Chibougamau s'inscrit directement dans le prolongement des formations volcaniques d'Obatogamau et de Gilman de la Sous-province de l'Abitibi.

3.3 Signature géophysique d'intrusions

Deux anomalies gravimétriques négatives au sud de Chibougamau permettent d'interpréter les plutons Du Sud et de La Dauversière de la Sous-Province de l'Abitibi, de même que celui de Boisvert dans le Parautochtone, comme des intrusions enracinées (figure 9). Le pluton Du Sud est présent uniquement dans la Sous-province d'Abitibi et sa bordure orientale est nettement coupée par le FG. Par contre, le pluton de La Dauversière semble connecté avec celui du Boisvert de l'autre coté du FG. Dans ce dernier cas, il pourrait s'agir d'une intrusion unique chevauchée en son centre.

L'intégration verticale du champ magnétique au SE du FG montre des pics magnétiques dans le Parautochtone qui pourraient être attribuables à des intrusions (figure 10). Ce filtre géophysique permet de reconnaître plusieurs intrusions dans la Sous-province d'Abitibi (figure 10a). Dans la Province de Grenville, les intrusions granitiques et les gneiss granitiques ne sont pas clairement exprimés avec ce traitement géophysique. Par contre, les intrusions archéennes tardives dans le Parautochtone, dont la Carbonatite du Lac Mercier (Charbonneau, 1973) et un groupe de syénites près du Front des Granulites (Laurin, 1965), sont nettement visibles. Une série d'intrusions tardives sont interprétées par géophysique dans le Grenville avec cette approche (figure 10b). En particulier, deux intrusions syénitiques sont interprétées respectivement à 40 et 100km au NE des syénites cartographiées par Laurin (1965) près du Front des Granulites (figure 10a et figure 10b). Plusieurs autres pics magnétiques sont interprétés comme des intrusions archéennes tardives ou grenvilliennes. Certaines intrusions s'inscrivent d'ailleurs dans le prolongement de chapelets de petites intrusions de la Sous-province d'Abitibi (figure 10b).

3.4 Métamorphisme et magnétisme

Les effets du métamorphisme sur le magnétisme des roches sont variables et dépendent de deux principaux facteurs : 1) du contenu initial en fer des roches et 2) de la fugacité de l'oxygène (Grant, 1984a). Le premier facteur fixe le potentiel de production

maximale de magnétite. Par exemple, les roches intermédiaires et mafiques sont réputées être plus magnétiques que les roches felsiques. Le deuxième facteur contrôle la répartition du fer entre les oxydes et les silicates. Le remplacement de certains silicates de Fe-Mg pour former de la magnétite secondaire est un exemple. Les faciès à amphibolites, granulites et éclogites sont généralement les plus distinctifs en termes de signatures magnétiques (figure 11).

Le métamorphisme dans le Parautochtone a atteint au minimum le faciès des amphibolites supérieur dans un régime de haute pression (Ciesielski, 1988; Girard et Moorhead, 1994). Indarès et Martignole (1989) ont observé au SE de Val-d'Or une progression des températures et des pressions depuis le FG vers les terrains granulitiques au SE (figure 12 et figure 13). De manière générale, la signature magnétique entre la Sous-province d'Abitibi, le Parautochtone et l'Allochtone est très distincte (figure 13). À l'intérieur du Parautochtone, on note une diminution de la réponse magnétique depuis le FG vers le Front des Granulites. Ce dégradé magnétique pourrait s'expliquer par le fait que la quantité de migmatites augmente dans le Parautochtone vers le SE (Bandyayera et al., 2004). En effet, la susceptibilité magnétique décroît rapidement avec le taux de migmatisation et de granitisation à cause de la transformation des oxydes de fer et de titane en silicates (Krutikhovskaya et al., 1979; Grant, 1984a). Au SE de Chibougamau, l'ensemble du Parautochtone est dans un domaine de très faible contraste magnétique (figure 4 et figure 13). Deux hypothèses peuvent expliquer le faible magnétisme dans ce secteur. Il se peut que les lithologies et les compositions géochimiques des roches soient plus homogènes qu'à l'est de Senneterre. L'autre hypothèse est que le degré de migmatisation soit plus élevé qu'ailleurs vers le SO.

Cependant, dans le détail, la relation entre la réponse magnétique et le métamorphisme n'est pas directe parce que l'histoire métamorphique du Parautochtone est complexe. La figure 14 montre le champ magnétique total dans le Terrain du Lac Témiscamingue et le Complexe de Serpent et les isogrades métamorphiques cartographiés par Girard et Moorhead (1994). Il ne semble pas y avoir de correspondance entre la réponse magnétique et les isogrades à orthopyroxène des granulites. Théoriquement, les faciès à granulites ont une réponse magnétique forte et contrastée, telle qu'elle est documentée dans l'Allochtone (figure 11 et figure 13). La signature magnétique inhabituelle des granulites observée dans le Terrain du Lac Témiscamingue pourrait s'expliquée par un rétrométamorphisme au faciès des amphibolites supérieurs, tel qu'il est proposé pour le Complexe de Serpent (Girard et Moorhead, 1994) et, plus au SO, par Indarès et Martignole (1989). Cependant, Girard et al. (1993) démontrent par l'absence de texture de corrosion autour des porphyroblastes d'orthopyroxène que les granulites dans le Terrain du Lac Témiscamingue n'ont pas été affectées par un rétrométamorphisme.

Le Front des Granulites définit la limite entre le Parautochtone et l'Allochtone (Ciesielski, 1988). Cette limite lithotectonique est clairement identifiable avec le signal analytique intégré (figure 15). Avec ce filtre, le Parautochtone métamorphisé au faciès des amphibolites supérieurs est marqué par un plateau homogène. Par contre, l'Allochtone granulitisé montre un relief très prononcé. La limite entre les deux domaines

lithotectoniques semble très nette, ce qui suggère un plan de décollement relativement circonscrit en surface. Un filtre passe-bas (1 km) sur le champ magnétique vient apporté une information complémentaire au sujet de cette limite (figure 16). Contrairement au signal analytique intégré, le filtre passe-bas (1 km) montre une enveloppe de démagnétisation de quelques kilomètres qui épouse le Front des Granulites. Cette signature peut s'expliquer de trois manières :

1) Il pourrait s'agir d'une zone à éclogite (roche à grenat et pyroxène) qui est présente à la base de certaines nappes dans la région de Manicouagan (Cox et al., 1998, 2002 et Indarès et Dunning, 2004). Dans ce faciès métamorphique de haute pression – basse température, l'ilménite et la magnétite se transforment en grenat et autres ferro-silicates, ce qui produit une démagnétisation (figure 11). Si cette hypothèse s'avère positive sur le terrain, il pourrait s'agir du second cas d'éclogite documenté dans le Grenville après Manicouagan (Eaton et al., 1995);

2) Cette enveloppe faiblement magnétique pourrait également représenter une zone de rétrométamorphisme au faciès des amphibolites. Ce type de rétrométamorphisme à la limite de deux blocs est bien documenté dans la Ceinture du Sud Limpopo (Van Reenen et al., 1994). La circulation de fluides générée par un rétrométamorphisme au faciès des amphibolites produit une réhydratation des granulites. Ce processus impliquant des fluides peut engendrer une démagnétisation partielle ou complète des roches dans les zones de failles (Henkel et Guzman, 1977; Grant, 1984b);

3) L'enveloppe de démagnétisation pourrait s'expliquer aussi par une faille de chevauchement à faible pendage. L'enveloppe épouse le tracé du front surtout du côté SE dans l'Allochtone, alors que la démagnétisation du côté NO est moins perceptible à cause du faible contraste magnétique dans le Parautochtone. Une faille à faible pendage vers le SE laisserait passer la faible signature magnétique du Parautochtone sous-jacent, produisant ainsi un bas magnétique du coté Allochtone. Cette hypothèse est en partie confirmée car la position du Front des Granulites telle qu'elle est montrée sur la figure 16, coïncide sur la carte de Laurin (1965) avec des foliations à faibles pendages (~30°) vers le SE.

Les hypothèses 2 et 3 sont privilégiées et peuvent être combinées. Ainsi, l'éponte supérieure du chevauchement au Front des Granulites pourrait représenter une zone de réhydratation majeure propice à des circulations métamorphiques et hydrothermales.

3.5 Linéaments géophysiques

L'interprétation des linéaments géophysiques est le second volet important de cette étude. Un creux magnétique continu marquant la rupture et l'entraînement du grain magnétique témoigne généralement de la présence d'une faille. La connaissance de ces failles est capitale dans le Grenville. D'abord du point de vue de l'histoire structurale et tectonique et, deuxièmement, parce que les failles dans les terrains de haut grade

métamorphique sont le principal guide d'exploration pour les minéralisations aurifères de type hypozonal (Groves et al., 1995).

Actuellement, dans tout le Parautochtone au SE de la Sous-province d'Abitibi, à peine une cinquantaine de failles ont été compilées sur les cartes géologiques (figure 17). La majorité de celles-ci sont des failles cassantes ou ductiles cassantes. À l'est de Senneterre, près de la moitié des failles sur les cartes géologiques ont été interprétées par géophysique (figure 18; Girard et Moorhead, 1994). Les roches du Parautochtone ont un rubanement et une foliation bien développés qui témoignent d'un profond enfouissement. Cela n'empêche pas de reconnaître sur le terrain, parmi la gneissosité, des zones de cisaillement hypozonales syn-métamorphiques où se bute le grain tectonique avec un angle variable (Girard et Moorhead, 1994).

3.5.1 Linéaments d'entraînement

Les linéaments géophysiques d'entraînement (voir définition section 2.3) ont été interprétés dans le Parautochtone et en partie dans l'Allochtone. Si peu de failles ont été cartographiées/interprétées à l'est de Senneterre (figure 18), les linéaments géophysiques sont par contre abondants (figure 19 et figure 20). Les linéaments E-O sont généralement plus courts et plus ondulants que les linéaments NE qui sont plus longs et rectilignes. L'ensemble des linéaments géophysiques interprétés est cohérent avec l'organisation géologique et semble correspondre à un réseau de failles anastomosées (figure 21). Par exemple, certains linéaments géophysiques correspondent à l'amincissement de bandes gneissiques le long d'un corridor structural. D'autres linéaments délimitent ou isolent des domaines plissés ou complexes au niveau structural. Quelques linéaments marquent une augmentation ou une diminution brusque de l'épaisseur de certaines unités géologiques.

À l'est de Senneterre, un linéament majeur et orienté E-O traverse tout le Parautochtone. Il délimite un domaine magnétique contrasté au sud et un domaine magnétique plus homogène au nord (figure 19 et figure 20). Cette discontinuité marque également la limite nord de l'anomalie gravimétrique positive associée au Terrain du lac Témiscamingue (figure 2b). Ce linéament d'une longueur de plus de 110 km est marqué par une démagnétisation mesurant entre 1 et 2 km de largeur. D'après la cartographie de Girard et Moorhead (1994), cette zone correspond à des bandes gneissiques rectilignes, à des foliations parallèles et à une plus forte concentration d'unités à grenat, ce qui laisse croire que cette zone représente une zone de déformation ductile et d'altération hydrothermale.

Girard et al. (1993) et Girard et Moorhead (1993a) ont proposé que le Terrain du Lac Témiscamingue serait l'équivalent des métasédiments de la Sous-province du Pontiac, alors que le Complexe de Serpent serait l'équivalent des volcanites de Villebon, de Val-d'Or et de Carpentier de la Sous-province d'Abitibi (figure 18 et figure 22). Si, dans la Province de Supérieur, la limite entre ces deux sous-provinces est marquée par la Faille de Cadillac-Larder Lake, aucune faille d'ampleur équivalente n'a été proposée du côté est du FG dans le Parautochtone. Le linéament majeur E-O mis en évidence par la

présente étude ne semble pas correspondre à la limite entre le Terrain du Lac Témiscamingue et le Complexe de Serpent tel que définie par Girard et Moorhead (1994), puisqu'elle est située à environ 10 km plus au sud (figure 18 et figure 19). Il semble plutôt correspondre au sud à un domaine principalement composé de paragneiss à biotite-grenat avec quelques bandes courtes, étroites et plissées de gneiss mafiques et d'amphibolites, et d'un domaine plutôt volcanique au nord avec des bandes de gneiss mafiques plus épaisses et continues dans des gneiss quartzofeldspathiques (figure 22). Cette image est analogue à celle proposée par Girard et al. (1993), avec les équivalents sédimentaires de la Sous-province de Pontiac au sud et les équivalents volcaniques de Sous-province d'Abitibi au nord. Cependant, il est proposé que cette limite géophysique soit l'équivalent de la Faille de Cadillac-Larder Lake. Cette limite entre le domaine métasédimentaire au sud et le domaine métavolcanique au nord serait par contre plus progressive et moins nette que dans la Province de Supérieur. Ceci s'expliquerait par le fait que dans le Parautochtone, ce sont les racines des ceintures de roches vertes qui sont exposées.

Il y a correspondance entre certains linéaments géophysiques et certaines failles cartographiées sur le terrain. Par exemple, entre Senneterre et Chibougamau (Feuillet SNRC 32B14), les failles ductiles cartographiées par Bandyayera et al. (2004) ont des expressions magnétiques nettes et se corrèlent avec des linéaments d'entraînement (figure 23 et figure 24). Notamment, la Faille Amiskotci est une zone de déformation intense orientée E-O et d'une largeur de 1 km. Cette faille pentée à ~75° sud qui est entre autres caractérisée par des plis en fourreaux, délimite des gneiss mafiques au nord et des gneiss tonalitiques migmatisés au sud. D'autres linéaments d'entraînement sont proposés pour ce secteur, notamment une série de failles ENE à intervalle régulier au sud de la Faille Amiskotci. La 1^{ière} dérivée horizontale du champ magnétique selon une direction N-S (figure 24) montre que l'extrémité est de la Faille Amiskotci est entraînée le long d'une faille orientée NE. Ceci suggère que le réseau de linéaments NE est plus jeune que le réseau E-O et ENE. Cette chronologie relative paraît se confirmer dans le coin NO du feuillet SNRC 32B10 (figure 24). Un linéament géophysique ENE vient se buter sur une anomalie magnétique circulaire. Cette anomalie a été cartographiée comme une syénite à néphéline massive (Laurin, 1965) apparemment tardive par rapport à la gneissosité grenvillienne. Il semble donc que le linéament ENE est antérieur par rapport à cette intrusion. Par contre un linéament rectiligne NE segmente l'intrusion en deux corps distincts (Laurin, 1965), ce qui lui conférerait un âge relatif plus jeune.

La compilation des linéaments géophysiques à l'échelle du FG est présentée sur la figure 25 et la figure 26. Les linéaments E-O et ENE sont généralement ondulants, ont des longueurs moyennes comprises entre 10 et 20 km et s'alignent entre eux avec un léger décalage selon un axe E-O. Ils sont interprétés comme des reliques de structures archéennes. Plusieurs de ces linéaments géophysiques s'inscrivent, avec un décalage variable le long du FG, dans la continuité de failles majeures de la Sous-province d'Abitibi (Travaux de Daigneault), notamment les failles Cadillac – Larder Lake (figure 22), Rémick, Guercheville et Kapunapotagen (figure 25).

Les linéaments géophysiques NE sont par contre plus longs, avec une moyenne entre 15 et 40 km, mais certains linéaments dépassent les 100 km (figure 26). Dans le Parautochtone, ces linéaments sont plus rectilignes et sont orientés parallèlement au FG, à l'exception de ceux situés à l'est de Chibougamau. La plupart d'entre eux recoupent ou entraînent les linéaments E-O dans un mouvement apparent senestre (figure 19 et figure 24). À l'est de Senneterre, les isogrades métamorphiques des granulites interprétés par Girard et Moorhead (1994) sont recoupés, ou en partie délimités, par des linéaments NE. Dans l'Allochtone, l'orientation des linéaments d'entraînement est plus variée ce qui reflète la complexité structurale de ce domaine (figure 26). Cependant, au sud de la région étudiée, on note un parallélisme dans la direction des linéaments NE dans le Parautochtone et l'Allochtone. Ceci suggère que l'ensemble des linéaments NE sont d'âge grenvillien. D'ailleurs, d'autres linéaments NE sont également présents sur l'ensemble de la Sous-province d'Abitibi (Faure, 2001; Faure et al., 2001). Ces linéaments recoupent les couloirs de déformation archéens de cette sous-province (figure 26). Tant dans le Parautochtone à l'est de Chibougamau qu'au centre de l'Abitibi, des linéaments géophysiques orientés NE s'inscrivent dans le prolongement de la Faille Gwillim, une structure archéenne qui a rejouée au Protérozoïque (Daigneault et Allard, 1989).

3.5.2 Interprétation tectonique basée sur les linéaments et la géophysique

La chronologie relative entre les deux grandes familles de linéaments d'entraînement et les interprétations qui en sont faites du point de vue structural, permettent de proposer une séquence de mise en place des terrains archéens et grenvilliens sur la Province de Supérieur.

Les linéaments d'entraînement E-O dans le Parautochtone sont interprétés comme des vestiges de failles archéennes. Ils représenteraient les extensions vers l'est des corridors de déformation de la Sous-province d'Abitibi (figure 27a; section 3.5.1). L'ensemble de ces failles se serait formé au cours de l'orogénie kénoréenne (~2,8 milliards d'années) suite a un racourcissement N-S généralisée à l'ensemble de l'Abitibi (Daigneault et al., 2003). Probablement qu'à cette époque, les failles E-O, de part et d'autre de l'actuel FG, étaient au même niveau structural (schistes verts). Au cours des premiers stades de déformation de l'orogénie grenvillienne (~1,4 milliards d'années; Gower et Krogh, 2002), les terrains archéens à l'est de l'actuel FG se seraient déracinés et auraient été transportés vers le NO le long d'un plan majeur de chevauchement correspondant au même plan que le FG actuel (figure 27b). Le chevauchement frontal aurait poursuivi sa course jusqu'à sa position actuelle (figure 27c). En analogie avec la chaîne himalayenne, le front structural se serait déplacé progressivement vers le SE afin d'accommoder la déformation. Une nappe protérozoïque de roches granulitiques aurait été remontée et transportée sur le Parautochtone développant des plis en fourreaux dans le Bassin du Réservoir Gouin (figure 27c; interprétation faite à partir de la carte de Laurin, 1965). Le front de cette nappe représente l'actuel Front des Granulites (Ciesielski, 1988). Il est à noter qu'aucune structure NE est observée par géophysique dans cette nappe, ce qui suggère qu'elle est plus jeune que les structures NE du Parautochtone. La structuration finale dans ce secteur du Grenville pourrait s'être

produite à la fin de l'orogénie grenvillienne, vers 1 milliard d'années, d'après les travaux de Indarès et Dunning (2004) dans le Bassin de Manicouagan. Une faille majeure et rectiligne se serait alors formée au SE, parallèlement au FG (figure 27d). Elle recoupe actuellement la nappe du Bassin du Réservoir Gouin et recouvre les terrains archéens interprétés par gravité (figure 27a).

3.5.3 Linéaments francs

Les linéaments francs interprétés par géophysique sont au nombre de 260 (figure 28). Ils sont pour la majorité perpendiculaires au FG et certains d'entre eux ont une expression topographique. La longueur moyenne est de 30 km, mais certains linéaments atteignent près de 100 km. Quelques linéaments SE recoupent le FG alors que plusieurs autres recoupent la limite Parautochtone-Allochtone, notamment les linéaments SE, E-O et N-S. Il est donc logique d'interpréter ces linéaments comme étant d'âge post-grenvillien. Quelques linéaments NE et parallèles au FG pourraient être interprétés comme des chevauchements grenvilliens.

Les linéaments SE sont parallèles et se corrèlent aux rifts du Saguenay et du Témiscamingue, deux structures en extension actives lors de l'ouverture de l'océan Iapétus au Protérozoïque tardif et au Cambrien inférieur (figure 29). Ces linéaments sont interprétés comme des failles cassantes pouvant déplacer à l'occasion des unités magnétiques avec un rejet apparent de quelques centaines de mètres. Dans la Sous-province d'Abitibi, d'autres linéaments géophysiques orientés SE (Faure, 2001; Faure et al., 2001) montrent que ce système de failles est généralisé à la fois dans les provinces du Lac Supérieur et de Grenville. Dans le Parautochtone, deux dykes ressortent en relief magnétique négatif, dont le plus important recoupe le Front des Granulites, et sont corrélés au Rift du Saguenay (figure 29). Ces dykes s'alignent d'ailleurs avec deux carbonatites reliées à ce rift. Certains linéaments SE pourraient représenter des conduits favorables pour la mise en place de kimberlites. En effet les kimberlites d'Ailly, de Le Sueur et de Le Tac en Abitibi sont alignées avec les plus longs linéaments interprétés dans le Parautochtone (figure 29).

4. Guides et modèles d'exploration pour le Parautochtone

Très peu d'indices minéralisés ont été découverts dans le Parautochtone (figure 30, figure 31 et figure 32) malgré le fait que la composition et l'âge de ce domaine lithotectonique sont similaires à ceux de la Sous-province d'Abitibi. Cette dichotomie est exclusive au Québec puisque des minéralisations dans des contextes similaires sont exploitées dans des roches archéennes de haut grade métamorphique (Mueller, 1988 ; Siva Siddaiah et Rajami, 1989 ; Van Reenen et al., 1994 ; Kisters et al., 1998). Malgré le fait que l'exploration dans le Parautochtone soit toujours à un stade très préliminaire et que la cartographie est inégale, tout porte à croire que la majorité des ingrédients sont réunis pour trouver des minéralisations dans le Parautochtone et l'Allocthone.

Dans cette section, les minéralisations aurifères et en métaux de base du Parautochtone sont mis en relation spatiale avec les gneiss mafiques cartographiés/interprétés et les linéaments. Des hypothèses et des modèles de minéralisations sont proposés.

4.1 Les minéralisations dans le Parautochtone

Le potentiel pour des minéralisations en métaux de base dans le parautochtone a déjà été souligné par Birkett et al. (1991) et Girard et Moorhead (1993a, 1993b). Ces auteurs soulignent l'importance des gneiss mafiques et des amphibolites comme métallotecte à une échelle régionale. Cependant, seuls quelques indices avec des valeurs économiques (>1% Cu, Zn) ont été découverts jusqu'à présent à l'est de Senneterre et au SE de Chibougamau. Dans le Terrain du Lac Témiscamingue, le gîte de Langlade caractérise bien le type de minéralisation connue dans ce secteur (figure 31 et figure 32). La minéralisation est sous la forme de lentilles de pyrrhotite et de pyrite disséminées ou semi-massives. Des quantités significatives de sphalérite, chalcopyrite, galène et gahnite sont présentes (Girard et Moorhead, 1993b). La meilleure intersection a donné 16% Zn, 4,2% Cu, 38 g/t Ag et 436 ppb Au sur 1,1 m (Moore, 1993). Les lentilles de sulfures sont localisées au contact entre des gneiss quarzofeldspathiques (roches felsiques) et des gneiss mafiques et des amphibolites.

D'autres minéralisations à teneurs sub-économiques en métaux de base et des indices contenant des sulfures disséminés stériles (chapeaux de fer) sont également localisés au contact de gneiss quartzofeldspathiques et de gneiss intermédiaires et mafiques (figure 31; Girard et Moorhead, 1993a). Elles sont généralement associées à des horizons graphiteux et des gneiss grenatifères (25 à 50% de grenat). Cette dernière association est interprétée comme étant similaire à des exhalites, des sédiments et des roches altérées marquant des pauses dans le volcanisme bimodal (Girard et Moorhead, 1993a).

Les minéralisations aurifères sont encore plus rares dans le Parautochtone (figure 30 et figure 32). À l'est de Senneterre, les indices anomaux en or (< 1 g Au/t) sont associés à des éléments structuraux cassants dans des gneiss mafiques (Girard et Moorhead, 1993b; Girard et al., 1993). La minéralisation se présente sous la forme de veines et de stockwerks de quartz, feldspath potassique, de carbonates, de micas (dont la fuchsite) et de la pyrrhotite et de la pyrite disséminées (Girard et Moorhead, 1994). Il semble donc que la rhéologie et la chimie des gneiss mafiques jouent un rôle important pour la précipitation de l'or. Ces structures cassantes et hôtes de la minéralisation ont pu se développer dans deux types d'environnement structural. Elles peuvent représenter des zones abritées dans les amphibolites où le comportement cassant prévaut. Dans ce cas il s'agirait d'or syn-tectonique ou orogénique. Les veines minéralisées pourraient être des structures formées en régime globalement cassant. Dans ce cas, il s'agirait d'or tardi- ou post-tectonique, probablement formé à la fin de l'orogénie grenvillienne.

4.2 Potentiel pour les minéralisations en métaux de base

Les gneiss mafiques et les amphibolites interprétés par géophysique dans l'extension des bandes mafiques connues ouvrent de nouveaux secteurs pour l'exploration minérale dans le Parautochtone. La figure 8 montre la proportion significative de nouveaux horizons mafiques qui ont été interprétés. Tous les gneiss mafiques cartographiés/interprétés sont à priori un bon métallotecte à la fois pour l'or et les métaux de base. La région à l'est de Senneterre semble montrer un bon potentiel pour les minéralisations en métaux de base parce que la quantité de gneiss mafiques et d'amphibolites est maximale dans ce secteur. À une échelle régionale, la gravité semble appuyer cette hypothèse (figure 6). En effet, la plus grande quantité de gneiss mafiques et d'amphibolites est située au niveau du Terrain du Lac Témiscamingue et du Complexe de Serpent, et correspond à la plus importante anomalie gravimétrique du Parautochtone (figure 5 et figure 6). Cette anomalie gravimétrique s'atténue rapidement au nord du Complexe de Serpent, ce qui porte à croire que les roches mafiques sont moins nombreuses et/ou qu'elles sont moins enracinées vers le NE. L'anomalie gravimétrique positive et linéaire qui longe le FG entre Senneterre et Chibougamau a une signature typique des domaines volcaniques archéens de la Sous-province d'Abitibi (figure 6). Cette observation permet de croire que des gneiss mafiques sont tout de même présents partout le long du FG.

4.3 Potentiel pour les minéralisations en or

À l'est de Senneterre, il semble y avoir une association spatiale assez directe entre les minéralisations aurifères, de même qu'une bonne proportion des indices de sulfures disséminés, et les linéaments d'entraînement (figure 31). Le gîte Langlade et l'indice Bongard en sont des exemples. Si l'hypothèse avancée que le long linéament magnétique traversant le Terrain du Lac Témiscamingue se révèle la continuité de la Faille Cadillac – Larder Lake, cette structure devient une cible d'exploration régionale de première importance. Tout le corridor démagnétisé enveloppant cette structure offre un bon potentiel de minéralisation. À l'image des gisements aurifères de la Sous-province d'Abitibi et de plusieurs autres ceintures de roches vertes dans le monde, les structures de deuxième et troisième ordre sont également très intéressantes. Le gîte de Langlade (échantillons de 1,1 et 2,2 g Au/t, données SIGEOM) est situé à 2 km au nord de cette structure majeure et pourrait représenté une minéralisation associée à des structures secondaires (figure 31). Les linéaments E-O interprétés comme des failles archéennes ductiles pourraient être l'hôte de minéralisations aurifères volcanogènes déformées, alors que les linéaments NE, interprétés comme des failles protérozoïques, pourraient êtres le lieu de remobilisation et de minéralisation à contrôle structural.

La limite entre le Parautochtone et l'Allochtone (Front des Granulites) offre également un bon potentiel pour des minéralisations aurifères associées à des faciès métamorphiques de haut grade. Tel que discuté dans la section 3.4, le Front des Granulites pourrait représenter une zone de rétrométamorphisme au faciès amphibolite avec réhydratation des granulites dans l'éponte supérieure d'un chevauchement. Le

modèle de minéralisation du Sud Limpopo (Afrique du Sud) s'applique très bien le long de ce front tectonique (figure 33; van Reenen et al., 1994). D'après ce modèle, la mise en place d'une nappe granulitique « chaude » sur un domaine métamorphique « froid » favorise le développement d'une zone mixte rétrograde et de réhydratation à la base du chevauchement. La circulation des fluides engendrée par ce contraste thermique met en solution des métaux piégés dans les ceintures de roches vertes archéennes sous-jacentes (figure 33). Un groupe de minéralisations à sulfures disséminés situé dans le Parautochtone à quelques kilomètres du Front des Granulites (figure 32, feuillet SNRC 32B5) pourrait faire partie de ce type de minéralisation. En effet, la majorité de ces indices s'alignent le long de trois segments distincts qui épousent la forme du front tectonique. Il pourrait s'agir de structures secondaires associées au Front des Granulites et le long desquels auraient circulés des fluides hydrothermaux et précipités des métaux. L'extrémité est du Terrain du Lac Témiscamingue est donc tout indiquée pour ce type de modèle puisque la gravité montre que des gneiss mafiques et des amphibolites archéennes se poursuivent sous l'Allochtone.

Le modèle de minéralisation de Renco (Zimbabwe) s'applique dans l'Allochtone, à l'est du Terrain du Lac Témiscamingue (figure 33). Les mines de Renco au Zimbabwe et de Griffin's Find en Australie sont les deux principaux gisements localisés dans des granulites (Barnicoat et al. 1991 ; Kisters et al. 1998). À Renco, le comportement rhéologique et chimique semble jouer un rôle important dans la précipitation des métaux. La minéralisation est associée à une zone de mylonite située à plus d'une dizaine de kilomètres en amont du plan de chevauchement principal (Blenkinsop et Frei, 1996 ; Kolb et al., 2003a, 2003b). La mine est située dans des roches compétentes et chimiquement réactives (enderbites), ce qui aurait favorisée la précipitation des métaux (Kisters et al., 2000 ;). Ce modèle s'appliquerait parfaitement à l'est du Front des Granulites, puisque des roches de compétence similaire sont présentes dans l'Allochtone.

5. Conclusions

L'interprétation géophysique de lithologies favorables et de linéaments apporte un nouveau regard sur la géologie du Front de Grenville. L'extension des gneiss mafiques et des amphibolites à partir de la signature de bandes mafiques connues ouvre de nouveaux secteurs pour l'exploration aurifères et de métaux de base dans le Parautochtone. Un des faits saillants de cette étude est la reconnaissance par gravité du prolongement vers l'est du Terrain du Lac Témiscamingue sous l'Allochtone. Des modèles de minéralisations aurifères du type rencontré à la Mine Renco ou dans le Sud Limpopo s'appliquent au Front des Granulites (limite Parautochtone-Allochtone). La signature géophysique de ce front tectonique laisse entrevoir la possibilité que la semelle de ce contact a subi un rétrométamorphisme et une réhydratation. Une remobilisation de métaux pourrait s'être produite en avant de (c.-à-d. Parautochtone) ou dans ce front tectonique (type Sud Limpopo), de même que dans l'éponte supérieure de cette structure dans l'Allochtone (type Renco).

La reconnaissance possible de l'extension de la Faille de Cadillac – Larder Lake dans le Parautochtone est un autre point important mis en valeur par cette étude géophysique. Si cette hypothèse s'avère plausible, cette structure E-O représente une nouvelle découverte métallogénique pour le secteur à l'est de Senneterre. Des structures secondaires associées à ce linéament géophysique majeur deviennent des cibles d'exploration importantes pour des minéralisations de type or volcanogène (Doyon-Bousquet-La Ronde) ou or orogénique (hypozonal du Yilgarn). Tout le long du Front de Grenville, un système de linéaments orientés E-O à ENE est présent dans le Parautochtone avec une certaine rythmicité qui rappelle celle des grands couloirs de déformation de la Sous-province d'Abitibi. Plusieurs de ces linéaments E-O s'inscrivent, avec un certain décalage, dans le prolongement de failles abitibiennes minéralisées. Les linéaments géophysiques orientés NE sont interprétés comme des failles grenvilliennes. Plusieurs indices minéralisés ou de sulfures disséminés sont localisés le long de ces structures.

Certaines des hypothèses avancées dans ce projet restent à être documentées sur le terrain. Les travaux de cartographie envisagés par le Ministère des Ressources naturelles du Québec dans le Parautochtone devraient permettre de corroborer la présence de gneiss mafiques et d'amphibolites dans des régions jusqu'à maintenant peu ou pas cartographiées. Une étude géochimique détaillée des gneiss mafiques de part et d'autre du linéament interprété comme le prolongement du la Faille de Cadillac – Larder Lake pourrait confirmer la limite entre deux blocs lithotectoniques. Une étude sur le métamorphisme à l'échelle du Front de Grenville permettrait d'établir une meilleure corrélation entre les isogrades métamorphiques et la signature magnétique des roches.

Remerciements

Cette étude n'aurait pas été aussi concluante sans les discussions avec les personnes suivantes : Daniel Bandyayera, Sandrine Cadéron, Pierre Rhéaume et Patrice Roy du Ministère des Ressources naturelles du Québec; Réal Daigneault de l'UQAC et Sylvain Trépanier (Consorem). Le crédit et les remerciements pour l'initiation au logiciel Geosoft reviennent à Michel Allard de Noranda-Falconbridge Exploration. Des échanges sur les traitements géophysiques avec Marc Boivin ont été également appréciés. La révision et la mise en forme de ce document ont été réalisées par Marie-Line Tremblay.

Références

Allard, G.O. 1978. Pétrologie et potentiel économique du prolongement du sillon de roches vertes de Chibougamau dans la province de Grenville ;Ministère des Richesses naturelles du Québec, DPV 604.

Allard, M. et Bois, D., 1999. La géophysique appliquée à l'exploration minérale. Cégep de l'Abitibi-Témiscamingue. 352 pages.

Bandyayera, D., Rhéaume, P., Cadéron, S., Giguère, E. et Sharma, K.L. 2004. Géologie de la région du lac Lagacé (SNRC 32B/14). Ministère des Ressources naturelles, Québec. RG-2004.

Barnicoat, A., Fare, R,, Groves, D. and McNaughton, N. 1991. Synmetamorphic lode-gold deposits in high-grade Archean settings. Geology, 19: 921-924.

Birkett, T.C., Marchildon, N., Paradis, S. and Godue. 1991. The Grenville Province to the east of Val-d'Or, Quebec : a geological reconnaissance and a possible extension of the Abitibi greenstone belt in the Grenville parautochthonous belt; in Current Research, Part C, Geological Survey of Canada, Paper 91-1C: 1-7.

Blenkinsop, T.G. and Frei, R. 1996. Archean and Proterozoic Mineralization and Tectonics at the Renco Mine (Northern Marginal Zone, Limpopo Belt, Zimbabwe). Economic Geology, 91: 1225-1238.

Charbonneau, B.W., 1973. A Grenville front magnetic anomaly in the Mégiscane lake area, Quebec. Geol. Surv. Can., department of energy, mines and ressources, Paper 73-29.

Ciesielski, A., 1988. Geological and structural context of the Grenville Front, southeast of Chibougamau, Quebec ; in Current Research, Part C, Geological Survey of Canada, Paper 88-1C: 353-366.

Ciesielski, A. et Ouellet, E. 1985. Le front de Grenville dans la région de Chibougamau, Québec ; dans Recherches en cours, partie B, Commission géologique du Canada, étude 85-1B : 303-317.

Cox, R.A., Dunning, G.R. and Indares, A., 1998. Petrology and U-Pb geochronology of mafic, high-pressure, metamorphic coronites from the Tshenukutish domain, eastern Grenville Province. Precambrian Research, 90 : 59-83.

Cox, R.A., Indares, A. and Dunning, G.R. 2002. Temperature time paths in the high-P Manicouagan Imbricate zone, eastern Grenville Province: Evidence for two metamorphic events. Precambrian Research, 117 : 225-250.

Daigneault, R. et Allard, G. 1989. Complexe du lac Doré. Ministère Énergie et Ressources du Québec, Mémoire 89-01.

Derry, D. R. 1950. A tectonic Map of Canada. Geological Association of Canada, proceedings, 3: 39-53.

Daigneault, R. Mueller, W.U. and Chown, E.H. 2003. Abitibi greenstone belt plate tectonics:the diachrononous history of arc development, accretion and collision. *Dans* Developments in Precambrian Geology / Tempos of events in Precambrian time. P. Eriksson, W. Altermann, D. Nelson, W. Mueller, O. Catuneanu, and K. Strand (Éditeurs).

Eaton, D.W., Hynes, A., Indarès, A., et Rivers, T. 1995. Seismic images of eclogites, crustal-sacle extension, and Moho relief in the eastern Grenville province, Quebec. Geology, 23: 855-858.

Faure, S. 2001. Analyse des linéaments géophysiques en relation avec les minéralisations en or et métaux de base de l'Abitibi. Consortium de recherche en exploration minérale, rapport interne, 29 p.

Faure, S., Gaboury, D., Daigneault, R. et Jébrak, M. 2001. Analyse des linéaments géophysiques en relation avec les minéralisations en or et métaux de base de l'Abitibi. 27e congrès annuel Association des prospecteurs du Québec, recueil de conférences, p. 35-36.

Faessler, C. 1935. Megiscane River headwaters area; Ann. Rept. Quebec Bureau Mines, Pt. C, p.29-38.

Gilbert, J.E. 1959. Région de Rohault, districts électoraux d'Abitibi-Est et de Roberval; Ministère des Mines du Québec, RG 86.

Girard, R. et Moorhead, J., 1993a. Nouveaux indices de métaux de base dans le prolongement des ceintures volcaniques de la partie sud de l'Abitibi à l'intérieur de la Province de Grenville, à l'est de Senneterre, Québec. Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec, PRO 93-04.

Girard, R. et Moorhead, J., 1993b. Le potentiel minéral de la zone parautochtone du Grenville à l'est de Senneterre, Québec : nouvelles zones anomales du MER et nouvelles découvertes de Cominco ltée. Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec, PRO 93-09.

Girard, R. et Moorhhead, J., 1994. Géologie de la région de Press – Clova. Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec, MB 94-34.

Girard, R., Moorhead, J., Birkett, T.C. et Marchildon, N. 1993. Géologie de la région de Press - Clova. Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec, MB 93-04.

Gower, C.F. and Krogh, T.E., 2002. A U–Pb geochronological review of the Proterozoic history of the eastern Grenville Province. Can. J. Earth Sci. 39: 795–829.

Grant, F.S., 1984a. Aeromagnetics, geology and ore environments, I. Magnetite in igneous, sedimentary and metamorphic rocks : an overview. Geoexploration, 23 : 303-333.

Grant, F.S., 1984b. Aeromagnetics, geology and ore environments, II. Magnetite and ore environments. Geoexploration, 23 : 335-362.

Groves, D.I., Ridley, J.R., Bloem, E.M.J., Gebre-Mariam, M., Hagemann, S.G., Hronsky, J.M.A., Knight, J.T., Mcnaughton, N.J., Ojala, J., Vielreicher, R.M., Mccuaig, T.C., and Holyland, P.W., 1995. Lode-gold deposits of the Yilgarn block : product of Late Archaean crustal-scale overpressured hydrothermal systems. Geological Society Special Publication No 95 : 155-172.

Henkel, H. et Guzman, M. 1977. Magnetic features of fracture zones. Geoexploration, 15: 173-181.

Indares, A. and Martignole, J., 1989. The Grenville Front south of Val-d'Or, Quebec. Tectonophysics, 157 : 221-239.

Indares, A. and Dunning, G., 2004. Crustal architecture above the high-pressure belt of the Grenville Province in the Manicouagan area : new structural, petrologic and U-Pb age constraints. Precambrian Research, 130 : 199-228.

Kisters, A.F.M., Kolb, J., Meyer, and F. Michael. 1998. Gold Mineralizarion in High-Grade Metamorphic Shear Zones of the Renco Mine, Southern Zimbabwe. Economic Geology, 93: 587-601.

Kisters, A.F.M., Kolb, J., Meyer, F.M. and Hoernes, S. 2000. Hydrothermal segmentation of high-temperature shear zones: structural, geochemical and isotopic evidence from auriferous mylonites of the Renco mine, Zimbabwe. Journal of Structural Geology, 22: 811-829.

Kolb, J., Kisters, A.F.M., Hoernes, S. and Meyer, F.M. 2003a. The origin of fluids and nature of fluid-rock interaction in mid-crustal auriferous mylonites of the Renco mine, Southern Zimbabwe. Mineralium Deposita, 35: 109-125.

Kolb, J., Kisters, A.F.M., Meyer, F.M. and Siemes, H. 2003b. Polyphase deformation of mylonites from the Renco mine (Zimbabwe): identified by crystallographic preferred orientation of quartz. Journal of Structural Geology, 25: 253-262.

Krutikhovskaya, Z.A., Silina, I.M., Bondareva, N.M. and Podolyanko, S.M. 1979. Relation of magnetic properties of the rocks of the Ukrainian Shield to their composition and metamorphism. Can. J. Earth Sci., 16: 984-991.

Lacoste, P. 1986. Aspects pétrographiques et géochimiques de zones minéralisées dans le canton de Duberger (Chibougamau), dans le contexte métamorphique Grenville-supérieur ; mémoire de maîtrise inédit, Université du Québec à Chicoutimi, 220 p.

Laurin, A.F. 1965. Étude géologique sommaire des sources des rivières Trenche, Windigo et Wabano, comtés de Laviolette et de Roberval. Ministère des Richesses naturelles, Québec (Ms), rapport géologique RG-130.

Laurin, A.F. et Sharma, K.N.M. 1975. Région des rivières Mistassini, Péribonca et Saguenay. Ministère des Richesses naturelles, RG 161.

MacLaren, A.S. et Charbonneau, B.W. 1969. Characteristics of Magnetic Data over major subdivisions of the Canadian Shield; Geol. Assoc. Can. Proc., v.19.

Moorhead, J., Girard, R. et Birkett, T.C. 1991. Prolongement vers l'est des ceintures de roches vertes de l'Abitibi à l'intérieur de la Province de Grenville : Nouvelles cibles pour l'exploration à l'est de Senneterre. Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec. PRO 91-17.

Moore, D.W., 1993. Grenval project, 1991 summary report NTS : 32C-1,2,7,8 and 32B-4,5. Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec, GM 51754, 286 p.

Mueller, A. G.1988. Archean gold-silver deposits with prominent calc-silicate alteration in the Southern Cross greenstone belt, Western Australia : analogues of phanerozoic skarn deposits.University of Western Australia Publication 12 :141-163.

Norman, G.W.H., 1940. Thrust faulting of Grenville gneisses northwestward against the Mistassini series of Mistassini Lake, Quebec; Journal of Geology, 48: 512-525.

Rivers, T. and Chown, E.H., 1986. The Grenville Orogen in eastern Quebec and western Labrador-definition, identification and tectonometamorphic relationships of autochthonous, parautochthonous and allochthonous terranes; in The Grenville Province, ed. J.M. Moore, A. Davidson, and A.J. Baer; Geological Association of Canada, Special Paper 31 : 31-50.

Siva Siddaiah, N. and Rajami, V. 1989. The Geological Setting, Mineralogy, Geochemistry and Genesis of Gold Deposits of the Archean Kolar Schist Belt, India. Economic Geology, 84: 2155-2172.

Tiphane, M. and Dawson, K.R., 1950. Villebon, Quebec; Geological Survey of Canada, Map 998A.

Van Reenen, D.D., Pretorius, A.I. et Roering, C. 1994. Characterization of fluids associated with gold mineralization and with regional high-temperature retrogression of granulites in the Limpopo belt, South Africa. Geochimica et Cosmochimica Acto, 58: 1147-1159.

Cahier des figures

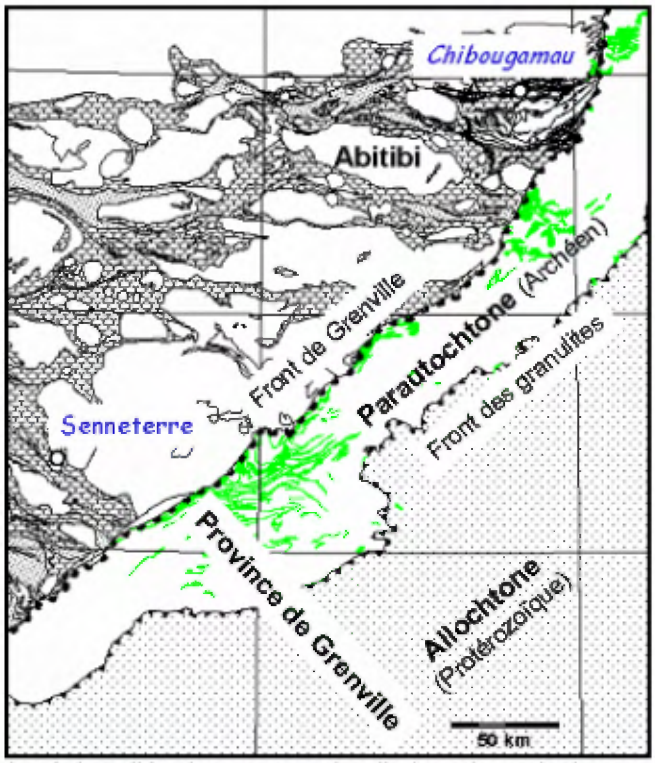


Figure 1. Localisation de la région d'étude montrant les limites des principaux domaines lithotectoniques de la Province de Grenville. En vert; gneiss mafiques et amphibolites d'après compilation de Goutier et Melançon (en préparation). Retour au texte.

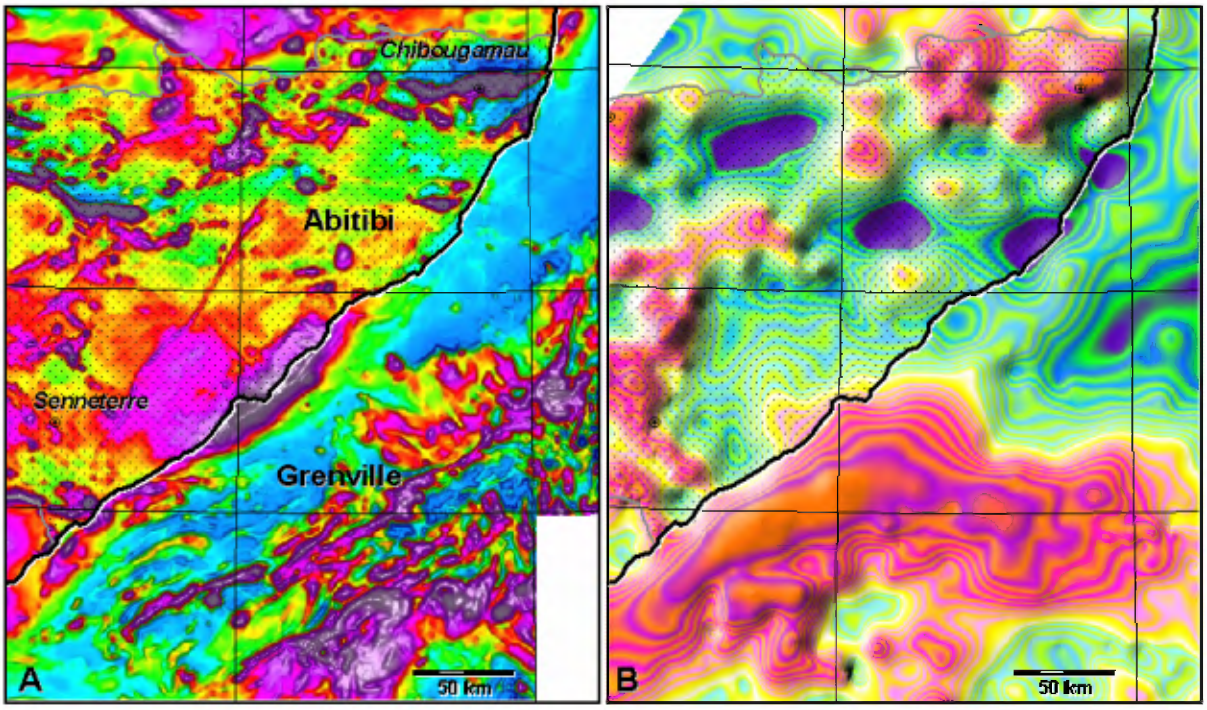


Figure 2. La trace du front de Grenville est nettement perceptible A) sur projection vers le haut à 1 km du champ magnétique total et B) sur le gradient vertical de la gravité. Ligne noire avec ombrage blanc : position du Front de Grenville selon carte géologique provinciale. Quadrillage noir; feuillets 1 :250000. Retour au texte.

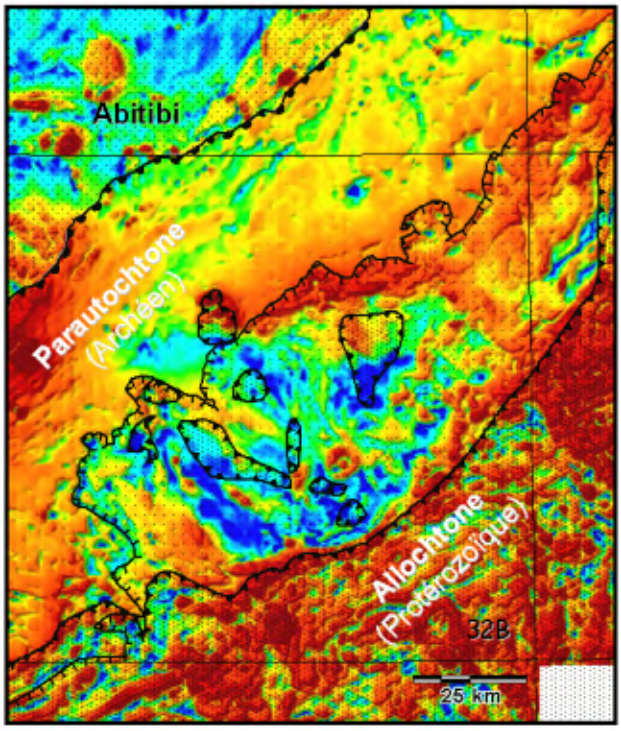


Figure 3. Les deux limites proposées pour la frontière entre le Parautochtone et l'Allochtone dans le Grenville selon le Ministère des Ressources naturelles (ligne avec tirets perpendiculaires) ou la Commission géologique du Canada (lignes avec triangles). Signal analytique de l'intégration verticale. Retour au texte.

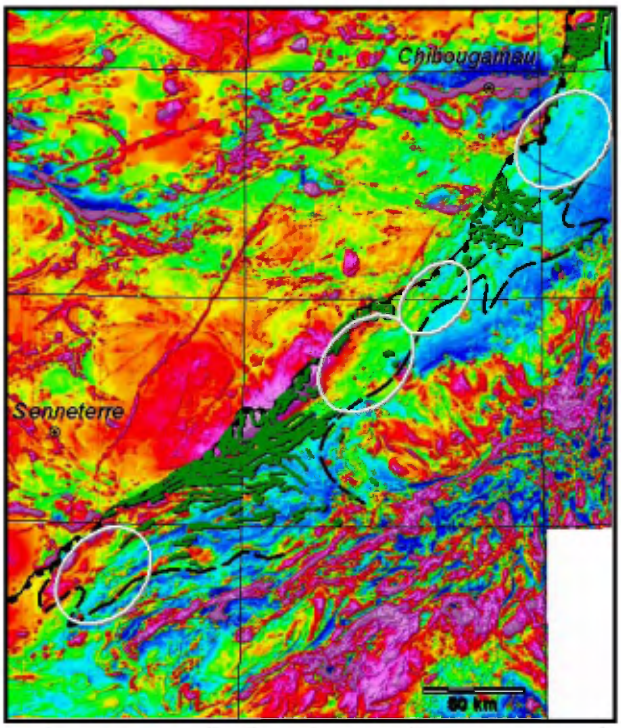


Figure 4. Connaissance actuelle des amphibolites dans le Parautochtone (vert) selon compilation de Goutier et Melançon (en préparation) sur le champ magnétique total. Les secteurs où l'information cartographique est déficiente sont montrés (ovales blancs). L'extension possible des domaines à amphibolites est interprétée à l'aide de la signature magnétique (tirets noirs). Retour au texte.

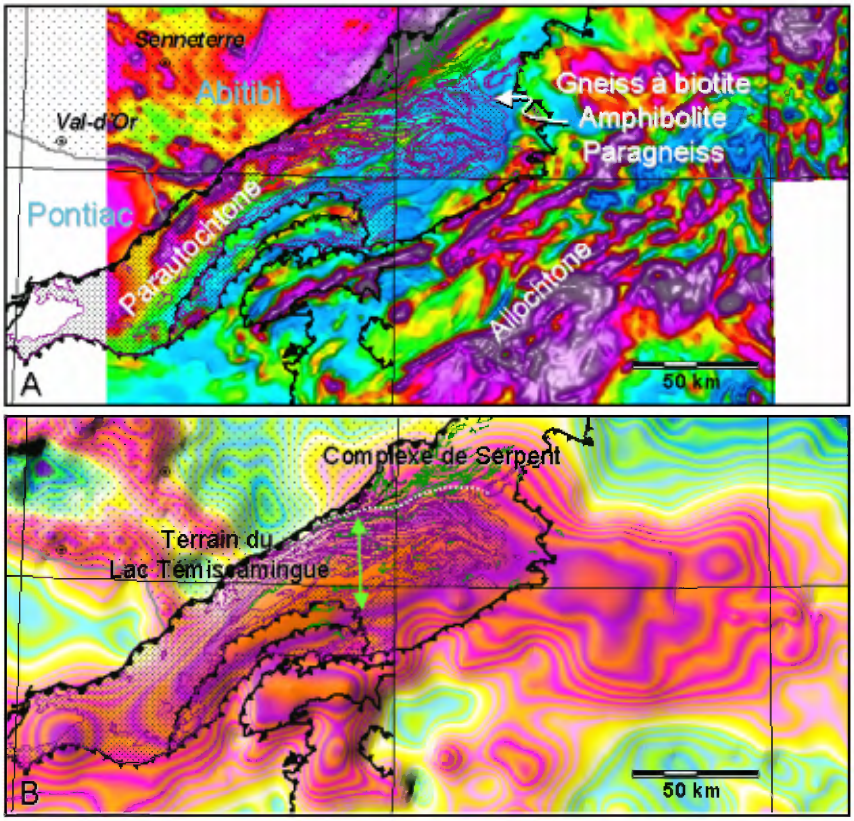


Figure 5. Le Terrain du Lac Témiscamingue dans le Parautochtone à l'est de Val-d'Or. A) Gneiss à biotite, gneiss mafiques-intermédiaires et paragneiss sur le champ magnétique total. B) Extension du Terrain du Lac Témiscamingue sous l'Allochtone est clairement visible sur le gradient vertical de la gravité. Géologie d'après Goutier et Melançon (en préparation). Retour au texte.

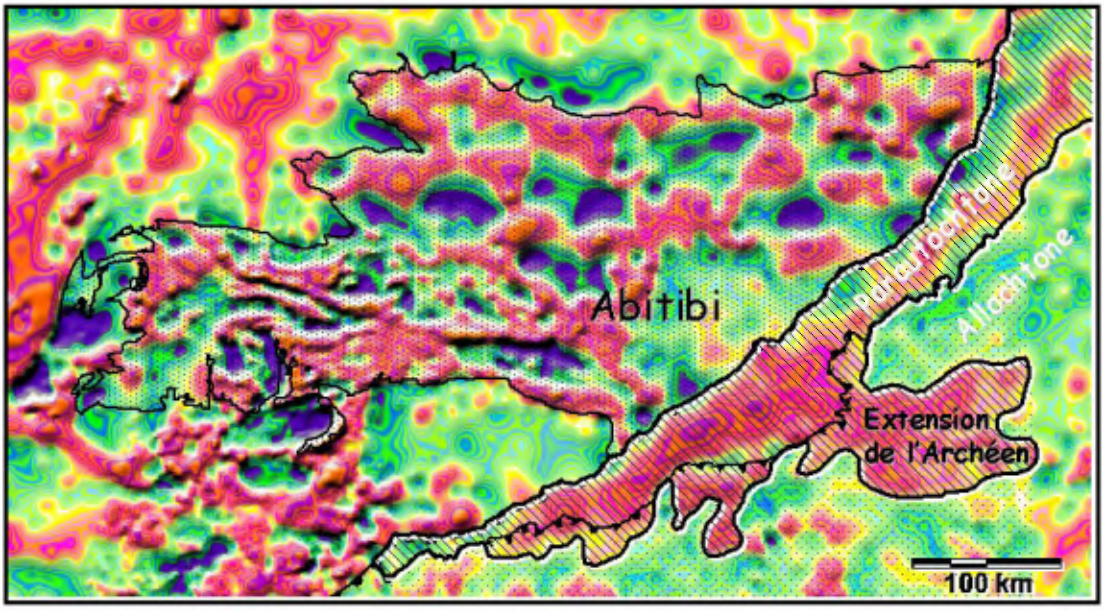


Figure 6. Extension proposée pour l'Archéen sous l'Allochtone grenvillien et basée sur le gradient vertical de la gravité. Retour au texte.

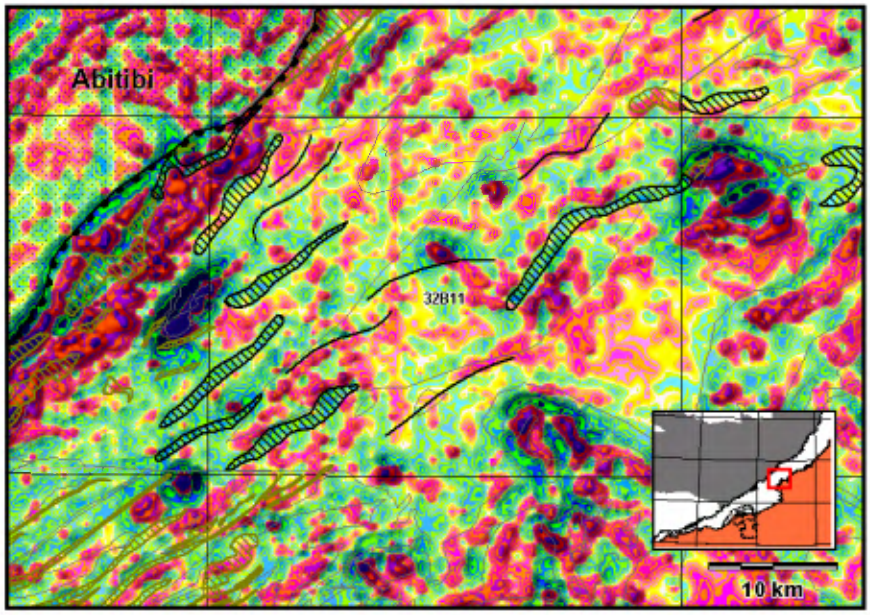


Figure 7. Localisation des gneiss mafiques et amphibolites (hachuré vert) cartographiés et interprétation géophysique de l'extension possible de ces unités. Le feuillet 32B11 n'a jamais été cartographié au 1 :50000. Contours gris; cartographie selon compilation de Goutier et Melançon (en préparation). 1ère dérivée verticale du champ magnétique total. Retour au texte.

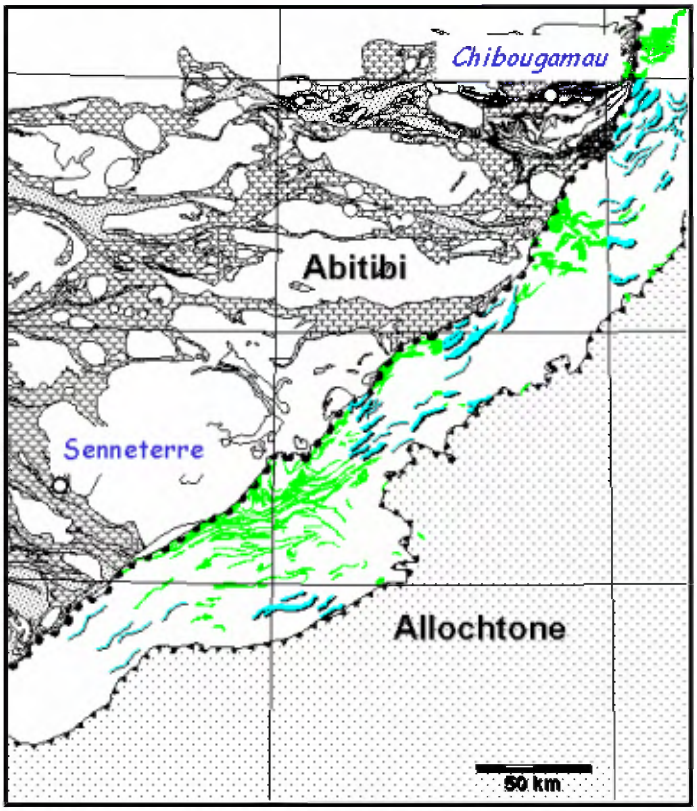


Figure 8. Carte synthèse montrant les gneiss mafiques et amphibolites sur les cartes géologiques du ministère provincial (vert, tel que défini par Goutier et Melançon en préparation) et leur extension proposée par l'interprétation géophysique (cyan). Carte de l'Abitibi d'après compilation de Daigneault. Retour au texte.

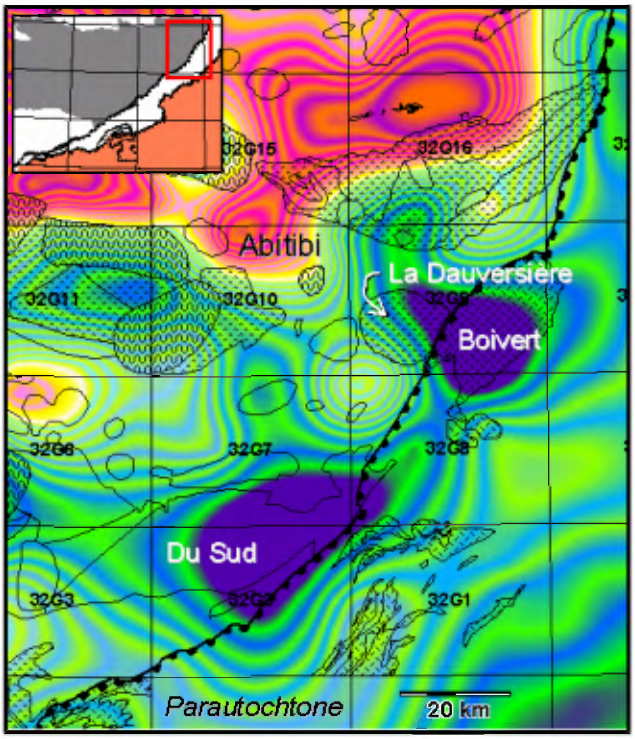


Figure 9. Signatures du gradient vertical de la gravité au sud de Chibougamau montrant l'enracinement des plutons Du Sud, La Dauversière et de Boisvert. Carte de l'Abitibi d'après compilation de Daigneault. Retour au texte.

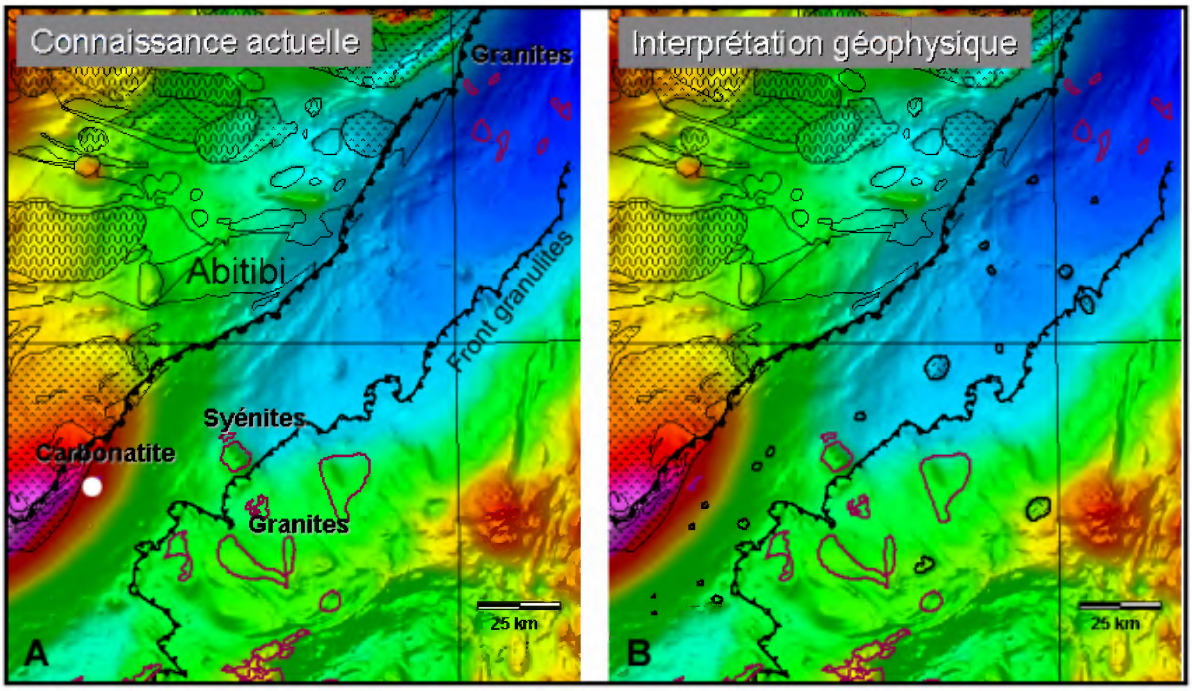


Figure 10. L'intégration verticale du champ magnétique total montrant les signatures de certaines intrusions, tant dans la Sous-province d'Abitibi que dans le Grenville. A) Intrusions connues dans le Grenville d'après Goutier et Melançon (en préparation) avec carte de l'Abitibi (Daigneault). B) Interprétation de corps intrusifs dans le Parautochtone et l'Allochtone d'après la géophysique. Retour au texte.

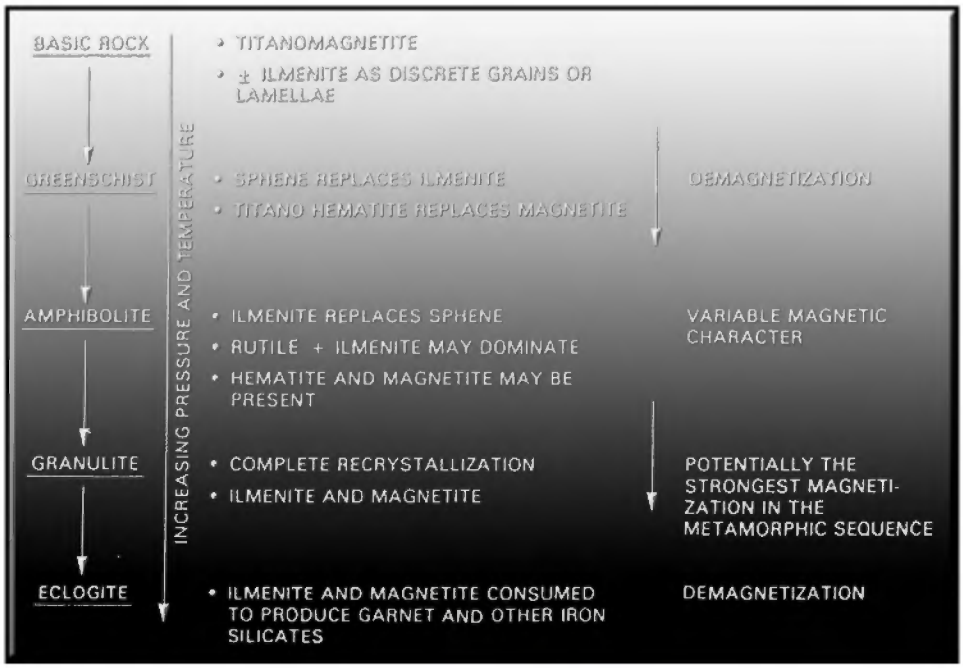


Figure 11. Tableau montrant l'effet du métamorphisme sur la recristallisation ou le remplacement de certains minéraux et les réponses magnétiques. Retour au texte.

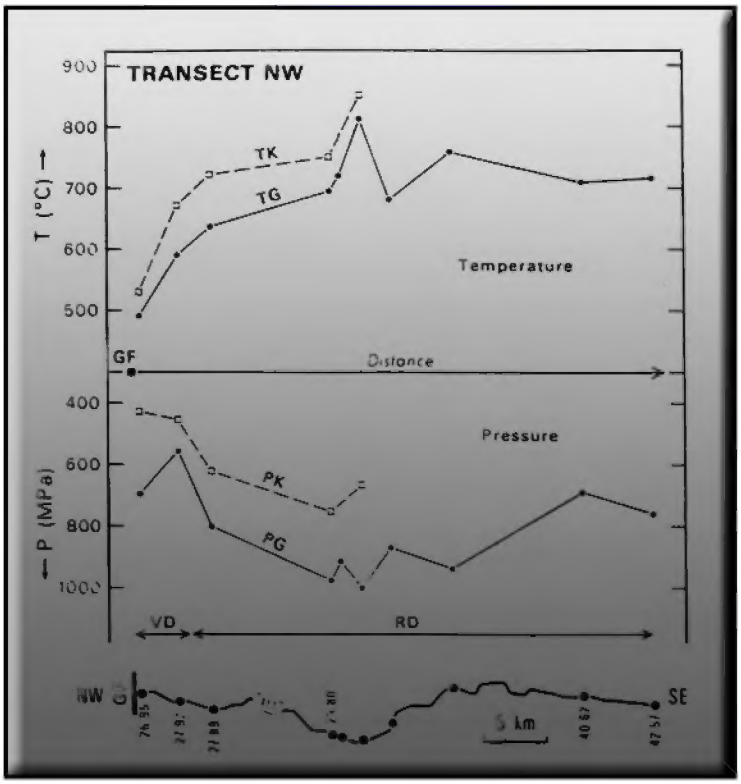


Figure 12. Section métamorphique NO-SE dans le Grenville le long de la route 117 entre le Front de Grenville (GF) et les terrains à granulites (Indarès et Martignole, 1989). TK/PK; températures/pressions kénoréennes. TG/PG; températures/pressions grenvilliennes. Retour au texte.

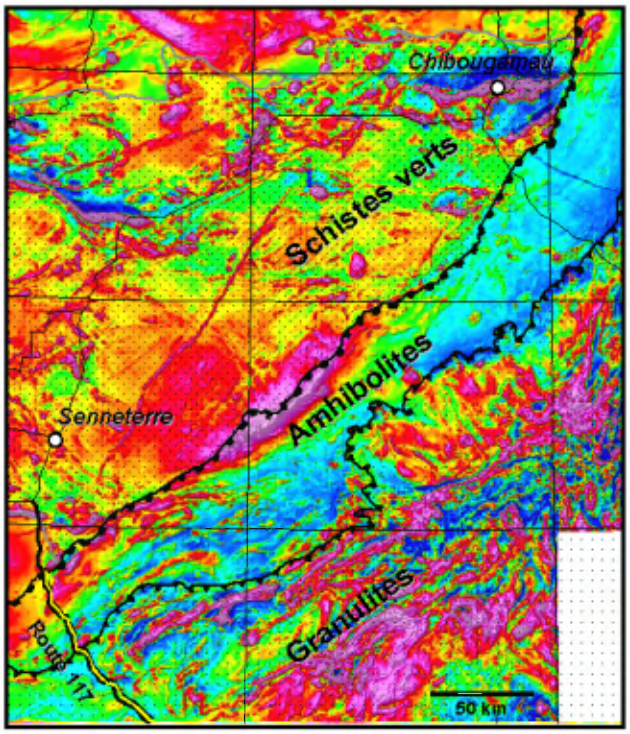


Figure 13. Champ total montrant la signature magnétique des différents domaines métamorphiques. Ligne jaune : section métamorphique faite par Indarès et Martignole (1989) le long de la route 117 (figure 12). Retour au texte.

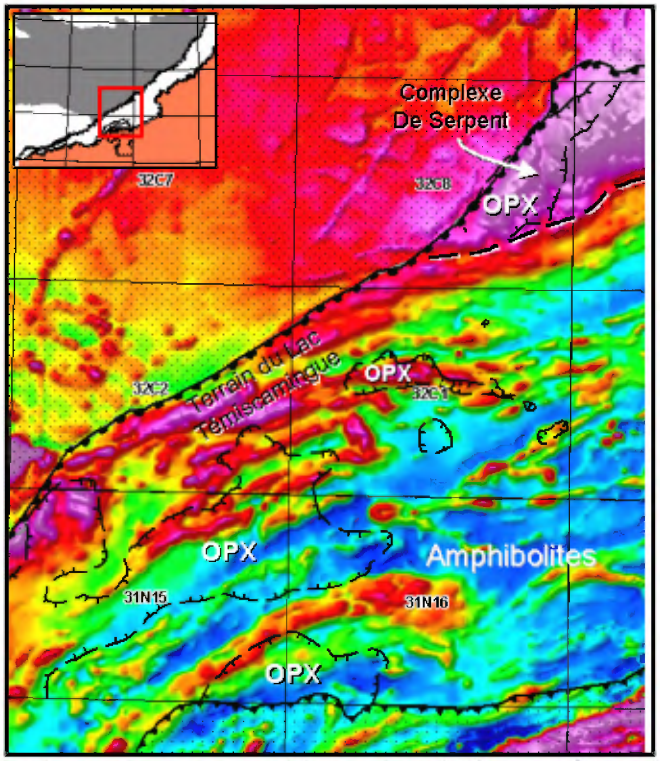


Figure 14. Cartographie des isogrades métamorphiques dans le Parautochtone à l'est de Val-d'Or d'après Girard et Moorhead (1994). OPX : faciès granulitique à orthopyroxène. Champ magnétique total. Quadrillage : feuillets 1 :50000. Retour au texte.

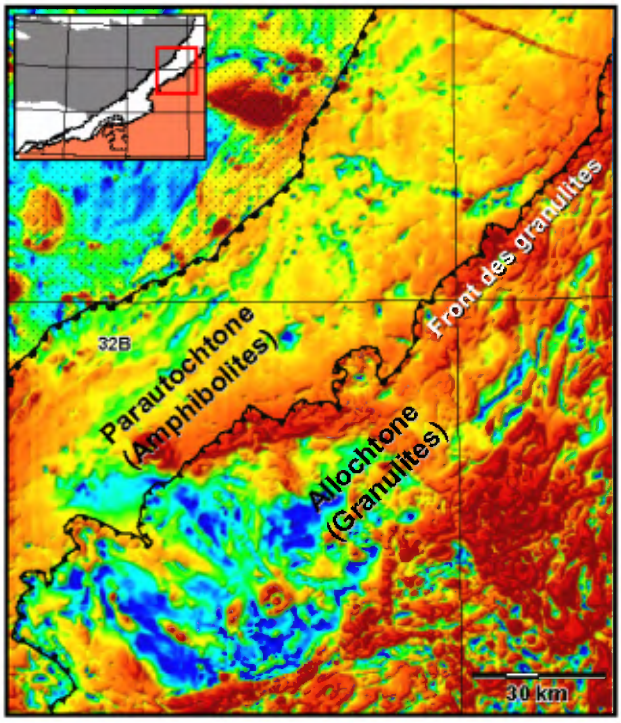


Figure 15. Front des granulites marqué par un contraste géophysique prononcé entre le Parautochtone et l'Allochtone en utilisant le signal analytique de l'intégration verticale du champ magnétique. Retour au texte.

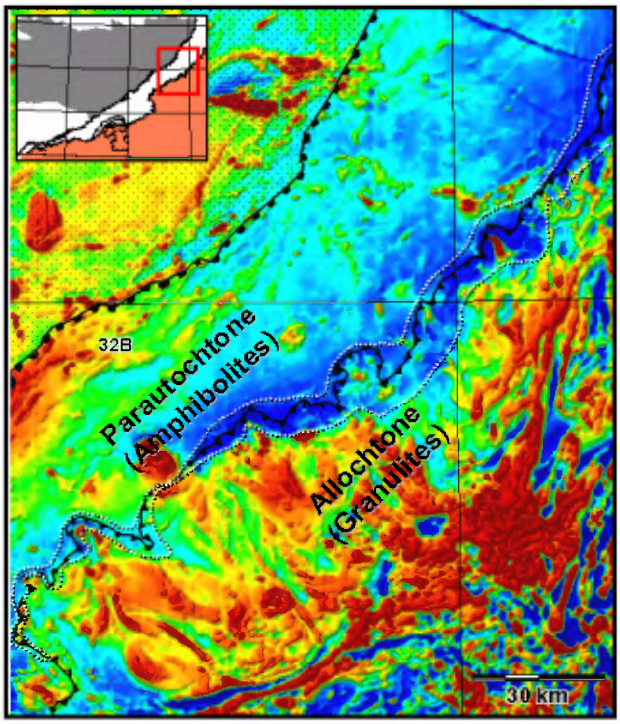


Figure 16. Front des granulites exprimé par une zone démagnétisée (pointillé blanc) de plusieurs kilomètres en utilisant un filtre passe-bas à 1 km. Retour au texte.

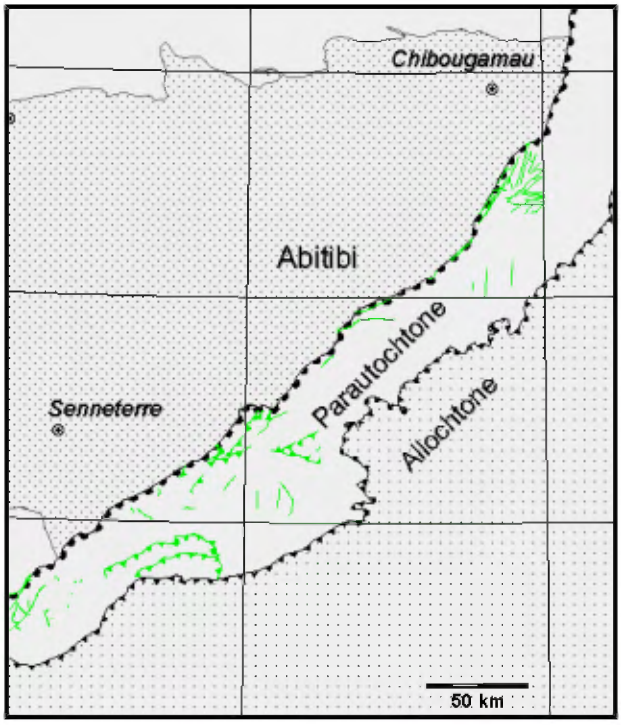


Figure 17. Localisation des failles cartographiées ou interprétées par géophysique sur les cartes à l'échelle 1 :50000 du gouvernement provincial (données SIGEOM). Retour au texte.

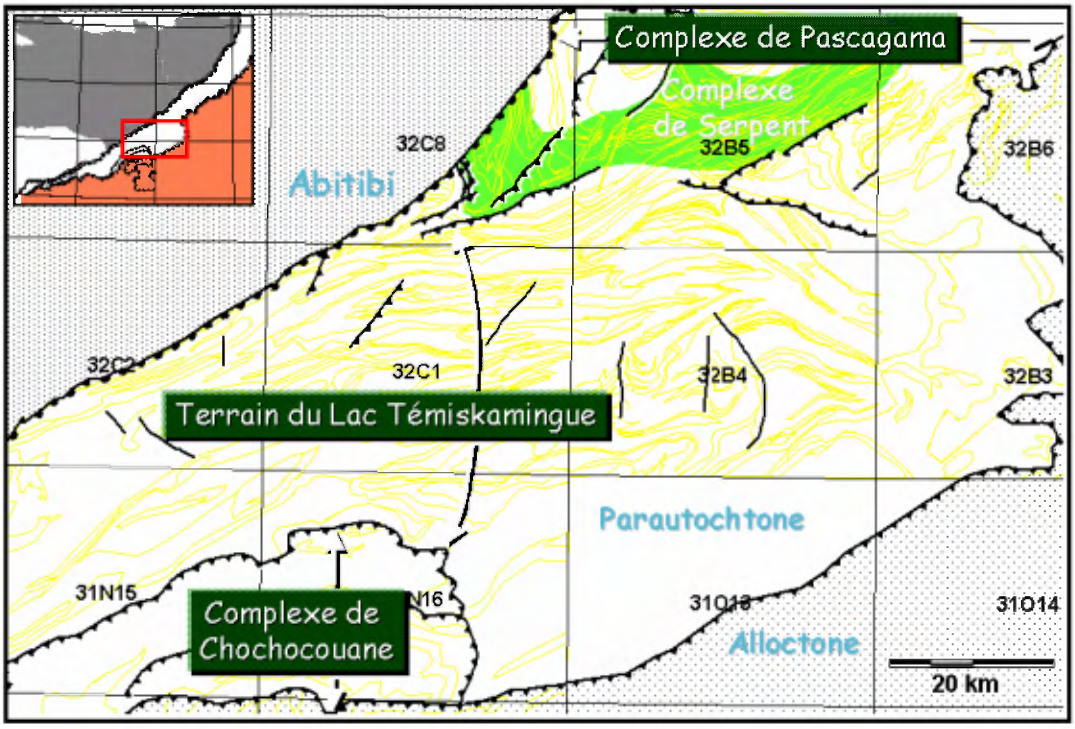


Figure 18. Carte géologique à l'est de Senneterre montrant le contour des différentes unités, les failles cartographiées/interprétées et les principaux domaines lithotectoniques tels que définis par Girard et Moorhead (1994). Retour au texte.

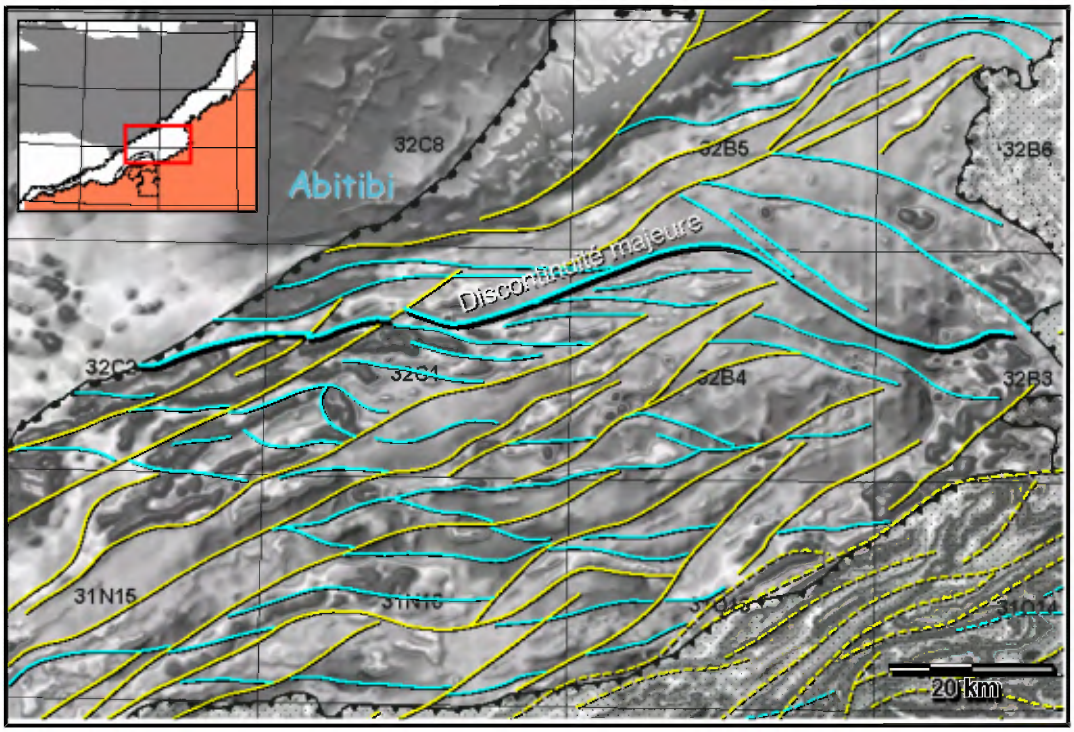


Figure 19. Interprétation des linéaments géophysiques d'entraînement à l'est de Senneterre. Les linéaments cyans sont plus cours et sont préférentiellement recoupés par les linéaments jaunes plus rectilignes et longs. Une discontinuité majeure traversant l'ensemble du Terrain du lac Témiscamingue est interprétée. Champ magnétique total. Retour au texte.

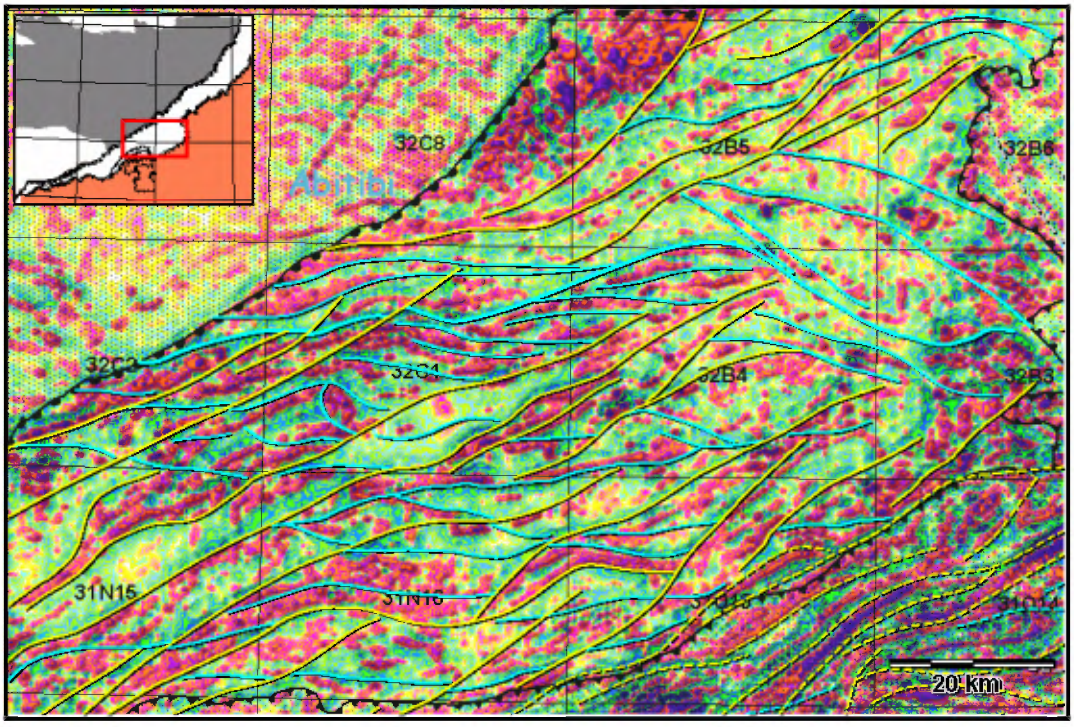


Figure 20. Interprétation des linéaments géophysiques d'entraînement à l'est de Senneterre (idem à Fig. 19). 1^{ière} dérivée verticale du champ total. Retour au texte.

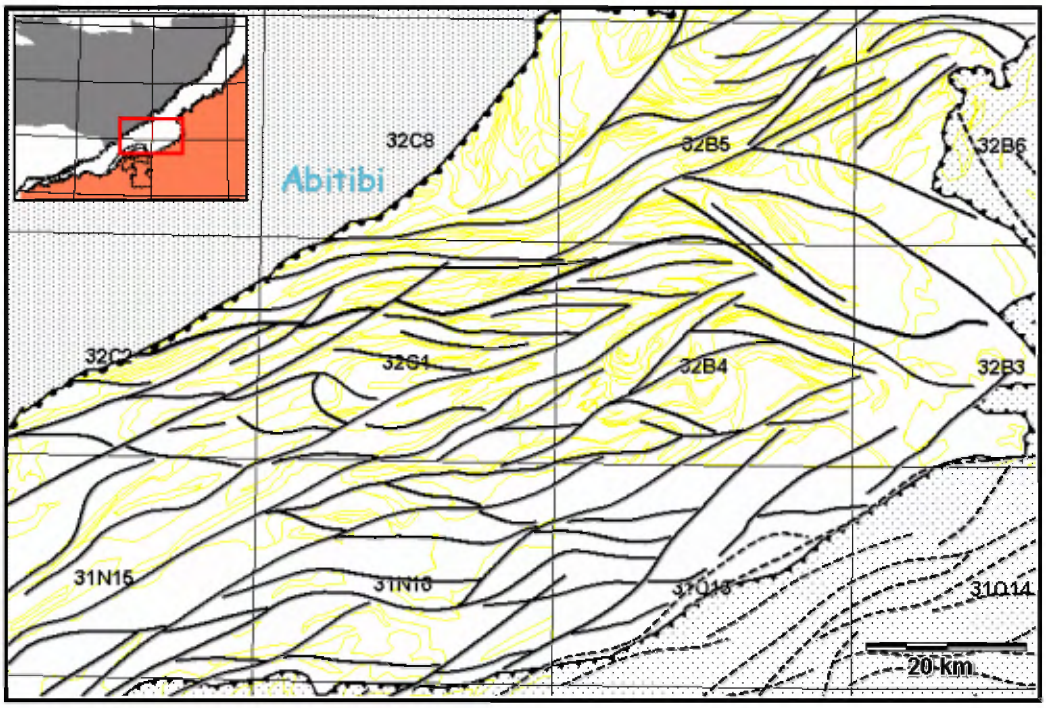


Figure 21. Cohérence entre les linéaments géophysiques interprétés (lignes noires) et la géologie à l'est de Senneterre. Géologie d'après Girard et Moorhead (1994). Retour au texte.

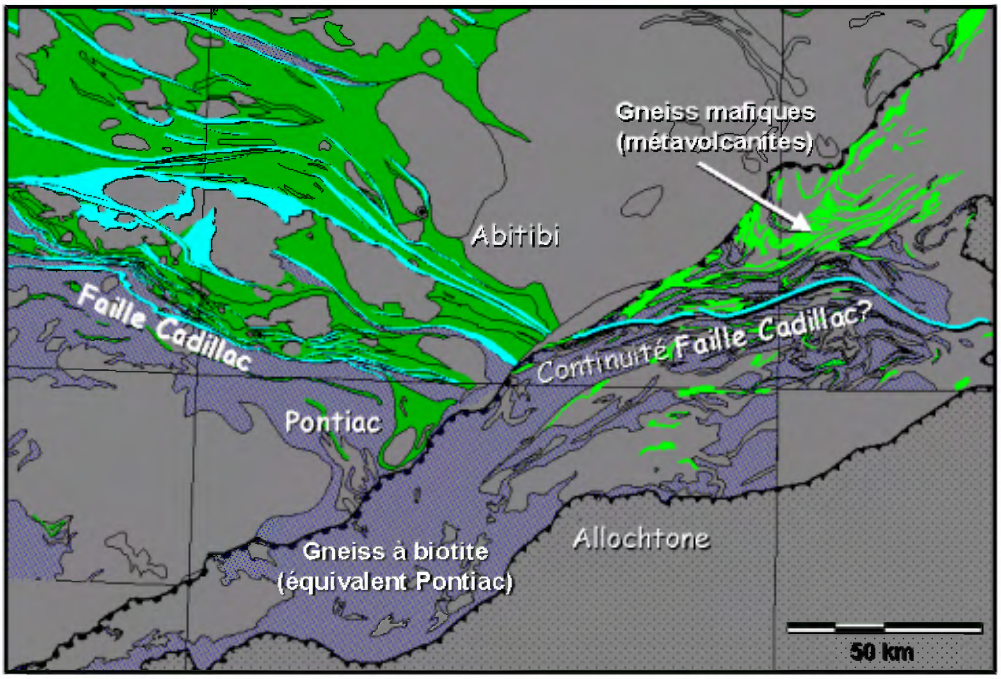


Figure 22. Carte géologique régionale montrant les roches volcaniques (vert), les couloirs de déformation de l'Abitibi (cyan) et les métasédiments de la Sous-province du Pontiac (compilation de Daigneault). Coincés entre l'Abitibi et l'Allochtone, les gneiss à biotite, les gneiss mafiques et les amphibolites du Parautochtone archéen (d'après compilation de Goutier et Melançon, en préparation) seraient respectivement des équivalents du Pontiac et des volcanites de l'Abitibi (Girard et Moorhead, 1993). Le linéament géophysique majeur (ligne cyan) est interprété comme étant la racine de la Faille Cadillac. Retour au texte.

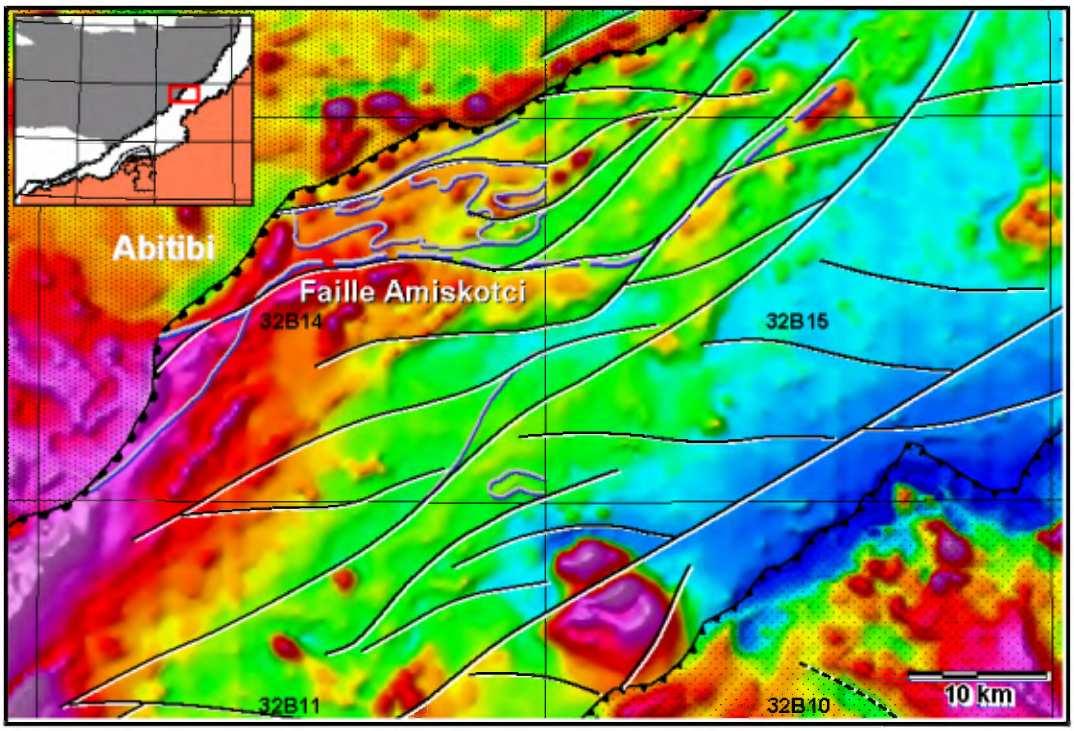


Figure 23. Les failles cartographiées (gris ombragé bleu) dans le feuillet 32B14 par Bandyayera et al. (2003, 2004) ont une expression magnétique. Les linéaments d'entraînement (noir ombragé blanc) sont en partie interprétés à l'extérieur de ce feuillet avec le champ magnétique total. Retour au texte.

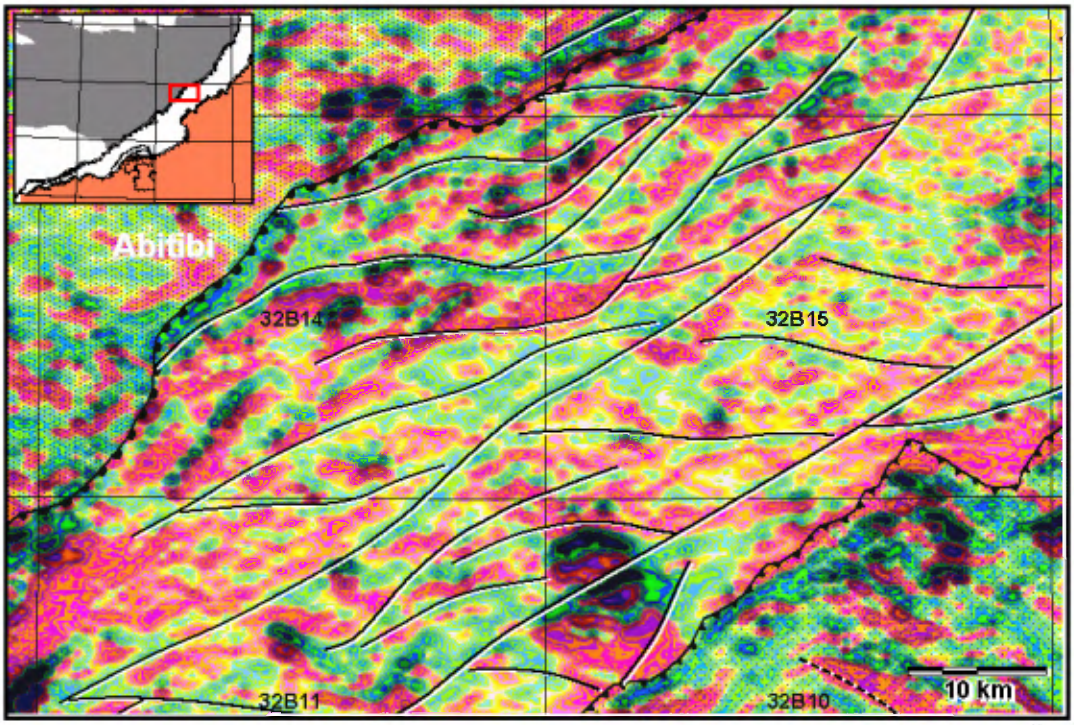


Figure 24. Linéaments d'entraînement (noir ombragé blanc) interprétés à partir de la 1^{ière} dérivée horizontale du champ magnétique dans la direction N-S. À noter la forte expression magnétique de la syénite à néphéline dans le coin NO du feuillet 32B10 (Laurin, 1965) qui recoupe un linéament courbe orienté ENE et qui est également recoupée par un linéament NE rectiligne. Retour au texte.

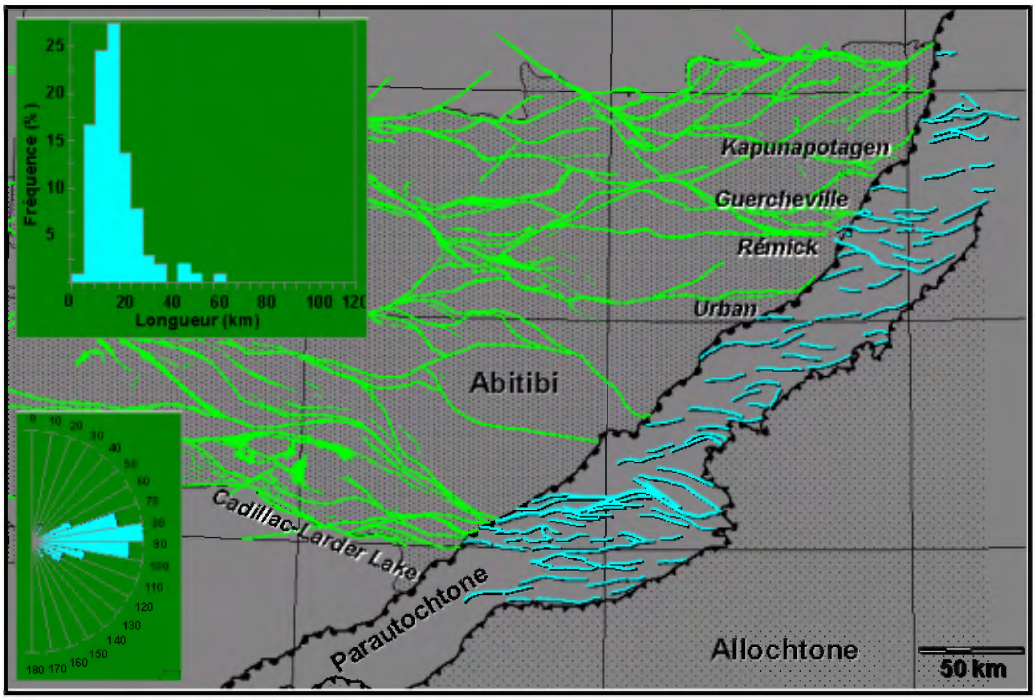


Figure 25. Compilation des linéaments géophysiques d'entraînement archéens dans le Parautochtone (cyan) avec histogramme de distribution des longueurs et rosette des directions. Failles en Abitibi d'après compilation de Daigneault (en vert). Nom des failles en italique. Retour au texte.

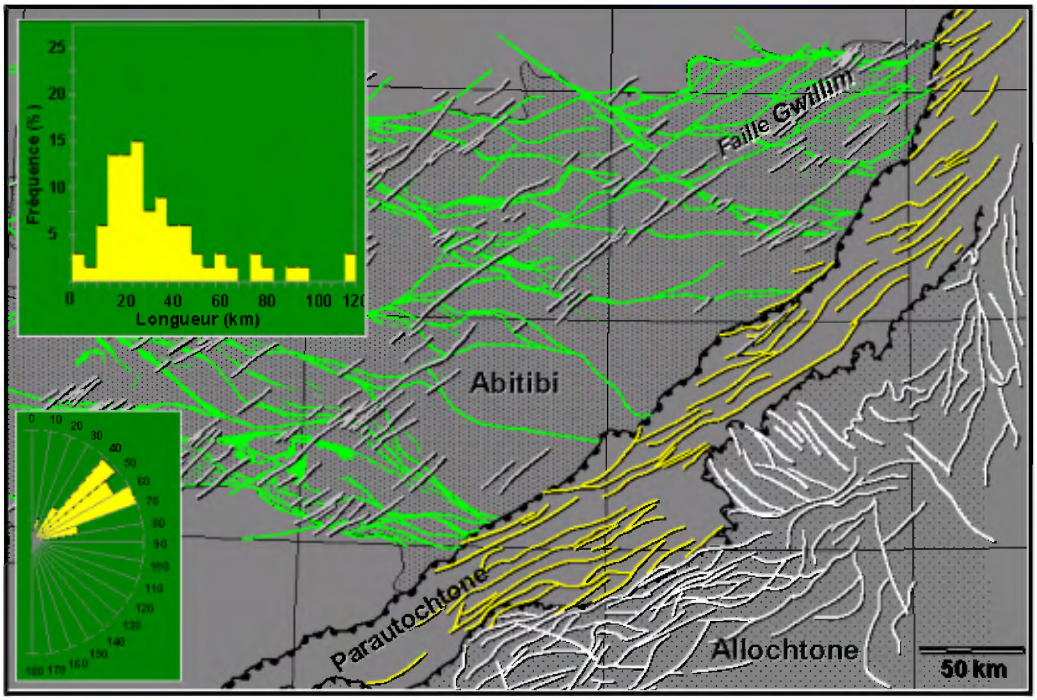


Figure 26. Compilation des linéaments géophysiques d'entraînement protérozoïques dans le Parautochtone (jaune) et l'Allochtone (blanc) avec histogramme de distribution des longueurs et rosette des directions (pour linéaments en jaune uniquement). Notez la correspondance avec les linéaments NE interprétés pour l'Abitibi en gris (Faure, 2001). Failles en Abitibi d'après compilation de Daigneault (en vert). Retour au texte.

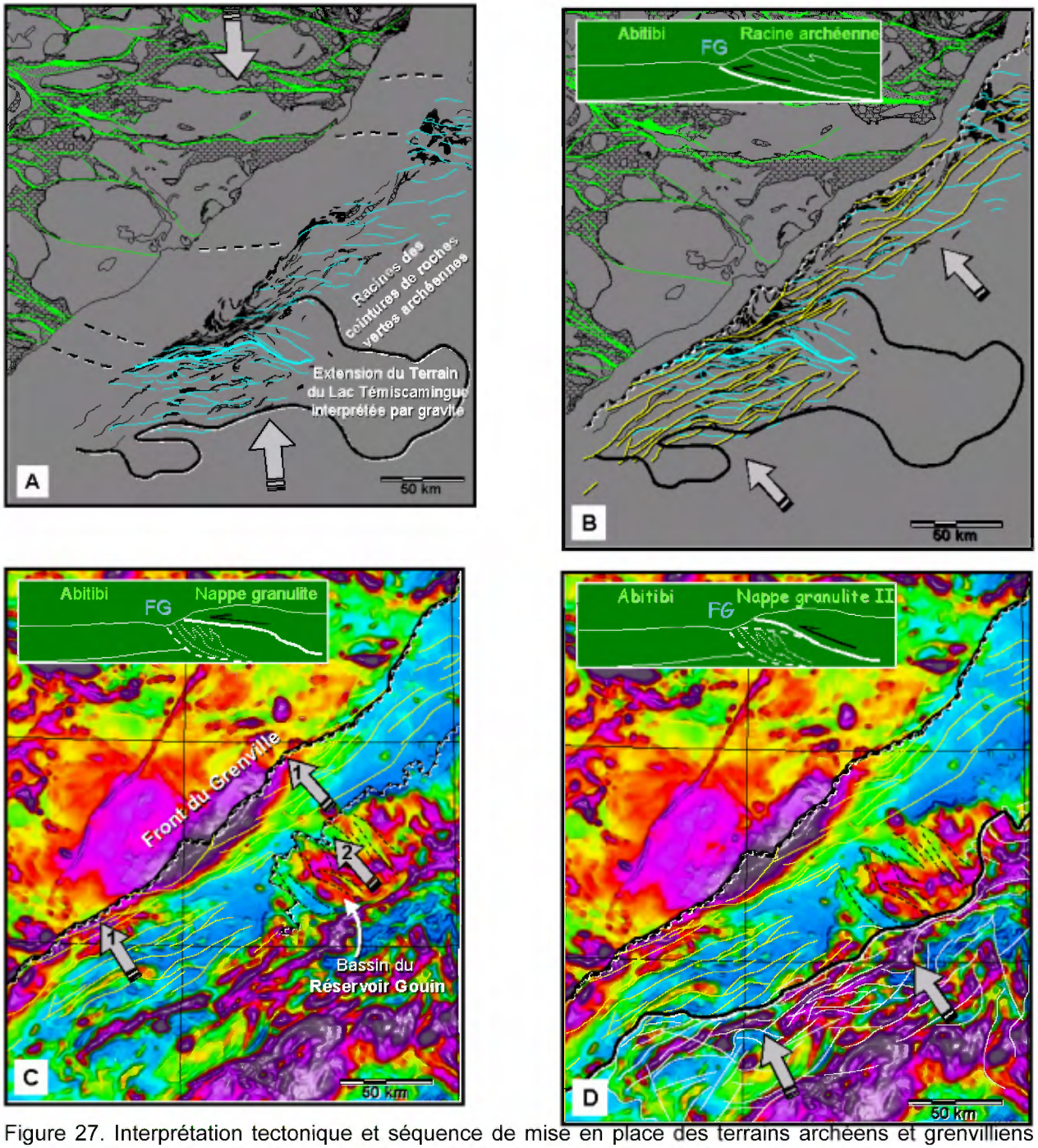


Figure 27. Interprétation tectonique et séquence de mise en place des terrains archéens et grenvilliens sur la Province du Lac Supérieur d'après la géophysique et la chronologie relative entre les linéaments E-O et NE. A) l'ensemble des terrains archéens déformé lors de l'orogène kénoréenne par la compression régionale N-S produit des corridors de déformation E-O; B) Chevauchement des racines de failles et de ceintures de roches vertes archéennes le long d'un plan majeur qui deviendra par la suite le Front de Grenville (Orogène grenvillien précoce); C) le chevauchement se poursuit pour former le Front de Grenville à sa position actuelle (1) et, par la suite, des écailles de granulites sont remontées sur le Parautochtone le long du Front de Granulites (2); D) l'emplacement final de nappes granulitiques vers la fin de l'Orogène grenvillien sur le Bassin du Réservoir Gouin et au-dessus des terrains archéens interprétés par gravité (Fig. 27a). Champ magnétique avec une projection vers le haut à 1 km. Retour au texte.

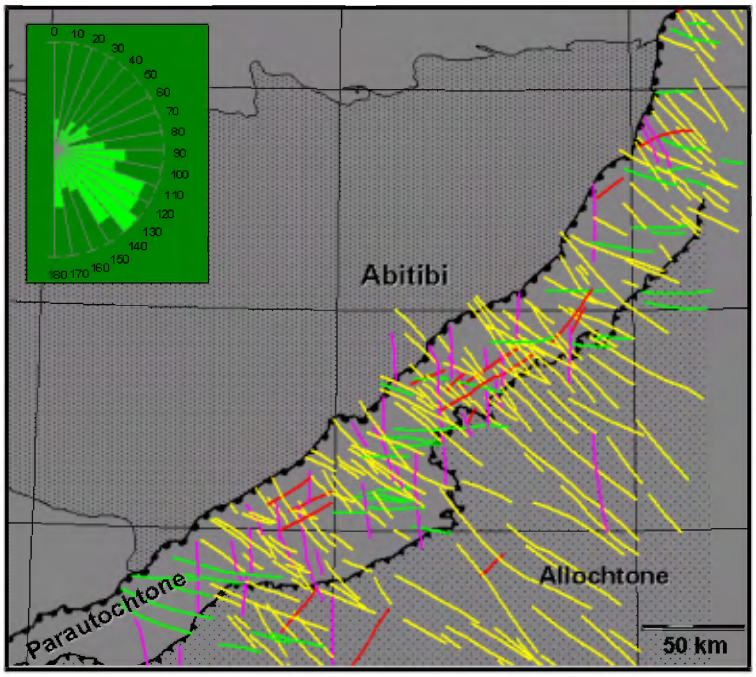


Figure 28. Linéaments francs interprétés par géophysique au SE du Front de Grenville. Retour au texte.

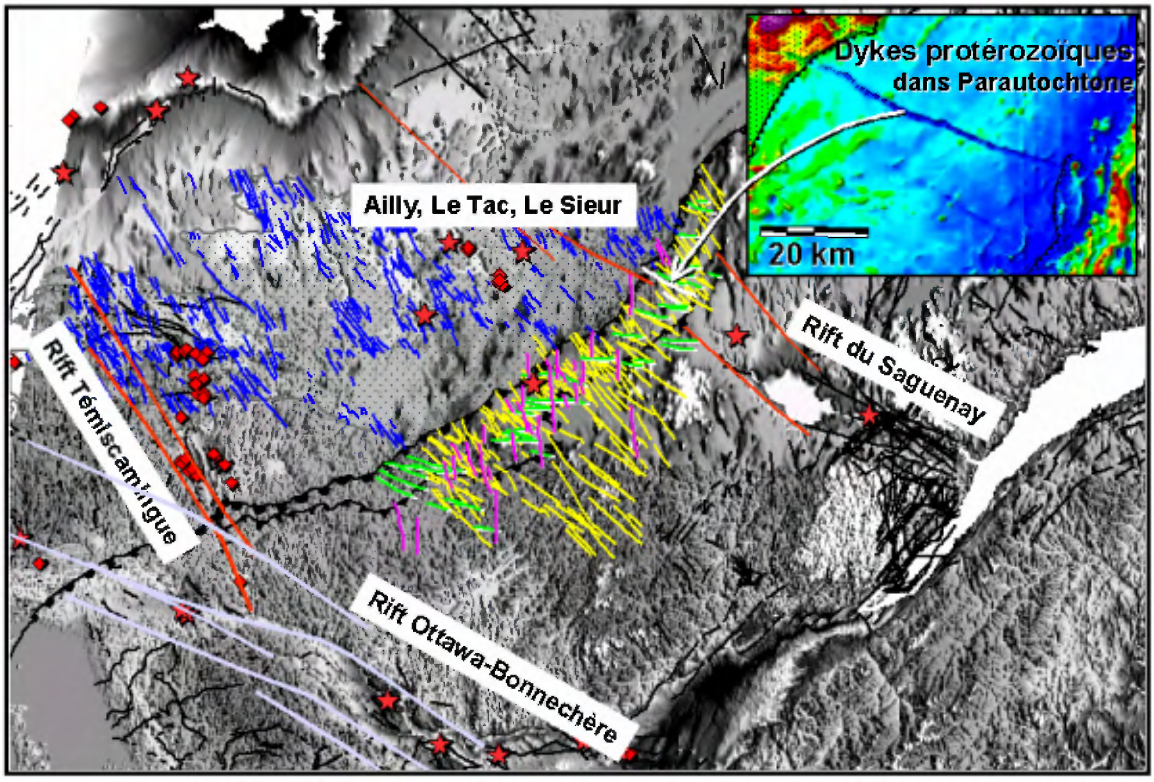


Figure 29. Les linéaments francs interprétés par géophysique sont mis en relation avec les rifts avortés du Protérozoïque tardif – Cambrien inférieur sur un modèle numérique de terrain. Losanges rouges : kimberlites. Étoiles rouges : magmatisme alcalin – carbonatite. Linéaments bleus interprétés en Abitibi par Faure (2001). En vignette, signature magnétique de deux dykes protérozoïques dans le Parautochtone. Retour au texte.

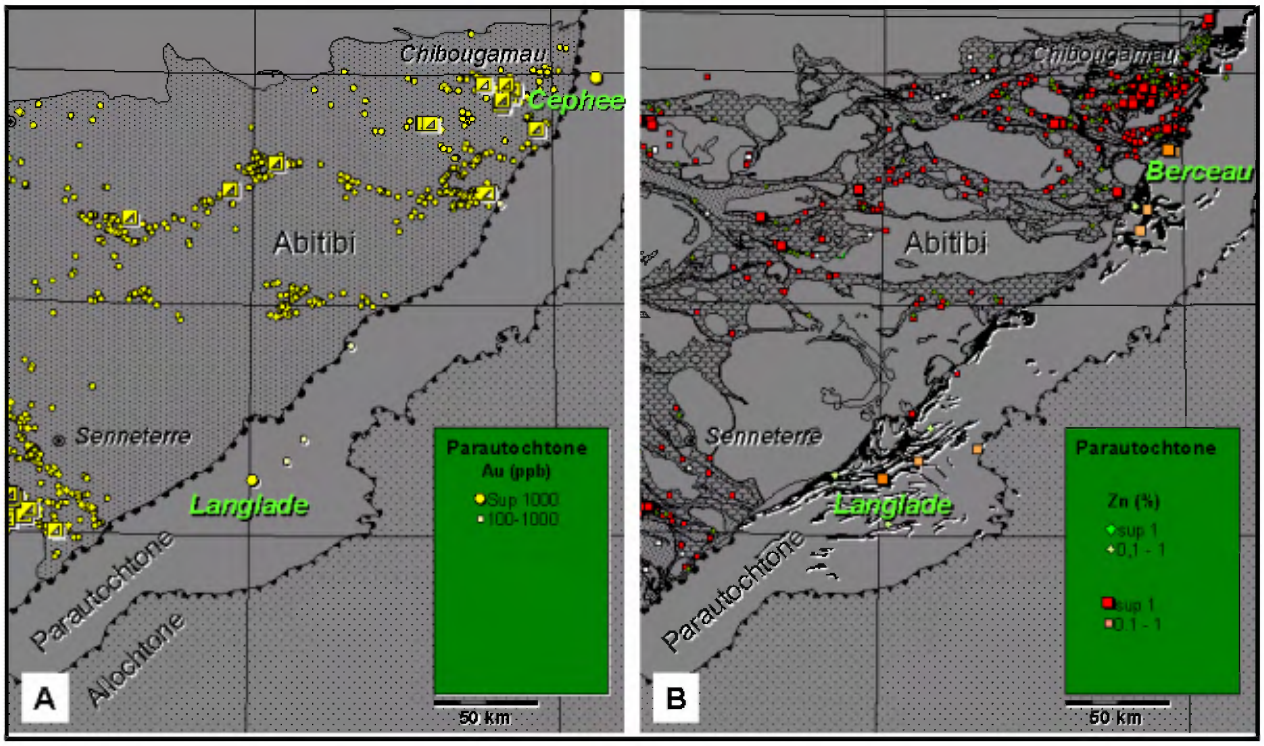


Figure 30. A) Localisation des indices, gîtes (cercles jaunes) et mines (carrés jaunes) d'or dans la Sous-province d'Abitibi. Seuls quelques indices d'or sont connus dans le Parautochtone. B) Localisation des indices, gîtes (carrés) et mines (carrés ombragés rouges) de métaux usuels dans la Sous-province d'Abitibi. Les gneiss mafiques et amphibolites (noir) dans le Parautochtone sont des métallotectes pour les quelques indices connues à Cu-Zn. Données sur les minéralisations du SIGEOM. Retour au texte.

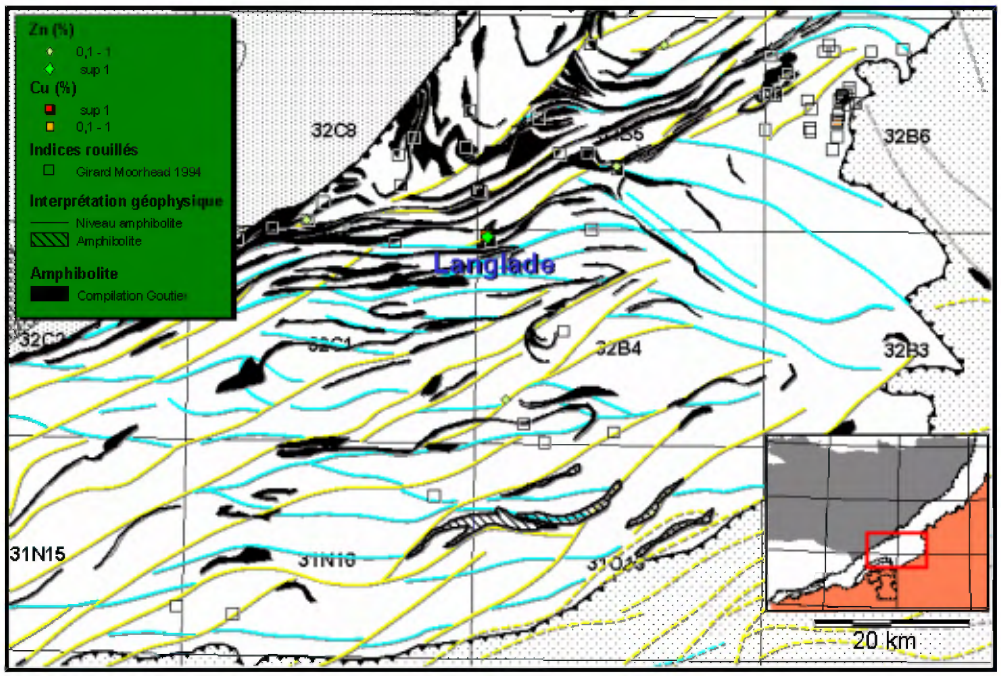


Figure 31. Carte de localisation des indices à Cu-Zn ou rouillés dans le Parautochtone à l'est de Senneterre avec les gneiss mafiques/amphibolites (en noir) et les linéaments d'entraînement (jaune et cyan). Retour au texte.

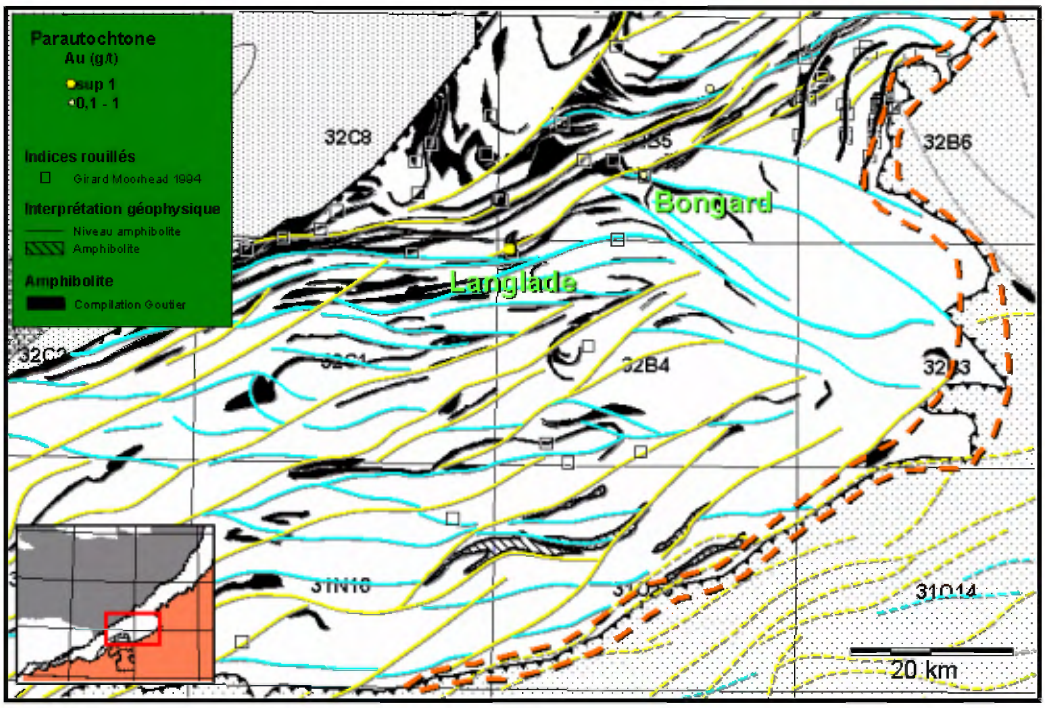


Figure 32. Carte de localisation des indices aurifères ou rouillés dans le Parautochtone à l'est de Senneterre avec les gneiss mafiques/amphibolites (en noir) et les linéaments d'entraînement (jaune et cyan). Certains indices rouillés dans le feuillet 32B5 s'alignent parallèlement au Front des Granulites (lignes noires). Cette limite entre le Parautochtone et l'Allochtone est une zone propice pour la circulation de fluides métamorphiques et pour la remobilisation de métaux le long d'une faille (tirets rouges). Retour au texte.

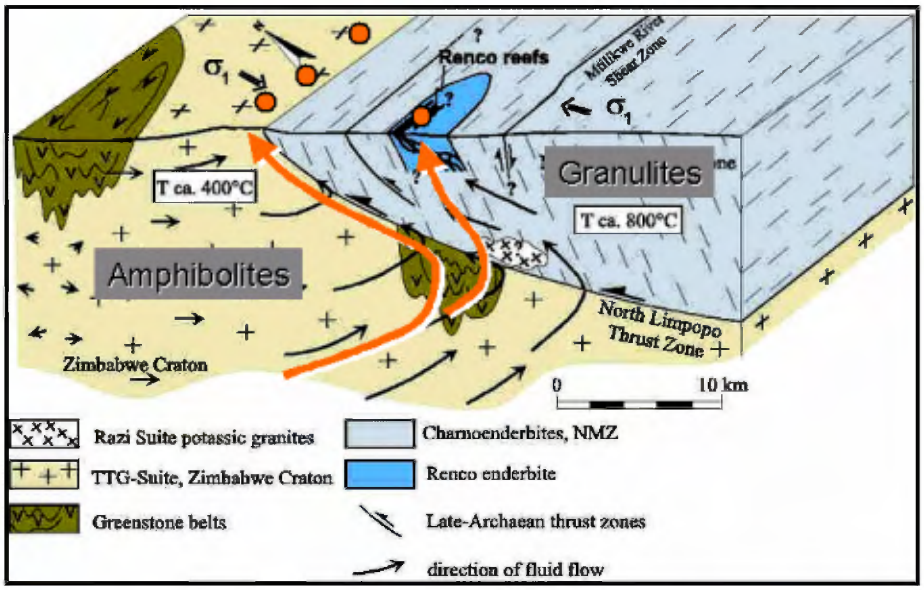


Figure 33. Modèle de minéralisation à la Mine Renco (Zimbabwe) impliquant une nappe de granulites chaude chevauchant un bloc archéen froid contenant des ceintures de roches vertes. Flèches rouges indiquent une circulation hypothétique de fluides minéralisés au front de la nappe ou dans des unités compétentes (Mine Renco). Source : ***http://www.iml.rwth-aachen.de/projekte/enrencon.ttm***. Retour au texte.