

Le complexe de Cholet-Thouars : un ensemble volcano-plutonique cambrien moyen au sein du bloc précambrien des Mauges*

Denis THIÉBLEMONT (1)
Catherine GUERROT (2)
Joël LE MÉTOUR (1)
Pierre JÉZÉQUEL (2)

*The Cholet-Thouars complex: a Middle Cambrian volcano-plutonic unit
within the Mauges Precambrian terrane*

Géologie de la France, n° 1-2, 2001, pp. 7-17, 6 fig., 3 tabl.

Mots-clés : Orogène Varisque, Massif armoricain, Vendée, Choletais, Bloc des Mauges, Précambrien supérieur, Cambrien, Volcanisme, Plutonisme.

Key words: Variscan belt, Armorican Massif, Vendée, Choletais, Mauges terrane, Late Precambrian, Cambrian, Volcanism, Plutonism.

Résumé

La cartographie de la partie orientale du complexe volcano-plutonique acide de Cholet-Thouars, appuyée par des datations nouvelles, permet de préciser la stratigraphie paléozoïque du bloc des Mauges. Le complexe comprend ici trois unités :

1) une série volcanique essentiellement acide (rhyolites du Choletais) surmontant le « substrat » précambrien (Groupe des Mauges) par l'intermédiaire d'un niveau détritique (conglomérats, grès et pélites) daté du Cambrien moyen ;

2) un complexe de dykes rhyolitiques à granophyriques, situé sur la bordure nord de l'unité volcanique et recoupant à « l'emporte-pièce » la foliation des micaschistes du groupe des Mauges ;

3) un massif microgranitique (microgranite de Thouars), incluant des roches basiques comagmatiques, intrusif dans la série volcanique et le complexe de dykes. Localement, ces microgranites renferment des enclaves bréchifiées des mica-schistes des Mauges.

Un âge à 519 +14/-10 Ma, obtenu sur un microgranite, permet de caler l'ensemble du magmatisme dans le Cambrien moyen. Au nord du complexe volcano-plutonique, un massif de granodiorite intrusif dans le Groupe des Mauges (granodiorite de La Mouclerie) fournit un âge identique (521 ± 7 Ma).

Ces résultats montrent l'existence d'un important volcanisme et plutonisme essentiellement acide d'âge Cambrien moyen, au sein du bloc des Mauges, et confirment l'âge antécambrien de la déformation majeure affectant les métasédiments du Groupe des Mauges.

Abstract

Geological mapping in the eastern part of the acidic Cholet-Thouars volcano-plutonic complex, combined with new geochronological results, enables tight constraints to be placed on the Paleozoic stratigraphy of the Mauges terrane. The volcano-plutonic complex includes three units:

1) a mainly acidic volcanic series (Choletais rhyolites) separated from the

underlying Precambrian basement (Mauges Group) by a basal detrital horizon of conglomerates, sandstones, silstones and pelites of Middle Cambrian age;

2) an acidic dyke complex (rhyolites, granophyres) located along the northern border of the volcanic unit and cross-cutting the foliation of the mica schists of the Mauges Group;

3) a mainly microgranitic massif (Thouars microgranite) with comagmatic basic rocks (gabbros, quartz diorites) intrusive within the volcanic series and dyke complex. Locally, the microgranites include some brecciated enclaves of the Mauges mica schists.

A zircon age of 519 +14/-10 Ma obtained on the Thouars microgranite implies a Middle Cambrian age for the magmatism. North of the volcano-plutonic complex, a granodiorite intrusive within the Mauges mica schists (La Mouclerie granodiorite) gives a similar age (521 ± 7 Ma).

These results show that the important and mainly acidic volcanism and

* Manuscrit déposé le 14 mars 2000, accepté le 20 janvier 2001.

(1) BRGM, CDG/CG, BP 6009, 45060 Orléans cedex 2.

(2) BRGM, ANA, BP 6009, 45060 Orléans cedex 2.

plutonism of the Cholet-Thouars region took place during the Middle Cambrian, and confirm the pre-Middle Cambrian age of the main deformation event affecting the Mauges Group.

Abridged English version

Introduction

The Cholet-Thouars complex is a volcanic and plutonic complex of ca. 60 x 15 km located in the Mauges Precambrian block. To the west, it includes a thick and mainly rhyolitic formation ("Choletais rhyolites") which passes eastward into a mainly microgranitic unit with subordinate comagmatic gabbros and diorites ("Thouars microgranite") (Lecointre et al., 1948; Le Métour and Bernard-Griffiths, 1979) (Figs. 1-2). The grouping of the volcanic and plutonic rocks into a single volcano-plutonic complex was first proposed by Santallier (1964) and further confirmed by Le Métour and Bernard-Griffiths (1979) and Thiéblemont (1988) on the basis of field, petrographical, geochemical and geochronological data.

At the base of the rhyolitic formation lies a sedimentary unit of Middle Cambrian age (Cavet et al., 1966) including pelites, siltstones, sandstones and conglomerates. These sediments unconformably overlie Precambrian mica schists of the Mauges Group (Cavet et al., 1966; Wyns and Le Métour, 1983; Le Métour et al., 1989). A Late Cambrian age was initially proposed by Lecointre et al. (1948) and Santallier (1964) for the whole rhyolitic formation. Later, Le Métour and Bernard-Griffiths (1979) divided the rhyolites into two units:

1) a lower unit of Middle Cambrian age, and

2) an upper unit, comagmatic with the Thouars microgranite. An age of 440 Ma obtained by the Rb-Sr method on both the Thouars microgranite and associated rhyolites led Le Métour and Bernard-Griffiths (1979) to propose a Late Ordovician - Early Silurian age for the upper volcanic and plutonic unit.

The purpose of this note is to present new field and geochronological data that precisely define the age of the Cholet-Thouars complex and place additional constraints on the timing of deformation within the Mauges Group.

Field observations

The geological map of Figure 2 summarises the field observations that led us to reconsider the stratigraphy of the Mauges block.

The Mauges Group in the mapped area is composed mainly of meta-greywackes and mica schists showing a major S_1 foliation and a subordinate S_2 crenulation cleavage. The S_1 foliation dips to the south-southwest and its strike is approximately parallel to the border of the Cholet-Thouars complex (Fig. 2). The complex includes two main facies - a pink leuco-microgranite (Thouars microgranite) and a dark subaphyric rhyolite (Choletais rhyolites) - and a third transitional granophyric facies. None of these rocks show any evidence of deformation. At various locations (La Boissotière, La Grande Fondoire, Fig. 2), the microgranite encloses partially migmatized mica schists of the Mauges Group and kilometre-size panels of recrystallized rhyolites.

To the west, the Choletais rhyolites show clearly eruptive facies (ignimbrites, lavas, etc.) in contact with the Middle Cambrian pelites, sandstones and conglomerates with a marked south-southwesterly dip ($\sim 50^\circ$). North of the sedimentary rocks, the rhyolitic and granophyric facies appear as metre- to decametre-thick dykes cross-cutting the Mauges Group mica schists. This dyke complex extends eastward along the northern limit of the microgranite, becoming very intense and locally metamorphosed at the contact with the microgranite.

To the northeast of the study area, the metasedimentary rocks of the Mauges Group are intruded by a granodiorite pluton (La Mouclerie granodiorite). The granodiorite is nowhere deformed, and differs from the Thouars microgranite in being less leucocratic and coarser grained.

Geochronology

Sampling and analytical techniques

Two formations were investigated:

1) the Thouars microgranite, which was sampled close to the rhyolites (Fig. 2), and

2) the La Mouclerie granodiorite. The petrographic descriptions of the studied samples are reported in an Annex.

Two analytical techniques were used, the single-zircon U/Pb technique (dissolution) and the single-zircon Pb-Pb technique (evaporation), and gave coherent results.

Thouars microgranite

The Thouars microgranite was dated by the U/Pb technique. The zircons separated were too few to enable a significant typological indexation (method of Pupin, 1980).

Six fractions of one to six zircons were dissolved, of which only one could not be measured. The crystals are generally small with common inclusions, and have low Pb contents, which gives a high common lead influence leading to high uncertainties. Despite this problem, the $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ ages measured on the five fractions are homogeneous around 520 Ma (Table 1). Only the three most concordant fractions were retained for the age determination (Fig. 3), which gave 519 \pm 14/-10 Ma (Fig. 3) that is interpreted as the age of crystallization of the Thouars microgranite.

La Mouclerie granodiorite

The La Mouclerie granodiorite provided abundant zircons, of which half could be indexed. In the typological distribution diagram of Pupin (1980), these crystals overlap the calc-alkaline and sub-alkaline fields, suggesting a mixed crustal and mantle origin for the original acidic magma (Pupin, 1980).

Both the U/Pb and Pb/Pb techniques were used for the dating of the La Mouclerie granodiorite. The three fractions of five to six zircons selected for the U/Pb dating plot below the Concordia, and show 10%, 6% and 74% discordancy (Fig. 5). The most discordant fraction is characterized by a high uranium content and, thereafter, a high lead content. A Discordia traced from the three fractions intercepts the Concordia at 521 \pm 7 Ma and 177 Ma, this latter age being considered as geologically insignificant. It should be noted that no evidence of heritage was recorded in the analysed fractions.

Ten zircons were analysed by the Pb/Pb technique, of which only three could be measured precisely. The age obtained is 521.1 ± 7.7 Ma, which is perfectly consistent with the U/Pb result, and is interpreted as the age of crystallization of the La Mouclerie granodiorite.

Discussion: stratigraphy of the Cholet-Thouars complex and relationship with the Precambrian of the Mauges Group

Our results show the existence of two distinct magmatic units within the Choletais rhyolites:

1) a volcanic series, and

2) a dyke complex cross-cutting the mica schists of the Mauges Group. The Thouars microgranite, dated at $519 \pm 14/10$ Ma, intrudes the Precambrian mica schists, the rhyolitic volcanic series and the dyke complex.

The difference between the 440 Ma Rb-Sr age obtained by Le Métour and Bernard-Griffiths (1979) on the Thouars microgranite, and the new U/Pb age suggests that the Rb-Sr system was remobilized 80 Ma after the original crystallization of the granitic magma. No conclusive explanation has yet been found for this remobilization.

The Middle Cambrian age determined on the sediments located at the base of the Choletais rhyolites (Cavet et al., 1966) and the new age determination obtained on the Thouars microgranite imply a Middle Cambrian age for the emplacement of the whole volcanic and plutonic Cholet-Thouars complex. This makes the complex the most important magmatic unit of this age discovered in France and clearly distinguishes the Mauges block from neighbouring Armorican geological domains (Middle Brittany, Mancellia).

The tholeiitic to alkaline nature of the Cholet-Thouars complex has led Le Métour and Bernard-Griffiths (1979), Thiéblemont et al. (1987) and Thiéblemont (1988) to envisage an emplacement during an episode of crustal extension. The similar ages obtained on the tholeiitic Thouars microgranite and the calc-alkaline La Mouclerie granodiorite may indicate some kind of relationship between the postulated

extensional zone and a process of plate convergence (back-arc basin setting?).

Finally, our data clearly confirm that the major tectonic event in the Mauges block took place prior to the Middle Cambrian.

Introduction

Le complexe de Cholet-Thouars affleure au sein du bloc précambrien des Mauges selon une bande d'environ 60 km sur 15 km, depuis Cholet jusqu'à Thouars, où il disparaît sous la couverture jurassique. Il comprend une puissante unité éruptive essentiellement rhyolitique à l'ouest (« Rhyolites du Choletais »), qui se prolonge vers l'est en un ensemble à dominante microgranitique (« Microgranite de Thouars ») où se « fondent » des pointements dioritiques à gabbroïques comagmatiques (Lecointre et al., 1948 ; Le Métour et Bernard-Griffiths, 1979) (fig. 1-2). Le regroupement des ensembles volcanique et plutonique a été initialement envisagé par Santallier (1964) sur la base de similitudes pétrographiques et confirmé par les levés cartographiques détaillés et les investigations géochronologiques et géochimiques ultérieures (Le Métour et Bernard-Griffiths, 1979 ; Thiéblemont, 1988).

L'unité rhyolitique surmonte les micaschistes précambriens du Groupe des Mauges par l'intermédiaire d'un niveau détritique fin (pélites et siltites) à grossier (grès et conglomérats), dont un horizon pélitique a été daté du Cambrien moyen par la découverte de Paradoxides (Cavet et al., 1966) (fig. 1 et 2). Une discordance de la série cambrienne sur le Précambrien a été initialement envisagée (mais « non démontrée ») par Cavet et al. (1966) et confirmée par Wyns et Le Métour (1983) et Le Métour et al. (1989). Ceci implique l'existence d'une tectonique anté-cambrienne dans le Groupe des Mauges. Dans cette hypothèse, le niveau conglomératique est considéré comme un faciès terrigène grossier (poudingue) marquant la discordance du Cambrien moyen sur le Précambrien (Santallier, 1964 ; Cavet et al., 1966 ; Le Métour et al., 1989).

Initialement, les rhyolites étaient considérées comme un ensemble volcanique unique rapporté au Cambrien supé-

rieur (Lecointre et al., 1948 ; Santallier, 1964). Une division en deux ensembles a été proposée par Le Métour et Bernard-Griffiths (1979) qui distinguent :

1) une unité inférieure d'âge cambrien moyen, comprenant les conglomérats et schistes, ainsi qu'une première unité rhyolitique ;

2) une unité intermédiaire et supérieure essentiellement rhyolitique, dont le sommet serait « comagmatique » du microgranite de Thouars. La datation de ce microgranite vers 440 Ma (méthode Rb-Sr sur roche totale) a conduit Le Métour et Bernard-Griffiths (1979) à attribuer le volcanisme du Choletais à une période s'étendant du Cambrien moyen à la limite Ordovicien - Silurien.

Le but de cet article est de présenter des observations et datations nouvelles, effectuées dans le cadre du levé des feuilles Montreuil-Bellay (Joubert et al., sous presse) et Vihiers (Thiéblemont, en cours), et qui situent précisément l'âge du complexe de Cholet-Thouars et précisent ses relations avec le Précambrien du Groupe des Mauges.

Observations de terrain

La carte de la figure 2, qui couvre une partie de la terminaison orientale du complexe de Cholet - Thouars, résume les principales observations qui nous conduisent à revoir la stratigraphie du bloc des Mauges.

Dans la région cartographiée, le Groupe des Mauges est représenté par des formations métagrauwackeuses à micaschisteuses (Joubert et al., sous presse). Plus au nord, s'intercale une unité métavolcanique basique ou « Formation de Beaupreau », à affinité tholéiitique (Wyns et Le Métour, 1983 ; Cabanis et Wyns, 1986 ; Wyns et al., 1998). Ces formations montrent la superposition de deux schistosités (S_1 et S_2) (Wyns et Le Métour, 1983) ; dans le secteur étudié, la schistosité majeure (S_1) est fortement pentée vers le SSW, et sa direction apparaît globalement cohérente avec l'allongement du complexe volcano-plutonique (WNW) (fig. 2).

Ce complexe comprend deux faciès principaux étroitement associés : un faciès microgranitique rose très leucocrate

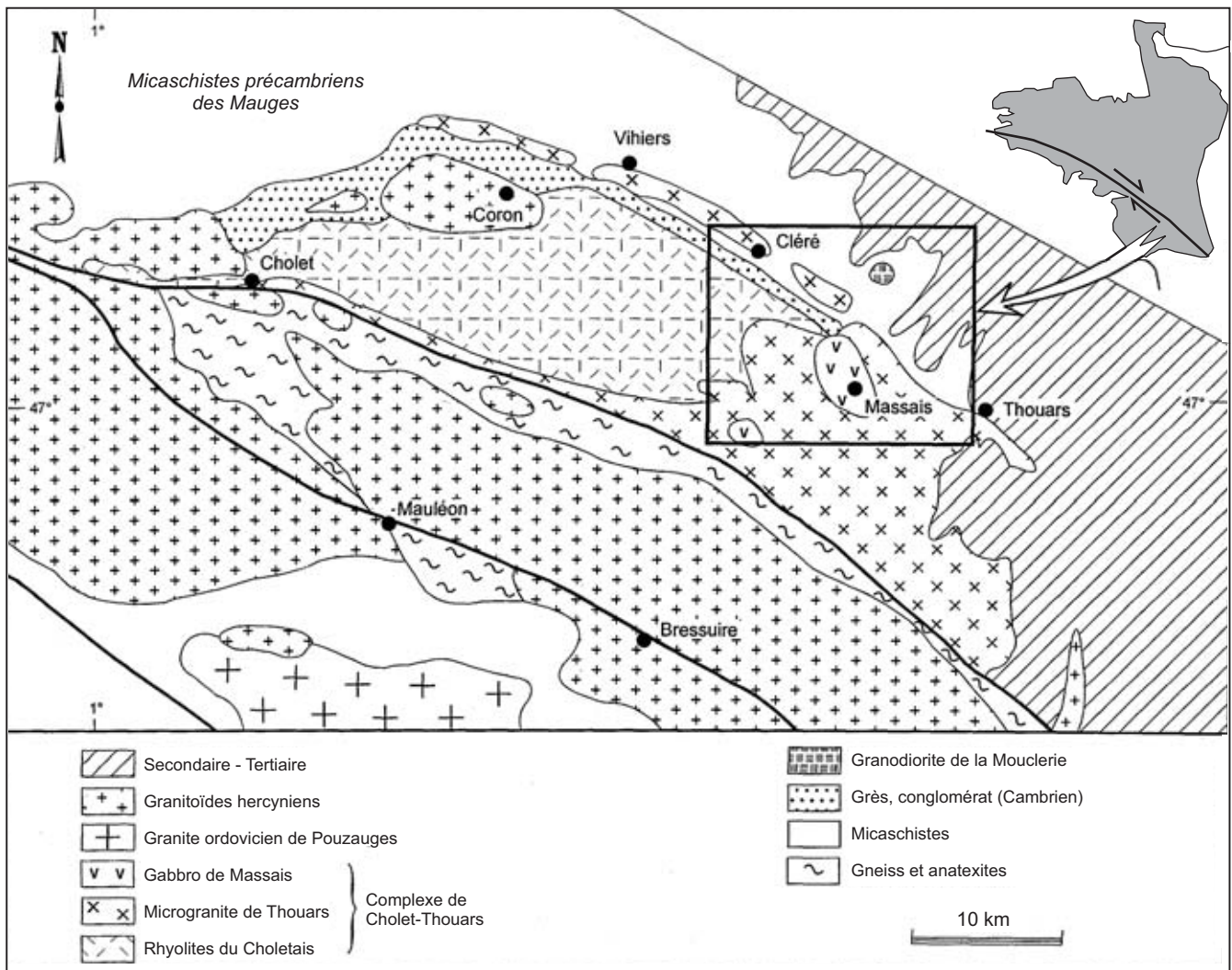


Fig. 1.- Extrait de la carte géologique à 1/320 000 de Nantes (2^{ème} édition, 1972) et localisation du secteur étudié.

Fig. 1.- Extract from the 1:320,000-scale geological map of Nantes (2nd edition, 1972) showing the location of the study area.

(microgranite de Thouars) et un faciès rhyolitique noir, sub-aphyrique (rhyolites du Choletais). Un faciès granophyrique brun, parfois sphérolitique, constitue un terme de transition. Dans le secteur étudié, ces faciès ne montrent aucun indice de déformation pénétrative, les rares orientations que l'on puisse déceler étant attribuables aux phénomènes magmatiques. Ces roches ont fait l'objet de nombreuses descriptions pétrographiques (Lecointre *et al.*, 1948 ; Santallier, 1964 ; Boyer, 1974 ; Thiéblemont, 1988 ; Joubert *et al.*, sous presse) que nous ne reprendrons pas ici.

Le faciès microgranitique occupe le sud-ouest de la région d'étude, où il enclave des gabbros et diorites « comagmatiques » (Le Métour et Bernard-

Griffiths, 1979) (fig. 2). Le microgranite apparaît également selon une bande de largeur kilométrique à plurikilométrique, localisée au nord, et qui constitue l'extrémité orientale d'un alignement de microgranite et diorite que l'on suit sur toute la bordure nord du complexe volcano-plutonique, depuis Thouars jusqu'au nord-ouest de Coron (fig. 1). En différents points (La Boissotière, La Grande Fondoire, fig. 2), le microgranite inclut des amas bréchiques des micaschistes des Mauges, largement fondus et/ou injectés de filonnets leucocrates, mais dont les foliations restent bien reconnaissables.

Le faciès rhyolitique affleure largement dans toute la région étudiée. Vers l'est, il apparaît en panneaux kilométriques enclavés dans le microgranite et localement

cornéifiés. Vers l'ouest, il montre des termes franchement effusifs, localement ignimbritiques (Santallier, 1964 ; Thiéblemont, 1988 ; Le Métour *et al.*, 1989). Le contact avec les micaschistes précambriens se fait par l'intermédiaire des conglomérats à galets quartzeux pluricentimétriques qui présentent ici un pendage marqué (~ 50°) vers le SSW (fig. 2). Les galets de quartz sont cimentés par un matériau très fin dans lequel des paillettes de séricite soulignent une schistosité. Adjacents à ces conglomérats, on trouve les pélites à Paradoxides (Cavet *et al.*, 1966) (fig. 2). Au nord de cette bande, de nombreux dykes de rhyolite et de granophyre (et localement de dolérite) de puissance métrique à décimétrique traversent les micaschistes du Groupe des Mauges, recoupant « à l'emporte pièce » la schistosité S_1 . Vers le sud-est, le réseau filo-

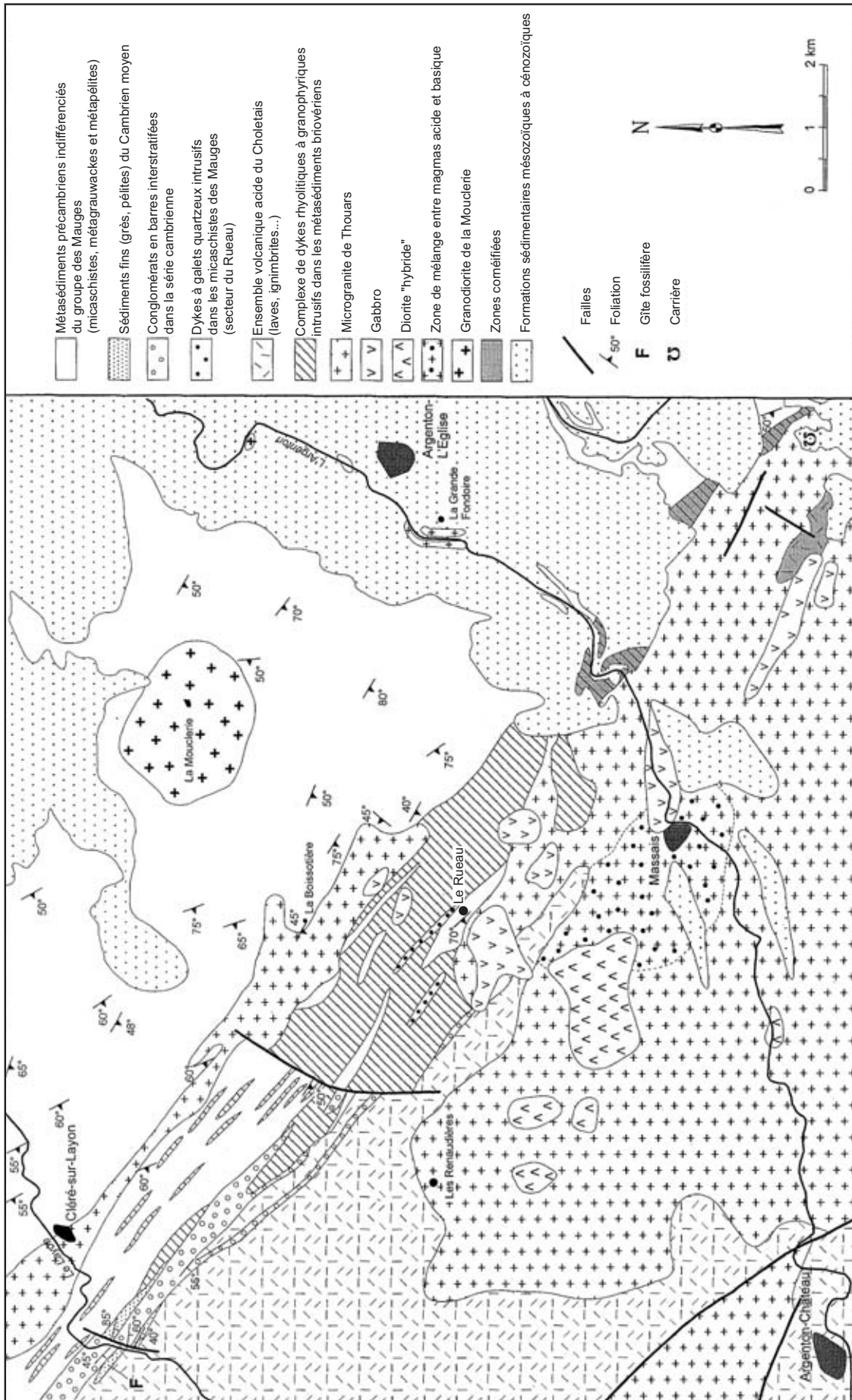


Fig. 2.- Carte géologique de la partie orientale du complexe volcano-plutonique de Cholet-Thouars, avec indication de quelques points d'observations remarquables (dont le gîte fossilifère de la vallée du Layon et autres lieux évoqués dans le texte).

Fig. 2.- Geological map of the eastern part of the Cholet-Thouars volcano-plutonic complex, showing some of the key outcrops.

Echantillon			Concentrations			Rapports isotopiques					Age
#	Min	pds. (µg)	U (ppm)	Pb rad (ppm)	Pb com (pg)	Pb 206/204 [3]	Pb 208/206 [4]	Pb/U 206/238 [4]	Pb/U 207/235 [4]	Pb 207/206 [4]	Pb 207/206 (Ma)
1	1z	5	108	8.8	21	144	0,41	0.0800 ± 8	0.6373 ± 156	0.05779 ± 124	521.9
3	4z	7	329	26.5	60	206	0.37	0.0791 ± 2	0.6300 ± 90	0.05774 ± 50	519.9
4	4z	15	64	5.2	141	51	0.41	0.0777 ± 3	0.6188 ± 200	0.05777 ± 174	521.2
5	5z	6	216	17.9	31	224	0.45	0.0796 ± 2	0.6324 ± 60	0.05765 ± 50	516.5
6	6z	5	256	21.2	30	226	0.44	0.0798 ± 2	0.6359 ± 54	0.05777 ± 44	521.0

Notes :

1 = Minéral : nombre de grains z : zircon

2 = Plomb commun total (étalon, contamination et minéral)

3 = corrigé pour la discrimination de masse

4 = corrigé pour la discrimination de masse, la contamination générale (Pb=15 pg, U=1 pg), l'étalon et le Pb commun initial. Les erreurs sont présentées à 2σ. La composition isotopique du Pb commun initial a été calculée selon le modèle d'évolution à deux stades de Stacey et Kramers (1975).

Tabl. 1.- Résultats analytiques pour les zircons du microgranite de Thouars (échantillon DVI31).

Table 1.- Analytical results for the zircons of the Thouars microgranite (sample DVI31).

nien devient extrêmement dense et tend à prédominer sur les micaschistes. Le long de l'Argenton, de bonnes conditions d'affleurement permettent d'observer une intensification très nette du système filonien à l'approche du massif de microgranite. Près de sa bordure, les dykes et leur encaissant métasédimentaire apparaissent cornéifiés, les deux faciès étant alors très difficiles à distinguer.

Au sein du système filonien, dans le secteur du Rureau (fig. 2), nous avons observé un faciès « conglomératique » à galets quartzeux sous forme d'un dyke métrique recoupant les micaschistes précambriens. Sous le microscope, les galets apparaissent séparés par un fin ciment rhyolitique à texture felsitique. Cette roche, bien que d'aspect macroscopique très proche des conglomérats sous-jacents à la série volcanique a une origine clairement distincte.

Au nord-est du secteur étudié, le Groupe des Mauges est recoupé par un pluton granodioritique (granodiorite de La Mouclerie), exempt de toute déformation, et que son grain souvent assez grossier et sa composition modérément leucocrate distinguent du microgranite.

Géochronologie

Deux formations ont fait l'objet de datations :

1) le microgranite de Thouars, dont un faciès commun a été échantillonné au

voisinage de l'ensemble volcanique acide, dans le secteur des Renaudières (fig. 2) ;

2) la granodiorite de La Mouclerie, échantillonnée au cœur du massif (fig. 2). Les descriptions pétrographiques figurent en annexe 1.

Techniques analytiques

Datation U-Pb sur zircons

Après une séparation classique des minéraux lourds, les zircons sont séparés selon leur susceptibilité magnétique, les moins magnétiques étant le plus souvent les plus concordants (Krogh, 1982a). Ils sont ensuite séparés en populations distinctes s'il y a lieu, et fortement abrasés afin d'accentuer la concordance (Krogh, 1982b). La mise en solution, la séparation et la purification de l'uranium et du plomb sont adaptées de Krogh (1973) et Parrish (1987). Les analyses ont été effectuées sur multiplicateur d'électrons en mode dynamique sur un spectromètre de masse Finnigan MAT 261. Les niveaux de contamination sont inférieurs à 15 pg en Pb et 1 pg en U. Les rapports mesurés sont corrigés du fractionnement, du blanc de procédure, de l'étalon, et du plomb commun initial en utilisant le modèle de Stacey et Kramers (1975). Toutes les erreurs sont données à 2σ. La régression est effectuée selon Davis (1982). Tous les résultats sont donnés à 95 % de niveau de confiance.

Datation Pb-Pb par évaporation sur zircon

Plusieurs cristaux ont été sélectionnés afin d'être analysés en spectrométrie de masse à source solide. La méthode d'évaporation directe du plomb sur monozircon de Kober est utilisée. Un descriptif de cette méthode se trouve dans Kober (1986, 1987) et dans Cocherie *et al.* (1992). Les erreurs sur les âges par paliers et âge par zircon sont données à 1σ (écart type). L'âge moyen est calculé par une moyenne pondérée à partir des différents paliers conservés, l'erreur sur l'âge est donnée à 95 % de limite de confiance, et est calculée par le programme ISOPLOT/EX, version 2.06d (Ludwig, 1999).

Microgranite de Thouars

Les zircons de cette roche sont petits, de couleur jaune et généralement trapus. Ils sont trop rares pour permettre une indexation typologique (méthode de Pupin, 1980) significative. Le microgranite de Thouars a été daté par la méthode U-Pb par dissolution sur zircons.

Sur les six fractions (de 1 à 6 cristaux) mises en solution, seule la fraction 2 n'a pu être enregistrée. Les zircons, en général très petits et contenant des inclusions, sont caractérisés par de faibles teneurs en Pb. Le poids des fractions analysées est en général faible, ce qui rend l'influence du plomb de contamination plus importante.

En effet, les rapports $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ sont faibles quelle que soit la fraction analysée. Ils varient de 51 à 226. La correction de plomb commun est alors très importante et les résultats sont entachés d'une forte erreur. Les résultats obtenus sur les cinq fractions analysées sont reportés dans le tableau 1. Pour toutes ces fractions, malgré des corrections importantes, les âges $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ sont homogènes autour de 520 Ma. Pour le calcul d'âge, les fractions 1 et 3 ne sont pas prises en compte, l'erreur étant trop importante à cause du plomb commun. Les trois fractions conservées (fig. 3) sont sub-concordantes et pratiquement confondues, avec des âges $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ identiques, ce qui rend impossible un calcul de régression. Il est nécessaire de forcer le passage de la régression (passage forcé à 1 ± 50 Ma). L'âge ainsi obtenu est de $519 \pm 14/-10$ Ma (fig. 3). L'erreur importante reflète l'imprécision liée aux corrections de plomb commun. Cet âge est interprété comme l'âge de cristallisation du microgranite de Thouars.

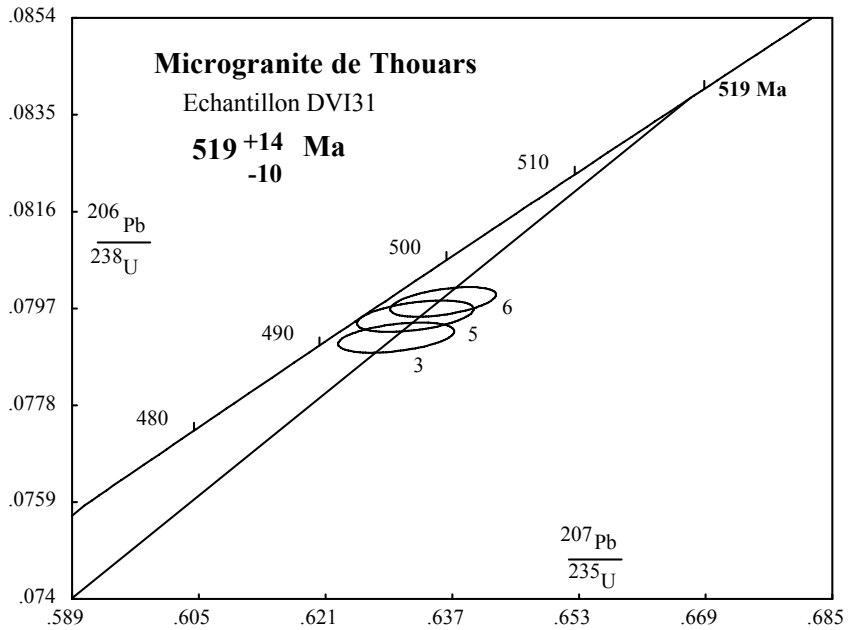


Fig. 3.- Diagramme Concordia U-Pb pour les zircons du microgranite de Thouars (échantillon DVI31). Les chiffres correspondent aux fractions identifiées dans le tableau 1.

Fig. 3.- U-Pb Concordia diagram for the zircons of the Thouars microgranite (sample DVI31). The numbers correspond to the fractions identified in Table 1.

Granodiorite de La Moulerie

Les zircons de cette roche sont abondants, automorphes à arêtes vives et présentent parfois des zonations concentriques. Ils sont dissymétriques et de couleur rose pâle. La moitié de la population a pu être indexée. L'indice moyen est $\bar{A.T} = 572-562$, ce qui se situe dans le domaine calco-alcalin du diagramme typologique (fig. 4). La population, dans son ensemble, recouvre en partie les domaines calco-alcalin et sub-alcalin du diagramme (fig. 4), ceci suggérant une origine hybride (mantellique et crustale) du magma acide (Pupin, 1980).

Sur cet échantillon, l'analyse géochronologique a été effectuée à la fois en dissolution et en évaporation.

En dissolution, trois fractions de cinq à six cristaux les moins magnétiques ont été analysées (tabl. 2). Les trois fractions se situent sous la Concordia avec des degrés de discordance de 10 %, 6 % et 74 % (fig. 5). La fraction 3 est très discordante, et caractérisée par une teneur en uranium très élevée, et donc une teneur en plomb également forte. Les nombreuses désintégrations subies par le réseau cristallin ainsi que la présence de nombreux atomes de plomb vont altérer la structure

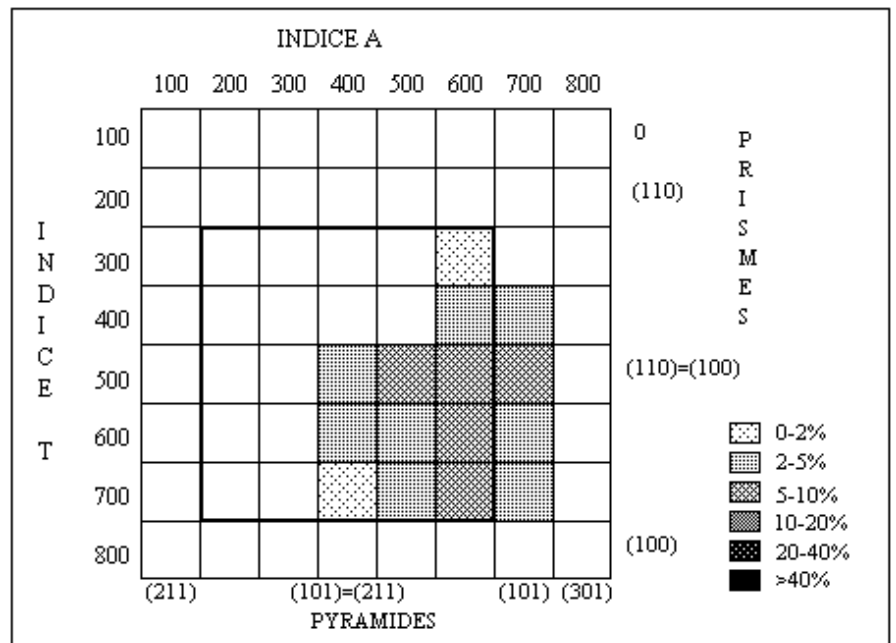


Fig. 4.- Diagramme de répartition typologique des zircons (Pupin, 1980) de la granodiorite de La Moulerie (échantillon DMB123b).

Fig. 4.- Typological distribution diagram (Pupin, 1980) for the zircons of the La Moulerie granodiorite (sample DMB123b).

cristalline du zircon et permettre des pertes de plomb importantes se traduisant par une forte discordance du point analytique. Néanmoins, les trois points sont correctement alignés, définissant une Discordia qui intercepte la Concordia à 521 ± 7 Ma et 177 Ma. L'intercept infé-

rieur n'est pas considéré comme géologiquement significatif. Aucun héritage ancien n'est mis en évidence.

Pour la méthode Pb-Pb par évaporation, dix zircons ont été analysés ; quatre (A, G, I et J) ont donné entre un et trois

Echantillon			Concentrations			Rapports isotopiques					Age
#	Min	pds. (µg)	U (ppm)	Pb rad (ppm)	Pb com (pg)	Pb 206/204 [3]	Pb 208/206 [4]	Pb/U 206/238 [4]	Pb/U 207/235 [4]	Pb 207/206 [4]	Pb 207/206 (Ma)
1	6z	8	534	40.9	6	3211	0.22	0.0788 ± 2	0.6242 ± 28	0.05747 ± 16	509.6
2	5z	11	350	27.6	9	2084	0.23	0.0807 ± 4	0.6416 ± 30	0.05765 ± 20	506.6
3	6z	6	7359	283.7	40	2862	0.01	0.0423 ± 2	0.3138 ± 16	0.05378 ± 8	361.8

Notes :

1 = Minéral : nombre de grains z : zircon

2 = Plomb commun total (étalon, contamination et minéral)

3 = corrigé pour la discrimination de masse

4 = corrigé pour la discrimination de masse, la contamination générale (Pb=15 pg, U=1 pg), l'étalon et le Pb commun initial. Les erreurs sont présentées à 2σ. La composition isotopique du Pb commun initial a été calculée selon le modèle d'évolution à deux stades de Stacey et Kramers (1975).

Tabl. 2.- Résultats analytiques pour les zircons de la granodiorite de La Mouclerie (échantillon DMB123b).

Table 2.- Analytical results for the zircons of the La Mouclerie granodiorite (sample DMB123b).

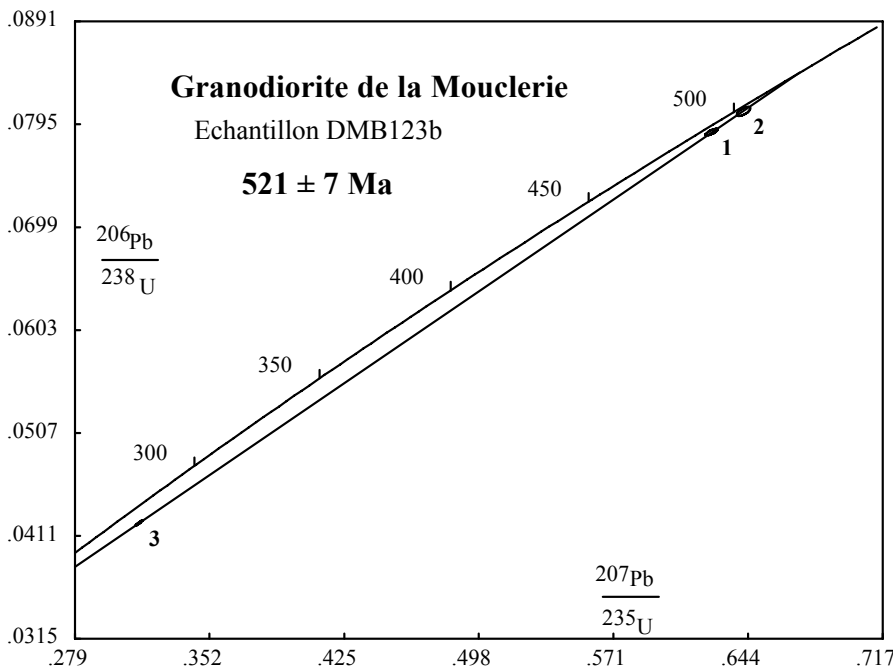


Fig. 5.- Diagramme Concordia U-Pb pour les zircons de la granodiorite de La Mouclerie (échantillon DMB123b). Les chiffres correspondent aux fractions identifiées dans le tableau 2.

Fig. 5.- U-Pb Concordia diagram for the zircons of the La Mouclerie granodiorite (sample DMB123b). The numbers correspond to the fractions identified in Table 2.

paliers, les autres n'ayant pu être enregistrés. Le zircon A n'a été enregistré que sur un seul bloc à 1420°C, ce qui n'a pas permis d'obtenir un nombre de rapports suffisant. L'âge a donc été calculé d'après trois zircons, soit cinq paliers de température (fig. 6). Le résultat obtenu (521,1 ± 7,7 Ma) est parfaitement cohérent avec le précédent. Cet âge est interprété comme l'âge de cristallisation de la granodiorite de la Mouclerie.

Discussion : stratigraphie du complexe de Cholet - Thouars et relation avec le Précambrien des Mauges

Les résultats présentés dans cette note précisent la structure de la partie orientale du complexe volcano-plutonique de Cholet - Thouars. Deux entités sont distinguées au sein de l'ensemble rhyolitique (rhyolites du Choletais) :

1) une série volcanique ;

2) un complexe de dykes rhyolitiques à granophyriques recoupant à « l'emporte-pièce » la foliation des micaschistes précambriens. Le microgranite de Thouars, daté à 519 +14/-10 Ma, est intrusif dans la série volcanique et le complexe de dykes, et renferme localement des enclaves des micaschistes précambriens.

Ce microgranite, ainsi que des rhyolites qui lui sont associées, ont été précédemment datés vers 440 Ma par la méthode Rb-Sr sur roche totale (Le Métour et Bernard-Griffiths, 1979). Ce résultat apparaît incompatible avec notre nouvelle datation, qui indique un âge de cristallisation cambrien moyen pour le magma acide. On doit donc conclure que la datation précédente témoigne d'un « rajeunissement » du système Rb-Sr. Le Métour et Bernard-Griffiths (1979) notent qu'un tel phénomène peut résulter de la dévitrification des verres volcaniques et/ou du passage des feldspaths de formes de haute température vers des formes de basse température. L'excellente définition des isochrones obtenues sur les microgranites et rhyolites implique une « réhomogénéisation » totale du système Rb-Sr vers la limite Ordovicien - Silurien. Aucun phénomène magmatique ou hydrothermal de cet âge n'est connu au sein du bloc des Mauges aussi, le problème reste-t-il entier.

La présence de Paradoxides à la base de la série volcanique (Cavet *et al.*, 1966) et la datation nouvelle obtenue sur le microgranite situent la mise en place du complexe volcano-plutonique de Cholet - Thouars au Cambrien moyen, ce qui en fait

le plus volumineux témoin d'un magmatisme de cet âge connu en France. Cet ensemble, de nature tholéiitique à alcaline, est rapporté à un épisode de distension crustale ayant affecté le bloc des Mauges (Le Métour et Bernard-Griffiths, 1979 ; Thiéblemont *et al.*, 1987 ; Thiéblemont, 1988). L'âge obtenu sur la granodiorite de La Mouclerie (521 ± 7 Ma), identique à celui du microgranite de Thouars, confirme l'existence d'un plutonisme cambrien moyen dans le bloc des Mauges et y suggère la possibilité d'une signature calco-alcaline discrète. Cette signature peut suggérer une relation entre la distension et un phénomène de convergence de plaque (contexte de bassin arrière-arc ?).

L'importance de ce magmatisme cambrien distingue clairement le bloc des Mauges du domaine centre-armoricain, dans lequel les premières manifestations volcaniques postérieures au Briovérien sont datées de l'Arénigien (Bonjour et Odin, 1989). De même, si un volcanisme essentiellement acide, s'échelonnant du Cambrien inférieur aux temps pré-aréniens (Le Gall et Cabanis, 1985), est connu en Normandie, cette région se distingue clairement du bloc des Mauges par la présence d'un important complexe de granodiorites peralumineuses (Batholite mancellien), mises en place à l'issue de l'orogénèse cadomienne (~ 540 Ma) et intrusives dans le Briovérien.

Enfin, outre les précisions sur l'âge et la stratigraphie du magmatisme, nos résultats confirment l'âge anté-cambrien de la déformation majeure dans le Groupe des Mauges (Cavet *et al.*, 1966 ; Wyns et Le Métour, 1983 ; Le Métour *et al.*, 1989). Les arguments les plus évidents sont les suivants :

- 1) superposition totale du complexe de dykes rhyolitiques sur les structures des micaschistes des Mauges ;
- 2) bréchification de ces micaschistes dans les microgranites ;
- 3) cornéification « fossilisant » les structures des micaschistes en bordure du microgranite.

Zircon	T(°) palier	Nbre rappor ts	^{206}Pb ^{204}Pb	^{208}Pb ^{206}Pb	$^{207}\text{Pb}^*/^{206}\text{Pb}^*$ $\pm 1\sigma$	Age par palier $\pm 1\sigma$	Age par Zircon $\pm 1\sigma$	Age moyen (Ma) $\pm 2\sigma$
Zr A	1420	5	16690	0.063	0.05748 ± 44	510 ± 17		377 ± Ma MSWD = 0.28
Zr G	1420	29	6550	0.106	0.05784 ± 32	524 ± 12	520 ± 11	
	1440	27	41210	0.091	0.05764 ± 25	516 ± 9		
Zr I	1420	62	83160	0.083	0.05787 ± 15	525 ± 6	525 ± 6	
Zr J	1420	15	14610	0.094	0.05759 ± 73	514 ± 27	517 ± 11	
	1440	53	17080	0.132	0.05773 ± 32	520 ± 12		
	1640	69	70490	0.143	0.05761 ± 27	515 ± 10		

Tabl. 3.- Données analytiques obtenues par évaporation du plomb sur monozircon pour la granodiorite de la Mouclerie (échantillon DMB123b). 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 (en gras) et est donné à $\pm 2\sigma$ (95 % limite de confiance).

Table 3.- Analytical results obtained by the single-zircon Pb evaporation technique for the La Mouclerie granodiorite (sample DMB123b). The errors on the ages for each temperature step and each zircon are given to 1σ (standard deviation). The mean age is the weighted average of the ages obtained at the different temperature steps (bold characters) and is given to $\pm 2\sigma$ (95% confidence limit).

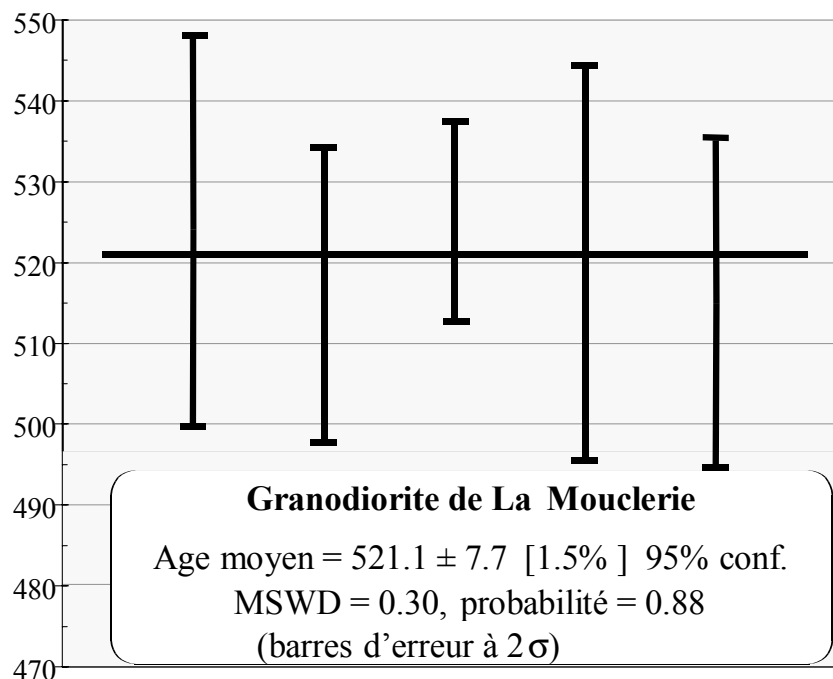


Fig. 6.- Diagramme palier de température vs. âge $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ pour les zircons de la granodiorite de La Mouclerie (échantillon DMB123b).

Fig. 6.- Temperature step vs. $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ age for the zircons of the La Mouclerie granodiorite (sample DMB123b).

Références

- Bonjour J.L., Odin G.S. (1989) - Recherche sur les volcanoclastites des Séries Rouges Initiales en presqu'île de Crozon : premier âge radiométrique de l'Arénig. *Géologie de la France*, n° 4, 3-8.
- Boyer C. (1974) - Volcanismes acides paléozoïques dans le Massif Armoricain. Thèse d'Etat, Orsay, 384 p.
- Cabanis B., Wyns R. (1986) - Le volcanisme précambrien des Mauges (sud-est du Massif armoricain) et ses caractères géochimiques. *Hercynica*, Rennes, (II), 1, 71-78.

- Cavet P., Gruet M., Pillet J. (1966) - Sur la présence de Cambrien à paradoxides à Cléré-sur-Layon (Maine-et-Loire), dans le Nord-Est du Bocage vendéen (Massif armoricain). *C.R. Acad. Sci., Fr.*, Paris, **263**, (D), 1685-1688.
- 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.
- Davis D.W. (1982) - Optimum linear regression and error estimation applied to U-Pb data. *Can. J. Earth Sci.*, **19**, 2141-2149.
- Joubert J.M., Thiéblemont D., Karnay G., Wyns R. (sous presse) - Carte géologique de Montreuil-Bellay et notice explicative. Editions du BRGM.
- 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.
- Krogh T.E. (1973) - A low-contamination method for hydrothermal decomposition of zircon and extraction of U and Pb for isotopic age determination. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **37**, 485-494.
- Krogh T.E. (1982a) - Improved accuracy of U-Pb zircon dating by selection of more concordant fractions using a high gradient magnetic separation technique. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **46**, 631-635.
- Krogh T.E. (1982b) - Improved accuracy of U-Pb zircon ages by the creation of more concordant systems using an air abrasion technique. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **46**, 637-649.
- Le Gall J., Cabanis B. (1985) - Caractères minéralogiques et géochimiques des ignimbrites et des laves cambriennes de l'Est du Massif armoricain. Implications pétrogénétiques. *Hercynica*, **1**, 2, 99-109.
- Le Metour J., Bernard-Griffiths J. (1979) - Age (limite Ordovicien - Silurien) de mise en place du massif hypovolcanique de Thouars (Massif Vendéen). Implications géologiques. *Bull. BRGM, Fr. (2)*, **1**, 4, 365-371.
- Le Metour J., avec la collaboration de Blouin J.P., Chantraine J., Clozier L., Etienne H. (1989) - Notice explicative, Carte géologique de la France (1/50 000), feuille Cholet (510). BRGM, Orléans, 55 p. Carte géologique par Clozier L. et Le Metour J. (1984).
- Lecointre G., Mathieu G., Waterlot G. (1948) - Carte géologique détaillée à 1/80 000, feuille Saumur, 2^{ème} Edition.
- Ludwig K.R. (1999) - Isoplot/Ex version 2.06 : A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center, Special Publication N° 1a. 49 p.
- Parrish R.R. (1987) - An improved micro-capsule for zircon dissolution in U-Pb geochronology. *Chem. Geol. (Isotop. Geosc. Sect.)*, **66**, 99-102.
- Pupin J.P. (1980) - Zircon and granite petrology. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **73**, 207-220.
- Santallier D. (1964) - Etude des roches granitiques et des laves paléozoïques du Choletais. Thèse 3^{ème} cycle, Paris, 117 p.
- Stacey J.S., Kramers J.D. (1975) - Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two stage model. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **26**, 207-221.
- Thiéblemont D. (1988) - Le magmatisme paléozoïque en Vendée. Apport de la géochimie des éléments traces et de la pétrologie du métamorphisme à la compréhension du développement orogénique varisque. Document du BRGM, Orléans, n° 157, 365 p.
- Thiéblemont D., Cabanis B., Le Metour J. (1987) - Etude géochimique d'un magmatisme de distension intracontinentale : la série bimodale ordovico-silurienne du Choletais (Massif Vendéen). *Géologie de la France*, **1**, 65-76.
- Wyns R., Le Métour J. (1983) - Le Précambrien du massif vendéen. Etude détaillée de deux coupes de référence (coupes de l'Evre et de la Divatte) et synthèse des données récentes. Document du BRGM, Orléans, 68, 60 p.
- Wyns R., Lardeux H., Moguedet G., Duermael G., Gruet M., Biagi R. avec la collaboration de Balleve M., Chevremont P. (1998) - Notice explicative, carte géologique de la France (1/50 000), feuille Chemillé (483). BRGM, Orléans, 72 p. Carte géologique par Wyns R., Clement J.P., Lardeux H., Gruet M., Moguedet G., Biagi R. et Balleve M. (1998).

Annexe 1

Description pétrographique des échantillons datés

Echantillon DMB123b

Granodiorite de la Mouclerie

Microgranodiorite à biotite et rare amphibole

Texture microgrenue équante avec biotite assez abondante en phénocristaux automorphes frais, souvent groupés (ils peuvent alors évoquer des enclaves) et à fréquentes inclusions d'opakes.

Petits paquets d'amphibole fibreuse peu colorée (actinote ??).

Plagioclase abondant, automorphe, souvent zoné.

Quartz en assez gros cristaux interstitiels.

Feldspath potassique assez abondant, mais en position interstitielle associé au quartz.

Altération limitée : séricite dans plagioclase et chloritisation très locale de la biotite.

Accessoires : zircon, apatite.

Echantillon DVI31

Microgranite de Thouars.

Microgranite partiellement recristallisé, à nombreux « bourgeons » myrmékistiques.

Texture microgrenue équante à granophyrique.

Plagioclase abondant, en phénocristaux automorphes saussuritisés. Taille millimétrique à plurimillimétrique (5 mm pour certains individus allongés).

Quartz abondant en cristaux limpides sub-millimétriques.

Feldspath potassique abondant, en plages polycristallines regroupant des individus inframillimétriques adjacentes aux quartz et plagioclase.

« Bourgeons myrmékistiques » abondants (~ 20% du volume) en position interstitielle.

Chlorite assez fréquente, interstitielle, en partie développée au détriment de la biotite.

Epidote assez fréquente, en grains dans plagioclase (saussurisation) ou dans le fond de la roche associée à la chlorite.

Accessoires : opakes (pro-parte hématite) localement assez abondants (avec chlorite) et altérés. Zircons rares et de petite taille.

LE LITTORAL

Problèmes et pratiques de l'aménagement

sous la direction de **B. Gérard**

Manuels et Méthodes n° 32, 1 vol., 352 p. (1999)

Quel est l'apport des scientifiques aux processus de décision à propos d'aménagement du littoral et de quelles informations les décideurs doivent-ils disposer pour permettre un développement économique respectueux de l'environnement ? Telles sont les questions étudiées dans cet ouvrage qui montre avant tout qu'une approche globale des problèmes doit être envisagée et que la pertinence des solutions dépendra, d'une part, de la mobilisation simultanée des différents acteurs : scientifiques, décideurs, usagers et, d'autre part, de leur capacité à dialoguer. Rédigé par un collectif de 23 auteurs, spécialistes du domaine, il privilégie l'approche pluridisciplinaire.

What is the scientist's role in the decision-making processes relative to coastal development and what data is required by the decision makers to ensure economic development in harmony with the environment? These and other questions are tackled in this manual, which shows above all that a global approach to the problems must be adopted and that the aptness of the solutions depends both on the simultaneous involvement of the different parties (scientists, decision makers and users) and on their abilities to communicate. With contributions from 23 authors specialized in this domain, it favours the multidisciplinary approach.

Prix de vente : 350 F + 50 F de frais de port et d'emballage pour la France et **60 F** pour l'Étranger.

En vente chez votre libraire habituel ou aux : Éditions BRGM - BP 6009 - 45060 Orléans Cedex 2 - France - Tél. : 02 38 64 30 28.
Fax : 02 38 64 36 82 accompagné de votre titre de paiement.