

## Les grands traits géologiques de la ceinture archéenne de roches vertes de Suomussalmi-Kuhmo (Finlande orientale)

par SYLVAIN BLAIS \*, BERNARD AUVRAY \*, JEAN-MICHEL BERTRAND \*\*, RAYMOND CAPDEVILA \*,  
JEAN HAMEURT \* et PHILIPPE VIDAL \*

*Mots clés.* — Péridotite (Komatiite), Picrite, Gabbro, Séquence pélitique métamorphique, Basalte, Tholéitique, Rhyolite, Andésite, Composition calcoalcaline, Faciès schiste vert, Datation Rb-Sr, Arc insulaire, Archéen, Protérozoïque inférieur, Finlande (Suomussalmi-Kuhmo).

*Résumé.* — La ceinture archéenne de roches vertes de Suomussalmi-Kuhmo est constituée, de bas en haut, par : a) les produits d'un cycle volcanique inférieur de nature komatiitique et tholéitique *s. str.*, b) des métasédiments pélitiques et grauwaackeux, et c) les produits d'un cycle volcanique supérieur de nature andésitique. Cet ensemble correspond à un arc insulaire ensimatique adjacent à un domaine continental. Il constitue la superstructure d'un orogène majeur qui a affecté la Finlande centrale à la fin de l'Archéen.

*Abstract.* — The Archean Greenstone-belt of Suomussalmi-Kuhmo is mainly constituted by the following sequence, from bottom to top : a) products of a lower volcanic cycle of komatiitic and tholeiitic composition, b) metasediments (pelites and greywackes) and c) products of an upper volcanic cycle mainly andesitic in composition. This suite corresponds to an ensimatic island-arc adjacent to a continental area. It forms the superstructure of a main orogen which extended in Central Finland during late Archean.

Les « ceintures archéennes de roches vertes » sont des associations de roches vertes, métasédiments et granitoïdes, caractéristiques de la croûte archéenne en Afrique du Sud et de l'Est, Amérique du Nord, Australie occidentale et Inde [B. F. Windley, 1973 ; D. R. Hunter, 1974 ; C. R. Anhaeusser, 1975 ; A. Y. Glikson, 1976 ; etc.]. Suivant une expression imagée de K. C. Condie [1976] elles se présentent en « fragments discontinus... engloutis dans une mer granito-gneissique ». Les relations chronologiques entre les ceintures et le socle granito-gneissique qui les entoure font l'objet de nombreuses discussions, certains considérant que les ceintures sont des enclaves d'une croûte océanique primitive antérieure aux formations granito-gneissiques, [C. R. Anhaeusser, 1973 a et b ; A. Y. Glikson, 1971, 1972, etc.], d'autres soutenant que les ceintures sont postérieures au socle granito-gneissique [B. F. Windley, 1973 ; B. F. Windley et D. Bridgwater, 1971, etc.].

Des « ceintures archéennes de roches vertes » typiques, viennent d'être reconnues en tant que telles dans le bouclier Baltique, en Finlande et en U.R.S.S. [Blais *et al.*, 1976 ; D. R. Bowes, 1976 ; G. Gaál *et al.*, 1976 ; S. B. Lobach-Zhuckenko *et al.*,

1976 ; T. Mutanen, 1976 et S. N. Suslova, 1976]. Dans ce qui suit nous exposons nos premiers résultats sur la ceinture de Suomussalmi-Kuhmo, qui semble être la plus caractéristique de Finlande et dont les particularités peuvent contribuer au débat sur la signification paléogéodynamique des ceintures archéennes de roches vertes.

1) La ceinture de Suomussalmi-Kuhmo est située en Finlande orientale (fig. 1). Elle s'étend en direction grossièrement Nord-Sud sur près de 200 km, sa largeur ne dépassant jamais 20 km. Il s'agit d'une ceinture discontinue, flanquée de petites ceintures [exemple : Tipasjärvi, H. Vartiainen, 1970], qui se poursuit vraisemblablement vers le Nord et vers le Sud en U.R.S.S. Géométriquement les matériaux de la ceinture apparaissent en synforme sur un socle gneissique. La ceinture est cartographiée au

\* Centre armoricain d'étude structurale des socles. B.P. 25 A, 35031 Rennes Cedex.

\*\* Centre géologique et géophysique U.S.T.L., place Eugène-Bataillon, 34060 Montpellier Cedex.

Note déposée le 7 mars 1977, présentée à la séance du 16 mai 1977, manuscrit définitif reçu le 13 juin 1977.

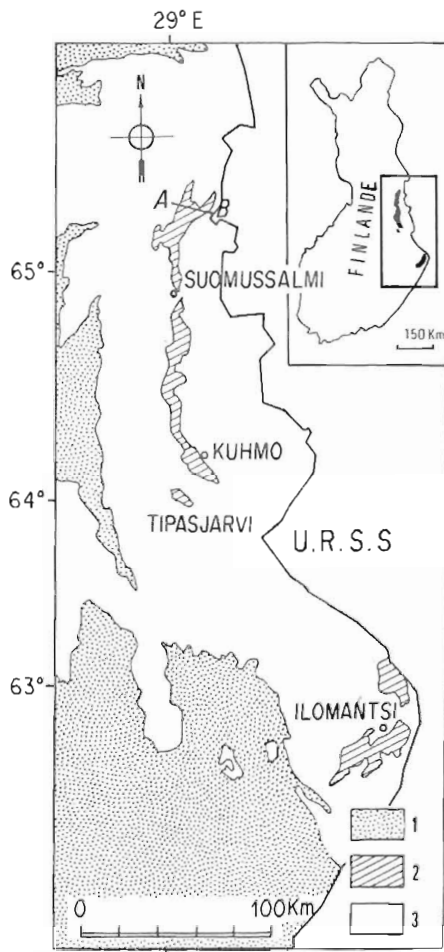


FIG. 1. — Carte géologique schématique de la Finlande orientale [d'après Simonen, sous presse].

1 : formations Karéliennes ; 2 : ceintures de roches vertes ; 3 : socle granitique et gneissique. Le segment AB matérialise la position approximative de la coupe de la figure 2.

1/400 000 [W. W. Wilkman, 1924 ; A. Matisto, 1958] et partiellement au 1/100 000 [V. Hyppönen, 1973]. Elle a fait l'objet de mesures radiométriques qui ont fourni un âge archéen de 2 670 Ma [O. Kouvo et G. R. Tilton, 1966] et a été intégrée dans des études synthétiques [A. Simonen, 1971, et sous presse ; D. R. Bowes, 1976].

2) *Nature et évolution de la ceinture de roches vertes.* La ceinture de Suomussalmi-Kuhmo est surtout formée de roches vertes associées à des métasédiments et à des métavolcanites acides en quantités subordonnées. Elle a été déformée, métamorphisée et recoupée par des granitoïdes.

a) *Trois ensembles lithostratigraphiques se suivent en continuité apparente avec, de bas en haut (fig. 2) :*

1. Les éléments d'un premier cycle volcanique comprenant initialement des péridotites et des picrites en coulées, sills et stocks, des filons gabbroïques, des coulées de basaltes massives ou en coussins et des brèches volcaniques.

2. Une formation métasédimentaire formée de micaschistes pélitiques, ampélitiques et grauwakeux, parfois accompagnés de quartzites et de conglomérats, et de produits volcaniques : essentiellement tufs acides et quelques petites coulées basiques. Les produits détritiques des métasédiments ont une origine mixte, les uns proviennent des volcanites de la ceinture, d'autres sont des produits terrigènes originaires d'un socle adjacent.

3. Un deuxième cycle volcanique est formé de roches felsitiques intermédiaires, tuffacées, associées à quelques passées laviques.

La totalité de cet ensemble lithostratigraphique (dont la puissance semble être 3 000 à 5 000 m), n'est représentée que dans les affleurements situés

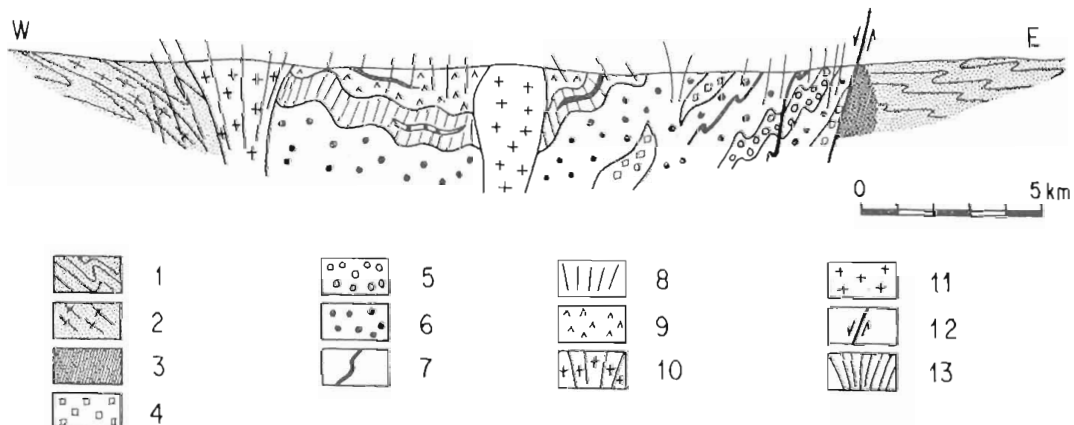


FIG. 2. — Coupe schématique à travers la ceinture de Suomussalmi-Kuhmo (localisation sur fig. 1).

Socle : 1 : gneiss gris ; 2 : orthogneiss ; 3 : gneiss blastomylonitiques. Ceinture de roches vertes : 4 : roches ultramafiques ; 5 : pillow-lavas ; 6 : amphibolites à grains fins ; 7 : roches acides ; 8 : métasédiments ; 9 : roches intermédiaires (andésitiques) ; 10 : granitoïdes post-phase 1 et préphase 2 ; 11 : granitoïdes post-phase 2 ; 12 : faille normale ; 13 : schistosité liée à la phase 2.

au Nord de Suomussalmi, là où la ceinture est la plus large. Plus au Sud les deux dernières formations disparaissent rapidement.

b) *Le volcanisme* de la ceinture est bimodal.

1. Le cycle volcanique inférieur est tholéïtique *s.l.* il comprend :

— des péridotites komatiïtiques ( $MgO > 30\%$ ) qui sont des cumulats riches en olivine, des picrites komatiïtiques ( $30\% > MgO > 12\%$ ) dans lesquelles sont parfois conservées des textures de trempe et même des spinifex dans la petite ceinture de Tipasjärvi, et des basaltes komatiïtiques ( $MgO < 12\%$ ).

— des basaltes tholéïtiques *s. str.*, pauvres en potassium, accompagnés parfois de cumulats à clinopyroxènes.

2. Le cycle volcanique supérieur est formé de roches felsitiques calcoalcalines, toutes très sodiques, comprises entre des andésites et des rhyolites.

Les deux séries, tholéïtique *s.l.* et calcoalcaline, se distinguent bien dans les diagrammes classiques des figures 3 et 4, leur mise en place est nettement séparée dans le temps par le dépôt des métasédiments.

c) *L'évolution structurale* de la ceinture est caractérisée par deux phases de déformation principales observables dans toute l'étendue de celle-ci, et par une troisième phase développée uniquement au Sud de Suomussalmi. *La première phase* (phase 1) est responsable de la foliation principale et de rares microplis isoclinaux. Les axes de ces plis sont fortement plongeants, de direction N 40 à N 50 dans le Nord et plutôt Est-Ouest dans le Sud de la ceinture. *La deuxième phase* (phase 2) détermine une crénelation des surfaces préexistantes et localement une transposition des plis de phase 1. Là encore les axes de plis sont fortement plongeants, leur direction est comprise entre N 10 et N 50. Selon le cas, la linéation minérale observée est en relation avec la phase 1 ou avec la phase 2. A partir de Suomussalmi et vers le Sud : *une troisième phase* (phase 3) de déformation se superpose aux précédentes. Elle se manifeste dans les métavolcanites par des plis droits de direction N 130 à N 150. Le caractère essentiel de cette déformation est d'être non pénétrative à l'échelle régionale puisqu'elle fait alterner des zones à déformation intense avec des zones pratiquement inertes.

d) Tous les matériaux de la ceinture sont affectés par un *métamorphisme régional* de bas degré. Les associations les plus fréquentes sont : quartz + biotite + muscovite + chlorite ± albite, dans les métapélites; chlorite + épidote + trémolite + albite ± biotite ± grenat ± hornblende, dans les metabasites; serpentine + chlorite + trémolite ± talc

+ carbonates dans les méta-ultrabasites. Le métamorphisme est donc du faciès des schistes verts et du faciès des amphibolites à épidote, vraisemblablement de pression intermédiaire ou intermédiaire de basse pression. L'analyse des relations déformations/blastèse montre que le métamorphisme, qui débute avec la phase 1 de déformation se poursuit avec les mêmes caractéristiques dans l'intervalle 1-2 et pendant la phase 2.

e) *Un important plutonisme* acide et intermédiaire est lié à l'évolution orogénique de la ceinture. Il comprend :

1. des granodiorites précoces mises en place après la première déformation de la ceinture et avant la deuxième. Ce sont principalement des granodiorites porphyroïdes à biotite seule ou à biotite et amphibole, relativement riches en CaO et Na<sub>2</sub>O et pauvres en K<sub>2</sub>O.

2. des produits tardifs, post-phase 2 et anté-phase 3 parmi lesquels on observe : — des granodiorites et des tonalites à grain moyen, à biotite et amphibole, riches en CaO et MgO et pauvres en SiO<sub>2</sub> et K<sub>2</sub>O; — des leucogranites et leucogranodiorites, à grain fin ou moyen, de teinte rose, à deux micas, riches en SiO<sub>2</sub> et pauvres en CaO et relativement en K<sub>2</sub>O; — des grands amas pegmatitiques à deux micas.

Ces différents corps plutoniques peuvent se mettre aussi bien en place dans la ceinture, qu'à la limite socle/ceinture ou dans le socle à proximité de celle-ci. Il est remarquable que tous ces produits soient nettement allochtones et pauvres en K<sub>2</sub>O.

3) *Nature et évolution du socle granito-gneissique.* Le socle granito-gneissique de Finlande orientale est surtout formé de gneiss migmatitiques ayant subi une évolution tectonométamorphique complexe. La séquence des événements dans le socle est encore mal connue; schématiquement elle nous semble être la suivante :

a) déformation (O), métamorphisme et migmatisation d'une série, qui forme l'essentiel du socle et qui comprend principalement des gneiss rubanés gris, de composition granodioritique à tonalitique, auxquels sont associés en intercalations subordonnées, des orthoamphibolites, des métapéridotites, des micaschistes et plus exceptionnellement des gneiss calcomagnésiens;

b) intrusion de masses importantes de granodiorites porphyroïdes à enclaves microgrenues basiques;

c) intrusions de filons basiques;

d) déformation (1) et migmatisation régionale laissant subsister par places des reliques des gneiss rubanés plus anciens. Les granodiorites porphy-

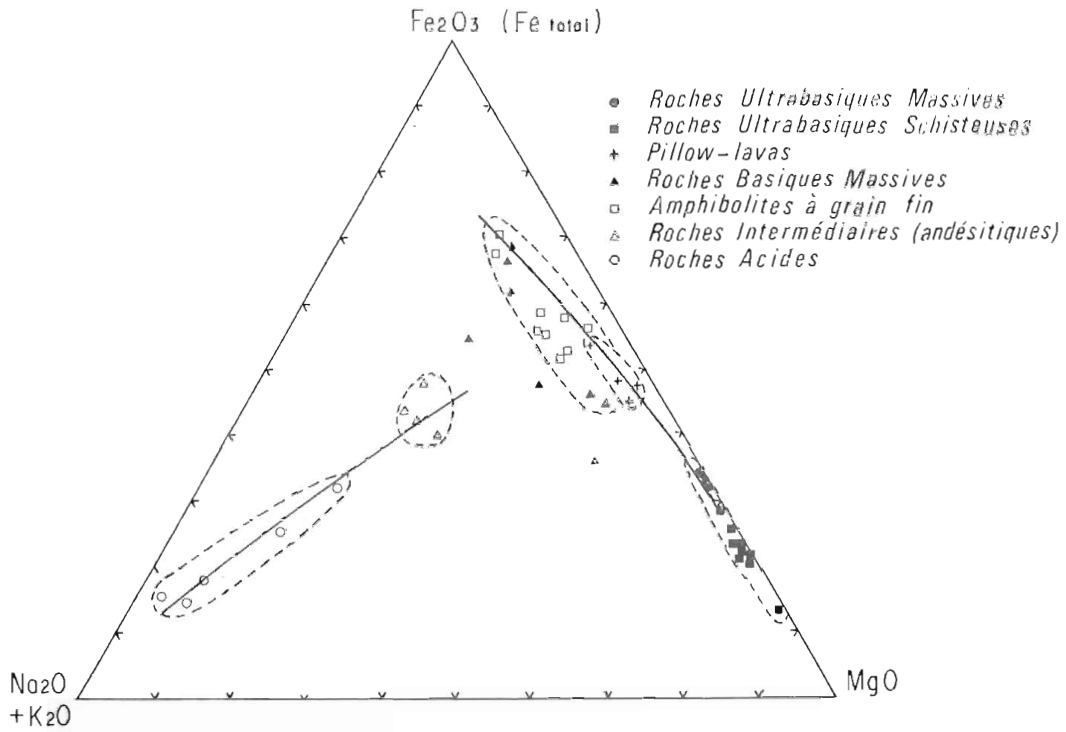


FIG. 3. — Diagramme AFM montrant la répartition des divers types de roches trouvés dans la ceinture de Suomussalmi-Kulmo. (Les analyses chimiques représentées ont été effectuées au Centre armoricain d'étude structurale des socles, Rennes, par F. Vidal. Elles sont disponibles sur simple demande aux auteurs).

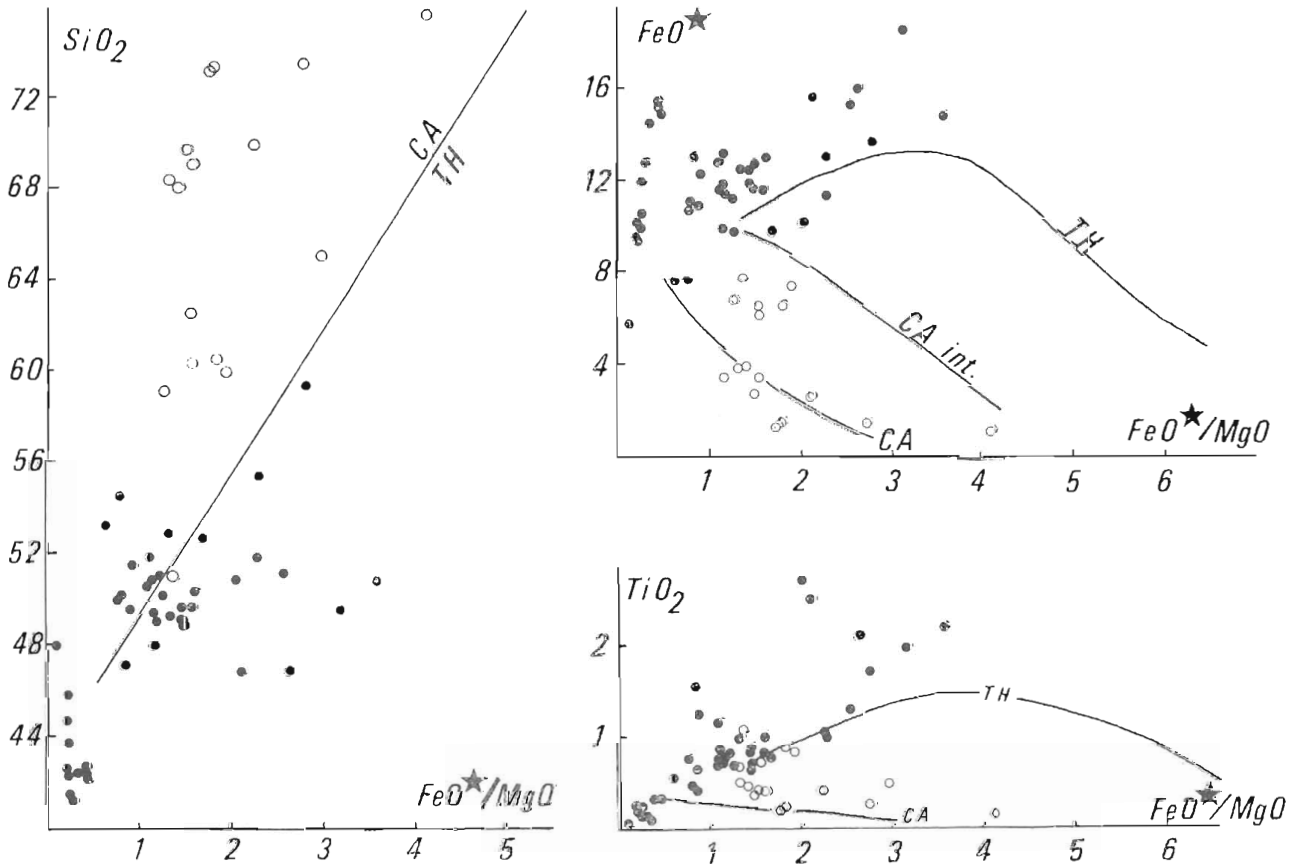


FIG. 4. — Mise en évidence, dans les diagrammes de Myashiro [1975], de l'existence de deux séries volcaniques (TH et CA) au sein de la ceinture de Suomussalmi-Kulmo.

● : roches du cycle inférieur (série TH) ; ○ : roches du cycle supérieur (série CA).

roïdes et les filons basiques précédents sont transformés respectivement en orthogneiss œillés migmatitiques et en amphibolites ;

e) mise en place de granodiorites, à la fin de cette phase 1, d'origine probablement anatectique ;

f) déformation (2) se traduisant par des plis à plan axial subvertical de direction proche de Nord-Sud, accompagnée par un métamorphisme régional rétrograde de faciès schistes verts et amphibolite à épidote ;

g) mise en place de granodiorites, tonalites, leucogranodiorites et leucogranites roses et d'amas pegmatitiques identiques à ceux qui recoupent la ceinture de roches vertes ;

h) déformation (3) se traduisant par des couloirs de mylonites de direction N 130 à N 150 au Sud de Suomussalmi et à linéation subhorizontale ;

i) intrusion des diabases pré-karéliennes qui depuis leur mise en place n'ont été affectées que par de la tectonique cassante.

4) *Relations socle-ceinture et géochronologie.* Nulle part nous n'avons observé de contact normal entre la ceinture de roches vertes et le socle granito-gneissique. Dans la plupart des cas ce contact est cisailé ou masqué par des granitoïdes. Nous disposons cependant d'un certain nombre d'évidences géologiques indirectes et de résultats géochronologiques significatifs des rapports socle-ceinture.

a) *Les observations géologiques* sont les suivantes :

1. géométriquement les matériaux de la ceinture apparaissent en synforme sur les gneiss du socle (fig. 2) ;

2. les métasédiments détritiques de la ceinture renferment des produits terrigènes : fragments de quartzites, de feldspaths potassiques, etc. provenant de l'érosion du socle ;

3. comme dans la plupart des ceintures archéennes de roches vertes, les corrélations entre les déformations propres à la ceinture de Suomussalmi-Kuhmo (phases 1 et 2) et celles observées dans le socle sont délicates.

Il semble cependant acquis que la phase 0 du socle n'affecte pas la ceinture et que les phases 2 et 3 du socle et de la ceinture sont les mêmes. L'indétermination concerne les phases 1 et les deux ensembles. Dans l'hypothèse où l'on pourrait corrélater la migmatitisation régionale du socle et sa déformation diapirique avec la phase 1 qui affecte la ceinture, celle-ci avec ses plis 1 plongeants, serait liée à un processus d'écoulement et non pas à des cisaillements longitudinaux comme c'est le cas dans d'autres ceintures [cf. M. P. Coward *et al.*, 1975].

4. Le socle est polymétamorphique, il a été affecté par deux phases de migmatitisation dont au moins la dernière est régionale et il a ensuite été rétro-morphosé dans les faciès de schistes verts et des amphibolites à épidote. La ceinture de roches vertes est monométamorphique et n'a subi qu'un épisode de faciès des schistes verts et des amphibolites à épidote. La rétro-morphose du socle semble avoir eu lieu pendant l'interphase 1-2 et la phase de déformation 2 de la ceinture.

b) *Géochronologie.*

1. Socle : les résultats Rb-Sr sur les gneiss rubanés gris, orthogneiss œillés, ainsi que sur les aplites et pegmatites associées (tabl. I) permettent de

N° d'analyse	Type de roche	Rb ppm	Sr ppm	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
3339	aplite	121	289	1,212	0,7486
3341	aplite	97,6	291	0,971	0,7421
3326	pegmatite	147	260	1,637	0,7641
3327	"	158	216	2,118	0,7816
3343	"	98,4	215	1,325	0,7536
3338	orthogneiss	112	356	0,910	0,7372
3340	"	118	751	0,455	0,7212
3342	"	74,0	366	0,585	0,7256
3344	"	88,6	372	0,690	0,7309
3323	gneiss gris	52,0	333	0,452	0,7195
3324	"	168	324	1,501	0,7592
3325	"	69,2	315	0,636	0,7267
3328	"	60,9	332	0,531	0,7225

TABLE 1. — Résultats analytiques des échantillons de socle.

définir une isochrone (fig. 5) d'âge  $2\,610 \pm 60$  Ma ( $\lambda^{87}\text{Rb} = 1,42 \cdot 10^{-11} \text{ an}^{-1}$ ) et de rapport  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  initial de  $0,7033 \pm 0,0007$ .

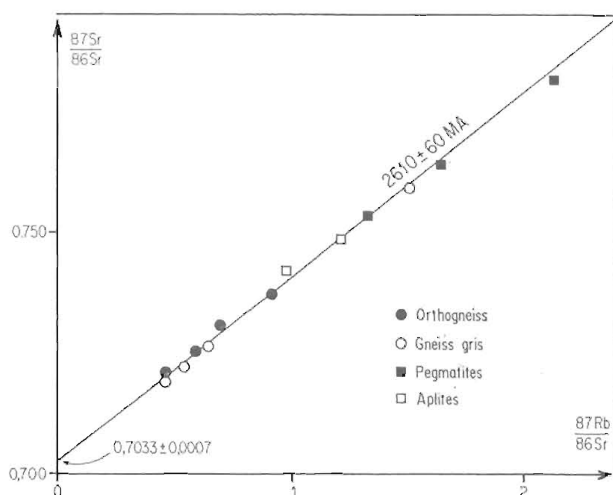


FIG. 5. — Age du socle autour de la ceinture de Suomussalmi-Kuhmo : isochrone de roches totales.

2. Ceinture : les résultats Rb-Sr obtenus sur les volcanites acides ainsi que sur les granodiorites sont très dispersés (travail en cours). Le seul âge utilisable pour l'instant a été obtenu par O. Kouvo et G. R. Tilton [1966] : une fraction totale de zircons d'une granodiorite post phase 2 de la ceinture a donné un âge  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  de 2 670 Ma ( $\lambda^{235}\text{U} = 9,8485 \cdot 10^{-10} \text{ an}^{-1}$  et  $\lambda^{238}\text{U} = 1,55125 \cdot 10^{-10} \text{ an}^{-1}$ ). Les zircons sont assez peu discordants. Cet âge, interprété comme celui de la mise en place, n'est pas significativement différent de celui obtenu sur le socle.

5) *Discussion.* La discussion concerne l'interprétation de la ceinture de roches vertes et celle de l'ensemble socle-ceinture.

#### a) Ceinture de roches vertes.

1. Les matériaux de la ceinture se sont déposés en milieu marin : présence de métasédiments schisteux et grauwaqueux et de laves en coussins.

2. Les produits du cycle volcanique inférieur sont de nature océanique : ce sont des « ophiolitoïdes » (péridotites, gabbros, dolérites, coulées massives et en coussins) de nature komatiitique et tholéiitique pauvre en potasse.

3. La présence de métasédiments euxiniques (ampélites) et de produits détritiques originaires du socle, ajoutée au fait que le socle présente les mêmes caractéristiques de part et d'autre de la ceinture, sont indicateurs d'un site proto-océanique (rift) et permettent d'écarter l'hypothèse d'un vaste océan.

4. Enfin, le cycle volcanique supérieur, avec ses andésites et ses rhyolites calco-alcalines témoigne d'un épisode de subduction.

#### b) Ensemble socle-ceinture.

1. L'essentiel des produits du socle et une partie de l'évolution de celui-ci sont antérieurs à la création de la ceinture de roches vertes puisque le socle est polymétamorphique et a subi plus de déformations que la ceinture.

2. Les rapports  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  initiaux des matériaux du socle et de la ceinture montrent que le recyclage d'une croûte beaucoup plus ancienne semble n'être intervenu que de façon négligeable ou nulle.

3. Les résultats géochronologiques montrent que le socle granito-gneissique, la ceinture de roches vertes et les granitoïdes qui les recoupent se sont formés dans un laps de temps court, certainement inférieur à une centaine de millions d'années.

4. L'orogénèse responsable de la ceinture de roches vertes a également affecté le socle granito-gneissique de Finlande orientale dans sa totalité si l'on en juge par les déformations 1, 2 et 3 de la ceinture que l'on retrouve dans le socle, la rétro-morphose régionale de celui-ci et la distribution des granitoïdes post-ceinture de roches vertes qui sont largement répandus dans le socle.

#### 6) Conclusions.

De très nombreuses hypothèses ont été proposées à propos de la signification géodynamique des ceintures archéennes de roches vertes et des relations socle-ceinture.

a) Les résultats obtenus en Finlande orientale montrent que la ceinture étudiée correspond très vraisemblablement à un arc insulaire ensimatique adjacent à une aire continentale. Sa formation s'est effectuée au cours de deux étapes principales comprenant : 1) une étape d'ouverture d'un rift proto-océanique correspondant à la mise en place du cycle volcanique inférieur et au dépôt des métasédiments et 2) une étape de fermeture de ce rift avec subduction génératrice des produits du cycle volcanique supérieur. Cette conclusion est compatible avec un amalgame du modèle de rift proto-océanique de B. F. Windley [1973] et du modèle d'arc insulaire ensimatique de C. R. Anhaeusser [1973].

b) La ceinture de Suomussalmi-Kuhmo ne constitue pas un mini-orogène développé au voisinage d'un socle inerte. Au contraire, elle n'est que la superstructure d'un orogène majeur qui a affecté toute la Finlande centrale à la fin de l'Archéen, vers environ 2 600 Ma.

c) La création des produits du socle à partir du manteau supérieur, leur première orogénèse, leur érosion, la création de la ceinture de roches vertes et l'orogénèse finale sont des événements produits dans un laps de temps inférieur à la centaine de

millions d'années, ce qui témoigne de mécanismes géodynamiques extrêmement rapides, probablement liés à de hauts flux de chaleur et en accord avec le régime permobile de K. C. A. Burke et J. F. Dewey [1972].

### Références citées

- ANHAEUSSER C. R. (1973 a). — The geology and geochemistry of the Archaean granites and gneisses of the Johannesburg. Pretoria dome. *Spec. Publ. geol. Soc. S. Afr.*, 3, p. 361-385.
- ANHAEUSSER C. R. (1973 b). — The evolution of the early Precambrian crust of Southern Africa. *Phil. Trans. R. Soc. London*, A., 273, p. 359-388.
- ANHAEUSSER C. R. (1975). — Precambrian tectonic environments. *An. Rev. Earth Planet. Sc.*, 3, p. 31-53.
- BLAIS S., NOIRET G., AUVRAY B., CAPDEVILA R., et HAMELURT J. (1976). — Un nouvel exemple de ceinture archéenne de roches vertes : la ceinture ophiolitique de Suomussalmi (Finlande). 4<sup>e</sup> Réunion. Ann. Sc. Terre, Paris, p. 56. Livre en dépôt à la S.G.F.
- BOWES D. R. (1976). — Archaean Crustal History in the Baltic Shield. The Early History of the Earth. B. F. Windley edit. John Wiley and Son, Ltd., 481-488.
- BURKE K. C. A. et DEWEY J. F. (1973). — An outline of Precambrian plate development. In : TARLING D. H. et RUNCORN S. K., Implications of Continental Drift to the Earth Sciences. London, Academic Press, 2, p. 1035-1045.
- CONDIE K. C. (1976). — Trace-element geochemistry of Archaean greenstone belts. *Earth. Sc. Rev.*, 12, p. 393-417.
- COWARD M. P., JAMES P. R. et WRIGHT L. (1976). — Northern margin of the Limpopo mobile belt, Southern Africa. *Bull. Geol. Amer. Soc.*, 87, p. 601-611.
- GAÄL G., MIKKOLA A. et SODERHOLM B. (1976). — Development of the Archaean crust in Finland. 25 th. Intern. geol. Congr. Sydney, 1, p. 3-9.
- GLIKSON A. Y. (1971). — Primitive Archaean element distribution patterns : Chemical evidence and geotectonic significance. *Earth Plan. Sc. Lett.*, 12, p. 309-320.
- GLIKSON A. Y. (1972). — Early Precambrian evidence of a primitive ocean crust and island nuclei of sodic granite. *Bull. geol. Amer. Soc.*, 83, p. 3323-3344.
- GLIKSON A. Y. (1976). — Stratigraphy and evolution of primary and secondary greenstones : significance of data from shields of the Southern Hemisphere. The Early History of the Earth B. F. Windley edit. John Wiley and Sons, Ltd., p. 257-277.
- HÄNTNER D. R. (1974). — Crustal development in the Kaapvaal Craton, I, The Archaean. *Precambrian Res.*, 1, p. 259-294.
- HYPPÖNEN V. (1973). — Suomen geologinen Kartta. Lehti 4412, Hjälsijärvi.
- KOUVO O. et TILTON F. R. (1966). — Mineral ages from the Finnish Precambrian. *J. Geol.*, 74, p. 421-442.
- LÖBACH-ZHUCKENKO S. B., KRYLOV I. N., BAYKOVA V. S., CHEKULAEV V. P., ARESTOVA N. A., et SULESHKO I. K. (1976). — The geological evolution of the Karelian greenstone terrain of the Baltic shield. 25 th. Intern. geol. Congr. Sydney, 1, p. 16-17.
- MATISTO A. (1958). — Suomen geologinen yleiskartta, Lehti D 5. Suomussalmi. Kivifajikartan Selitys.
- METANEN T. (1976). — Komatiites and komatiite provinces in Finland. *Geologi*, 28, 4-5, p. 49-56.
- SIMONEN A. (1971). — Das finnische Grundgebirge. *Geol. Rdsh.*, 60, 4, p. 1406-1421.
- SIMONEN A. (sous presse). — A review of the geology of the basement complex in eastern Finland. Jubilee K. O. Kratz, Leningrad.
- SUSLOVA S. N. (1976). — Komatiites des séries volcaniques métamorphiques du Précambrien inférieur de la Péninsule de Kola (en russe). *Dokl. Acad. Nauk. S.S.S.R.*, 228, 3, p. 697-700.
- VARTAINEN H. (1976). — Schist belt of Tipasjärvi in the Parish of Sotkamo, Finland. *Bull. Geol. Soc. Finland*, 42, p. 13-22.
- WILKMAN W. W. (1924). — Suomen geologinen yleiskartta, Lehti D 4. Marmes Vuorilajikartan Selitys. Geologinen Komission.
- WINDLEY B. F. (1973). — Crustal development in the Precambrian. *Phil. Trans. R. Soc. London*, 1, 273, p. 321-341.
- WINDLEY B. F. et BRIDGWATER D. (1971). — The evolution of Archaean low and high-grade terrains. *Spec. Publ. geol. Soc. Austr.* 3, p. 33-46.