

Datation à 378 Ma du massif du Pertre

(Ille-et-Vilaine, Mayenne) : un leucogranite peralumineux d'âge Dévonien moyen à supérieur en Bretagne centrale *

Frédéric TRAUTMANN ⁽¹⁾
Jean-François BECQ-GIRAUDON ⁽¹⁾
Philippe CHÈVREMONT ⁽¹⁾
Catherine GUERROT ⁽¹⁾
Denis THIÉBLEMONT ⁽¹⁾

Dating the Pertre Massif at 378 Ma: a Middle to Late Devonian peraluminous leucogranite in Central Brittany

Géologie de la France, 2002, n° 1, pp. 65-80, 8 fig., 4 tabl., 2 pl. photos

Mots-clés : Pb-Pb, K-Ar, Zircon, Muscovite, Leucogranite, Composition peralumineuse, Dévonien, Rhyolite, Carbonifère, Analyse éléments trace, Analyse éléments majeurs, Ille-et-Vilaine, Mayenne, Massif Pertre.

Key words: Pb/Pb, K/Ar, Zircon, Muscovite, Leucogranite, Peraluminous composition, Devonian, Rhyolites, Carboniferous, Trace-element analyses, Major-element analyses, Ille-et-Vilaine France, Mayenne France, Pertre Massif.

Résumé

Le massif leucogranitique du Pertre, intrusif dans un contexte schisto-wackeux du Briovérien « post-phtanitique » de Bretagne centrale, se situe à proximité du bassin dévono-carbonifère de Laval et du Cisaillement nord-armoricain. Il est recouvert par des sédiments arkosiques postérieurs à sa mise en place. Deux datations, effectuées par les méthodes Pb-Pb par évaporation directe du plomb sur monozircon ($377,6 \pm 9,2$ Ma) et K/Ar sur muscovite ($367,5 \pm 7$ Ma), situent sa mise en place dans le Dévonien moyen à supérieur. Ses caractères pétrographiques et géochimiques sont ceux des leucogranites peralumineux, ce qui suggère une origine par fusion partielle de matériaux « supra-crustaux » (métasédiments par exemple).

Un nouveau schéma d'évolution sédimentaire et structurale est proposé pour cette partie du Domaine centre armoricain :

- au Dévonien moyen à supérieur, genèse du leucogranite du Pertre en liaison avec un régime compressif « local » (transpression) induisant une

anatexie limitée le long du Cisaillement nord-armoricain et une lacune de sédimentation dans le bassin de Laval ;

- au Famennien-Tournaisien, épanchement de rhyolites en liaison avec l'ouverture en relais du Bassin de Laval ;

- cataclase ultérieure du massif granitique et des rhyolites lors de la reprise de la compression hercynienne ;

- émergence et érosion du massif avec dépôt de sédiments continentaux gravitaires (arkoses) lors du fonctionnement en « pull apart » du Bassin de Laval ;

- au Westphalien, chevauchement intra-arkoses du Sud vers le Nord, lié à la fermeture du Bassin de Laval en contexte de poinçonnement intra-continental.

Ces résultats montrent que les leucogranites peralumineux, qui sont l'une des manifestations les plus spectaculaires de la phase tectono-métamorphique majeure en Bretagne centrale (phase « bretonne »), ont pu être produits bien avant cette phase, de façon locale et indépendamment d'un épisode de déformation d'expression régionale.

Abstract

The leucogranitic Pertre massif, intrusive into Brioverian "post-phtanitic" schist and wacke of Central Brittany, is located near the Devonian-Carboniferous Laval Basin and the North-Armoricain Shear Zone. The massif is covered by arkosic sedimentary rock. Two absolute ages, one by Pb-Pb evaporation on zircons (377.6 ± 9.2 Ma) and the second by K/Ar on muscovite (367.5 ± 7 Ma), show that the massif was emplaced during the Middle to Late Devonian. The granite has the petrographical and geochemical characteristics of peraluminous (S-type) leucogranite, which suggests an origin through melting of a sialic protolith of "supra-crustal" type, such as metasedimentary rocks.

A new outline is proposed for the sedimentary and structural evolution of this part of Central Brittany:

1) Emplacement of leucogranite during the Middle-Late Devonian in relation with a localized compressive regime (transpression) leading to limited anatexis along the North Armoricain Shear Zone and a stratigraphic break in the Laval Basin;

* Manuscrit déposé le 23 août 2000, accepté le 26 janvier 2001

(1) BRGM, B.P. 6009, 45060 Orléans Cedex 2

2) Eruption of rhyolite during the Famennian-Tournaisian was linked to the progressive opening of the Laval Basin;

3) Further cataclasis of granite and rhyolite was caused by renewed Hercynian compression;

4) Emersion and erosion of the massif, and deposition of gravitational sedimentary rocks (arkose) occurred during the strike-slip activity leading to the formation of the Laval "pull apart" Basin;

5) Intra-arkose northward-directed Westphalian thrusting was related to closure of the Laval Basin in a context of intra-continental collision.

These results show that the peraluminous leucogranite, which is one of the most evident manifestations of a major "Breton" tectono-metamorphic phase in Central Brittany, also was produced well before that phase, apparently independent of a tectonic event of regional extent.

Introduction

Le pluton leucogranitique du Pertre, situé à 50 km à l'est de Rennes et à 15 km au sud-est de Vitré (Ille-et-Vilaine), isolé dans le Briovérien de Bretagne centrale (Domaine centre armoricain) (fig. 1), est généralement considéré comme d'âge hercynien (Chantraine *et al.*, 1996). Ce massif a fait l'objet d'un levé détaillé dans le cadre du programme de la carte géologique à 1/50 000 (feuilles La Guerche-de-Bretagne et Cossé-le-Vivien).

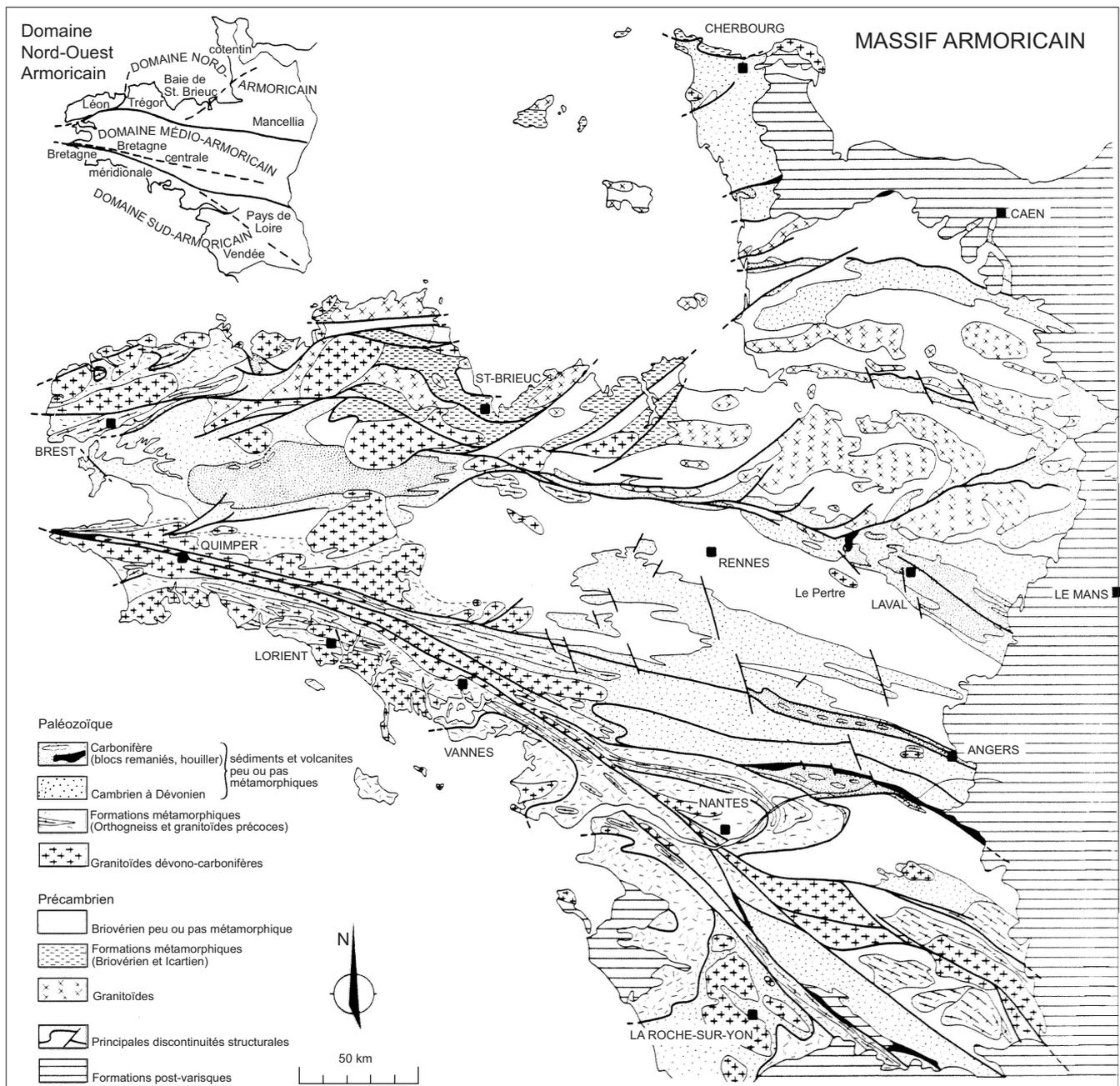


Fig. 1.- Le granite du Pertre dans son contexte structural (d'après Le Corre *et al.*, 1991).

Fig. 1.- The Pertre granite in its structural setting (from Le Corre *et al.*, 1991).

Une étude pétrographique et géochimique, et des datations par les méthodes Pb-Pb sur monozircon et K-Ar sur muscovites ont également été entreprises, qui conduisent à préciser son âge et à reconsidérer sa place dans le contexte régional de Bretagne centrale.

Cadre géographique et travaux antérieurs

Considéré dans son ensemble, le massif a une forme en lobe, son grand axe étant parallèle aux structures hercyniennes du flanc sud du bassin de Laval (fig. 1). De dimensions réduites (11 km sur 4 km), il domine nettement la contrée (183 m NGF). La disposition radiale du réseau hydrographique par rapport au massif montre qu'il alimente directement les principales rivières de la région (source de la Seiche au Pertre).

Le granite du Pertre intrude les formations schisto-wackeuses du Briovérien « post-phtanitique » de Bretagne centrale (Le Corre, 1977) (fig. 1). À 20 km au sud, le Paléozoïque (Ordovicien) repose en discordance sur les formations du Briovérien et à 5 km au nord, le bassin de Laval est en contact par faille inverse avec le Briovérien (fig. 1). Oehlert *et al.* (1905) écrivent que « la granulite est limitée au sud par une faille mais que le contact du côté du nord est normal et que les schistes précambriens ne sont pas modifiés ». Sur le flanc sud du granite, entre Argentré-du-Plessis et Brielles, Bigot et Oehlert (1903) mentionnent la présence d'un lambeau d'arkose du Dinantien à faciès Culm, dont Vandernotte (1913) fait une description pétrographique détaillée. L'auteur y observe des éléments clastiques du granite, montrant ainsi l'antériorité de ce dernier. Plus tard, Berthois (1935) distingue, entre le granite et les arkoses, une roche broyée, anciennement dénommée « blaviérite » (Bigot et Oehlert, 1903) et qui, en fait, correspond soit à une rhyolite cataclastique à mylonitique, soit à du leucogranite cataclaté (pl. 1, fig. c). Cet auteur montre le caractère « endomorphique » du granite sans toutefois mettre formellement en évidence un métamorphisme thermique affectant le Briovérien encaissant. Il décrit toutefois des enclaves de schiste dans le granite. Plus récemment, Julliot (1981-1982) réalise une cartographie et une description détaillée des faciès, qui

montrent la structure concentrique du massif. Enfin, Barrat (1984) étudie la chimie des rhyolites associées au leucogranite et propose de rechercher l'origine de ce dernier dans une anatexie crustale.

Nouvelle cartographie du massif et de son encaissant

Massif du Pertre

S'appuyant sur le travail de Julliot (1981-1982), des levés complémentaires (Trautmann et Clément, 1998) ont permis de préciser les contours des différents faciès et d'étudier les relations entre le granite et son encaissant métasédimentaire (fig. 2). Le massif du Pertre a une structure concentrique : son cœur est occupé par un leucogranite à grain fin, il passe à une auréole principale de leucogranite aplitique porphyrique et une auréole externe de leucogranite à gros phénocristaux sans bordure figée (fig. 2). Cette architecture correspond à un complexe centré à croissance centrifuge progressive. L'axe du massif est parallèle à la direction de la stratification des sédiments du Briovérien. Ses bordures nord et sud sont recoupées par des microgranites, et des greisens marquent une pneumatolyse. Des rhyolites tardives recoupent l'extrémité occidentale du massif. Sur la bordure sud, un accident cisailant affecte à la fois le leucogranite et les rhyolites de bordure.

Encaissant sédimentaire : structure et métamorphisme

Briovérien

Les formations briovériennes, qui constituent l'encaissant du granite du Pertre, sont des métasédiments turbiditiques dans lesquels s'intercalent des dépôts de cônes alluviaux ; leur âge se situe du Protérozoïque terminal au Paléozoïque basal (Guerrot *et al.*, 1992). Ces formations sont affectées par une déformation souple en plis dissymétriques de grande longueur d'onde, de direction moyenne est-ouest, accompagnée d'une schistosité de fracture S1, généralement de plan axial. Très localement, dans les niveaux silteux, on observe une schistosité de flux subardoisière. Le report sur stéréogramme des pôles de plans de la schisto-

sité (fig. 3) montre un pendage général vers le sud-ouest assez fort ; la disposition en éventail des directions est liée à la réfraction variable suivant la nature lithologique des couches traversées.

Aucun indice définitif d'un métamorphisme de contact du leucogranite du Pertre dans les formations encaissantes n'a pu être obtenu. Une phyllite brune synschisteuse a été observée ponctuellement le long du flanc nord et de la terminaison orientale du massif. Elle se présente en amas ferruginisés dans des faciès silto-argileux et en abondants cristaux décolorés dans des petits bancs d'arénites. Cette altération ne permet pas d'en déterminer la nature exacte (ancienne biotite ?), aussi ne peut-on affirmer qu'elle résulte d'un métamorphisme de contact. Par ailleurs, le mauvais état des affleurements, lié à l'altération latéritique intense au Cénozoïque et à la nature gréseuse des faciès du Briovérien encaissant, ne permettent pas de déterminer les relations entre ces phyllites brunes et la schistosité régionale. À l'écart du granite, les minéraux synschisteux sont exprimés dans des faciès et des secteurs très divers.

Au microscope, les arénites subfeldspathiques contiennent des agrégats de microcristaux de quartz, des débris lithiques et des plagioclases. Ces roches montrent un faible degré de recristallisation. Les niveaux d'argilite présentent des amas de biotite ferruginisée ; la trame est constituée d'alternances de lamines silto-argileuses. Un métamorphisme hydrothermal a été localement observé, dont témoignent, par exemple, des muscovites en rosettes (pl. 2, fig. d) ; il correspond à « l'endomorphisme » mis en évidence par Berthois (1935).

Arkoses

Les arkoses, qui reposent sur le flanc sud du granite, ont été étudiées dans la petite carrière des « Maisonnettes » en Argentré-du-Plessis (fig. 4), seul affleurement actuellement visible. Le granite du Pertre, qui est ici cataclaté et hydrothermalisé, est recouvert directement par des bancs d'arkose grisâtre régulièrement stratifiés, de puissance pluri-décimétrique à métrique, à interlits schisteux, qui pendent de 30° vers le sud-ouest (pl. 1, fig. a). Au microscope, l'arkose du contact est une roche à 10-30 % de matrice argileuse, à éléments anguleux non classés et hété-



Fig. 2.- Carte géologique du massif du Pertre.

Fig. 2.- Geological map of the Pertre massif.

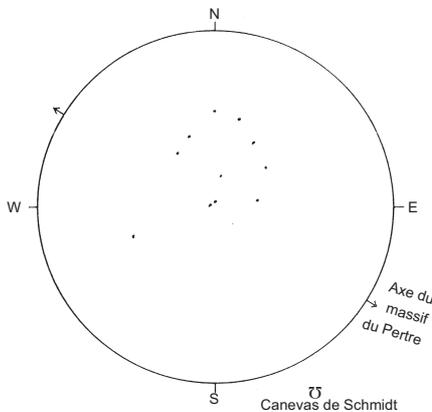


Fig. 3.- Report dans un canevas de Schmidt, des pôles des plans de schistosité S1 dans le Briovérien.

Fig. 3.- Brioverian S1 cleavage-plane poles plotted on a Schmidt net.

ométriques (500 µm à 5 mm) comprenant, outre le quartz, de nombreux fragments de feldspath potassique et du plagioclase subordonné ; la biotite altérée et la muscovite (détritiques) sont abondantes. Les grains lithiques, assez rares, sont tous d'origine cristalline (fragments de greisen, de microdiorite, de micropeg-

matite, de rhyolite) et proviendraient du massif du Pertre. Le zircon est présent soit dans les biotites, soit en grains détritiques. Cette arkose microconglomératique évolue dans le haut vers des arénites litées et granoclassées lit par lit (pl. 1, fig. b) ; la granulométrie diminue, la matrice devient plus abondante (30 à 60 %) et les plagioclases disparaissent. Les micro-séquences montrent des figures de ravinement. Une recherche de microflore dans les interlits silteux a été infructueuse (Barrat, 1984).

Etude pétrographique

Leucogranite à grain fin à deux micas

Ce faciès constitue le cœur du massif ; il est bien exposé autour du village du Pertre, en particulier dans les carrières du Pâtis-Vert. Sa texture l'a mieux protégé de l'altération que les faciès porphyriques, de ce fait, il domine la contrée et ses affleurements sont assez nombreux. C'est une roche de couleur beige à texture hypidiomorphe grenue, à tendance parfois porphyrique (plages de quartz centimé-

trique) (pl. 2, fig. a). Elle est composée de quartz en plages polycristallines à inclusions sporadiques de micas et quelquefois de plagioclase. Le feldspath potassique est très perthitique, il contient des films et des tâches d'albite en plages xénomorphes à subautomorphes de taille variable, les plus grandes englobant de petites lattes de plagioclase. Le plagioclase acide est subautomorphe, parfois zoné et plus ou moins séricitisé. La biotite est entièrement pseudomorphosée en chlorite verte ou en mica blanc ; quelques halos relictuels témoignent de la présence de zircon. La muscovite primaire se présente en lamelles isolées ou en petits amas, accolés ou non à des lamelles de biotite. Les minéraux accessoires sont l'apatite et des éléments ferro-titanés. Dans ce faciès, Bézier (1908) signalait à la carrière de Chardonneret, la présence de fluorine associée à de la tourmaline, du quartz et un feldspath (orthose ou albite ?) dans des géodes de filons de pegmatite.

Leucogranite aplitique porphyrique à deux micas

Ce faciès constitue l'essentiel du massif du Pertre (Julliot, 1981-1982) et affleure principalement sur sa bordure sud, en particulier le long de la haute vallée de la Seiche. Il est le plus souvent arénisé, notamment dans le secteur de la Guérinière en Argentré-du-Plessis. La roche est de teinte beige (leucocrate) à grain très fin (0,2 à 0,5 mm), à texture aplitique porphyrique (phénoblastes de feldspaths et de quartz). Les minéraux principaux sont : le quartz en cristaux xénomorphes engrenés ou en phénoblastes globulaires craquelés de 5 mm de diamètre et les feldspaths (orthose perthitique, microcline et plagioclase légèrement damouritisé). La biotite est relativement abondante, souvent chloritisée et la muscovite est accessoire (pl. 2, fig. b). Berthois (1935) signale dans le leucogranite arénisé de la Guérinière la présence de minéraux lourds suivants : zircon, tourmaline, indicolite, staurotide, traduisant « l'endomorphisme » du magma au contact de l'encaissant.

Leucogranite à gros grain à deux micas

Par augmentation progressive du nombre de phénocristaux de quartz et feld-

spaths, le leucogranite aplitique passe à un leucogranite à gros grain. Ceci s'observe localement sur le pourtour du massif, principalement sur la bordure nord dans le secteur des Goupillières-en-Argentré. La roche est claire isogranulaire à texture grenue ; la trame finement cristalline tend à disparaître au profit de grands cristaux (0,8 à 3 cm) d'orthose perthitique et de quartz. On y observe également des plagioclases très séricitisés et quelques micas (biotite, muscovite) (pl. 2, fig. c). Dans la carrière -aujourd'hui comblée- de la Goupillière, Berthois (1935) décrivait un filon de « rhyolite » digité traversant le leucogranite, **ainsi que des schistes briovériens enclavés dans le granite**. Le leucogranite arénisé a livré les minéraux lourds suivants : zircon, monazite, sphène, grenat-almandin.

Greisen

Localement, près de la bordure sud du massif, on observe une greisenification d'origine pneumatolytique. Des blocs épars dans les champs montrent un faciès à texture xénomorphe grenue composé de quartz très riche en inclusions fluides et de mica blanc en lamelles isolées ou formant des amas interstitiels à poecilites par rapport au quartz.

Filons de microgranite porphyrique à biotite

Quatre filons de microgranite porphyrique à biotite recoupent le massif et sont principalement associés au faciès interne à grain fin. Ces roches, à texture microgrenue porphyrique sont composées de phénocristaux de plagioclases acides isolés ou en assemblages glomérophyriques, de quartz à golfes de corrosion couronnés d'albite ; la biotite, rare, est pseudomorphosée en agrégats de phyllites verdâtres. La mésostase est composée de quartz, feldspath potassique, plagioclase acide, biotite décolorée et/ou chloritisée. On note la présence de zircons et de minéraux ferrotitanés.

Rhyolite, tuf rhyolitique

L'extrémité occidentale du massif du Pertre est recoupée par plusieurs intrusions de rhyolite mylonitisée que l'on peut observer dans les carrières de la Poulinière et de Franchet en Argentré-du-

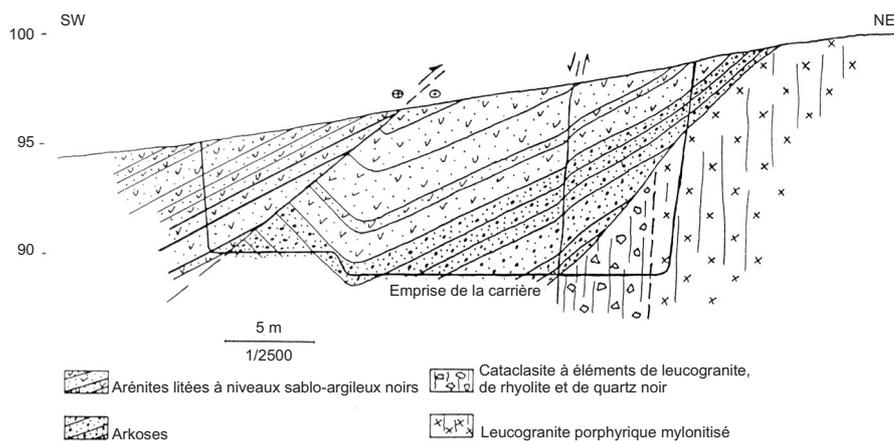


Fig. 4.- Coupe de la carrière des Maisonnettes en Argentré-du-Plessis.

Fig. 4.- Cross-section through the Maisonnettes quarry at Argentré-du-Plessis.

Plessis. Les autres rhyolites ne sont visibles qu'en « pierres volantes » et sont localisées soit à la périphérie du massif, soit dans le faciès arénisé aplitique. Berthois (1935) décrit un filon de rhyolite digité de 10 m de puissance recoupant le leucogranite à gros grain dans la carrière de la Goupillière. La carrière de la Poulinière, peu accessible de nos jours, est décrite par Julliot (1981-1982) : d'Ouest en Est, il observe des rhyolites mylonitisées, puis deux niveaux de tufs verdâtres à ocelles feldspathiques, très schistosés, encadrant une coulée de rhyolite silicifiée. Les contacts avec les schistes encaissants ne sont pas visibles, ces derniers, très altérés, étant lardés de filons et de lentilles de quartz montrant une kaolinisation aux épontes.

Certains filons, comme celui du Haut Châble, présentent une structure de dévitrification perlitique. La rhyolite de la Poulinière, décrite par Vandernotte (1913), montre une mésostase très fine comportant de vagues sphérolites de feldspath et des éponges de quartz en amygdales allongées dans le plan de foliation.

Caractérisation géochimique

Echantillonnage, méthodes analytiques

Trois échantillons ont été étudiés, deux proviennent du massif granitique du Pertre et un de l'unité rhyolitique. Les trois roches ont été analysées au BRGM ;

les éléments majeurs ont été dosés par fluorescence X et les traces par ICP (Ba, Sr, Li, Co, V, Ni) ou ICP-MS (terres rares et autres éléments traces). Les analyses sont reportées dans le tableau 1.

Granite du Pertre

Les deux roches analysées sont très acides ($\text{SiO}_2 > 75\%$) et fortement peralumineuses (indice A/CNK = 1,16 et 1,36 [tabl. 1]), ce qui s'accorde avec la présence de muscovite. Les teneurs en Li (= 24 et 98 ppm), Rb (= 175 et 241 ppm), Ta (= 1,5 et 2,8 ppm) et U (= 4,7 et 6,5 ppm) sont élevées, inversement les teneurs en Sr (< 40 ppm), Ba (< 230 ppm), Zr (< 60 ppm), Th (< 6 ppm) et La (< 11 ppm) sont faibles. Les spectres multi-élémentaires (fig. 5) montrent les traits communs des leucogranites peralumineux (Pearce *et al.*, 1984 ; Thiéblemont et Cabanis, 1990) : « pics » en Rb, U et K et « effondrement » des teneurs en Ba, Th, terres rares légères, Sr, Zr et Hf. Ces caractères témoignent du caractère incompatible de Rb, U et Ta (Raimbault, 1984), du fractionnement des feldspaths (anomalies négatives en Ba et Sr) et de la faible solubilité de la monazite (faibles teneurs en terres rares légères) (Montel, 1986) et du zircon (faibles teneurs en Zr et Hf) (Watson et Harrison, 1983) dans les magmas acides peralumineux. Les rapports Nb/Ta (= 5,75 et 8,47) sont significativement inférieurs à la valeur chondritique (= 16) (Bougault *et al.*, 1980). Il s'agit d'un trait constant des leucogranites peralumineux (Harris *et al.*, 1986) que les auteurs interprètent soit comme un témoignage de l'origine crustale du magma

N° éch.	Rhyolite		Leucogranite	
	4A-88	CLV-18	CLV-40	
SiO ₂ (%)	75,8	76	75,74	
TiO ₂	0,16	< 0,05	0,07	
Al ₂ O ₃	12,00	13,36	12,59	
Fe ₂ O _{3t}	1,96	1,21	1,37	
MnO	0,07	0,03	0,02	
MgO	< 0,2	< 0,2	< 0,2	
CaO	< 0,1	0,19	0,17	
Na ₂ O	4,54	2,85	2,98	
K ₂ O	4,18	4,42	5,21	
P ₂ O ₅	< 0,05	0,18	0,09	
PF	0,37	1,26	1,00	
Li (ppm)	< 10	98	24	
Rb	65	241	175	
Ba	652	58	227	
Sr	70	16	34	
Th	10,6	2,5	5,1	
U	4,2	4,7	6,5	
Ta	1,6	2,8	1,5	
Nb	18,0	16,1	12,7	
Hf	4,9	1,7	2,5	
Zr	117	30	55	
Y	28,9	10,6	20,4	
V	< 10	< 10	< 10	
Co	< 5	< 5	< 5	
Cr	61	16	20	
Ni	29	23	16	
La	34,9	2,5	10,4	
Ce	71,1	6,0	25,3	
Pr	7,8	0,8	3,3	
Nd	29	4	15	
Sm	5,4	1,5	4,0	
Eu	0,6	< 0,1	0,4	
Gd	5,4	2	4,9	
Tb	0,9	0,4	0,8	
Dy	5,6	2,7	4,7	
Ho	1,1	0,4	0,7	
Er	3,2	0,7	1,3	
Tm	0,4	0,1	0,2	
Yb	3,2	0,6	0,8	
Lu	0,5	< 0,1	0,1	
A/CNK	1,00	1,36	1,16	
(Nb/Zr)N	2,42	8,44	3,63	
Nb/Ta	11,25	5,75	8,47	
Th/Ta	6,63	0,89	3,40	
La/Th	3,29	1,00	2,04	

Tabl. 1.- Analyses chimiques d'une rhyolite d'Argentré-du-Plessis et de deux granites du Pertre. Analyses BRGM Orléans, octobre 1994 : éléments majeurs par Fluo X et éléments traces par ICP et ICP/MS. L'indice A/CNK ou « indice d'aluminosité » est le rapport Al₂O₃/CaO + Na₂O + K₂O en proportions moléculaires.

4A-88 : rhyolite (Argentré-du-Plessis, la Poulinière)

CLV 18 : leucogranite à 2 micas (Le Pertre, Pâtis Vert)

CLV40 : leucogranite porphyrique à biotite muscovite (Le Pertre, Bas Chevrier).

Table 1.- Chemical analyses of a rhyolite from Argentré-du-Plessis and of two granites of the Pertre massif (BRGM, Orléans, October 1994: major elements by XRF and trace elements by ICP and ICP/MS. The A/CNK or "aluminosity" index is the Al₂O₃/CaO + Na₂O + K₂O ratio in molecular proportions.

4A-88: rhyolite (Argentré-du-Plessis, la Poulinière)

CLV 18: two-mica leucogranite (Le Pertre, Pâtis Vert)

CLV40: porphyric biotite-muscovite leucogranite (Le Pertre, Bas Chevrier).

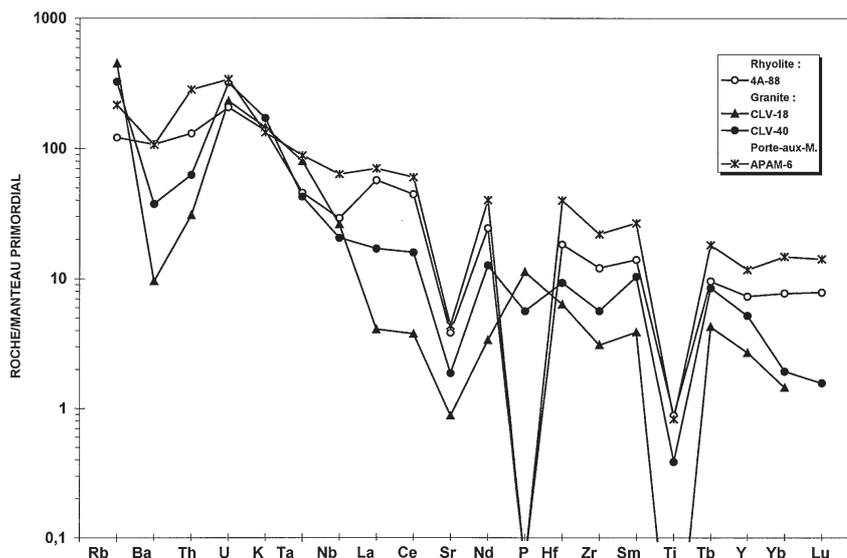


Fig. 5.- Spectres multi-élémentaires normés au manteau primordial (valeurs de normalisation de Hofmann, 1988) pour un échantillon de filon rhyolitique recoupant le granite du Pertre, deux échantillons de ce granite et une lave acide carbonifère inférieure de la région de la Porte-aux-Moines (analyse dans Villanova, 1995).

Fig. 5.- Multi-element spectra normed to the primordial Mantle (normalization values from Hofmann, 1988) for: a rhyolitic-vein sample intersecting the Pertre granite; two samples from this granite; and an Early Carboniferous acid lava from the Porte-aux-Moines area (analysis in Villanova, 1995).

(Nb/Ta = 12 dans la croûte continentale moyenne [Taylor et Mac Lennan, 1985]), soit comme une conséquence du fractionnement de biotite (Raimbault, 1984), ces deux hypothèses n'étant pas mutuellement exclusives. Enfin, le spectre de terres rares (fig. 6) montre un net fractionnement entre terres rares lourdes qui suggère la présence de grenat dans le résidu de fusion.

L'ensemble des caractères géochimiques (éléments majeurs et traces) du granite du Pertre sont ceux des leucogranites peralumineux. De telles roches sont classiquement interprétées comme les produits de la fusion de matériaux « supracrustaux » : métasédiments pélitiques ou gneiss acides (Chappell et White, 1974 ; Lameyre, 1980 ; Turpin *et al.*, 1990 ; Pichavant, 1993). Dans cette hypothèse, le fractionnement marqué entre terres rares lourdes indiquerait une pression minimum de 7 kb, soit une profondeur de fusion > 20-25 km (Green, 1976).

Rhyolite d'Argentré-du-Plessis

La rhyolite analysée est très acide (SiO₂ = 75,8 %) et métalumineuse (A/CNK = 1) (tabl. 1). Par sa faible teneur en alumine (Al₂O₃ = 12 %) et sa teneur plutôt élevée en Yb (= 3,2 ppm), elle se rattache au type "low-Al - high-

Yb" de la nomenclature de Arth (1979) et Barker (1979). Elle est plus riche en Ba (= 652 ppm), Th (= 10,6 ppm), terres rares (La = 34,9 ppm) et Zr (= 117 ppm) que le granite du Pertre, mais plus pauvre en Rb (= 65 ppm). De même, son spectre multi-élémentaire (fig. 5) ne montre pas les « effondrements » en éléments incompatibles (Ba, Th, La, Zr ...) observés dans ce dernier. La teneur élevée en Ba exclut un fractionnement de feldspath alcalin, inversement les fortes anomalies négatives en Sr (fig. 5) et Eu (fig. 6) témoignent du fractionnement de plagioclase.

Les teneurs en silice étant comparables dans la rhyolite et le leucogranite, les différences géochimiques observées impliquent que les deux roches ont évolué à partir de magmas distincts. L'absence de fractionnement entre terres rares lourdes, dans la rhyolite (fig. 6), exclut une stabilité du grenat dans la source. Finalement, la rhyolite d'Argentré-du-Plessis montre de nombreux caractères communs avec les roches acides connues à la base de la série carbonifère du bassin de Châteaulin (Sagon, 1969 ; Villanova, 1995 ; Villanova *et al.*, 1996) (fig. 6) : enrichissement modéré en terres rares légères, forte anomalie négative en Eu et absence de fractionnement entre terres rares lourdes. De même, les roches montrent des

spectres multi-élémentaires très voisins (fig. 5) et une même affinité de type "low-Al - high-Yb".

La rhyolite d'Argentré-du-Plessis pourrait s'intégrer dans un épisode volcanique d'échelle régionale, bien représenté dans les bassins de Laval (formation de l'Huisserie) et Châteauilin (formations de Kerroc'h et la Porte-aux-Moines), et qui accompagnait l'ouverture de ces bassins au Carbonifère inférieur.

Etude géochronologique du granite du Pertre

Deux échantillons du granite du Pertre ont été étudiés : l'un (CV2) pour une datation Pb par évaporation sur monozircon, l'autre (CLV18) pour une datation K-Ar sur muscovite.

Datation Pb par évaporation sur monozircon

Une faible quantité de zircons (trente) a été obtenue. Certains zircons sont très sombres, arrondis et non indexables. Une autre partie est incolore, les zircons sont surfacettés et non indexables. La plupart des cristaux sont néanmoins incolores, très allongés, automorphes et présentent un canalicule central. Ce canalicule est en général indicateur de l'absence d'un cœur ancien au sein du zircon.

Huit zircons dont l'allongement varie de 190 à 360 µm ont été analysés. Les zircons C, D, E, G, et H sont des fragments de cristaux allongés et contiennent un canalicule central. La méthode de datation par évaporation thermique directe de plomb sur monocristaux de zircons, en procédant par paliers de température successifs (Kober, 1986, 1987 ; Cocherie *et al.*, 1992) a été utilisée. Les erreurs sur les âges par palier et par zircon sont données à ± 1σ. L'âge moyen est calculé par le programme Isoplot/Ex, version 2.06 (Ludwig, 1999), et correspond à la moyenne pondérée des différents paliers conservés. L'erreur sur l'âge est donnée à 2σ (95 % limite de confiance). Les résultats sont reportés dans le tableau 2 et sur la figure 7.

Aucun signal n'a été obtenu pour les cristaux A, C et H. Les zircons B et F sont arrondis, relativement sombres et sans canalicule central. Ils indiquent des âges

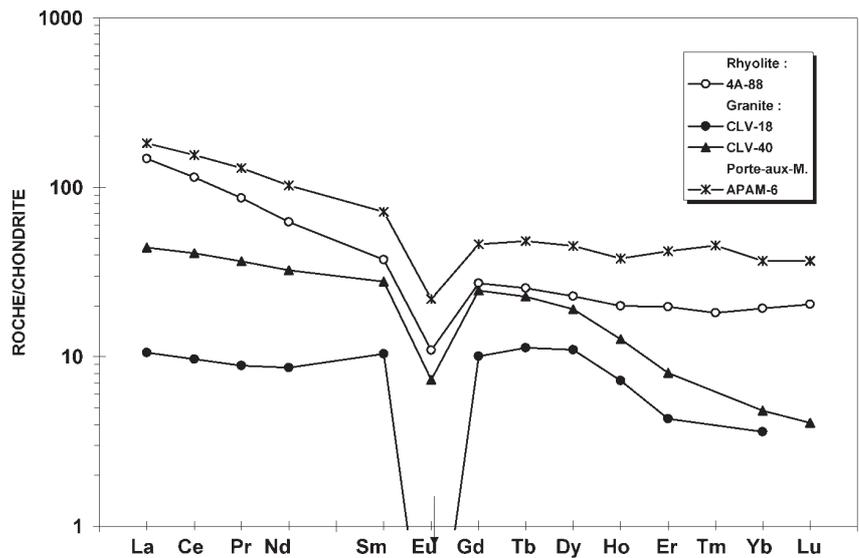


Fig. 6.- Spectres de terres rares normés aux chondrites (valeurs de normalisation d'Anders et Grévesse, 1989) pour un échantillon de filon rhyolitique recoupant le granite du Pertre, deux échantillons de ce granite et une lave acide carbonifère inférieur de la région de la Porte-aux-Moines (analyse dans Villanova, 1995).

Fig. 6.- Rare Earth spectra normed to chondrites (normalization value from Anders and Grévesse, 1989) for: a rhyolitic-vein sample intersecting the Pertre granite; two samples from this granite; and an Early Carboniferous acid lava from the Porte-aux-Moines area (analysis in Villanova, 1995).

Zircon	T(°C) palier	Nbre rapports	206Pb /204Pb	208Pb/ 206Pb	207Pb*/206Pb* ± 1σ	Âge par palier ± 1σ	Âge par Zircon ± 1σ	Âge moyen (Ma) ± 2σ
Zr B	1440	46	2000	0.167	0.06082±31	633 ± 11	632 ± 18	
	1460	28	3150	0.201	0.06077±74	631 ± 26		
Zr F	1440	18	3240	0.200	0.06085±54	634 ± 19		
Zr D	1440	12	1900	0.106	0.05426±22	382 ± 9	377 ± 13	377.6 ± 9.2 Ma
	1460	51	2150	0.125	0.05419±17	379 ± 7		
	1480	59	7770	0.211	0.05407±41	374 ± 17		
Zr E	1440	21	1740	0.155	0.05386±48	365 ± 20	365 ± 20	
Zr G	1440	45	7100	0.083	0.05390±34	367 ± 14	369 ± 17	MSWD = 0.28
	1460	6	1600	0.198	0.05438±66	387 ± 27		

Tabl. 2.- Données analytiques obtenues par évaporation du plomb sur monozircon pour le granite du Pertre (échantillon CV2). Les erreurs sur les âges par palier et par zircon sont données à 1σ (écart-type). L'âge moyen est la moyenne pondérée des différents paliers conservés et est donné à ± 2σ (95 % limite de confiance).

Table 2.- Analytical data obtained through lead evaporation on monozircon for the Pertre granite (Sample CV2). The errors on zircon step ages are given with a standard deviation of 1σ. The average age is the weighted average of the different conserved steps and is given at ± 2σ (95% confidence limit).

Échantillon	Phase	K (%)	40Ar* (%)	40Ar* (10 ¹³ at.g ⁻¹)	Âge ± 2σ (Ma)
CLV 18	muscovite	8.190	97.14	348.75	367.5 ± 7.0

Tabl. 3.- Résultats d'analyse K-Ar sur les muscovites du granite du Pertre (échantillon CLV18).

Table 3.- K-Ar analysis results on muscovite from the Pertre granite (Sample CLV18).

anciens et reproductibles à 630 Ma (tabl. 2). Les zircons D, E et G, translucides, donnent des âges plus récents à 370 Ma. Le zircon D sur trois paliers successifs donne cet âge. Les âges

anciens sont considérés comme indiquant la présence de cœurs hérités d'âge cadomien. Les âges récents sont attribués à la cristallisation du granite du Pertre. La moyenne pondérée des six paliers

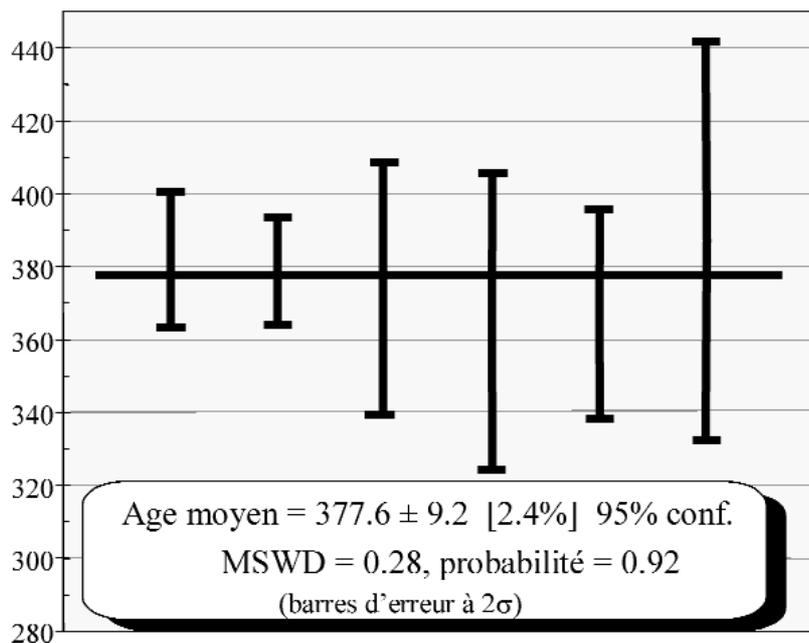


Fig. 7.- Diagramme Palier de température vs. âge $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ pour les zircons du granite du Pertre (échantillon CV2).

Fig. 7.- Temperature vs. age $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ step diagram for zircons from the Pertre granite (Sample CV2).

obtenus sur les zircons D, E et G est de $377,6 \pm 9,2$ (9 % limite de confiance) (fig. 7). Cet âge est considéré comme l'âge de cristallisation du granite qui se situerait à la limite Dévonien moyen – Dévonien supérieur.

Datation K-Ar sur muscovite

Une analyse K-Ar sur les muscovites de l'échantillon CLV18, prélevé au même endroit que l'échantillon daté en zircon, a été réalisée par le Professeur P.Y. Gillot au Laboratoire de Géochronologie d'Orsay (UPS - IPGP - INSU - convention Région Ile de France Sésame E 947), dans le cadre d'une convention avec le BRGM. La méthode potassium-argon a été utilisée selon une technique de double comparaison à l'atmosphère. La teneur en argon radiogénique des échantillons a été dosée selon la technique décrite par Cassagnol et Gillot (1982) et par Gillot et Cornette (1986). La teneur en potassium a été mesurée par spectrométrie d'absorption atomique. Les constantes conventionnelles internationales ont été utilisées pour le calcul de l'âge (Steiger et Jäger, 1977). Les résultats obtenus sont reportés dans le tableau 3.

L'âge à $367,5 \pm 7$ Ma déterminé sur les muscovites est en accord avec l'âge

obtenu sur les zircons pour la cristallisation du granite. En K-Ar, la température de blocage pour la muscovite se situe entre $400\text{-}300^\circ\text{C}$ (Purdy et Jäger, 1976). Le refroidissement de ce massif est donc rapide.

L'âge de mise en place du leucogranite du Pertre au Dévonien moyen à supérieur est confirmé par cette datation K-Ar.

Discussion

Le granite du Pertre est un pluton zoné dont l'architecture témoigne d'une croissance centrifuge progressive. Il présente des caractères qui suggèrent une mise en place syn- ou anté-schisteuse : 1) grand axe parallèle à la schistosité principale ; 2) trajectoires de schistosité dans l'encaissant se moulant autour du massif. Ses âges Pb-Pb et K-Ar indiquent une mise en place au Dévonien moyen à supérieur ; leur cohérence implique un refroidissement rapide et par-là, une intrusion à un niveau élevé de la croûte. Le massif du Pertre est le seul témoin d'un plutonisme granitique peralumineux de cet âge en Bretagne centrale. Le granite de Saint-Gouéno, présente des caractéristiques géochimiques comparables, mais sa mise en place est datée de l'Ordovicien (457 Ma) (Saunier, 1986). En revanche, les granites peralumineux

« bretons », associés à un contexte de cisaillement transcurrent dextre, sont plus récents (> 360 Ma) (Peucat *et al.*, 1979 ; Chantraine *et al.*, 1996).

Le granite du Pertre est recoupé par un complexe hypovolcanique rhyolitique. Ces rhyolites comme le granite sont affectés par une cataclase. Cette déformation est très constante sur la bordure sud du massif, mais plus ponctuelle en son sein et sur sa bordure nord (fig. 2). L'émergence puis l'érosion ultérieure sont à l'origine du dépôt de l'arkose. Plus tard, des mouvements tangentiels du sud vers le nord induisent un chevauchement dextre (bien visible dans la partie nord-ouest de la carrière des Maisonnettes) qui implique l'ensemble du dépôt.

Replacés dans le cadre de l'évolution géodynamique du domaine centre armoricain, nos résultats posent un certain nombre de questions. La première concerne la chronologie des événements tectoniques. En effet, la seule phase de schistogenèse reconnue en Bretagne centrale, qui affecte à la fois le Briovérien et le Paléozoïque, est classiquement rapportée au Dévonien terminal - Carbonifère inférieur (Le Corre, 1978 ; Rolet, 1982). À cet événement tectonométamorphique est attribuée la genèse d'un ensemble de granites peralumineux jalonnant le cisaillement nord-armoricain (Peucat *et al.*, 1979). Notre nouvelle datation (378 Ma) montre que le granite du Pertre s'est mis en place bien antérieurement à cette phase, ce qui implique que sa genèse procédait d'un événement géologique tout à fait indépendant. Identifier la schistosité affectant l'encaissant briovérien du granite du Pertre à la schistosité majeure du Domaine centre-armoricain, conduit à conclure à un caractère anté-schisteux de ce granite. Dans cette hypothèse, l'absence de déformation pénétrative dans ce granite témoignerait d'un comportement « rigide » lors de la déformation.

Par ailleurs, le granite du Pertre présente toutes les caractéristiques géochimiques des leucogranites peralumineux, roches unanimement interprétées comme les produits de la fusion partielle de matériaux supracrustaux (métasédiments par exemple). En contexte de collision continentale, la production de leucogranites est considérée comme une conséquence normale du surépaississement induit par la tectonique compressive, mais un tel

modèle « collisionnel » est clairement inapplicable au cas du granite du Pertre. Alternativement, on peut noter que ce massif se localise à proximité d'un accident majeur décrochant : le cisaillement nord-armoricain (fig. 1 et 8). On peut dès lors envisager que cet accident soit responsable du transport de matériaux supracrustaux dans les conditions de l'anatexie, phénomène qui aurait affecté un segment crustal limité. Une telle hypothèse implique que des mouvements compressifs (ou plus exactement transpressifs) aient affecté le domaine centre armoricain antérieurement à la phase tectono-métamorphique majeure (limite Dévonien - Carbonifère). L'éventualité d'une telle déformation, vers 370-380 Ma, est en bon accord avec différentes observations stratigraphiques et sédimentologiques : lacune du Dévonien moyen et supérieur au sein du bassin de Laval (Pelhate, 1971), tendance à l'émersion au Famennien dans le synclinorium du Ménez-Bélair (Paris *et al.*, 1982), structuration des bassins de Châteaulin et Laval à la fin du Famennien. Une telle phase, serait contemporaine de l'épisode éo-hercynien connu plus au sud dans le domaine interne varisque (Autran et Cogné, 1980), où elle s'est également accompagnée de la production de granites d'anatexie (massif de Sainte-Anne-d'Auray et migmatites associées [Peucat, 1983]).

La rhyolite qui recoupe le granite du Pertre présente des caractéristiques géochimiques différentes (faible teneur en alumine, fortes teneurs en terres rares lourdes ...), qui témoignent d'une origine distincte. Dans les bassins de Laval et Châteaulin, de telles rhyolites s'observent vers la base de la série carbonifère ; leur émission ayant accompagné l'ouverture de ces bassins en contexte transtensif (Rolet, 1984, 1994) (fig. 8). Une mise en place de la rhyolite, vers la limite Dévonien - Dinantien peut donc être envisagée, ce qui conduit à attribuer la cataclase qui affecte le granite du Pertre et la rhyolite à une phase carbonifère.

Finalement, les arkoses témoignent de l'émersion et de l'érosion du granite du Pertre. Le chevauchement qui les affecte pourrait être attribué à la phase finale de fermeture du bassin de Laval au Namurien-Westphalien (Rolet, 1984). Singulièrement, ces roches présentent de fortes similitudes avec les faciès Culm du bassin de Laval, datés du Dévonien supérieur à Tournaisien inférieur.

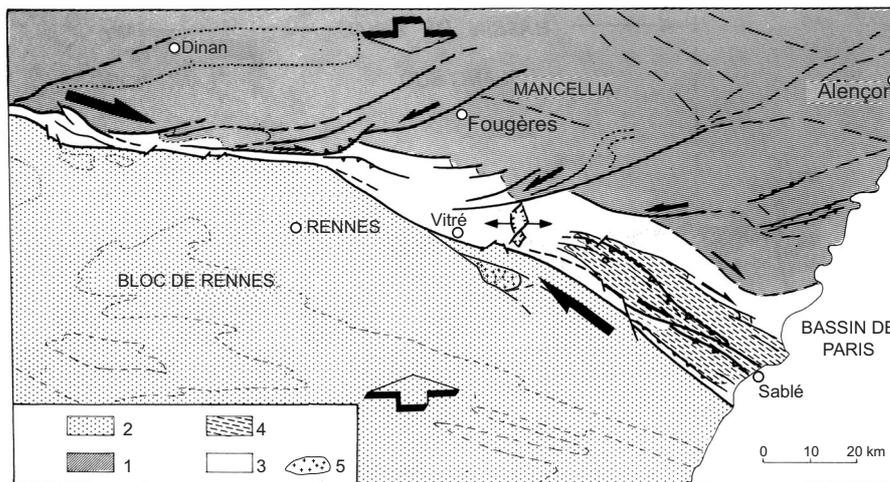


Fig. 8.- Schéma d'évolution en poinçonnement des blocs de Rennes et de Mancellia au cours du Carbonifère (modifié d'après Houlgatte *et al.*, 1988).

1 - Domaine cadomien ; 2 - Briovérien et Paléozoïque du bloc de Rennes ; 3 - Paléozoïque du bassin de Laval ; 4 - Carbonifère du bassin de Laval ; 5 - Leucogranite du Pertre.

Fig. 8.- Indentational-growth scheme of the Rennes and Mancellia blocks during the Carboniferous (after Houlgatte *et al.*, 1988).

1 - Cadomian domain; 2 - Brioverian and Paleozoic of the Rennes block; 3 - Paleozoic of the Laval Basin; 4 - Carboniferous of the Laval Basin; 5 - Pertre leucogranite.

Limite	Mise en place du granite du Pertre	Phase compressive (transpressive), anatexie locale le long du Cisaillement nord-armoricain
Dévonien moyen - Dévonien supérieur	377,6 ± 9,2 Ma 367,5 ± 7 Ma	
Famennien ?	Volcanisme rhyolitique	Ouverture du bassin de Laval
Viséen ?	Cataclase du granite et des rhyolites	Phase compressive, émersion du granite du Pertre
Namuro-Westphalien ?	Dépôt des arkoses	Fonctionnement en pull-apart du bassin de Laval, érosion du granite du Pertre
Westphalien ?	Chevauchements du sud vers le nord	Fermeture du bassin de Laval

Tabl. 4.- Evénements magmatiques et tectoniques dévonien moyen-supérieur à carbonifère dans le secteur du bassin de Laval.

Table 4.- Magmatic and tectonic events of Middle-Late Devonian to Carboniferous age in the Laval Basin area.

Conclusions

La mise en place du massif leucogranitique du Pertre et l'évolution sédimentaire et structurale qui l'accompagne s'inscrivent dans celle du Bassin carbonifère de Laval. Le nouveau schéma que nous proposons, résumé par le tableau 4, est le suivant :

- genèse du leucogranite du Pertre (Dévonien moyen à supérieur) en liaison avec un régime compressif « local » (transpression) induisant une anatexie limitée le long du cisaillement nord-armoricain et une lacune de sédimentation dans le bassin de Laval ;

- ouverture en relais distensif (Famennien ? - Tournaisien ?) du bassin de Laval, s'accompagnant d'un volcanisme acide bordier (rhyolite, tufs rhyolitiques) en début de rifting ;

- cataclase du granite et mylonitisation des rhyolites ;

- fonctionnement en "pull-apart" (Namuro-Westphalien) du bassin de Laval ; à ce stade, le massif est émergé et érodé, des sédiments détritiques s'accumulent sur ses flancs (arkoses-arénites) ;

- structuration (Namurien-Westphalien) et fermeture du bassin de Laval induisant des écaillages au sein des

arkoses (pl. 1, fig. d). Cette phase tangentielle traduirait le poinçonnement des blocs de Rennes et de Mancellia. Rapidement, elle aurait été relayée par une tectonique transcurrente à composante rotationnelle dextre. Ce schéma correspond à l'une des hypothèses formulée par Houlgatte *et al.* (1988) pour la structuration du bassin de Laval (fig. 8).

Finalement on notera que les résultats obtenus montrent que les leucogranites peralumineux, qui sont l'une des manifestations les plus spectaculaires de la phase tectono-métamorphique majeure en Bretagne centrale (phase « bretonne ») (Peucat *et al.*, 1979), ont pu être produits bien avant cette phase, de façon locale et indépendamment d'un épisode de déformation d'expression régionale.

Remerciements

Ce travail a bénéficié d'une relecture critique et constructive de J. Chantaine et A. Cocherie que nous remercions chaleureusement. Il a été financé par le Programme de la Carte géologique de la France, soutenu par la Direction de la Recherche du BRGM.

Références bibliographiques

- Anders E., Grevesse N. (1989) - Abundances of the elements: meteoritic and solar. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **53**, 197-214.
- Arth J.G. (1979) - Some trace elements in trondhjemites-Their implications to magma genesis and paleotectonic setting. *In*: F. Barker Ed., trondhjemites, dacites and related rocks, *Developments in Petrology*, 6, p. 123-132. Elsevier, Amsterdam.
- Autran A., Cogne J. (1980) - La zone interne de l'orogène varisque dans l'Ouest de la France et sa place dans le développement de la chaîne hercynienne. *In*: Géologie de l'Europe, J. Cogne et M. Slansky Eds. Mém. BRGM, 108, 90-111.
- Barker F. (1979) - Trondhjemite: definition, environment and hypotheses of origin. *In*: F. Barker Ed., Trondhjemites, dacites and related rocks. *Developments in Petrology*, Amsterdam, 6, 1-11.
- Barrat J.A. (1984) - Du volcanisme acide d'Argentré du Plessis (Domaine Centre armoricain). *Cahiers géologiques*, Univ. P. et M. Curie, **104**, 717-721.
- Berthois L. (1935) - Recherches sur les minéraux lourds des granites de la partie orientale du Massif armoricain. *Mém. Soc. géol. minéral. Bretagne*, **2**, 1-189.
- Bezier T. (1908) - Sur l'existence de la fluorine cristallisée CaF₂ accompagnée de tourmaline incolore dans les pegmatites de la granulite porphyroïde du Pertre (Ille-et-Vilaine). *Bull. Soc. sci. méd. de l'ouest*, t. 17, 89-91.
- Bigot A., Oehlert D.P. (1903) - Note préliminaire sur le Dinantien d'Argentré (Ille-et-Vilaine). *Bull. Soc. Linn. Normandie* (5), **7**, 238-239.
- Bougault H., Joron J.L., Treuil M. (1980) - The primordial chondritic nature and large-scale heterogeneities in the mantle: evidence from high and low partition coefficient elements in oceanic basalts. *Philos. Trans. r. Soc. London*, A 297, 203-213.
- Cassignol C., Gillot P.Y. (1982) - Range and effectiveness of unspiked potassium-argon dating : experimental groundwork and applications. *In* « Numerical dating in stratigraphy », G.S. Odin ed., John Wiley and Sons, 1, 159-179.
- Chantaine J., Autran A., Cavalier C. (1996) - Carte géologique de la France à l'échelle du millionième, 6^{ème} édition, BRGM, Orléans.
- Chappell B.W., White A.J.R. (1974) - Two contrasting granite types. *Pacific Geol.*, **8**, 173-174.
- Cocherie A., Guerrot C., Rossi P. (1992) - Single-zircon dating by step-wise Pb evaporation: comparison with other geochronological techniques applied to the Hercynian granites of Corsica, France. *Chem. Geol.*, **101**, 131-141.
- Gillot P.Y., Cornette Y. (1986) - The Cassignol technique for potassium-argon dating, precision and accuracy; examples from the late Pleistocene to Recent volcanics from Southern Italy. *Chem. Geol.*, **59**, 205-222.
- Green T.H. (1976) - Experimental generation of cordierite- or garnet-bearing granitic liquids from a pelitic composition. *Geology*, **4**, 85-88.
- Guerrot C., Calvez J.Y., Bonjour J.L., Chantaine J., Chauvel J.J., Dupret L., Rabu D. (1992) - Le Briovérien de Bretagne centrale et occidentale : nouvelles données radiométriques. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 315, II, 1741-1746.
- Harris N.B.W., Pearce J.A., Tindle A.G. (1986) - Geochemical characteristics of collision-zone magmatism. *In*: M.P. Coward and A.C. Ries, *Collision Tectonics*. Geol. Soc. Sp. Publ., Londres, **19**, 67-81.
- Hofmann A.W. (1988) - Chemical differentiation of the Earth. The relationship between mantle, continental crust and oceanic crust. *Earth Planet. Sci. Lett., Amsterdam*, **90**, 297-314.
- Houlgatte E., Le Herisse A., Pelhate A., Rolet J. (1988) - Evolution géodynamique du bassin carbonifère de Laval. *Géol. France*, n° 1, 27-46.
- Julliot J.Y. (1981-1982) - Etude du massif granitique d'Argentré du Plessis, Le Pertre (Ille-et-Vilaine). Rapport de stage inédit BRGM, 55 p.
- Kober B. (1986) - Whole grain evaporation for ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb- age - investigation on single zircons using a double filament thermal ion source. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **93**, 482-490.
- Kober B. (1987) - Single-zircon evaporation combined with Pb+ emitter bedding for ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb-age investigations using thermal ion mass spectrometry and implications for zirconology. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **96**, 63-71.
- Lameyre J. (1980) - Les magmas granitiques, leurs associations, leurs comportements, leurs sources. *Mém. h. Ser. Soc. géol. France*, **10**, 51-62.
- Le Corre C. (1977) - Le Briovérien de Bretagne centrale : essai de synthèse lithologique et structurale. *Bull. BRGM*, I, 3, 219-253.
- Le Corre C. (1978) - Approche quantitative des processus synschisteux. L'exemple du segment hercynien de Bretagne centrale. Thèse d'état, Rennes, 383 p. (inédit).

- Le Corre C., Auvray B., Balleve M., Robardet M. (1991).- Le Massif armoricain. *Sci. géol. Bull.*, **44**, 1-2, 31-103.
- Ludwig K.R. (1999) - Isoplot/Ex version 2.06 : A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center, Special Publication N° 1a. 49 p.
- Montel J.M. (1986).- Experimental determination of the solubility of Ce-monazite in $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-K}_2\text{O-Na}_2\text{O}$ melts at 800°C, 2kbar, under H_2O -saturated conditions. *Geology*, **14**, 659-662.
- Oehlert D.P., Bigot A., Matte H. (1905).- Carte géol. France (1/80 000), feuille Laval (76), 1^{ère} édition.
- Paris F., Le Herisse A., Pelhate A., Weyant M. (1982) - Les formations carbonifères et la phase bretonne dans le synclinorium du Ménez-Bélair : essai de synthèse. *Bull. Soc. géol. minéral. Bretagne*, **14**, 2, 19-33.
- Pearce J.A., Harris B.W.N., Tindle A.G. (1984) - Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *J. Petrol.*, **25**, 4, p. 956-983.
- Pelhate A. (1971) - Le Carbonifère inférieur du Bassin de Laval, Massif armoricain. *Mém. Soc. géol. minéral. Bretagne*, **15**, 315 p.
- Peucat J.J. (1983) - Géochronologie des roches métamorphiques (Rb-Sr et U-Pb) - Exemples choisis au Groënland, en Laponie, dans le Massif armoricain et en Grance Kabylie. *Mém. Soc. géol. minéral. Bretagne*, **28**, 158 p.
- Peucat J.J., Charlot R., Mifdal A., Chantraine J., Autran A. (1979).- Définition géochronologique de la phase bretonne en Bretagne centrale. Etude Rb/Sr de granites du domaine centre armoricain. *Bull. BRGM*, I, 4, 349-356.
- Pichavant M. (1993) - Anatexie crustale et volcanisme. *Mém. Soc. géol. France*, n° 163, et APBG, n° spécial, 139-146.
- Purdy J.W., Jager E. (1976) - K-Ar ages on rock forming minerals from the central Alps. *Memorie di Padova*, XXX.
- Raimbault L. (1984) - Géologie, pétrographie et géochimie des granites et minéralisations associées de la région de Meymac (Haute-Corrèze, France). Thèse Doc. Ing., E.N.S. Mines Paris, 482 p.
- Rolet J. (1982).- La « phase bretonne » en Bretagne : état des connaissances. *Bull. Soc. géol. minéral. Bretagne (C)*, **14**, 2, 63-71.
- Rolet J. (1984) - Graben losangiques (pull-apart) en régime de décrochement. Le rôle des coulissements hercyniens dans l'individualisation des bassins carbonifères du Massif armoricain. *Ann. Soc. géol. Nord*, III, 209-220.
- Rolet J. (1994) - Carboniferous tectonics and pull-apart basin development. *In*: J.D. Keppie Ed., Pre-Mesozoic geology in France, 215-219, Springer-Verlag, Berlin.
- Sagon J.P. (1969).- Le volcanisme dinantien dans la partie orientale du bassin de Châteaulin : région de Saint-Martin-des-Prés, Allineuc (Côtes du Nord). *Bull. Soc. géol. Fr.*, (7), XI, 561-573.
- Saunier J.F. (1986) - Un domaine cristallophyllien dans le Protérozoïque supérieur (Briovérien) de Bretagne centrale : le dôme de Plouguenast (Côtes du Nord). Doc. BRGM, Orléans, 109, 119 p.
- Steiger R.H., Jäger E. (1977) - Subcommission on Geochronology: convention on the use of decay constants in geo- and cosmochronology. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **36**, 359-362.
- Taylor S.R., Mac Lennan S.M. (1985) - The continental crust: its composition and evolution. Blackwell Scient. Publ. Oxford, 312 p.
- Thiéblemont D., Cabanis B. (1990) - Utilisation d'un diagramme (Rb/100)- Tb-Ta pour la discrimination géochimique et l'étude pétrogénétique des roches magmatiques acides. *Bull. Soc. géol. Fr.*, Paris, (8), VI, 1, 23-35.
- Trautmann F., Clement J.P. (1998) - Carte géologique de la France (1/50 000), feuille La Guerche-de-Bretagne (354). Orléans, BRGM. Notice explicative par F. Trautmann et A. Carn (1998).
- Turpin L., Cuney M., Friedrich M., Bouchez J.L., Aubertin M. (1990) - Meta-igneous origin of hercynian peraluminous granites in NW French Massif Central: implications for crustal history reconstructions. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **104**, 163-172.
- Vandernotte L. (1913) - Contribution à l'étude géologique des roches éruptives de la bordure sud-est du Massif armoricain. Thèse, Paris, 191 p.
- Villanova A. (1995) - Place des minéralisations sulfurées dévono-carbonifères dans l'évolution varisque en France (Bretagne). Etude microtectonique et géochimique. DEA, Univ. Orléans, 35 p.
- Villanova A., Thiéblemont D., Lescuyer J.L., Charvet J. (1996) - Géochimie et position du volcanisme associé à l'amas sulfuré de la Porte-aux-Moines (bassin de Châteaulin, Bretagne centrale). Évolution géodynamique du socle de l'Europe, 16 RST, Orléans 10-12 avril 1996, p. 61. Soc. Géol. France édit, Paris.
- Watson E.B., Harrison T.M. (1983) - Zircon saturation revisited: temperature and composition effects in a variety of crustal magma types. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **64**, 295-304.

Planche 1 / Plate 1

Fig. a.- Carrière des Maissonnettes, front nord-est : contact entre les arkoses à pendage sud-ouest et le leucogranite du Pertre cataclasé.

Fig. a.- Maissonnettes quarry, northeast face: contact between southwest-dipping arkose and the cataclased Pertre leucogranite.

Fig. b.- Carrière des Maissonnettes, front sud-ouest : arkoses-arénites à interlits silteux sombres.

Fig. b.- Maissonnettes quarry, southwest face: arkose-arenite with dark silty intercalations.

Fig. c.- Cataclasite à éléments de leucogranite, de rhyolite et de quartz noir.

Fig. c.- Cataclasite with leucogranite, rhyolite and black quartz elements.

Fig. d.- Carrière des Maissonnettes, front nord-ouest : chevauchement intra-arkoses.

Fig. d.- Maissonnettes quarry, northwest face: intra-arkose thrusting.

Planche 2 / Plate 2

Fig. a.- Leucogranite à grain fin à deux micas (cœur du massif) (échantillon CLV18). LPA ($\times 20$).

Fig. a.- Fine-grained two-mica leucogranite (core of the massif) (Sample CLV18); PPL ($\times 20$).

Fig. b.- Leucogranite aplitique porphyrique à deux micas (partie principale du massif) (échantillon CLV1). Noter un feldspath potassique perthitique automorphe à auréole micropegmatitique LPNA ($\times 20$).

Fig. b.- Porphyric aplitic two-mica leucogranite (main body of the massif) (Sample CLV1). Note an automorphic perthitic potassic feldspar with a micropegmatitic halo; APL ($\times 20$).

Fig. c.- Leucogranite porphyroïde à deux micas à grain grossier (faciès de bordure) (échantillon CLV39). LPNA ($\times 20$).

Fig. c.- Porphyroid coarse-grained two-mica leucogranite (rim facies) (Sample CLV39); APL ($\times 20$).

Fig. d.- Encaissant briovérien du leucogranite. Muscovite en rosettes (hydrothermalisme) dans une arénite (échantillon CLV28). LPA ($\times 40$).

Fig. d.- Brioverian host rock of the leucogranite: hydrothermal muscovite rosettes in an arenite (Sample CLV28); PPL ($\times 40$).

Planche 1 / Plate 1



Fig.a.- Carrière des Maisonnettes, front nord-est : contact entre les arkoses à pendage sud-ouest et le leucogranite du Pertre cataclasé.

Fig. a.- Maisonnettes quarry, northeast face: contact between southwest-dipping arkose and the cataclased Pertre leucogranite.



Fig. b.- Carrière des Maisonnettes, front sud-ouest : arkoses-arénites à interlits silteux sombres.

Fig. b.- Maisonnettes quarry, southwest face: arkose-arenite with dark silty intercalations.

Planche 1 / Plate 1 (suite)



Fig. c.- Cataclasite à éléments de leucogranite, de rhyolite et de quartz noir.

Fig. c.- Cataclasite with leucogranite, rhyolite and black quartz elements.



Fig. d.- Carrière des Maisonnettes, front nord-ouest : chevauchement intra-arkoses.

Fig. d.- Maisonnettes quarry, northwest face: intra-arkose thrusting.

Planche 2 / Plate 2

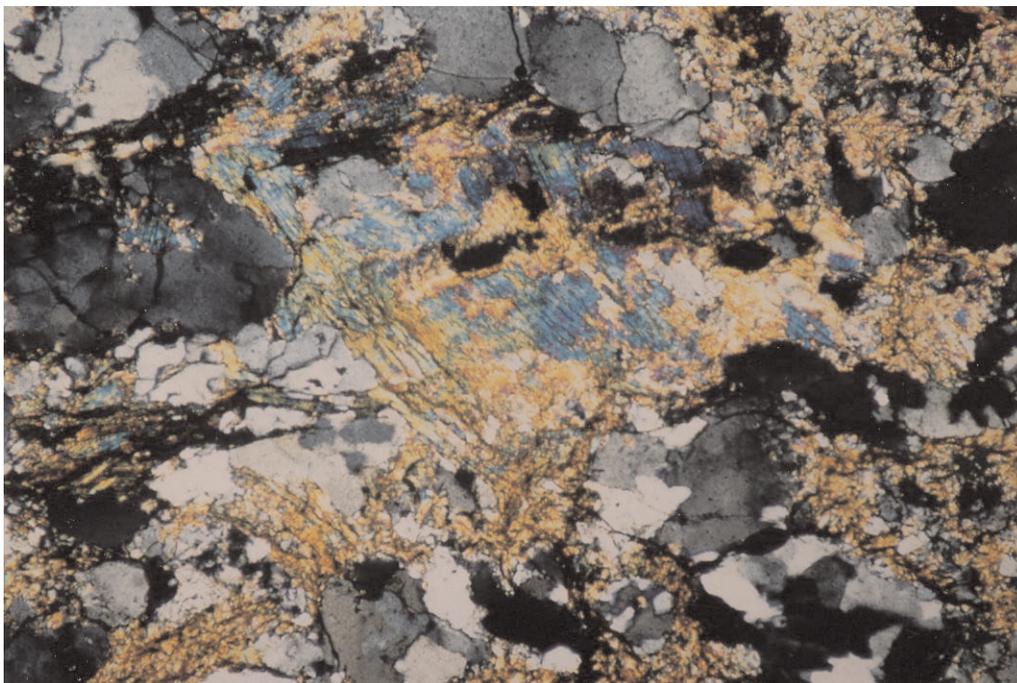


Fig. a.- Leucogranite à grain fin à deux micas (cœur du massif) (échantillon CLV18). LPA ($\times 20$).

Fig. a.- Fine-grained two-mica leucogranite (core of the massif) (Sample CLV18); PPL ($\times 20$).

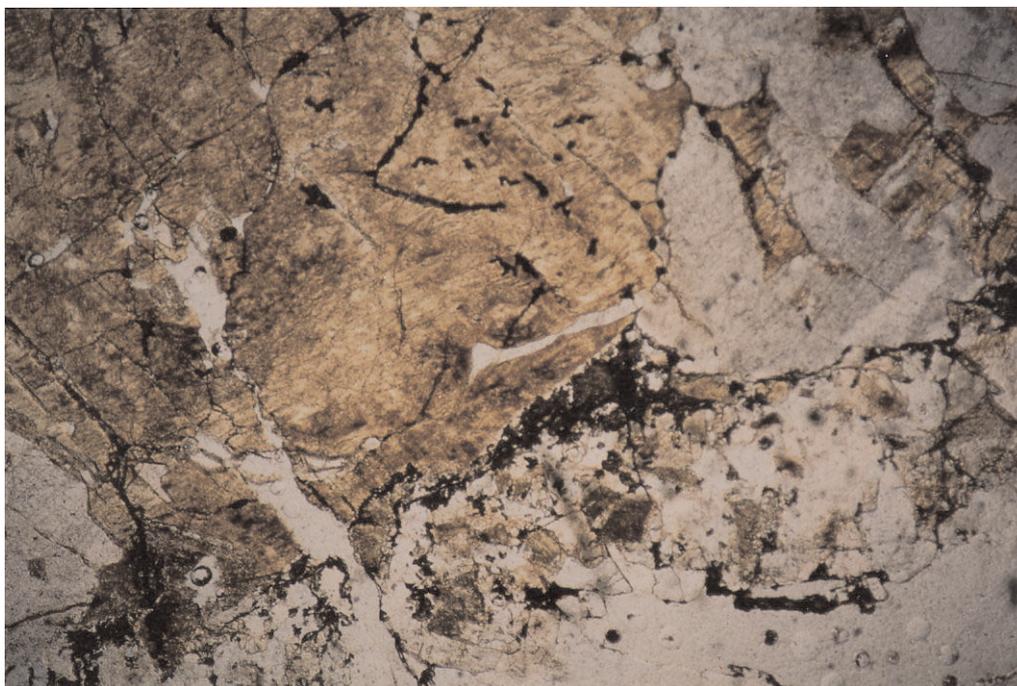


Fig. b.- Leucogranite aplitique porphyrique à deux micas (partie principale du massif) (échantillon CLV1). Noter un feldspath potassique perthitique automorphe à auréole micropegmatitique LPNA ($\times 20$).

Fig. b.- Porphyritic aplitic two-mica leucogranite (main body of the massif) (Sample CLV1). Note an automorphic perthitic potassic feldspar with a micropegmatitic halo; APL ($\times 20$).

Planche 2 / Plate 2 (suite)

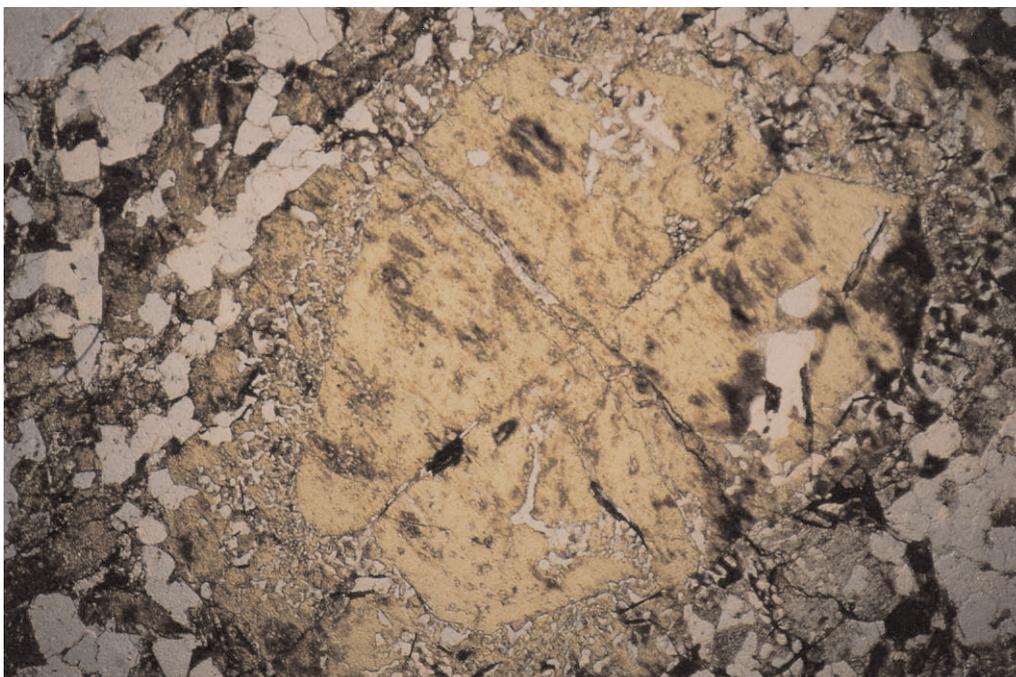


Fig. c.- Leucogranite porphyroïde à deux micas à grain grossier (faciès de bordure) (échantillon CLV39). LPNA (× 20).

Fig. c.- Porphyroid coarse-grained two-mica leucogranite (rim facies) (Sample CLV39); APL (×20).

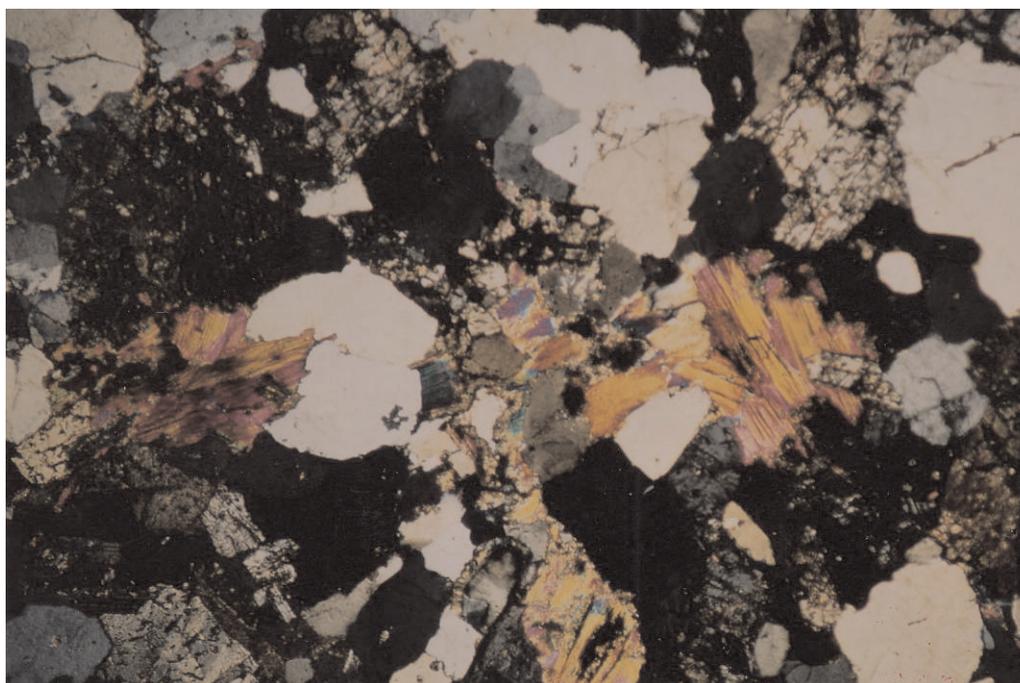


Fig. d.- Encaissant Briovérien du leucogranite. Muscovite en rosettes (hydrothermalisme) dans une arénite (échantillon CLV28). LPA (× 40).

Fig. d.- Brioverian host rock of the leucogranite: hydrothermal muscovite rosettes in an arenite (Sample CLV28); PPL (×40).