

Pétrologie du magmatisme tardi-cadomien du domaine nord-armoricain : l'exemple des complexes basiques et ultrabasiques d'Ernée et de Trégomar*

Jean Le Gall ⁽¹⁾, Jean-Alix Barrat ⁽²⁾

Mots-clés : *Cumulat, Gabbro, Diorite, Anorthosite, Orogénie cadomienne, Analyse majeurs, Analyse élément trace, Terre rare, Cristallisation fractionnée, Analyse composante principale, Frange réactionnelle, Couronne réactionnelle, Côtes du Nord (Massif Trégomar), Mayenne (Massif Ernée).*

Résumé

Les complexes gabbroïques stratifiés de Trégomar et d'Ernée, qui appartiennent au magmatisme tardi-cadomien du domaine mancennien, se composent de cumulats très variés (anorthosites, clinopyroxénites, gabbros coronitiques à olivine, norites), et de termes dioritiques localisés dans le massif d'Ernée. L'étude géochimique révèle que ces roches dérivent par cristallisation fractionnée, d'un magma d'origine mantélique à composition probable de basalte calco-alcalin. Ces intrusions concrétisent, dans cette partie nord-orientale du Massif armoricain, l'existence d'une génération de magmas juvéniles dont la mise en place pourrait être responsable de l'anatexie crustale à l'origine du batholite granodioritique de la Mancennia.

Abstract

Two layered gabbroic complexes occur at Trégomar (Côtes-du-Nord) and Ernée (Mayenne), respectively on the northern and northeastern part of the Armorican massif (France). They are obviously post-kinematic intrusions related to the Cadomian orogeny within the Mancennian area. These rocks are formed of various cumulates (anorthosites, clinopyroxenites, coronite olivine gabbros, norites), and locally grade into diorite in the Ernée complex. The geochemical data suggest that these rocks are produced by fractional crystallisation of a mantle derived magma, with a probable composition close to a high alumina basalt. The mafic intrusions described here are inferred to be surviving remnants of a first generation of primary magma, of which the uprise would be at the origin of anatexis of crustal rocks giving rise to the Mancennian granodioritic batholite.

Introduction

De nombreux complexes gabbro-dioritiques existent dans le nord du Massif armoricain, tant en mer (J.P. Lefort, 1975), qu'à terre. Si certains sont varisque, les plus nombreux appartiennent au cortège plutonique cadomien, mis en place entre 620 et 540 Ma (P. Graviou, B. Auvray, 1985). La phase de structuration majeure de cette chaîne, datée en baie de Saint-Brieuc vers 590 M.A. (P. Balé et J.P. Brun, 1983; V. Genestier, 1984), permet de scinder les massifs ultrabasiques en deux grands groupes : les uns, plus ou moins intensément déformés et métamorphisés, anté- à syn-tectoniques, les autres non structurés, post-tectoniques. Ces derniers apparaissent principalement dans la région de Guingamp (massifs de Péderne et de Moustéru), en baie de Saint-Brieuc (massifs de Saint-Quay-Portrieux, de Saint-Brieuc et de Trémuson) (fig.1) et

en domaine mancennien. Dans ce domaine, l'activité magmatique fini-cadomienne est particulièrement intense et se solde par l'intrusion, au sein de sédiments briovériens (Protérozoïque supérieur), des nombreux plutons granodioritiques du batholite mancennien et de quelques petits stocks gabbroïques parmi lesquels figurent les complexes basiques d'Ernée et de Trégomar. Ces deux massifs, qui n'avaient fait l'objet que de recherches anciennes et souvent ponctuelles, offrent d'étroites analogies pétrographiques tant par la variété de leurs termes où figurent de nombreux types de cumulats (clinopyroxénites, troctolites, anorthosites) que par le développement, dans les gabbros à olivine, d'exceptionnelles associations coronitiques tardi-magmatiques. Outre l'étude détaillée de ces différents termes et l'analyse à la microsonde de la réaction coronitique olivine-plagioclase, ce travail fournit des données géochimiques permettant d'envisager l'intégration des complexes basiques au sein des événements magmatiques définis dans ce domaine nord-armoricain et qui marquent la fin de l'évolution géodynamique cadomienne (B. Auvray, 1979; J. Cogné et A.E. Wright, 1980).

(1) Laboratoire de Géologie de Normandie occidentale, Université de Caen, 14032 Caen cedex et RCP n° 706 : Géodynamique du Massif armoricain

(2) 28 rue de l'Hermitage, 35650 Le Rheu

*Manuscrit reçu le 4 septembre 1986; modifications reçues le 10 mars 1987 et accepté le 16 mars 1987.

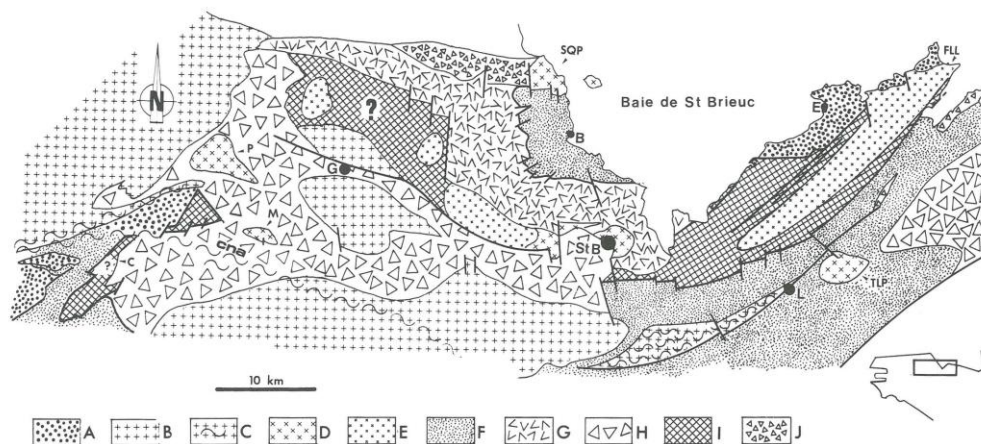


Fig. 1. - Esquisse géologique de la baie de Saint-Brieuc (d'après les cartes géologiques à 1/320 000, 1/80 000 et 1/50 000 modifiées et simplifiées).

A: Paléozoïque indifférencié; B: granitoïdes varisques; C: orthogneiss (cna = cisaillement nord armoricain); D: gabbros et diorites cadomiens (TLP = Tréguier; SQP = Saint-Quay-Portrieux; P = Pédernec; M = Moustéru); E: diorites cadomiennes déformées (FLL = Fort-la-latte); F: Briovérien sédimentaire; G: Formation de Lanvollon; H: Migmatites de Saint-Malo et de Guingamp-Plougonver; I: complexes basiques dits pentévriens (C = Calanhel); J: séries métamorphiques d'âge mal assuré. St B: Saint-Brieuc; L: Lamballe; E: Erquy; B: Binic; G: Guingamp.

A. Le complexe d'Ernée

Le gabbro d'Ernée (Mayenne) constitue, au nord de cette ville, un massif de forme elliptique d'environ $2,5 \times 1,5$ km, auquel se rattache la petite intrusion satellite de la Rivaudière, située à 1 km plus à l'ouest. La première mention en ce lieu de "masses de diorite granitoïde et de diorite compacte" est due à E. Blavier (1837). Ces roches, répertoriées comme "diabase quartzifère" sur la première édition de la carte géologique de Laval à 1/80 000 (D.P. Oehlert *et al.*, 1905), seront confondues avec les filons doléritiques recoupant les terrains précambriens. Aucune modification n'apparaît sur la deuxième édition de la carte (L. Berthois *et al.*, 1960), en dépit de l'important travail de L. Vandernotte qui, dans sa thèse (1913), définit la nature surtout gabbroïque du massif d'Ernée en dresse l'inventaire pétrographique sur une carte à 1/20 000 et fournit les premières analyses chimiques. Les principaux résultats des travaux de L. Vandernotte, encore utilisables aujourd'hui, portent sur la description pétrographique détaillée des roches constituant le complexe gabbroïque d'Ernée. Par contre, la cartographie souffre de nombreuses inexactitudes, telles la confusion entre les termes de l'intrusion elle-même et les filons doléritiques qui l'injectent.

1. Nouvelle cartographie du massif et de son encaissant

Telle que l'indique la nouvelle carte réalisée à 1/10 000 (fig. 2), l'intrusion d'Ernée s'organise autour d'un noyau de gabbro à olivine, décentré vers le sud-ouest, sur lequel s'appuient vers l'est des gabbros sans olivine, puis des gabbro-norites disposés en une demi-couronne. La bordure sud recèle des termes dioritiques, fréquemment quartziques. Les informations trop parcellaires recueillies dans le

secteur septentrional et surtout oriental ne favorisent pas la réalisation d'une cartographie précise. Deux filons principaux de dolérite, parallèles et orientés NNW-SSE, traversent tout le massif. Le filon occidental se suit en particulier au nord de Mauny, où il s'injecte dans la granodiorite cadomienne de Louvigné-Gorron. Considérant à tort qu'il s'agissait d'une émanation du gabbro d'Ernée, L. Vandernotte (*op. cit.*) concluait à la postériorité de l'intrusion basique sur celle du granite.

Le massif d'Ernée, comme celui de la Rivaudière, est entièrement encaissé dans les terrains thermométamorphiques développés aux dépens du flysch du Briovérien supérieur. Il s'agit de schistes tachetés qui, à l'approche du massif, évoluent en cornéennes tachetées et rubanées. Par ailleurs, les directions de stratification orientées autour de N 60°E, subissent des inflexions en épousant les contours de l'intrusion. Ces modifications structurales paraissent sous la dépendance des déformations varisques qui, dans ce domaine sud-mancellien, demeurent prépondérantes (L. Dupret, J. Le Gall, 1984).

2. La question de l'âge du massif d'Ernée

Faute de datation absolue et en l'absence de terrains paléozoïques, le problème de l'âge du massif d'Ernée ne peut s'aborder qu'indirectement. Il est sûr que sa mise en place précède l'injection des filons doléritiques, lesquels régionalement constituent un essaim de dykes sub-méridiens qui se rattachent au volcanisme dévono-dinartien du bassin de Laval (J. Le Gall, G. Mary, 1983; G. Mary, J. Le Gall, 1985). Si l'hypothèse d'une intrusion hercynienne précoce ne peut être exclue a priori, celle d'une mise en place cadomienne semble plus plausible, ceci en raison de la ressemblance entre le gabbro d'Ernée et celui de Brée, ce dernier étant installé antérieurement au Cambrien inférieur (J. Le Gall et G. Mary, 1982). Les relations entre le gabbro d'Ernée et les granodiorites

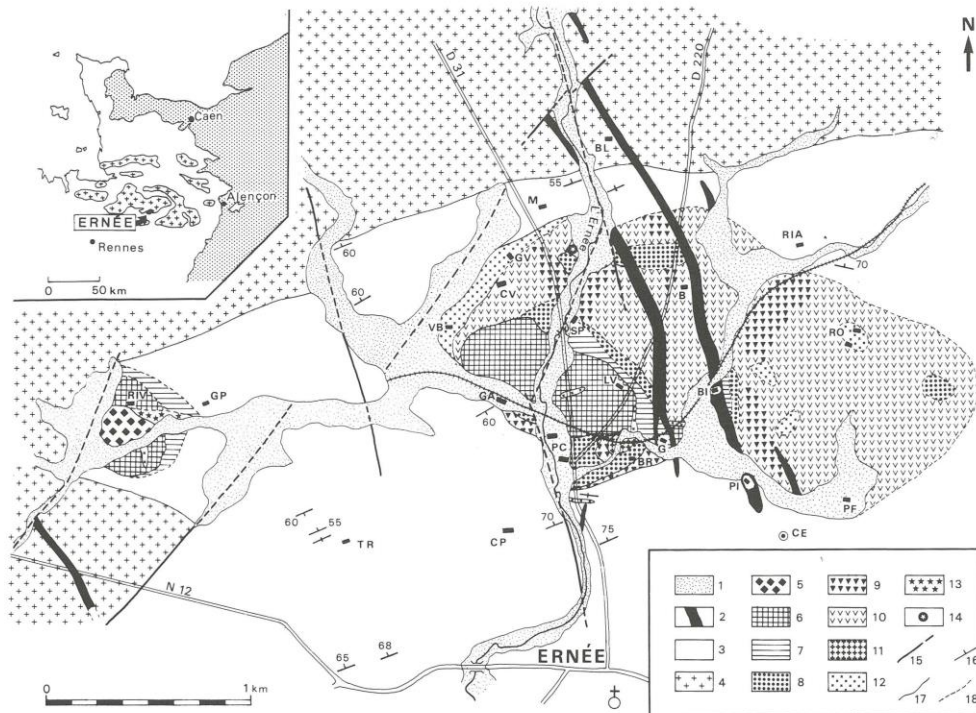


Fig.2.-Carte géologique du complexe basique d'Ernée.

1: formations superficielles; 2: filons de dolérites; 3: Briovérien métamorphique; 4: granodiorite de Louvigné-Gorron; 5: troctolite; 6: gabbro à olivine; 7: gabbro sans olivine; 8: norite et gabbro norite; 9: gabbro-diorite et diorite; 10: faciès indifférenciés essentiellement dioritiques; 11: gabbro-diorite à gros grain; 12: filons et petits stocks leucocrates; 13: anorthosites; 14:

microdiorite; 15: faille; 16: direction de stratification avec pendage en degrés; 17: limite cartographiée; 18: limite supposée.

B: la Boissière; BL: les Bizeuls; BL: la Blanchardière; BR: les Bradellières; CE: le château d'eau; CP: Château Panard; CV: Château de Vahais; M: Mauny; PC: Pont de Carelles; PF: le Petit Fay; Plila Piogerie; RIA: la Riautière; RIV: la Rivaudière; RO: la Rondellière; SP: station de pompage; TR: le Tertre Renault; VB: Vahais du Bas.

tardi-cadomiennes de la Mancellia demeurent également ambiguës, car aucun contact n'existe entre les termes gabbroïques et le massif de Louvigné-Gorron situé au nord, situation évoquant tout à fait celle du gabbro de Brée. Cependant, de rares enclaves microgrenues basiques -dont des microgabbros- sont signalées dans les granodiorites (M. Jonin, 1981).

3. Analyse pétrographique

Le massif d'Ernée, malgré sa faible superficie, se compose de faciès variés: gabbros avec ou sans olivine, gabbro-norite, gabbro-diorite, diorite quartzique, accompagnés de termes cumulatifs (troctolite et anorthosite), de filons et ségrégations leucocrates.

1. Les gabbros à olivine

Les termes à olivine se présentent en une masse principale (1 km × 400m) à l'W-SW du complexe d'Ernée. Ils s'observent à l'ouest dans le parc du château de Vahais, le long de l'Ernée, et à l'est dans l'ancienne tranchée désaffectée du tramway de Landivy. Un témoin plus oriental existe aussi près de

la Germillonnière. Dans le massif de la Rivaudière, les gabbros à olivine qui encerclent le petit stock de troctolite, affleurent sur la rive méridionale du petit ruisseau coulant au sud de cette ferme.

De teinte sombre, ces roches à texture intergranulaire à sub-ophitique sont formées d'une charpente de plagioclases plurimillimétriques zonés (An 70-47, moyenne An 62), qui représentent 45 à 60 % du volume du gabbro (tabl.1). Les pyroxènes se répartissent en clinopyroxènes, surtout de type augite (30% au maximum), et en orthopyroxènes toujours en moindre quantité (10% au maximum). Les clinopyroxènes se développent en grandes plages poecilites englobant l'olivine, le plagioclase et parfois même l'orthopyroxène. Certains individus, rapportés au diallage, possèdent un clivage fin supplémentaire et de petites inclusions violacées. Des figures d'exsolutions entre clinopyroxènes (augite et pigeonite?) s'observent d'autre part, mais les édifices composites associent plus volontiers orthopyroxène et clinopyroxènes sous forme de fines lamelles orientées ou de petites gouttelettes et veinules. Quelques exemples contraires où le clinopyroxène représente le minéral-hôte existent aussi. L'olivine apparaît en cristaux arrondis, d'un

diamètre atteignant 5mm, dont la limpidité n'est altérée que par quelques minces filonnets de serpentine et par des granules opaques. Si les proportions d'olivine fluctuent entre 10 et 15 % dans les gabbros du massif d'Ernée, par contre, dans celui de la Rivaudière, des pourcentages de 20 à 30 % sont atteints, révélant un processus cumulatif qui sera encore plus accentué dans les troctolites voisines. Incluse dans les pyroxènes, l'olivine offre des contours francs mais, au contact des plagioclases, se développent des couronnes réactionnelles analogues à celles relevées dans les gabbros de Trégomar, et qui font l'objet d'une étude spécifique (cf. chapitre C).

En dehors de ces constituants essentiels, les minéraux accessoires rencontrés (<5 %) se partagent entre l'amphibole brun-vert se substituant aux clinopyroxènes, la biotite qui englobe souvent des minéraux opaques, et enfin l'apatite en grains xénomorphes disposés entre les lattes de plagioclase.

	pl	ol	opx	cpx	amp	bi	qz	op	acc
Troctolite									
*1457 A	41,0	44,2	11,9	2,0	0,4	0,0	0,0	0,5	0,0
Gabbro à olivine									
1482 A	59,4	15,0	5,3	20,3	0,0	0,0	0,0	<0,1	0,0
1512 B	51,4	19,8	4,8	21,2	1,6	0,0	0,0	1,0	0,2
*1516 B	49,6	32,2	6,6	9,0	2,0	0,0	0,0	0,6	0,0
Anorthosite									
*1490 A	87,8	0,0	0,0	10,8	0,0	0,0	0,0	1,4	0,0
Gabbro sans olivine									
1475 D	43,5	0,0	2,0	49,7	0,0	3,4	0,0	1,2	0,2
1476 A	54,8	0,0	7,7	34,6	0,0	1,0	1,1	0,6	0,2
Gabbro-norite (s. l.)									
1473 B	55,0	0,0	31,4	13,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0
1511 E	45,2	0,0	40,2	8,6	0,0	3,2	1,2	1,6	0,0
1475 I	37,1	0,0	31,7	5,9	1,3	6,3	16,6	1,1	0,0
Gabbro-diorite à gros grain									
1475 G	59,8	0,0	4,4	7,4	17,8	3,0	7,6	<0,1	0,0
1475 H	54,1	0,0	1,0	5,6	30,1	2,7	5,9	0,6	0,0
Gabbro-diorite à grain fin									
J-B 55	46,8	0,0	0,0	0,0	38,4	0,4	5,4	9,0	0,0
J-B 42	45,0	0,0	0,0	0,0	30,4	12,6	6,6	4,8	0,6
Diorite quartzique à gros grain									
J-B 23	43,4	0,0	0,0	0,0	35,8	5,0	15,4	<0,1	0,4
J-B 44	47,2	0,0	0,0	0,0	26,8	8,4	13,6	2,4	1,8
Diorite quartzique à grain fin									
1459 B	33,0	0,0	0,0	0,0	10,8	25,4	28,8	2,0	0,0
1463 A	41,6	0,0	0,0	0,0	13,0	19,8	22,8	2,2	0,6

Tabl.1.- Analyses modales de termes d'Ernée et de La Rivaudière (*)

pl : plagioclase; ol : olivine; opx : orthopyroxène; cpx : clinopyroxène; amp : amphibole; bi : biotite; qz : quartz; op : opaques; acc : accessoires.

2. Les gabbros sans olivine

Dans le massif d'Ernée, entre la station de pompage et la Germillonnière, donc à l'est des gabbros à olivine, apparaissent des termes voisins mais dépourvus d'olivine. Ils s'observent surtout dans la tranchée de la voie ferrée à l'est du passage à niveau de la Germillonnière où ils sont recoupés par un filon de dolérite à bordure figée lavique.

Les gabbros sans olivine possèdent des caractères texturaux et minéralogiques très proches des précédents. On y retrouve en abondance des plagioclases zonés (45 à 60% de labrador An 65-52), de grands clinopyroxènes en plages poecilites, et des cristaux composites réunissant ortho- et clinopyroxènes. Excepté la disparition de l'olivine et la cristallisation accidentelle de quartz, une autre

différence porte sur le développement d'amphibole qui s'effectue surtout au détriment des clinopyroxènes, transformés en hornblende verte fibreuse. Dans certains échantillons très ouralitisés, les pyroxènes tendent à disparaître presque complètement.

3. Les troctolites

Au sud de la Rivaudière, la tranchée de l'ancienne voie ferrée est ouverte dans une roche grenue sombre, équante, parsemée de feldspaths gris-verdâtre et de plages d'orthopyroxènes à éclat bronzé. Cette troctolite contient 35 à 40 % de plagioclases calciques (An 70), légèrement saussuritisés, dont quelques individus sont inclus dans l'olivine. Cette dernière (Fo~85), très abondante (45 à 50 % en moyenne du volume de la roche) se développe en cristaux globuleux de 1,8 à 2,5 mm de diamètre, envahis de fibres d'antigorite et de microgranules opaques. Le plagioclase et l'olivine, cristallisés précocement en phases de cumulats, sont cimentés par des pyroxènes (orthopyroxènes surtout) interstitiels. Dans le triangle Pl/Px/Ol (fig.3), les points figuratifs de ces termes se situent dans le champ des gabbros à olivine, près de celui des troctolites. Cependant, ce dernier terme est préféré compte-tenu des fortes teneurs en olivine qui, d'après L. Vandernotte, pourraient atteindre jusqu'à 80 % de la roche.

4. Les anorthosites

A l'est des troctolites de la Rivaudière, dans le lit du ruisseau coulant près de la ferme de Gué-Pérault, gisent de gros blocs non enracinés de roches grenues claires à litage discret. Ces roches, non reconnues par L. Vandernotte, sont constituées d'une accumulation de plagioclases An62 en lattes orientées piégeant un liquide résiduel qui cristallise sous forme de clinopyroxènes intercumulus, et plus rarement de minéraux opaques. Les très forts pourcentages (90 %) de plagioclases et les relations étroites avec les cumulats troctolitiques, autorisent de rapprocher ces termes d'anorthosites au sens strict (fig. 3).

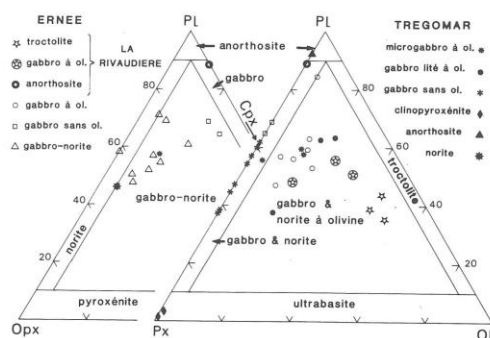


Fig.3.- Diagrammes plagioclase-olivine-pyroxènes et plagioclase-orthopyroxène-clinopyroxène (IUGS, 1973).

5. Les norites et les gabbro-norites

Les faciès riches en orthopyroxènes se différencient des gabbros avec ou sans olivine par leur teinte gris-clair et surtout par leur grain toujours plus fin, compris entre 0,2 et 0,5 mm, qui leur confère un cachet microgrenu. Absents dans l'intrusion de la Rivaudière, les gabbro-norites se concentrent en bordure des gabbros à olivine dans le massif d'Ernée. On les trouve sur la rive droite de l'Ernée au sud-est du château de Vahais, sur la départementale 220 au nord-est de la Lande de Vahais, et dans le secteur du pont de Carelles. Des témoins plus isolés se rencontrent, en outre, aussi bien au nord du massif (nord des Boissières) qu'à l'est (les Bizeuls ; sud-est des Rondellières).

Si les véritables norites composées presque exclusivement de plagioclase et d'orthopyroxène sont rares (fig. 3), à l'inverse, les termes les plus fréquents, gabbro-noritiques, contiennent en plus des deux minéraux cardinaux cités, des clinopyroxènes, des amphiboles, de la biotite, du quartz et des minéraux opaques. L'olivine, en individus serpentinisés, demeure un minéral accidentel.

Les plagioclases (An70-52, moyenne An62) se présentent en petites lattes intersertales auxquelles s'adjoignent de temps à autre quelques gros individus zonés plurimillimétriques. L'orthopyroxène, légèrement rosé, cristallise en prismes subautomorphes ou en plages poecilites. Il est quelquefois partiellement remplacé par une amphibole presque incolore, à fines macles polysynthétiques, criblée de micro-inclusions sombres qui prolongent celles disposées selon le clivage fin du pyroxène. Cette amphibole, aux caractères optiques d'une cummingtonite est parfois cernée par une autre variété, vert-pâle à légèrement brunâtre, dont les fibres pénètrent dans les plagioclases contigus. La transformation de l'orthopyroxène s'assortit parfois du développement de bastite en fines aiguilles dans les clivages, ce qui lui donne un aspect gris-vertâtre.

Dans les norites, l'orthopyroxène renferme souvent de multiples inclusions de clinopyroxène en étroites lamelles orientées ou en gouttelettes, qui rappellent les figures observées dans les gabbros avec ou sans olivine. Certaines exsolutions, analogues à celles décrites par K.G. Cox *et al.* (1979), indiquent qu'à l'origine l'orthopyroxène était sous la forme de pigeonite monoclinique. Le clinopyroxène, dans les gabbros-norites, apparaît en individus poecilites englobant les plagioclases et quelquefois l'orthopyroxène. A l'image de ce dernier, il se transforme également en amphibole, ici une variété brun-clair dont les clivages passent en continuité avec ceux du pyroxène. Localement abondante, l'amphibole brune, toujours poecilite, peut se convertir en biotite qui se montre en plages xénomorphes, bien pléochroïques. Les oxydes ferrotitanés se rencontrent en petits cristaux inclus dans les pyroxènes ou en îlots cernés de biotite. Des concentrations de sulfures, disposés en lits irréguliers, s'observent dans quelques échantillons. Le quartz, toujours interstitiel, abonde dans les veines et bouffées leucocrates, aux contours diffus, qui sont fréquentes dans les gabbros-norites quartzifères et micacées. Là, le quartz côtoie des plagioclases, des amphiboles et de la biotite.

6. Les gabbro-diorites et diorites

Ces termes rassemblent plusieurs catégories de roches qui, outre l'existence d'un filon de microdiorite, se regroupent en quatre types principaux (fig. 4) :

- deux ensembles à grain fin, les uns voisins des gabbro-norites mais qui s'en écartent surtout par l'intense développement des amphiboles, les autres, plus dioritiques, dans lesquels le quartz entre en grande proportion ;
- deux ensembles de termes plus largement grenus, les uns à cachet de diorite quartzique, les autres, riches en plagioclases et pauvres en quartz, et de ce fait plus proches de gabbro-diorites.

Seuls ces derniers termes, qui constituent une petite masse bien circonscrite à l'ouest de la Germillonnière, ont pu être représentés en cartographie, contrairement aux autres réunis sous un même symbole (fig. 2).

Remarquons cependant que dans cet ensemble, les diorites quartziques à grain fin sont mieux exprimées à la périphérie de l'intrusion.

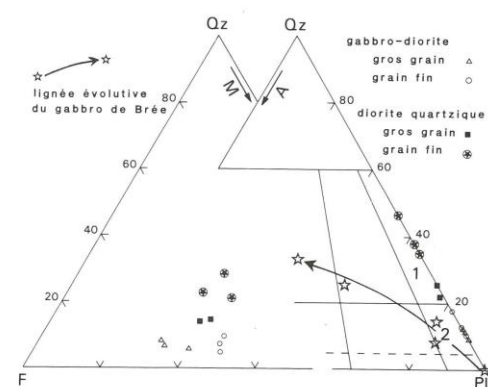


Fig.4.-Position des termes différenciés du massif d'Ernée dans les diagrammes quartz-feldspath-minéraux mafiques et quartz-feldspath alcalins-plagioclases (A. Streckeisen, 1976); 1 : tonalite; 2 : diorite et gabbro.

1 - Les gabbro-diorites à gros grain

Ces roches, exposées dans la voie ferrée à l'ouest du passage à niveau de la Germillonnière, tranchent sur les gabbros avoisinants par leur teinte plus claire liée à l'abondance des plagioclases : près de 60 % de labrador (An62) en grandes lattes plurimillimétriques. Les pyroxènes ne sont présents qu'en reliques au cœur d'amphiboles brun-vert poecilites. Il s'agit pour l'essentiel de clinopyroxènes, plus rarement d'orthopyroxènes bastitisés. Les autres phases se répartissent entre la biotite, le quartz interstitiel (6 à 8 %), les opaques, l'apatite en grands prismes automorphes, le zircon et le sphène.

2 - Les gabbro-diorites à grain fin

Accompagnant les gabbro-norites, les gabbro-diorites à grain fin s'observent en rive gauche de l'Ernée au nord de la station de pompage ainsi que dans le bois des Rondellières à l'ouest du massif. Ces roches se composent en moyenne de 45 % de plagioclases zonés (An58-55), d'un peu de biotite et de quartz (fig. 4). La spécificité minéralogique tient dans la quasi absence de pyroxènes, remplacés par deux types d'amphibole. L'une, la plus abondante, concerne l'espèce de substitution de l'orthopyroxène (cummingtonite), repérable grâce aux micro-inclusions qui assombrissent les individus et aux fines macles polysynthétiques. La deuxième amphibole, en cristaux poecilites brun-vert, contient quelques restes de clinopyroxène. L'autre particularité de ces termes se trouve dans l'important développement des phases opaques qui atteignent jusqu'à 9 % des minéraux. Elles sont représentées par de petits cristaux d'oxydes ferro-titanés dispersés dans la roche ou réunis en plages à l'intérieur des biotites ainsi que par quelques minces lits de sulfures. Parmi les minéraux accessoires, l'apatite est la plus fréquente.

3 - Les diorites quartziques

Ainsi que nous l'avons déjà mentionné, les diorites quartziques, surtout celles à grain fin, semblent abondantes à la périphérie du massif : par exemple à l'est, de la bordure occidentale du bois des Rondellières jusqu'au sud de la Riautière. Ces roches, mêlées de termes dioritiques pauvres en quartz, sont fréquemment parcourues de veines leucocrates centimétriques dont certaines soulignent les traces d'un litage magmatique. Ce litage se confirme au microscope par l'orientation des plagioclases et la modification, en taille et en nature, des minéraux d'un lit à l'autre. Certains lits clairs concordants se remarquent par des concentrations de plagioclases et d'apatites en grands prismes automorphes. D'autres veines leucocrates, plus irrégulières, se composent d'orthoses largement perthitiques, de plagioclases, de quartz souvent en veinules dans les myrmékites, et de biotites chloritisées. L'observation d'épontes souvent broyées, d'une granulation mécanique affectant certains quartz et d'étroits films de biotites plaqués contre les feldspaths attestent de déformations contemporaines de l'injection de ces veines tardives. Des analyses modales réalisées sur les diorites quartziques (tabl. 1), on retiendra des teneurs en quartz toujours supérieures à 10 %, l'absence de pyroxènes remplacés par des amphiboles - ici pour partie de la hornblende verte-, l'abondance des biotites (25 % au maximum), la fréquence des minéraux opaques et de l'apatite. Notons enfin, qu'aux côtés des plagioclases qui dominent toujours largement, peuvent apparaître quelques feldspaths potassiques.

4 - La microdiorite

L'unique exemple de microdiorite se situe au sud-est de Mauny en rive droite de l'Ernée. Cette roche porphyrique contient de grands plagioclases saussuritisés, noyés dans une trame microgrenue réunissant des plagioclases, de l'amphibole vert-pâle, du quartz, des minéraux opaques et d'altération (épidotes, chlorites). Des enclaves de même minéralogie, mais à texture finement intersertale, évoquant certains faciès de diorites à grain fin, s'y

rencontrent. Décrite sous le nom de "microdiorite du Mont de Vahais" par L. Vandernotte (1913) qui l'a considérée à tort comme en contact avec le granite, cette microdiorite est intrusive dans un ensemble de gabbro-norite et diorite à grain fin bien qu'aucun contact ne s'observe.

7 - Les roches filoniennes leucocrates

Dans les massifs d'Ernée et de la Rivaudière, se rencontrent de nombreux gisements de roches différenciées leucocrates, en filons ou en petits stocks aux contours mal définis. Il s'agit pour l'essentiel d'aplo-pegmatites fréquemment granophyriques et plus rarement de rhyolites à structure fluidale.

Si l'on excepte les petits filons qui recoupent sporadiquement les gabbros à olivine (ouest et sud de la lande de Vahais, sud de la Rivaudière), les principales occurrences d'aplo-pegmatites se situent aux extrémités est et ouest de l'intrusion d'Ernée, respectivement entre Vahais du Bas et Grand Vahais et entre les Bizeuls et les Rondellières (fig. 2). Ce dernier gisement est le plus spectaculaire par ses pegmatites à tourmaline. On y voit des lits centimétriques où se concentrent des tourmalines bleues en prismes automorphes accompagnées de quartz, alternant avec des passées leucocrates qui contiennent de l'orthose largement perthitique, de l'albite et du quartz. Si les assemblages graphiques sont fréquents (secteur des Bizeuls), par contre la cristallisation de grenats et de cordiérite pinitisée reste occasionnelle. Les termes leucocrates affleurant à l'ouest du massif sont généralement à grain fin. Ils se composent en proportions à peu près égales d'orthose perthitique, d'albite limpide et de quartz. Quelques biotites chloritisées et de rares tourmalines complètent l'inventaire minéralogique.

4. Organisation de l'intrusion d'Ernée

L'agencement des différents faciès à l'intérieur du massif d'Ernée permet de reconstituer son architecture. Ainsi, la position très excentrée des gabbros à olivine, à l'opposé des diorites quartziques largement développées à l'est, suggère que les parties profondes sont à rechercher à l'Ouest. Dans cette perspective, la répartition actuelle des faciès résulte d'un soulèvement du secteur occidental occasionné sans doute par un basculement de l'ensemble du massif vers l'est.

Le petit gisement de la Rivaudière qui comporte uniquement des cumulats, pourrait correspondre à un témoin d'un complexe stratifié initialement plus profond. Cependant les trop rares observations de stratifications magmatiques empêchent toute reconstruction géométrique de cette intrusion litée.

B. Le complexe de Trégomar

Situé au nord-est de l'agglomération de Lamballe (Côtes-du-Nord) (fig. 1), ce massif intrusif dans les schistes et phanites briovériens, constitue une sorte de petite ellipse d'une dizaine de kilomètres carrés, et de grand axe orienté E-W.

Les conditions d'affleurement sont médiocres : seul un endroit permet d'observer la roche en place (bois

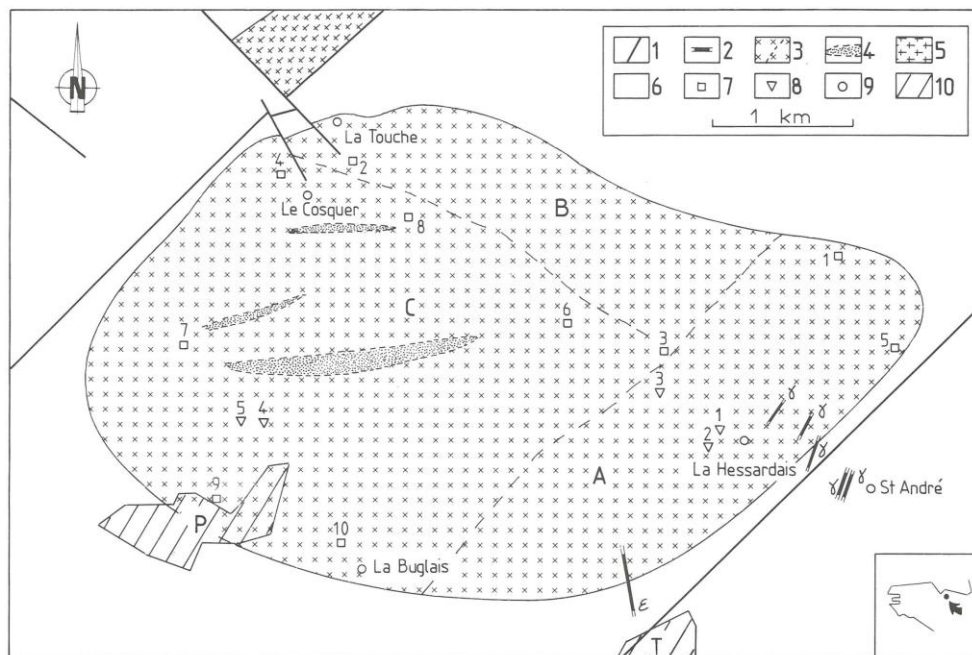


Fig.5. - Carte géologique du complexe de Trégomar.

1: faille supposée; 2: filons de dolérite (c) et de microgranite, d'aplite ou de pegmatite (γ); 3: gabbros et ultrabasites (tiretés = limites entre zones A, B, et C); 4: enclaves phanitiques; 5: orthogneiss de Quessoy; 6: schistes et phanites de Lamballe, plus

ou moins métamorphisés; 7: point de prélèvement pour analyse chimique; 8: emplacement des sondages carottés; 9: lieux-dits; 10: villages (P = La Poterie, T = Trégomar).

Les formations superficielles ne sont pas représentées.

du Plessis, dans le bourg de La Poterie). Ailleurs, des blocs ou des boules dispersés dans les landes, les prairies, sur le bord des champs, ou des arènes dans les talus, témoignent de la nature du sous-sol. L'origine précise de ces blocs n'est pas toujours évidente, d'où l'incertitude des limites qui sont proposées (fig. 5). Ceci est particulièrement vrai pour les enclaves phanitiques contenues dans le gabbro, dont les causes de dispersion sont multiples. Ces phanites constituaient un matériau de choix pour l'élaboration d'outils taillés. L'abondance d'éclats retouchés témoigne d'ailleurs d'une intense activité humaine au Pléistocène supérieur (Moustérien ?). Au contact du gabbro, ces roches se chargent d'oligiste, tandis que la matière organique contenue se transforme en graphite. Ainsi, elles alimentèrent un four catalan, dont l'emplacement au bois du Plessis est attesté par la présence de nombreuses scories. Quant au graphite, il fût l'objet d'un début d'exploitation en 1924 (R. Pierrot *et al.*, 1975).

Le problème de son âge se pose de la même façon que celui du massif d'Ernée. Il est aussi traversé par quelques filons : microgranites, aprites et pegmatites à relier au batholite varisque de Moncontour et dolérites identiques à celles d'Ernée, qui constituent aussi un petit pointement à un kilomètre au sud de l'intrusion (Pré Nargant). Bien que les données de terrain ne permettent pas d'être plus précis, les analogies pétrographiques ou géochimiques avec

d'autres intrusions tardi-cadomiennes comme celles de Saint-Quay ou d'Ernée, rendent très raisonnable l'hypothèse d'une mise en place à la fin de cette orogénèse.

1. Les travaux antérieurs

Peu de travaux importants ont été consacrés à ce petit complexe. C. Barrois (1893, 1896) a été le premier à en donner une courte description, suivie en 1936 d'une étude un peu plus détaillée, par L. Berthois.

Ce dernier y distingue trois faciès ("gabbro à augite et amphibole", "diorite à olivine", "gabbro à hypersthène") et donne deux analyses chimiques. En 1941, à l'occasion de la deuxième édition de la carte à 1/80 000 de Saint-Brieuc, P. Pruvost et G. Waterlot reprennent les descriptions antérieures, et considèrent que ce massif est une "modification endomorphe" d'un magma granitique à sa traversée en profondeur de niveaux amphiboliques. Le reste des données disponibles concerne l'altération de ce matériel basique (J. Estéoule-Choux, 1967), et la réalisation de cinq sondages carottés par le Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM), en vue de définir les potentialités en pierres ornementales de ce massif (P. Bos, 1983). Ceux-ci ont montré l'importance de l'altération qui dépasse vingt mètres par endroits.

Signalons encore, qu'outre l'argile, le fer et le graphite, des minéralisations disséminées de cuivre ont motivé le fonçage d'un puits sous l'occupation allemande (R. Pierrot *et al.*, 1975), et que des traces de scheelite ont justifié des travaux de prospection dans les années soixante (P. Bos, *op cit.*).

2. Descriptions pétrographiques

A l'oeil nu, les roches rencontrées sont grenues, plus ou moins foncées. La taille du grain est variable : on a tous les intermédiaires entre des roches à grain très fin (microgabbros et microgabbro-norites), et des faciès pegmatitoidiques où la taille des cristaux de plagioclase peut dépasser largement trois centimètres. Elles sont généralement équantes, mais un litage magmatique est courant.

Les faciès sont variés mais peuvent être regroupés en trois grands ensembles : des gabbros à olivine, des norites, et d'autres termes sans olivine avec lesquels sont associés des cumulats très particuliers (anorthosites, clinopyroxénites). Une caractéristique de cette intrusion est de ne présenter aucun terme différencié dioritique. Une vingtaine d'analyses modales ont été réalisées et placées dans les triangles Pl/Ol/ Px et Pl/Opx/Cpx (fig.3). Le tableau II en donne une sélection.

1. Les gabbros à olivine

Dans cette catégorie, ont été regroupés des termes à gros grain généralement lités, et des termes à grain fin, microgabbro et microgabbro-norite, présents en niveaux très sombres dont l'extension, la géométrie, et les relations avec les autres termes demeurent inconnues. Les rapports entre les phases étant identiques, les différences tiennent surtout à la granulométrie, ou à des variations dans le mode.

Les gabbros à olivine sont constitués par une charpente de plagioclases automorphes basiques (An86-60), dont l'importance est variable d'un échantillon à l'autre (35 % à plus de 80 % pour certains niveaux anorthositiques). Les pyroxènes se répartissent en clinopyroxène et en orthopyroxène dont les associations diffèrent de celles décrites à Ernée. Le clinopyroxène (9 à 45 %), à rares exsolutions d'orthopyroxène se développe surtout en plages poecilites englobant toutes les autres phases ; il présente fréquemment un clivage supplémentaire (diallage). Ces plages contiennent souvent un peu de hornblende brune (< 11 %), sans forme cristalline définie, mais qui a tendance à les couronner aux contacts des plagioclases. L'amphibole contient des micro-inclusions de rutile et peut être cernée par quelques paillettes de biotite.

Bien que quelquefois absent, l'orthopyroxène automorphe sans pléochroïsme, est fréquent dans les microgabbros, où il peut occuper plus du quart du volume de la roche. Là, il forme souvent des assemblages polycristallins autour des olivines. Dans les gabbros à plus gros grain où ses teneurs ne dépassent pas 5 %, il apparaît en cristaux automorphes, rarement poecilites, frangés de fibres d'amphiboles vert-brunâtre, qui l'envahissent également au niveau de ses fractures.

Sous forme de cristaux arrondis occupant moins de 25 % du volume de la roche, les olivines développent au contact des plagioclases des couronnes

réactionnelles identiques à celles des termes d'Ernée et qui seront étudiées à la suite de ce chapitre.

A tout ceci, il convient d'ajouter la présence de quelques opaques (< 1,5 %), notamment de nombreux sulfures (pyrite, chalcopryrite, érubescente), et exceptionnellement un peu d'apatite.

Les textures ophitiques à intergranulaires tendent à être hypidiomorphes chez certains échantillons très riches en plagioclases, le clinopyroxène et la hornblende brune étant alors interstitiels.

	pl	ol	opx	cpx	amp	bi	qz	op	acc
Gabbro lité à olivine									
TLP 29	36,6	16,6	4,4	41,0	1,4	0,0	0,0	<0,1	0,0
TLP 30	82,2	4,8	<0,1	10,8	2,2	0,0	0,0	<0,1	0,0
Microgabbro à olivine									
TLP 11	57,4	13,2	<0,1	25,6	3,4	0,0	0,0	0,4	0,0
TLP 32	49,8	3,0	26,8	9,2	10,6	<0,1	0,0	0,6	0,0
Norite									
TLP 20	43,8	0,0	46,2	5,0	4,8	0,0	0,0	0,2	0,0
Anorthosite									
TLP 16	92,6	0,0	0,0	0,0	7,4	0,0	0,0	<0,1	0,0
Gabbro									
TLP 6	55,6	0,0	0,0	41,6	0,0	1,6	0,0	1,2	0,0
TLP 19	57,2	0,0	0,0	37,2	0,0	3,2	1,4	1,0	<0,1
TLP 1	38,2	0,0	0,0	60,2	0,0	0,0	0,0	<0,1	1,6
Clinopyroxénite									
TLP 36	0,8	0,0	0,0	96,0	0,0	0,0	0,0	0,6	2,6

Tabl.2.- Analyses modales de termes de Trégomar (même légende que tabl. 1).

2. Les norites

Ces roches sombres n'ont été trouvées qu'au nord de l'usine Piéto (est du Cosquer). Très fraîches, et à grain millimétrique, elles sont litées comme le montre la surface de certaines boules. Elles contiennent dans des proportions égales, environ 45 %, des plagioclases zonés (An86-72) et des orthopyroxènes automorphes incolores, et peu zonés (Wo2 Fs17 En81) frangés par de rares amphiboles vert-brunâtre. Les phases interstitielles sont de la hornblende brune et du clinopyroxène (Wo47 Fs6 En47) en proportions voisines, auxquelles s'ajoutent des traces d'opaques.

Les textures sont hypidiomorphes à subophitiques par endroits.

3. Les termes sans olivines

Ces termes très abondants, renferment des plagioclases (\approx 50 %) à teneur en anorthite supérieure à 50 %, des clinopyroxènes plus ou moins ouralitisés (\approx 40 %), des biotites en voie de chloritisation (< 4 %), des traces d'amphibole brune, et exceptionnellement des orthopyroxènes automorphes. On peut y rencontrer aussi du quartz (< 2 %), ainsi que des traces de sphène, de calcite, d'apatite, et de zircon. Les textures sont intergranulaires à subophitiques.

Ces gabbros passent progressivement par diminution des teneurs en ferromagnésiens, à des termes très plagioclasiques, et même à de véritables anorthosites. Cet enrichissement en labrador peut être suivi dans les landes du Moulin des Houssas (nord de la Poterie) : la disparition des phases

interstitielles semble se faire d'est en ouest, pour aboutir au nord-ouest du sondage S5, à des anorthosites contenant 93 % de plagioclases (composition moyenne voisine de An80), un peu d'amphibole verte fibreuse (dérivant probablement d'orthopyroxènes), et des traces d'opagues.

L'évolution contraire existe aussi. Par exemple au bois du Plessis, la roche contient près de 60 % de clinopyroxènes en voie d'ouraltisation, des plagioclases An65 et des traces de sphène, d'épidotes, de calcite, et d'opagues. Un peu plus à l'est (La Mare, à proximité de La Buglais), des faciès voisins mais à grain extrêmement fin se rencontrent. Ils possèdent des plagioclases un peu plus basiques (au moins An70), et de minces lits riches en sulfures. Ces faciès côtoient des clinopyroxénites de teinte grise à crème, composées de lits de clinopyroxènes subautomorphes à xénomorphes zonés (Wo50 Fs3 En47 à Wo49 Fs15 En36 pour le faciès crème) associés à des quantités faibles, voire infimes de plagioclases très calciques (\approx An85), d'opagues, de sphène, de calcite, et d'épidotes. Le diamètre des grains demeure inférieur ou égal à quatre millimètres.

3. L'organisation de l'intrusion

Le problème de la répartition des différents faciès dans l'intrusion est délicat, du fait de la quasi absence d'affleurements. Cependant, on peut proposer de la diviser en trois zones distinctes A, B et C, dont les limites portées sur la figure 5 sont très approximatives. Il n'a jamais été possible d'observer les rapports entre ces différents secteurs.

- La zone A est constituée principalement de gabbros à olivine, à gros grain, lités. Le litage est souligné par des niveaux d'anorthosites gabbroïques avec ou sans olivine.

- L'étude de la zone B est compliquée par le fait que les roches qui la composent, sont presque essentiellement à gros grains, à pegmatitoides abondantes, et la plupart du temps, largement altérées. Il semble que l'olivine soit absente ou peu abondante dans ces gabbros.

- Le reste de l'intrusion (zone C) est constitué surtout de gabbros à grain fin à moyen, sans olivine, s'enrichissant localement en plagioclases ou en pyroxènes, évolution aboutissant à des termes extrêmes (clinopyroxénites, anorthosites). Des gabbros à quartz, semblant localisés à l'ouest de l'ensemble, ainsi que des norites litées, y sont associés.

- Enfin, des petits stocks de microgabbros et de microgabbroïtes à olivine sont présents en zones A et C, sans que s'observent leurs rapports avec les autres termes plus largement grenus. Il est possible de considérer ces faciès à grain souvent très fin, cristallisés rapidement, comme des enclaves microgabbroïques formées aux bords de la chambre magmatique à partir d'un mélange liquide + minéraux cumulus, puis incorporées par la masse basique se déplaçant vers son niveau d'intrusion. C'est par un mécanisme semblable, qu'a été expliquée la formation des enclaves micronoritiques de l'intrusion de Saint-Quay-Portrieux (G. Arnaud, 1980).

Si les données actuelles ne permettent pas d'être plus précis, un certain nombre d'observations

complémentaires permet d'approcher un peu mieux la constitution de ce complexe. Quand l'enrichissement plagioclasiq ue peut être suivi sur le terrain, il paraît se faire grossièrement d'est en ouest. Si l'on suppose que les plagioclases étaient moins denses que le liquide qui leur a donné naissance, ce qui est aujourd'hui couramment admis (par exemple I.H. Campbell *et al.*, 1978 ; M.J. Rutherford et O.D. Hermes, 1984), il est suggéré que lors de la mise en place, l'ouest de l'intrusion était en position haute par rapport à la partie orientale. Cette façon de voir semble confirmée par la localisation des gabbros lités à olivine, uniquement à l'est, à l'opposé des gabbros à quartz qui se disposent à l'ouest.

Ces propositions ne sont que des hypothèses et, dans l'état actuel des conditions d'affleurement, il n'est malheureusement pas possible d'aller plus loin dans l'étude de l'organisation de ce petit corps basique très complexe, mais sans aucun doute stratifié.

C. La réaction olivine-plagioclase

Des couronnes réactionnelles apparaissent dans les gabbros quand l'olivine est en contact avec le

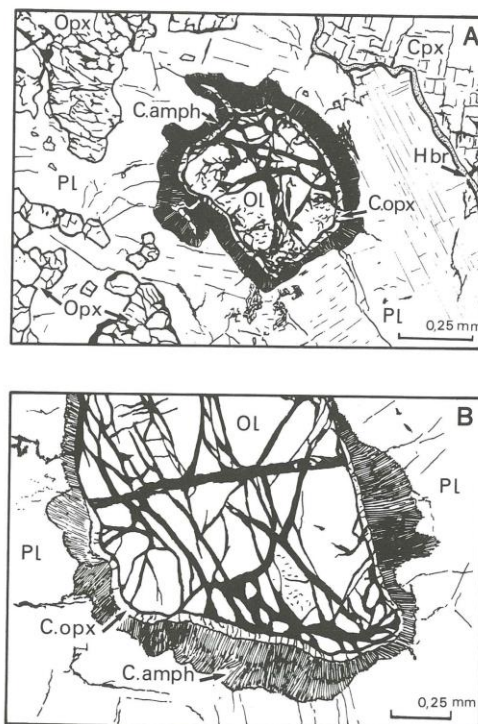


Fig.6.-Couronnes réactionnelles aux contacts olivine / plagioclase.

Ol: olivine; Pl: plagioclase; Opx: orthopyroxène; Cpx: clinopyroxène; Hbr: hornblende brune; C. opx: couronne d'orthopyroxène partiellement remplacé par de la cummingtonite et de la hornblende; C. amph: fibres d'amphibole avec spinelle
A: vue d'ensemble (TLP 32); B: détail (1512B)

plagioclase. Souvent bien développées, elles atteignent respectivement 0,3 et 0,65 mm dans les termes d'Ernée et de Trégomar, pouvant occuper alors près de 10 % du volume de la roche. La détermination des constituants coronitiques n'a été possible qu'à la microsonde électronique. A cette fin, trois échantillons aux couronnes remarquablement développées ont été sélectionnés. Il s'agit d'un gabbro lité (TLP31) et d'une microgabbro norite (TLP32) de Trégomar, ainsi qu'un gabbro d'Ernée (1512B). Les principaux résultats obtenus avec la microsonde CAMEBAX du BRGM à Orléans-La-Source, sont donnés dans le tableau III.

Ces structures sont composées d'une bordure d'orthopyroxène enveloppant l'olivine, bordée par des fibres radiales d'amphiboles (pargasitiques ?) s'introduisant dans le plagioclase (fig. 6). Les valeurs extrêmement variables des analyses ponctuelles de ces fibres dans l'échantillon TLP32 (Al_2O_3 compris entre 16 et 56 %, tandis que SiO_2 passe de 44 à 6 %, par exemple) suggèrent qu'elles contiennent en association symplectitique, des proportions variables de spinelle invisible au microscope. Sa composition, pratiquement constante dans cet échantillon, a pu être facilement extrapolée : il s'agit d'une hercynite magnésienne dépourvue de chrome et de titane. L'orthopyroxène est toujours plus ou moins remplacé par un mélange de cummingtonite et de hornblende, et ne subsiste le plus souvent qu'à l'état de reliques plaquées contre l'olivine. Les autres orthopyroxènes de ces gabbros ne présentant jamais cette transformation, l'appartenance de ces amphiboles à la paragenèse coronitique ne fait aucun doute. Pour compléter cet inventaire minéralogique, signalons la présence de quelques sulfures entre les fibres d'amphibole.

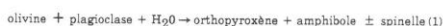
Des couronnes voisines sont décrites dans la littérature (par exemple T.N. Irvine, 1974 ;

R.A.F. Grieve et J. Gittins, 1975 ; E.S. Sapountzis, 1975 ; K.H. Esbensen, 1978 ; H. Rai, 1979). Nos observations et données analytiques permettent de préciser quelques points des mécanismes coronitiques.

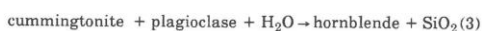
- En accord avec ces auteurs, ces couronnes ne sont pas dues à un quelconque métamorphisme, le contexte s'y opposant, mais à des réactions subsolidus produites lors du refroidissement des corps basiques, par circulation de fluides aux interfaces olivine-plagioclase.

- Les données chimiques ne sont pas assez nombreuses ni assez précises pour que l'on puisse tirer un bilan complet des réactions. Remarquons toutefois, que si on veut les équilibrer, il est impératif d'envisager l'ouverture du système, les fluides devant obligatoirement apporter du potassium, mais aussi du titane.

- La présence d'amphiboles se développant aux dépens de l'orthopyroxène implique au moins deux stades de réactions. Le premier correspond à l'équation :



La cinétique de cette réaction dépend en partie des vitesses de diffusion du fer et du magnésium vers le plagioclase, et de l'aluminium et du calcium en sens opposé. Il est évident que plus la réaction progresse, plus sa cinétique est faible, puisque la distance entre les réactants augmente. De ce fait, les fluides vont alors favoriser deux autres réactions (B. Asklund, 1925 ; F.H. Stewart, 1947) :



	TLP 31				TLP 32						1512 B				
	ol	opx	fibr	pl	ol	opx	cm+hbl	fibr	sp	pl	ol	opx	cm+hbl	fibr	pl
SiO ₂	39,89	55,72	41,71	49,44	37,57	54,54	51,77	43,48	-	47,22	38,14	53,92	55,63	42,96	52,15
TiO ₂	0,01	0,05	0,29	-	0,02	0,06	0,03	0,13	0,00	-	0,01	0,18	0,01	0,04	-
Al ₂ O ₃	-	1,44	18,97	32,15	-	1,23	6,40	16,02	63,75	33,75	-	0,92	1,13	16,17	29,99
Cr ₂ O ₃	0,01	0,06	0,04	-	0,00	0,03	0,00	0,03	0,00	-	0,00	0,02	0,01	0,03	-
FeO*	15,12	10,61	5,61	-	27,68	16,23	6,05	7,74	23,05	-	25,14	15,61	12,74	8,02	-
MnO	0,26	0,28	0,08	-	0,29	0,15	0,14	0,05	0,14	-	0,31	0,44	0,26	0,09	-
MgO	45,39	31,76	16,30	-	34,44	26,81	19,33	14,98	12,32	-	36,59	27,56	24,77	16,21	-
CaO	-	0,41	10,88	14,26	-	0,30	11,55	11,52	-	16,54	-	0,62	0,44	10,30	11,80
Na ₂ O	-	0,00	2,56	2,87	-	0,02	0,99	2,28	-	1,90	-	0,02	0,15	2,63	4,36
K ₂ O	-	0,01	0,18	0,00	-	0,02	0,11	0,35	-	0,01	-	0,00	0,02	0,16	0,01
	100,68	100,34	96,62	98,72	100,00	99,75	96,37	96,58	99,26	99,42	100,19	99,29	95,16	96,61	98,31

Tabl.3.- Analyses à la microsonde électronique des couronnes réactionnelles présentes dans les gabbros de Trégomar et d'Ernée.

pl : plagioclase; ol : olivine; opx : orthopyroxène; sp : spinelle (valeurs extrapolées); cm : cummingtonite; hbl : hornblende.

La réaction (3) n'étant jamais complète, l'amphibole développée à partir de l'orthopyroxène est un mélange cummingtonite / hornblende, ce qui rend impossible l'équilibration des réactions, même si le système était clos.

Un problème important reste posé : quelle est l'origine des fluides accompagnant la cristallisation de ces deux intrusions basiques ? S'agit-il de fluides d'origine profonde liés au magma depuis sa formation, ou plutôt de fluides crustaux que ce dernier a rencontrés pendant sa mise en place ? Les données actuelles ne permettent pas de répondre. Cependant, signalons que la quasi totalité du potassium des roches analysées est stockée dans les phases coronitiques, ce qui irait dans le sens de la deuxième hypothèse.

D. Etude géochimique

Une trentaine d'échantillons ont été analysés (éléments majeurs, traces et terres rares pour sept d'entre eux), au centre de recherches pétrographiques et géochimiques de Nancy (CRPG). Quand cela n'altérerait pas la lisibilité des diagrammes, les points ou les lignes figuratifs des intrusions de Brée (J. Le Gall et G. Mary, 1983), de Saint-Quay (G. Arnaud, 1980), de Pédernec (données inédites que nous venons d'obtenir) ont été représentés afin de faciliter les comparaisons avec les massifs étudiés.

	troctolite		gabbro à olivine			gabbro sans oliv.			gabbro-norite				
	VDN 1	JB 27	1462 A	VDN 2	1475 A	1460 A	VDN 3	VDN 4	1459 C	VDN 5	VDN 6	1475 Z	1475 C'
SiO ₂	39,85	41,44	47,70	48,70	49,49	49,15	51,25	51,30	49,62	53,30	54,30	54,35	54,59
Al ₂ O ₃	13,05	11,73	16,40	17,95	17,82	19,49	19,20	18,20	16,12	15,01	17,21	16,04	16,23
Fe ₂ O ₃	2,30	8,74	7,48	0,76	7,97	8,06	0	1,28	9,83	0	0,05	8,61	9,51
FeO	5,95	*	*	6,48	*	*	7,10	5,10	*	9,45	9,27	*	*
MnO	nd	0,14	0,13	nd	0,13	0,13	nd	nd	0,16	nd	nd	0,14	0,14
MgO	22,20	20,74	11,77	8,20	9,24	7,13	6,05	9,35	8,17	7,05	5,78	7,02	5,97
CaO	6,30	8,28	12,60	13,36	10,45	12,68	12,30	12,79	11,57	10,20	7,45	9,63	9,07
Na ₂ O	1,54	0,90	1,63	1,90	2,09	1,65	1,94	1,80	2,01	2,50	2,10	1,93	2,39
K ₂ O	1,22	0,12	0,12	0,47	0,38	0,39	0,40	0,25	0,33	0,52	0,49	0,51	1,00
TiO ₂	0,26	0,39	0,29	1,18	0,57	0,74	1,22	0,32	1,11	1,63	1,42	0,88	1,14
P ₂ O ₅	nd	0,09	tr	nd	tr	tr	nd	nd	0,46	nd	0,07	tr	tr
P.P.	7,00	6,14	1,11	0,70	0,55	0,92	1,30	0,31	0,96	0,50	1,50	0,20	0,41
Total	100,87	98,71	99,33	99,70	99,70	100,38	100,36	100,70	99,84	100,46	99,84	99,33	100,35
Qn	(1)	(1)	-	-	-	-	4,67	-	0,64	4,43	10,94	8,55	6,72
Or	5,58	0,77	0,71	2,78	2,23	2,31	3,55	1,48	1,95	3,08	2,90	3,02	5,92
An	(2)	8,23	13,79	16,08	17,69	16,30	13,00	15,23	17,01	21,16	17,77	16,50	20,22
Ab	26,35	29,83	37,08	39,08	36,15	44,44	43,71	40,84	33,99	28,20	26,09	33,51	30,61
Di	5,37	11,04	20,36	21,91	11,03	14,97	14,05	18,15	15,50	18,65	0,34	11,59	11,77
Ry	-	6,48	9,13	7,77	21,23	18,95	16,34	21,50	23,88	19,23	25,14	21,69	19,66
Ol	48,6	39,77	14,31	7,47	4,32	0,65	-	1,06	-	-	-	-	-
Re	7,51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mc	3,48	2,05	1,65	1,73	1,73	1,75	1,72	1,51	2,14	2,28	2,25	1,87	2,07
Il	0,46	0,80	0,55	2,24	1,08	1,41	2,32	0,61	2,11	3,10	2,70	1,67	2,17
Ap	-	0,23	-	-	-	-	-	-	1,56	-	0,17	-	-
Ba	-	18	21	-	69	53	-	-	64	-	-	169	188
Co	-	>150	89	-	82	>150	-	-	>150	-	-	67	71
Cr	-	768	810	-	410	381	-	-	362	-	-	358	330
Cu	-	31	81	-	36	39	-	-	48	-	-	11	<10
Ni	-	324	179	-	158	107	-	-	124	-	-	125	62
Sr	-	98	120	-	117	143	-	-	119	-	-	115	117
V	-	123	164	-	167	179	-	-	221	-	-	267	229
Bd	-	<10	13	-	<10	21	-	-	16	-	-	21	35

1. Les tendances évolutives

1. Le complexe d'Ernée

Nous disposons de 15 analyses nouvelles (éléments majeurs et traces), et des neuf analyses anciennes de L. Vandernotte (tabl.4). Elles s'échelonnent de 40 à 60 % de SiO₂, des troctolites aux diorites quartziques. Seuls, les termes leucocrates, dont les liens avec la masse gabbro-dioritique ne sont pas assurés, n'ont pas fait l'objet d'analyse chimique.

La richesse en olivine des troctolites s'accompagne de fortes teneurs en MgO, supérieures à 20 %, tandis que leur degré de serpentinisation entraîne une hausse de la perte au feu qui culmine à 7 %. La comparaison des deux analyses (VDN 1 et JB 27) révèle de bonnes analogies, sauf en ce qui concerne le pourcentage de K₂O, manifestement trop élevé dans l'analyse de L. Vandernotte. Le caractère cumulatif

Tabl.4. - Analyses chimiques des termes d'Ernée.

VDN 1 à 9: analyses in L. Vandernotte (1913).

Gabbro-diorite et diorite: I = gabbro-diorite à gros grain; II = gabbro-diorite à grain fin; III = diorite quartzique à gros grain; IV = diorite quartzique à grain fin; V = microdiorite quartzique.

FeO* = fer total dosé en Fe₂O₃ (1) = normes calculées sans la perte au feu; (2) = 1,61 % de Le en plus; (3) = 1 % de C en plus; nd = non déterminé; tr = traces;

	gabbro-diorite et diorite											
	I			II			III			IV		
	VDN 7	1475 B	1475 D	JB 53	JB 55	JB 25	JB 44	1459 B	VDN 8	1478	V	VDN 9
SiO ₂	49,24	50,64	53,36	48,40	48,80	53,90	53,98	54,54	56,50	56,83	60,10	
Al ₂ O ₃	21,70	20,20	18,55	16,59	13,59	15,99	15,48	16,47	15,20	15,69	14,40	
Fe ₂ O ₃	1,02	6,52	6,22	13,88	13,50	8,91	11,40	8,67	1,60	10,31	0,87	
FeO	5,40	*	*	*	*	*	*	*	7,20	*	5,73	
MnO	nd	0,10	0,11	0,17	0,20	0,13	0,18	0,11	nd	0,14	nd	
MgO	5,56	3,95	5,99	7,34	6,07	5,61	5,11	5,79	5,15	3,26	3,10	
CaO	9,70	11,01	10,20	7,34	9,31	8,17	5,62	6,45	7,28	5,33	5,85	
Na ₂ O	2,12	1,93	2,53	2,21	2,68	2,34	2,87	2,80	2,60	2,47	4,15	
K ₂ O	1,82	1,03	1,00	0,77	1,16	1,36	1,63	0,99	1,52	1,40	1,55	
TiO ₂	0,41	0,62	0,62	2,00	3,16	0,96	1,60	1,21	1,62	1,73	0,63	
P ₂ O ₅	nd	0,03	0,02	0,03	0,36	0,13	0,10	0,11	0,07	0,24	0,05	
P.P.	2,93	1,44	1,43	1,23	1,37	2,17	1,84	2,30	0,93	1,58	1,70	
TOTAL	99,92	99,67	100,03	99,98	100,20	99,57	99,81	99,44	99,69	98,98	100,73	
Qn	-	2,05	3,89	0,10	-	7,76	6,65	8,47	10,33	16,47	9,00	
Or	10,78	6,10	5,92	4,56	6,87	8,05	9,65	5,86	9,00	8,29	9,18	
An	17,94	16,33	21,41	18,70	22,68	18,96	24,26	23,69	22,00	20,90	35,12	
Ab	44,32	43,41	36,31	33,07	21,63	29,56	24,54	29,45	25,32	24,87	16,08	
Di	3,08	8,92	11,44	2,38	18,26	8,29	2,22	1,49	8,48	-(3)	10,29	
Ry	12,95	18,01	16,53	31,55	18,26	19,98	25,92	23,00	18,29	18,73	15,81	
Ol	5,61	-	-	-	0,24	-	-	-	-	-	-	
Mc	1,53	1,42	1,35	3,02	2,94	1,94	2,48	1,89	2,09	2,24	1,57	
Il	0,78	1,18	1,18	3,80	6,00	1,82	3,04	2,30	3,08	3,29	1,20	
Ap	-	0,07	0,05	0,07	0,85	0,31	0,24	0,26	0,17	0,57	0,12	
Ba	-	150	128	150	189	272	220	122	-	383	-	
Co	-	51	51	76	49	37	48	142	-	48	-	
Cr	-	326	335	293	215	244	123	253	-	124	-	
Cu	-	12	<10	112	58	<10	21	46	-	<10	-	
Ni	-	98	71	116	104	38	38	85	-	45	-	
Er	-	149	144	127	343	146	149	133	-	137	-	
V	-	177	193	362	337	242	322	212	-	255	-	
Bd	-	41	29	31	32	56	65	34	-	42	-	

est encore particulièrement net dans certains gabbros à olivine, tel l'échantillon 1482 A, où les teneurs en MgO et en Cr atteignent respectivement près de 12 % et 810 ppm. Les gabbros sans olivine se singularisent surtout par leurs forts pourcentages en Al_2O_3 , compris entre 18 et 20 %, et en CaO dépassant 12 %, qui reflètent leur richesse en plagioclases calciques. Sauf exception, les valeurs relativement élevées en SiO_2 des gabbro-norites - autour de 54 % - indiquent la cristallisation de quartz. On y observe par ailleurs, un fléchissement des pourcentages en CaO, parallèlement à une augmentation des teneurs en sodium, potassium, baryum et fer total accompagnant l'apparition de la biotite. L'ensemble des termes gabbro-dioritiques et dioritiques se scinde en plusieurs groupes aux caractères chimiques spécifiques. Ainsi, les gabbros-diorites à gros grain, dominées par l'importance des plagioclases, voient leur teneur en Al_2O_3 dépasser 20 %. Par rapport aux gabbros sans olivine, ces faciès demeurent cependant appauvris en MgO et enrichis en alcalins, surtout en K_2O . Les deux analyses concernant les gabbro-diorites à grain fin (JB 53 et JB 55) sont remarquables par les très fortes teneurs en fer, titane et vanadium qui illustrent l'importance des oxydes ferro-titanés révélée par l'étude pétrographique. Remarquons en outre, que bien que ces roches renferment de 5 à 10 % de quartz, leurs pourcentages en SiO_2 ne dépassent pas 49 %. Les faciès dioritiques rassemblent des termes dont les teneurs en SiO_2 varient de 54 % environ, à 60 % au maximum, augmentation, s'accompagnant d'une hausse des alcalins et d'une baisse en MgO, et CaO.

Les diagrammes $\log(\text{Ni}) = f(\text{MgO})$ et $\log(\text{Cr}) = f(\text{MgO})$ (fig.7), montrent sans ambiguïté que l'on peut décomposer l'ensemble des termes d'Ernée en deux sous-populations, dont l'évolution est marquée en première approximation par deux droites aux pentes nettement différentes. La première comprend la troctolite (dont les points représentatifs ont été recalculés anhydres) et l'essentiel des gabbros. Ces termes peuvent être interprétés comme des mélanges dans des proportions variables de liquide et de phases cumulus (olivine, plagioclase et pyroxènes). La deuxième sous population comprenant certaines gabbro-norites, les gabbro-diorites et diorites, montre des compositions beaucoup plus proches de

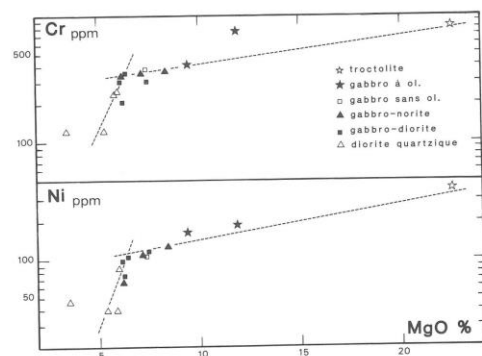


Fig.7.- Place des termes d'Ernée dans les diagrammes $\log(\text{Cr}) = f(\text{MgO})$ et $\log(\text{Ni}) = f(\text{MgO})$.

liquides. L'évolution relevée peut alors s'expliquer par un changement de la nature de l'extrait, l'olivine ne fractionnant plus. Cette interprétation qui tient compte des données pétrographiques, laisse supposer que le liquide initial, nettement basique, que l'on ne peut déterminer avec précision, doit appartenir à la première sous-population, et donc contenir au moins 6,5 % de MgO. L'inflexion mise en évidence ici, était aussi détectable sur certains diagrammes de type Harker (par exemple $\text{CaO} = f(\text{MgO})$), mais la dispersion des points rendait moins précise sa détermination.

Une tendance alcaline étant exclue, l'affinité de ces gabbros et diorites doit être recherchée au sein de séries calco-alcalines ou tholéitiques. Dans le diagramme AFM (fig.8), le nuage des points figuratifs de ce massif s'inscrit le long d'une évolution calco-alcaline, tout comme la lignée de différenciation de Brée, plus alcaline et moins magnésienne. Exception faite de quelques termes se situant à la limite des domaines tholéitiques et calco-alcalin, aucune tendance significative à l'enrichissement en fer ne se décelé ici. Ce caractère ressort également de l'utilisation des diagrammes de A. Miyashiro (1974), tel celui utilisant la variation des pourcentages de SiO_2 en fonction du rapport FeO / MgO (fig.9). Dans ce diagramme, où ne figurent pas les termes les plus différenciés des massifs de Brée et Pédernec, seules les gabbro-diorites riches en minéraux opaques se placent dans le champ des associations tholéitiques. Les gabbros de Brée se disposent au voisinage ou sur la limite entre les champs calco-alcalin et tholéitique. Par rapport à un travail précédent (J. Le Gall et G. Mary, 1983), le léger décalage de ces points vers le domaine des lignées calco-alcalines s'explique ici par l'utilisation d'analyses calculées sans la perte au feu, le fer étant exprimé sous forme de FeO .

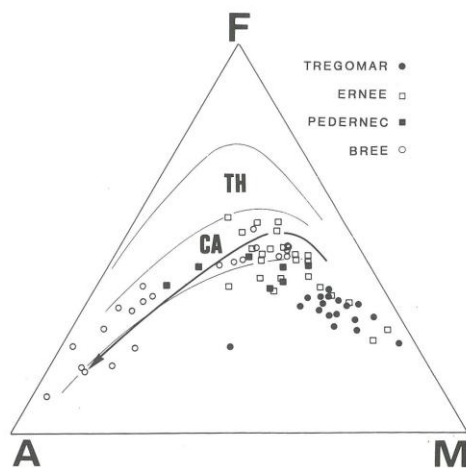


Fig.8.- Diagramme AFM ; limites des champs tholéitiques (TH) et calco-alcalins (CA) d'après H. Kuno (1968). La flèche indique l'évolution des termes du massif de Saint-Quay (A. Arnaud, 1980).

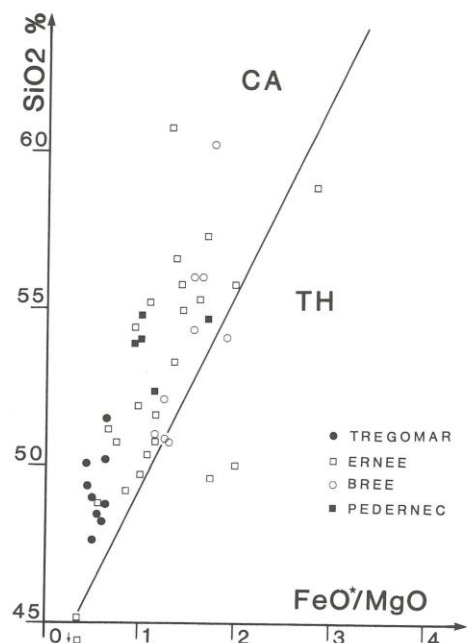


Fig.9.- Diagramme $SiO_2 = f(FeO^*/MgO)$ de A. Miyashiro (1974).

2. Le complexe de Trégomar

Sur les seize analyses chimiques effectuées, six d'entre elles n'ont porté que sur les éléments majeurs, tandis que sur les dix autres étaient dosés les éléments majeurs et quelques traces (tabl.5). Les deux analyses anciennes (L. Berthois, 1936), qui ne révèlent aucune différence significative avec les nouvelles, figurent également sur les diagrammes.

Deux types de roches ont été analysées : des gabbros ainsi que divers types de cumulats (norite, anorthosite, et cumulats à clinopyroxènes).

Les gabbros se caractérisent par un faible intervalle de variation de la silice ($47,5 < SiO_2 < 51,5$ %), par des teneurs élevées en Al_2O_3 , fréquemment supérieures à 17 %, en magnésium ($7 < MgO < 14$ %), et en calcium atteignant 16 %. Ceci indique l'importance de certaines phases (plagioclases calciques, clinopyroxènes, et olivine pour certains échantillons), incompatibles avec des roches susceptibles de représenter des liquides, ce qui interdit l'utilisation de certains diagrammes de discrimination adaptés aux séries volcaniques.

La composition chimique des cumulats reflète la minéralogie observée, d'où des pourcentages en minéraux normatifs proches de ceux évalués par l'analyse modale. Cette relation, également vérifiée pour les termes gabbroïques, admet cependant une exception : l'excès d'alumine relevé dans l'analyse de la clinopyroxénite (TLP 36) s'explique par un niveau riche en plagioclases contenu dans l'échantillon porphyrisé.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO_2	49,06	48,81	50,24	51,53	47,61	48,29	47,39	50,11	51,42	52,15
Al_2O_3	20,70	16,18	17,20	17,95	16,86	20,19	30,88	15,50	8,23	6,30
Fe_2O_3	5,14	7,61	4,93	5,82	7,83	6,44	1,15	6,67	4,09	4,78
MnO	0,10	0,14	0,10	0,11	0,12	0,11	0,03	0,12	0,11	0,11
MgO	9,34	10,46	7,08	8,04	13,72	10,67	1,93	14,29	11,07	13,42
CaO	11,82	11,53	16,05	10,95	9,84	11,04	14,47	10,10	19,26	21,83
Na_2O	2,49	2,15	1,94	2,55	2,20	2,24	2,02	0,90	0,97	0,35
K_2O	0,18	0,28	0,16	0,47	0,26	0,18	0,12	0,22	0,47	0,13
TiO_2	0,39	0,68	0,60	0,49	0,36	0,70	0,06	0,32	0,37	0,30
P_2O_5	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr
P.F.	1,17	1,61	1,08	1,51	1,26	0,47	1,00	0,41	0,84	0,84
Total	100,39	99,45	99,38	99,42	100,06	100,37	99,05	98,64	99,03	100,22
Or	-	-	-	0,26	-	-	0,66	0,03	0,01	0,29
C	-	-	-	-	-	-	1,14	-	-	-
Or	1,08	1,70	0,97	2,85	1,57	1,07	0,72	1,33	2,84	0,78
Ab	21,33	18,72	16,77	22,15	18,97	19,08	17,45	7,80	8,40	2,99
An	45,33	34,65	38,57	37,11	36,04	44,80	73,29	38,51	17,11	15,39
Di	11,19	19,41	34,23	14,96	10,95	8,03	-	10,18	64,32	74,39
Hy	6,04	11,87	7,01	20,42	6,31	8,83	6,37	40,05	4,85	4,51
Ol	13,16	10,62	0,19	-	23,74	15,35	-	-	-	-
Mc	1,13	1,70	1,10	1,30	1,74	1,41	0,26	1,49	1,36	1,05
Il	0,75	1,33	1,16	0,96	0,70	1,34	0,12	0,62	1,11	0,58
Ap	-	-	-	-	-	0,10	-	-	-	0,02
Ba	29	59	67	117	67	35	52	29	86	37
Co	50	53	42	44	96	65	47	106	74	88
Cr	398	1315	188	345	291	419	82	673	261	30
Cu	35	<10	12	10	87	56	10	22	<10	<10
Ni	140	139	50	65	468	237	36	175	118	52
Sc	187	122	361	219	185	151	346	228	207	264
V	180	234	230	246	163	138	96	246	251	21
Rb	15	13	<10	18	24	<10	<10	<10	16	<10

Tabl.5.- Analyses chimiques des termes de Trégomar.

1 : gabbro à olivine (TLP 18), nord Le Guéjan; 2 : gabbro ouralitisé (TLP 41), sud de La Touche; 3 : gabbro à grain fin (TLP 12), La Brousse; 4 : gabbro à quartz (TLP 19), nord-ouest Le Cosquer; 5 et 6 : microgabbros à olivine, respectivement (TLP 13) Forêt de Saint-Aubin, et (TLP 11) Côte 97, D 28; 7 : anorthosite (TLP 16), Lande du Moulin des Houssas; 8 : norite litée (TLP 20), Nord usine Piéto; 9 : cumulat à clinopyroxène (TLP 1), bois du Plessis; 10 : clinopyroxénite (TLP 36), La Mare ($Fe_2O_3 = 0,63$ % $FeO = 3,73$ %).

Normes calculées à 100 % anhydres avec $Fe^{+++} = 0,15 \times Fe$ total.

L'examen de l'ensemble des analyses chimiques souligne que deux éléments majeurs, le magnésium et l'aluminium subissent de fortes variations dont le contrôle est exercé par la cristallisation d'olivine, de pyroxènes et surtout de plagioclases calciques. La concentration de ces derniers limite, en effet, le volume disponible pour les ferro-magnésiens.

Parmi les éléments en traces, seuls le Cr, le Ni, et le Co présentent des variations significatives de leurs teneurs qui décroissent conjointement avec celles du magnésium (fig.10). Un point s'écarte manifestement des tendances définies : c'est curieusement la clinopyroxénite (TLP 36) dont les concentrations en chrome, en nickel mais aussi en vanadium sont particulièrement faibles, voire même inférieures ou voisines de celles de l'anorthosite (ces valeurs ont été vérifiées). Les coefficients de partage de ces éléments entre le pyroxène et un liquide basique (A.J. Irving, 1978) impliquent que cette roche a cristallisé à partir d'un liquide particulièrement appauvri en vanadium, en chrome et en nickel, à la différence des autres échantillons. Cet appauvrissement peut être expliqué par un stade de cristallisation fractionnée supplémentaire faisant intervenir de la magnétite en quantité non négligeable, comme le laissent supposer les coefficients de partage de ces éléments entre ce minéral et un liquide basaltique (A.J. Irving, 1978; W.P. Leeman *et al.*, 1978). Jusqu'à présent, aucun échantillon riche en opaques n'a été

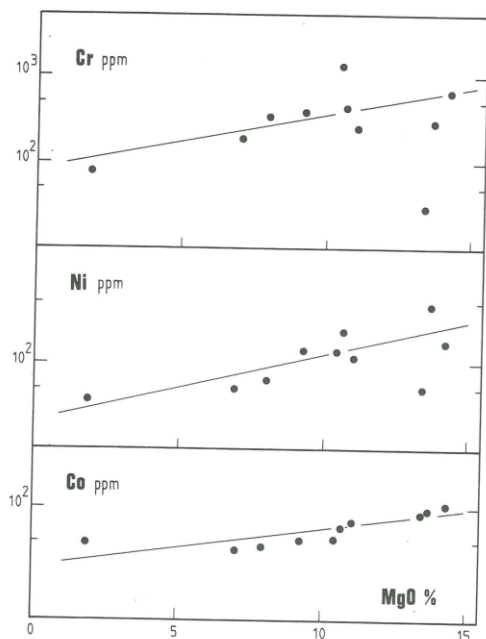


Fig.10.- Position des termes de Trégomar dans les diagrammes $\log(Cr)$, $\log(Co)$, $\log(Ni) = f(MgO)$.

trouvé à Trégomar, mais il n'est pas exclu que des termes témoignant de ce stade de cristallisation, soient un jour découverts.

Dans le diagramme AFM (fig.8), hormis l'anorthosite, les points se placent tous dans la zone non discriminante des cumulats basiques. La légère dérive vers le pôle des alcalins s'explique par l'abondance des plagioclases. L'absence de termes différenciés ne permet pas de décrire l'évolution. Cependant, il existe une représentation discriminante qui utilise les termes les plus cumulatifs : c'est le triangle $Al_2O_3 / MgO / Fe_2O_3^*$ de M. Besson et M. Fonteilles (1974). Sur celui-ci (fig.11), le nuage de points représente un bel allongement entre le pôle Al_2O_3 (anorthosite) et le domaine des cumulats calco-alcalins (clinopyroxénite). Cette distribution, qui s'enracine dans un domaine attribué aux séries calco-alcalines est une fois de plus le reflet du phénomène mis en évidence précédemment : la concentration en plagioclases est l'un des principaux facteurs expliquant les variations chimiques.

3. Comparaison avec d'autres intrusions tardi-cadomiennes

Afin de comparer les analyses chimiques des massifs basiques tardi-cadomiens, et d'en dégager les principales tendances, une analyse factorielle en composantes principales normées portant sur huit éléments majeurs (Si, Al, Fe, Mg, Ca, Na, K, Ti) a été réalisée (fig.12). Les massifs retenus sont ceux pour lesquels les données n'étaient pas trop restreintes, c'est-à-dire Ernée et Trégomar, mais aussi Pédernec, Brée et Saint-Quay-Portrieux. Cette dernière

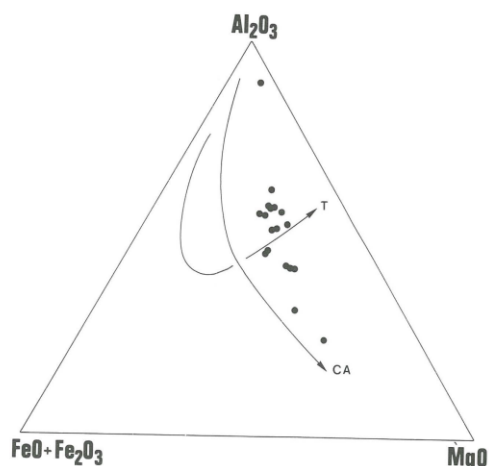


Fig.11.- Les termes de Trégomar dans les diagrammes $Al_2O_3 - FeO + Fe_2O_3 - MgO$ (M. Besson et M. Fonteilles, 1974).

intrusion présente des faciès variés qui évoluent depuis des termes ultrabasiques (micronorite à olivine et à spinelle) jusqu'à des leucodiorites enrichies en plagioclases An 35, en passant par des gabbros à composition de basaltes riches en alumine (G. Arnaud, 1980; J. Fabriès *et al.*, 1984).

Le premier facteur F1 (48 % de la variance) oppose les gabbros et ultrabasites aux termes différenciés, tandis que le second facteur F2 (21 % de la variance) disperse l'ensemble des populations en fonction de leur concentration en alumine ou en fer et titane.

Les gabbros de Trégomar s'individualisent par leur caractère cumulatif nettement affirmé qui s'exprime par de fortes teneurs en MgO ou en aluminium dans le cas de l'anorthosite. En outre, cette représentation apparaît en accord avec toutes les observations pétrographiques, en montrant que dans cette intrusion, le principal facteur contrôlant les variations chimiques est le fractionnement en plagioclases calciques.

La grande dispersion des points figuratifs des gabbros d'Ernée, traduit plusieurs tendances cumulatives déjà entrevues lors de l'analyse pétrographique : concentration importante d'olivine dans la troctolite (l'analyse de L. Vandernotte n'étant pas utilisée ici), de plagioclases calciques pour quelques gabbros, enfin d'oxydes ferro-titanés pour certaines gabbro-diorites.

Pratiquement dépourvues de termes cumulatifs, les lignées de Pédernec (notons cependant la présence d'un cumulat à plagioclases et à hornblende verte s'éloignant de la tendance générale) et de Brée, se projettent en deux nuages parallèles depuis des roches gabbroïques jusqu'à des produits différenciés : diorites quartziques à Pédernec, granophyres enrichis en alcalins et en silice à Brée. Le caractère moins alumineux de Brée ressort grâce à des valeurs

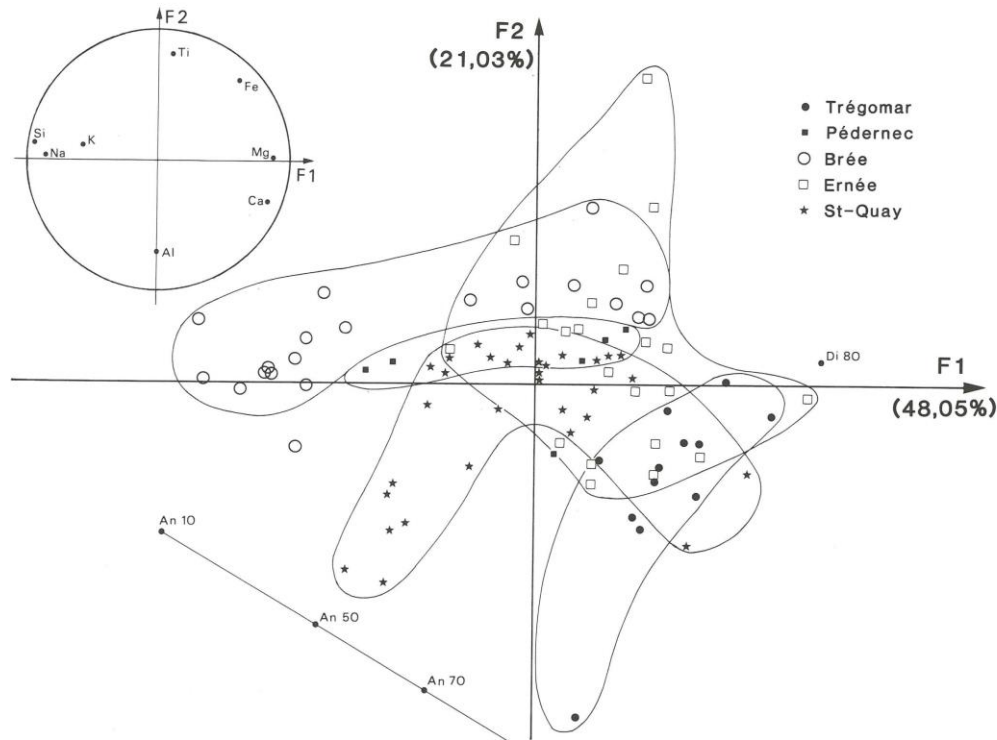


Fig.12.- Analyse factorielle des termes basiques et différenciés de Trégomar, d'Ernée, de Brée, de Saint-Quay et de Pédernec (hyperplan F1 F2).

toujours plus élevées du paramètre F2. Ces évolutions tranchent nettement sur celle de Saint-Quay où l'enrichissement en andésine des termes les plus évolués est particulièrement bien représenté.

Si l'on exclut les termes les plus cumulatifs, les projections représentatives des échantillons des différents massifs gabbroïques, se dispersent selon des aires qui se recouvrent partiellement, évoquant leur appartenance à une souche commune, ce que tendent à montrer les premières données obtenues sur les terres rares.

2. Les terres rares

Notre but n'est pas de modéliser la cristallisation des intrusions de Trégomar et d'Ernée, mais uniquement de discuter de la nature du matériel source. A cette fin, sept échantillons (trois d'Ernée, et quatre de Trégomar) ont été sélectionnés pour le dosage des terres rares (REE), qui a été réalisé par spectrométrie à source plasma (ICP). Quatre échantillons supplémentaires provenant des intrusions gabbro-dioritiques de Pédernec, situées à l'ouest de Guingamp, et de Saint-Quay, y ont été joints (tabl.4). Ces massifs, à très nette affinité calco-alcaline (fig.8 et 9), permettront d'avoir une vue plus large sur la pétrogenèse du magmatisme finicadomien nord-armoricain, à la suite des travaux de B. Auvray (1979), G. Arnaud (1980) et P. Graviou (1984).

	ERNEE			TREGOMAR				PEDERNEC			SAINT QUAY			CH
	14750 GD	14751 MN	1482A GOL	TLP19 GG	TLP11 MGOL	TLP16 A	TLP36 CPX	P 9 GG	P26 T	SOP 6	SGP 7	GD	CH	
La	8,17	7,66	0,57	4,51	3,12	1,35	2,52	7,39	24,47	11,11	12,30	0,315		
Ce	20,93	20,59	-	10,98	8,66	-	-	18,77	47,90	25,16	27,62	0,813		
Nd	10,77	10,74	-	6,08	4,27	1,24	5,58	11,80	29,54	14,93	15,38	0,597		
Sm	2,89	3,21	0,46	1,84	1,31	0,21	1,77	3,07	7,11	3,72	3,90	0,192		
Eu	0,80	0,90	0,22	0,84	0,64	0,60	0,33	1,34	1,16	1,29	1,14	0,0722		
Gd	2,57	3,13	0,65	1,64	1,42	0,21	1,46	3,06	6,26	3,45	3,66	0,259		
Dy	3,08	3,80	0,67	1,90	1,55	0,13	-	3,25	6,69	3,45	3,59	0,325		
Er	1,64	2,15	0,41	1,08	0,85	0,07	0,89	1,64	3,48	1,85	2,00	0,213		
Yb	1,57	2,17	0,26	1,03	0,88	0,05	-	1,51	3,65	1,92	2,07	0,208		
Lu	0,26	0,37	0,05	0,17	0,12	-	0,13	0,21	0,52	0,32	0,33	0,0323		
ΣREE	56,5	58,9	-	32,3	24,5	-	-	55,9	139,9	72,0	76,9	-		
Y	18,54	25,19	4,93	12,13	10,17	0,94	6,84	19,64	41,15	21,94	23,10	-		
Ce/Sm	7,24	6,41	-	5,97	6,61	-	-	6,11	6,74	6,76	7,08	-		
Ce/Yb	13,33	9,49	-	10,66	9,84	-	-	12,43	13,12	13,10	13,34	-		
Eu/Yd	0,91	0,88	1,24	1,49	1,45	8,82	0,62	1,33	0,54	1,11	0,93	-		

Tabl.6.- Les terres rares et l'yttrium dans les gabbros et diorites d'Ernée, de Trégomar, de Pédernec et de Saint-Quay.

A: anorthosite; CH: chondrite, CPX: clinopyroxénite; GD: gabbro-diorite; GN: gabbro-norite; GOL: gabbro à olivine; MN: micronorite; T: tonalite.

Chondrite de normalisation: Leedey divisée par 1,2 (A. Masuda et al., 1973).

Une des principales difficultés d'interprétation des spectres de REE des roches gabbroïques réside dans le fait que, sous l'effet des mécanismes de fractionnement, la composition de la plupart des échantillons analysés s'écarte de celle de liquides. Cependant, les calculs théoriques montrent que l'extraction de quantités raisonnables de certaines phases (olivine et dans une certaine mesure plagioclases et pyroxènes) du liquide, n'entraîne pas nécessairement des modifications sévères dans le fractionnement de son spectre. De même, un mélange liquide / minéraux cumulus aura les

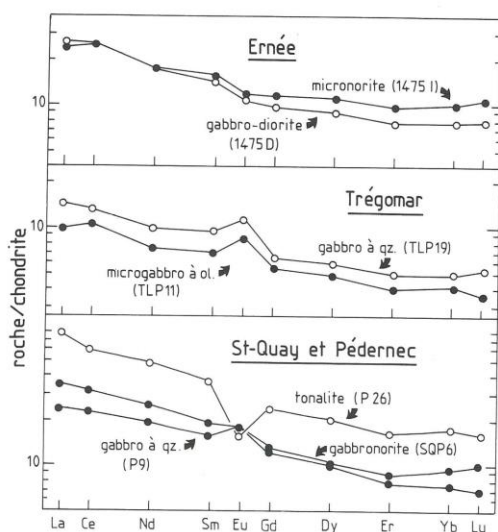


Fig.13.- Spectres de terres rares des gabbros et des diorites d'Ernée, de Pédernec, de Saint-Quay et de Trégomar.

caractéristiques du liquide, si celui-ci domine en volume l'assemblage et si la concentration en REE est largement supérieure à celle des cristaux qui y baignent. On peut illustrer ceci par le cas de Pédernec (fig.13) : le spectre d'un gabbro contenant un peu de plagioclases cumulatifs et celui d'une tonalite obtenue par cristallisation de plagioclases et de ferromagnésiens à partir d'un liquide gabbroïque, sont identiquement fractionnés. Inversement, on est en droit d'attendre la même constance entre un gabbro légèrement différencié contenant des proportions modérées de minéraux cumulus et le liquide basique primaire.

C'est pour limiter ces problèmes, qu'ont été choisis dans la mesure du possible, des échantillons à la fois les moins éloignés des liquides initiaux, et les moins riches en phases cumulus : pour Trégomar, un gabbro à quartz (TLP 19) qui correspond au matériel le plus différencié rencontré, et un microgabbro à olivine (TLP 11) d'une fraîcheur exceptionnelle ; pour Ernée, il s'agit de termes un peu évolués, une gabbro-diorite (1475 D) proche d'un gabbro à quartz de Pédernec (P9), et une micronorite (1475L) ; pour l'intrusion de Saint-Quay, nous avons retenu une gabbro-norite à composition de basalte riche en alumine (SQP6), et une gabbro-diorite (SQP 7). D'autre part, pour vérifier que les caractères mis en évidence à l'aide des REE sont bien ceux des liquides, des analyses complémentaires ont été réalisées sur un terme non cumulatif (une tonalite de Pédernec (P 26) et, à l'opposé, sur trois cumulates pratiquement purs (une anorthosite (TLP 16), une clinopyroxénite à plagioclases (TLP 36) de Trégomar, et un gabbro à olivine (1482 A) d'Ernée).

Tous les spectres de gabbros et gabbro-diorites (fig.13) montrent un enrichissement sensible mais modéré en LREE, variant peu d'un échantillon à l'autre ($5,9 < \text{Ce} / \text{Sm} < 7,3$). Leur fractionnement du

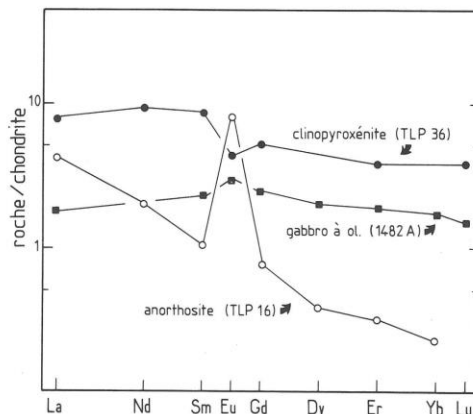


Fig.14.- Spectres de Terres rares des cumulats d'Ernée et de Trégomar.

cérium à l'ytterbium est faible et régulier ($9,4 < \text{Ce} / \text{Yb} < 13,3$). L'influence des phases cumulus y est parfois nette comme à Trégomar : faibles concentrations en REE et anomalie positive en europium (effet cumulatif du plagioclase). Pourtant, grâce à l'examen des spectres de cumulates (fig.14), mais aussi à celui des termes différenciés, il paraît certain que les caractères mis en évidence sont proches de ceux des liquides initiaux. Si l'origine mantélique de ces liquides, suggérée à Saint-Quay par la géochimie isotopique du rubidium et du strontium (P. Vidal *et al.*, 1972), ne fait pas de doute, les données sont insuffisantes pour préciser si le manteau impliqué par la fusion contient ou non du grenat. Tout au plus peut-on affirmer que s'il est probable que ces gabbros dérivent de la même source, les taux de fusion sont tels qu'il n'y a pas ou pratiquement pas de grenat dans le résidu.

Un élément de réponse est apporté par le diagramme $(\text{La} / \text{Yb})_N = f(\text{Yb}_N)$, qui discrimine les liquides primaires issus d'une péridotite sans grenat (à spinelle ici), de ceux issus d'une péridotite à grenat (fig.15). Placés dans ce diagramme, les points soulignent l'importance de la cristallisation fractionnée qui, en première approximation, augmente les teneurs en Yb sans modifier de façon très significative le rapport La / Yb . De ce fait, ces analyses montrent que ces gabbros et diorites peuvent dériver d'une lherzolite à grenat, mais à des taux de fusion tels que ce minéral soit peu abondant dans le résidu.

Enfin, ces spectres sont compatibles avec leur affinité calco-alcaline mise en évidence précédemment, et rappellent par exemple, ceux obtenus sur des gabbros corses (A. Cocherie, 1985), mais aussi sur certains basaltes riches en alumine, notamment ceux émis dans les Aléoutiennes (M.R. Perfit *et al.*, 1980).

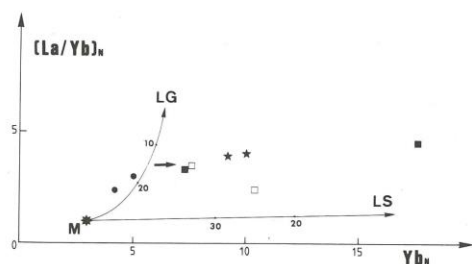


Fig.15.- Diagramme $(La/Yb)_N = f(Yb_N)$ montrant les courbes d'évolution des liquides dérivant de la fusion partielle d'une lherzolite à grenat (LG) ou d'une lherzolite à spinelle (LS) supposée trois fois chondritiques (M). La flèche indique le sens d'évolution des liquides par cristallisation fractionnée d'olivine. Mêmes symboles que Fig.12. (LG et LS d'après P. Graviou, 1984).

Conclusions

L'analyse pétrographique des petits complexes basiques fini-cadomiens de Trégomar et d'Ernée révèle que si le premier est uniquement composé de termes cumulatifs à litage magmatique souvent bien exprimé (anorthosites, clinopyroxénites, gabbros à olivine), le second contient, outre des cumuls (troctolites, anorthosites, gabbros à olivine, norites), une série de termes différenciés gabbro-dioritiques. La répartition de ces faciès à l'intérieur des deux massifs a permis d'approcher leur organisation originelle qui évoque celle d'intrusions stratifiées, au même titre que les intrusions litées gabbro-dioritiques tardi-cadomiennes de Jersey (A.C. Bishop et C.H. Key, 1983), et de Guernesey (R.A. Roach, 1971; J. de Brémond d'Ars, 1986). Les analogies constatées au sein des assemblages minéralogiques des deux complexes, s'expriment également par la similitude des couronnes réactionnelles, développées chez les gabbros lors de réactions sub-solidus, au contact de l'olivine et du plagioclase, et qui associent orthopyroxène, amphibole et spinelle.

Les liens de parenté entre les massifs de Trégomar et d'Ernée se confirment par les caractéristiques géochimiques de leurs termes dont l'évolution, contrôlée par des processus de cristallisation fractionnée, s'ordonne selon une suite calco-alcaline depuis des faciès fortement cumulatifs à olivine et plagioclase calcique jusqu'à des diorites quartziques. Les veines aplo-pegmatitiques du complexe d'Ernée pourraient représenter le pôle leucocrate de la série, à l'image des termes granophyriques ceinturant le gabbro de Brée (J. Le Gall, G. Mary, 1983).

Le comportement des éléments en trace au cours de la différenciation a permis de montrer que le liquide basique initial, générateur de ces intrusions gabbroïques est sans doute proche d'un basalte alumineux. Le traitement par analyse factorielle des données géochimiques d'intrusions gabbro-dioritiques régionales (Trégomar, Ernée, Brée, Pédernec, Saint-Quay-Portrieux) et les premiers spectres de terres rares obtenus sur certaines d'entre elles, amènent à rechercher l'origine des liquides

primaires dans la fusion partielle d'une même source mantélique, probablement une lherzolite à grenat, mais à des taux tels que ce minéral soit en faible quantité ou pratiquement absent dans le résidu.

Mais plus que la nature exacte du manteau impliqué par la fusion, la caractérisation en ce domaine mancennien, aussi bien à l'ouest (Trégomar) qu'à l'est (Ernée), d'une génération de magma juvénile d'origine profonde permet de mieux comprendre la genèse du magmatisme fini-cadomien de cette région. Ainsi, s'il est maintenant établi que le volumineux plutonisme granodioritique de la Mancennia provient d'une anatexis crustale (M. Jonin, 1981; A. Autran *et al.*, 1983; P. Graviou et B. Auvray, 1985), le mécanisme initiateur retenu pourrait être celui de l'ascension de magmas gabbroïques chauds. Ce modèle trouve une réplique dans le volcanisme post-orogénique cadomien du Maine où l'un des processus retenus pour l'origine des puissantes nappes ignimbritiques cambriennes est celui d'une fusion crustale déclenchée par l'injection de magmas andésitiques calco-alcalins (J. Le Gall, B. Cabanis, 1985).

Remerciements

Les auteurs remercient vivement M. J. Chantraine et P. Bos (BRGM), M. S. Blais, B. Auvray et B.M. Jahn (Université de Rennes), M. J. Fabriès (Muséum d'Histoire naturelle, Paris), et M. G. Toussaint (S.N.E.A. (P)), pour leur aide efficace et leurs critiques constructives.

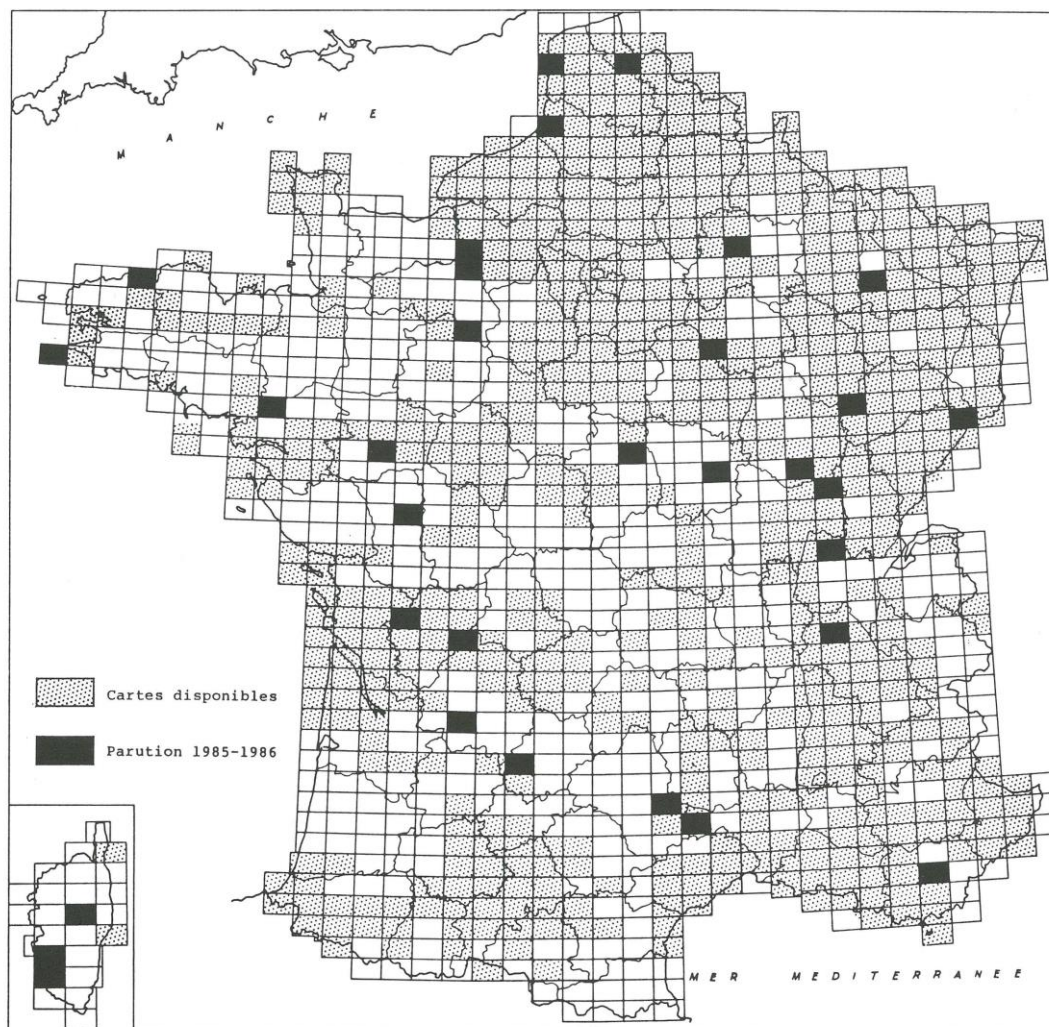
Bibliographie

- ARNAUD G. (1980) - L'intrusion gabbro-dioritique de Saint-Quay-Portrieux (Côtes-du-Nord). Thèse de 3e cycle, Paris VI, 141 p.
- ASKLUND B. (1925) - Petrological studies in the neighbourhood of Stavsjö at Kôlmården. *Sver. Geol. Undersök., Arsbok*, 6.
- AUTRAN A., BEURRIER M., CALVEZ J.-Y., COCHERIE A., FOUILLAC A.-M., ROSSI P. (1983) - Caractérisation des granitoïdes du batholite mancennien. Implications métallogéniques. Colloque ATP "Géochimie et Métallogénie", 15-16 juin 1983, pp. 20-35.
- AUVRAY B. (1979) - Genèse et évolution de la croûte continentale dans le Nord du Massif Armoricain. Thèse d'état, Rennes, 680 p..
- BALE P., BRUN J.-P. (1983) - Les chevauchements cadomiens de la baie de Saint-Brieuc (Massif Armoricain). *C.R. Acad. Sci. Fr.*, 297, (2), pp. 359-362.
- BARROIS Ch. (1893) - Notice explicative de la feuille de Saint-Brieuc (n° 59) à 1/80 000, 1ère édition. Serv. carte géol. France, Paris.
- BARROIS Ch. (1896) - Notice explicative de la feuille de Dinan (n° 60) à 1/80 000. 1ère édition. Serv. Carte géol. Fr., Paris.
- BERTHOIS L. (1936) - Le massif de gabbro de Trégomar (C.-du-N.). *Bull. Soc. Lin. Normandie* (8), 9, pp. 80-83.
- BERTHOIS L., LUCAS G., RENAUD A., MILON Y., PHILLIPOT A. (1960) - Notice explicative de la feuille Laval (n° 76) à 1/80 000, 2e édition. Serv. Carte géol. France, Paris.

- BESSON M., FONTEILLES M. (1974) - Relations entre les comportements contrastés de l'alumine et du fer dans la différenciation des séries tholéitiques et calco-alcalines. *Bull. Soc. Fr. Minéral. Cristallogr.*, 97, pp. 445-449.
- BISHOP A.C., KEY C.H. (1983) - Nature and origin of layering in the diorites of SE Jersey, Channel Islands. *J. Geol. Soc. London*, 140, pp. 921-937.
- BLAVIER E. (1837) - Essai de statistique minéralogique et géologique du département de la Mayenne. Monnoyer éd., Le Mans, 196 p.
- BOS P. (1983) - Actions du BRGM en faveur de l'industrie granitière de Bretagne. Rapport exercice 1981-82. BRGM, 83 SGN 122 BRE.
- BREMOND D'ARS J. (de) (1986) - Différenciation magmatique. Approche théorique des phénomènes de deuxième ordre : exemple du complexe plutonique de Guernesey. D.E.A. Rennes, 67 p.
- CAMPBELL I.H., ROEDER P.L., DIXON J.M. (1978) - Plagioclase buoyancy in basaltic liquids as determined with a centrifuge furnace. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 67, pp. 369-377.
- COCHERIE A. (1985) - Interaction manteau-croûte : son rôle dans la genèse d'associations plutoniques calco-alcalines, contraintes géochimiques (éléments en traces et isotopes du strontium et de l'oxygène). Documents BRGM, 90, 246 p.
- COX K.G., BELL J.D., PANKURST R.J. (1979) - The interpretation of igneous rocks. Allen and Unwin éd., 450 p.
- DUPRET L., LE GALL J. (1984) - Intensité et superposition des schistogénèses cadomienne et varisque dans le Nord-Est du Massif Armoricaire. 10e R.A.S.T., Bordeaux, Soc. Géol. Fr. Edit. Paris, p. 200.
- ESBENSEN K.H. (1978) - Coronites from the Fongen gabbro complex, Trondheim Region, Norway : role of water in the olivine-plagioclase reaction. *Neues Jb. Miner. Abh.*, 132, 2, pp. 113-135.
- ESTEOULE-CHOUX J. (1967) - Contribution à l'étude des argiles du Massif Armoricaire. Thèse d'état, Rennes, 319 p.
- FABRIES J., CONQUERE F., ARNAUD G. (1984) - The mafic silicates in the Saint-Quay-Portrieux gabbro-diorite intrusion : crystallisation conditions of a calc-alkaline pluton. *Bull. Minéral.*, 107, pp. 715-736.
- GENESTIER V. (1984) - Pétrologie d'une intrusion calco-alcaline et de ses enclaves : le massif cadomien de Fort-la-Latte. D.E.A. Rennes, 52 p.
- GRAVIOU P. (1984) - Pétrogenèse des magmas calco-alcalins : exemple des granitoïdes cadomiens de la région trégorroise (Massif armoricaire). Thèse 3e cycle, Rennes, 147 p.
- GRAVIOU P., AUVRAY B. (1975) - Caractérisation pétrographique et géochimique des granitoïdes cadomiens du domaine nord-armoricaire : implications géodynamiques. *C.R. Acad. Sci. Fr.*, 301, (2), pp. 315-318.
- GRIEVE R.A.F., GITTINS J. (1975) - Composition and formation of coronas in the Hadlington Gabbro, Ontario, Canada. *Can. J. Earth Sci.*, 12, pp. 289-299.
- IRVINE T.N. (1974) - Petrology of the Duke Island ultramafic complex, Southeastern Alaska. Mem. 138, *Geol. Soc. America*, 240 p.
- IRVING A.J. (1978) - A review of experimental studies of crystal / liquid trace element partitioning. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 42, pp. 743-770.
- IUGS Subcommission on the systematics of igneous rocks (1973). - Classification and nomenclature of plutonic rocks. Recommendations. *Neues Jb. Miner. Mh.*, 4, pp. 149-164.
- JONIN M. (1981) - Un batholite fini- précambrien : le batholite mancennien (Massif armoricaire, France), étude pétrographique et géochimique. Thèse d'état, Brest, 319 p.
- KUNO H. (1963) - Differentiation of basaltic magmas. in : "Basalts", Hess H.H., Poldervaart A. (eds), intersciences publ., pp. 624-688.
- LEEMAN W.P., MA M.S., MURALI A.V., SCHMITT R.A. (1978) - Empirical estimation of magnetite/liquid distribution coefficients for some transition elements ; a correction. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 66, p. 429.
- LEFORT J.P. (1975) - Le socle péri-armoricaire : étude géologique et géophysique du socle submergé à l'ouest de la France. Thèse d'état, Rennes, 217 p.
- LE GALL J., CABANIS B. (1985) - Caractères minéralogiques et géochimiques des ignimbrites et des laves cambriennes de l'est du Massif armoricaire. Implications pétrogénétiques. *Hercynica*, 1, 2, pp. 99-109.
- LE GALL J., MARY G. (1982) - Mise en place tardi-cadomienne du complexe basique de Brée (Mayenne). *Bull. BRGM Fr.*, (2), 1, 1-2, pp. 19-23.
- LE GALL J., MARY G. (1983) - Place et signification du complexe de Brée et des autres venues gabbroïques et doléritiques dans l'histoire cadomo-varisque de l'est du Massif armoricaire. *Bull. Soc. géol. Minéral. Bretagne*, (C), 15, 2, pp. 169-180.
- LE GALL J., MARY G. (1985) - Le Dinantien basal du flanc nord du bassin de Laval à Argentré : volcanites basiques et formations volcano-sédimentaires. *Hercynica*, 1, 2, pp. 155-163.
- MASUDA A., NAKAMURA N., TANAKA T. (1973) - Fine structures of mutually normalized rare earth patterns of chondrites. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 37, pp. 239-248.
- MIYASHIRO A. (1974) - Volcanic rock series in island arcs and active continental margins. *Amer. Journ. Sci.*, 274, pp. 321-355.
- OEHLERT D.P., BIGOT A., MATTE H. (1905) - Notice explicative de la carte géologique à 1/80 000 de Laval, n° 76, 1ère édition, Serv. Carte géol. France, Paris.
- PERFIT M.R., BRUECKNER H., LAWRENCE J.R., KAY R.W. (1980) - Trace element and isotopic variations in a zoned pluton and associated volcanic rocks, Unalaska Island, Alaska : A model for fractionation in the Aleutian calcalkaline suite. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 73, pp. 69-87.
- PIERROT R., CHAURIS L., LAFORÊT C. (1975) - Inventaire minéralogique de la France, Côtes-du-Nord. BRGM. Ed., 220p.
- PRUVOST P., WATERLOT G. (1941) - Notice explicative de la carte géologique à 1/80 000 de Saint-Brieuc (n° 59), 2ème édition. Serv. Carte géol. France, Paris.
- RAI H. (1979) - Origin of corona structure in the gabbro of Kargil igneous complex, Ladakh, India. *Neues Jb. Miner. Mh.*, 8, pp. 373-380.

- ROACH R.A. (1971).- The layered structure of the Saint Peter Port gabbro, Guernsey, Channel Islands. *J. Geol. Soc. London*, 127, p. 295.
- RUTHERFORD M.J., HERMES O.D. (1984).- Melatroctolite-anorthositic gabbro complex, Cumberland, Rhode Island : Petrology, origin and regional setting. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 95, pp. 844-854.
- SAPOUNTZIS E.S. (1975).- Coronas from the Thessaloniki Gabbros (North Greece). *Contrib. Mineral. Petrol.*, 51, pp. 197-203.
- STEWART F.H. (1947).-The gabbroic complex of Belhelvie in Aberdeenshire. *Quart. Journ. Geol. Soc.*, 102, p. 465.
- STRECKEISEN A. (1976).-To each plutonic rock its proper name. *Earth Sci. Rev.*, 12, pp. 1-33.
- VANDERNOTTE L. (1913).- Contribution à l'étude géologique des roches éruptives de la bordure sud-est du Massif armoricain. Thèse Paris, 188p.
- VIDAL P., AUVRAY B., CHAUVET J.F., COGNE J. (1972).- L'âge radiométrique de la diorite de Saint-Quay Portrieux (Côtes-du-Nord). Ses conséquences sur le Briovérien de la baie de Saint-Brieuc. *C.R. Acad. Sci. Fr.*, 275, (D), pp. 1323-1326.

CARTES GEOLOGIQUES A 1/50 000 PARUES EN 1985 ET EN 1986



Titres parus : Ajaccio, Aix-en-Othe, Avize, Beaune, Bergerac, Bernay, Boulogne-sur-Mer, Bourgoin, Champlitte, Château-Chinon, Delle, Hazebrouck, Mamers, Matha, Montbron, Nant, Parthenay, Pierre-de-Bresse, Plestin-les-Grèves, Pointe du Raz, Puy-l'Evêque, Redon, Rugles, Saint-Amour, Saint-Beauzely, Saint-Valéry-sur-Somme, Sancerre, Sartène, Thouarcé, Toul, Venaco

Prix de la feuille au 1 mars 1987 : 90 FF



B.P. 6009
45060 ORLEANS CEDEX 2
FRANCE