

EXAMENSARBETE I GEOLOGI VID LUNDS UNIVERSITET

LUNDS UNIVERSITET
GEOBIBLIOTEKET
PERIODICA

Berggrundsgeologi

2003 -11- 1 0



**Les ferromagnésiens du granite rapakivique de Nordingrå
– centre-est de la Suède – composition chimique et stade
final de cristallisation**

Marion Dou

Lunds univ. Geobiblioteket



15000

600957472

Examensarbete, 20 p
Institutionen, Lunds Universitet

Nr 166

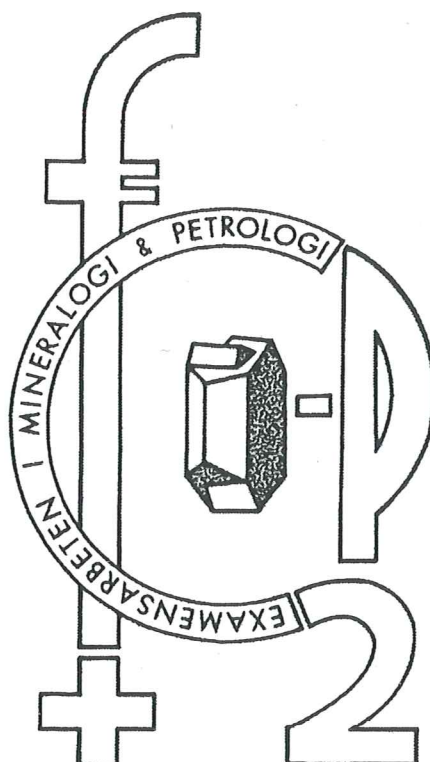
61

EXAMENSARBETE I GEOLOGI VID LUNDS UNIVERSITET

LUNDS UNIVERSITET
GEOBIBLIOTEKET
PERIODICA

2003 -11- 1 0

Berggrundsgeologi



**Les ferromagnésiens du granite rapakivique de Nordingrå
– centre-est de la Suède – composition chimique et stade
final de cristallisation**

Marion Dou

Table des matières

| | |
|---------------------------------------------------------------------------|----|
| Résumé français | 2 |
| English abstract..... | 3 |
| Svensk sammanfattning | 4 |
| Introduction | 5 |
| Géologie régionale | 5 |
| Travail établi en laboratoire | 7 |
| Observations pétrographique et minéralogique au microscope polarisan..... | 8 |
| Analyses chimiques au microscope électronique: | 10 |
| Composition minérale et chimique du granite de Nordingrå..... | 11 |
| Discussion..... | 18 |
| Conclusion | 19 |
| Références..... | 20 |
| Appendix | |
| Table 1..... | 22 |
| Table 2..... | 23 |
| Table 3..... | 26 |
| Table 4..... | 28 |
| Table 5..... | 29 |

Les ferromagnésiens du granite rapakivique de Nordingrå – centre-est de la Suède - composition chimique et stade final de cristallisation.

Dou, M., 2003 : Les ferromagnésiens du granite rapakivique de Nordingrå – centre-est de la Suède - composition chimique et stade final de cristallisation. Examensarbete i geologi vid Lunds universitet – Berggrundsgeologi, Nr. 166, 1-29

L'étude chimique des trois principaux ferromagnésiens: l'augite, la ferro-édénite et la ferrohornblende contenu dans le granite rapakivique de Nordingrå, a montré une évolution progressive des compositions chimiques entre ces phases minérales au cours du refroidissement du magma. L'augite a réagit, par endroit, avec le liquide pour substituer certains de ses éléments chimiques et se transformer en ferro-édénite. Après d'autres substitutions, la ferro-édénite s'est aussi, par endroit, substituer en ferrohornblende. Cet ordre d'évolution des phases minérales est appuyé par les observations du microscope optique, qui mettent clairement en évidence la présence de deux types d'amphiboles distinct par leurs couleurs.

Ce granite est riche en feldspath potassique, le rapport K/Na est élevé. Certains des éléments traces sont élevés comme F, Rb, Ba, Ga et Zr. Les rapports $Mg/(Fe^{tot}+Mg)$ des ferromagnésiens sont bas, 0.08 ± 0.04 (1σ), les valeurs sont similaires pour les clinopyroxènes et les amphiboles.

Mots-clé : granite rapakivique, augite, ferro-édénite, ferrohornblende, Nordingrå, Suède, protérozoïque.

Mafic minerals of the Nordingrå rapakivi granite – east central Sweden – chemical composition and late stage crystallization

Dou, M., 2003: Les ferromagnésiens du granite rapakivique de Nordingrå – centre-est de la Suède - composition chimique et stade final de cristallisation. Examensarbete i geologi vid Lunds universitet – Berggrundsgeologi, Nr. 166, 1-29

The three principal mafic minerals, augite, ferro-edenite and ferrohornblende, show a progressive chemical evolution during the crystallisation of the Nordingrå rapakivi granite magma. Some crystals of augite have reacted with the liquid forming ferroedenite. Some ferroedenite is in turn altered into ferrohornblende. This order of mineral evolution has been determined from observations under the petrological microscope. The change from the one amphibole into the other is clearly observed as a distinct change in colour.

The granite is enriched in K-feldspar and has a high K/Na ratio. It is also enriched in some trace elements as F, Rb, Ba, Ga and Zr. This means that the mafic minerals have very low $Mg/(Fe^{tot} + Mg)$ ratios, 0.08 ± 0.04 (1σ). Clinopyroxene and amphiboles have similar ratios.

Key words: Rapakivi granite, augite, ferro-edenite, ferrohornblende, Nordingrå, Sweden, Proterozoic.

Järnmagnesiummineralen i rapakivgraniten i Nordingrå, östra centrala Sverige – kemisk sammansättning och slutstadiet av kristallisationen

Dou, M., 2003: Les ferromagnésiens du granite rapakivique de Nordingrå – centre-est de la Suède - composition chimique et stade final de cristallisation. Examensarbete i geologi vid Lunds universitet – Berggrundsgeologi, Nr. 166, 1-29

Sammanfattning: De tre mafiska huvudmineralen, augit, ferroedenit och ferrohornblände visar en progressiv kemisk utveckling under kristallisationen av Nordingrårapakivgranitens magma. Vissa augitkristaller har reagerat med smältan och bildat ferroedenit. En del ferroedenit har i sin tur reagerat till ferrohornblände. Kristallisationssekvensen har bestämts genom mikroskopiska observationer, där förändringen av ferroedenit till hornblände är synlig genom tydlig förändring av egenfärgen.

Graniten är anrikad i kalifältspat och har ett högt K/Na förhållande. Den är också anrikad i vissa spårelement som F, Rb, Ba, Ga och Zr. Detta innebär att de mafiska mineralen har mycket låga $Mg/(Fe^{tot} + Mg)$ förhållanden, 0.08 ± 0.04 (1σ). Klinopyroxen och de båda amfibolerna har likartade $Mg/(Fe^{tot} + Mg)$ förhållanden.

1. Introduction

Le granite rapakivique de Nordingrå est situé dans la partie centrale de la Suède, sur la côte de la mer Bothnian, entre les latitudes 62°50'N et 63°10'N. Cette région est caractérisée par un maximum d'élévation post-glaciaire du niveau du sol ainsi les affleurements sont bien conservés, bien exposés et récents, ce qui permet une facilité et un intérêt à l'étude. Le massif de Nordingrå a été daté, par datation au zircon, du méso-protérozoïque, environ 1578 ± 19 Ma (Welin & Lundquist 1984). Récemment, Mårtensson (1997) a reporté un âge plus précis de 1577 ± 6 Ma. Ce massif a été cartographié et étudié par Lundbohm (1899), Sobral (1913) et Lundqvist et al. (1990).

Cette roche granitique plutonique est anorogénique et l'intrusion a lieu dans la croûte continentale datant du Paléo-protérozoïc Svecofennian. Géochimiquement, ce granite, de caractère méta à peralumineux, est de type A et sa composition chimique totale est caractérisée par un enrichissement extrême en fer par rapport au magnésium. Le nombre-Mg est très bas ce qui est typique pour les granites rapakiviques. Le rapport K/Na est élevé et certains des éléments traces sont aussi élevés, comme par exemple F, Rb, Ba, Ga et Zr.

Ce massif a une association magmatique bimodale. En effet, le granite est associé avec des roches ferromagnésiennes telles que le gabbro et le leuco-gabbro, qui lui aussi est associé avec de l'anorthosite. Ce massif est aussi composé de monzonite en faible quantité, qui est situé en contact entre le granite et le gabbro. Toutes ces intrusions, qui ont lieu dans la même roche mère, sont antérieures à celle du granite. Dans cette présente étude, la composition chimique des minéraux ferromagnésiens du granite ainsi que les réactions entre les phases ferromagnésiennes et le liquide vont être analysées et interprétées afin de mieux comprendre la phase finale de cristallisation du granite.

2. Géologie régionale

Le granite rapakivique et les roches ferromagnésienne associée, forment un ensemble géologique très important dans le bouclier baltique. La plupart de ces massifs exposés pénètrent des roches crustales datées du Paléo-protérozoïc Svecofennian qui sont dominées pétrologiquement par des métagrauwackes. Ces

métagrauwackes sont à grains fins dans la région de Nordingrå. On peut noter aussi la présence d'argilite. Ces intrusions granitiques sont générées par des magmas anorogéniques qui font fondre partiellement le manteau supérieur et une partie de la croûte continentale. Ces magmas anorogéniques peuvent avoir été associés avec la formation d'un supercontinent au début du Protérozoïque (Laurentia – Baltica) qui promouvaient d'upwellings mantellique de grande échelle, de fonte partielle du manteau supérieur et d'une fonte anatectique de la croûte continentale (Rämö, 1991). Ces intrusions de magmas datent du Méso-Protérozoïque, leurs âges respectifs varient d'est en ouest. En effet, elles sont plus anciennes au Sud-est de la Finlande et au Nord de l'Estonie et deviennent plus jeunes à l'Ouest du bouclier baltique (en Suède). Ce complexe de rapakivi granite semble s'être introduit de 150 à 250 Ma après la phase finale du Svecofennien, en trois ou peut être quatre périodes distinctes (Figure 1).

Cette phase d'intrusion est suivie par la formation d'un bassin sédimentaire de

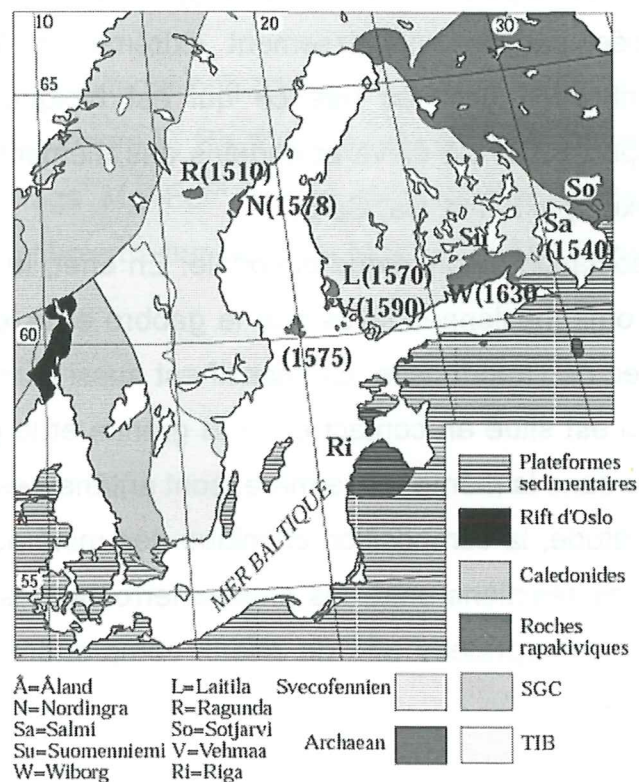


Figure 1: Carte montrant les principaux massifs rapakiviques du bouclier baltique et de la partie voisine de la plateforme de l'Europe de l'Est. L'âge approximatif de quelques massifs rapakiviques est indiqué. Ces âges proviennent de Vaasjoki (1977 – Laitila, Vehmaa, Wiborg), Suominen (1991 – Åland Salmi), Amelin et al. (1991 – Salmi), Welin & Lundqvist (1984 – Nordingrå) et Persson (1995 – Ragunda). TIB = Transscandinavian Igneous Belt, SGC = Southwest Swedish Gneiss Complex.

couche mince, dans le Golf de Bothnian (Korja et Heikkinen, 1995). Le dernier évènement magmatique est manifesté par un sill de dolorite (1.1-1.3 Ga) qui ressemble géochimiquement à une coulée basaltique continentale (Rämö, 1991). Le massif de Nordingrå en est partiellement couvert, daté d'environ 1215 Ma (Welin, 1979).

Le degré et l'intensité du métamorphisme de cette région sont variables. En général, les roches sont caractérisées par des basses pressions ; c'est à dire au-dessus des faciès à schiste vert et des amphibolites. Le massif de Nordingrå est situé dans une partie de faible degré de métamorphisme.

Au niveau de ce massif, le granite est la roche, parmi les deux types de roches intrusives, qui est la plus exposée à la surface. Des xénolites de leuco-gabbro dans le granite et des dykes de granite dans le leuco-gabbro indiquent que le granite est le plus jeune. Des contacts mélangés et la présence de monzonite hybride à certaines zones de contacts indiquent que le granite et le gabbro étaient liquide simultanément. Le granite est resté au-dessus de son solidus plus longtemps que le gabbro. Ainsi il forme un lit, au dessus du gabbro, d'un kilomètre d'épaisseur (Lundqvist et al., 1990). La zone de contact entre ces deux roches n'est pas distincte, elle est caractérisée par des mélanges à petite échelle de composés granitique et gabbrotique.

3. Travail établi en laboratoire :

a. Observations pétrographique et minéralogique au microscope polarisant :

L'observation microscopique est faite sur des lames minces d'échantillons de granite récoltés dans une excursion de terrain de 1991. Les échantillons proviennent tous du même endroit (voit figure 2), ils sont situés en bordure du massif granitique car la plus importante partie du massif est immergée.

Les lames minces révèlent une composition minéralogique assez similaire entre tous les échantillons. Le granite de Nordingrå est de couleur plus ou moins rosâtre, due à la grande quantité de feldspaths potassiques. Il est rarement gris mais se compose de minéraux foncés en quantité différente. Les principaux minéraux de la matrice

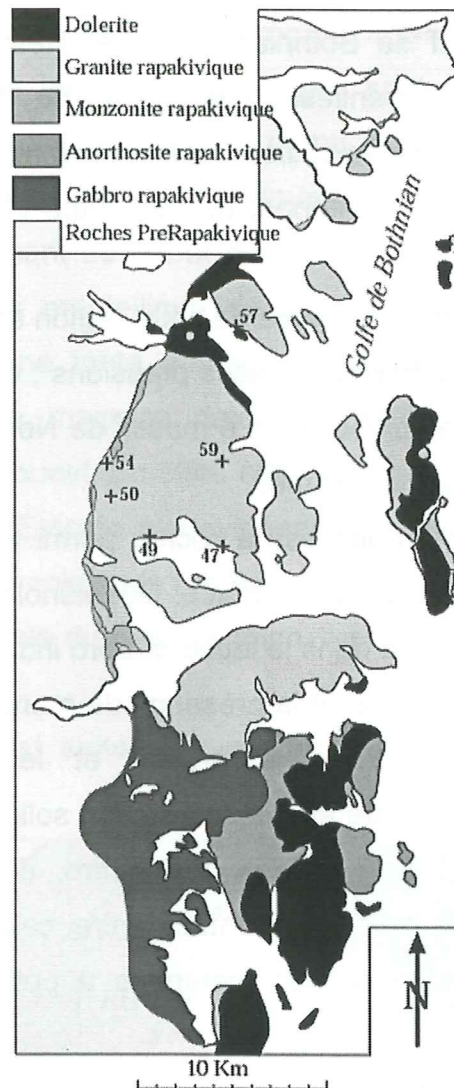


Figure 2: Carte du massif rapakivique de Nordingrã, simplification d'après Sobral (1913) montrant la localisation des échantillons. Le préfixe « 91 » des numéros des échantillons (cf tables 1, 2, 3, 4 et 5) sont absent.

sont le quartz et le feldspath potassique. Les minéraux secondaires sont les minéraux ferromagnésiens. Ils représentent 1 à 15 % du volume total de la roche. La hornblende et le ferromagnésien prédominent, suivis de clinopyroxènes (augite), de biotite, d'oxydes (magnétite) et dans quelques cas de fayalite et d'orthopyroxène. Les minéraux accessoires sont le zircon, qui est omniprésent, l'ilménite, le titanite et en nombre inférieur l'apatite, la fluorine et l'allanite.

La taille des grains de la matrice varie ce qui donne une texture porphyrique plus ou moins dominante.

Les mégacrystes de feldspath potassique sont enlisés dans une matrice à grain fin qui peut atteindre la taille de grains moyens et qui est en partie graniophyrique.

Le quartz : il se présente dans la matrice autour des feldspaths potassiques, sans générale déformation mais cependant certains grains sont affectés par une extinction ondulante, qui est caractéristique de déformation. Les grains sont très altérés, ce qui

leur donne un aspect granuleux. La taille et la quantité sont variables mais toujours inférieures à celles des feldspaths potassiques. Il semble avoir commencé à cristalliser après le feldspath. En effet, cela s'observe par une fine intercroissance entre le quartz et le feldspath qui est appelé : texture granophirique symplectite. Le quartz, en quantité invariable, est présent comme des petites gouttes de cristaux ou certains cristaux cristallisent entre les cristaux de feldspath.

Les feldspaths sont majoritairement des feldspaths potassiques perthitiques, dont la structure est comprise entre l'orthose et le microcline (Lundqvist, 1973). Ils représentent au moins 50% du volume total de la roche. La taille des phénocristaux est d'environ 1 cm². Ils renferment souvent des intrusions de minéraux tels que des plagioclases et amphiboles. Ils contiennent souvent des microstructures internes sous forme de petites baguettes allongées de section rectangulaire et très fine. Ces structures sont presque opaques. Il est assez difficile de donner des renseignements sur leurs formations et leurs compositions chimiques.

En plus de ces larges grains, une seconde génération de feldspaths potassiques sont présents comme de petits grains, souvent par intercroissance graniophirique avec le quartz.

Le plagioclase compose aussi la matrice, il est peu présent. Le noyau est fréquemment altéré en muscovite : l'altération sericitique. Il est présent soit associé irrégulièrement en intrusion dans le feldspath potassique ou soit comme un grain individuel avec une intercroissance squelettique de quartz ou soit plus rarement avec une amphibole.

Les amphiboles sont représentées en taille et en quantité variables suivant les lames analysées. Elles ont une couleur marron-vert-brunâtre à bleu-vert. Un cristal bleu-vert peut être développé soit par-dessus une amphibole « normale », le cas contraire d'intercroissance n'est pas observé, soit individuellement. Il semble que les amphiboles se développent plus ou moins simultanément et elles ont pour différence leurs compositions chimiques. Dans le texte qui suit les amphiboles de couleur marron-vert-brunâtre sont nommées amphiboles marrons et les amphiboles bleu-vert sont nommées amphiboles vertes.

Les *biotites* sont peu abondantes, elles sont de couleur marron. Elles sont individualisées. Il semble que des grains de biotite soient parfois situés dans des zones de regroupement de minéraux ferromagnésiens. Mais les biotites peuvent être aussi bien individuelles.

Les *clinopyroxènes* sont peu abondants et inexistant dans certaines lames minces. Ils sont généralement associés aux amphiboles. En effet, les clinopyroxènes se situent fréquemment au centre des grains d'amphiboles par différentes tailles. Ils sont relativement petits quand ils sont individuels.

b. Analyses chimiques au microscope électronique:

Pour identifier les minéraux et leurs compositions chimiques respectives, des analyses chimiques ont été réalisées au microscope électronique. Les analyses sont réalisées à l'Institut de géologie de Lund avec un système Link et un détecteur germanium EDX branché à un microscope électronique à balayage de type Jeol, JSM 6400. La tension d'accélération du microscope est réglée sur 18 kV. Les standards utilisés proviennent surtout des minéraux naturels, mais aussi synthétiques. Le taux d'oxydes moyens est calculé par l'ordinateur, le système de correction que l'ordinateur utilise est appelé ZAF (Z=atomic number, A=absorption, F=fluorescence). Toutes les analyses sont faites avec un temps de vie de 100 secondes. La figure 3 représente l'image BSE qui est visible lors des analyses sur l'un des écrans du microscope électronique.

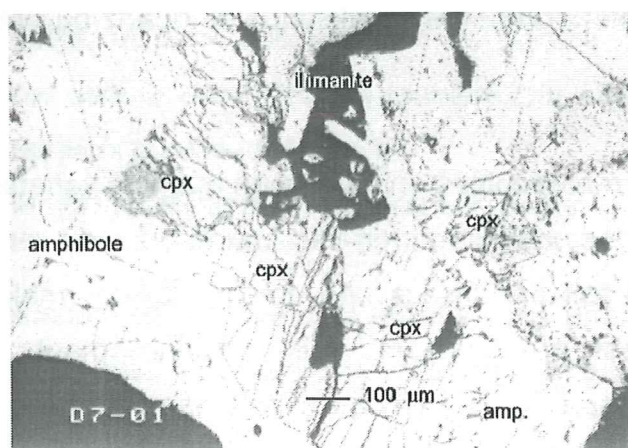


Figure 3: Image BSE des ferromagnésiens. Mise en évidence de la difficulté visuelle de distinction entre les amphiboles et les clinopyroxènes au microscope électronique. Echantillon 9154

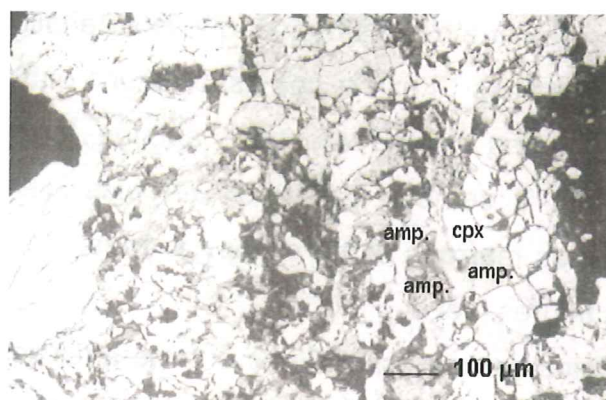
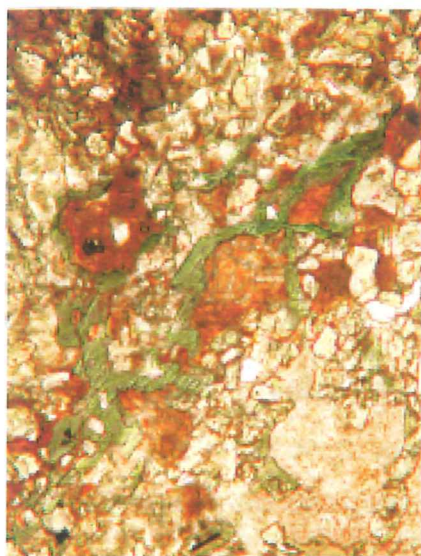


Figure 4 (gauche) et 5 (droite): La figure 4 est une image prise au microscope optique. L'échelle n'est pas précisée, mais elle est légèrement supérieure à celle de la figure 5. La figure 5 est une image BSE du même échantillon : 9147. Ces deux figures correspondent à la même région de l'échantillon, avec une échelle et une orientation différentes. Au centre de la figure 4, le minéral marron bordé de vert est une amphibole, il est localisé sur la figure 5 par une inscription : « amp. », qui est situé en bas à gauche. Le contour vert (fig.4) est aussi une amphibole. La tache marron (fig.4) à gauche de contour vert est un clinopyroxène.

4. Composition minérale et chimique du granite de Nordingrã:

La composition chimique totale du granite de Nordingrã a été étudiée par Lundqvist et al. (1991) et Lindh & Johansson (1996), leurs données reportées proviennent d'échantillons éparpillés dans le massif. Ainsi il n'existe aucune analyse systématique des minéraux.

Les cristaux parsemés d'amphiboles et de clinopyroxènes forment les plus grands grains des minéraux ferromagnésiens. Il semble que par endroit ils sont agrégés en spots d'environ 0,5 cm². Dans les lames minces observées au microscope optique, les amphiboles de couleur marron dominent, et il y a la présence d'amphiboles vertes en quantité inférieure. Ces deux types d'amphiboles sont aussi bien développés sur un même grain ou sur des cristaux individuels. Les amphiboles marrons sont de tailles supérieures par rapport à l'autre type d'amphiboles, aussi bien quand elles sont comprises dans le même grain que sur des grains individualisés. Lorsqu'il y a la présence des deux amphiboles sur le même cristal, le changement de couleur peut être graduel ou tranchant et sans aucun emplacement spécifique. En effet, il y a aussi bien des grains avec un contour, en partie, de couleur verte et le reste de couleur marron-olive dont le contact des deux couleurs est graduel ou des autres grains dont la couleur verte est centrée et vers le bord du cristal, par contact

tranchant, l'amphibole est marron. Un grand nombre des amphiboles sont associées à des cristaux de clinopyroxène, qui sont de taille relativement petite, et de biotite par endroit. Là aussi, il existe des associations entre les deux types d'amphiboles et les clinopyroxènes qui ne montrent aucune tendance à caractère redondant. Mais cependant il semble qu'il y ait un plus grand nombre d'association entre les amphiboles marrons et les clinopyroxènes. Ces remarques sont mises en évidence sur les figures 4 et 5.

Certains de ces échantillons ont été analysés avec un système EDX. Les lames minces sont choisies en fonction de la présence des deux types de cristaux d'amphiboles et des clinopyroxènes, dont les grains sont relativement bien préservés et de tailles conséquentes, nécessaire à de bonnes analyses chimiques.

Géographiquement éparpillées dans le massif, voir figure 2, les lames #9147, #9150, #9154, #9157 et #9159 sont analysées. Des comparaisons avec les analyses totales de ces lames minces sont discutées par la suite, d'après les données établies par les études précédentes de Lindh et Johansson (1996), en annexe, table 1.

Les amphiboles de ce granite étudié appartiennent, selon la classification de Leake et *al.* (1997), à la famille des amphiboles calciques avec $(Ca+Na)^{M1-M3} > 1,69$ et $Na < 0,5$. Les amphiboles analysées et leurs formules structurales, calculées sur la base de 23 oxygènes et 15 cations en position M1-M4 et T, sont reportées sur les tables 2 et 3, en Annexe. Les amphiboles sont classées en fonction de leurs couleurs. Le diagramme suivant (figure 6) représente la somme de Sodium et Potassium en position A en fonction de la Silice de la formule, avec comme autres paramètres pour la nomenclature : $Ca^{M1-M3} \geq 1,5$, $Ti < 0,5$, $Ca^A < 0,5$ et $Mg\# < 0,5$. Deux groupes de points sont distingués : un premier groupe, dont les points sont relativement serrés, est situé dans le champ des ferro-édénites et le second groupe est situé dans deux champs: la majorité des points sont des ferrohornblendes et le reste des points sont des ferro-édénites, mais ils sont placés très près de la limite avec les ferrohornblendes. Au microscope optique, le premier groupe correspond à la couleur marron et le second vert.

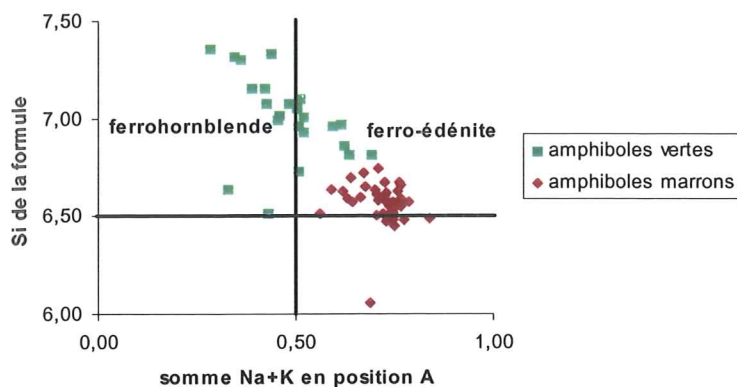


Figure 6 : Classification des amphiboles calciques analysées au détecteur EDX. Le diagramme est fonction de la somme de Na et K en position A par rapport au Si de la formule. D'autres paramètres sont appliqués à cette classification. Le calcul des positions respectives des éléments chimiques suivant la formule standard des amphiboles et la nomination des différentes amphiboles sont établis par la nomenclature de Leake. Les valeurs sont basées sur 23 oxygènes.

La classification est basée sur les composants chimiques de la formule standard des amphiboles : $AM_4(M_1M_2M_3)_5T_8O_{22}(OH)_2$. Pour cette classification, il est nécessaire de connaître le rapport de Fe^{3+}/Fe^{2+} pour allouer correctement les cations à leurs positions variables. On a fait un effort pour estimer la quantité de fer ferrique à partir de la composition chimique d'un cristal. Les erreurs sont assez larges du fait que la plupart des erreurs analytiques s'accumulent dans la valeur du fer ferrique. Il n'y a pas d'analyses pour l'hydrogène et les halogènes ; ainsi toutes les analyses sont basées sur 23 oxygènes (46 charges négatives dans le cadre du silicium). On suit le schéma suggéré par Leake et al. (1997) : Al occupe les positions tétraédriques que le Si n'occupent pas. Il y a toujours un excès d'Al, ainsi aucun fer ferrique n'a été considéré pour cette position. Les positions M1 à M3 (5 positions) sont remplies avec le reste d'Al, Fe^{2+} , Fe^{3+} , Mg, Mn et Ti. Ca est limité aux deux positions M4 ; les positions M4 pas occupées par Ca sont remplies avec Mn et Fe^{2+} . Na et K sont limités à la position A. La seule contrainte pour l'occupation de A est que sa somme soit inférieure à 1. Les occupations des autres positions, M4, M1 à M3 et T sont respectivement 2, 5 et 8.

D'après les tables et les figures, il est possible de comparer les deux types d'amphiboles. La ferro-édénite (amphiboles marrons) est enrichie en K par rapport à la ferrohornblende (amphiboles vertes) et la composition en Na est constante. K est seulement en position A, ainsi la position A est moins remplie en éléments alcalins

pour la ferrohornblende que pour la ferro-édénite. La somme des éléments chimiques en position A pour la ferrohornblende varie entre 0,68 et 0,28 et pour la ferro-édénite : 0,83 à 0,55. D'autre part, Si est variable pour ces deux minéraux. En effet, il y a une plus grande quantité de Si pour la ferrohornblende. Cela induit une corrélation, au niveau de la position A, entre la quantité de Si et la somme de $(Na+K)^A$. Au plus il y a de Si au moins le Na et le K remplissent la position A. Cette tendance est visible sur la figure de la classification. Cette différence entre la ferrohornblende et la ferro-édénite au niveau de la Si a été testée par une méthode statistique appelée t-test. La valeur de t que l'on obtient est comparée à la table de distribution-t, qui permet d'établir à quel niveau de signification l'hypothèse est rejetée ou acceptée. Notre hypothèse est qu'il n'y a pas de différence entre les deux minéraux. Pour que l'hypothèse soit rejetée, il faut que t soit égal ou supérieur à une valeur de distribution-t dans la table qui est fonction du degré de liberté et d'un niveau de signification. Dans notre cas, l'hypothèse est rejetée avec un niveau de signification de 0,001, soit à 99,9% les deux amphiboles sont différentes en fonction de Si. Le même test est réalisé suivant un autre paramètre qui est la somme des éléments alcalins en position A. L'hypothèse est encore rejetée et la différence des deux amphiboles est vraie à 99,9% en fonction de $(Na+K)^A$.

En position M1 à M3, Ti est aussi variable pour les deux amphiboles. D'après la

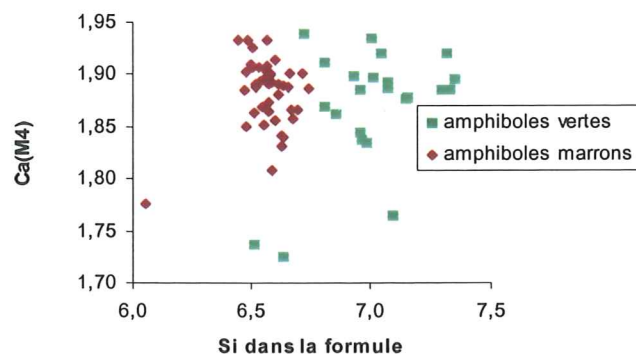


Figure 7 : distribution des analyses chimiques d'éléments majeurs des amphiboles : variation du rapport $MgO/(MgO+FeO)$ par rapport à Ti. Le nombre-Mg est calculé avec les valeurs des oxydes. Les analyses sont faites au détecteur EDX et les valeurs sont basées sur 23 oxygènes. La distribution est regroupée en deux groupes qui reflètent les deux types d'amphiboles

figure 7, on peut clairement distinguer que les ferro-édénites sont regroupées en un groupe relativement serré, avec Ti plus élevé et le rapport $MgO/(MgO+FeO)$ qui ne

varie peu, à l'exception de trois points. Ces trois analyses proviennent d'une même lame mince, #9159, et sont les seules analyses pour cette lame. Elles sont caractérisées par une quantité de MgO d'environ 4% qui est donc plus élevée que pour toutes les autres analyses qui sont d'environ 1%. Et dans le sens opposé, il y a aussi une variation en fer ferreux, dont sa quantité diminue pour les trois analyses. D'après la composition chimique totale du granite #9159 par rapport aux autres (Table 1), le MgO ne reflète pas le même comportement puisque sa valeur est proche des autres, sauf pour #9147 qui a une valeur plus élevée, ce qui n'a pas lieu pour les amphiboles. Mais par contre la tendance de ces trois points semble persister au niveau de la quantité de fer totale de la roche totale. La composition en fer total varie entre 2,4 et 6% respectivement pour #9159 et #9147.

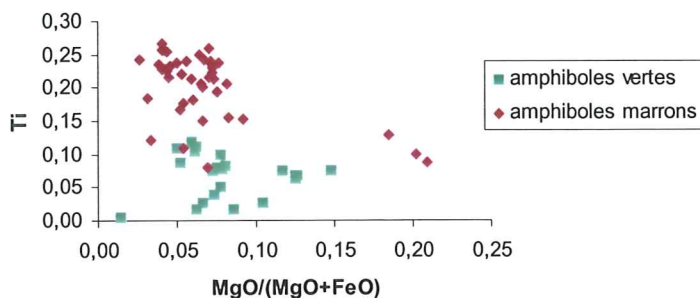


Figure 8 : distribution des analyses chimiques d'éléments majeurs des amphiboles : Si dans la formule par rapport au Ca en position M4. Les analyses sont faites au détecteur EDX et les valeurs sont basées sur 23 oxygènes.

La différence de Mg# est peu importante entre les amphiboles, les valeurs sont basses et varient entre 0,01 et 0,21 pour les deux types d'amphiboles. La ferro-édénite a des valeurs plus groupées.

Ca est un élément chimique important, il occupe en moyenne 80 à 90% de la position M4. Les valeurs varient entre 1,93 et 1,7 et il y a une variation négligeable entre les deux amphiboles à l'exception de quelques points, voir figure 8. Des analyses d'amphibole à faible teneur en Ca ont été réalisées et reportées en table 4. Ces analyses correspondent à un grain d'amphibole de la lame #9147. Au microscope optique, cette amphibole à faible teneur en Ca a une structure laminée et une couleur pléochroïque différente de la ferro-édénite qui l'entoure. La position M4 est remplie à 80% par le Fe à la place de Ca. D'après la nomenclature des

amphiboles de Leake et *al.* (1997), ces amphiboles font parties du groupe des amphiboles ferromagnésiennes et de la famille des grunérites. Les analyses sont aussi caractérisées par une somme relativement basse.

D'après la figure 9, au niveau des positions M1 à M3, la somme du Mg, Fe^{2+} et Fe^{3+} n'est pas un critère important de différenciation entre les deux types d'amphiboles. Cependant il y a la tendance commune qui revient : les ferrohornblendes sont étalées dans la figure, alors que les ferro-édénites sont plus groupées. Ces positions sont remplies à environ 80% par le Fe^{2+} pour les deux amphiboles.

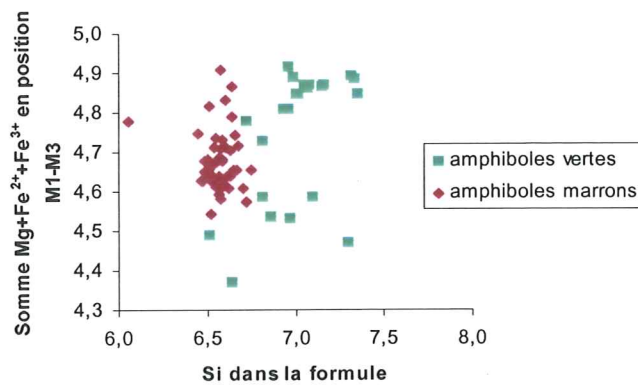


Figure 9 : distribution des analyses chimiques d'éléments majeurs des amphiboles. Si dans la formule est fonction à la somme de Mg, Fe^{2+} et Fe^{3+} en position M1-M3. Les analyses sont faites au détecteur EDX et les valeurs sont basées sur 23 oxygènes.

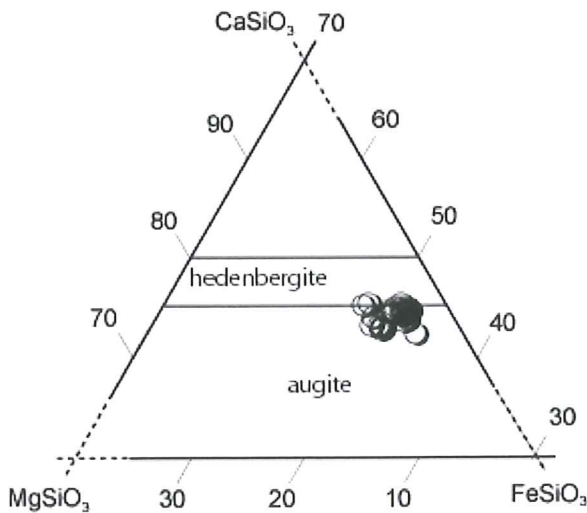


Figure 10 : Diagramme triangulaire de la nomenclature des pyroxènes. Les trois sommets sont les éléments majeurs qui occupent les positions octaédriques dans la formule générale des pyroxènes. L'unité est en poids (%).

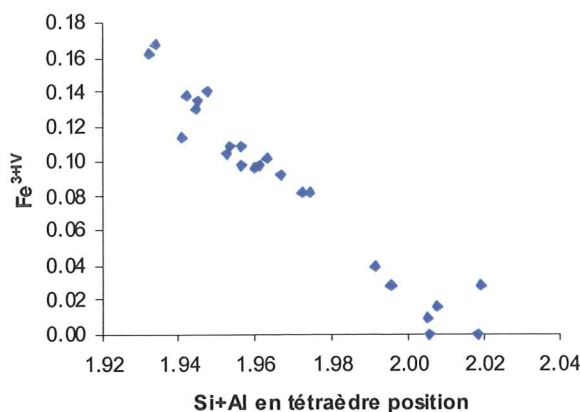


Figure 11 : distribution des éléments qui occupe le site tétraédrique des clinopyroxènes. Les analyses proviennent de deux lames minces. Les analyses sont faites au détecteur EDX, les valeurs sont basées sur 6 oxygènes et le fer ferrique est estimé pour 12 charges négatives.

Les clinopyroxènes analysés dans ce granite ont été choisis au microscope optique en fonction de leurs emplacements. Les deux lames minces analysées ont déjà servi pour l'analyse des amphiboles. En référence aux observations antérieures, les analyses sont faites de préférence à des clinopyroxènes situés dans un cristal d'amphibole. Cependant des grains individuels ont été analysés afin de comparaître leurs compositions chimiques. Les résultats des analyses et leurs formules structurales sont reportées en annexe, table 5. Les analyses sont calculées sur une base de 6 oxygènes et les formules sur une base de 4 cations en position tétraédrique, M1 et M2. La formule générale des pyroxènes qui en découle est $M1M2T_2O_6$. Le Si occupe principalement la position tétraédrique. Le reste de cette position est rempli par Al^{3+} et lorsque la position n'est pas comblée c'est le Fe^{3+} qui remplit cette position. Le reste des éléments chimiques remplit les positions octaédriques qui sont M1 et M2. Le fer ferrique est estimé pour 12 charges négatives avec pour contrainte que la somme du site du tétraèdre et de l'octaèdre soit 2. Des erreurs analytiques sont mises en évidence duent à la somme des analyses chimiques relativement élevée. Certaines des analyses ont été enlevées en raison de sommes trop importantes. Les points analysés sont distribués dans un diagramme à distribution triangulaire qui est fonction de trois éléments majeurs : Ca, Mg et Fe. Ainsi ils sont exprimés être des clinopyroxènes de type augite voir figure 10. Les augites ont une composition chimique quasiment similaire, approximativement $Ca_{0,9}Fe_{1,0}Mg_{0,1}Si_2O_6$ et sont situés sur bordure du champ entre augite et hedenbergite. D'après la table, le composant Al pour ce minéral est très bas. Le

nombre-Mg est similaire aux deux amphiboles. Le site M2 est occupé par le Ca à environ 90% et le site M1 est comblé par le fer total avec plus de 90%. Ces pyroxènes ont une teneur faible en Ti. Les composants Si, Al et Fe^{3+} occupent proportionnellement le site du tétraèdre d'après la figure 11 ; au plus la Si et Al occupent le tétraèdre au moins il a de Fe^{3+} . Entre les analyses, le Fe varie de 0,85 à 0,98 et le Ca de 0,84 à 0,92. Les autres éléments comme Mg, Al, Si et Na montrent aussi des variations mais bien plus petites, par exemple Si varie entre 1,91 et 2. Les analyses faites sur un cristal individuel reflètent des variations du même ordre.

5. Discussion:

Dans tous les échantillons, les minéraux sont petits et il y a un mélange de cristaux avec des feldspath potassique – amphibole – clinopyroxène. Ces observations donnent une indication sur la vitesse de cristallisation. Probablement due à une tension dans la croûte, le magma réussi à monter vers la surface, où il se cristallise assez rapidement.

La texture granophirique symplectite du quartz indique la phase finale de cristallisation du quartz et du feldspath.

A partir des observations associées des microscopes optique et électronique des lames minces du granite de Nordingrå, des analyses chimiques de ferromagnésiens en découlent.

Les ferromagnésiens, qui représentent environ 10% des minéraux du granite, sont individuels ou associés entre eux, ils peuvent aussi être regroupés en spot de petite surface. Les trois principaux ferromagnésiens sont deux types d'amphiboles calciques : la ferrohorneblende et la ferro-édénite et un clinopyroxène : l'augite. Les deux amphiboles sont partiellement distinctes par leurs couleurs. Ces minéraux sont pauvres en titane, de 0,1 à 2% de TiO_2 , et le rapport $MgO/(MgO+FeO)$ est bas ($<0,5$) et relativement constant. Les éléments chimiques ci-dessus donnent des renseignements sur l'origine magmatique du granite. Etant donné le caractère constant de ces éléments, il semble que les trois minéraux proviennent de la même chambre magmatique.

Les amphiboles marrons, entre elles, ont leurs compositions chimiques très proche tandis que les amphiboles vertes ont une composition chimique étalée. La couleur

est pour certains grains difficiles à classer due à une couleur comprise entre les deux. Les variations chimiques les plus distinguables, entre ces deux amphiboles, sont l'augmentation progressive en Si, la diminution de la somme $(Na+K)_A$ et la diminution en Ti pour les amphiboles vertes par rapport aux autres amphiboles. Une corrélation entre les couleurs et la composition chimique des amphiboles est présente. D'après la figure 3 et les observations ci-dessus, une évolution progressive a lieu entre les deux amphiboles, au niveau chimique, ce qui induit une évolution de la couleur.

Il semble qu'il y ait eu différents stades de substitution de ces quatre éléments au niveau des amphiboles vertes au cours du refroidissement. La couleur de la ferrohornblende devient plus bleue au plus la composition chimique s'éloigne de celle de la ferro-édénite. La ferrohornblende dérive de la ferro-édénite.

Les compositions chimiques des clinopyroxènes analysés ne semblent pas varier suivant leurs emplacements, en effet il n'y a pas de corrélation visible entre la composition chimique des pyroxènes et leurs associations, ou non, avec les amphiboles. Le clinopyroxène a une composition quasiment constante pour l'ensemble des analyses, il fait parti de la famille de l'augite. Le clinopyroxène est souvent associé aux amphiboles marrons. Comme dans beaucoup de cas de refroidissement magmatique, le clinopyroxène s'altère en amphibole par le biais de réaction avec le liquide, ce qui est le cas dans le granite rapakivique.

L'ordre d'apparition des ferromagnésiens semble être compris : l'augite a été altéré en ferro-édénite brune, à 1,5 à 2% de TiO_2 . Celle-ci a été, de même, altérée en ferrohornblende, par une substitution principale d'élément alcalin en faveur de la Si. La ferrohornblende est donc le minéral ferromagnésien le plus jeune, il est pauvre en Ti, K et Na et enrichie en Si.

Ces altérations peuvent être accélérées par une source de chaleur, en effet vers 1215 Ma un sill de dolorite va recouvrir partiellement le massif.

6. Conclusion :

Le but principal de ce travail est de clarifier la composition chimique des ferromagnésiens du granite de Nordingrå, ce qui permet de comprendre le stade final de la cristallisation du granite. Les ferromagnésiens proviennent du même magma,

mais leurs différentes compositions chimiques sont expliquées par des réactions entre les phases minérales et le liquide. En effet au cours du refroidissement, le liquide contenu dans le granite va réagir avec l'augite pour donner une amphibole de type ferro-édenite. Cette même amphibole, par le biais de substitution progressive de certains de ces éléments, va s'altérer en ferrohornblende.

Pour clarifier avec plus de précision, les différences de ces deux types d'amphiboles, il serait judicieux de faire une étude sur la relation au niveau structurale entre les deux amphiboles.

Références :

- Haapala, I, 1998: Metallogeny of the Proterozoic rapakivi granites of Finland. Taylor, R.P. and Strong, D.F - Recent Advances in the Geology of Granite-Related Mineral Deposits, Proceedings of the CIM Conference on Granite-Related Mineral Deposits, September 1985 vol. 39 (spec. vol.), 125–132.
- Haapala, I, Rämö, O.T, 1992: Tectonic setting and origin of the Proterozoic rapakivi granites of southeastern Fennoscandia. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh, Earth Sciences* 83, 165–171.
- Korja, A. & Heikkinen, P.J., 1995. Proterozoic extensional tectonics of the central Fennoscandian Shield: results from the Baltic and Bothnian echoes from the Lithosphere experiment. *Tectonics* 14, 504–517.
- Korja, A., Korja, T., Luosto, U. et Heikkinen, P, 1993: Seismic and geoelectric evidence for collisional and extensional events in the Fennoscandian Shield — implications for Precambrian crustal evolution. *Tectonophysics* 219, 129–152.
- Leake, B.E., Woolley, A.R., Arps, C.E.S., Birch, W.D., Gilbert, M.C., Grice, J.D., Hawthorne, F.C., Kato, A., Kisch, H.J., Krivovichev, V.G., Linthout, K., Laird, J., Mandarino, J., Maresch, W.V., Nickel, E.H., Rock, N.M.S., Schumacher, J.C., et Stephenson, N.C.N., 1997: Nomenclature of amphiboles: Report of the Subcommittee of the International Mineralogical Association, Commission on New Minerals and Mineral Names. *American Mineralogist* 82 (9–10), 1019–1037.
- Lindh, A., Andersson, U.B., Lundqvist, T., et Claesson, S, 2001 : Evidence of crustal contamination of mafic rocks associated with rapakivi rocks: An example from the Nordingå complex, Central Sweden. *Geological Magazine* 138: 371-386
- Lindh, A., 2001: Microgranular enclaves in the Nordingå rapakivi granite, east central Sweden - a clue to its early development. *Neues Jahrbuch für Mineralogie Abhandlungen* 176, 299-322.

- Lindh, A. & Johansson, I., 1996: Rapakivi granites of the Baltic Shield: The Nordingrå granite, its chemical variation and Sm-Nd isotope variation. *Neues Jahrbuch für Mineralogie Abhandlungen*, 170, 291-312.
- Lundbohm, H, 1899: Berggrunden inom Vesternorrlands län. *Sveriges geologiska undersökning C 177*.
- Lundqvist, T., Gee, D.G., Kumpulainen, R. et Karis, L, 1990: Explanation to bedrock map of Västernorrlands Region (in Swedish). *Sveriges Geologiska Undersökning*, Ba 31 (429 pp.).
- Lundqvist, T., Bygghammar, B., Stephens, M., Beckholmen, M. et Norling, E., 1995: Bedrock of Sweden 1:1,250,000 National Atlas of Sweden, LM Kartor, Kiruna.
- Mårtensson, T., 1997: En petrografisk och geokemisk undersökning av inneslutningar i Nordingrågraniten. *Master thesis, Department of Geology, Lund University 87*, 34pp.
- Rämö, O.T., 1991: Petrogenesis of the Proterozoic rapakivi granites and related basic rocks of southeastern Fennoscandia: Nd and Pb isotopic and general geochemical constraints. *Geological Survey of Finland Bulletin*. 35 (161 pp.).
- Sobral, J., 1913: Contributions to the geology of the Nordingrå Region. *Uppsala, Almqvist & Wiksells Boktryckeri AB*, 176 pp.
- Welin, E., 1979: Tabulation of recalculated radiometric ages published 1960-1979 for rocks and minerals in Sweden. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar*. 101, pp 309-320.
- Welin, E. & Lundqvist T., 1984: Isotopic investigation of the Nordingrå rapakivi massif, North-Central Sweden. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar*, 106, pp 41-49.

Table 1 : Résultats des oxydes majeurs (wt %) des granites analysés dans la présente étude. Données provenant d'études antérieures établies par Lindh & Johansson (1996).

| échantillon | 9147 | 9150 | 9154 | 9157 | 9159 |
|--------------------------------|------|------|------|------|------|
| SiO ₂ | 65,7 | 71,5 | 70,6 | 72,1 | 74,9 |
| TiO ₂ | 0,63 | 0,36 | 0,46 | 0,37 | 0,3 |
| Al ₂ O ₃ | 14,4 | 13,2 | 12,8 | 12,8 | 12,2 |
| Fe ₂ O ₃ | 1,6 | 0,9 | 1,3 | 0,7 | 1 |
| FeO | 4,4 | 2,4 | 3,3 | 2,7 | 1,4 |
| MnO | 0,1 | 0,05 | 0,07 | 0,06 | 0,03 |
| MgO | 0,39 | 0,14 | 0,16 | 0,13 | 0,19 |
| CaO | 2,05 | 1,13 | 1,56 | 1,16 | 0,57 |
| Na ₂ O | 3,18 | 3,09 | 2,94 | 2,94 | 2,78 |
| K ₂ O | 5,91 | 5,91 | 5,52 | 5,86 | 5,61 |

Table 2 a: Résultats des analyses d'amphiboles de couleur marron et leurs formules structurales:

| éché. | 9147 | 9147 | 9147 | 9147 | 9147 | 9147 | 9147 | 9147 | 9147 | 9147 | 9147 | 9147 | 9147 | 9147 | 9147 | 9147 | 9147 | 9147 | 9147 |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Na ₂ O | 1,31 | 1,37 | 1,37 | 1,10 | 1,25 | 1,32 | 1,49 | 1,39 | 1,48 | 1,35 | 1,52 | 1,30 | 1,32 | 1,46 | 1,20 | 1,08 | 1,20 | 1,58 | 1,50 |
| MgO | 1,33 | 1,34 | 1,18 | 1,32 | 1,44 | 1,34 | 1,26 | 1,33 | 0,99 | 1,54 | 1,37 | 1,41 | 1,36 | 1,54 | 0,58 | 0,95 | 0,96 | 1,01 | 1,15 |
| SiO ₂ | 40,07 | 39,73 | 39,08 | 39,85 | 40,05 | 39,34 | 39,57 | 39,43 | 39,45 | 40,26 | 40,34 | 40,12 | 39,19 | 39,56 | 38,82 | 38,74 | 39,48 | 39,85 | 40,44 |
| K ₂ O | 1,38 | 1,35 | 1,41 | 1,33 | 1,29 | 1,41 | 1,36 | 1,39 | 1,34 | 1,30 | 1,36 | 1,32 | 1,36 | 1,32 | 1,23 | 1,18 | 1,13 | 1,33 | 1,37 |
| TiO ₂ | 1,94 | 1,90 | 1,98 | 1,69 | 1,90 | 1,83 | 1,94 | 1,90 | 1,76 | 1,66 | 2,10 | 1,53 | 1,67 | 1,23 | 0,95 | 0,85 | 1,31 | 1,44 | 1,48 |
| MnO | 0,33 | 0,42 | 0,43 | 0,38 | 0,32 | 0,39 | 0,42 | 0,40 | 0,30 | 0,32 | 0,38 | 0,38 | 0,39 | 0,28 | 0,35 | 0,37 | 0,29 | 0,42 | 0,38 |
| FeO | 30,98 | 30,64 | 30,51 | 30,96 | 30,79 | 30,37 | 31,02 | 30,53 | 31,11 | 30,63 | 31,74 | 30,93 | 30,30 | 30,46 | 30,05 | 29,47 | 30,71 | 31,44 | 31,64 |
| Fe ₂ O ₃ | 1,60 | 1,31 | 1,25 | 0,00 | 1,08 | 1,55 | 0,55 | 1,65 | 1,40 | 1,32 | 0,46 | 0,49 | 0,85 | 0,86 | 2,92 | 4,15 | 1,87 | 1,95 | 1,60 |
| Al ₂ O ₃ | 7,52 | 7,68 | 7,79 | 7,24 | 7,21 | 7,36 | 7,86 | 7,92 | 7,55 | 7,73 | 7,70 | 6,83 | 7,57 | 7,46 | 7,61 | 6,84 | 6,95 | 8,76 | 8,34 |
| CaO | 10,79 | 10,77 | 10,64 | 10,52 | 10,61 | 10,61 | 10,69 | 10,67 | 10,84 | 10,74 | 10,81 | 10,47 | 10,39 | 10,33 | 10,51 | 10,05 | 10,26 | 10,62 | 10,77 |
| somme | 97,24 | 96,51 | 95,63 | 94,38 | 95,93 | 95,53 | 96,15 | 96,62 | 96,22 | 96,85 | 97,75 | 94,78 | 94,41 | 94,48 | 94,21 | 93,68 | 94,16 | 98,41 | 98,66 |
| Si | 6,58 | 6,57 | 6,53 | 6,72 | 6,65 | 6,58 | 6,57 | 6,52 | 6,57 | 6,61 | 6,59 | 6,75 | 6,62 | 6,67 | 6,60 | 6,63 | 6,70 | 6,48 | 6,55 |
| Al ^(IV) | 1,42 | 1,43 | 1,47 | 1,28 | 1,35 | 1,42 | 1,43 | 1,48 | 1,43 | 1,39 | 1,41 | 1,25 | 1,38 | 1,33 | 1,40 | 1,37 | 1,30 | 1,52 | 1,45 |
| Al ^(M1-M3) | 0,04 | 0,07 | 0,07 | 0,16 | 0,06 | 0,03 | 0,11 | 0,06 | 0,05 | 0,11 | 0,07 | 0,10 | 0,12 | 0,15 | 0,12 | 0,00 | 0,09 | 0,16 | 0,14 |
| Ti | 0,24 | 0,24 | 0,25 | 0,21 | 0,24 | 0,23 | 0,24 | 0,24 | 0,22 | 0,20 | 0,26 | 0,19 | 0,21 | 0,16 | 0,12 | 0,11 | 0,17 | 0,18 | 0,18 |
| Mg | 0,33 | 0,33 | 0,29 | 0,33 | 0,36 | 0,33 | 0,31 | 0,33 | 0,24 | 0,38 | 0,33 | 0,35 | 0,34 | 0,39 | 0,15 | 0,24 | 0,24 | 0,24 | 0,28 |
| Fe ^(M1-M3) | 4,15 | 4,14 | 4,17 | 4,24 | 4,16 | 4,15 | 4,21 | 4,11 | 4,27 | 4,10 | 4,23 | 4,24 | 4,16 | 4,16 | 4,18 | 4,06 | 4,22 | 4,13 | 4,15 |
| Mn ^(M1-M3) | 0,05 | 0,06 | 0,06 | 0,05 | 0,04 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,04 | 0,04 | 0,05 | 0,05 | 0,06 | 0,04 | 0,05 | 0,05 | 0,04 | 0,06 | 0,05 |
| Fe ³⁺ | 0,20 | 0,16 | 0,16 | 0,00 | 0,13 | 0,20 | 0,07 | 0,21 | 0,18 | 0,16 | 0,06 | 0,06 | 0,11 | 0,11 | 0,37 | 0,53 | 0,24 | 0,24 | 0,20 |
| Fe ^(M4) | 0,10 | 0,09 | 0,09 | 0,12 | 0,11 | 0,10 | 0,10 | 0,11 | 0,07 | 0,11 | 0,11 | 0,11 | 0,12 | 0,14 | 0,09 | 0,16 | 0,13 | 0,15 | 0,13 |
| Ca ^(M4) | 1,90 | 1,91 | 1,91 | 1,90 | 1,89 | 1,90 | 1,90 | 1,89 | 1,93 | 1,89 | 1,89 | 1,89 | 1,88 | 1,87 | 1,91 | 1,84 | 1,87 | 1,85 | 1,87 |
| Na ^(M4) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Ca ^(A) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Na ^(A) | 0,42 | 0,44 | 0,44 | 0,38 | 0,40 | 0,43 | 0,48 | 0,45 | 0,48 | 0,43 | 0,48 | 0,42 | 0,43 | 0,48 | 0,40 | 0,36 | 0,39 | 0,50 | 0,47 |
| K | 0,29 | 0,29 | 0,30 | 0,29 | 0,27 | 0,30 | 0,29 | 0,29 | 0,29 | 0,27 | 0,28 | 0,28 | 0,29 | 0,28 | 0,27 | 0,26 | 0,25 | 0,28 | 0,28 |
| Fe ^{3+(IV)} | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| S ^(M1-M3) | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 |
| S ^(M4) | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 |
| S ^(A) | 0,71 | 0,73 | 0,74 | 0,67 | 0,67 | 0,73 | 0,77 | 0,74 | 0,76 | 0,70 | 0,77 | 0,71 | 0,73 | 0,76 | 0,66 | 0,62 | 0,64 | 0,77 | 0,75 |
| S ^(T) | 8,00 | 8,00 | 8,00 | 8,00 | 8,00 | 8,00 | 8,00 | 8,00 | 8,00 | 8,00 | 8,00 | 8,00 | 8,00 | 8,00 | 8,00 | 8,00 | 8,00 | 8,00 | 8,00 |
| M + T-pos. | 15,00 | 15,00 | 15,00 | 15,02 | 15,00 | 15,00 | 15,00 | 15,00 | 15,00 | 15,00 | 15,00 | 15,00 | 15,00 | 15,00 | 15,00 | 15,00 | 15,00 | 15,00 | 15,00 |
| K/(K+Na) | 0,41 | 0,39 | 0,40 | 0,44 | 0,40 | 0,41 | 0,38 | 0,40 | 0,37 | 0,39 | 0,37 | 0,40 | 0,40 | 0,37 | 0,40 | 0,42 | 0,38 | 0,36 | 0,38 |
| Mg# | 0,07 | 0,07 | 0,06 | 0,07 | 0,08 | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,05 | 0,08 | 0,07 | 0,08 | 0,07 | 0,08 | 0,03 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,06 |
| (Na+K) _A | 0,71 | 0,73 | 0,74 | 0,67 | 0,67 | 0,73 | 0,77 | 0,74 | 0,76 | 0,70 | 0,77 | 0,71 | 0,73 | 0,76 | 0,66 | 0,62 | 0,64 | 0,77 | 0,75 |

Table 2 b :

| éch. | 9147 | 9147 | 9147 | 9147 | 9147 | 9154 | 9154 | 9154 | 9154 | 9154 | 9154 | 9154 | 9154 | 9154 | 9154 | 9150 | 9150 | 9150 | 9150 | 9150 | 9150 | 9150 | 9150 |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|------|
| Na ₂ O | 1,50 | 1,47 | 1,43 | 1,10 | 1,40 | 1,42 | 1,42 | 1,42 | 1,41 | 1,51 | 1,50 | 1,64 | 1,54 | 1,47 | 1,30 | 1,72 | 1,37 | 1,46 | 1,36 | 1,36 | 1,39 | 1,39 | |
| MgO | 1,26 | 1,39 | 1,13 | 1,64 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,85 | 0,84 | 0,82 | 0,98 | 0,92 | 0,82 | 0,52 | 0,72 | 0,76 | 1,06 | 0,79 | 1,21 | 1,30 | 1,30 | 1,30 | |
| SiO ₂ | 40,26 | 40,40 | 40,31 | 38,77 | 41,62 | 41,19 | 41,19 | 41,27 | 40,64 | 41,64 | 41,67 | 42,50 | 42,33 | 42,16 | 40,63 | 39,02 | 39,18 | 40,57 | 42,03 | 41,39 | 41,39 | 41,39 | |
| K ₂ O | 1,48 | 1,42 | 1,40 | 1,24 | 1,48 | 1,55 | 1,48 | 1,56 | 1,48 | 1,47 | 1,25 | 1,32 | 1,46 | 1,44 | 1,43 | 1,41 | 1,29 | 1,49 | 1,21 | 1,45 | 1,45 | 1,45 | |
| TiO ₂ | 1,64 | 1,81 | 1,73 | 1,19 | 1,91 | 2,14 | 1,91 | 1,81 | 1,81 | 2,17 | 2,02 | 2,02 | 1,95 | 2,04 | 1,92 | 2,12 | 1,89 | 2,15 | 1,27 | 1,69 | 1,69 | 1,69 | |
| MnO | 0,36 | 0,38 | 0,43 | 0,36 | 0,34 | 0,37 | 0,11 | 0,29 | 0,29 | 0,00 | 0,10 | 0,34 | 0,23 | 0,05 | 0,43 | 0,35 | 0,32 | 0,32 | 0,45 | 0,39 | 0,39 | 0,39 | |
| FeO | 31,56 | 31,60 | 31,55 | 28,82 | 33,22 | 32,87 | 33,16 | 31,97 | 33,63 | 33,63 | 32,87 | 33,94 | 34,08 | 34,38 | 31,23 | 31,55 | 31,21 | 32,17 | 30,31 | 32,86 | 32,86 | 32,86 | |
| Fe ₂ O ₃ | 0,83 | 0,65 | 1,15 | 3,21 | 2,08 | 2,09 | 2,00 | 3,43 | 1,06 | 1,06 | 2,15 | 0,80 | 1,94 | 0,00 | 3,10 | 1,00 | 1,50 | 2,00 | 4,55 | 1,15 | 1,15 | 1,15 | |
| Al ₂ O ₃ | 8,15 | 8,18 | 8,05 | 7,37 | 8,46 | 8,29 | 7,85 | 8,10 | 8,73 | 8,73 | 8,53 | 9,19 | 8,18 | 8,54 | 7,49 | 7,91 | 7,05 | 8,52 | 7,32 | 7,07 | 7,07 | 7,07 | |
| CaO | 10,82 | 10,69 | 10,82 | 9,93 | 11,11 | 11,28 | 11,14 | 11,37 | 11,50 | 11,42 | 11,42 | 11,49 | 11,43 | 10,90 | 10,81 | 10,85 | 10,28 | 11,03 | 11,17 | 11,02 | 11,02 | 11,02 | |
| somme | 97,85 | 97,98 | 98,00 | 93,62 | 102,48 | 102,06 | 101,17 | 101,43 | 102,52 | 102,47 | 102,47 | 104,14 | 103,93 | 101,51 | 99,06 | 96,70 | 95,16 | 100,50 | 100,87 | 99,72 | 99,72 | 99,72 | |
| Si | 6,57 | 6,57 | 6,57 | 6,59 | 6,51 | 6,48 | 6,55 | 6,45 | 6,50 | 6,50 | 6,50 | 6,52 | 6,54 | 6,64 | 6,57 | 6,49 | 6,60 | 6,47 | 6,64 | 6,66 | 6,66 | 6,66 | |
| Al ^(IV) | 1,43 | 1,43 | 1,43 | 1,41 | 1,49 | 1,52 | 1,45 | 1,51 | 1,50 | 1,50 | 1,50 | 1,48 | 1,46 | 1,36 | 1,43 | 1,51 | 1,40 | 1,53 | 1,36 | 1,34 | 1,34 | 1,34 | |
| Al ^(M1-M3) | 0,14 | 0,14 | 0,12 | 0,07 | 0,07 | 0,02 | 0,02 | 0,00 | 0,11 | 0,07 | 0,07 | 0,18 | 0,03 | 0,22 | 0,00 | 0,04 | 0,00 | 0,07 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| Ti | 0,20 | 0,22 | 0,21 | 0,15 | 0,23 | 0,25 | 0,23 | 0,22 | 0,26 | 0,26 | 0,24 | 0,23 | 0,23 | 0,24 | 0,23 | 0,27 | 0,24 | 0,26 | 0,15 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | |
| Mg | 0,31 | 0,34 | 0,27 | 0,42 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,19 | 0,23 | 0,23 | 0,21 | 0,19 | 0,12 | 0,17 | 0,19 | 0,26 | 0,19 | 0,29 | 0,31 | 0,31 | 0,31 | |
| Fe ^(M1-M3) | 4,20 | 4,17 | 4,19 | 3,90 | 4,21 | 4,23 | 4,30 | 4,17 | 4,32 | 4,20 | 4,20 | 4,24 | 4,30 | 4,41 | 4,16 | 4,34 | 4,26 | 4,20 | 3,96 | 4,29 | 4,29 | 4,29 | |
| Mn ^(M1-M3) | 0,05 | 0,05 | 0,06 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,02 | 0,04 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,04 | 0,03 | 0,01 | 0,06 | 0,05 | 0,05 | 0,04 | 0,06 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | |
| Fe ³⁺ | 0,10 | 0,08 | 0,14 | 0,41 | 0,24 | 0,25 | 0,24 | 0,37 | 0,12 | 0,25 | 0,25 | 0,09 | 0,23 | 0,00 | 0,38 | 0,13 | 0,19 | 0,24 | 0,54 | 0,14 | 0,14 | 0,14 | |
| Fe ^(M4) | 0,11 | 0,14 | 0,11 | 0,19 | 0,14 | 0,10 | 0,11 | 0,07 | 0,08 | 0,09 | 0,09 | 0,11 | 0,11 | 0,12 | 0,07 | 0,05 | 0,14 | 0,09 | 0,04 | 0,13 | 0,13 | 0,13 | |
| Ca ^(M4) | 1,89 | 1,86 | 1,89 | 1,81 | 1,86 | 1,90 | 1,89 | 1,93 | 1,92 | 1,91 | 1,91 | 1,89 | 1,89 | 1,84 | 1,87 | 1,93 | 1,86 | 1,88 | 1,89 | 1,90 | 1,90 | 1,90 | |
| Na ^(M4) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,04 | 0,06 | 0,02 | 0,00 | 0,02 | 0,07 | -0,03 | -0,03 | -0,03 | |
| Ca ^(A) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| Na ^(A) | 0,48 | 0,46 | 0,45 | 0,36 | 0,42 | 0,43 | 0,44 | 0,43 | 0,46 | 0,45 | 0,45 | 0,49 | 0,46 | 0,41 | 0,35 | 0,54 | 0,45 | 0,43 | 0,35 | 0,46 | 0,46 | 0,46 | |
| K | 0,31 | 0,29 | 0,29 | 0,27 | 0,30 | 0,31 | 0,30 | 0,32 | 0,29 | 0,29 | 0,25 | 0,26 | 0,29 | 0,29 | 0,30 | 0,30 | 0,28 | 0,30 | 0,24 | 0,30 | 0,30 | 0,30 | |
| Fe ^{3+(IV)} | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,04 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| S ^(M1-M3) | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | |
| S ^(M4) | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | |
| S ^(A) | 0,78 | 0,76 | 0,74 | 0,63 | 0,72 | 0,74 | 0,73 | 0,75 | 0,75 | 0,75 | 0,70 | 0,74 | 0,75 | 0,70 | 0,64 | 0,84 | 0,73 | 0,73 | 0,59 | 0,76 | 0,76 | 0,76 | |
| S ^(T) | 8,00 | 8,00 | 8,00 | 8,00 | 8,00 | 8,00 | 8,00 | 8,00 | 8,00 | 8,00 | 8,00 | 8,00 | 8,00 | 8,00 | 8,00 | 8,00 | 8,00 | 8,00 | 8,00 | 8,00 | 8,00 | 8,00 | |
| M + T-pos. | 15,00 | 15,00 | 15,00 | 15,00 | 15,00 | 15,00 | 15,00 | 15,00 | 15,00 | 15,00 | 15,00 | 15,00 | 15,00 | 15,00 | 15,00 | 15,00 | 15,00 | 15,00 | 15,00 | 15,00 | 15,00 | 15,00 | |
| K/(K+Na) | 0,39 | 0,39 | 0,39 | 0,43 | 0,41 | 0,42 | 0,41 | 0,42 | 0,39 | 0,39 | 0,35 | 0,35 | 0,38 | 0,39 | 0,42 | 0,35 | 0,38 | 0,40 | 0,37 | 0,41 | 0,41 | 0,41 | |
| Mg# | 0,07 | 0,07 | 0,06 | 0,09 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,05 | 0,05 | 0,04 | 0,03 | 0,04 | 0,04 | 0,06 | 0,04 | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,07 | |
| (Na+K) _A | 0,78 | 0,76 | 0,74 | 0,63 | 0,72 | 0,74 | 0,73 | 0,75 | 0,75 | 0,75 | 0,70 | 0,74 | 0,75 | 0,70 | 0,64 | 0,84 | 0,73 | 0,73 | 0,59 | 0,76 | 0,76 | 0,76 | |

PTable 2 c

| éch. | 9150 | 9157 | 9159 | 9159 | 9159 | 9159 |
|--------------------------------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|
| Na ₂ O | 1,20 | 1,39 | 1,45 | 1,58 | 1,59 | 1,59 |
| MgO | 1,16 | 0,60 | 4,05 | 3,62 | 3,83 | 3,83 |
| SiO ₂ | 40,28 | 41,09 | 42,62 | 42,29 | 41,60 | 41,60 |
| K ₂ O | 1,35 | 1,54 | 1,41 | 1,39 | 1,40 | 1,40 |
| TiO ₂ | 0,65 | 1,65 | 0,73 | 1,08 | 0,83 | 0,83 |
| MnO | 0,33 | 0,29 | 0,77 | 0,79 | 0,90 | 0,90 |
| FeO | 27,61 | 32,29 | 27,31 | 28,45 | 26,92 | 26,92 |
| Fe ₂ O ₃ | 6,62 | 3,44 | 2,84 | 2,00 | 3,20 | 3,20 |
| Al ₂ O ₃ | 8,15 | 8,04 | 7,69 | 8,13 | 8,37 | 8,37 |
| CaO | 11,01 | 11,25 | 11,07 | 10,91 | 10,97 | 10,97 |
| somme | 98,34 | 101,60 | 99,94 | 100,23 | 99,61 | 99,61 |
| Si | 6,51 | 6,05 | 6,68 | 6,63 | 6,55 | 6,55 |
| Al ^(IV) | 1,49 | 1,95 | 1,32 | 1,37 | 1,45 | 1,45 |
| Al ^(M1-M3) | 0,06 | 0,00 | 0,10 | 0,13 | 0,11 | 0,11 |
| Ti | 0,08 | 0,18 | 0,09 | 0,13 | 0,10 | 0,10 |
| Mg | 0,28 | 0,13 | 0,95 | 0,84 | 0,90 | 0,90 |
| Fe ^(M1-M3) | 3,73 | 3,75 | 3,44 | 3,56 | 3,40 | 3,40 |
| Mn ^(M1-M3) | 0,04 | 0,04 | 0,10 | 0,10 | 0,12 | 0,12 |
| Fe ³⁺ | 0,81 | 0,89 | 0,33 | 0,24 | 0,38 | 0,38 |
| Fe ^(M4) | 0,00 | 0,22 | 0,14 | 0,17 | 0,15 | 0,15 |
| Ca ^(M4) | 1,91 | 1,78 | 1,86 | 1,83 | 1,85 | 1,85 |
| Na ^(M4) | 0,09 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Ca ^(A) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Na ^(A) | 0,28 | 0,40 | 0,44 | 0,48 | 0,48 | 0,48 |
| K | 0,28 | 0,29 | 0,28 | 0,28 | 0,28 | 0,28 |
| Fe ^{3+(IV)} | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| S ^(M1-M3) | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 |
| S ^(M4) | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 |
| S ^(A) | 0,56 | 0,69 | 0,72 | 0,76 | 0,77 | 0,77 |
| S ^(T) | 8,00 | 8,00 | 8,00 | 8,00 | 8,00 | 8,00 |
| M + T-pos. | 15,00 | 15,00 | 15,00 | 15,00 | 15,00 | 15,00 |
| K/(K+Na) | 0,43 | 0,42 | 0,39 | 0,37 | 0,37 | 0,37 |
| Mg# | 0,07 | 0,03 | 0,21 | 0,18 | 0,20 | 0,20 |
| (Na+K) _A | 0,56 | 0,69 | 0,72 | 0,76 | 0,77 | 0,77 |

Les analyses ont été établies par un microscope électronique à scanning JEOL avec un détecteur EDX. La position des éléments chimiques est calculée avec 23 oxygènes. Le fer ferrique est estimé pour 46 charges négatives avec la contrainte suivante que le Fe et Mn soient aux positions M1-M3

Table 3 a : Résultats des analyses d'amphiboles de couleur vert et leurs formules structurales :

| éch. | 9147 | 9147 | 9147 | 9147 | 9147 | 9147 | 9147 | 9147 | 9147 | 9147 | 9147 | 9147 | 9147 | 9147 | 9147 | 9147 | 9147 | | |
|-----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|
| %Fe ₂ O ₃ = | 1,65 | 2,39 | 2,20 | 2,20 | 3,98 | 2,22 | 2,80 | 2,84 | 2,53 | 2,98 | 2,78 | 1,45 | 2,15 | 1,78 | 2,60 | 0,46 | 0,00 | 0,16 | |
| Na ₂ O | 1,16 | 0,90 | 0,94 | 1,00 | 0,88 | 0,81 | 1,03 | 0,78 | 1,00 | 0,84 | 0,88 | 0,94 | 0,52 | 0,76 | 0,68 | 1,37 | 1,60 | 1,18 | |
| MgO | 1,12 | 1,15 | 1,15 | 0,99 | 0,89 | 1,43 | 1,40 | 1,59 | 1,47 | 1,53 | 1,50 | 1,67 | 1,40 | 1,48 | 1,99 | 2,42 | 2,95 | 2,23 | |
| SiO ₂ | 41,03 | 41,66 | 41,47 | 42,48 | 41,09 | 44,13 | 43,63 | 44,23 | 43,72 | 43,89 | 43,45 | 43,92 | 44,20 | 43,45 | 43,99 | 42,03 | 46,86 | 42,72 | 42,02 |
| K ₂ O | 1,23 | 1,09 | 0,95 | 0,97 | 1,10 | 0,80 | 0,87 | 0,72 | 0,82 | 0,80 | 0,89 | 0,63 | 0,56 | 0,54 | 0,60 | 1,25 | 1,16 | 1,13 | 1,21 |
| TiO ₂ | 0,96 | 0,83 | 0,88 | 0,70 | 0,89 | 0,62 | 0,63 | 0,67 | 0,65 | 0,64 | 0,81 | 0,13 | 0,31 | 0,41 | 0,21 | 0,56 | 0,67 | 0,52 | 0,61 |
| MnO | 0,30 | 0,33 | 0,33 | 0,30 | 0,41 | 0,41 | 0,39 | 0,39 | 0,44 | 0,40 | 0,41 | 0,45 | 0,43 | 0,34 | 0,43 | 0,30 | 0,28 | 0,24 | 0,33 |
| FeO | 31,25 | 31,09 | 31,06 | 31,87 | 30,18 | 32,26 | 31,95 | 31,87 | 31,99 | 31,68 | 31,55 | 31,71 | 31,44 | 31,38 | 30,31 | 30,07 | 30,45 | 30,29 | 30,08 |
| Fe ₂ O ₃ | 1,65 | 2,39 | 2,20 | 2,20 | 3,98 | 2,22 | 2,80 | 2,84 | 2,53 | 2,98 | 2,78 | 1,45 | 2,15 | 1,78 | 2,60 | 0,46 | 0,00 | 0,00 | 0,16 |
| Al ₂ O ₃ | 6,65 | 5,67 | 5,44 | 5,24 | 6,90 | 4,42 | 4,75 | 4,23 | 4,76 | 4,78 | 5,12 | 3,45 | 3,38 | 3,58 | 3,27 | 7,80 | 7,41 | 7,03 | 7,76 |
| CaO | 10,74 | 10,64 | 10,48 | 10,94 | 11,05 | 10,81 | 11,09 | 10,83 | 10,92 | 10,91 | 10,96 | 10,53 | 10,63 | 10,47 | 10,77 | 10,76 | 10,87 | 10,51 | 10,65 |
| somme | 96,10 | 95,75 | 94,91 | 96,67 | 97,37 | 97,90 | 98,55 | 98,13 | 98,31 | 98,43 | 98,36 | 94,88 | 95,01 | 94,18 | 94,83 | 97,03 | 102,25 | 96,16 | 96,22 |
| Si | 6,81 | 6,93 | 6,96 | 7,01 | 6,73 | 7,16 | 7,05 | 7,15 | 7,07 | 7,08 | 7,02 | 7,33 | 7,35 | 7,30 | 7,32 | 6,81 | 7,10 | 6,97 | 6,86 |
| Al ^(VI) | 1,19 | 1,07 | 1,04 | 0,99 | 1,27 | 0,84 | 0,90 | 0,81 | 0,91 | 0,91 | 0,98 | 0,67 | 0,65 | 0,70 | 0,64 | 1,19 | 0,90 | 1,03 | 1,14 |
| Al ^(M1-M3) | 0,11 | 0,04 | 0,03 | 0,02 | 0,06 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,02 | 0,01 | 0,00 | 0,30 | 0,42 | 0,32 | 0,35 |
| Ti | 0,12 | 0,10 | 0,11 | 0,09 | 0,11 | 0,08 | 0,08 | 0,08 | 0,08 | 0,08 | 0,10 | 0,02 | 0,04 | 0,05 | 0,03 | 0,07 | 0,08 | 0,06 | 0,07 |
| Mg | 0,28 | 0,29 | 0,29 | 0,24 | 0,22 | 0,34 | 0,34 | 0,38 | 0,35 | 0,37 | 0,36 | 0,42 | 0,35 | 0,37 | 0,49 | 0,58 | 0,67 | 0,59 | 0,54 |
| Fe ^(M1-M3) | 4,25 | 4,22 | 4,24 | 4,33 | 4,07 | 4,25 | 4,24 | 4,18 | 4,22 | 4,16 | 4,16 | 4,31 | 4,27 | 4,30 | 4,14 | 3,95 | 3,80 | 4,00 | 3,97 |
| Mn ^(M1-M3) | 0,04 | 0,05 | 0,05 | 0,04 | 0,06 | 0,06 | 0,05 | 0,05 | 0,06 | 0,05 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,05 | 0,06 | 0,04 | 0,04 | 0,03 | 0,05 |
| Fe ³⁺ | 0,21 | 0,30 | 0,28 | 0,27 | 0,49 | 0,27 | 0,29 | 0,30 | 0,29 | 0,34 | 0,33 | 0,18 | 0,27 | 0,23 | 0,28 | 0,06 | 0,00 | 0,00 | 0,02 |
| Fe ^(M4) | 0,09 | 0,10 | 0,12 | 0,07 | 0,06 | 0,12 | 0,08 | 0,12 | 0,11 | 0,11 | 0,10 | 0,12 | 0,11 | 0,11 | 0,08 | 0,13 | 0,05 | 0,14 | 0,14 |
| Ca ^(M4) | 1,91 | 1,90 | 1,88 | 1,93 | 1,94 | 1,88 | 1,92 | 1,88 | 1,89 | 1,89 | 1,90 | 1,88 | 1,89 | 1,89 | 1,92 | 1,87 | 1,76 | 1,84 | 1,86 |
| Na ^(M4) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,18 | 0,03 | 0,00 |
| Ca ^(A) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Na ^(A) | 0,37 | 0,29 | 0,31 | 0,32 | 0,28 | 0,26 | 0,32 | 0,24 | 0,31 | 0,26 | 0,28 | 0,31 | 0,17 | 0,25 | 0,22 | 0,43 | 0,29 | 0,38 | 0,37 |
| K | 0,26 | 0,23 | 0,20 | 0,20 | 0,23 | 0,17 | 0,18 | 0,15 | 0,17 | 0,16 | 0,18 | 0,13 | 0,12 | 0,12 | 0,13 | 0,26 | 0,22 | 0,24 | 0,25 |
| Fe ^{3+(IV)} | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,05 | 0,05 | 0,02 | 0,02 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,04 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| S ^(M1-M3) | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 |
| S ^(M4) | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 |
| S ^(A) | 0,64 | 0,52 | 0,51 | 0,52 | 0,51 | 0,42 | 0,50 | 0,39 | 0,48 | 0,43 | 0,46 | 0,44 | 0,29 | 0,36 | 0,35 | 0,69 | 0,51 | 0,62 | 0,62 |
| S ^(T) | 8,00 | 8,00 | 8,00 | 8,00 | 8,00 | 8,00 | 8,00 | 8,00 | 8,00 | 8,00 | 8,00 | 8,00 | 8,00 | 8,00 | 8,00 | 8,00 | 8,00 | 8,00 | 8,00 |
| M + T-pos. | 15,00 | 15,00 | 15,00 | 15,00 | 15,00 | 15,00 | 15,00 | 15,00 | 15,00 | 15,00 | 15,00 | 15,00 | 15,00 | 15,00 | 15,00 | 15,00 | 14,82 | 14,97 | 15,00 |
| K/(K+Na) | 0,41 | 0,44 | 0,40 | 0,39 | 0,45 | 0,39 | 0,36 | 0,38 | 0,35 | 0,39 | 0,40 | 0,31 | 0,41 | 0,32 | 0,37 | 0,37 | 0,32 | 0,37 | 0,40 |
| Mg# | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,05 | 0,05 | 0,07 | 0,07 | 0,08 | 0,08 | 0,08 | 0,08 | 0,09 | 0,07 | 0,08 | 0,10 | 0,13 | 0,15 | 0,12 | 0,12 |
| (Na+K) _A | 0,64 | 0,52 | 0,51 | 0,52 | 0,51 | 0,42 | 0,50 | 0,39 | 0,48 | 0,43 | 0,46 | 0,44 | 0,29 | 0,36 | 0,35 | 0,69 | 0,51 | 0,62 | 0,62 |

Table 3 b :

| éch. | 9147 | 9157 | 9157 | 9157 | 9157 |
|--------------------------------|-------|--------|-------|-------|--------|
| Na ₂ O | 1,24 | 0,99 | 0,93 | 0,93 | 0,77 |
| MgO | 2,46 | 1,35 | 1,16 | 1,16 | 0,28 |
| SiO ₂ | 43,55 | 46,73 | 42,87 | 42,87 | 45,39 |
| K ₂ O | 1,22 | 0,87 | 0,82 | 0,82 | 0,60 |
| TiO ₂ | 0,56 | 0,24 | 0,15 | 0,15 | 0,05 |
| MnO | 0,34 | 0,68 | 0,56 | 0,56 | 0,73 |
| FeO | 30,43 | 33,99 | 30,62 | 30,62 | 33,46 |
| Fe ₂ O ₃ | 0,00 | 4,70 | 5,73 | 5,73 | 3,60 |
| Al ₂ O ₃ | 7,41 | 5,59 | 5,25 | 5,25 | 4,48 |
| CaO | 10,77 | 11,44 | 10,67 | 10,67 | 11,02 |
| somme | 97,98 | 106,57 | 98,75 | 98,75 | 100,38 |
| Si | 6,96 | 6,99 | 6,51 | 6,51 | 6,63 |
| Al ^(IV) | 1,04 | 0,98 | 1,49 | 1,49 | 1,37 |
| Al ^(M1-M3) | 0,35 | 0,00 | 0,42 | 0,42 | 0,53 |
| Ti | 0,07 | 0,03 | 0,02 | 0,02 | 0,01 |
| Mg | 0,59 | 0,30 | 0,26 | 0,26 | 0,06 |
| Fe ^(M1-M3) | 3,95 | 4,08 | 3,63 | 3,63 | 3,82 |
| Mn ^(M1-M3) | 0,05 | 0,09 | 0,07 | 0,07 | 0,09 |
| Fe ³⁺ | 0,00 | 0,50 | 0,60 | 0,60 | 0,49 |
| Fe ^(M4) | 0,12 | 0,17 | 0,26 | 0,26 | 0,27 |
| Ca ^(M4) | 1,84 | 1,83 | 1,74 | 1,74 | 1,73 |
| Na ^(M4) | 0,04 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Ca ^(A) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Na ^(A) | 0,34 | 0,29 | 0,27 | 0,27 | 0,22 |
| K | 0,25 | 0,17 | 0,16 | 0,16 | 0,11 |
| Fe ^{3+(IV)} | 0,00 | 0,03 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| S ^(M1-M3) | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 |
| S ^(M4) | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 |
| S ^(A) | 0,59 | 0,45 | 0,43 | 0,43 | 0,33 |
| S ^(T) | 8,00 | 8,00 | 8,00 | 8,00 | 8,00 |
| M + T-pos. | 14,96 | 15,00 | 15,00 | 15,00 | 15,00 |
| K/(K+Na) | 0,39 | 0,37 | 0,37 | 0,37 | 0,34 |
| Mg# | 0,13 | 0,07 | 0,06 | 0,06 | 0,01 |
| (Na+K) _A | 0,59 | 0,45 | 0,43 | 0,43 | 0,33 |

Les analyses ont été établies par un microscope électronique à scanning JEOL avec un détecteur EDX. La position des éléments chimiques est calculée avec 23 oxygènes. Le fer ferrique est estimé pour 46 charges négatives avec la contrainte suivante que le Fe et Mn soient aux positions M1-M3

Table 4: Résultats des analyses des amphiboles à teneur pauvre en Ca :

| éch. | #9147/1 | #9147/2 | #9147/5 |
|--------------------------------|---------|---------|---------|
| Na ₂ O | 0,13 | 0,32 | 0,24 |
| MgO | 0,55 | 0,90 | 1,14 |
| SiO ₂ | 45,75 | 44,92 | 45,52 |
| K ₂ O | 0,01 | 0,06 | 0,00 |
| TiO ₂ | 0,03 | 0,26 | 0,05 |
| MnO | 1,14 | 1,22 | 1,30 |
| FeO | 44,49 | 43,45 | 44,23 |
| Fe ₂ O ₃ | 0,73 | 0,42 | 0,00 |
| Al ₂ O ₃ | 0,27 | 0,70 | 0,66 |
| CaO | 1,17 | 1,26 | 0,67 |
| somme | 94,28 | 93,51 | 93,81 |
| Si | 7,90 | 7,81 | 7,87 |
| Al ^(IV) | 0,06 | 0,14 | 0,13 |
| Al ^(M1-M3) | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Ti | 0,00 | 0,03 | 0,01 |
| Mg | 0,14 | 0,23 | 0,29 |
| Fe ^(M1-M3) | 4,64 | 4,55 | 4,50 |
| Mn ^(M1-M3) | 0,17 | 0,18 | 0,19 |
| Fe ³⁺ | 0,05 | 0,00 | 0,00 |
| Fe ^(M4) | 1,78 | 1,77 | 1,89 |
| Ca ^(M4) | 0,22 | 0,23 | 0,12 |
| Na ^(M4) | 0,00 | 0,00 | -0,02 |
| Ca ^(A) | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Na ^(A) | 0,04 | 0,11 | 0,10 |
| K | 0,00 | 0,01 | 0,00 |
| Fe ^{3+(IV)} | 0,05 | 0,05 | 0,00 |
| S ^(M1-M3) | 5,00 | 5,00 | 5,00 |
| S ^(M4) | 2,00 | 2,00 | 2,00 |
| S ^(A) | 0,05 | 0,12 | 0,10 |
| S ^(T) | 8,00 | 8,00 | 8,00 |
| M+T-pos. | 15,00 | 15,00 | 15,02 |
| K/(K+Na) | 0,04 | 0,10 | 0,00 |
| Mg# | 0,02 | 0,04 | 0,04 |
| (Na+K) _A | 0,05 | 0,12 | 0,10 |

Les analyses ont été établies par un microscope électronique à balayage JEOL avec un détecteur EDX. La table est établie avec les mêmes paramètres que pour les tables 2 et 3..

Table 5: Les résultats des analyses de clinopyroxènes et leurs formules structurales :

| | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|-------|
| éch. | 9147 ind. | 9147 ind. | 9147 ind. | 9147 ind. | 9147 ind. | 9147 | 9147 | 9147 | 9154 | 9154 | 9154 | 9154 |
| Fe ₂ O ₃ | 0,30 | 1,30 | 0,00 | 0,90 | 0,90 | 3,00 | 0,00 | 0,50 | 3,50 | 4,20 | 3,10 | 5,50 |
| Na ₂ O | 0,29 | 0,26 | 0,45 | 0,21 | 0,48 | 0,25 | 0,05 | 0,30 | 0,24 | 0,29 | 0,25 | 0,37 |
| MgO | 2,08 | 2,20 | 2,24 | 2,11 | 2,08 | 1,55 | 2,11 | 2,06 | 1,19 | 1,66 | 1,51 | 1,23 |
| SiO ₂ | 52,04 | 51,77 | 52,62 | 51,19 | 50,56 | 47,63 | 52,51 | 48,30 | 49,34 | 49,70 | 50,13 | 49,72 |
| TiO ₂ | 0,55 | 0,48 | 0,55 | 0,44 | 0,44 | 0,16 | 0,13 | 0,36 | 0,25 | 0,23 | 0,27 | 0,35 |
| MnO | 0,54 | 0,55 | 0,66 | 0,54 | 0,58 | 0,57 | 0,60 | 0,56 | 0,49 | 0,55 | 0,54 | 0,60 |
| FeO | 30,29 | 29,36 | 28,59 | 29,57 | 28,60 | 26,04 | 29,48 | 27,10 | 27,77 | 26,86 | 27,75 | 27,24 |
| Fe ₂ O ₃ | 0,30 | 1,30 | 0,00 | 0,90 | 0,90 | 3,00 | 0,00 | 0,50 | 3,50 | 4,20 | 3,10 | 5,50 |
| Al ₂ O ₃ | 0,66 | 0,66 | 0,76 | 0,60 | 1,22 | 0,20 | 0,23 | 0,63 | 0,41 | 0,20 | 0,26 | 0,61 |
| CaO | 20,93 | 21,27 | 21,85 | 20,85 | 20,11 | 20,74 | 22,32 | 19,81 | 21,65 | 21,74 | 21,86 | 21,86 |
| somme | 107,69 | 107,86 | 107,72 | 106,42 | 104,97 | 100,14 | 107,42 | 99,62 | 104,85 | 105,42 | 105,67 | 107,4 |
| Na | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,02 | 0,04 | 0,02 | 0,00 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,03 |
| Mg | 0,12 | 0,12 | 0,13 | 0,12 | 0,12 | 0,09 | 0,12 | 0,13 | 0,07 | 0,10 | 0,09 | 0,07 |
| Si | 1,98 | 1,96 | 1,98 | 1,97 | 1,96 | 1,95 | 2,00 | 1,98 | 1,94 | 1,94 | 1,95 | 1,91 |
| Ti | 0,02 | 0,01 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Mn | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| Fe | 0,96 | 0,93 | 0,90 | 0,95 | 0,93 | 0,89 | 0,94 | 0,93 | 0,91 | 0,87 | 0,90 | 0,87 |
| Fe ³⁺ | 0,01 | 0,04 | 0,00 | 0,03 | 0,03 | 0,10 | 0,00 | 0,02 | 0,11 | 0,13 | 0,10 | 0,17 |
| Al ^{IV} | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,06 | 0,01 | 0,01 | 0,03 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,03 |
| Ca | 0,85 | 0,86 | 0,88 | 0,86 | 0,84 | 0,91 | 0,91 | 0,87 | 0,91 | 0,91 | 0,91 | 0,90 |
| somme | 4,00 | 4,00 | 4,00 | 4,00 | 4,00 | 4,00 | 4,00 | 4,00 | 4,00 | 4,00 | 4,00 | 4,00 |
| Mg# | 0,11 | 0,11 | 0,12 | 0,11 | 0,11 | 0,09 | 0,11 | 0,12 | 0,06 | 0,09 | 0,08 | 0,06 |
| éch. | 9154 | 9154 | 9154 | 9154 | 9154 | 9154 | 9154 | 9154 | 9154 | 9154 | 9154 | 9154 |
| Fe ₂ O ₃ | 3,30 | 3,70 | 3,40 | 2,60 | 3,00 | 4,60 | 3,00 | 4,10 | 2,35 | 3,40 | 5,10 | 4,30 |
| Na ₂ O | 0,24 | 0,00 | 0,13 | 0,00 | 0,28 | 0,31 | 0,20 | 0,24 | 0,24 | 0,25 | 0,37 | 0,29 |
| MgO | 1,23 | 1,17 | 1,01 | 1,22 | 0,97 | 1,40 | 0,96 | 1,01 | 0,97 | 1,28 | 1,32 | 1,57 |
| SiO ₂ | 50,22 | 50,09 | 50,18 | 48,50 | 50,39 | 50,20 | 47,25 | 45,81 | 44,65 | 47,91 | 48,10 | 48,96 |
| TiO ₂ | 0,18 | 0,17 | 0,21 | 0,48 | 0,25 | 0,13 | 0,26 | 0,16 | 0,20 | 0,43 | 0,14 | 0,22 |
| MnO | 0,52 | 1,04 | 0,79 | 0,56 | 0,44 | 0,63 | 0,43 | 0,57 | 0,51 | 0,51 | 0,62 | 0,50 |
| FeO | 28,17 | 28,00 | 28,63 | 29,60 | 28,68 | 27,83 | 27,18 | 25,36 | 25,59 | 26,95 | 25,31 | 26,56 |
| Fe ₂ O ₃ | 3,30 | 3,70 | 3,40 | 2,60 | 3,00 | 4,60 | 3,00 | 4,10 | 2,35 | 3,40 | 5,10 | 4,30 |
| Al ₂ O ₃ | 0,46 | 0,12 | 0,26 | 1,28 | 0,40 | 0,42 | 0,24 | 0,23 | 0,38 | 0,46 | 0,13 | 0,35 |
| CaO | 22,05 | 22,60 | 22,11 | 20,38 | 22,11 | 21,65 | 20,68 | 20,33 | 19,23 | 20,87 | 21,55 | 21,54 |
| somme | 106,35 | 106,90 | 106,73 | 104,62 | 106,52 | 107,17 | 100,20 | 97,82 | 94,11 | 102,07 | 102,63 | 104,3 |
| Na | 0,02 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,02 |
| Mg | 0,07 | 0,07 | 0,06 | 0,07 | 0,06 | 0,08 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,08 | 0,08 | 0,09 |
| Si | 1,94 | 1,94 | 1,94 | 1,91 | 1,95 | 1,93 | 1,95 | 1,93 | 1,95 | 1,93 | 1,93 | 1,93 |
| Ti | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,01 |
| Mn | 0,02 | 0,03 | 0,03 | 0,02 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| Fe | 0,91 | 0,90 | 0,93 | 0,98 | 0,93 | 0,89 | 0,94 | 0,89 | 0,94 | 0,91 | 0,85 | 0,87 |
| Fe ³⁺ | 0,10 | 0,11 | 0,10 | 0,08 | 0,09 | 0,14 | 0,10 | 0,14 | 0,08 | 0,11 | 0,16 | 0,13 |
| Al ^{IV} | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,06 | 0,02 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,01 | 0,02 |
| Ca | 0,91 | 0,94 | 0,92 | 0,86 | 0,92 | 0,89 | 0,91 | 0,92 | 0,90 | 0,90 | 0,92 | 0,91 |
| somme | 4,00 | 4,00 | 4,00 | 4,00 | 4,00 | 4,00 | 4,00 | 4,00 | 4,00 | 4,00 | 4,00 | 4,00 |
| Mg# | 0,07 | 0,06 | 0,05 | 0,06 | 0,05 | 0,07 | 0,05 | 0,06 | 0,06 | 0,07 | 0,07 | 0,08 |

Les analyses ont été établies par un microscope électronique à balayage JEOL avec un détecteur EDX. La position des éléments chimiques est calculée avec 6 oxygènes et basée sur 4 cations. Le fer ferrique est estimé pour 12 charges négatives avec une contrainte qui est que la somme du site du tétraèdre et du octaèdre soit 2. Les cinq premiers échantillons représentent des grains de clinopyroxènes individuels (- ind.). Les somme des analyses sont relativement élevées dues à des erreurs probables de calibrage.

Tidigare skrifter i serien "Examensarbeten i Geologi vid Lunds Universitet":

98. Modin, Anna-Karin, 1998: Distributionen av kadmium i moränmark kring St. Olof, SÖ Skåne.
99. Stockfors, Martin, 1998: High-resolution methods for study of carbonate rock: a tool for correlating the sedimentary record.
100. Zillén, Lovisa, 1998: Late Holocene dune activity at Sandhammaren, southern Sweden - chronology and the role of climate, vegetation, and human impact.
101. Bernhard, Maria, 1998: En paleoekologisk -paleohydrologisk undersökning av våtmarks-komplexet Rolands hav, Blekinge.
102. Carlemalm, Gunnar, 1999: En glacialgeologisk studie av morän och moränfyllda sprickor i underliggande sandersediment, Örsjö, Skåne.
103. Blomstrand, Malou, 1999: 1992-1998 Seismicity and Deformation at Mt. Eyjafjalla-jökull volcano, South Iceland.
104. Dahlqvist, Peter, 1999: A Lower Silurian (Llandoveryan) halysitid fauna from the Berge Limestone Formation, Norderön, Jämtland, central Sweden.
105. Svensson, Magnus A., 1999: Phosphatized echinoderm remains from upper Lower Ordovician strata of northern Öland, Sweden - preservation, taxonomy and evolution.
106. Bengtsson, Anders, 1999: Trilobites and bradoriid arthropods from the Middle and Upper Cambrian at Gudhem in Västergötland, Sweden.
107. Persson, Christian, 1999: Silurian graptolites from Bohemia, Czech Republic.
108. Jacobson, Mattias, 1999: Five new cephalopod species from the Silurian of Gotland.
109. Augustsson, Carita, 1999: Lapillituff som bevis för underjurassisk vulkanism av stromboli-karaktär i Skåne.
110. Jensen, Sigfinn J., 1999: En silurisk transgressiv karbonatlagarföljd vid S:t Olofsholms stenbrott, Gotland.
111. Lund, Mats G., 1999: En strukturgeologisk modell för berggrunden i Sarvesvagne - Luottalako-området, Sareks Nationalpark, Lappland.
112. Magnusson, Jakob, 1999: Exploration of submarine fans along the Coffee Soil Fault in the Danish Central Graben.
113. Wickström, Jenny, 1999: Conodont biostratigraphy in Volkhovian sediments from the Mäekalda section, north-central Estonia.
114. Sjögren, Per, 1999: Utmarkens vegetations-utveckling vid Ire i Blekinge, från forntid till nutid - en pollenanalytisk studie.
115. Sälgeback, Jenny, 1999: Trace fossils from the Permian of western Dronning Maud Land, Antarctica.
116. Söderlund, Pia, 1999: Från gabbro till granat-amfibolit. En studie av metamorfos i Åker-metabasiten väster om Protoginjonen, Småland.
117. Jönsson, Karl-Magnus, 2000: Sedimen-tologiska och litostratigrafiska undersökningar i södra Malmös kvartära avlagringar, södra Sverige.
118. Romberg, Ewa, 2000: En sediment- och biostratigrafisk undersökning av den tidigare Littorina-lagunen vid Barsebäck, SV Skåne, med beskrivning av en Preboreal klimat-oscillation.
119. Bergman, Jonas, 2000: Skogshistoria i Söderåsens nationalpark. En pollenanalytisk studie i Söderåsens nationalpark, Skåne.
120. Lindahl, Anna, 2000: En paleoekologisk och paleohydrologisk studie av fuktängar i Bräkneåns dalgång, Bräkne-Hoby, Blekinge.
121. Eneroth, Erik, 2000: En paleomagnetisk detaljstudie av Sarekgångsvärmen.
122. Terfelt, Fredrik, 2000: Upper Cambrian trilobite faunas and biostratigraphy at Kakeled on Kinnekulle, Västergötland, Sweden.
123. Sundberg, Sven Birger, 2000: Vattenrening genom komplexbildning mellan järn och humusämnen - en litteraturstudie med försök.
124. Sundberg, Sven Birger, 2000: Sedimentations-processer och avlagringsmiljö för en kantrygg kring platåleran vid Rydsgårds gods i backlandskapet söder om Romeleåsen, Skåne.
125. Kjällerström, Anders, 2000: En geokemisk studie av bergartsvariationen på Bullberget i västra Dalarna.
126. Cinthio, Kajsa, 2000: Senglacial och tidig-holocen etablering och expansion av lövträd på en lokal i nordvästra Rumänien.
127. Lamme, Sara, 2000: Klimat- och miljö-förändringar under holocen i Sylarnaområdet, södra svenska Skanderna, baserat på analys av makrofossil och klyvöppningar.
128. Jönsson, Charlotte, 2000: Geologisk och hydro-geologisk modellering av området mellan Bjuv och Söderåsen, nordvästra Skåne.
129. Kleman, Johan, 2001: Utvärdering av den underkambriska litostratigrafin på Österlen, södra Sverige.
130. Sundler, Malin, 2001: En jämförande studie mellan uppmätt och MACRO-simulerad pesticidutlakning på ett odlingsfält i Skåne.
131. Grönholm, Anna, 2001: Högtrycksmetabasiter i den södra delen av Mylonitjonen: fältgeologi, petrografi och metamorf utveckling.
132. Ekdahl, Magnus, 2001: En studie av Källsjö-granitens deformationsmönster och kine-matiska indikatorer inom Ullaredszonen.

133. Axheimer, Niklas, 2001: Middle Cambrian trilobites and biostratigraphy of the Almbacken drill core, Scania, Sweden.
134. Lindén, Mattias, 2001: Proglacial deformation of glaciofluvial sediments during the Pomeranian deglaciation in the Neubranden-burg area, NE Germany.
135. Warnhag, Jon, 2001: A geochemical study of the zoned Pan-African Mon Repos intrusion, Central Namibia.
136. Lundmark, Mattias, 2001: Zirkonstudie av Norra Hortens bergarter, SV Sverige.
137. Gunnarson, Rebecka, 2001: Sedimentologisk undersökning av en moränskärning i en djupvittrad sprickdal på Romeleåsen, Skåne.
138. Karlsson, Christine, 2001: Diagenetic and petro-physical properties of deeply versus moderately buried Cambrian sandstones of the Caledonian foreland, southern Sweden.
139. Eriksson, Mårten, 2001: Bedömning av förorenings-spridning kring en nedlagd bensinstation i Karlaby, sydöstra Skåne.
140. Ljung, Karl, 2001: A paleoecological study of the Pleistocene-Holocene transition in the Kap Farvel area, South Greenland.
141. Åkesson, Cecilia, 2001: Undersökning av grundvattenförhållanden i området kring Östra Vemmerlöv, Simrishamns kommun, sydöstra Skåne.
142. Bermin, Jonas, 2001: Modelling Mössbauer spectra of biotite.
143. Mansurbeg, Howri, 2001: Modelling of reservoir quality in quartz-rich sandstones of the Lower Cretaceous Bentheim sandstones, Lower Saxony Basin, NW Germany.
144. Hermansson, Tobias, 2001: Sierggaväggeskollans strukturgeologiska utveckling; nyckeln till Sareks berggrundsgeologi.
145. Veres, Daniel-Stefan, 2001: A comparative study between loss on ignition and total carbon analysis on Late Glacial sediments from Atteköps mosse, southwestern Sweden, and their tentative correlation with the GRIP event stratigraphy.
146. Ahlberg, Tomas, 2001: Hydrogeologisk undersökning samt sårbarhetskartering av området kring tre bergborrade grundvatten-anläggningar i Simrishamns kommun.
147. Boman, Daniel, 2001: Tektonostratigrafi och deformationsrelaterad metamorfos i norra Kebnekaisefjällen, Skandinaviska Kaledoniderna.
148. Olsson, Stefan, 2002: The geology of the Portobello Peninsula; proposal of a saturated to oversaturated lineage within the Dunedin Volcano, New Zealand.
149. Molnos, Imre, 2002: Petrografi och diagenes i den underkambriska lagerföljden i Skrylle, Skåne.
150. Malmberg, Pär, 2002: Correlation between diagenesis and sedimentary facies of the Bentheim Sandstone, the Schoonebeek field, The Netherlands.
151. Jonsson, Henrik, 2002: Permeability variation in a tidal Jurassic deposit, Höganäs basin, Fennoscandian Border Zone
152. Lundgren, Anders, 2002: Seveskollorna i nordöstra Kebnekaise, Kaledoniderna: metabasiter, graniter och ögongnejser.
153. Sultan, Lina, 2002: Reconstruction of fan-shaped outwash in front of the Mýrdalsjökull ice cap, Iceland: Architecture and style of sedimentation.
154. Rimša, Andrius, 2002: Petrological study of the metamafic rocks across the Småland-Blekinge Deformation Zone
155. Lund, Magnus, 2002: Anti-slope scarp investigation at Handcar Peak, British Columbia, Canada.
156. Sjöstrand, Lisa, 2003: Early to early Middle Ordovician conodont biostratigraphy of the Tamsalu drill core, central Estonia.
157. Nilsson, Jonas, 2003: Carcharhiniforma hajar från Limhamns kalkbrott.
158. Larsson, Linda M., 2003: Late Triassic and Early Jurassic palynology of the Höganäs Basin and the Ängelholm Trough, NW Scania, Sweden.
159. Sköld, Per, 2003: Holocen skogshistoria i Stens-huvuds nationalpark, Skånes östra kust, Sverige.
160. Fuchs, M., 2003: Påverkan av sterilisering på grusand – en mineralogisk och textuell undersökning.
161. Ljungberg, Julia, 2003. Sierggaväggeskollan i gränslandet mellan Sarek och Padjelanta; miljöindikatorer för fjällkedjeberggrundens bildning.
162. Håkansson, Lena, 2003: An architectural element analysis of a large-scale thrust complex, Kanin Peninsula, NW Russia: interaction between the Barents and Kara Sea ice sheets.
163. Davidson, Anja, 2003: Ignimbriterhetererna i Barranco de Tiritaña, övre Mogánformationen, Gran Canaria.
164. Näsström, Helena, 2003: Klottedioriten vid Slättemossa, centrala Småland – mineral kemi och genes.
165. Nilsson, Andreas, 2003: Early Ludlow (Silurian) graptolites from Skåne, southern Sweden.
166. Dou, Marion, 2003: Les ferromagnésiens du granite rapakivique de Nordingrå – centre-est de la Suède – composition chimique et stade final de cristallisation.