

## ÉTUDE PÉTROLOGIQUE DE L'APOPHYSE SUD-EST DU MASSIF DE BJERKREM-SOGNDAL (NORVÈGE MÉRIDIONALE) (\*)

par D. DEMAIFFE (\*\*)  
*Stagiaire de Recherches du F.N.R.S.*

(4 figures dans le texte et 1 tableau hors-texte)

### RÉSUMÉ

L'apophyse étudiée prolonge vers le S.E. le massif lopolithique de Bjerkrem-Sogndal; elle forme une bande étroite, à texture gneissique, pincée entre le massif anorthositique d'Aana-Sira à l'Ouest et la lentille leuconoritique de Garsaknatt et les gneiss métasédimentaires encaissants à l'Est.

L'hypothèse de l'appartenance de cette apophyse au lopolithe différencié de Bjerkrem-Sogndal, hypothèse formulée antérieurement sur base géochronologique et géochimique (J. MICHOT et P. PASTÈELS, 1968 et 1969) est confirmée d'une part par l'étude de terrain et d'autre part par l'étude pétrologique et chimique.

En effet, les trois phases de la différenciation du massif de Bk-Sg (phase anorthosito-noritique, phase monzonoritique, phase mangéritique) sont présentes dans l'apophyse. Le diagramme d'évolution des paramètres de Niggli montrent que ces roches se situent sur la droite idéalisant la différenciation du magma plagioclasique de Bjerkrem-Sogndal.

### ABSTRACT

The rocks studied constitute a south-easterly extension of the lopolithic massif of Bjerkrem-Sogndal. They outcrop as a narrow strip, with a gneissic structure, pinched between the Aana-Sira anorthositic body to the west and the leuconoritic outlier of Garsaknatt and the metasedimentary gneissic cover to the east.

It has been previously proposed, on geochronological and geochemical grounds (J. MICHOT and P. PASTÈELS, 1968; 1969), that these rocks are part of the differentiated lopolith of Bjerkrem-Sogndal. This is now confirmed by fieldwork and by petrological and chemical studies. Indeed, all three phases of the differentiation of the Bjerkrem-Sogndal massif (anorthosito-noritic phase, monzonoritic phase, mangeritic phase) are present.

In a diagram showing the evolution of Niggli's parameters the points corresponding to these rocks fall on the straight line representing the differentiation of the plagioclase magma of Bjerkrem-Sogndal.

### INTRODUCTION

Le Massif de Bjerkrem-Sogndal (Bk-Sg) occupe la partie orientale du grand complexe éruptif du Rogaland (SW de la Norvège) qui comprend trois intrusions principales dont l'ordre de succession dans le temps est le suivant (Fig. 1) :

(\*) Communication présentée le 1<sup>er</sup> février 1972. Manuscrit déposé le 9 février 1972.

(\*\*) Laboratoires de Minéralogie-Pétrologie, U.L.B. 50, avenue F. D. Roosevelt, 1050 Bruxelles.

- I — le massif anorthositique d'Egersund-Ogna  
 II — l'intrusion noritique du Lakssevelefjeld-Koldal, postérieurement modifiée par une migmatitisation acide  
 III — le massif de Bk-Sg.

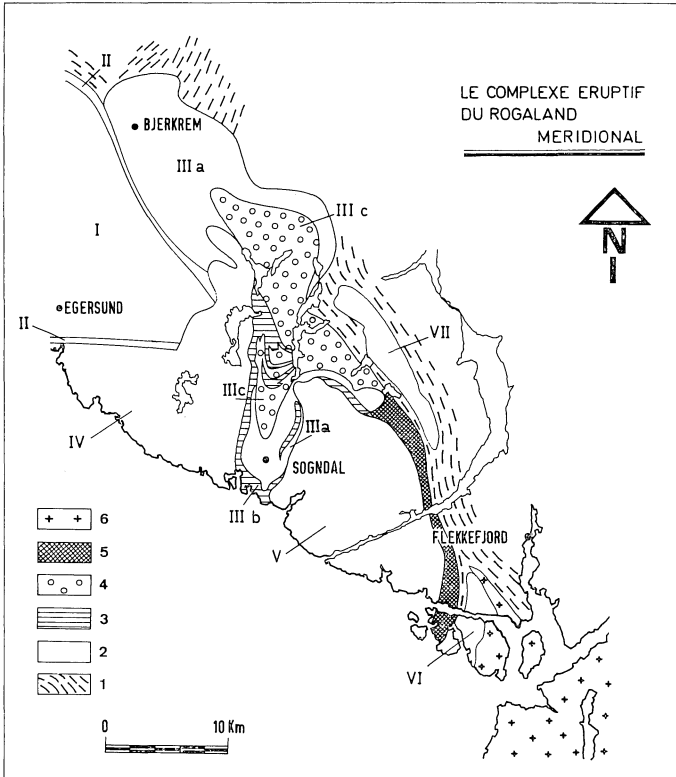


Fig. 1. — Le complexe éruptif du Rogaland méridional (d'après J. MICHOT et P. MICHOT, 1969, simplifié).

*Légende*

1. Gneiss encaissants
2. Complexe éruptif indifférencié
3. Monzonorite d'Eia
4. Mangérite
5. Apophyse SE du massif du Bk-Sg.
6. Farsundite

- I. Massif d'Egersund-Ogna  
 II. Intrusion du Lakssevelefjeld-Koldal  
 IIIa, IIIb, IIIc. Phases successives de différenciation du massif de Bk-Sg.  
 IV. Massif d'Haaland-Helleren  
 V. Massif d'Aana-Sira  
 VI. Massif d'Hydra  
 VII. Lentille de Garsaknatt.

Ce dernier revêt la forme d'un grand lopolithe aux flancs redressés, voire même renversés, dont l'axe, incurvé, s'ennoie de 35° SE dans sa partie septentrionale et 40° N dans sa partie méridionale (P. MICHOT, 1965).

La différenciation gravitative qui confère à ce massif son caractère stratiforme a agi tout au cours de sa consolidation et a donné naissance à trois unités lithologiques qui sont de bas en haut :

- a) une phase anorthosito-leuconoritique à noritique
- b) une phase monzonoritique : intrusion d'Eia-Rekkefjord et dykes associés
- c) une phase mangéritique

Le massif de Bk-Sg se poursuit vers le SE, en direction de Flekkefjord, par une apophyse étroite (25 Km de long sur 2 Km de large environ) accolée à l'anorthosite d'Aana-Sira. Cette apophyse fait la liaison vers l'Est avec le massif de farsundite (granite à hornblende), récemment étudié du point de vue pétrologique par MIDDLEMOST (1968) et BEELEN (1971).

#### *L'apophyse du massif de Bjerkrem-Sogndal*

Cette apophyse apparaît injectée entre le massif anorthositique d'Aana-Sira à l'Ouest et les gneiss métasédimentaires encaissants à l'Est. Toutes les roches qui la constituent présentent une texture gneissique bien marquée résultant probablement de leur cristallisation sous tension. Elles n'avaient pas fait l'objet jusqu'à présent d'une étude pétrologique détaillée. Dans la carte publiée par J. MICHOT et P. MICHOT (1969) elles étaient considérées comme faisant partie intégrante de la couverture métamorphique. Ce n'est que plus tard, sur base de la géochronologie et de la géochimie isotopique que J. MICHOT et P. PASTEELS (1968, 1969), P. PASTEELS, J. MICHOT et J. LAVREAU (1970) ont suggéré leur appartenance au massif de Bk-Sg.

Notons cependant que BARTH (1963) semblait déjà faire cette liaison. Plus récemment, KRAUSE et ZEINO-MAHMALAT (1970) ont présenté une carte géologique de la région de Blafjell (gisements d'ilménite et de magnétite titanifère dans le massif d'Aana-Sira) où ils reportent à l'emplacement de l'apophyse étudiée ici la présence de norite migmatitique, de monzonorite et de monzonorite quartzique.

#### ASPECT GÉOLOGIQUE GÉNÉRAL

Une coupe géologique schématique a été établie d'après les notes de terrain de J. MICHOT (1970) et d'après nos propres observations (Fig. 2).

Les différentes unités qui se succèdent d'Ouest en Est comprennent :

- au contact de l'anorthosite d'Aana-Sira, tantôt une mangérite grossière légèrement orientée, tantôt une monzonorite fine localement entrelardée de mangérite,
- une norite gneissique encadrant une masse d'épaisseur assez grande de mangérite à tendance œillée,
- une mangérite quartzique fine, gneissique, qui fait le contact avec le gneiss quartzofeldspathique constituant à l'Est le début de la série litée.

Les contacts avec les éponges sont généralement bien visibles, aussi bien à l'Est qu'à l'Ouest. Cependant, à l'échelle du mètre ou de la dizaine de mètres, les

relations sont essentiellement variables et parfois assez complexes. L'existence d'enclaves anorthositiques dans la mangérite grossière à l'Ouest et d'écaillés importantes des gneiss de la couverture dans la mangérite gneissique fine à l'Est obscurissent la nature des contacts.

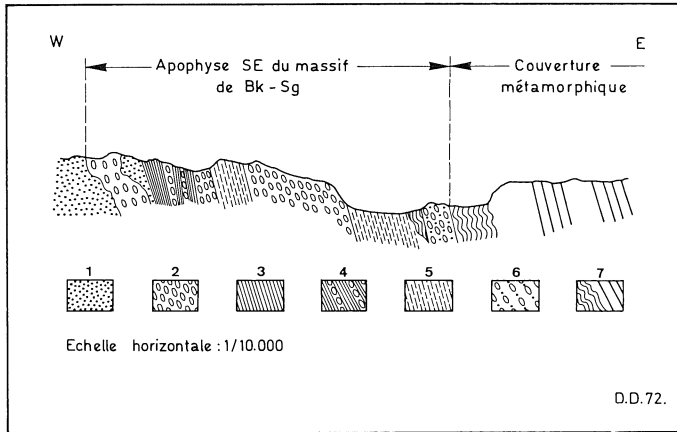


Fig. 2. — Coupe schématique de l'apophyse SE du massif de Bk-Sg.

#### Légende

1. Anorthosite d'Aana-Sira
2. Mangérite
3. Monzonorite
4. Monzonorite entrelardée de mangérite
5. Norite
6. Mangérite quartzique fine
7. Série litée.

Par exemple, dans la région de Fidsel (à l'Ouest de Flekkefjord), le gneiss quartzofeldspathique qui marque le début de la série litée semble faire défaut; cette dernière débute par un gneiss de type mangéritique renfermant des poches pegmatoidiques à grandes amphiboles poecilites interstitielles; dans ce cas, la limite entre l'apophyse et la série litée est difficile à préciser. La comparaison entre ce gneiss mangéritique et la mangérite gneissique de l'apophyse du massif de Bk-Sg sera abordée dans un article ultérieur.

*La mangérite* est la roche quantitativement la plus importante parmi celles qui constituent l'apophyse. Elle forme à certains endroits le contact avec l'anorthosite et injecte les fractures qui parcourent cette dernière. Ailleurs, elle s'insinue et dissèque la monzonorite qui jalonne la bordure de l'intrusion. Le passage entre le faciès grenu et le faciès coëllé se fait graduellement, par augmentation progressive de la taille des phénocristaux feldspathiques (mésoperthites).

*La norite* forme dans la topographie une zone en dépression assez nette qui peut se suivre facilement sur le terrain et sur les photographies aériennes. Cette dépression est limitée par des parois abruptes constituées de mangérite, aucune transition n'apparaît entre les deux roches. Aucune relation n'a été trouvée jusqu'à présent entre la norite et la monzonorite.

*La monzonorite* constitue une bande N-S plus ou moins continue, d'une centaine

de mètres de largeur environ. Elle se présente sur le terrain de trois manières différentes qui définissent clairement son antériorité sur la mangérite :

— elle forme localement des placages s'intercalant entre la mangérite et l'anorthosite d'Aana-Sira; elle ne représente donc pas un faciès de prise rapide de la mangérite

— elle forme une bande plus ou moins continue, disséquée par de multiples veines et filonnets de mangérite plus grossière,

— elle apparaît en lentilles effilées, disposées parallèlement à la texture de la mangérite gneissique enrobante.

Deux faciès peuvent être reconnus macroscopiquement : un faciès fin et un faciès porphyrique.

#### PÉTROGRAPHIE

Après avoir décrit les roches composant l'apophyse, nous comparerons chacune d'elles à son équivalent présumé dans le massif de Bk-Sg. Nous donnerons en complément, un tableau des analyses modales (Tableau I).

Rappelons que la caractéristique principale des roches de l'apophyse permettant leur distinction par rapport aux roches du massif de Bk-Sg proprement dit, est leur texture gneissique, bien visible sur le terrain, soulignée par la disposition des minéraux ferromagnésiens en minces filets parallèles.

*La norite* est une roche foncée, homogène, localement parcourue de filets de minerais noirs.

Au microscope, les plagioclases, les pyroxènes et les minéraux opaques apparaissent engrenés et confèrent à la roche une structure en mosaïque (dimension moyenne des grains : 1 à 2 mm).

Le plagioclase se présente en cristaux hypidiomorphes, maclés Albite; il s'agit d'une andésine titrant systématiquement entre 40 et 44 % d'anorthite, très rarement antiperthitique, révélant localement un aspect saussuritisé.

Le feldspath potassique est rare et apparaît en grains xénomorphes à extinction onduleuse (quadrillage flou); il revêt une structure à tendance interstitielle. Ses contacts avec le plagioclase sont nets.

Les agrégats de ferromagnésiens comprennent hypersthène, diopside et minéraux opaques.

L'hypersthène est xénomorphe, pléochroïque dans les tons vert pâle à rose saumon. Le diopside plus rare, se présente en petits cristaux xénomorphes de 50 à 100  $\mu$  de diamètre.

L'ilménite apparaît en grains irréguliers à structure largement pœcilitique interstitielle. Elle est finement maclée. Il s'agit en réalité d'une hém-ilménite fine qui contiendrait de 12 à 15 % de molécules d'hématite (DUCHESNE, 1970, 1972). Localement, son pourtour est marqué par un liseré d'hématite provenant vraisemblablement de la mobilisation et de la réorganisation des lamelles exsolvées.

La magnétite est caractérisée par une microstructure en treillis dessinée par les lamelles d'ilménite disposées parallèlement aux faces de l'octaèdre (111). Certaines de ces lamelles sont maclées longitudinalement et contiennent des démixions de spinelle en arêtes de poisson. En outre, la magnétite contient de très fines et très

TABLEAU I

*Analyses modales des roches de Bjerkrem-Sogndal et de l'apophyse*

Nom de la roche	Norite	Norite gneissique	Monzonorite	Monzonorite gneissique fine	Mangérite quartzique	Mangé. quartz. gneissique
Localité Référence	Myssa No 146/65	Kvanvig 0003-1/3	Eia Pa 66/0	Navrestad 0191-4/1	Lyosvatn No 236/65	Kvanvig 0234-1/1
Quartz	—	—	—	—	13,9	11,4
Plagioclase	48,9	49,1	44,1	45,09	19,2	26,5
Feldspath K ou mésoperthite	2,25	2,14	15,8	21,48	50,20	47,3
Hypersthène	25,55	24,97	17,3	16,50	10,5	8,5
Diopside	4,3	5,0	8,75	7,10	3,1	2,7
Opaques	11,4	11,54	9,75	7,08	2,5	3,0
Apatite	7,6	7,25	4,3	2,75	0,6	0,6

nombreuses démixions de spinelle disposées suivant les faces du cube (100), à 45° des lamelles d'ilménite. Le contact ilménite-magnétite est localement souligné par un cordon d'ilménite spinellifère.

L'apatite est le principal minéral accessoire; elle est souvent associée aux minéraux opaques et aux pyroxènes.

En conclusion de l'observation pétrographique, cette norite gneissique apparaît tout à fait comparable à la norite apparaissant au sommet des rythmes supérieurs (rythmes III, IV et V) de la première phase anorthositonoritique de différenciation du massif de Bk-Sg. L'analyse modale de ces deux roches (tableau I) le confirme. La présence, dans l'un et l'autre cas, de quelques plages de feldspath potassique à structure interstitielle est particulièrement caractéristique à cet égard. Le feldspath potassique qui normalement n'existe pas dans les norites proprement dites, marque ici la transition vers la phase b, de caractère monzonoritique. De plus, les microstructures des minéraux opaques sont semblables à ce que décrit DUCHESNE (1970, 1972) pour la norite du massif de Bk-Sg. Notons cependant, comme seule différence significative, la présence dans l'ilménite de la norite gneissique, de fines macles qui n'existent pas ou du moins paraissent « exceptionnelles » dans les roches équivalentes du massif de Bk-Sg.

Dans la *monzonorite*, deux faciès peuvent être distingués macroscopiquement :

- un faciès *fin* constitué d'une roche homogène, équigranulaire, (taille moyenne des grains comprise entre 0,5 et 1 mm); à texture gneissique soulignée par l'alignement des agrégats de ferromagnésiens;
- un faciès *porphyrique* constitué d'une mésostase identique au faciès *fin* et dans laquelle sont empâtés des phénocristaux feldspathiques bleutés, automorphes à subautomorphes, pouvant atteindre 1 cm de long.

Dans les deux faciès, l'association de faible granularité présente les mêmes caractéristiques.

Le plagioclase est l'élément dominant. Il se présente en cristaux à tendance hypidiomorphe, souvent antiperthitique, mælé Albite; sa teneur en anorthite varie de 30 à 35 %.

Le feldspath potassique perthitique est individualisé en grains xénomorphes à extinction onduleuse. Il caractérise les monzonorites proprement dites et peut représenter jusque 20 % de la roche. Ses contacts avec le plagioclase sont nets, le plus souvent rectilignes; on n'observe que très rarement l'ébauche de bordures myrmékitiques.

Les minéraux ferromagnésiens sont disposés entre les grains feldspathiques. L'hypersthène présente de fines démixions parallèles au clivage (100) et revêt une structure très fortement poecilitique interstitielle. Le diopside se présente en grains xénomorphes. L'ilménite est quasi homogène : les démixions d'hématite sont très peu visibles. Par contre, la magnétite, à structure en treillis, est riche en démixions de spinelle. Les minéraux opaques présentent tous deux une structure poecilitique interstitielle nette. Les ferromagnésiens s'altèrent localement en une hornblende verte.

L'apatite, en prismes automorphes allongés est abondante; le zircon est beaucoup plus rare.

L'examen microscopique de la monzonorite porphyrique montre la coexistence de trois types de phénocristaux feldspathiques :

1) des phénocristaux de mésoperthite à extinction fortement onduleuse. Ils sont semblables à ceux de la mangérite ceillée gneissique et peuvent atteindre 1 cm de long. Remarquons que dans l'intrusion monzonoritique d'Eia, P. MICHOT (1960) signale l'existence de mésoperthites.

2) des phénocristaux de plagioclase maclés Albite, parfois Péricline, titrant de 40 à 45 % d'anorthite. Ils sont bourrés de démixions losangiques ou hexagonales d'hématite et d'aiguilles de rutil. Ils possèdent des macles tordues, leur extinction est fortement onduleuse. Parfois même, ils sont complètement fracturés et se présentent en agrégats polycristallins;

3) des phénocristaux de plagioclase entourés d'une bordure mésoperthitique. Ils présentent parfois un léger zonage marqué par une extinction roulante centrifuge. La teneur en anorthite au centre se situe aux environs de 36 %. Cette teneur diminue ensuite progressivement pour atteindre 26 % en bordure; cette dernière est ceinturée par une couronne mésoperthitique. Dans les individus non zonés, le pourcentage en anorthite est systématiquement compris entre 25 et 28 %.

L'aspect pétrographique de la monzonorite de l'apophyse est semblable dans les grandes lignes à celui de la monzonorite d'Eia (phase b de la différenciation du massif de Bk-Sg); cette dernière semble cependant représenter un stade moins évolué de la différenciation comme le confirme par ailleurs les analyses modales (Tableau I) : la monzonorite gneissique fine est plus riche en feldspath potassique et renferme moins de minéraux ferromagnésiens que la monzonorite d'Eia. Cette observation est renforcée par les données chimiques qui seront explicitées au chapitre suivant (Fig. 4 et tableau II). La structure porphyrique de la monzonorite indique qu'il s'agit d'une roche à deux temps de cristallisation du moins si l'on s'en réfère aux phénocristaux des types 1 et 3. Le refroidissement, d'abord lent, a permis aux premiers cristaux de feldspath de croître librement et de prendre des aspects automorphes. Cette première étape de la cristallisation a donc probablement eu lieu dans la chambre magmatique elle-même.

L'existence des deux faciès (faciès fin et faciès porphyrique) sans relation spatiale visible entre eux peut s'expliquer, dans cet ordre d'idée, par le fait que les phénocristaux feldspathiques aient été concentrés, selon toute probabilité, dans la partie supérieure de la chambre magmatique à la suite d'un processus de flottation et séparés ainsi d'une fraction liquide plus ou moins homogène (Fig. 3). Le magma, localement chargé de phénocristaux, a alors été injecté dans l'apophyse : il en a résulté une cristallisation plus rapide qui a donné naissance soit au faciès fin, soit à la mésotase empâtant les phénocristaux du faciès porphyrique suivant le niveau de la chambre magmatique à partir duquel l'injection a eu lieu.

Nous avons explicité ailleurs (DEMAÏFFE, 1971) une hypothèse concernant la genèse de la bordure mésoperthitique des plagioclases. Rappelons simplement que ces phénocristaux complexes résultent sans doute de modifications dans les conditions de cristallisation, dues aux variations de la position de la crête du solvus des feldspaths alcalins par rapport à la position de l'eutectique lorsque le rapport albite/anorthite varie, voire même dans certains cas lorsque les conditions de pression sont modifiées.

Quant aux phénocristaux de plagioclase à 45 % d'anorthite (type 2), ils trouvent probablement leur origine dans l'anorthosite encaissante (massif d'Aana-Sira par exemple) et y ont été arrachés lors de l'injection de la monzonorite suivant la surface de décollement de l'anorthosite.

*La mangérite* est une roche homogène, moyennement grenue, de couleur sombre,



TABLEAU II

*Analyses chimiques des roches de Bjerkrem-Sogndal et de l'apophyse*

NOM	Norite du Massif *	Norite de l'apophyse **	Monzonorite du Massif *	Monzonorite de l'apophyse *	Monzonorite porphyrique de l'apo- physe *	Mangérite du Massif ***	Mangérite quartz. du Massif *	Mangérite de l'apophyse *	Mangérite de l'apophyse **	Mangérite quartz. fine de l'apophyse *	Farsundite faciès Ouest **	Farsundite faciès Ouest
Localité	Myssa	Kvanvig	Rekkefjord	Navrestad	Navrestad		Orrestadvatn	Mydlandsvatn	Kvanvig	Kvanvig		
Référence	No 146/65	0013-1/1	Pa 66/0	0191-4/2	0191-4/1	Témoin Liège	Pa 66/N	Pa 66/M	0053-1/1	Pa 66/Q	Beelen 1971	Middlemost 1968
SiO <sub>2</sub>	43,22	44,90	45,13	52,22	56,33	57,93	59,08	59,68	60,80	61,91	67,20	67,36
TiO <sub>2</sub>	4,35	8,05	3,80	2,30	1,70	1,18	1,13	1,73	1,12	1,05	0,91	0,88
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,27	12,90	13,69	14,58	15,83	16,30	15,44	14,18	18,10	15,65	13,60	14,15
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,92	4,19	4,52	2,94	4,09	1,83	1,58	1,68	1,63	3,17	2,28	1,37
FeO	14,53	13,43	12,64	10,91	7,11	7,08	7,52	7,47	3,98	4,43	4,16	4,26
MnO	0,23	0,21	0,25	0,22	0,17	0,14	0,15	0,15	0,11	0,13	0,10	—
MgO	3,64	4,02	5,12	1,91	1,63	1,23	1,80	1,88	0,55	0,22	0,54	0,55
CaO	9,25	6,54	8,55	5,32	3,75	3,28	3,60	4,40	3,84	4,14	2,39	2,90
K <sub>2</sub> O	1,28	1,41	1,50	3,30	3,84	5,19	5,04	3,85	3,99	4,32	5,37	4,23
Na <sub>2</sub> O	2,88	3,02	3,40	3,96	3,96	4,96	4,55	3,74	5,49	4,20	3,18	3,46
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	3,15	0,84	2,05	1,37	0,82	0,33	0,22	0,61	0,29	0,28	0,26	0,21
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	0,23	0,14	0,19	0,20	0,21	0,60	0,64	0,42	0,42	0,30	0,38	0,52
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0,07	0,06	0,08	0,18	0,19	0,08	0,05	0,08	0,06	0,08	0,04	—
CO <sub>2</sub>	—	0,27	—	—	—	—	—	—	0,13	—	0,34	—
Total	99,02	99,98	100,92	99,41	99,63	100,13	100,80	99,87	100,51	99,88	100,75	99,89

*Légende*

\* Analyste C. LOMBAERTS, Laboratoires de Minéralogie-Pétrologie U.L.B.

\*\* Analyses réalisées au Centre de Recherches Pétrographique et Géochimiques de Nancy.

\*\*\* Analyse réalisée au Laboratoire de Géologie, Pétrologie et Géochimie de l'Université de Liège.

gris verdâtre foncé (teinte des roches charnockitiques) lorsqu'elle est fraîche, plus claire et de teinte brunâtre à l'altération.

Macroscopiquement, elle présente une série de faciès facilement distinguables : une mangérite œillée, une mangérite moyennement grenue et une mangérite gneissique fine qui fait le contact avec la série litée.

La mangérite œillée est caractérisée par la présence de phénocristaux feldspatiques de taille généralement inférieure à 1 cm de diamètre, empâtés dans une mésostase composée de grains de plagioclase, de mésoperthite, de quartz et de ferromagnésiens groupés suivant une structure en mosaïque.

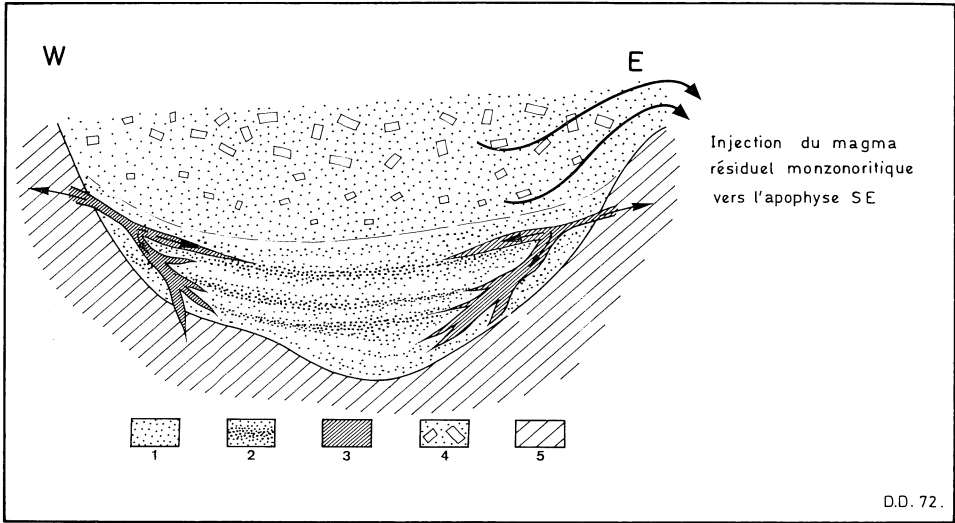


Fig. 3. — Coupe schématique de la chambre magmatique du massif de Bk-Sg après consolidation de la phase a et de la monzonorite d'Eia.

*Légende*

- 1. Anorthosite et leuconorite | phase a
- 2. Horizons noritiques
- 3. Dykes monzonoritiques associés à l'intrusion d'Eia
- 4. Magma résiduel localement chargé de phénocristaux
- 5. Encaissant

Cette mangérite œillée présente une gamme de compositions allant de la mangérite sensu stricto (à phénocristaux mésoperthitiques) à la mangéronorite (à phénocristaux de mésoperthite et de plagioclase à bordure mésoperthitique, semblables à ceux de la monzonorite porphyrique).

La mangérite moyennement grenue (grain moyen de l'ordre de 2 à 4 mm) est composée des mêmes minéraux. Il s'agit principalement d'une mangérite sensu stricto passant parfois à une mangérite quartzique lorsque le quartz représente plus de 10 % du volume.

La mangérite fine (grain moyen de l'ordre de 0,5 à 1 mm), de même minéralogie également, contient localement des phénocristaux de mésoperthite allongés, à extinction ondulée; le quartz qui la compose apparaît sous la forme étirée typique des roches granulitiques. Sa proportion en fait une roche quartzique.

La mésoperthite est le minéral dominant qui caractérise la mangérite. Elle se présente en grains xénomorphes, légèrement orientés dans la texture gneissique. L'aspect quadrillé souvent assez flou qu'elle révèle semble plutôt indiquer qu'il s'agit d'un feldspath potassique intermédiaire entre le microcline et l'orthose. Les cristaux de mésoperthite ont généralement une taille supérieure à la moyenne des grains de la mésostase, même dans les variétés non coïllées.

Le plagioclase, xénomorphe, maclé Albite, titre en moyenne 25 % d'anorthite. Les contacts avec la mésoperthite sont flous et le plus souvent marqués par une bordure myrmékitique. Le plagioclase est fréquemment remplacé par le feldspath potassique mésoperthitique qui développe une structure porphyroblastique, englobant des îlots irréguliers de plagioclase en continuité optique les uns avec les autres.

Le quartz se présente en plages amoéboïdes, grossièrement allongées, à très étiées dans la mangérite fine. Il corrode les autres minéraux.

Les ferromagnésiens sont associés en agrégats polycristallins comprenant un orthopyroxène, deux clinopyroxènes et les minéraux opaques.

L'hypersthène ( $B = 2V = 65^\circ$ ), à structure poecilitique est fréquemment caractérisé par l'entrecroisement de deux séries de lamelles de démixion d'augite. Cette disposition peut être interprétée en suivant POLDERVAART et HESS (1951) : l'orthopyroxène semble résulter en effet de l'inversion d'une pigeonite dans laquelle une exsolution aurait produit des lamelles d'augite orientées parallèlement au plan (001). On sait que par ce processus, l'hypersthène conserve les lamelles d'augite suivant le plan relique (001) de la pigeonite, c'est-à-dire dans un plan proche de (101) relativement aux directions cristallographiques de l'orthopyroxène. Ultérieurement, ce dernier exsolvant à son tour de très fines lamelles d'augite parallèles au plan (100) a donné naissance à la structure entrecroisée des produits de démixion.

L'augite, en cristaux xénomorphes, contient souvent de fines lamelles d'exsolution d'hypersthène parallèles à 100; un deuxième réseau de lamelles plus larges et parallèles à (001) se développe localement : il s'agit de pigeonite inversée en orthopyroxène.

La pigeonite ( $2V = 27^\circ$ ) s'observe également dans les agrégats de ferromagnésiens; elle y est cependant plus rare, ce qui semble confirmer l'hypothèse envisagée plus haut de son inversion en hypersthène.

L'ilménite à structure poecilitique interstitielle, est parsemée de fines macles. Elle ne contient pas ou très peu de lentilles d'exsolution d'hématite. Dans les magnétites, les microstructures en treillis et en sandwiches sont de règle. L'ensemble des opaques est presque systématiquement entouré d'une bordure d'hornblende commune ( $2V = 56^\circ$ ,  $Z \wedge C = 16^\circ$ ).

De gros zircons (1 à 2 mm) et des apatites en prismes automorphes allongés sont les principaux minéraux accessoires.

Les mangérites du massif de Bk-Sg et les mangérites de son apophyse SE sont fort semblables. Quelques différences cependant ont été constatées. L'olivine qui apparaît à certains niveaux de la masse mangéritique du massif de Bk-Sg n'a jamais été observées dans les mangérites de l'apophyse.

Les microstructures des opaques sont comparables à ce que décrit DUCHESNE (1969, 1970, 1972), cependant, les macles sont assez fréquentes dans les ilménites de l'apophyse alors qu'elles sont rares dans le massif de Bk-Sg. Nous interpréterons ce comportement différent dans la conclusion. Rappelons que la texture gneissique

des mangérites de l'apophyse est caractéristique et s'oppose à l'aspect généralement plus massif des mêmes roches constituant la phase ultime de la différenciation du lopolithe proprement dit.

## CHIMISME ET GÉOCHIMIE ISOTOPIQUE

La composition chimique des roches du massif de Bk-Sg et de leurs équivalents gneissiques de l'apophyse est rapportée au tableau II. Dans la figure 4, les roches sont classées dans l'ordre croissant du paramètre de Niggli *si*, ordre qui se reflète dans la composition modale par une diminution du contenu en plagioclase et par une augmentation du contenu en quartz et en feldspath potassique. L'évolution chimique des roches du massif de Bk-Sg (allant de la norite du rythme V à la mangérite, en passant par la monzonorite d'Eia), et de son apophyse SE (la norite, les deux faciès de la monzonorite, la mangérite) se marque par une croissance des paramètres *si*, *al*, *alk* et par une décroissance accentuée du paramètre *fm*, le paramètre *c* diminuant plus faiblement. Cette évolution s'inscrit dans la tendance normale de la différenciation magmatique. L'examen de la figure 4 montre en outre que les roches gneissiques de l'apophyse se situent sur la droite idéalisant la différenciation du magma plagioclasiqne dont sont issues les trois phases du massif de Bk-Sg lui-même. Les points représentant les mangérites du massif et celles de l'apophyse sont groupés dans une zone relativement étroite indiquant l'identité des deux roches. Il en est de même pour les norites. Les points représentatifs des monzonorites par contre sont plus dispersés. Comme l'avaient déjà indiqué l'étude pétrographique et en particulier les analyses modales, la comparaison sur la base chimique confirme que la monzonorite d'Eia semble bien représenter le stade le moins différencié de la phase b, individualisée dans le massif de Bk-Sg et dans son apophyse SE. Cette interprétation est conforme aux vues de P. MICHOT (1965) qui considère la monzonorite d'Eia comme constituant le liquide résiduel après consolidation du rythme IV de la première phase anorthosito-noritique du lopolithe. C'est ce liquide résiduel qui, dans la chambre magmatique, aurait poursuivi sa différenciation en donnant le rythme V, la phase monzonoritique et la phase mangéritique, dont une partie aurait à chaque stade, suite aux déformations imposées au lopolithe, fait intrusion dans la zone de décollement de l'anorthosite d'Aana-Sira, et constitué l'apophyse SE.

TABLEAU III

(d'après articles précités)

Nom de la roche	Localité	Age (en m.a.)	( $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ ) <sub>0</sub>
Mangérite quartzique à olivine	Orrestadvatn	976 ± 15	0,7148
Mangérite quartzique gneissique	Mydlandsvatn	960 ± 40	0,7118
Mangérite quartzique gneissique fine	Kvanvig	945 ± 35	0,7144
Gneiss granulitique de la couverture	Lilandsvatn	1030 ± 50	0,7210

La géochronologie et la géochimie isotopique réalisées sur les mêmes ensembles lithologiques (J. MICHOT et PASTEELS, 1968, 1969; PASTEELS, J. MICHOT et LAVREAU, 1970) indiquent clairement la contemporanéité des mangérites gneissiques de l'apo-

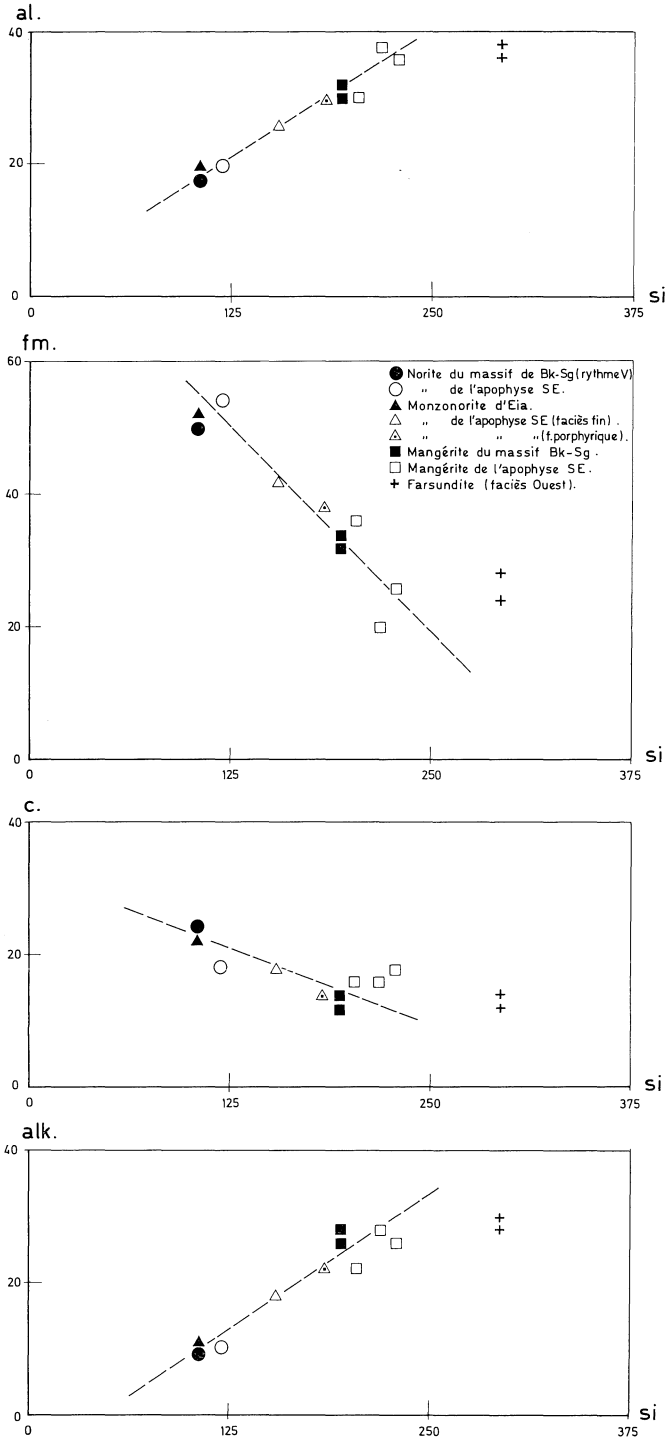


Fig. 4. — Evolution des paramètres de Niggli al, fm, c, alk en fonction de si pour les roches du Tableau I

physe et de la mangérite du massif, les distinguant ainsi des gneiss granulitiques, mangéritiques de la couverture (tableau III). Les zircons des deux types de roches mangéritiques montrent des caractéristiques communes (forme, dimension, couleur, faible teneur en U :  $< 250$  ppm) les différenciant des zircons des gneiss encaissants plus riches en U ( $> 500$  ppm). Ces résultats sont confirmés par les mesures du rapport isotopique initial  $(\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86})_0$  des apatites.

#### CONCLUSION

Notre étude a montré, sur le plan de la pétrographie comme sur celui du chimisme, que l'apophyse qui prolonge au SE, vers Flekkefjord, le massif de Bk-Sg comporte les produits lithologiques des trois phases majeures de la différenciation qui caractérise ce massif, à l'exclusion de celle qui, à la partie inférieure, forme le complexe anorthosito-leuconoritique.

Si des similitudes profondes ont pu être mises en évidence, des différences subsistent néanmoins. L'olivine n'a pas été observée dans les mangérites de l'apophyse; l'ilménite y est caractérisée par la présence fréquente de fines macles irrégulières entrecroisées. Dans ce dernier cas, si le développement très peu important de macles dans les ilménites de Bk-Sg est l'indication de l'absence de contraintes mécaniques postérieures à la formation de ce minéral (DUCHESSNE, 1969), leur fréquence élevée dans les ilménites, à structure poecilitique interstitielle typique, des roches de l'apophyse, permet de conclure que les tensions qui agissaient pendant la cristallisation des roches et dont dépend leur texture gneissique bien marquée, se sont poursuivies après leur consolidation.

Du point de vue textural, l'aspect gneissique de toutes les roches de l'apophyse est une caractéristique qui les distingue des roches du massif de Bk-Sg. Cette texture est l'expression d'une cristallisation sous tension (texture de flux) des produits magmatiques qui, au cours de leur mise en place, se sont trouvés pinés entre deux môles rigides : l'anorthosite d'Aana-Sira à l'Ouest, la lentille leuconoritique de Garsaknatt et les gneiss métasédimentaires à l'Est.

Si les relations de terrain nous ont permis de démontrer sans ambiguïté possible l'antériorité de mise en place de la monzonorite par rapport à la mangérite, les analyses modales et l'évolution chimique traduite par les analyses reproduites au tableau II, nous permettent en plus de conclure à l'existence, dans l'apophyse, d'une succession différenciée de roches magmatiques allant de la norite à la mangérite en passant par les deux faciès de la monzonorite.

Dans le massif de Bk-Sg, la succession de ces trois unités dans le temps est jumelée à une disposition plus ou moins régulière des masses engendrées (la phase mangéritique n'existe qu'au cœur du lopolithe). Cette distribution spatiale ne se retrouve pas dans l'apophyse, ce qui peut s'interpréter par une mise en place à la suite d'injections successives dans une zone d'instabilité tectonique du complexe éruptif. Notons à cet égard que l'apophyse se situe exactement dans le prolongement SE du graben d'Heskestad (P. MICROT, 1966) formé en même temps que le graben de Sogndal, pendant la phase de tectonique cassante ayant affecté le lopolithe de Bk-Sg à la fin de la consolidation du complexe de base anorthosito-noritique.

La norite gneissique a été la première à s'injecter le long de la surface de décollement entre l'anorthosite d'Aana-Sira et la série litée métamorphique. La monzonorite l'a suivie et s'est infiltrée entre cette norite et l'anorthosite. L'existence des deux faciès (faciès fin et faciès porphyrique), sans relation spatiale entre eux, suggère

d'ailleurs une double injection à partir de niveaux différents de la chambre magmatique (Fig. 3).

Quant à la mangérite, elle a envahi toute l'apophyse (Fig. 2).

Par endroits, elle se trouve en contact avec l'anorthosite d'Aana-Sira; à d'autres elle dissèque la monzorite; dans la masse de l'apophyse, elle sépare la norite en deux panneaux. Un faciès fin de la mangérite forme le contact avec la série litée ou elle paraît représenter un faciès de prise rapide fortement orienté.

Pour terminer, signalons que BEELEN (1971) et DEMAÏFFE (1971) avaient admis la possibilité d'une relation comagmatique entre la mangérite et la farsundite « mélanofeldspathique » à orthopyroxène et hornblende (MIDDLEMOST, 1968), cette dernière roche représentant alors la phase ultime de la différenciation du magma de Bk-Sg. Les deux roches appartiennent au faciès granulite (présence d'orthopyroxène) : la mangérite faisant partie du subfaciès granulite à orthopyroxène — plagioclase et la farsundite au subfaciès granulite à orthopyroxène-hornblende (DE WAARD, 1965). La figure 4 montre cependant que la droite idéalisant la différenciation du magma plagioclasique, dont serait issu le massif de Bk-Sg, subit une rupture de pente nette au niveau des mangérites, ce qui laisserait supposer qu'à partir d'un certain stade, si la mangérite et la farsundite sont issues d'un même magma, il est nécessaire d'envisager qu'elles ont l'une et l'autre assimilé un matériau différent, par exemple, en suivant en cela les données géochimiques (PASTEELS, J. MICHOT et LAVREAU, 1970) un matériau métavolcanique pour la farsundite et un matériau métadétritique pour la mangérite. En outre, leur association minérale n'étant pas exactement semblable, il faut en conclure que ces roches ont évolué dans des conditions physiques variables, soit à un niveau bathymétrique différent, soit sous une  $P_{H_2O}$  plus forte pour la farsundite.

Nous réservons à une ultérieure l'étude pétrologique et isotopique de ces deux ensembles.

#### REMERCIEMENTS

Nous tenons à exprimer ici notre plus vive gratitude à Monsieur le Professeur J. MICHOT qui nous a suggéré le présent travail et en a suivi le développement aussi bien sur le terrain qu'au laboratoire.

Ce travail a été grandement facilité par l'intervention du Fonds National de la Recherche Scientifique.

Je remercie le Fonds Fourmarier pour le subside qu'il a bien voulu m'accorder lors du travail de terrain en juin 1971.

Je remercie enfin le Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques de Nancy qui a accepté d'analyser quelques unes de nos roches.

#### BIBLIOGRAPHIE

- BARTH, T. F. W., 1963. — Precambrian of Southern Norway; in : The Geologic Systems, Vol. I, Ed. K. Rankama, 27-69.
- BEELEN, R., 1971. — Contribution à l'étude pétrologique de la farsundite (Norvège méridionale). Mémoire de licence en Sciences (inédit), U.L.B., 87 p.
- DEMAÏFFE, D., 1971. — Étude pétrologique de l'apophyse de Bjerkrem-Sogndal et de sa couverture métamorphique (Kvanvig, Norvège méridionale). Mémoire de licence en Sciences (inédit), U.L.B., 106 p.

- DE WAARD, D., 1965. — The occurrence of garnet in the granulite facies terrane of the Adirondacks Highlands. *Journ. of Petrol.*, **6**, 165-191.
- DUCHESNE, J. C., 1969. — Les minerais noirs dans le massif magmatique stratiforme de Bjerkrem-Sogndal et leur évolution dans la différenciation. Thèse de doctorat en Sciences (inédite), Université de Liège.
- DUCHESNE, J. C., 1970. — Microtextures of Fe-Ti oxide minerals in the South Rogaland Anorthositic Complex (Norway). *Ann. Soc. Géol. de Belgique*, **93**, 527-544.
- DUCHESNE, J. C., 1972. — Iron-Titanium oxide minerals in the Bjerkrem-Sogndal Massif, South-Western Norway. *Journ. of Petrol.*, **13**, 57-81.
- KRAUSE, H. und ZEINO-MAHMALAT, R., 1970. — Untersuchungen an erz und Nebengestein der grube Blåfjell in SW Norwegen. *Norsk. Geol. Tidssk.*, **50**, 45-88.
- MICHOT, J. et MICHOT, P., 1969. — The problem of anorthosites : the South Rogaland Igneous Complex, SW Norway in « The origin of anorthosites and related rocks », Y. W. Isachsen, Edt., *N. Y. State Mus. Sci. Serv. Mem.*, **18**, 399-410.
- MICHOT, J. et PASTEELS, P., 1968. — Étude géochronologique du domaine métamorphique du SW de la Norvège. *Ann. Soc. Géol. de Belgique*, **91**, 83-110.
- MICHOT, J. et PASTEELS, P., 1969. — La variation du rapport  $(\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86})_0$  dans les roches génétiquement associées au magma plagioclasiq. *Ann. Soc. Géol. de Belgique*, **92**, 255-262.
- MICHOT, P., 1960. — La géologie de la catazone : le problème des anorthosites, la palingénèse basique et la tectonique catazonale dans le Rogaland méridional, Norvège méridionale. *Norges Geol. Unders.*, **212**, 1-54.
- MICHOT, P., 1965. — Le magma plagioclasiq. *Géol. Rundschau*, **54**, 956-976.
- MICHOT, P., 1966. — Le segment orogénique fondamental du Rogaland méridional. Colloque E. Wegmann sur « Les Étages Tectoniques », Neuchâtel, 123-139.
- MIDDLEMOST, E., 1968. — The granitic rocks of Farsund, South Norway. *Norsk Geol. Tidssk.*, **48**, 81-99.
- PASTEELS, P.; MICHOT, J. et LAVREAU, J., 1970. — Le complexe éruptif du Rogaland méridional. Signification pétrogénétique de la farsundite et de la mangérite quartzitique des unités orientales. *Ann. Soc. Géol. de Belgique*, **93**, 453-476.
- POLDERVAART, A. et HESS, H., 1951. — Pyroxenes in the crystallization of basaltic magma. *Journ. of Geology*, **59**, 472-489.



