

ET 97-05

LE COMPLEXE DE SEPT-ÎLES

Documents complémentaires

Additional Files



Licence



Licence

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

Énergie et Ressources
naturelles

Québec 

LE COMPLEXE DE SEPT-ÎLES

I- L'unité à apatite de Rivière des Rapides, Complexe de Sept-Îles :
localisation stratigraphique et facteurs à l'origine de sa formation

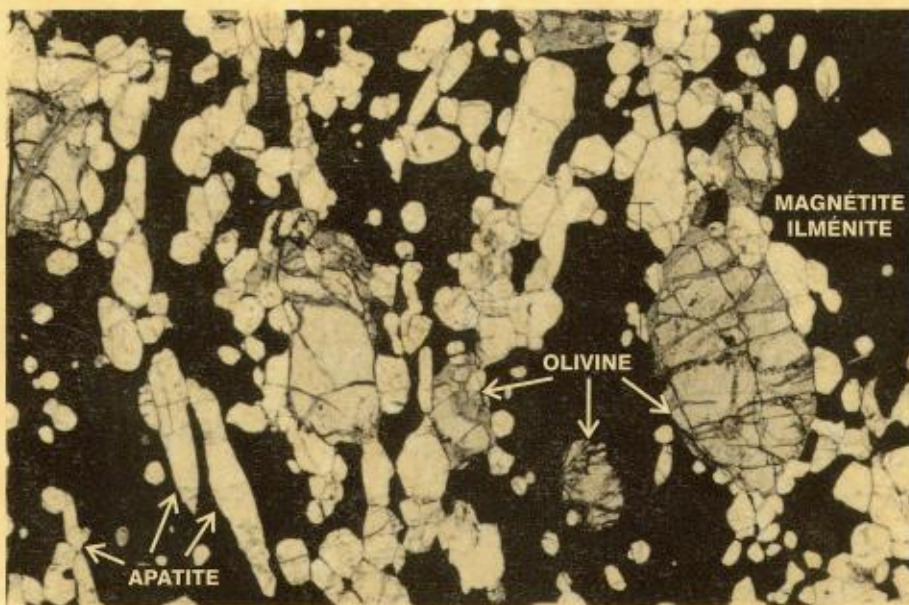
Jules Cimon

II- Interprétation gravimétrique du Complexe mafique
stratifié de Sept-Îles

Denis-Jacques Dion
Karine Authier
Jules Cimon
Thomas Feininger

ET 97-05

1998



Nelsonite à olivine de l'unité à apatite de Rivière des Rapides

LE COMPLEXE DE SEPT-ÎLES

ET 97-05

DIRECTION DE LA GÉOLOGIE

Directeur : J.-L. Caty

SERVICE GÉOLOGIQUE DE QUÉBEC

Chef : A. Simard

Accepté pour publication le 97/12/03

Lecture critique

G.O. Allard

P. Sauvé

Éditeur

J.-P. Lalonde

Dessin assisté par ordinateur

A. Beaulé, P. Brouillette, J. Fournier, G. Soucy

Supervision technique

A. Beaulé

Préparé par la Division de l'Édition (Service de la Géoinformation, DG)

Ce projet a été financé par Ressources naturelles Canada et le ministère des Ressources naturelles du Québec dans le cadre de l'Entente auxiliaire Canada-Québec sur le développement minéral.

- I -

L'unité à apatite de Rivière des Rapides, Complexe de Sept-Îles : localisation stratigraphique et facteurs à l'origine de sa formation

Jules Cimon

ET 97-05

RÉSUMÉ

L'unité à apatite de Rivière des Rapides a été mise au jour lors d'études poursuivies depuis 1992 par le ministère des Ressources naturelles. Ces études visaient à identifier la séquence de cristallisation fractionnée du Complexe de Sept-Îles, à affiner la connaissance stratigraphique en subdivisant les séries déjà identifiées en zones et en sous-zones, à déterminer si le complexe est issu d'une ou de plusieurs venues magmatiques et à évaluer son potentiel économique.

Le Complexe de Sept-Îles a déjà été divisé en trois membres identifiés comme la série litée, la série transitionnelle et la série supérieure. L'existence d'une hypothétique série ultramafique cachée a aussi été avancée pour expliquer la forte anomalie gravimétrique coïncidant avec la localisation du complexe. Les forages implantés par Inco Exploration, Technologie et Services inc. (Inco) en 1992-1993 et plus récemment par la SOQUEM ont fourni une information presque complète sur une épaisseur stratigraphique de plus de trois kilomètres. Cette information, conciliée avec celle des travaux de surface, a permis de préciser considérablement la composition des différentes séquences stratigraphiques.

L'unité à apatite de Rivière des Rapides est localisée à la limite supérieure de la série litée, à l'intérieur d'une séquence hybride appelée zone critique (ZCR). Cette dernière zone est constituée de produits assez fortement différenciés, injectés de passées massives et finement grenues. Elle est associée à une nouvelle venue de magma.

La ZCR, qui a une épaisseur de 250 m, a été subdivisée en quatre sous-zones. La première sous-zone, d'une trentaine de mètres d'épaisseur, est constituée de multiples couches métriques de magnétite titanifère. Elle est suivie, sur une dizaine de mètres, d'une sous-zone de nelsonite en couches, qui est elle-même sous-jacente à une sous-zone cyclique de cumulats d'olivine, de pyroxène et de plagioclase, en proportions variables, baignant dans un intercumulus "nelsonitique" sur une épaisseur de 150 m. Finalement, la quatrième sous-zone est composée de microtroctolite de trente à cinquante mètres d'épaisseur. Les trois premières sous-zones sont elles-mêmes injectées à plus de 50 % de séquences de leucogabbro à olivine massive et pauvres en oxydes de Fe-Ti et en apatite.

À l'intérieur de la ZCR, la calcicité du plagioclase et la teneur en MgO de l'olivine et du clinopyroxène évoluent rapidement passant par un minimum puis augmentant graduellement pour enfin revenir brusquement à des contenus très élevés dans la série transitionnelle.

La composition des silicates dans les injections de gabbro à olivine finement grenue se compare à celle des cumulats à intercumulus "nelsonitique". Cependant, alors que les teneurs en chrome dans la magnétite et le spinelle sont sous le seuil de détection dans les cumulats à intercumulus "nelsonitiques", elles sont importantes dans les séquences injectées et deviennent élevées dans les premiers niveaux de la série transitionnelle. La présence d'un élément compatible, comme le chrome, dans la composition des oxydes présents dans les injections de gabbro à olivine finement grenue, confirme le caractère hybride de la zone critique. De plus, l'apparition d'un liquide "nelsonitique" immiscible dans le système semble liée à des changements physico-chimiques occasionnés par l'injection d'un nouveau magma dans un magma résiduel fortement enrichi en éléments incompatibles.

ABSTRACT

The Rivière des Rapides apatite unit was discovered during studies carried out since 1992 by the ministère des Ressources naturelles. The objective of these studies was to identify the sequence of fractional crystallization within the Complexe de Sept-Îles, to refine its stratigraphy by subdividing the units already recognized into zones and subzones, to determine whether the complex is the result of one or of several magmatic events, and to evaluate its economic potential.

The Complexe de Sept-Îles had already been divided into three members, identified as the layered series, the transitional series, and the upper series. The existence of a hidden ultramafic series had also been suggested to explain the strong gravity anomaly that coincides with the complex. Drilling done by Inco Exploration and Technical Services Inc. (Inco) in 1992-1993 and more recently by SOQUEM has provided almost complete information over a stratigraphic thickness of more than three kilometres, information which, correlated with the results of surface work, has provided a better understanding of the composition of the various stratigraphic sequences present.

The Rivière des Rapides apatite unit is at the top of the layered series, within a hybrid sequence known as the critical zone (ZCR), made up of the products of quite advanced differentiation, injected by massive, fine grained layers associated with a later magma.

The ZCR is 250 m thick, and has been divided into four subzones. The first, a 30 m thick subzone, is made up of metre thick layers of titaniferous magnetite. It is followed upwards by a subzone of layered nelsonite about 10 m thick and next, a 150 m thick cyclic subzone of cumulates of olivine, pyroxene, and plagioclase in varying proportions in a nelsonitic intercumulus phase. The last subzone is composed of microtroctolite 30 to 50 m thick. The first three subzones are injected by massive olivine leucogabbro, poor in iron-titanium oxides and apatite, which constitutes more than 50 % of the sequence.

Within the ZCR, the calcicity of plagioclase and the MgO content of olivine and clinopyroxene change rapidly, declining to a minimum, rising again, and then jumping suddenly to very high contents in the transitional series.

The composition of the silicates in the fine-grained olivine gabbro injections resembles that of the cumulates with a nelsonitic intercumulus phase. However, although there is no detectable chromium in the magnetite and spinel of these cumulates, there are significant amounts in the injected gabbros, and levels become high at the base of the transitional series. The presence of a compatible element such as chromium in the oxides occurring in the fine-grained olivine gabbro injections reflects the hybrid character of the critical zone. The appearance of an immiscible nelsonitic liquid in the system seems to be linked to physicochemical changes caused by the injection of a new magma into a residual magma enriched in incompatible elements.

HISTORIQUE DE LA DÉCOUVERTE

Le potentiel en phosphate du Complexe mafique stratifié de Sept-Îles a été mis au jour lors d'études entreprises par le ministère des Ressources naturelles du Québec en 1992. Suite à une première saison de travaux sur le terrain, une minéralisation abondante en apatite et en oxydes de fer et titane a été observée sur quatre lames minces, et les analyses ont donné des teneurs de 4,49, 7,96, 8,77 et 7,32 % en P_2O_5 . Les échantillons en question étaient localisés le long d'une forte anomalie magnétique d'extension régionale, ce qui laissait supposer que la zone devait former une strate continue affleurant sur plusieurs kilomètres. Il faut noter que l'examen à la loupe n'avait pas permis de déceler la présence d'apatite dans aucun des échantillons recueillis.

Lors de la saison 1993, une partie des travaux a été orientée de façon à vérifier l'extension de la zone le long du linéament magnétique ; de fortes concentrations d'apatite (> 30 % vol.) ont été identifiées à l'oeil nu sur quelques bons affleurements de nelsonite¹, le long de la ligne de haute tension qui chevauche le segment ouest de l'unité. Au Séminaire d'information de 1993, le Ministère rendait publique l'existence d'une strate enrichie en apatite retracée sur 11 kilomètres. L'épaisseur vraie de cette strate pouvait atteindre 175 mètres et les teneurs en P_2O_5 étaient de l'ordre de 8 % (Cimon, 1993).

Le résultat du traitement d'un échantillon au CRM durant l'hiver 1994 a démontré qu'on pouvait obtenir un concentré d'apatite contenant 40,9 % en P_2O_5 par des procédés standard et peu dispendieux de broyage, de séparation magnétique et de flottation (Cotnoir, 1994). L'examen des minéraux opaques en lumière réfléchie a permis d'observer que la magnétite contient une proportion élevée d'ilménite en exsolution alors que l'ilménite est relativement exempte d'hématite en exsolution.

La SOQUEM a jalonné la zone favorable à l'automne 1994 et poursuit depuis, en collaboration avec Norsk-Hydro A.S., une campagne de mise en valeur visant à rentabiliser l'exploitation du gisement en récupérant l'apatite, l'ilménite et la magnétite. Les dernières évaluations font état de réserves « probables » de 107 M de tonnes à des teneurs de 6,23 % en P_2O_5 et de 8,45 % en TiO_2 (Mc Cann, 1997).

TRAVAUX ANTÉRIEURS

Le Complexe de Sept-Îles a d'abord été associé aux roches intrusives de la série de Morin par Faesler (1942). Wynne-Edwards (1972) en fit cependant mention comme un bon exemple d'anorthosite peu métamorphisée comparativement aux autres anorthosites précambriennes du Bouclier. Kumarapeli et Saull (1966) décrivent la vallée du Saint-Laurent comme une zone de rift comparable au rift africain. Cette zone de rift a été associée par la suite à l'ouverture de l'océan Iapétus (Kumarapeli, 1985) laquelle fut accompagnée d'activités ignées. Cette activité fut à l'origine des carbonatites localisées le long des grabens du Saguenay et d'Ottawa-Bonnechère et datés à 564 Ma (Doig et Barton, 1968). En utilisant la méthode Rb-Sr, Higgins et Doig (1977) établissent l'âge du complexe à 544 Ma, ce qui l'associe, par conséquent, à l'ouverture du rift.

À partir de levés gravimétriques et magnétiques, Loncarevic et al. (1990) ont établi la géométrie tridimensionnelle du complexe. Ils le décrivent comme une masse quasi circulaire d'un diamètre de 80 km, dont la forme ressemble à celle d'un entonnoir d'environ 5,6 km de profondeur au centre. Son volume est de l'ordre de 20 000 km³, ce qui en fait l'une des plus volumineuses masses ignées stratifiées au monde.

D'autres études portant sur la pétrologie, la géochimie et la géochronologie des roches du complexe ont été publiées récemment (Higgins, 1991 ; Higgins et Doig, 1981, 1986). Cependant, avant 1993, il n'existait pas de référence quant à la présence de strates fortement enrichies en apatite dans le Complexe de Sept-Îles.

Loncarevic et al. (1990) supposèrent l'existence d'une série ultramafique en profondeur pour expliquer la forte anomalie gravimétrique associée au complexe ; c'est en se basant sur cette interprétation et par analogie avec le Bushveld et le Stillwater que la compagnie Inco Exploration, Technologies et Services inc. (Inco) entreprit, en 1991, un ambitieux programme de forages profonds. Les forages visaient d'une part, à vérifier l'existence de ladite série ultramafique et d'autre part, à déterminer le potentiel en éléments du groupe du platine du complexe (Babineau et al., 1992). Les résultats s'avérant négatifs sur les deux plans, Inco mit fin au projet et fit don des carottes, des rejets d'analyses et des résultats de ses travaux au Minis-

¹ Nelsonite : Ce terme fut introduit par Watson et Tabert (1913) pour désigner des roches à rutile et apatite rencontrées sous forme de dyke dans le comté de Nelson, Virginie. Ce terme fut utilisé par la suite pour d'autres types de roches plus abondantes comme les nelsonites à ilménite et les nelsonites à magnétite (Philpotts, 1967). Les termes nelsonite à biotite, à hornblende et gabbro-nelsonite ont aussi été utilisés dans la littérature. Dans le présent exposé, le terme nelsonite désigne des roches constituées de magnétite titanifère, d'ilménite, d'apatite et de moins de 10 % de silicates en volume. Les termes nelsonite à plagioclase et clinopyroxène, nelsonite à plagioclase, olivine et pyroxène et nelsonite à olivine désignent des roches comportant moins de 50 % de silicates en volume. Sous le terme gabbro-nelsonite, ont été regroupées toutes les roches nelsonitiques comportant entre 10 et 50 % de silicate sans égard aux proportions relatives de plagioclase, d'olivine et de pyroxène qu'elles contiennent.

tère. Bien qu'aucun des forages d'Inco ne coupe l'unité à apatite de rivière des Rapides, leur disponibilité a été d'une valeur inestimable pour affiner la séquence stratigraphique du complexe et donner un aperçu des unités profondes, non accessibles en affleurement. L'examen et l'échantillonnage de quelques-uns des forages de la SOQUEM traversant l'unité à apatite de rivière des Rapides fournissent une information continue sur une séquence stratigraphique additionnelle de plus de 400 mètres.

LOCALISATION GÉOGRAPHIQUE

Le Complexe de Sept-Îles occupe une superficie de 4 000 km² dont le centre se situe à environ trente kilomètres au sud de la ville de Sept-Îles (figure 1). Il est localisé presque en totalité sous les eaux du fleuve St-Laurent.

Environ 5 % de sa superficie forme une frange d'approximativement 5 kilomètres de largeur en bordure de la baie des Sept Îles ; le reste affleure sur la péninsule de Marconi et sur les îles de l'archipel de Sept-Îles (figure 2). La superficie totale du complexe a été déduite à partir de l'anomalie gravimétrique qui lui est associée (figure 3) et sa nature stratifiée est particulièrement mise en évidence par la présence de plusieurs bandes fortement magnétiques observées sur la figure 4 qui représente le gradient magnétique vertical.

ASPECT GÉOLOGIQUE GÉNÉRAL

Les subdivisions du Complexe de Sept-Îles ont été établies à partir de compositions lithologiques dominantes, de l'apparition de nouveaux minéraux, de certaines textures

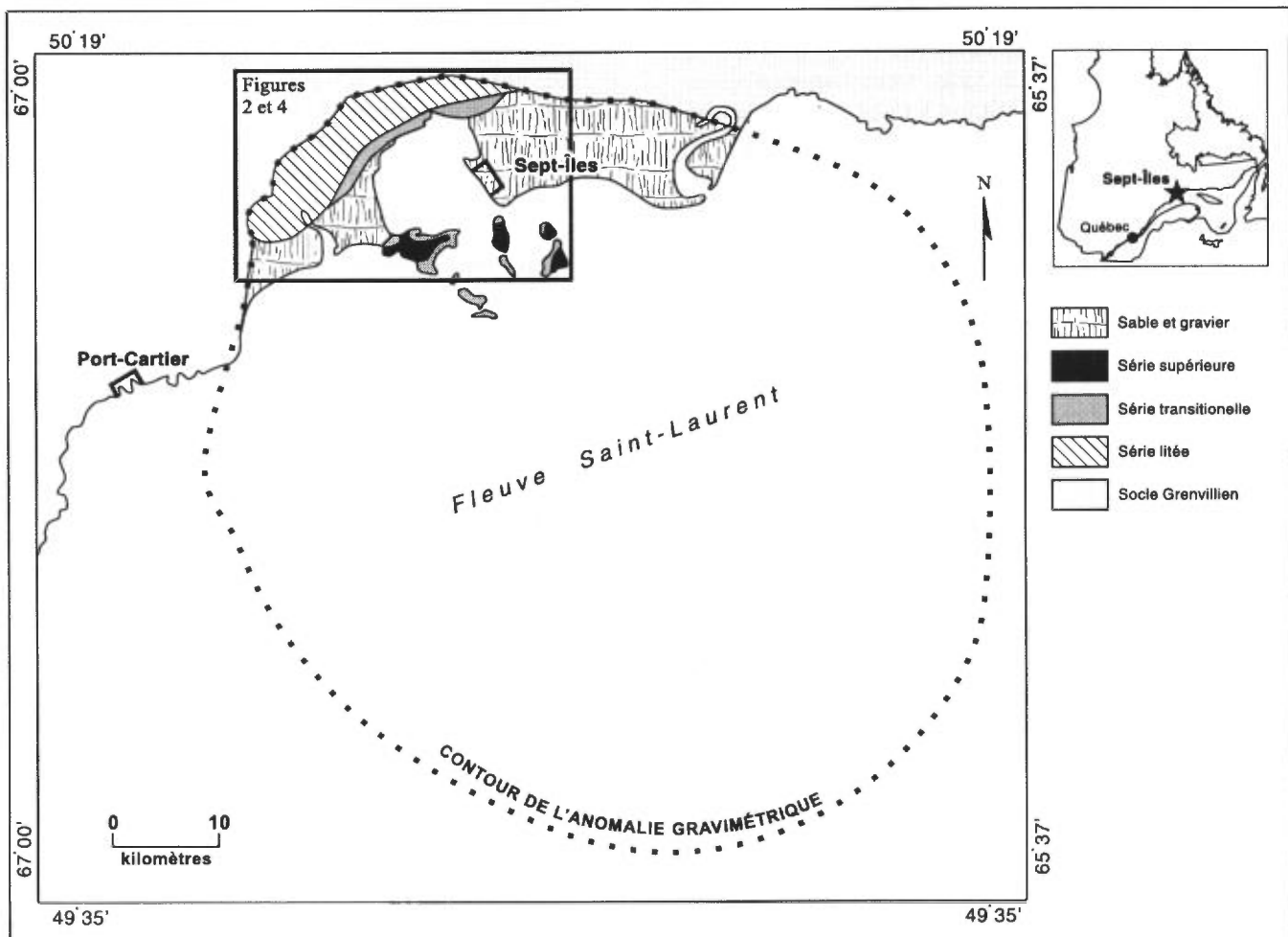


FIGURE 1 - Contour de l'anomalie gravimétrique liée au Complexe de Sept-Îles et localisation des superficies exposées.

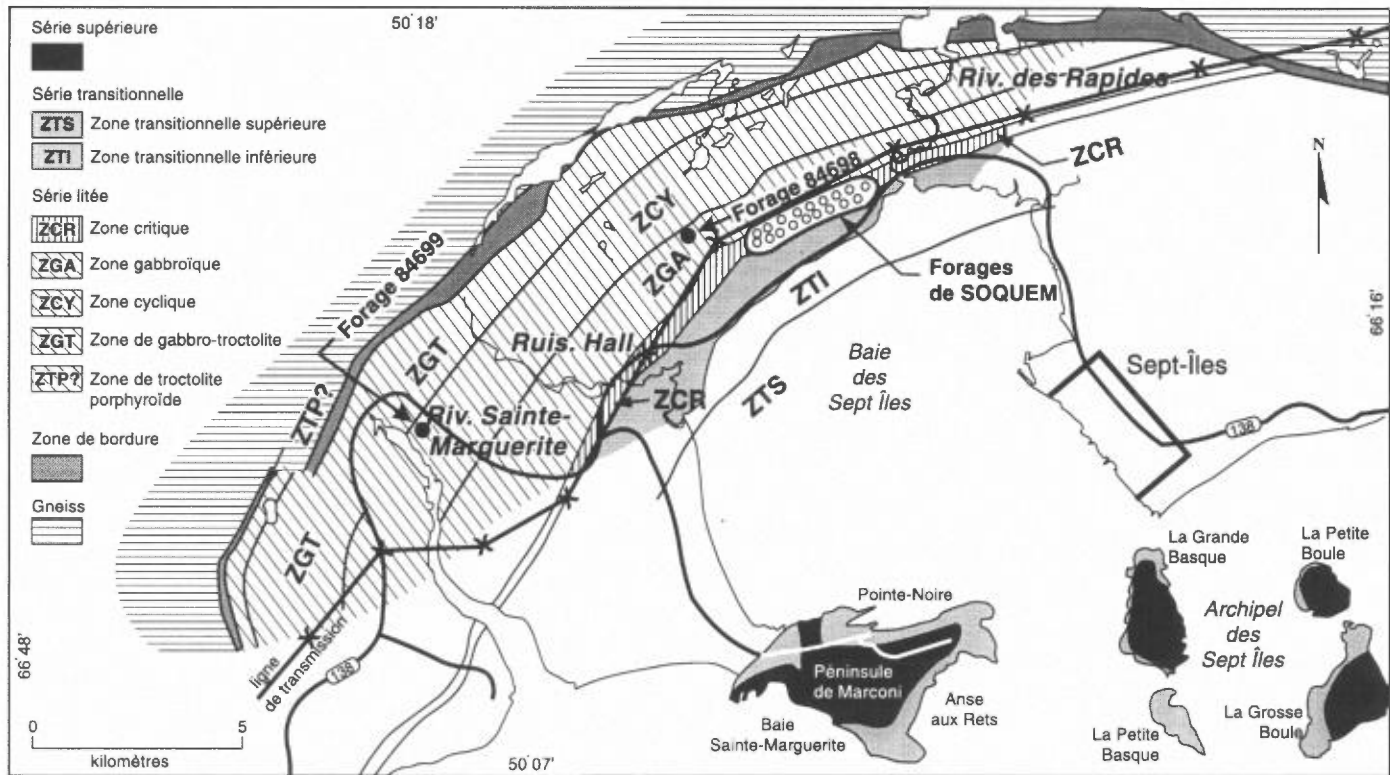


FIGURE 2 - Géologie simplifiée des séquences exposées du Complexe de Sept-Îles localisant les séries et les zones dont la zone critique (ZCR) à l'intérieur de laquelle se trouve l'unité à apatite de rivière des Rapides.

caractéristiques et des variations cryptiques dans la composition de certains minéraux analysés à la microsonde et au microscope électronique à balayage. Selon l'interprétation de ces données, le Complexe de Sept-Îles comprend quatre séries superposées en étages et identifiées de la base au sommet comme la série inférieure, la série litée, la série transitionnelle et la série supérieure (figure 5). Les trois premières sont constituées d'un assemblage de cumulats et d'intercumulats basiques (troctolite, gabbro à olivine et gabbro) alors que la série supérieure s'est formée, semble-t-il, à partir d'une matte résiduelle enrichie en silice et en potassium. Une enveloppe démarquant les séries de l'encaissant grenvillien, identifiée comme la zone de bordure (figure 2), fait aussi partie du complexe. La composition lithologique de la plupart des séries et des zones est décrite à la figure 6.

La série inférieure a été observée en forage sur une épaisseur de 640 mètres. Sa puissance totale est inconnue. Elle est composée de leucotroctolite à plus de 70 % et de leucogabbro à olivine massive et de granulométrie grossière sans litage ni foliation magmatique. Le plagioclase parsemé d'aiguilles de rutile apparaît comme le seul minéral en phase cumulus alors que l'olivine et le clinopyroxène sont interstitiels en grands cristaux poecilites pouvant se poursuivre sur plusieurs centimètres (figures 7a et b). Au contact du plagioclase, l'olivine et les minéraux opaques sont très souvent enveloppés de kelyphites d'orthopyroxène, de clinopyroxène et de hornblende en coquilles minces et en orientation cristallographique constante (figure 8a). Les oïcocrysts d'olivine poecilite sont vert très foncé, couleur qui leur est conférée par la présence de nombreuses inclusions illustrées aux figures 8b et c.

La série litée affleure en bordure de la baie des Sept Îles entre le centre de ski de Gallix et la rivière des Rapides sur une épaisseur vraie équivalente à 2 kilomètres. Une épaisseur additionnelle de 0,8 kilomètre a pu être étudiée grâce aux forages d'Inco. La série litée a été subdivisée en cinq zones distinctes qui sont de la base au sommet : la zone de troctolite porphyroïde, la zone de gabbro-troctolite, la zone cyclique, la zone gabbroïque et la zone critique. L'ensemble des roches de la série litée est caractérisé par la disposition parallèle des minéraux planaires et par une déposition en strates dont l'effet est rehaussé par la concentration des minéraux les plus denses à la base (figure 8e). La magnétite et l'ilménite sont omniprésentes en phase cumulus ou intercumulus à des teneurs pouvant excéder 30 %. Une étude récente a démontré que la quantité d'oxydes de fer et de titane, présente dans la série litée, était probablement suffisante pour causer l'anomalie gravimétrique associée au complexe (Dion et al., partie II de ce rapport). La direction de la stratification est conforme au pourtour du complexe avec des pendages centripètes de 15 à 30 degrés.

La zone de troctolite porphyroïde (ZTP) débute avec l'apparition des premières stratifications. Plutôt occasionnelles à la base de la zone, les stratifications deviennent graduellement plus persistantes alors que les séquences

massives de leucotroctolite s'estompent. Elle fait 620 m d'épaisseur et se compose de séquences leucocrates de troctolite (40 %), de gabbro à olivine (24 %), de granulométrie millimétrique, le tout truffé de grands cristaux centimétriques de plagioclase, conférant à ces roches leur nature porphyroïde (figure 8d). Le reste est fait de gabbro (15 %), d'anorthosite altérée (15 %) et de quelques minces lits de magnétite. Les profils de composition normative (figure 9) permettent de constater que la ZTP est une séquence de transition caractérisée par la disparition de l'orthopyroxène, un appauvrissement graduel en plagioclase et en olivine et une augmentation graduelle en ilménite, en magnétite et en clinopyroxène. Les profils des teneurs en éléments mineurs (figure 10) font aussi ressortir le caractère transitionnel de cette zone.

D'une épaisseur de 950 mètres, la zone de gabbro-troctolite (ZGT) est constituée à 41 % de troctolite, à 39 % de gabbro à olivine et de 7 % de gabbro, le tout avec un apport assez élevé d'ilménite et de magnétite. Le reste est constitué de blocs d'anorthosite altérée (6 %), de magnétite à plagioclase (4 %), de dunite et de werhlite à magnétite, ilménite et plagioclase (3 %) qui sont les seules unités ultramafiques métriques répertoriées dans le complexe.

La zone cyclique (ZCY) a une puissance de 620 mètres et comprend quatre cycles constitués de séquences répétitives de troctolite (10 %), de gabbro à olivine (29 %) et de gabbro (37 %) associées à une proportion élevée d'anorthosite altérée (20 %). Les magnétites à plagioclase comptent pour 3 % de la séquence.

La zone gabbroïque (ZGA) forme une séquence très homogène de 600 mètres d'épaisseur constituée à 89 % de gabbro à magnétite-ilménite. Cette séquence est interrompue par quelques minces séquences de gabbro à olivine (6 %), de troctolite (2 %) et d'anorthosite altérée (3 %).

L'anorthosite altérée que l'on observe un peu partout dans le complexe dans des proportions variées se présente en blocs de dimensions très diverses allant de quelques centimètres à plusieurs dizaines de mètres de diamètre. Ces blocs contrastent fortement avec leur encaissant par leur coloration pâle, leur granulométrie grossière, leur texture poreuse, leur faible densité et l'absence de linéation ou de litage magmatique (figure 8f). La plupart des minéraux et tout particulièrement les minéraux ferromagnésiens ont subi des transformations secondaires à différents degrés avec le développement de carbonate, d'épidote, de chlorite, de biotite, de hornblende, de talc, de quartz et de séricite. Les minéraux opaques montrent des formes squelettiques à l'intérieur desquelles l'ilménite a été remplacée par du sphène. De tels blocs, dans des proportions de 10 %, ont été rapportés dans la « Middle zone » du Skaergaard, où ils sont possiblement dérivés de l'effondrement du toit ou des roches du « Middle zone » (Bird et al., 1991). Dans le cas du Complexe de Sept-Îles, leur origine sera discutée plus loin.

La zone critique (ZCR) fait partie de la série litée en raison de la présence de stratifications et de linéations

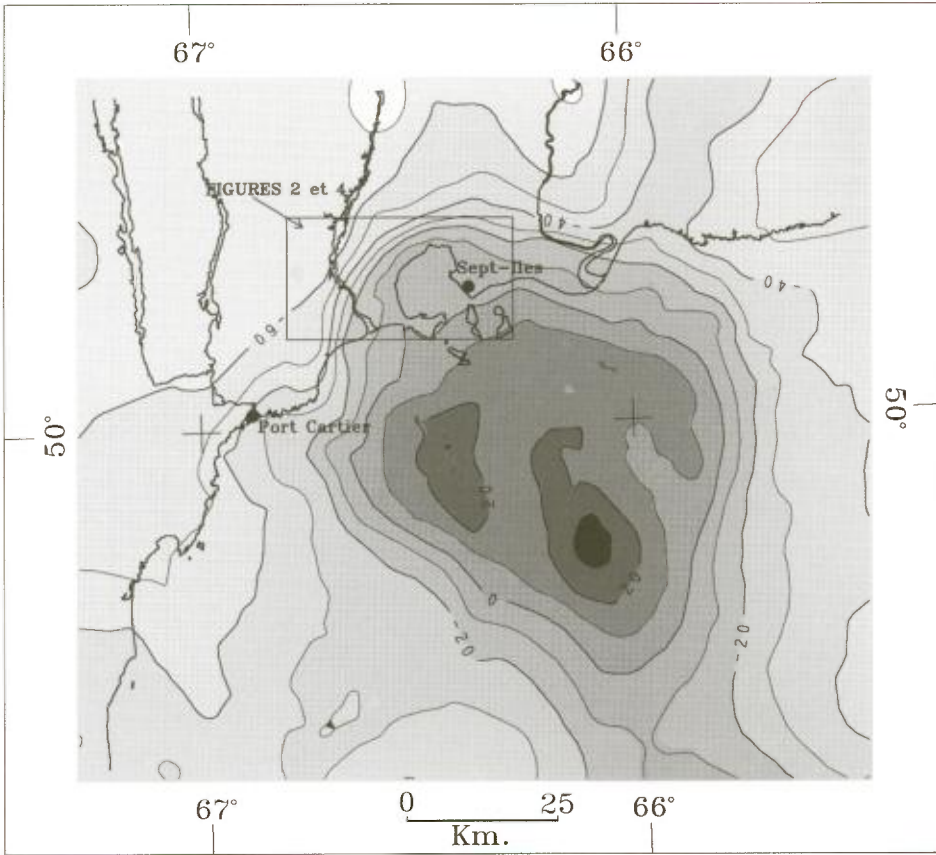
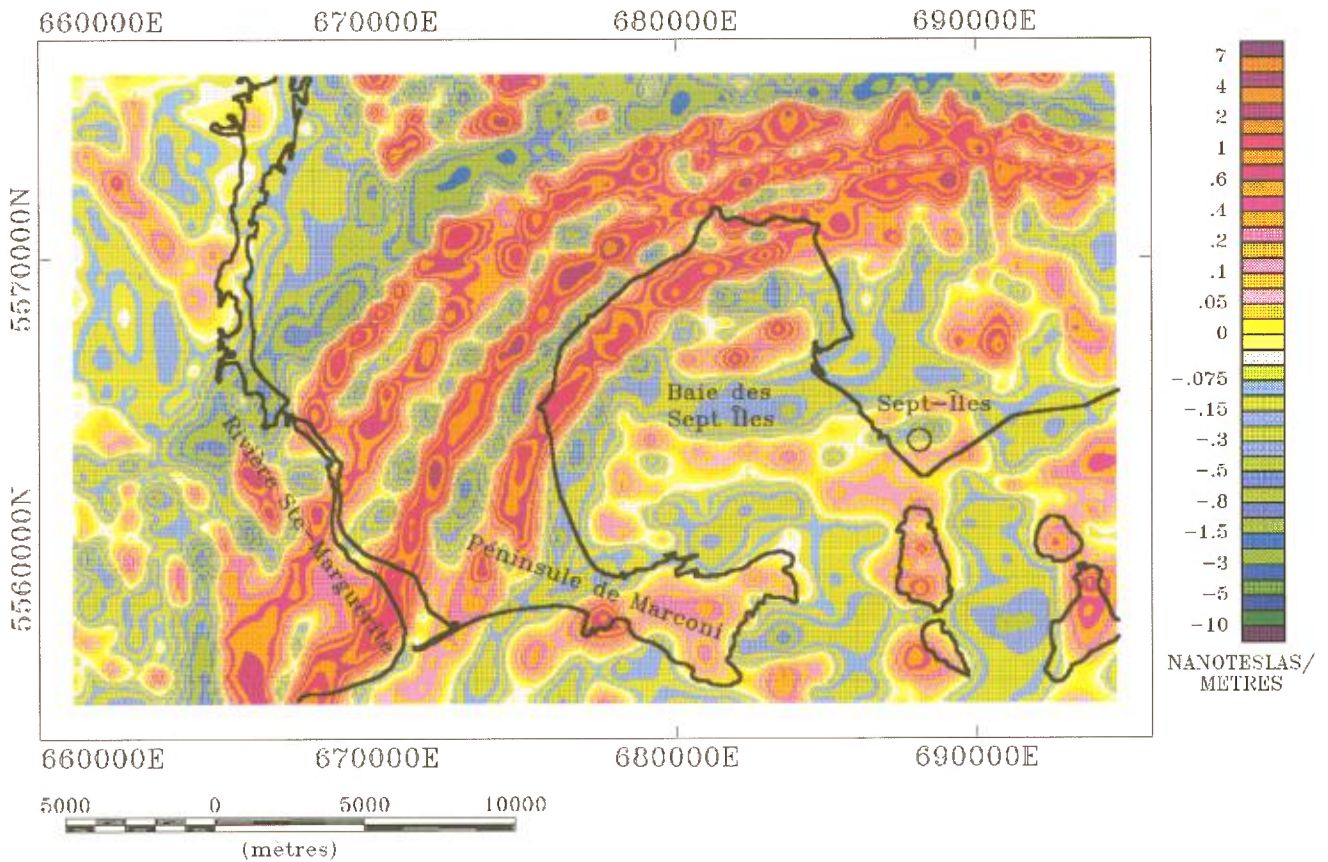


FIGURE 3 - Contours en miligals de l'anomalie gravimétrique associée à la masse du Complexe de Sept-Îles. Données provenant de la Commission géologique du Canada (1994).

FIGURE 4 - Gradient magnétique vertical calculé de la partie du complexe couvrant la superficie incluse dans la carte géologique à la figure 2 (Dion et Dumont, 1994).



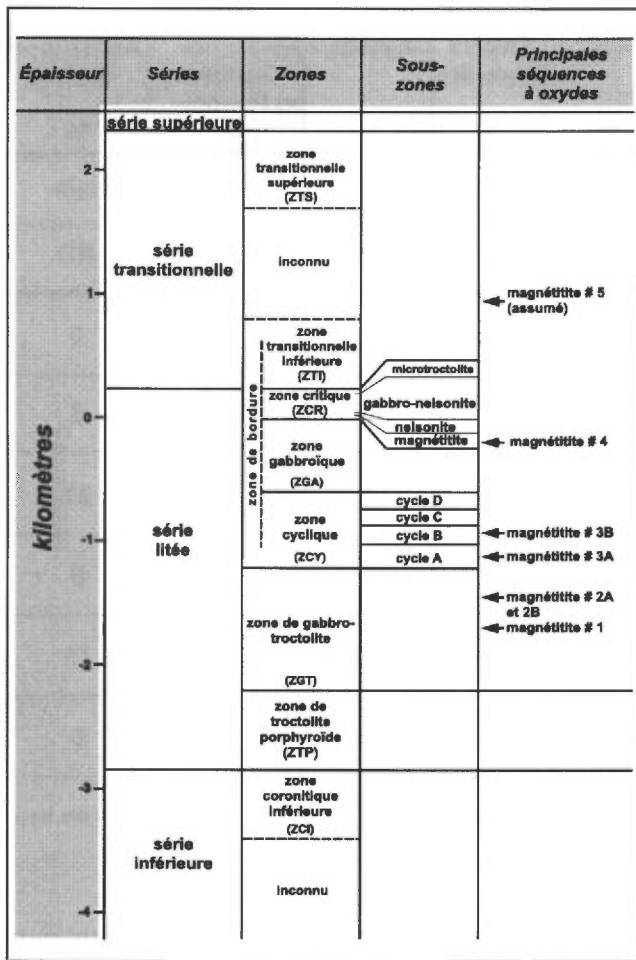


FIGURE 5 - Séquence stratigraphique du Complexe de Sept-Îles. Le point « 0 » dans la colonne épaisseur correspond à la base de l'unité à apatite de rivière des Rapides choisie en raison de sa fiabilité comme unité repère.

magmatiques qui caractérisent en partie cette unité. Elle est injectée à plus de 50 % de gabbro à olivine et de troctolite massive, de granulométrie fine à moyenne et à texture polygonale. Ces roches sont issues, semble-t-il, de nouvelles arrivées de magma distribuées en séquences lenticulaires aplaties dans le sens des strates. Elles sont souvent constituées de phases multiples qui varient en granulométrie et sont injectées de minces filonnets de pyroxène qui leur confère un aspect marbré. Leur épaisseur peut varier de quelques centimètres à plusieurs mètres. La ZCR a été subdivisée en quatre sous-zones. De la base au sommet, il y a d'abord la sous-zone de magnétite (magnétite n° 4) qui comprend quatre strates de 1 à 6 mètres d'épaisseur de magnétite à plagioclase réparties sur 30 mètres. Celle-ci est suivie sur 10 mètres de strates métriques de nelsonite (sous-zone de nelsonite). Vient ensuite une sous-zone de gabbro-nelsonite d'environ 150 mètres d'épaisseur qui est surmontée d'une sous-zone de microtroctolite de 30 à 50 mètres d'épaisseur (voir figures 11a, b, c et d). Rappelons que les trois premières sous-zones sont injectées à plus de 50 % de séquences de leucogabbro à olivine finement grenu

et pauvre en apatite et en oxydes. C'est à l'intérieur de la ZCR que se situe la séquence identifiée depuis 1994 comme l'unité à apatite de rivière des Rapides (Cimon, 1994).

La base de la série transitionnelle affleure à l'intérieur d'une mince frange de la côte située en bordure de la baie des Sept Îles entre le ruisseau Hall et la rivière des Rapides. Son sommet est exposé sur le pourtour de la péninsule de Marconi et sporadiquement sur les îles de l'archipel. La majeure partie de cette série est cachée sous les eaux de la baie des Sept Îles. En supposant qu'elle repose en concordance sur les unités de la série litée, il lui faudrait une épaisseur totale d'au moins 2 kilomètres pour ressortir presque à plat dans le secteur de la péninsule et des îles.

La série transitionnelle a été décrite comme une séquence massive de gabbro et d'anorthosite à granulométrie grossière et de couleur noire (Loncarevic et al., 1990). Cependant, la présence dans le tiers inférieur de cette série d'une bande à fort relief magnétique, parallèle aux bandes caractérisant la série litée, porte à croire que la série transitionnelle comporte plus d'un cycle de différenciation. Cette bande à fort relief magnétique doit être liée à la présence d'unités stratiformes riches en oxydes résultant d'un mécanisme de fractionnement ayant occasionné un enrichissement en fer. L'anomalie est cependant localisée sous les eaux de la baie des Sept Îles et les causes de sa présence ne peuvent être vérifiées pour le moment.

Quelques petits affleurements de gabbro et de gabbro à olivine assez riches en magnétite et ilménite ont été mis au jour lors de travaux d'infrastructure de voirie et d'aqueduc en bordure de la route 138, à l'ouest de l'embouchure de la rivière des Rapides. La présence de ces affleurements fournit un support à l'hypothèse supposant l'existence d'une séquence enrichie en oxydes sous les eaux de la baie.

La série transitionnelle a été divisée en deux zones, soit la zone transitionnelle inférieure (ZTI) et la zone transitionnelle supérieure (ZTS). En s'appuyant sur le profil du gradient magnétique vertical, l'épaisseur de la Zone transitionnelle inférieure (ZTI) a été estimée à quelque 800 m. Les 400 premiers mètres sont constitués exclusivement de troctolite massive et grossière à olivine poecilitique (figure 12c). Les textures décrites dans la série inférieure sont aussi caractéristiques de la base de la ZTI. Le développement de couronnes autour des olivines est cependant plus important. Ces couronnes sont constituées de trois enveloppes distinctes. Une mince couche d'orthopyroxène en petits grains s'est développée en contact avec l'olivine, celle-ci est suivie d'un enchevêtrement de cristaux de hornblende et de biotite et la troisième enveloppe, la plus épaisse, est constituée d'une symplectite de plagioclase/orthopyroxène (figures 12a et b). Ces couronnes forment un liséré blanchâtre visible à l'oeil nu. Les affleurements les plus hauts dans la séquence stratigraphique de la ZTI sont constitués de gabbro et de gabbro à olivine, magnétite et ilménite dont il a été question précédemment. La composition de la moitié supérieure de la ZTI demeure inconnue, mais elle pourrait contenir des magnétites.

Unités stratigraphiques		Troctolite	Gabbro à olivine	Gabbro	Dunite Wehrlite	Magnétite	Nelsonite Gabbro-Nelsonite ⁽¹⁾	Anorthosite altérée
		%	%	%	%	%	%	%
Série transitionnelle	Zone transitionnelle supérieure (ZTS)	ND	ND	ND	0	0	0	ND
	Zone transitionnelle inférieure (ZTI)	>50	ND	ND	0	0	0	ND
Série litée	Zone critique (ZCR)	0	54	0	0	6	2 ⁽¹⁾ 38 ⁽²⁾	0
	Zone gabbroïque (ZGA)	2	6	89	0	0	0	3
	Zone cyclique (ZCY)	10	28	37	0	3	0	21
	Zone de gabbro troctolite (ZGT)	41	39	7	3	4	0	6
	Zone de troctolite porphyroïde (ZTP)	40	29	15	0	3	0	13
Série inférieure	Zone coronitique inférieure (ZCI)	70	23	1	0	0	0	6

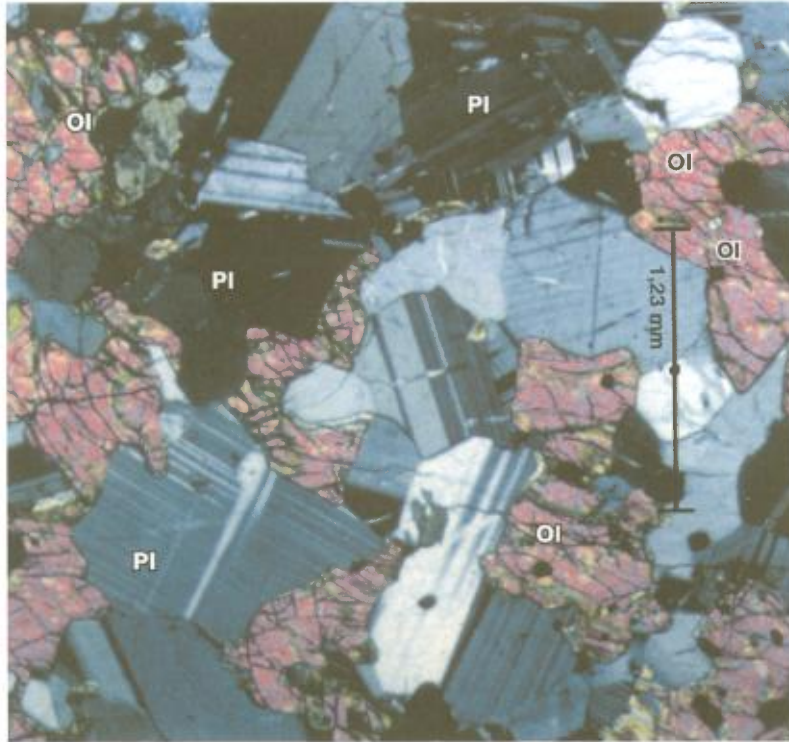
FIGURE 6 - Composition lithologique proportionnelle des différentes zones du Complexe de Sept-Îles établie en grande partie par l'analyse des forages d'Inco et de SOQUEM.

L'épaisseur de la Zone transitionnelle supérieure (ZTS) est estimée à plus de 1,2 km dont seulement les 100 à 200 derniers mètres affleurent sur la péninsule de Marconi et les îles de l'archipel. La séquence visible de la ZTS est constituée de troctolite et d'anorthosite troctolitique se coupant de façon complexe et désordonnée. Les inclusions d'une phase dans une autre sont communes et particulièrement bien mises en évidence avec des séquences d'anorthosite à plagioclase fortement laminées qu'on retrouve sous forme de dykes ramifiés et en enclaves dans d'autres séquences. La lamination de ces dykes est parallèle à leur contact avec l'encaissant. En lame mince, les minéraux mafiques présents dans ces séquences ont les mêmes habits que dans les séquences non laminées. Ainsi, les grains d'olivine et de clinopyroxène sont interstitiels et poecilites alors que l'interface entre l'olivine et le plagioclase est souvent caractérisée par la présence d'orthopyroxène et de hornblende en kéliphytes. Des dykes semblables ont aussi été observés dans la série inférieure. Higgins (1991) a rapporté l'existence de ces séquences laminées et il a argumenté sur leur origine. Miller et Weiblen (1990) ont observé des séquences tout à fait comparables dans la série anorthositique du complexe de Duluth. La séquence visible de la ZTS comporte une multitude de dykes tardifs de micro-gabbro ophitique à bordures figées, quelques dykes de microgranite, des dykes composés et des dykes de brèche. Les derniers mètres de la série transitionnelle ont subi

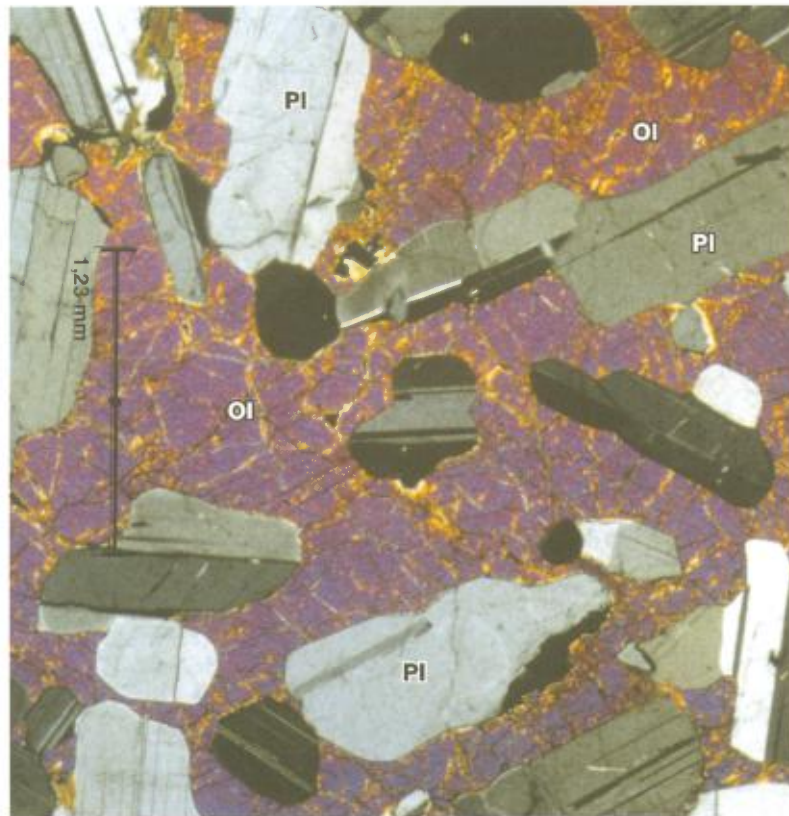
une altération deutérique croissant progressivement vers le sommet. Cette altération est manifestée par le remplacement, à différents degrés, des minéraux ferromagnésiens en carbonate, épidote, chlorite, biotite, hornblende et quartz alors que le plagioclase est décalcifié progressivement du coeur vers la bordure ($An_{55,0}$). Les interstices entre les plagioclases sont souvent remplis de feldspath potassique et de quartz en intercroissance.

La série supérieure affleure sur les parties élevées de la péninsule de Marconi et des îles de l'archipel. La transition avec les lithologies sous-jacentes est abrupte et elle coïncide avec l'apparition en abondance de feldspath potassique et de quartz. La base de cette série est hétérogène et groupe des séquences minces et enchevêtrées de monzogabbro, de monzosyénite, de diorite et de syénite contenant tous des quantités variables de fragments mafiques finement grenus. Sur la péninsule de Marconi, un niveau bréchiq est constitué d'éléments porphyriques. Ces éléments sont de composition trachytique et flottent dans une matrice de granite mésoperthitique. Ce niveau a pu être tracé sur plusieurs kilomètres le long du contact entre la série transitionnelle et la série supérieure (figure 12d). En s'éloignant de la zone de contact, la quantité de fragments mafiques s'estompe graduellement pour donner lieu à une séquence homogène de granite leucocrate.

La zone de bordure forme une enveloppe discordante, fortement pentée et d'épaisseur variable qui fut retracée



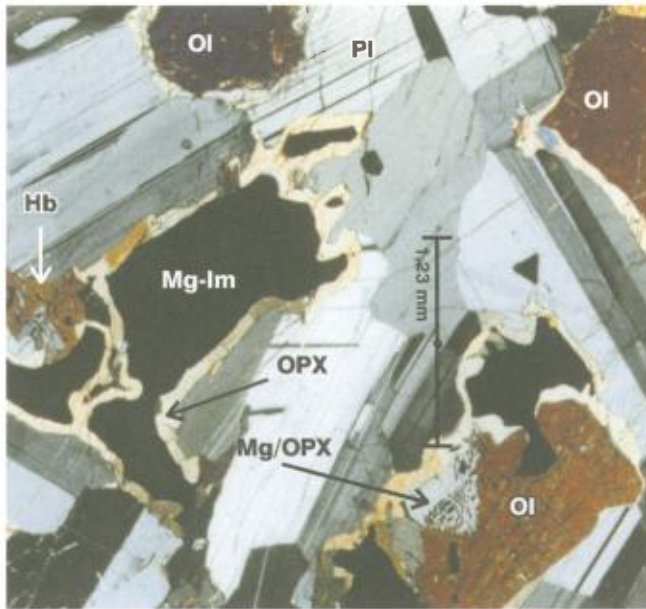
(a)



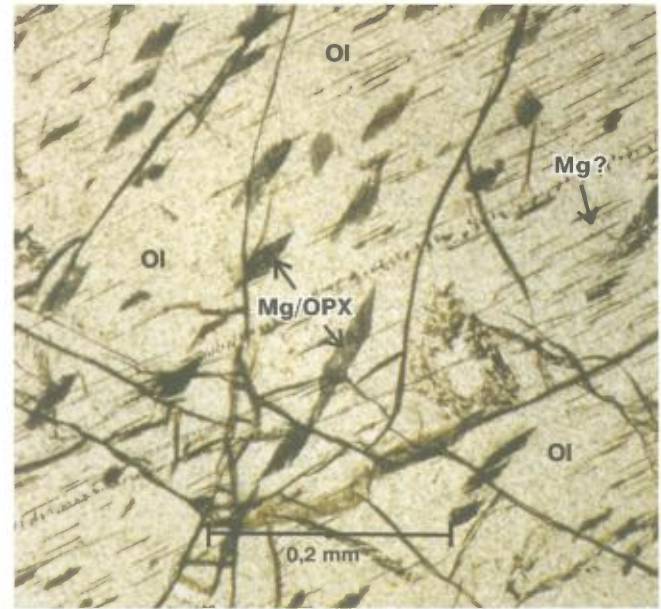
(b)

FIGURE 7 - Troctolite de la série inférieure montrant le caractère interstitiel poecilitique de l'olivine en continuité optique, enveloppant des cristaux de plagioclase aux contours résorbés (a et b). Ol = olivine, Pl = plagioclase.

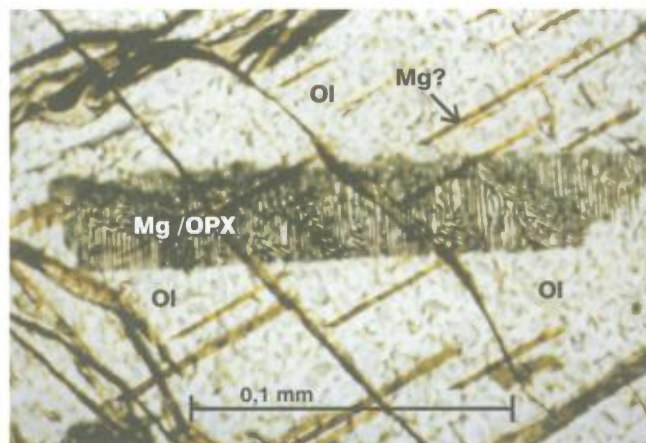




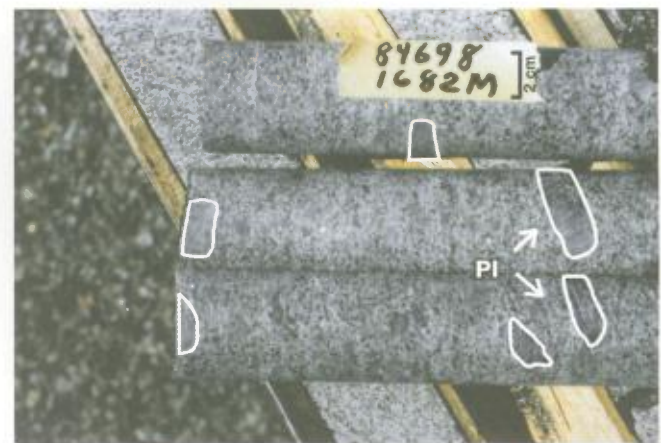
(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

FIGURE 8 - a) Microphotographie (x 25) montrant des kélyphites en continuité optique d'orthopyroxène et de hornblende autour des minéraux opaques et de l'olivine. **b et c)** Inclusions dans l'olivine poecilitique (x 60 et x 120). On distingue deux types d'inclusions : la première en forme de fines lamelles rougeâtres de composition inconnue, l'autre forme de minces lattes symplectitiques d'orthopyroxène / magnétite. **d)** Troctolite porphyroïde. **e)** Au centre, litage de densité avec une concentration de minéraux ferromagnésiens et d'oxydes à la base des strates et un enrichissement progressif en plagioclase vers le sommet. **f)** Aspect typique des xénolites d'anorthosite altérée dans le complexe. (Hb = hornblende, Mg = magnétite, Im = ilménite, OI=olivine, Opx = orthopyroxène, Mg/Opx = symplectite, Pl=plagioclase).

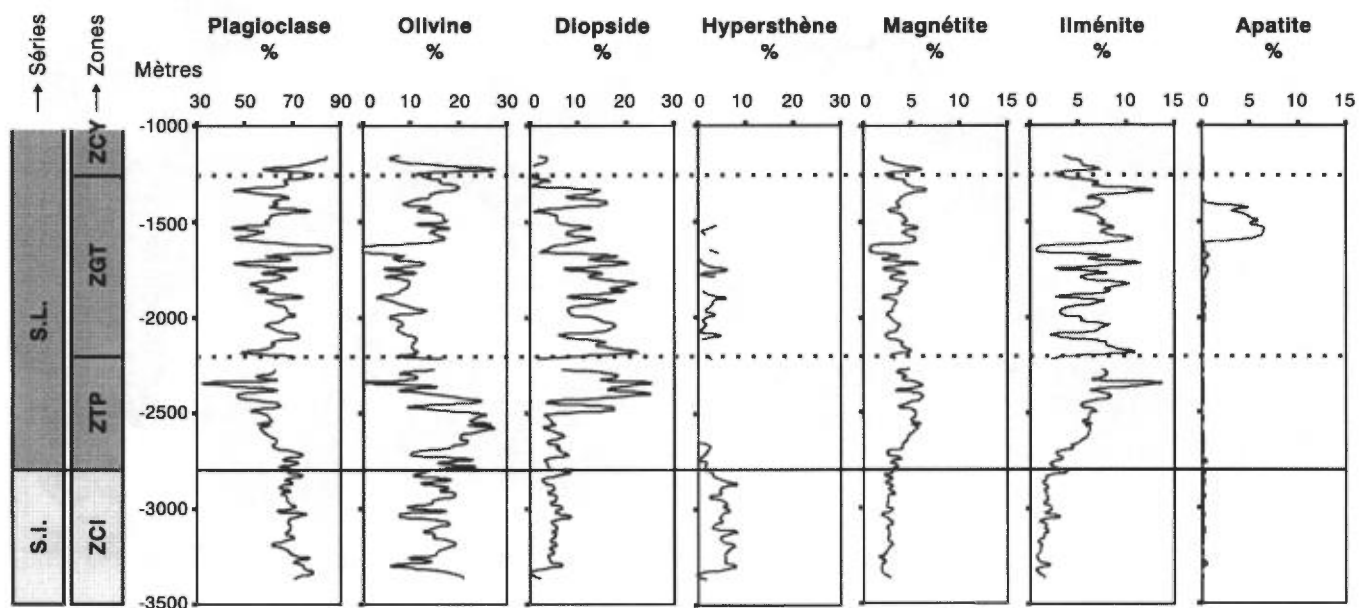


FIGURE 9 - Composition normative à travers le forage 84699 d'Inco implanté à environ 1 kilomètre à l'est du barrage SM2 sur la rivière Sainte-Marguerite (figure 2). Chaque lecture correspond à une section de 20 mètres d'épaisseur échantillonnée en continu sans égard aux changements lithologiques. La plupart des profils font ressortir d'importantes différences de composition entre la série inférieure et la série litée et le caractère transitoire de la zone de troctolite porphyroïde (ZTP).

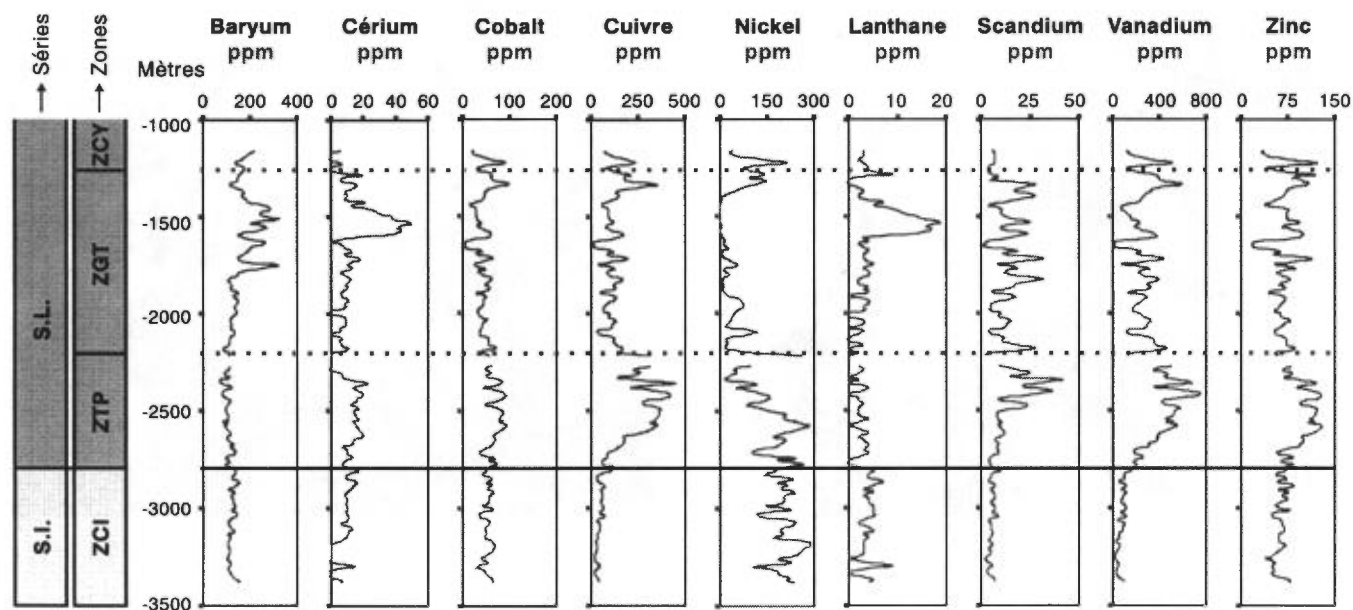
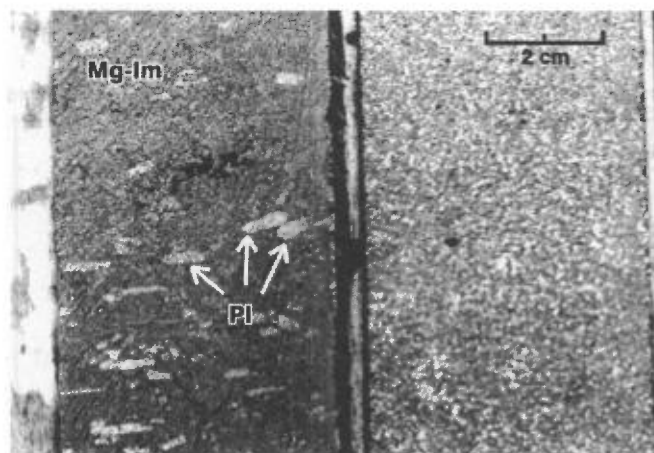
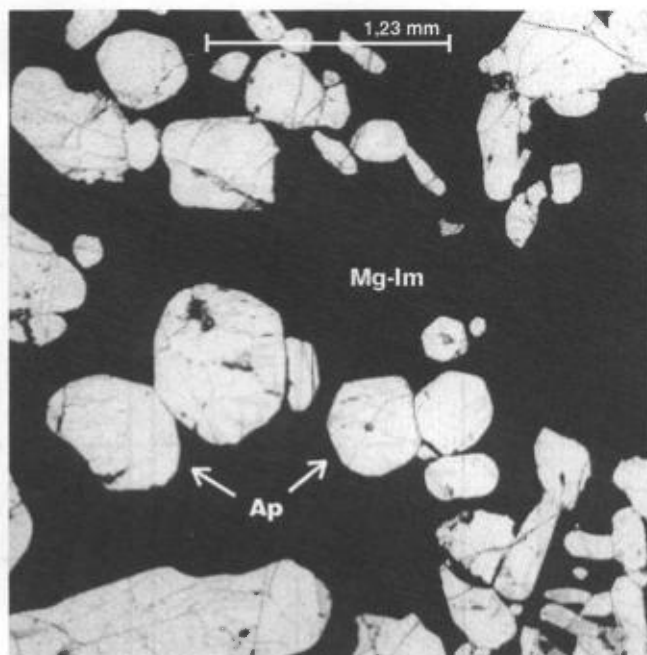


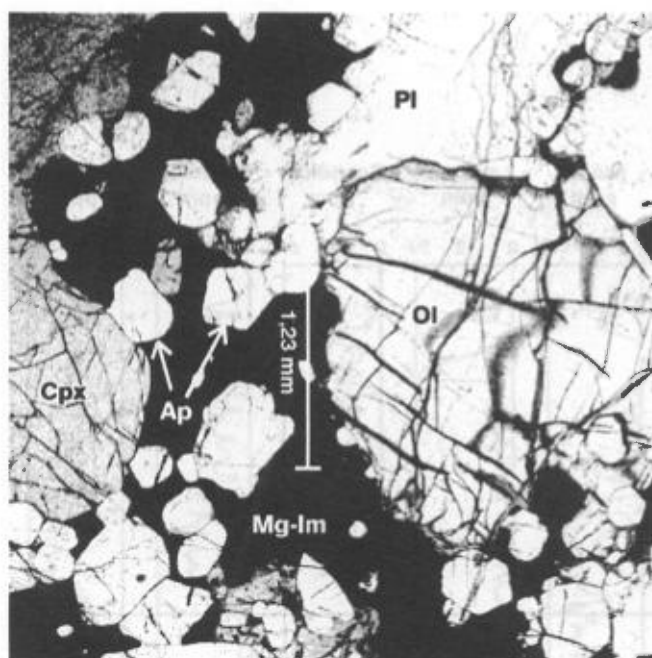
FIGURE 10 - Profils de variation des éléments en trace à travers le forage 84699 d'Inco (figure 2). Chaque lecture correspond à une section de 20 mètres d'épaisseur échantillonnée en continu sans égard aux changements lithologiques.



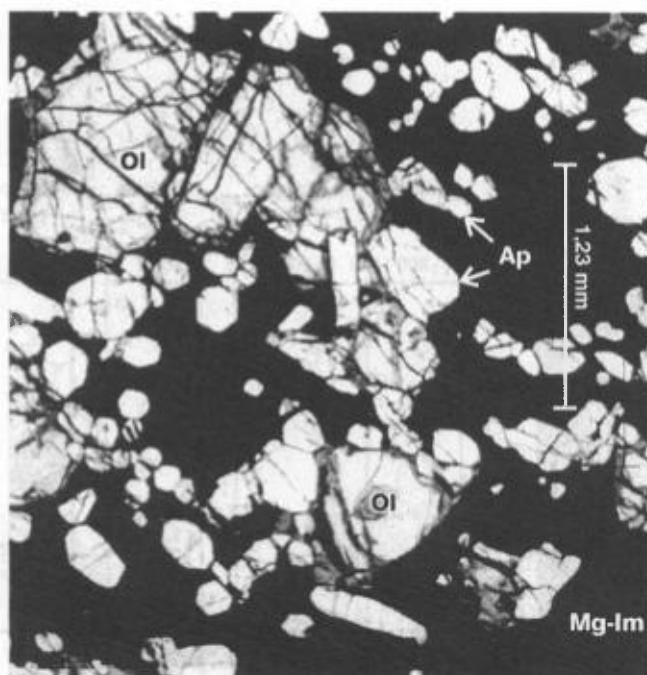
(a)



(b)

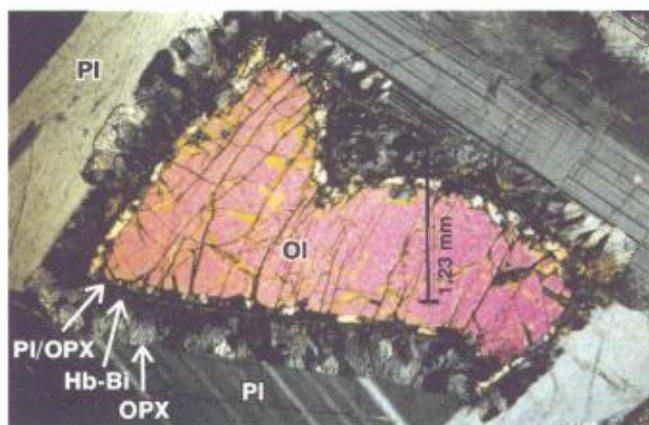


(c)

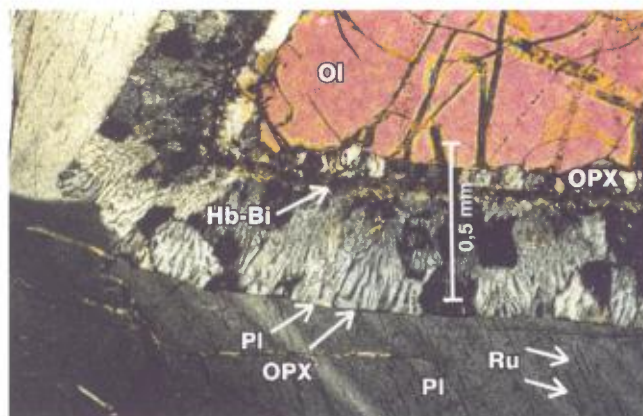


(d)

FIGURE 11 - a) À gauche de la photo, magnétite à plagioclase provenant de la base de la zone critique. Les lattes de plagioclase sont disposées parallèlement à la stratification. À droite, nelsonite. b) Microphotographie de la nelsonite (x 25). c) Nelsonite à plagioclase, clinopyroxène et olivine (x 25). d) Nelsonite à olivine (x 25). Les associations minéralogiques montrées en c et d sont assez typiques de la sous-zone de gabbro « nelsonitique ». L'apatite est plus grossière dans la nelsonite pure que dans les phases porteuses de silicate. (Ap=apatite, Cpx=clinopyroxène, Mg-Il=magnétite-ilménite, Ol=olivine, Pl=plagioclase).



(a)



(b)



(c)



(d)

FIGURE 12 - a) Microphotographie (x 25) de leucotroctolite à olivine poecilitique avec développement de couronnes entre l'olivine et le plagioclase. **b)** Détail des couronnes : orthopyroxène en segments sans continuité optique enveloppant l'olivine, suivi d'un enchevêtrement de hornblende et de biotite (lignes noirâtres dans 13a) et d'une symplectite de plagioclase/orthopyroxène en gerbes. À noter les aiguilles de rutiles (?) dans le plagioclase cumulus. **c)** Oïkocrysts d'olivine dans une leucotroctolite à la base de la série transitionnelle. **d)** Fragments « volcaniques » dans la séquence de brèche qui démarque la série transitionnelle de la série supérieure sur la péninsule de Marconi (Mg = magnétite, Im = ilménite, Ap = apatite, Cpx = clinopyroxène, Bi = biotite, Hb = hornblende, Ol = olivine, Opx=orthopyroxène, Pl=plagioclase, Pl/OpX = symplectite, Ru=rutile).

tout le long du contact entre la série litée et les gneiss du Grenville (figure 13). Elle est composée essentiellement de gabbro à olivine massif. Ce gabbro massif et finement grenu contient un apport souvent important de hornblende et de biotite. À proximité du contact avec les gneiss, les linéations sont intenses et les enclaves sont fréquentes. La composition du plagioclase, de l'olivine et du pyroxène et la teneur élevée en terres rares dans ces roches indiquent qu'elles ont été produites à partir d'une ou de plusieurs venues de magma beaucoup plus évoluées que celles ayant donné les séries mafiques du complexe. Elles ont probablement été mises en place tardivement.

STRATIFICATION CRYPTIQUE

Pour déterminer si le processus de cristallisation dans la chambre magmatique a évolué de façon linéaire ou discontinue, les principaux silicates formant des séries complètes de solution solide (plagioclase, olivine et pyroxène) ont été analysés à la microsonde. La magnétite, l'ilménite et le spinelle qui sont omniprésents dans les séries basiques du complexe ont aussi été analysés systématiquement au microscope électronique à balayage. Les résultats indiquent que la cristallisation ne s'est pas faite de façon linéaire. Peu d'évolution notable a été observée dans la composition du plagioclase et de l'olivine à travers la série inférieure et les trois zones à la base de la série litée (figure 14). Cependant, des changements rapides et importants ont été observés dans les deux zones au sommet de cette dernière série et plus particulièrement à travers la zone critique qui présente même un renversement dans l'évolution de la composition des minéraux. À la base de la série transitionnelle, la composition du plagioclase et de l'olivine est semblable à celle de la série inférieure. Une discontinuité magmatique majeure marque donc le passage de la série litée à la série transitionnelle.

En portant en abscisse le pourcentage d'anorthite dans le plagioclase et en ordonnée le pourcentage de forstérite dans l'olivine, on obtient trois populations distinctes correspondant à chacune des séries basiques. La série inférieure est caractérisée par une population ponctuelle, la série litée évolue parallèlement à la courbe du Skaergaard et la série transitionnelle évolue verticalement.

Des profils d'évolution comparables (figures 15a et b) ont déjà été décrits en particulier pour le complexe de Duluth au Minnesota, daté à 1098 Ma (Miller et Weiblen, 1990). Le peu de variations en calcicité du plagioclase cumulus à travers la série anorthositique du Complexe de Duluth et l'habitus poecilitique de l'olivine ont été interprétés comme des indications à l'effet que cette série serait le produit de montées de magma hyperfeldspathique qui, lors de leur introduction dans la chambre magmatique, contenaient plus de 60 % de plagioclase déjà cristallisé. Ces bouillies de cristaux auraient été produites par le sé-

jour du magma dans des chambres magmatiques à grande profondeur. Les minéraux ferromagnésiens se seraient alors fractionnés et auraient précipité au fond de la chambre pour constituer des dunités, des péridotites et des werhlites. Par contre, le plagioclase, moins dense qu'un magma basaltique dans des conditions de pression élevée, aurait floculé pour former des bouillies. Ces dernières auraient été expulsées périodiquement vers des chambres magmatiques moins profondes accompagnées d'un liquide interstitiel basaltique sous-saturé en olivine (figure 16). Par abaissement de la température, l'olivine aurait été maintenue en solution par surfusion pour finalement cristalliser rapidement selon un habitus poecilitique.

Ce mécanisme permet donc d'entrevoir que la plupart des magmas qui ont contribué à l'édification du Complexe de Sept-Îles avaient déjà subi un fractionnement avant leur mise en place finale. Il permet aussi d'expliquer l'absence probable d'unités ultramafiques à la base du complexe. Durant la cristallisation, la composition du plagioclase intratellurique aurait été peu affectée en raison de taux de diffusion relativement lents du silicium et de l'aluminium à l'état solide dans le plagioclase. Dans le Complexe de Sept-Îles, comme dans celui de Duluth, le plagioclase cristallisé *in situ* à partir du magma interstitiel accompagnant la bouillie de cristaux est zoné, interstitiel, et d'une calcicité moyenne plus élevée que celle du plagioclase intratellurique. Le plagioclase interstitiel n'a cependant pas fait l'objet d'analyses systématiques. Il est difficile de donner une origine exacte aux nombreux blocs d'anorthosite altérée qu'on retrouve un peu partout dans le complexe. Cependant, il n'est pas impossible qu'ils proviennent de l'effondrement du toit de chambres magmatiques localisées en profondeur.

Bien que la composition du plagioclase et de l'olivine ne donne des signes d'évolution qu'à partir du 2/3 supérieur de la série litée, les variations en Mn dans l'olivine et dans le clinopyroxène et celles en Al_2O_3 dans le clinopyroxène indiquent plutôt des enrichissements ou des appauvrissements graduels à travers toute la série litée (figures 17 et 18). On note aussi un contraste assez marqué de la teneur en nickel dans l'olivine. Celle-ci est sous le seuil de détection à travers la série litée, mais des teneurs avoisinant 0,10 % ont été obtenues à travers les séries inférieure et transitionnelle.

La teneur en titane dans le clinopyroxène fournit une indication essentielle quant à la quantité de titane présente dans un magma en raison d'un coefficient de partage de 1:3. Le profil en TiO_2 du clinopyroxène donne une teneur moyenne de 0,8 % pour les séries inférieures et transitionnelles et de 1,2 % pour la série litée. Ceci indique qu'ils ont cristallisé à partir de magmas de composition et de degrés d'évolution différents.

Les variations de composition obtenues par l'analyse de la magnétite, de l'ilménite et du spinelle viennent corroborer les divergences entre les trois séries basiques du Complexe de Sept-Îles. C'est cependant la variation du chrome

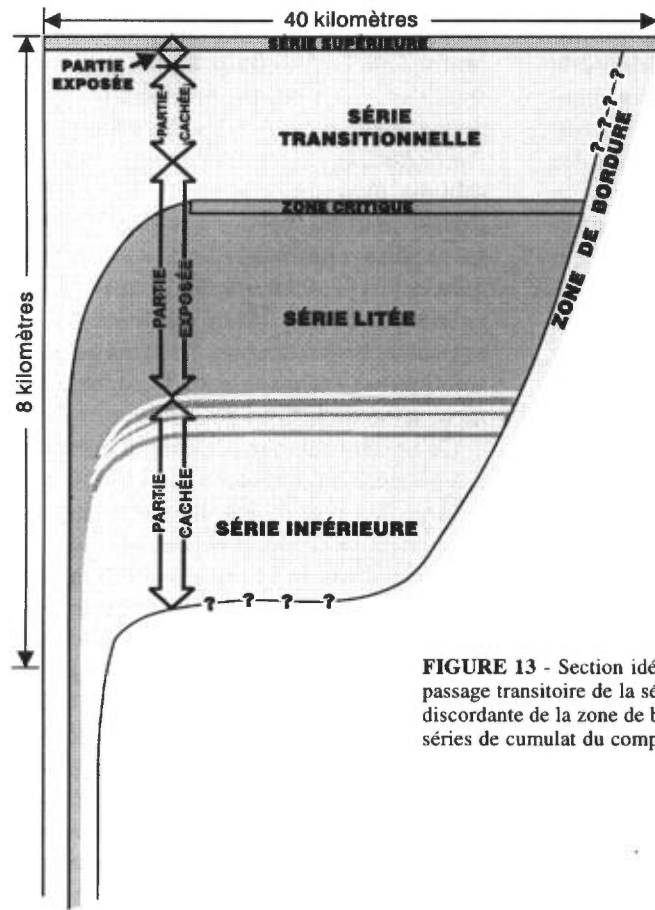


FIGURE 13 - Section idéalisee du Complexe de Sept-Îles montrant le passage transitoire de la série inférieure, à la série litée et la disposition discordante de la zone de bordure par rapport à la disposition étagée des séries de cumulat du complexe (échelle verticale exagérée).

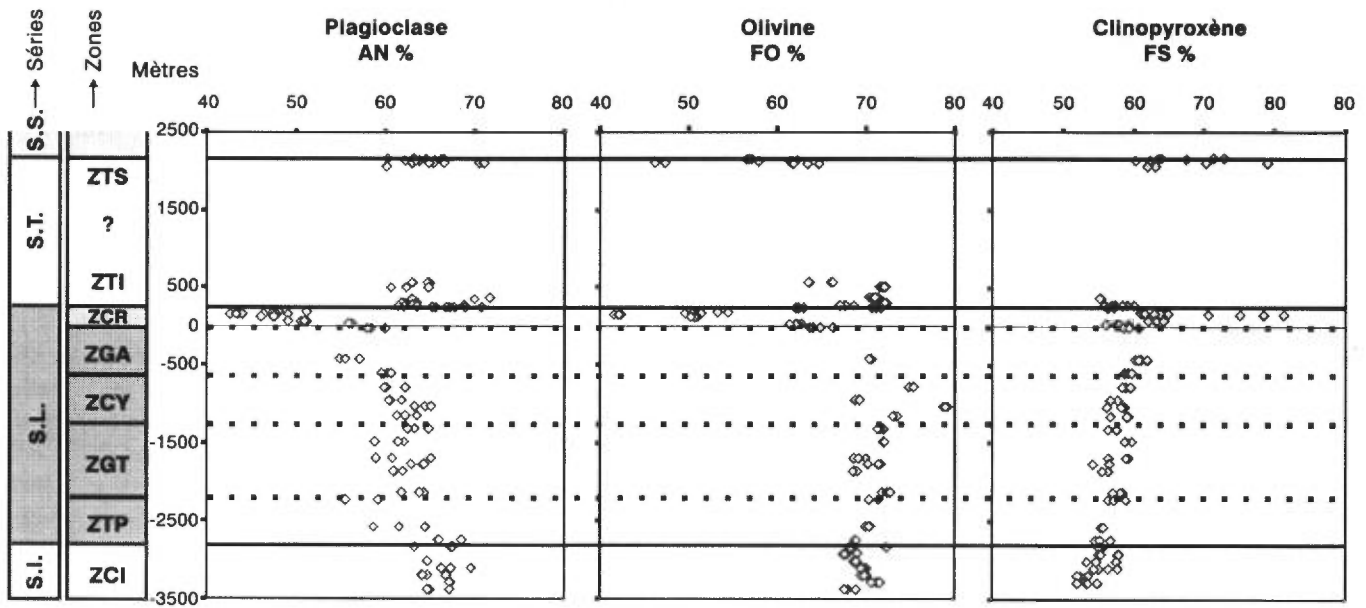


FIGURE 14 - Profils de variation de composition du plagioclase (% An) de l'olivine (% FO) et du clinopyroxène (% FS). Les seules variations importantes s'observent au sommet de la ZGA et à travers la ZCR.

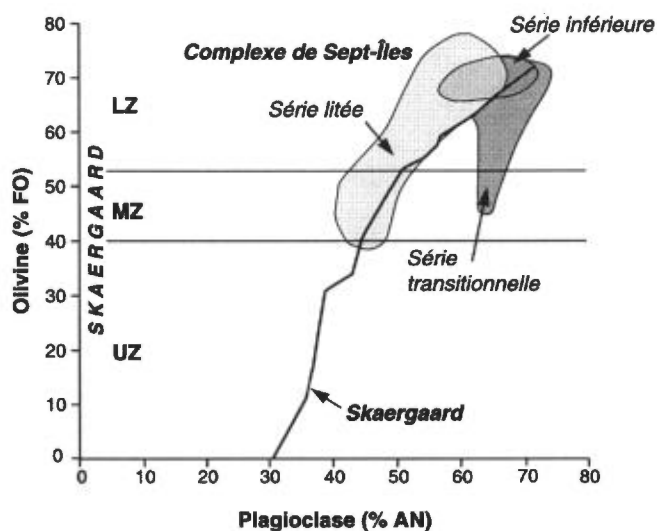


FIGURE 15a - Champs de variations de composition de l'olivine (% FO) et du plagioclase (% AN) dans les séries basiques du Complexe de Sept-Îles comparées au Skaergaard d'après les valeurs données par Wager et Brown (1967).

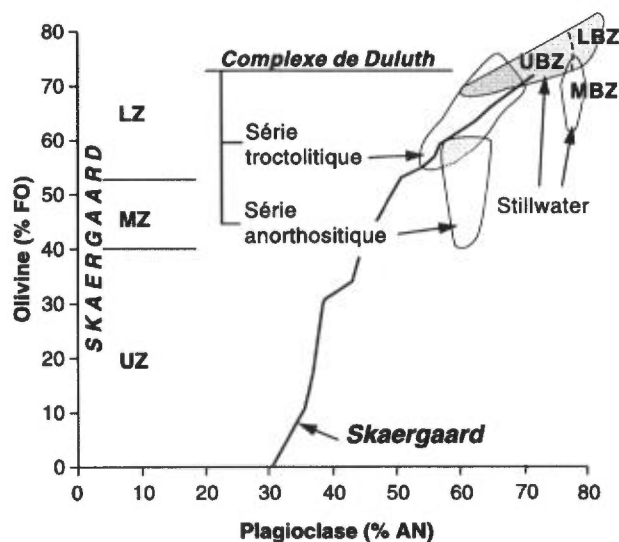


FIGURE 15b - Champs de variation de composition de l'olivine (% FO) et du plagioclase (% AN) de certaines unités des complexes de Duluth et de Stillwater comparées au Skaergaard faisant ressortir des divergences dans l'évolution des produits fractionnés comparables à celles observées dans le Complexe de Sept-Îles (modifié de Miller et Weiblen, 1990).

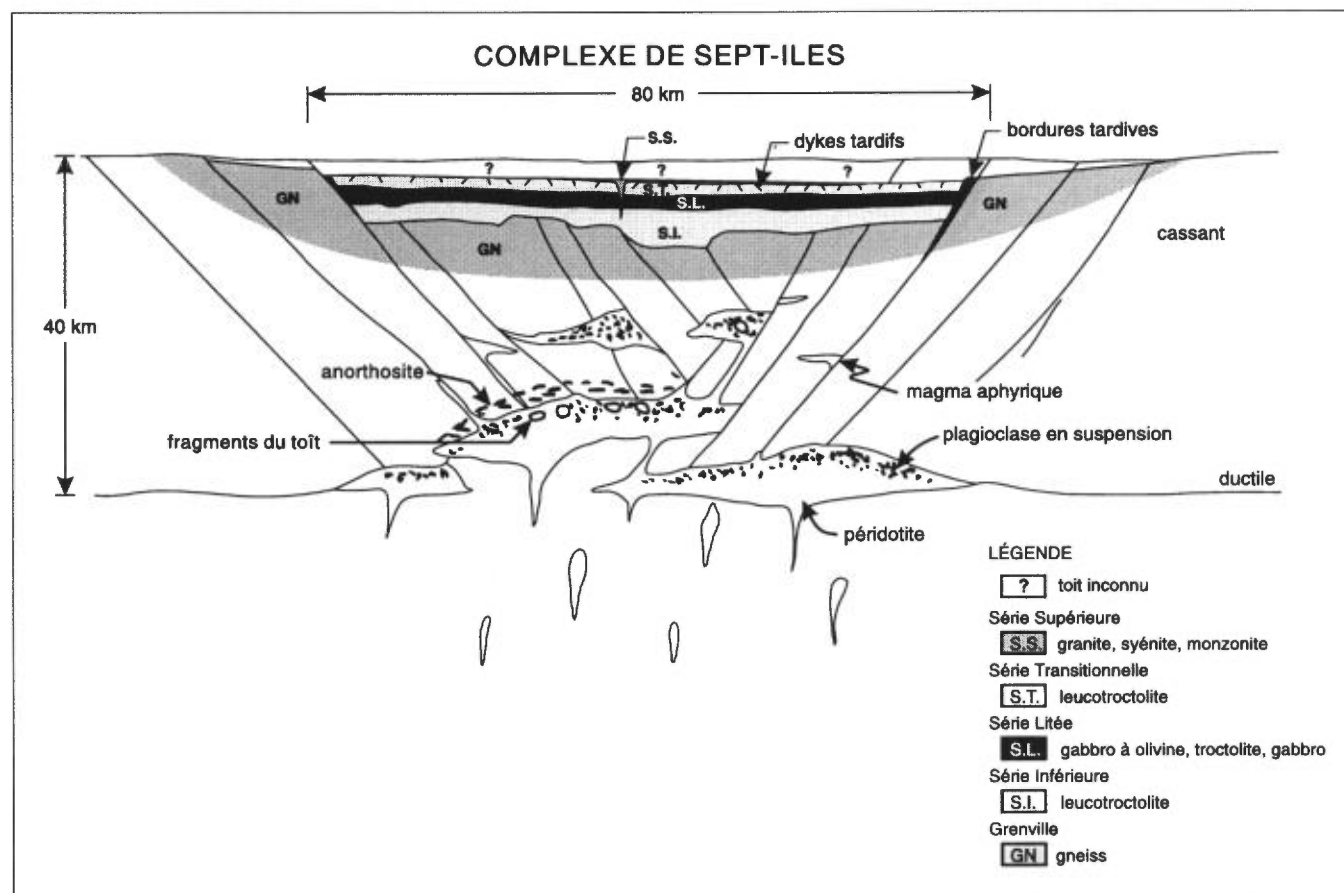


FIGURE 16 - Modèle hypothétique inspiré de Miller et Weiblen (1990) appliqué au Complexe de Sept-Îles montrant l'évolution des montées de magma dans la zone de rift de la vallée du Saint-Laurent et sa progression à travers plusieurs étapes de fractionnement. Les chambres magmatiques inférieures sont nourries continuellement par l'apport de nouveau magma produit par la fusion partielle du manteau. L'olivine et le pyroxène qui vont cristalliser dans les chambres inférieures vont précipiter et former des cumulats de dunite, de péridotite et de werhlite. Le plagioclase, moins dense que le magma basaltique à grande pression, va floculer et se concentrer à la partie supérieure de la chambre pour être expulsé périodiquement sous forme de bouillies de plagioclase dans un liquide basaltique vers des chambres à faible profondeur dans la croûte. La série inférieure et la majeure partie de la série transitionnelle ont probablement été produites à partir de telles bouillies de cristaux. Présentement, nous n'avons aucune indication quant à la profondeur de mise en place de l'intrusion et la nature du toit du Complexe de Sept-Îles.

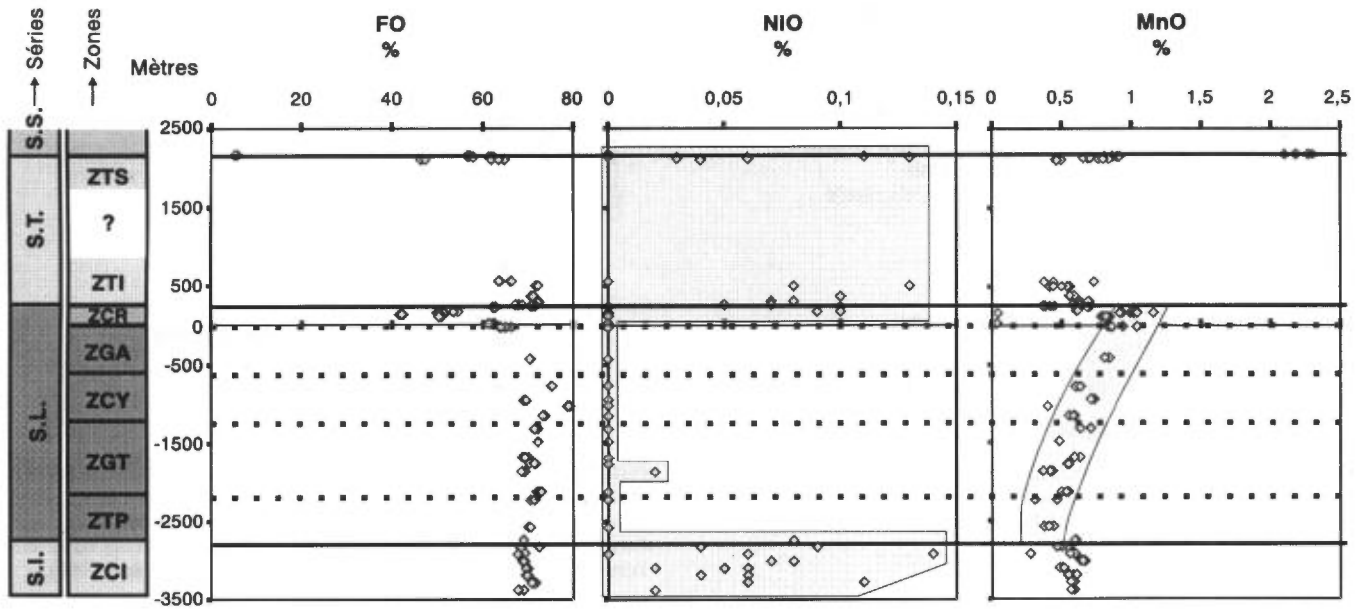


FIGURE 17 - Variation du nickel (% NiO) et du manganèse (% MnO) dans l'olivine (microsonde).

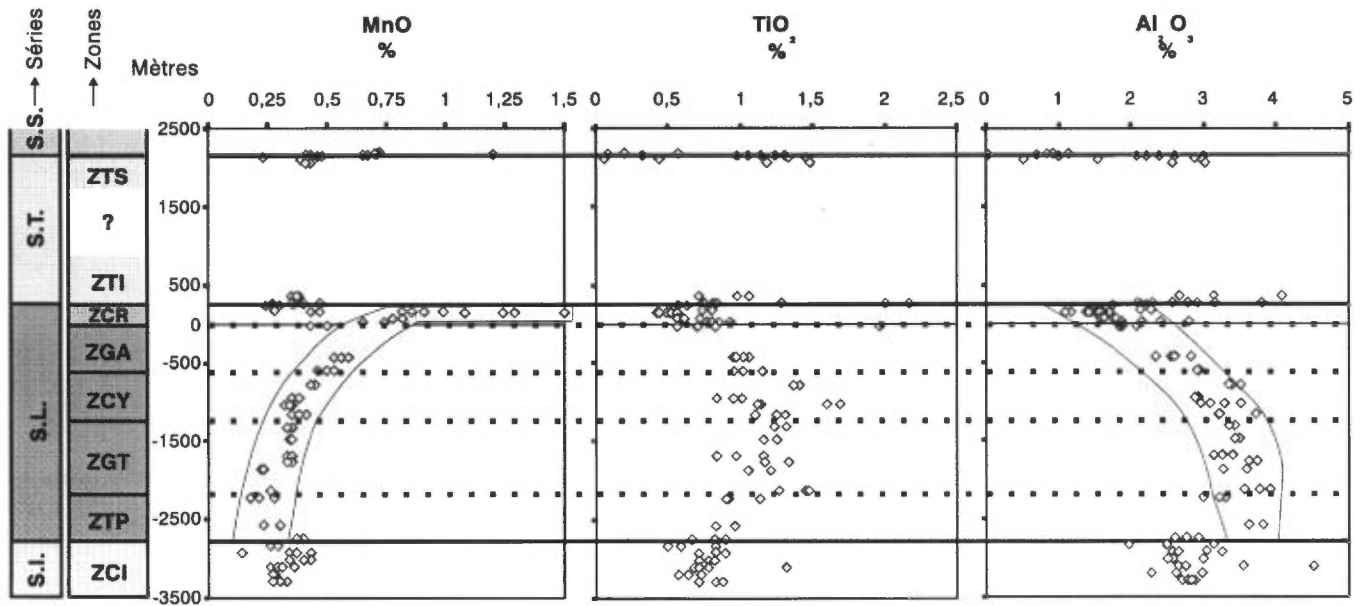


FIGURE 18 - Variation du manganèse (% MnO), de l'alumine (% Al₂O₃) et du titane (% TiO₂) dans le clinopyroxène (microsonde).

(Cr₂O₃) dans la magnétite et le spinelle et du MgO dans le spinelle qui donnent les contrastes les plus marqués (figures 19 et 21b). Le MgO dans l'ilménite varie dans le même sens mais de façon moins ostensible.

Le spinelle est omniprésent dans les différentes unités basiques du Complexe de Sept-Îles comme minéral d'exsolution. Il s'observe sur le pourtour des grains d'ilménite ainsi qu'en petites lentilles et en minces lamelles dans la magnétite (figures 20a et b). Une particularité propre aux spinelles du Complexe de Sept-Îles, c'est l'omniprésence du zinc. La teneur moyenne en ZnO est de 3,1 % sur 114 spinelles analysés, la valeur la plus élevée étant de 23 %. La composition du spinelle varie considérablement à l'intérieur d'un même échantillon, indépendamment qu'il soit inclus dans la magnétite ou dans l'ilménite. Les teneurs en zinc dans le spinelle peuvent être plus élevées tantôt dans la magnétite, tantôt dans l'ilménite. Le profil de distribution du ZnO dans le spinelle à travers le complexe est erratique mais cet élément se substitue au magnésium dans les phases les plus évoluées. À l'exception de quelques cas de spinelles riches en fer, tous les spinelles analysés sont fortement alumineux (> 60 % Al₂O₃) et aucun ulvospinelle n'a été identifié. Présentement, il n'existe pas d'exemple dans la littérature quant à la présence de spinelles zincifères associés à des complexes mafiques stratifiés ni sur le comportement du zinc dans les spinelles dans des processus de différenciation magmatique. Les figures 21a et b montrent les variations de composition du spinelle à travers les séries basiques du complexe.

COMPORTEMENT DE CERTAINS ÉLÉMENTS

Dans un processus de cristallisation fractionnée, le magma résiduel va s'appauvrir en certains éléments dits compatibles et s'enrichir en d'autres dits incompatibles. Le profil de variation de certains éléments va donner des informations très pertinentes sur la composition et le degré d'évolution des magmas en cause, sur le moment de l'introduction de nouveaux magmas dans la chambre et sur la présence de discontinuités magmatiques. Comme élément compatible, le nickel va entrer dans la composition de l'olivine, alors que le chrome, en l'absence de précipitation de chromite, va se substituer au fer ferrique dans la magnétite et le spinelle. La présence significative de nickel et de chrome dans la série transitionnelle, juste au-dessus de la séquence à apatite, indique sans équivoque l'arrivée dans la chambre d'un magma peu évolué subséquemment à la cristallisation à peu près complète des magmas déjà présents dans cette chambre (figures 22 et 23). À l'inverse, le manganèse et le zinc (figures 24 et 25) se comportent comme des éléments incompatibles et un enrichissement

graduel en ces éléments est observé jusqu'au sommet de la série litée, suivi de teneurs faibles à la base de la série transitionnelle.

CRISTALLISATION DE L'APATITE

Le phosphore est un élément très incompatible qui ne se substitue à aucun autre élément dans les silicates, les oxydes ou les sulfures. Par cristallisation fractionnée, il va se concentrer dans le magma résiduel jusqu'à saturation, pour précipiter sous forme d'apatite. La plupart des intrusions et des complexes mafiques stratifiés étudiés à travers le monde comportent une ou plusieurs séquences stratiformes enrichies en apatite à des teneurs moyennes généralement inférieures à 3 % en P₂O₅, avec des exceptions pouvant excéder 10 %. L'apatite y est souvent associée à des oxydes de fer et de titane. Parmi les complexes et les intrusions représentées à la figure 26, seuls les complexes du Bushveld et de Sept-Îles comportent des concentrations suffisamment élevées en apatite et ilménite pour présenter un intérêt économique. Cependant, les épaisseurs et les concentrations observées à Sept-Îles sont plus élevées que celles rapportées dans le Bushveld. Dans le Bushveld, on rapporte l'existence de trois strates de 20 à 40 m d'épaisseur où l'apatite et l'ilménite combinées comptent pour 20 % du volume alors qu'à Sept-Îles, l'apatite, à elle seule, dépasse 20 % du volume.

Les séquences enrichies en P₂O₅ se situent dans la partie supérieure des complexes stratifiés, associées à des ferrogabbros, des ferrodiorites et des monzonites. L'apatite apparaît lorsque près de 90 % du magma est déjà cristallisé. Des études portant sur la solubilité du phosphore dans un magma basaltique tendent à démontrer que les teneurs en P₂O₅ rencontrées dans les nelsonites supposent l'apparition dans le magma d'un liquide immiscible riche en Ti-Fe-Ca-P-O (Owens and Dymek, 1992 ; Kolker, 1982 ; Philpotts, 1967 ; Darling and Florence, 1995). Ce liquide nelsonitique, en raison de sa forte densité, va se condenser en couches massives sur les cumulats déjà déposés. L'apparition d'un tel liquide nelsonitique immiscible résulterait d'un ou de plusieurs facteurs déclencheurs susceptibles d'affecter les paramètres physicochimiques dans la chambre magmatique et en particulier la fugacité de l'oxygène.

Dans le Complexe de Sept-Îles, la nelsonite repose directement sur une séquence majeure de magnétite-ilménite en strates massives (figure 27). Elle se limite à quelques mètres à la base de la séquence riche en apatite et précède une séquence cyclique de gabbro nelsonite comportant moins de 50 % de silicate. Ces silicates sont constitués de proportions variables d'olivine, de plagioclase, de clinopyroxène, de hornblende et de biotite. La séquence riche en apatite est discontinue, interrompue par de multiples phases finement grenues et pauvres en apatite et en oxydes.

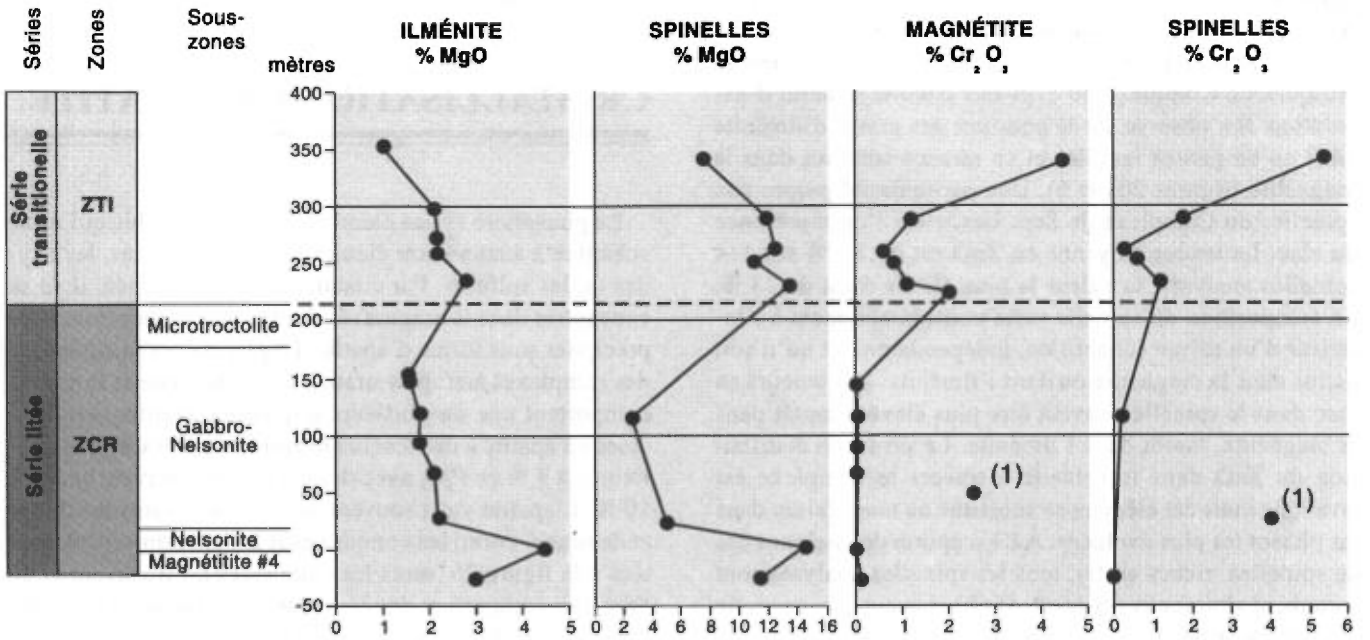
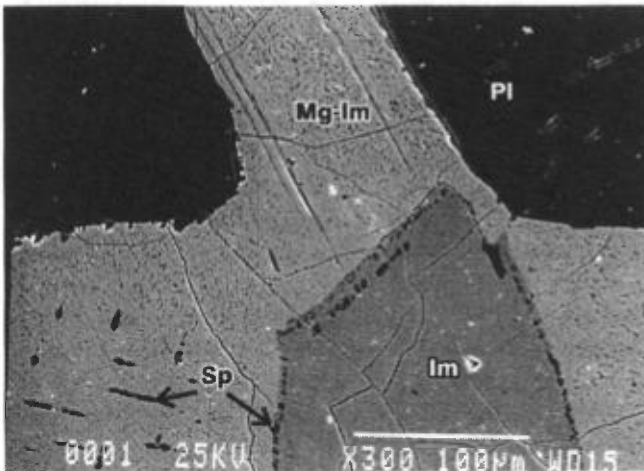
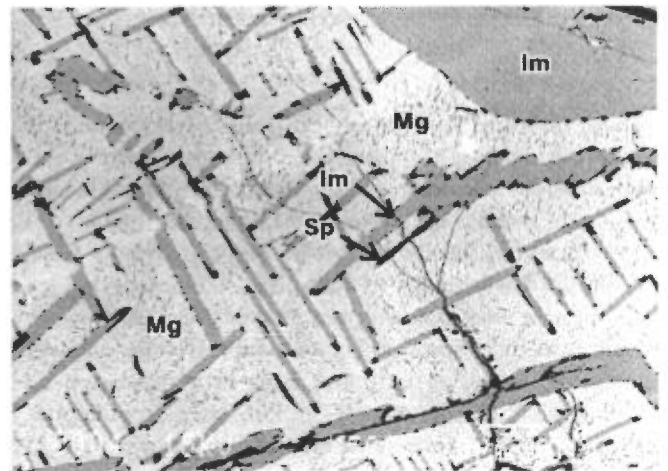


FIGURE 19 - Profil de teneurs en MgO dans l'ilménite et le spinelle et du chrome (Cr₂O₃) dans la magnétite et le spinelle à travers la ZCR et la base et la ZTI. Les valeurs isolées élevées en Cr₂O₃ dans la magnétite et le spinelle (1) appartiennent aux séquences de gabbro à olivine finement grenue injectant le gabbro-nelsonite.

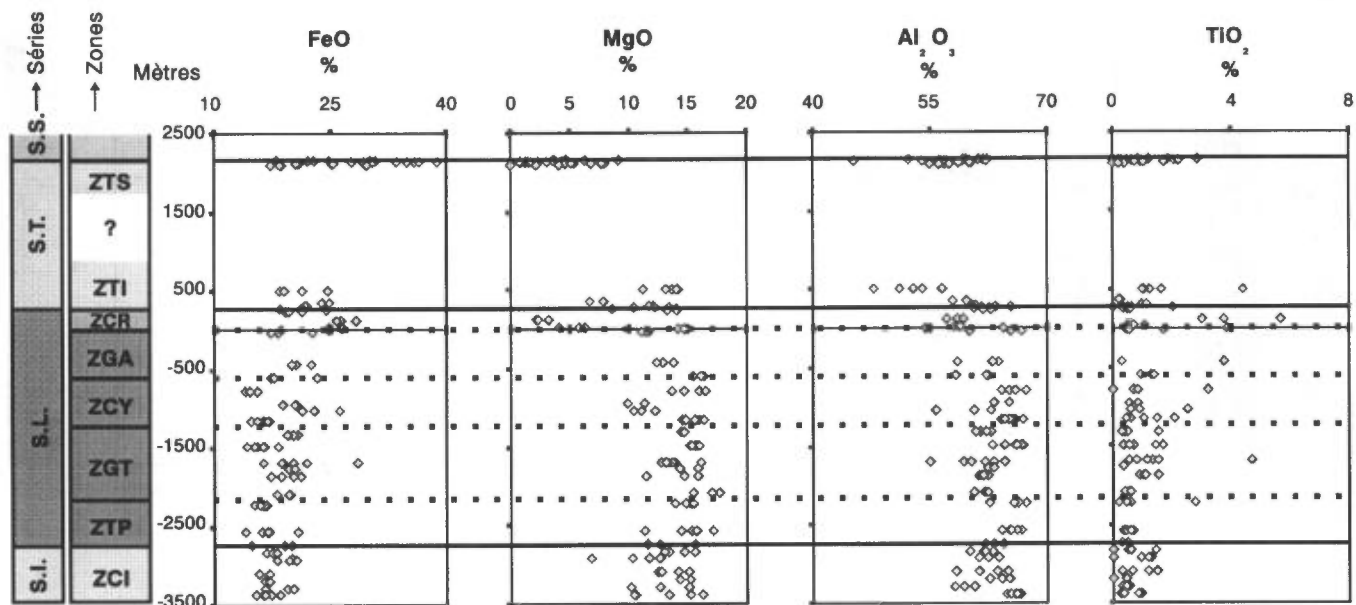


(a)

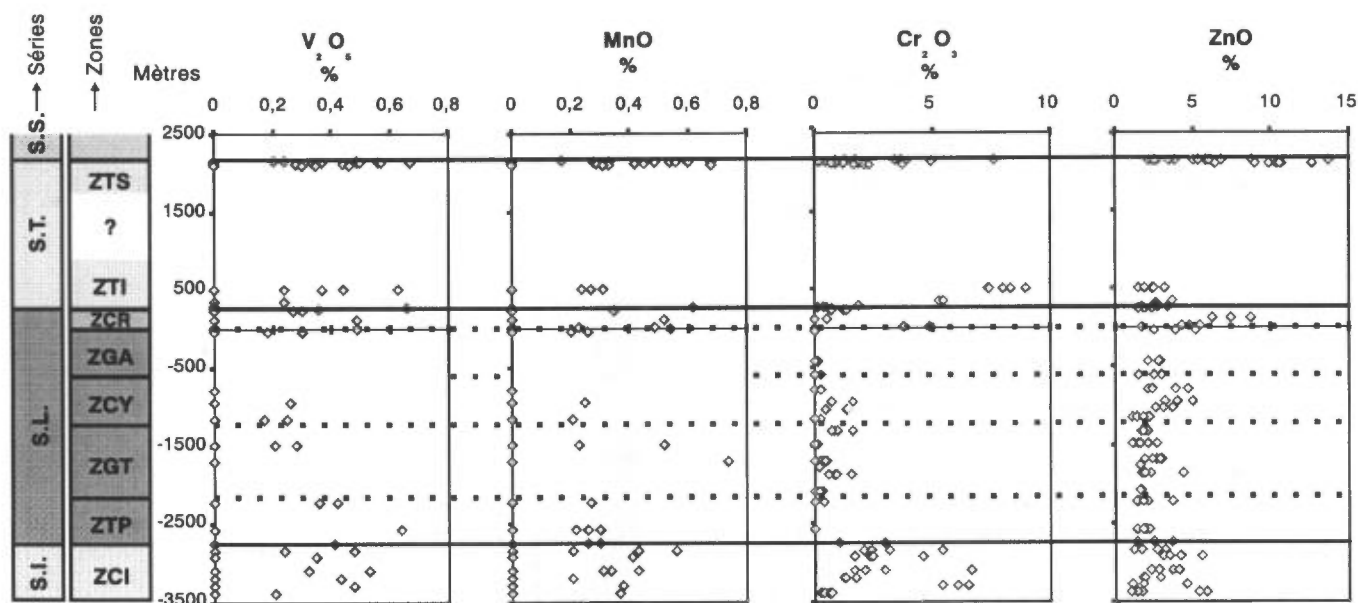


(b)

FIGURE 20 - Photographie prise au microscope électronique à balayage. a) Spinelle en petits grains noirs et en lentilles dans la magnétite (x 300). b) Lamelles d'ilménite (gris moyen) et de spinelle (parties noires) en exsolution dans la magnétite (gris pâle) (Mg = magnétite, Im = ilménite, Sp = spinelle, Pl = plagioclase).



(a)



(b)

FIGURE 21a et b - Profils de variation chimique des spinelles. À noter les teneurs élevées en Cr₂O₃ dans la série inférieure et la série transitionnelle et la présence de zinc dans tous les spinelles analysés.

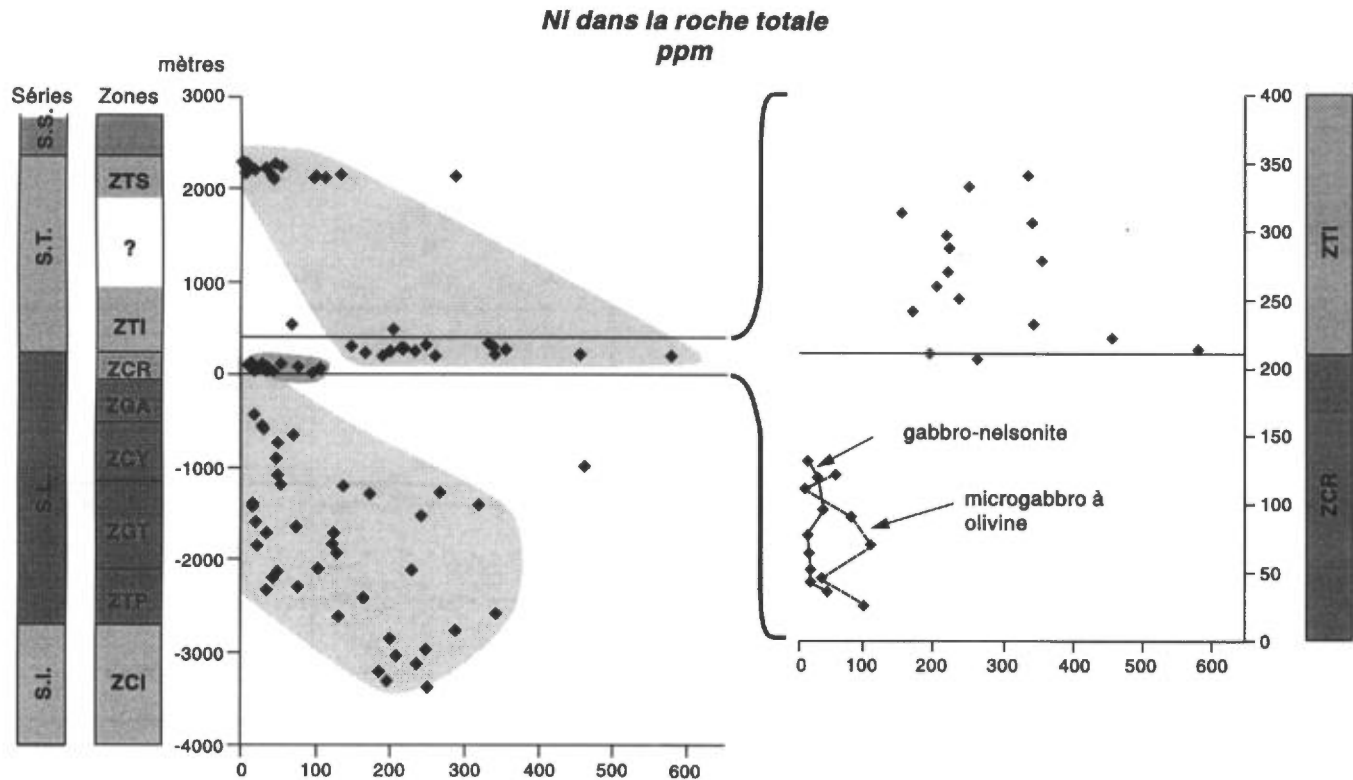


FIGURE 22 - Profil de variation du nickel (ppm dans la roche totale) dans le Complexe de Sept-Îles montrant un appauvrissement graduel à travers la série litée (SL) suivi d'un enrichissement à la base de la série transitionnelle. Les teneurs regroupées à l'intérieur d'un petit champ dans la ZCR correspondent au microgabbro à olivine injectant le gabbro-nelsonite. Le schéma de droite détaille le profil de variation à travers la ZCR et la ZTI. Les teneurs obtenues pour le microgabbro à olivine et le gabbro-nelsonite sont données en profils séparés.

L'analyse chimique des différentes phases en présence fait ressortir le caractère plus primitif des séquences finement grenues par leur contenu en nickel et en chrome s'opposant à la nature plus évoluée des roches riches en apatite.

La zone critique est donc l'interface entre deux cycles magmatiques et elle se compose d'un mélange de lithologies issues de la coexistence, dans la chambre, de deux magmas qui ont cristallisé en gardant un taux faible de mélange et d'assimilation. Les teneurs en P_2O_5 et en terres rares dans les séquences finement grenues et stériles injectant les phases nelsonitiques sont cependant trop élevées pour un magma primitif. Ceci indique qu'elles ont probablement subi une contamination à partir du magma résiduel.

Les séquences riches en apatite du Bushveld présentent de nombreuses similitudes avec celles du Complexe de Sept-Îles. Elles suivent une épaisse séquence de magnétite et Von Gruenewaldt (1993) a postulé que la cyclicité qui caractérise la séquence porteuse d'apatite est un argument de force appuyant la thèse de l'introduction de nouveau magma dans la chambre. Le même auteur fait remarquer que la cristallisation de l'apatite coïncide avec la réapparition de l'olivine. Dans le Complexe de Sept-Îles, la zone gabbroïque sous-jacente à la zone critique est constituée presque exclusivement de séquences de gabbro exempt d'olivine, alors que ce minéral est omniprésent dans la

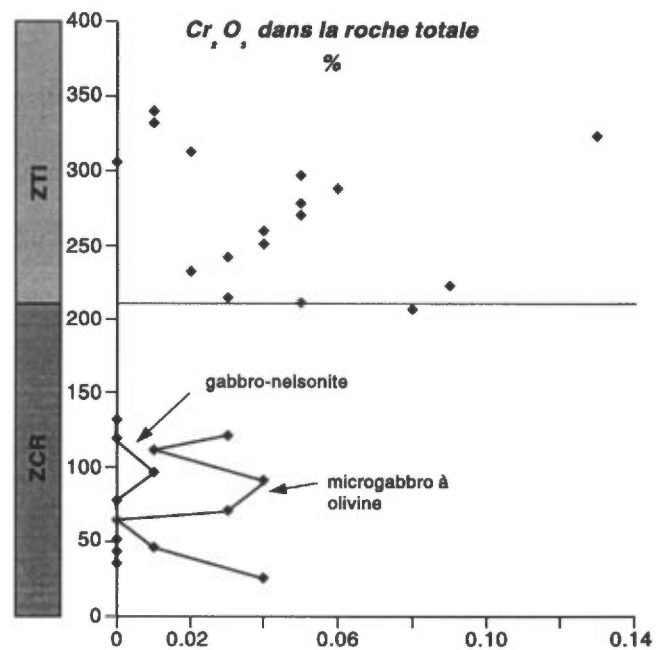


FIGURE 23 - Profil de variation du chrome (% Cr_2O_3 dans la roche totale) à travers la ZCR et la ZTI. Les teneurs obtenues pour le microgabbro à olivine et le gabbro-nelsonite sont données en profils séparés.

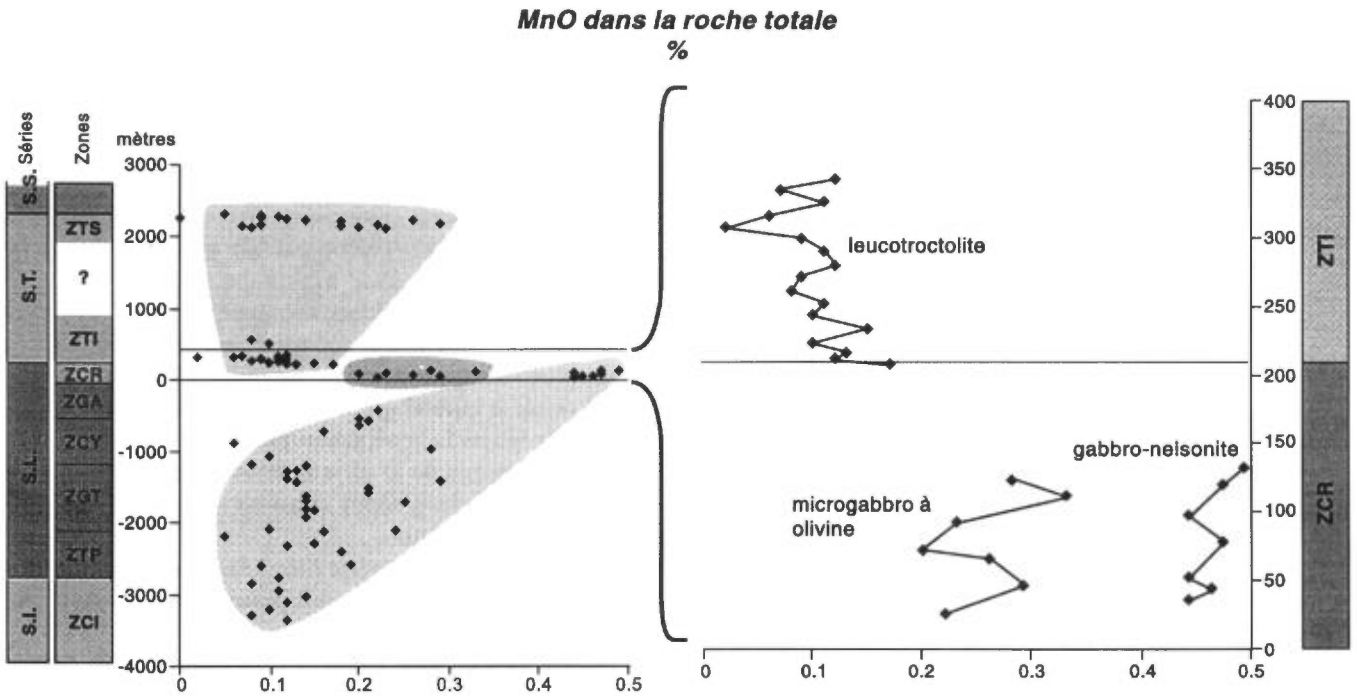


FIGURE 24 - Profil de variation du manganèse (% MnO dans la roche totale) à travers le Complexe de Sept-Îles. On peut noter un enrichissement jusqu'à la ZCR suivi d'une diminution dans la ZTI. Les valeurs regroupées à l'intérieur d'un petit champ dans la ZCR correspondent au microgabbro à olivine injectant le gabbro-nelsonite. Le schéma de droite détaille le profil de variation à travers la ZCR et la ZTI et les teneurs correspondant au microgabbro à olivine et au gabbro-nelsonite sont illustrées en profils séparés.

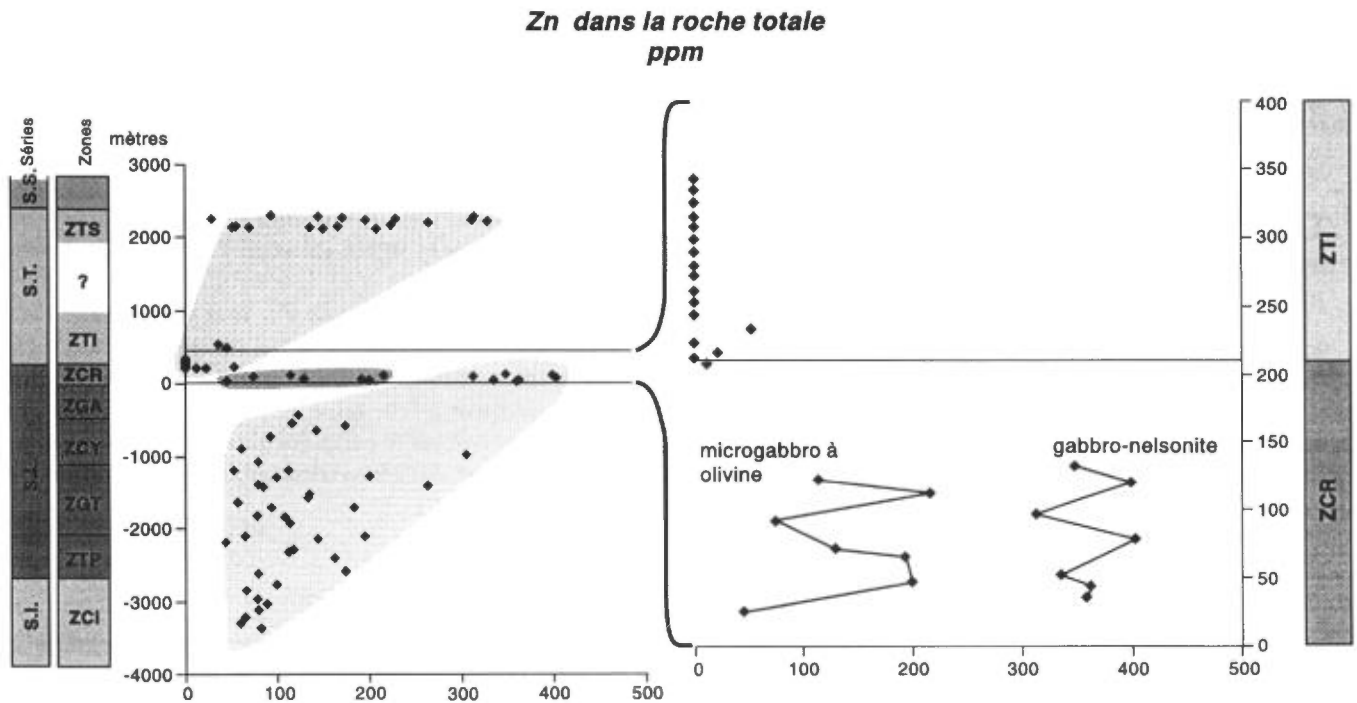


FIGURE 25 - Profil de variation du zinc (Zn en ppm dans la roche totale) à travers le Complexe de Sept-Îles. Le schéma de droite détaille le profil de variation à travers la ZCR et la ZTI et les teneurs correspondant au microgabbro à olivine et au gabbro-nelsonite sont illustrées en profils séparés.

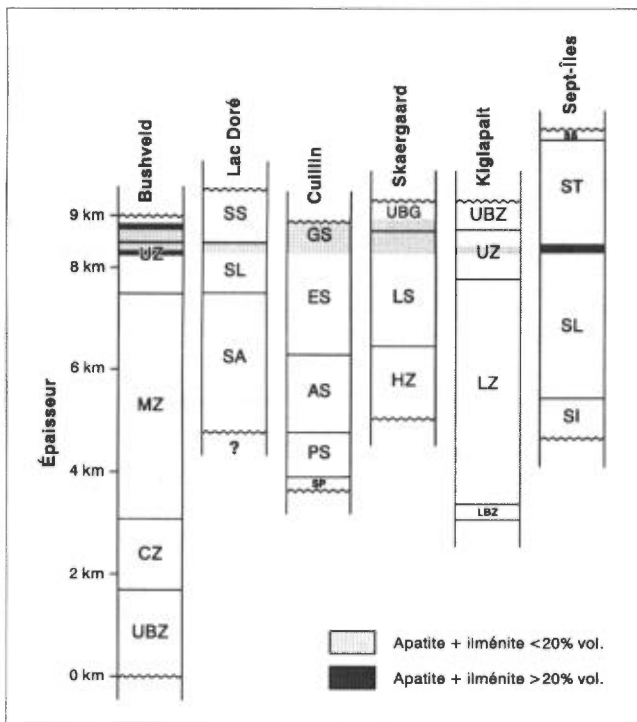


FIGURE 26 - Localisation stratigraphique des unités à apatite dans quelques intrusions et complexes mafiques stratifiés dans le monde. Les séquences enrichies en apatite apparaissent en gris et/ou en noir. Les abréviations utilisées pour identifier les différentes unités stratigraphiques sont conformes à celles habituellement utilisées dans la littérature.

séquence de gabbro-nelsonite et de gabbro à olivine formant la majeure partie de la zone critique.

CONCLUSION

1. Les séries inférieure et transitionnelle sont constituées en majeure partie de troctolites à grain grossier qui sont le produit final de la cristallisation de bouillies de cristaux de plagioclase. Ces bouillies ont été formées au cours d'étapes de différenciation magmatique à grande profondeur.

2. Dans les troctolites produites à partir de bouillies de cristaux de plagioclase, l'olivine est grossière, caractérisée par un habitus poecilitique et par la présence de minéraux d'exsolution en inclusion.

3. Ces troctolites contiennent de la magnétite avec des teneurs significatives de chrome.

4. Une particularité du Complexe de Sept-Îles, c'est l'omniprésence de spinelles alumineux zincifères comme minéral d'exsolution dans la magnétite et l'ilménite.

5. La cristallisation de minéraux mafiques et leur déposition dans des chambres magmatiques à grande profon-

deur peut expliquer l'absence probable d'une unité ultramafique à la base du Complexe de Sept-Îles.

6. Les quantités d'oxydes de fer et de titane présentes dans l'ensemble de la série litée seraient suffisantes pour causer l'anomalie gravimétrique apparentée au Complexe de Sept-Îles.

7. Les textures porphyroïdes observées à la base de la série litée indiquent la présence d'une quantité variable de plagioclase intratellurique. Cependant, leur apport n'était pas suffisant pour empêcher une déposition en couche et un arrangement parallèle des minéraux tabulaires. À travers les couches subséquentes de la série litée, la quantité de plagioclase intratellurique tend à diminuer et elle disparaît au niveau de la zone gabbroïque.

8. Le passage de la série inférieure à la série litée est progressif. Ces deux séries constituent ensemble un premier cycle magmatique.

9. Le passage de la série litée à la série transitionnelle est brusque et marque une discordance magmatique majeure.

10. La forte anomalie magnétique arquée située dans le tiers inférieur de la série transitionnelle doit être due à la présence d'unités stratiformes résultant d'un processus de différenciation et marquant vraisemblablement la fin d'un second cycle magmatique.

11. Au moins trois facteurs ont probablement contribué à provoquer les changements physico-chimiques qui ont favorisé l'apparition d'un liquide immiscible nelsonitique responsable de la formation de la partie supérieure de la série litée :

a) la présence dans la chambre magmatique d'un magma résiduel enrichi en éléments incompatibles incluant le phosphore ;

b) le fractionnement et l'accumulation d'une quantité importante de magnétite et d'ilménite ;

c) l'arrivée dans la chambre d'un nouvel apport de magma aphyrique et sa cohabitation avec le magma résiduel.

12. La proportion élevée de Fe, Ti et P de la série litée indique que les magmas en cause ont probablement été enrichis en ces éléments lors de processus de fractionnements antérieures à leur mise en place finale. Ce facteur doit aussi être considéré parmi les paramètres ayant contribué à l'apparition, dans le système, d'un liquide immiscible nelsonitique.

REMERCIEMENTS

L'auteur tient à remercier les docteurs Gilles Allard et Pierre Sauvé pour leurs conseils judicieux lors de la révision du texte. Le D^r Sauvé a aussi réalisé, sur une base bénévole, une partie des analyses à la microsonde. L'expertise de Jean-Pierre Tremblay de l'université Laval a été

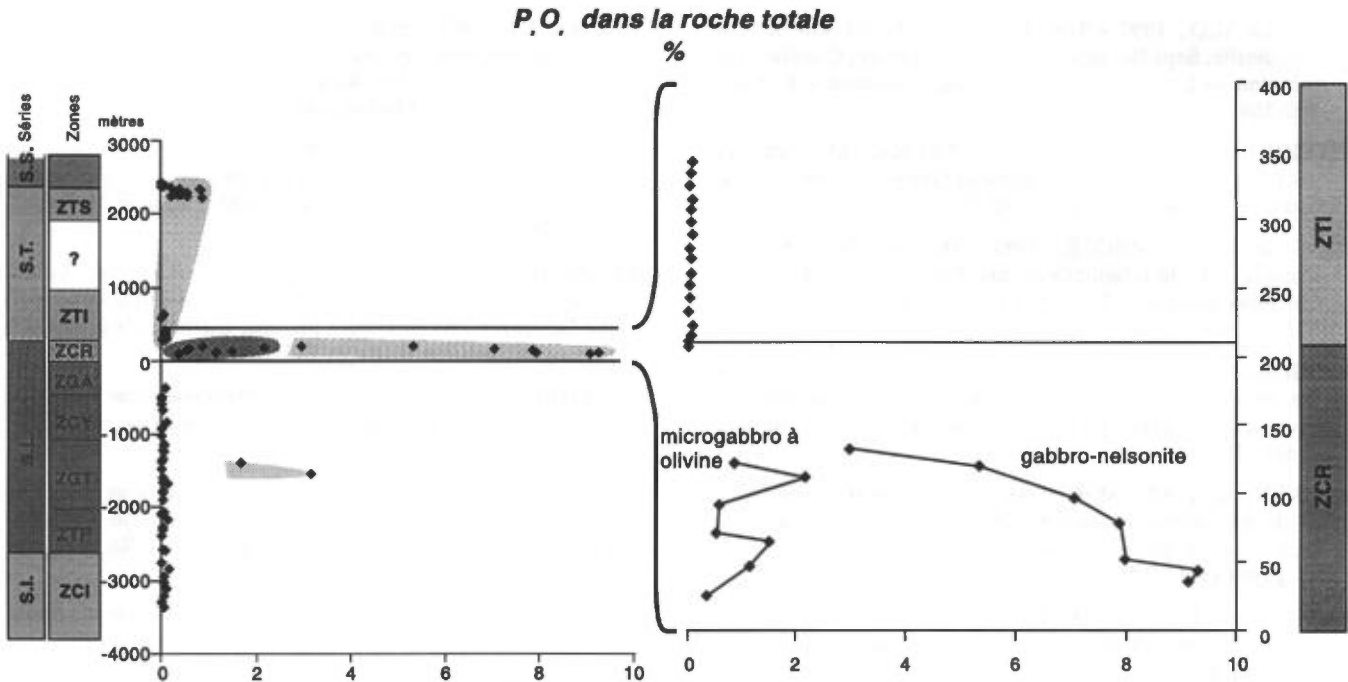


FIGURE 27 - Profil de variation du phosphore (% de P₂O₅ dans la roche totale) à travers le Complexe de Sept-Îles. Les enrichissements en phosphore sont confinés à l'intérieur de séquences bien délimitées en dehors desquelles les teneurs sont négligeables. L'enrichissement localisé à l'intérieur de la ZGT est lié, semble-t-il, à un fractionnement très localisé produit par une cellule de différenciation indépendante incluse dans le complexe. L'apatite s'y présente en cristaux très petits, concentrés en bordure des silicates ou inclus dedans, sans association précise avec les oxydes de fer et de titane. Le schéma de droite détaille le profil de variation à travers la ZCR et la ZTI. Les teneurs correspondant au microgabbro à olivine et au gabbro-nelsonite sont illustrées en profils séparés.

particulièrement précieuse tout au cours de l'exécution d'analyses à la microsonde et au microscope électronique à balayage. La collaboration de Jacques Babineau (Inco) et de James McCann (SOQUEM) fut grandement appréciée pour avoir facilité l'accès aux travaux de leur société. L'auteur tient à souligner l'intérêt et l'encouragement de plusieurs collègues de travail ainsi que l'assistance précieuse de Sylvain Lachance, Fabien Gagnon, Sylvie Morin et Patrick Armstrong lors de la réalisation des travaux sur le terrain.

RÉFÉRENCES

- BABINEAU, J. - BOOTH, R.B. - LAMBERT, R., 1992 - Exploration en éléments du groupe du platine dans le complexe mafique lité de Sept-Îles. 8^e Conférence du district n° 2 de l'ICM, 8 au 11 septembre 1992, Sept-Îles, Québec (non publié).
- BIRD, D.K. - BROOKS, C.K. - GANNICOTT, R.A. - TURNER, P.H., 1991 - A gold bearing horizon in the Skaergaard intrusion, East Greenland. *Economic Geology*; volume 86, pages 1083-1092.
- CIMON, J., 1993 - Stratification lithologique et minéralogique du Complexe de Sept-Îles. Résumé des conférences; Séminaire d'information 1995. Ministère des Ressources naturelles, Québec; DV 93-03, pages 17-20.
- CIMON, J., 1994 - L'apatite de Sept-Îles. Ministère des Ressources naturelles du Québec; PRO 94-08, 6 pages.
- COMMISSION GÉOLOGIQUE DU CANADA, 1994 - Base de données gravimétriques, Ottawa, Ontario.
- COTNOIR, D., 1994 - Concentration de l'apatite d'un minerai d'anorthosite du nord de Sept-Îles. Projet 7211J048. Centre de recherches minérales, ministère des Ressources naturelles, Québec; (rapport interne).
- DARLING, R.S. - FLORENCE, F.P., 1995 - Apatite light Rare Earth element chemistry of the port Leiden nelsonite, Adironda Highlands, New York: implication for the origin of nelsonite in anorthosite suite rocks. *Economic Geology*, volume 90, pages 964-968.
- DION, D.-J. - AUTHIER, K. - CIMON, J. - FENNINGER, T., 1998 - Interprétation gravimétrique du complexe mafique stratifié de Sept-Îles. Dans: *Le Complexe de Sept-Îles, partie II*. Ministère des Ressources naturelles du Québec; ET-97-05, pages 33-41.
- DION, D.-J. - DUMONT, R., 1994 - Diffusion des données numériques (mailles du champ magnétique total résiduel), Territoire du Québec. Ministère des Ressources naturelles, Québec; MB 95-25X.
- DOIG, R. - BARTON, J.M., 1968 - Ages of carbonatites and other alkaline rocks in Québec. *Canadian Journal of Earth Sciences*; volume 5, pages 1401-1407.
- FAESLER, C., 1942 - Région de Sept-Îles, Côte-Nord du Saint-Laurent, comté de Saguenay, Québec. Ministère des Mines du Québec; RG-11.

- HIGGINS, M.D., 1991 - The origin of laminated and massive anorthosite, Sept-Îles layered intrusion, Quebec, Canada. *Contribution to Mineralogy and Petrology* ; volume 106, pages 340-354.
- HIGGINS, M.D. - DOIG, R., 1977 - 540 Myr-old anorthosite complex in the Grenville province of Québec, Canada. *Nature (London)* ; volume 167, pages 40-41.
- HIGGINS, M.D. - DOIG, R., 1981 - The Sept-Îles anorthosite Complex : Field relationships, geochronology and Petrology. *Canadian Journal of Earth Sciences* ; volume 18, pages 561-573.
- HIGGINS, M.D - DOIG, R., 1986 - Geochemical constraints on the differentiation processes that were active in the Sept-Îles Complex. *Canadian Journal of Earth Sciences* ; volume 23, pages 670-681.
- KOLKER, A., 1982 - Mineralogy and Geochemistry of Fe-Ti, oxide and apatite (nelsonite) deposits and evaluation of the liquid immiscibility hypothesis. *Economic Geology* ; volume 77, pages 1146-1158.
- KUMARAPELI, P.S. - SAULL, V.A., 1966 - The St.Lawrence Valley System : A North American equivalent of the East African Rift Valley System. *Canadian Journal of Earth Sciences* ; Volume 3, pages 639-658.
- KUMARAPELI, P.S., 1985 - Vestiges of Iapetan rifting in the craton of the northern Appalachians. *Geosciences Canada* ; volume 12, pages 54-59.
- LONCAREVIC, B.O. - FEINNINGER, T. - LEFEBVRE, D., 1990 - The Sept-Îles layered mafic intrusion : geophysical expression. *Journal canadien des sciences de la Terre* ; volume 27, numéro 4, pages 501-512.
- Mc Cann, A.J., 1997 - Exploration and développement of apatite-ilmenite: the Sept-Îles project of Norsk-Hydro - SOQUEM. *Proceedings of the 23rd Annual Forum on the Geology of Industrial Minerals, Québec city, Québec.*
- MILLER, J.D. Jr - WEIBLEN, P.W., 1990 - Anorthosite rocks of the Duluth Complex : Examples of rocks formed from plagioclase crystal mush. *Journal of Petrology* ; volume 31, Part 2, pages 295-339.
- OWENS, B.E. - DYMEK, R.F., 1992 - Fe-Ti-P-Rich Rocks and Massif Anorthosite : Problems of interpretation illustrated from the Labrieville and St-Urbain plutons, Quebec. *Canadian Mineralogist* ; volume 30, pages 163-189.
- PHILPOTTS, A.R., 1967 - Origin of certain iron-titanium oxide and apatite rocks. *Economic Geology* ; volume 62, pages 303-315.
- VON GRUENEWALDT, G., 1993 - Ilmenite-apatite enrichments in the upper zone of the Busheld Complex, a major titanium-rock phosphate resource. *International Geology Review* ; volume 35, number 11, pages 987-1000.
- WAGER, L.R., - BROWN, G.N., 1967 - Layered igneous rocks. W.H. Freeman and Co ; 588 pages.
- WYNNE-EDWARDS, H.R., 1972 - The Grenville Province, *in* : Variations in tectonic style in Canada (R.A. Price and R.Y.W. Douglas, editor). *Geological Association of Canada ; Special Paper 11*, pages 203-334.
- WATSON, T.L. - TABER, S., 1913 - Geology of the titanium and apatite deposits of Virginia. *Virginia Geological Survey Bulletin* 111-A.

- II -

Interprétation gravimétrique du Complexe mafique stratifié de Sept-Îles

Denis-Jacques Dion
Karine Authier¹
Jules Cimon
Thomas Feininger²

ET 97-05

RÉSUMÉ

Le Complexe de Sept-Îles, d'âge cambrien, forme une grande masse mafique stratiforme ayant un diamètre d'environ 80 km et une surface d'environ 5000 km². L'interprétation gravimétrique de cet intrusif effectuée en 1990 par Loncarevic *et al.*, postule l'existence d'une série ultramafique basale parce que la densité assignée à la série litée n'était pas suffisante pour produire par elle-même l'anomalie de Bouguer observée. Des forages qui furent implantés plus tard par Inco Exploration, Technologies et Services inc. ont révélé que la série ultramafique postulée n'existait pas aux profondeurs prévues par le modèle et que les densités mesurées à partir d'échantillons provenant d'affleurements situés à divers niveaux dans la série litée étaient inférieures à celles mesurées en forages. Ces observations ont permis d'entreprendre une réinterprétation de l'anomalie gravimétrique et, de ce fait, redéfinir l'intrusion mafique stratiforme.

À partir des données des forages disponibles, il a été possible de définir 7 étages ainsi que leur densité respective. Ces densités ont ensuite été utilisées pour réinterpréter l'anomalie de Bouguer à l'aide du logiciel GM-SYS. Le modèle a pu être réalisé grâce aux informations contenues dans le rapport de l'interprétation gravimétrique de 1990 et grâce aux travaux de Cimon (partie I) portant sur la géologie de la région et sur les mécanismes de mise en place de l'intrusion.

Conformément aux mesures de densités effectuées à partir des carottes de forages et à l'interprétation des données gravimétriques, il est évident que l'enrichissement en fer des minéraux ferromagnétiques diminue légèrement avec la profondeur et de ce fait la densité des roches diminue aussi. Le modèle réinterprété semble respecter les conditions générales de profondeur qui étaient mises de l'avant dans l'ancien modèle et les résultats obtenues des nouveaux travaux de géologie. Par contre, la précision du modèle pourrait probablement être améliorée si de l'information supplémentaire était disponible.

1 - École polytechnique

2 - Université Laval

INTRODUCTION

Le Complexe mafique stratifié de Sept-Îles est située sur la rive nord du fleuve Saint-Laurent, en face de la péninsule de Gaspé et à 500 km en aval de la ville de Québec. Ses roches ignées s'associent à une grande intrusion ayant une surface d'environ 5000 km² et elles sont datées du Cambrien. Le Complexe de Sept-Îles se compose de quatre séries superposées, identifiées de la base au sommet comme la série inférieure, la série litée, la série transitionnelle et la série supérieure. Les trois premières sont constituées essentiellement de cumulats alors que la série supérieure s'est formée, semble-t-il, à partir d'une matre résiduelle riche en silice. Une enveloppe démarquant les séries de l'encaissant grenvillien et identifiée comme la zone de bordure, fait aussi partie du complexe.

À partir de levés gravimétriques et magnétiques, Loncarevic *et al.* (1990) ont établi une géométrie tridimensionnelle du Complexe de Sept-Îles en le décrivant comme une masse quasi circulaire d'un diamètre de 80 km, dont la forme ressemble à celle d'un entonnoir d'environ 5,6 km de profondeur au centre, et d'un volume d'environ 20 000 km³. Ces caractéristiques en font, loin derrière le Bushveld cependant, l'une des plus importantes intrusions stratifiées ignées au monde (Feininger, 1986). Dans l'article de Loncarevic *et al.* (1990), les auteurs ont postulé l'existence d'une série ultramafique basale parce que la densité assignée à la série litée, mesurée à partir des échantillons de surface (les seuls disponibles à cette date), n'était pas suffisante pour produire l'anomalie de Bouguer observée.

Par la suite, une étude de Cimon (1995), portant sur les carottes de forages prélevés par Inco Exploration, Technologies et Services inc. a révélé que l'hypothétique série ultramafique basale n'existait pas aux profondeurs estimées dans le modèle. En plus, la densité moyenne des roches de la série litée était substantiellement plus élevée que la valeur obtenue à partir des échantillons de surface.

En bref, les forages implantés par Inco Exploration, Technologies et Services inc. ont généré un doute sur l'existence de la série ultramafique. Cependant, les densités mesurées sur les roches des séquences forées se sont avérées suffisantes pour expliquer l'anomalie de Bouguer. Ce rapport propose donc une réinterprétation de l'anomalie gravimétrique en tenant compte des observations récentes de Cimon (partie I de ce rapport).

INTERPRÉTATION GRAVIMÉTRIQUE

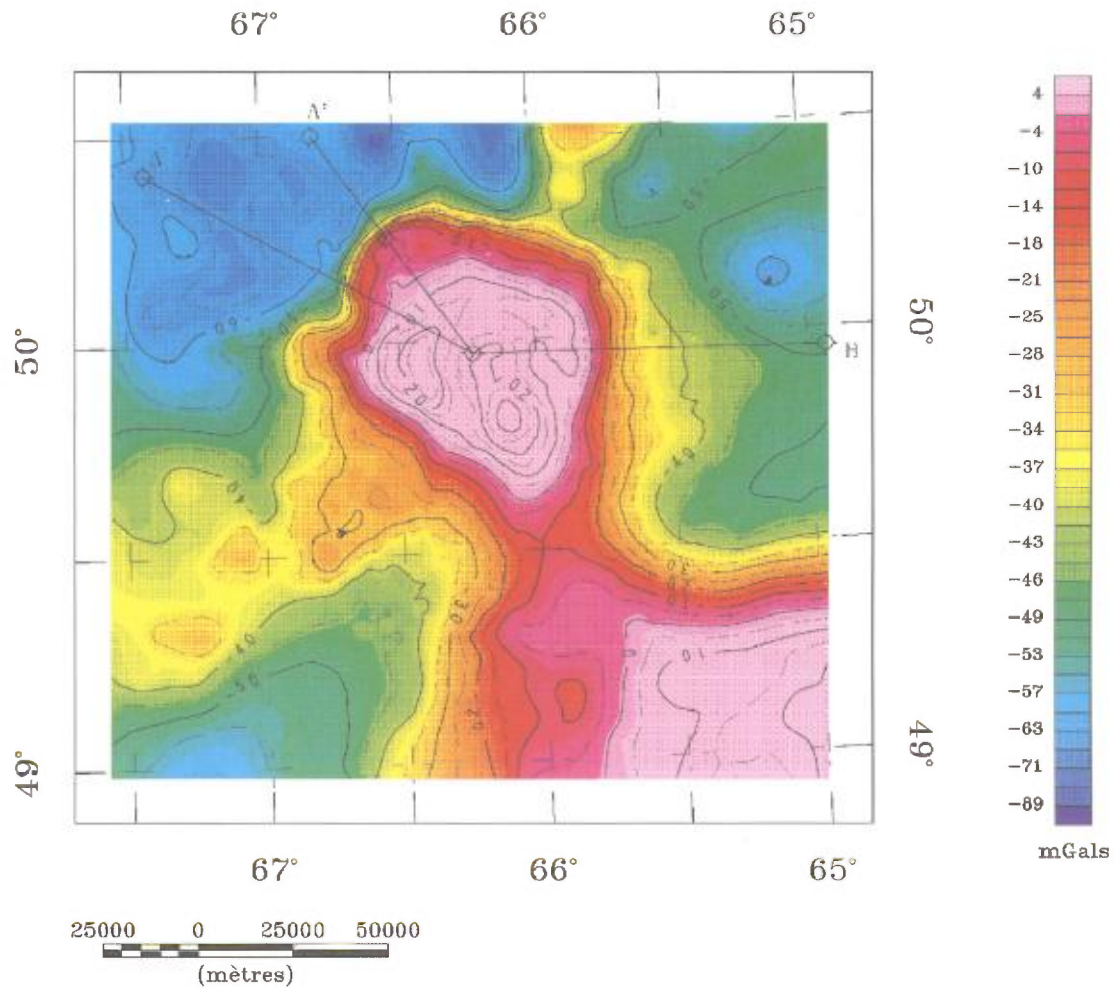
Généralités

L'anomalie de Bouguer, située au voisinage de Sept-Îles, est probablement l'anomalie positive la plus importante de l'est de l'Amérique du Nord. Cette anomalie est quasi circulaire en plan et possède un diamètre d'environ 80 km. Son centre est sous le fleuve Saint-Laurent à 49° 58' N et 66° 12' 30" W. L'amplitude de l'anomalie atteint 80 mGals par rapport au milieu ambiant. La variation de l'anomalie peut atteindre jusqu'à 10 mGals / km au nord, par contre, elle est beaucoup plus faible au sud et au sud-est. La forme quasi circulaire de l'anomalie et la présence d'un maximum au centre, reflètent la symétrie radiale du Complexe mafique de Sept-Îles.

La modélisation de Loncarevic *et al.* (1990) présentait un modèle établi à partir de deux coupes correspondant aux azimuts 300° et 90° et dont le point charnière est le centre de l'anomalie (figure 1). La réinterprétation utilise la même coupe d'azimut 90°, mais la seconde passe par le forage 84698 effectué par Inco Exploration, Technologies et Services inc. (voir Cimon partie I de ce rapport).

La carte de l'anomalie de Bouguer (figure 1) a été produite en maillant les données gravimétriques disponibles à la Commission Géologique du Canada (C.G.C., 1984). De la maille de ces données, les coupes dont il est fait mention ci-haut ont été extraites. Ensuite une rotation de 55° a été effectuée dans le sens anti-horaire à la coupe d'azimut 325° pour permettre une modélisation symétrique du complexe.

Une composante régionale, inspirée largement de Loncarevic *et al.* (1990), a été soustraite de l'anomalie de Bouguer extraite précédemment, pour obtenir l'anomalie de Bouguer résiduelle. Cette anomalie résiduelle a été utilisée pour la modélisation et elle représente l'influence gravitationnelle du Complexe de Sept-Îles. Le logiciel utilisé pour la modélisation a été GM-SYS de la firme Northwest Geophysical Associates Inc. Ce logiciel travaille en 2 ½ dimensions puisqu'on peut modifier la portée du modèle selon l'axe des Y. La méthode utilisée pour calculer la réponse du modèle gravimétrique est basée sur la méthode de Talwani *et al.* (1959), et de Talwani et Heirtzler (1964) et elle utilise les algorithmes décrits par Won et Bevis



A - B Profil de la modélisation de Loncarevic et *al.* (1990)

A' - B Profil de la nouvelle modélisation (cette étude)

FIGURE 1 - L'anomalie de Bouguer du Complexe mafique stratifié de Sept-Îles.

(1987). Les calculs pour la modélisation en 2 ½ dimensions utilisent la théorie de Rasmussen et Pedersen (1979).

Les densités des roches

Avant d'entreprendre la modélisation, il a fallu définir les différentes couches ou étages du modèle ainsi que leur densité respective. Les échantillons des forages 84698 et 84699 d'Inco Exploration, Technologies et Services inc. étaient disponibles. On a d'abord mis en graphique les déterminations de la densité en fonction de la profondeur de l'échantillon. Les résultats de cette mise en page sont illustrés à la figure 2. À partir de ces mesures, de la géologie du Complexe stratifié de Sept-Îles (Cimon, partie I de ce rapport) et de l'article de Loncarevic *et al.* (1990), il est possible de définir sept (7) étages distincts. On trouve, au tableau 1, la densité moyenne ρ_x et la densité pondérée ρ_y de chacun des étages. Les densités utilisées dans le modèle correspondent à celles qui ont été pondérées en fonction de l'épaisseur de l'étage. On trouve aussi, dans ce tableau, le nombre d'échantillons disponibles et l'écart-type de la densité moyenne calculée pour chacun des étages. Les forages 84698 et 84699 débutent à des niveaux stratigraphiquement différents et se chevauchent sur une épaisseur de plus d'un kilomètre. La corrélation des séquences se chevauchant n'a cependant pas pu être établie de façon exacte.

L'encaissant correspond à des gneiss du Grenville dont la densité de 2,76 g/cc fut calculée à partir de 139 échantillons (Loncarevic *et al.* (1990).

Le premier étage du modèle correspond à la zone coronitique inférieure (ZCI). Il a une densité moyenne pondérée de 2,90 g/cc qui fut calculée à partir de 663 échantillons provenant du forage 84699 (de 1725 à 2535 m sous la surface).

Le 2e étage correspond à la zone de troctolite porphyroïde (ZTP) et à la partie inférieure de la zone de gabbro-troctolite (ZGT inf.). Sa densité est de 3,12 g/cc. Elle a été calculée à partir de 922 échantillons provenant du forage 84699 (de 1129 à 1725 m de profondeur) et du forage 84698 (de 1302 à 1925 m de profondeur).

Le 3e étage a une densité de 3,23 g/cc et correspond à la partie supérieure de la zone de gabbro-troctolite (ZGT sup.). La densité calculée provient de 344 déterminations effectuées sur les échantillons compris entre 900 et 1302 m de profondeur (forage 84698).

Le 4e étage correspond à la zone cyclique (ZCY). Elle a une densité de 3,03 g/cc calculée à partir de 545 mesures prises entre 240 et 900 m de profondeur sur les échantillons du forage 84698.

La zone gabbroïque (ZGA) compose le 5e étage. Sa densité qui est de 3,19 g/cc, fut obtenue à partir de 183

échantillons localisés dans la portion inférieure de cette zone et correspondant au 240 premiers mètres du forage 84698. Il fut nécessaire d'assumer que les roches de la partie supérieure de cette zone, non forée, avaient la même densité.

Le 6e étage correspond à la zone critique (ZCR). Il a une densité de 3,43 g/cc calculée à partir de 12 échantillons provenant de forages (voir Cimon partie I figure 2 pour la localisation), gracieuseté de SOQUEM. Les échantillons s'étalent de 25 à 131 m de profondeur. Comme l'épaisseur de cette couche du modèle est la plus faible, le nombre limité d'échantillons ayant servi à sa définition est acceptable.

Le 7e et dernier étage correspond à la série transitionnelle. Il a une densité de 2,84 g/cc. Cette densité qui a été évaluée à partir de 216 échantillons a été présentée dans les travaux de Loncarevic *et al.* (1990).

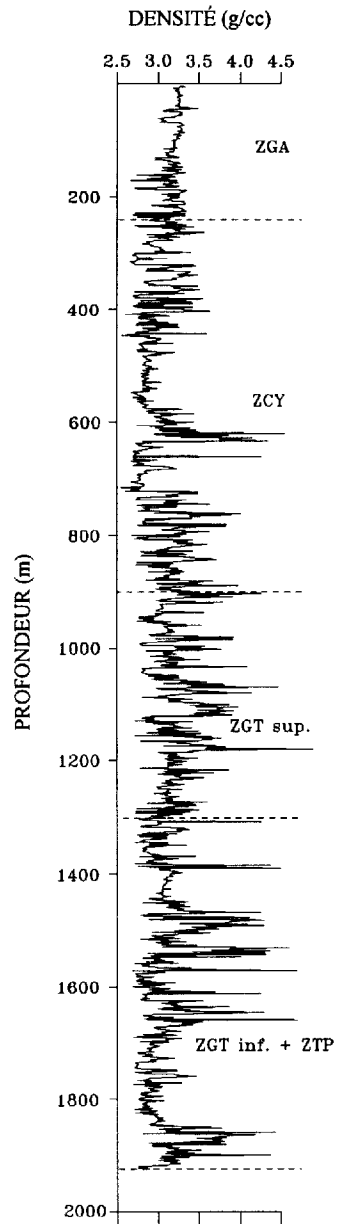
Les nombreux dykes coupant la partie supérieure de la zone transitionnelle, ont une densité de 3,04 g/cc. Cette densité fut calculée à partir de 36 échantillons (Loncarevic *et al.*, 1990).

MODÉLISATION

En utilisant les densités mesurées sur 530 échantillons ainsi que quelques spéculations, Loncarevic *et al.* (1990) arrivèrent à un contraste de densité de 0,35 g/cc pour l'intrusion. Comme la densité moyenne de la série litée ($\Delta\rho = 0,29$ g/cc), basée sur 135 mesures, était insuffisante pour être responsable seule de l'anomalie, les auteurs, dans leur modèle, ont proposé une série inférieure profonde, de composition ultramafique, d'une densité égale à 3,3 g/cc. Quatre échantillons de pyroxénite ($\rho = 3,26$ g/cc) de la séquence stratigraphique la plus profonde et affleurant en surface ont été interprétés comme faisant partie de la portion supérieure de cette série inférieure hypothétique. Dans ce modèle proposé cette série cachée comptait pour le tiers de la valeur de l'anomalie de Bouguer résiduelle.

Les forages profonds d'Inco Exploration, Technologies et Services inc. ont permis de mieux définir une portion de l'intrusion de Sept-Îles en profondeur et de mesurer, avec grande précision, les densités des étages du modèle (voir le tableau 1 et la figure 2). La densité moyenne mesurée à partir des échantillons en forage est significativement plus élevée que celle obtenue uniquement à partir des échantillons de surface.

En tenant compte des épaisseurs et des limites des étages définis précédemment, des contacts géologiques et de la structure (Cimon, partie I, figure 2), il a été possible de

FORAGE - 84698

- ZGA : Zone gabbroïque
- ZCY : Zone cyclique
- ZGT sup. : Zone de gabbro-troctolite supérieure
- ZGT inf. + ZTP : Zone de gabbro-troctolite inférieure et zone de troctolite porphyroïde
- ZCI : Zone coronitique inférieure

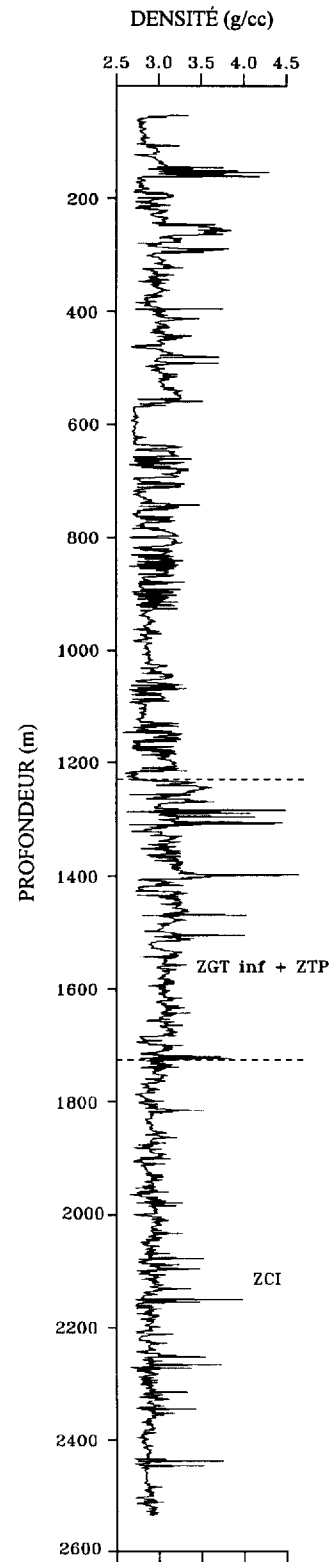
FORAGE - 84699

FIGURE 2 - Variation de la densité des roches en fonction de leur profondeur dans les forages d'Inco Exploration, Technologies et Services inc.

TABLEAU 1 - Densité de la série litée et de la série transitionnelle du Complexe mafique et stratiforme de Sept-Îles.

	Unité	N	ρ_x	ρ_y	ρ_{\max}	ρ_{\min}	Écart-type
Série transitionnelle	GT	36	3.04	3.04	3.68	2.83	0.13
	ST + SS	216	2.84	2.84	3.30	2.65	0.11
Série litée	ZCR	12	3.58	3.43	4.64	2.94	0.48
	ZGA	183	3.17	3.19	3.48	2.66	0.15
	ZCY	545	3.04	3.03	4.55	2.55	0.30
	ZGT sup.	344	3.25	3.23	4.89	2.72	0.31
	ZGT inf. + ZTP	922	3.14	3.12	4.70	2.62	0.34
	ZCI	663	2.91	2.90	3.98	2.66	0.14

GT	: Gabbro tardif
ST+SS	: Série transitionnelle et série supérieure
ZCR	: Zone critique
ZGA	: Zone gabbroïque
ZCY	: Zone cyckique
ZGT sup.	: Zone de gabbro-troctolite supérieure
ZGT inf. + ZTP	: Zone de gabbro-troctolite inférieure et zone de troctolite porphyroïde
ZCI	: Zone coronitique inférieure
N	: Nombre de mesures
ρ_x et ρ_y	: Densité moyenne, densité pondérée

reporter, sur l'anomalie de Bouguer résiduelle choisie pour la réinterprétation, les contacts géologiques de surface et les attitudes des étages du complexe.

La densité moyenne des roches de la Province du Grenville (2,76 g/cc) est plus faible que celles des unités du complexe mafique stratiforme de Sept-Îles. En général, les roches au nord-ouest du complexe sont moins denses (densité moyenne de 120 échantillons : 2,75 g/cc) que celles répertoriées au nord-est (densité moyenne de 19 échantillons : 2,82 g/cc) (Loncarevic *et al.*, 1990). Cette petite différence a été ignorée, aussi bien dans cette modélisation que dans la précédente. Cependant, elle pourrait expliquer le faible gradient de l'anomalie à l'est de l'intrusion.

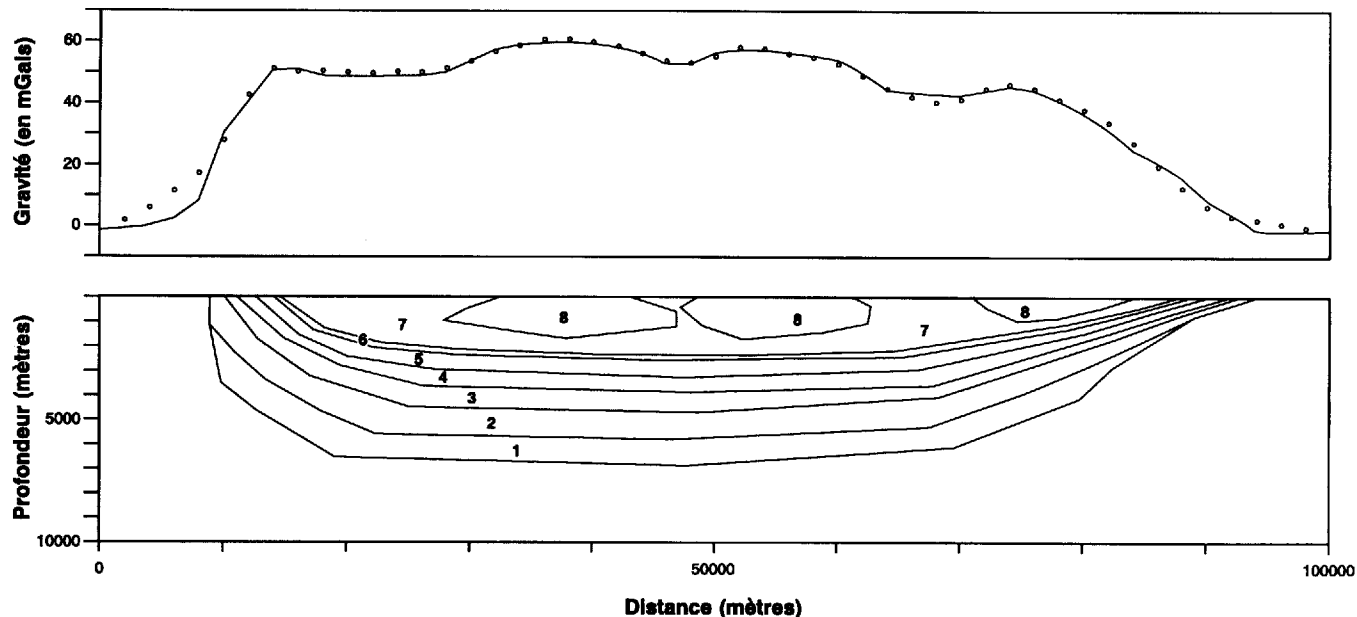
Les densités des couches calculées à partir des échantillons des forages d'Inco Exploration, Technologies et Services inc. devraient être des valeurs représentatives, puisqu'un grand nombre d'échantillons étaient disponibles. Les densités moyennes des roches de la série supérieure et de la série transitionnelle sont pratiquement identiques. On a jumelé, dans notre modélisation, ces deux séries en une seule couche à laquelle on a attribué la densité moyenne de 2,84 g/cc. Cette simplification est justifiée par la faible

épaisseur (< 1 km) de la série supérieure (Loncarevic *et al.*, 1990).

Le modèle a été réalisé en fixant la portée selon l'axe des Y à ± 30 km pour toutes les couches du modèle. La valeur de ± 30 km pour les couches a été choisie en tenant compte du rayon de l'anomalie qui est d'environ 40 km.

On remarque que la courbe calculée de la partie nord-ouest (partie gauche de la figure 3) du modèle ne suit pas exactement la courbe de l'anomalie de Bouguer résiduelle qui fut extraite de la maille des données. Ce manque de correspondance peut être expliqué par le peu de points de mesure à cet endroit. En effet, dans cette portion du profil extrait, les stations de mesure sont plus éloignées les unes des autres. La courbe choisie comporte donc une grande part d'extrapolation et elle pourrait être différente si quelques stations de mesure supplémentaires étaient ajoutées dans cette région.

Sans faire intervenir une série inférieure très dense, le modèle respecte l'anomalie de Bouguer résiduelle. De plus, l'épaisseur d'environ 6,5 km du modèle révisé respecte celle basée sur les interprétations magnétiques et sismiques de Loncarevic *et al.* (1990, p. 504). Le modèle gravimétrique



- | | | | |
|----------|-----------------------|----------|---|
| 8 | GT | : | Gabbro tardif |
| 7 | ST+ SS | : | Série transitionnelle et série supérieure |
| 6 | ZCR | : | Zone critique |
| 5 | ZGA | : | Zone gabbroïque |
| 4 | ZCY | : | Zone cyclique |
| 3 | ZGT sup. | : | Zone de gabbro-troctolite supérieure |
| 2 | ZGT inf. + ZTP | : | Zone de gabbro-troctolite inférieure et zone de troctolite porphyroïde |
| 1 | ZCI | : | Zone coronitique inférieure |

FIGURE 3 - Interprétation gravimétrique du Complexe massif stratiforme de Sept-Îles. Dans la partie supérieure de la figure, on trouve la valeur ponctuelle de l'anomalie de Bouguer (extrapolée de la maille de données ayant servies à produire la figure 1) et en trait continu, la réponse du modèle gravimétrique correspondant à la partie inférieure de la figure. L'échelle verticale de la profondeur a été multipliée par un facteur 2.

(figure 3) montre que l'intrusion a une forme d'entonnoir car elle est plus épaisse au centre. Le centre pourrait se trouver au-dessus de la source. Il existerait probablement une cheminée liée à une source subcrustale. Peut-être qu'une poussée finale de magma serait responsable de la mise en place des gabbros tardifs qui occupent le centre de l'intrusion. Les mécanismes de mise en place sont expliqués dans la première partie du présent rapport.

CONCLUSION

Le Complexe de Sept-Îles forme une grande masse mafique stratiforme d'une surface d'environ 5000 km² et d'âge cambrien. Selon les cartes géophysiques et l'interprétation, l'intrusion est quasi circulaire en plan et elle a un diamètre d'environ 80 km.

Suite à l'interprétation gravimétrique de l'intrusif effectuée en 1990 par Loncarevic *et al.*, l'existence d'une série ultramafique basale fut postulée parce que la densité assignée à la série litée n'était pas suffisante pour produire par elle-même l'anomalie de Bouguer observée. Les forages implantés par Inco Exploration, Technologies et Services inc. ont révélé que la série ultramafique postulée n'existait pas aux profondeurs prévues par le modèle et que les densités mesurées à partir d'échantillons provenant d'affleurements situés à divers niveaux dans la série litée étaient inférieures à celles mesurées en forages. Ces observations ont permis d'entreprendre une réinterprétation de l'anomalie gravimétrique et de ce fait de redéfinir l'intrusion mafique stratiforme.

À partir des données des forages disponibles, il a été possible de définir 7 étages ainsi que leur densité respective. Ces densités ont ensuite été utilisées pour réinterpréter l'anomalie de Bouguer à l'aide du logiciel GM-SYS. Le modèle a pu être réalisé grâce aux informations contenues

dans le rapport de Loncarevic *et al.* (1990) et grâce aux travaux de Cimon (partie I) portant sur la géologie de la région et sur les mécanismes de mises en place de l'intrusion.

Conformément aux mesures de densités effectuées à partir des carottes de forages et à l'interprétation des données gravimétriques, il est évident que l'enrichissement en fer des minéraux ferromagnétiques diminue légèrement avec la profondeur et de ce fait la densité des roches diminue aussi (tableau 1 et figure 2). Le modèle réinterprété semble respecter les conditions générales de profondeur qui étaient mises de l'avant dans l'ancien modèle et les résultats obtenues des nouveaux travaux de géologie. Par contre, la précision du modèle pourrait probablement être améliorée si de l'information supplémentaire était disponible. Par exemple, des stations de mesure gravimétriques plus rapprochées au nord du profil pourraient améliorer la définition du contact de l'intrusif avec les gneiss grenviliens encaissants.

RÉFÉRENCES

- Cimon, J., 1995 - Le Complexe de Sept-Îles mérite-t-il une place parmi les principales intrusions mafique dans le monde. *Dans* La science au service de l'exploration ; ministère des Ressources naturelles, Québec ; DV 95-04.
- Cimon, J., 1997 - L'unité à apatite de la rivière des rapides, Complexe de Sept-Îles : localisation stratigraphique et facteurs à l'origine de sa formation. *Dans* Le Complexe de Sept-Îles ; ministère des Ressources naturelles, Québec ; ET 97-05, partie I.
- CGC, 1994 - Base des données gravimétriques. Ministère des Ressources naturelles, Ottawa, Ontario.
- Feininger, T., 1986 - A major layered mafic intrusion at Sept-Îles, Québec. Geological Association of Canada ; Program with Abstracts ; volume 2, page 68.
- Loncarevic, B.D. Feininger, T. Lefebvre D.L., 1990 - The Sept-Îles layered mafic intrusion : geophysical expression. Canadian Journal of Earth Sciences ; volume 27, number 4, pages 501-512.
- Rasmussen, R.T. Pedersen, L.B., 1979 - End corrections in potential field modeling. Geophysical Prospecting ; number 27, pages 749-760.
- Talwani, M. Heirtzler, J.R., 1964 - Computation of magnetic anomalies caused by two-dimensional bodies of arbitrary shape. *In* Computers in the mineral industries, Part 1, Parks, G.A., editor. Stanford University, Geological Sciences ; number 9, pages 464-480.
- Talwani, M. Worzel, J.L. Landisman, M., 1959 - Rapid gravity computation for two-dimensional bodies with applications to the Mendocino submarine fracture zone. Journal of Geophysical Research ; number 64, pages 49-59.
- Won, I.J. Bevis, M., 1987 - Computing the gravitational and magnetic anomalies due to a polygon : Algorithms and Fortran subroutine. Geophysics ; number 52, pages 232-238.



Gouvernement du Québec
Ministère des Ressources naturelles
Secteur des mines