



HAL
open science

Zonation du métamorphisme éclogitique dans la nappe de Champtoceaux (Massif armoricain, France)

Michel Ballevre, Jacques Marchand

► **To cite this version:**

Michel Ballevre, Jacques Marchand. Zonation du métamorphisme éclogitique dans la nappe de Champtoceaux (Massif armoricain, France). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris*, 1991, Serie II (312), pp.705-711. insu-01494873

HAL Id: insu-01494873

<https://insu.hal.science/insu-01494873>

Submitted on 24 Mar 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Zonation du métamorphisme écolitique dans la nappe de Champtoceaux (Massif armoricain, France)

Michel **BALLÈVRE** et Jacques MARCHAND

Résumé – Dans l'unité inférieure de la nappe de Champtoceaux (Massif armoricain, France), les assemblages écolitiques dans les métapelites et les metabasites mettent en évidence une augmentation régionale des conditions P-T durant l'épisode HP. Cette variation traduit une différence de profondeur d'enfouissement durant la collision hercynienne.

Zoning of the eclogite-facies metamorphism in the Champtoceaux nappe (Armorican massif, France)

Abstract – Mineral assemblages within metapelites and metabasites from the lower unit of the Champtoceaux nappe (Armorican massif, France) reveal regionally increasing P-T conditions during the eclogite-facies event. These differences are related to variations in burial depth at the onset of the Hercynian collision.

Abridged English Version – One goal of petrological studies in collision orogens is to estimate maximum pressures reached by a given tectonic unit, because pressure is the only measurable record of the depth to which this unit has been buried. In addition, regional variations of pressure within a single unit during one metamorphic event document variations in depth during the orogenic history. Such variations are rarely known ([2], [3]). We report here the first example in eclogite-facies rocks of the Hercynian belt.

GEOLOGICAL SETTING. – The Champtoceaux nappe [4] is a crustal-scale thrust located in the South-Armorican domain (Armorican massif, France) between two major faults: the Nort-sur-Erdre Fault to the north and the southern branch of the South Armorican Shear Zone to the south (*Fig. 1*). The nappe consists of several imbricated units [5], the lower one being characterised by an early eclogite-facies event.

PETROLOGICAL DATA. – From the left bank of the River Loire to Pontchâteau, low-variance assemblages within metapelites are as follows.

1. Quartz + white mica + garnet + chloritoid + chlorite + ilmenite + graphite (*Fig. 1*, locality A).
2. White mica + garnet + chloritoid + chlorite + ilmenite + graphite (*Fig. 1*, locality B).
3. Quartz + white mica + garnet + chlorite + rutile, with chloritoid inclusions within garnet (*Fig. 1*, locality C).
4. Quartz + white mica + garnet + kyanite + rutile ± graphite, with chloritoid and staurolite inclusions within garnet (*Fig. 1*, localities D and E) ([17]-[18]).
5. White mica + garnet + chloritoid + rutile + graphite (*Fig. 1*, locality E).

Most white micas are phengitic muscovites, but paragonite is also found in some parageneses (e. g. 3 and 4). Secondary chlorites are found in all assemblages but textural relations suggest that primary chlorites are only present in assemblages 1 to 3.

P-T ESTIMATIONS WITHIN METAPELITES. – Petrogenetic grids are used in order to define the P-T stability field for each assemblage. Phase relations within metapelites are first analyzed in the reduced TiO₂-FASH system (TiO₂-FeO-Al₂O₃-SiO₂-H₂O) (*Fig. 2*). For example, assemblage 1 occurs at lower pressures and lower temperatures than the equilibrium

Note présentée par Jean AUBOUIN.

“Cld + Ilm + Qtz = Alm + Ru + V”. By contrast, the stability field of assemblage 4 is restricted to higher temperatures than the terminal reactions for chloritoid and staurolite in quartz-bearing rocks. As a whole, the breakdown of chloritoid and ilmenite and the appearance of kyanite and rutile in quartz-bearing metapelites reveal regionally increasing pressures and temperatures from La Varenne (*Fig. 1*, locality A) to Fay de Bretagne (*Fig. 1*, locality E). The regional temperature increase can also be documented in the KFMASH system (K₂O-FeO-MgO-Al₂O₃-SiO₂-H₂O) [22]. Assemblage 1 crystallised at lower temperatures than the terminal reaction “Cld = St + Grt + Chl” whereas assemblage 4 is stable at temperatures higher than the equilibrium “St + Cld = Grt + Ky” [18].

ECLOGITE-FACIES ASSEMBLAGES IN OTHER LITHOLOGIES. — The regional variation of P-T conditions deduced from known parageneses within eclogite-facies metapelites is consistent with the following observations:

— kyanite-bearing eclogites occur in localities E and F, whereas kyanite has never been found in eclogites from the other localities;

— garnet + omphacite (jadeite 55) + kyanite or garnet + jadeite + paragonite + phengite assemblages occur within quartz-rich rocks from locality E [17].

The latter assemblages crystallised at higher pressures than the equilibrium paragonite = omphacite (jadeite 55) + kyanite + H₂O but at lower pressures than the end-member reaction paragonite = jadeite + kyanite + H₂O.

CONCLUSION. — The Hercynian belt contains a great amount of eclogite-facies relicts [23]. We report here the existence of regional variations of P-T conditions during the eclogite-facies event within a single, coherent unit. This zoning of the eclogite-facies metamorphism is established using low-variance assemblages within metapelites and is consistent with the distribution of cofacial assemblages within eclogites as well as quartz-rich rocks. The observed increase in P-T conditions (*Fig. 2*) means that the depth of the studied unit increased from the left bank of the River Loire to Pontchâteau (*Fig. 1*) during the eclogite-facies event, *i. e.* during the early collisional history.

LIST OF ABBREVIATIONS. — Alm (Almandine), Chl (Chlorite), Cld (Chloritoid), Gr (Graphite), Grt (Garnet), Ilm (Ilmenite), Jd (Jadeite), Ky (Kyanite), Omph (Omphacite), Par (Paragonite), Phg (Phengite), Qtz (Quartz), Ru (Rutile), Sil (Sillimanite), St (Staurolite), V (Vapour), WM (White mica).

1. INTRODUCTION. — L'analyse pétrologique de l'histoire P-T des domaines de collision procède suivant deux approches complémentaires. La première est l'analyse de l'évolution des conditions P-T dans le temps (« chemin » P-T d'une roche ou d'une unité). La deuxième est l'analyse des variations dans l'espace des conditions P-T durant un épisode métamorphique donné. Les relations entre ces deux approches ont été clarifiées grâce aux modèles thermiques [1]. Il a rarement été possible de définir, pour un même épisode et pour une même unité, des variations régionales des conditions P-T, qui témoignent alors de différences de profondeur d'enfouissement. De telles variations n'ont pu en effet être mises en évidence, en faciès éclogite, que dans les Calédonides scandinaves [2] et les Alpes centrales [3]. Cette Note a pour objet de décrire le premier exemple de variation régionale des conditions P-T en faciès éclogite dans la chaîne hercynienne, en l'occurrence dans la nappe de Champtoceaux (Massif armoricain, France).

2. CONTEXTE GÉOLOGIQUE. — La nappe de Champtoceaux [4] est un chevauchement d'échelle crustale qui est situé dans le domaine sud-armoricain (*fig. 1*). Plusieurs unités [5], de constitution lithologique et d'histoire P-T différentes [6], chevauchent des métasédiments de bas grade (« micaschistes de Mauves-sur-Loire »).

Au Nord, cet empilement est limité par la faille de Nort-sur-Erdre (*fig. 1*), le long de laquelle s'observent des péridotites serpentinisées à reliques de grenat [7]. Cette faille sépare la nappe de Champtoceaux des formations paléozoïques de l'unité de Saint-Georges-sur-Loire, où le métamorphisme est de bas grade [8].

Au Sud, la nappe de Champtoceaux est recoupée par la branche méridionale de la zone de cisaillement sud-armoricaine [9] dont le jeu décrochant dextre, d'âge Carbonifère, a déformé ses bordures et s'est accompagné (i) d'un plissement d'axe Est-Ouest de l'empilement d'unités et (ii) de l'intrusion de leucogranites (Vigneux) (*fig. 1*). Notre analyse est restreinte à l'unité inférieure de la nappe de Champtoceaux, où sont seules préservées en abondance des reliques de haute pression.

3. RÉPARTITION SPATIALE DES PARAGENÈSES ÉCLOGITIQUES. — Les paragenèses éclogitiques sont observées dans toutes les lithologies présentes : métabasites ([10]-[16]), métapélites ([10], [17]-[18]) et métagranites [19]. Pour définir les variations des conditions P-T durant l'épisode éclogitique, nous avons systématiquement recherché les associations de faible variance dans les métapélites (*fig. 1*). Des informations complémentaires sont fournies par les métabasites.

Dans les *métapélites*, les assemblages observés sont, du Sud de la Loire vers Pont-Château :

1. Quartz + mica blanc + grenat + chloritoïde + chlorite + ilménite + graphite : la Varenne (*fig. 1, A*) :

2. Mica blanc + grenat + chloritoïde + chlorite + ilménite + graphite : Saint-Mars-du-Désert, lieu-dit la Picherais (*fig. 1, B*).

3. Quartz + mica blanc + grenat + chlorite + rutile, avec inclusions de chloritoïde dans le grenat : Héric, lieu-dit Maisonneuve (*fig. 1, C*).

4. Quartz + mica blanc + grenat + disthène + rutile ± graphite, avec inclusions de staurotide et chloritoïde au cœur du grenat ([17], [18]) : Blain, lieu-dit la Ballerie (*fig. 1, D*) et Fay-de-Bretagne, lieu-dit la Richaudais (*fig. 1, E*).

5. Mica blanc + grenat + chloritoïde + rutile + graphite : Fay-de-Bretagne, lieu-dit la Madeleine (*fig. 1, E*).

Dans toutes ces paragenèses, le mica blanc est en général de la muscovite phengitique, à laquelle s'associe parfois de la paragonite, par exemple dans les associations 3 et 4. La position chronologique de la chlorite est parfois difficile à définir : aussi n'a-t-elle été mentionnée que dans les assemblages où elle est probablement primaire.

Dans les *métabasites*, l'association grenat + omphacite + disthène + quartz + rutile ± paragonite n'est connue qu'à Fay-de-Bretagne (*fig. 1, E*) ([10]-[12], [14]) et à Bouvron (*fig. 1, F*) [10]. Le disthène est inconnu ailleurs dans les éclogites, qui sont cependant abondantes dans toute l'unité étudiée.

En outre, les assemblages grenat + omphacite (jadeite 55) + disthène + quartz, avec paragonite secondaire [17], et grenat + jadeite (jadeite 95) + paragonite + phengite + quartz ont été observées dans des roches acides (métasédiments ou métavolcanites) à Fay-de-Bretagne (*fig. 1, E*).

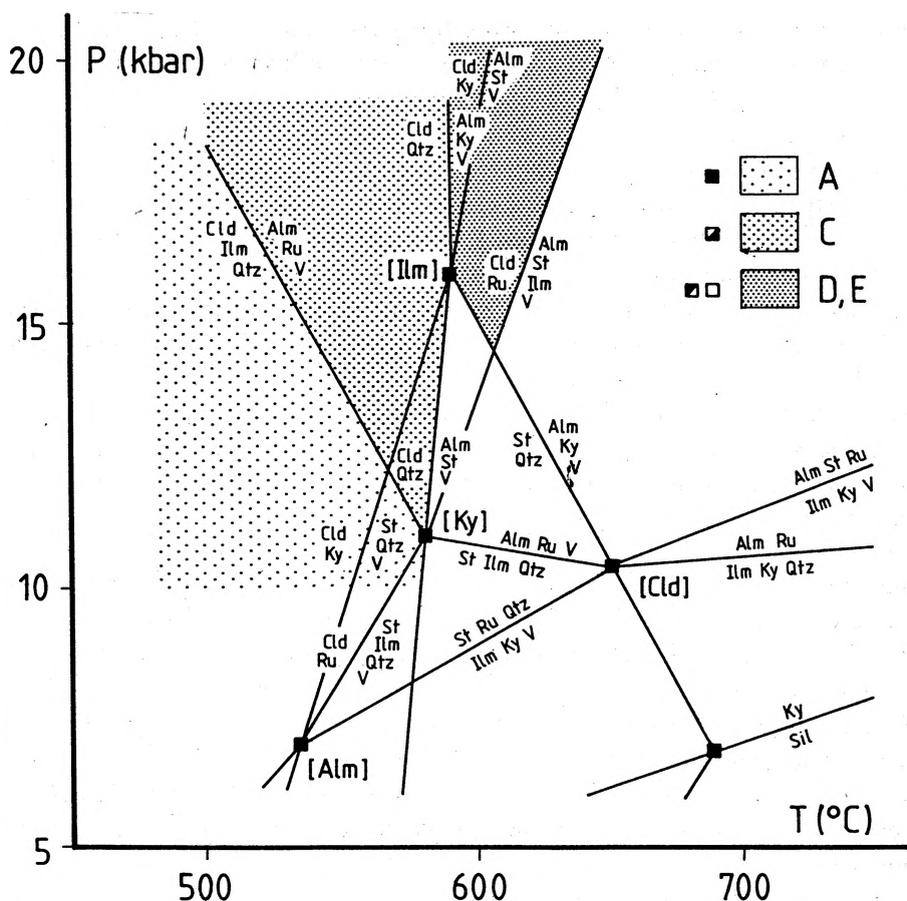


Fig. 2. — Relations de phases dans le système TiO_2 -FASH. L'échelle P-T est établie en tenant compte des résultats expérimentaux dans le système ferreux et ne peut donc être directement utilisée dans les roches étudiées.

Fig. 2. — Phase relations in the TiO_2 -FASH system. The P-T scale is drawn according to experimental data in the pure Fe system [20] and is not valid for the studied rocks, where coexisting minerals are not pure Fe end-members.

4. INTERPRÉTATION. — Nous admettrons que les paragenèses éclogitiques sont synchrones, bien que ceci ne puisse être étayé par des données géochronologiques : un diachronisme significatif de l'épisode éclogitique est, à l'échelle considérée (celle d'une unité et non celle de la chaîne), improbable.

Les *métapélites* peuvent être analysées dans le système TiO_2 -FASH (TiO_2 -FeO- Al_2O_3 - SiO_2 - H_2O) (fig. 2), qui a fait l'objet d'études expérimentales [20] et théoriques [21]. Une précaution s'impose toutefois, car la position dans l'espace P-T des courbes univariantes de la figure 2 est déduite des données expérimentales sur le système purement ferreux [20]. Cette analyse ne permet donc pas une approche quantitative des conditions P-T du métamorphisme dans les roches étudiées, où les minéraux (grenat, staurolite, chloritoïde et chlorite) ne sont pas purement ferreux. Par contre, le système TiO_2 -FASH permet de définir qualitativement la position relative des assemblages observés dans l'espace P-T. En tenant compte de cette remarque, nous pouvons mettre en évidence une augmentation régionale de la pression et de la température dans l'unité étudiée depuis La Varenne jusqu'à Fay (fig. 2).

1. La paragenèse 1 a cristallisé à une pression inférieure à celle de la réaction « $\text{Cld} + \text{Ilm} + \text{Qtz} = \text{Alm} + \text{Ru} + \text{V}$ » et à une température inférieure à celle de la réaction « $\text{Cld} + \text{Qtz} = \text{Alm} + \text{St} + \text{V}$ » (fig. 2).

2. En l'absence de quartz, la position dans l'espace P-T de la paragenèse 2 ne peut être située avec précision.

3. La réaction « $\text{Cld} + \text{Ilm} + \text{Qtz} = \text{Alm} + \text{Ru} + \text{V}$ » définit une pression minimale pour la paragenèse 3 (fig. 2), qui pourrait avoir cristallisé à une température supérieure à celle de la disparition de la paire $\text{Cld} + \text{Qtz}$.

4. La paragenèse 4 a cristallisé à une température supérieure à celle des équilibres « $\text{Cld} + \text{Qtz} = \text{Alm} + \text{Ky} + \text{V}$ » et « $\text{St} + \text{Qtz} = \text{Alm} + \text{Ky} + \text{V}$ ». La paragenèse 5, qui provient de la même localité, montre que la température n'a pu être supérieure à celle de l'équilibre « $\text{Cld} + \text{Ru} = \text{Alm} + \text{St} + \text{Ilm} + \text{V}$ » (fig. 2).

Le raisonnement ne s'applique plus à la paragenèse 4 et l'on change de système d'analyse. Malgré les limites de la réduction des métapélites au système TiO_2 -FASH, les interprétations ne changent pas si l'on prend en compte le fait que les minéraux ne sont pas purement ferreux, c'est-à-dire si l'analyse est conduite dans le système KFMASH (K_2O - FeO - MgO - Al_2O_3 - SiO_2 - H_2O), à ceci près que la pression est nettement moins bien contrainte que dans le système TiO_2 -FASH. L'augmentation régionale de température durant l'épisode éclogitique est démontrable dans le système KFMASH [22] grâce aux observations suivantes.

1. L'assemblage 1 a cristallisé à des températures inférieures à celle de la réaction terminale « $\text{Cld} = \text{St} + \text{Grt} + \text{Chl}$ ».

2. La position par rapport à cette réaction de l'assemblage 3 ne peut être déterminée, le chloritoïde disparaissant probablement avant la réaction terminale selon la réaction continue « $\text{Cld} + \text{Chl} = \text{Grt}$ ».

3. L'association 4 est stable à des températures supérieures à celle de la réaction discontinue « $\text{St} + \text{Cld} = \text{Grt} + \text{Ky}$ » [18].

Dans les *métabasites* et les roches acides, l'apparition du disthène est contrôlée par la réaction paragonite = jadeite (en solution dans le pyroxène) + disthène + H_2O . Étant donné que le pyroxène a sensiblement la même composition dans toutes les éclogites étudiées (environ 50-55 % jadeite), que le disthène soit ou non présent, l'apparition de la paire omphacite-disthène est liée soit à une augmentation de pression (ou de température), soit à une diminution d'activité de H_2O . Cette dernière solution paraît cependant devoir être écartée, car elle implique un gradient régional de $a(\text{H}_2\text{O})$ qu'aucun autre argument ne vient étayer. Les assemblages des métabasites et des roches acides confirment donc le gradient régional des conditions P-T tel qu'il a pu être établi dans les métapélites.

En résumé, les assemblages observés dans les métapélites et les métabasites de l'unité inférieure de la nappe de Champtoceaux mettent en évidence une *zonation du métamorphisme éclogitique* : les conditions P-T de l'épisode éclogitique augmentent de la Varenne (en rive gauche de la Loire) vers Pontchâteau.

5. CONCLUSION. — La zonation du métamorphisme éclogitique dans l'unité inférieure de la nappe de Champtoceaux est interprétable en termes de différences de profondeur d'enfouissement car elle est établie en comparant des roches de la même unité tectonique et pour le même épisode métamorphique. Reconstituer la géométrie exacte du domaine épaissi durant l'épisode éclogitique, en particulier le pendage de l'unité étudiée, n'est plus possible en raison des déformations post-éclogitiques. Celles-ci comprennent (i) l'intense

déformation tangentielle qui est associée au chevauchement de la nappe et (ii) le plissement d'axe Est-Ouest de l'empilement. Malgré ces difficultés d'interprétation, la zonation du métamorphisme éclogitique est significative : la profondeur d'enfouissement de l'unité étudiée augmentait depuis La Varenne (en rive gauche de la Loire) vers Pontchâteau durant l'épisode éclogitique. C'est la première description d'une telle zonation dans la chaîne hercynienne, où les reliques de l'épisode éclogitique sont cependant nombreuses [23].

LISTE DES ABBRÉVIATIONS. — Alm (Almandin), Chl (Chlorite), Cls (Chloritoïde), Gr (Graphite), Grt (Grenat), Ilm (Ilménite), Jd (Jadéite), Ky (Disthène), Omph (Omphacite), Par (Paragonite), Phg (Phengite), Qtz (Quartz), Ru (Rutile), Sil (Sillimanite), St (Staurotide), V (Vapeur), WM (Mica blanc).

Les auteurs ont bénéficié des remarques critiques de J.-P. Burg, J.-L. Pinardon et d'un correcteur anonyme et des discussions avec leurs collègues de l'Institut de Géologie (Université de Rennes-I).

Note remise le 12 septembre 1990, acceptée le 8 février 1991.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] P. C. ENGLAND et S. W. RICHARDSON, *J. Geol. Soc. London*, 134, 1976, p. 201-213; P. C. ENGLAND et A. B. THOMPSON, *J. Petrol.*, 25, 1984, p. 894-928.
- [2] E. J. KROGH, *Nature*, 267, 1977, p. 17-19; W. L. GRIFFIN, *Min. Mag.*, 51, 1987, p. 333-343.
- [3] C. A. HEINRICH, *J. Petrol.*, 27, 1986, p. 123-154.
- [4] J. COGNÉ, *Bull. Serv. Carte Géol. Als.-Lorr.*, 19, 1966, p. 107-136.
- [5] J. MARCHAND, *C. R. Acad. Sci. Paris*, 293, série II, 1981, p. 223-228.
- [6] J.-L. PAQUETTE, *Mém. Docum. Centre Arm. Et. Struc. Socles*, 14, 1987, 190 p.; E. LE GOFF, *Mém. Docum. Centre Arm. Et. Struc. Socles*, 29, 1989, 321 p.
- [7] J. MARCHAND, *Réu. Sci. Terre*, 12, 1988, p. 92.
- [8] P. LEDRU, A. MAROT et Y. HERROUIN, *C. R. Acad. Sci. Paris*, 303, série II, 1986, p. 963-968; M. BALLÈVRE et P. LEDRU, *Travaux en cours*.
- [9] P. JEGOUZO, *J. Struct. Geol.*, 2, 1980, p. 39-47; P. JEGOUZO et E. A. ROSSELLO, *C. R. Acad. Sci. Paris*, 307, série II, 1988, p. 1825-1831.
- [10] A. LACROIX, *Bull. Soc. Sci. Nat. Ouest France*, 1, 1891, p. 81-114.
- [11] Y. BRIÈRE, *Bull. Soc. Fran. Minéral. Cristal.*, 43, 1920, p. 71-222.
- [12] B. VELDE, *Bull. Soc. Fran. Minéral. Cristal.*, 89, 1966, p. 385-393.
- [13] B. VELDE, *Bull. Soc. Fran. Minéral. Cristal.*, 93, 1970, p. 370-395.
- [14] G. GODARD, J.-R. KIÉNAST et B. LASNIER, *Contrib. Mineral. Petrol.*, 78, 1981, p. 126-135.
- [15] J.-L. PAQUETTE, J.-J. PEUCAT, J. BERNARD-GRIFFITHS et J. MARCHAND, *Chem. Geol.*, 52, 1985, p. 203-216.
- [16] G. GODARD, 1988 dans *Eclogites and eclogite-facies rocks*, D. C. SMITH éd., Elsevier, Amsterdam, p. 451-519.
- [17] M. BALLÈVRE, J.-R. KIÉNAST, et J.-L. PAQUETTE, *C. R. Acad. Sci. Paris*, 305, série II, 1987, p. 127-131.
- [18] M. BALLÈVRE, J.-L. PINARDON, J.-R. KIÉNAST et J.-P. VUICHARD, *J. Petrol.*, 30, 1989, p. 1321-1349.
- [19] B. LASNIER, A. LEYRELOUP et J. MARCHAND, *Contrib. Mineral. Petrol.*, 41, 1973, p. 131-144.
- [20] B. B. RAO et W. JOHANNES, *Neues Jahr. Mineral.*, H10, 1979, p. 437-447; S. R. BOHLEN, V. J. WALL et A. L. BOETTCHER, *Amer. Mineral.*, 68, 1983, p. 1049-1058.
- [21] J. L. PINARDON, *Thèse Doctorat*, Univ. Paris-VI, 1990, 153 p.
- [22] R. POWELL et T. HOLLAND, *Amer. Mineral.*, 75, 1990, p. 367-380.
- [23] P. J. O'BRIEN, D. A. CARSWELL et D. GEBAUER, dans *Eclogite facies rocks*, D. A. CARSWELL éd., Blackie, Glasgow and London, 1990, p. 204-224.
- [24] J. MARCHAND, D. SELIER et G. BOSSIÈRE, *Carte géol. France 1/50 000, feuille Savenay (450)*, B.R.G.M., 1989.

M. B. : Laboratoire de Tectonique (C.A.E.S.S.-C.N.R.S.),
Institut de Géologie, Université de Rennes-I, 35042 Rennes Cedex ;

J. M. : Laboratoire de Pétrologie et Minéralogie, Université de Nantes,
2, rue de la Houssinière, 44072 Nantes.

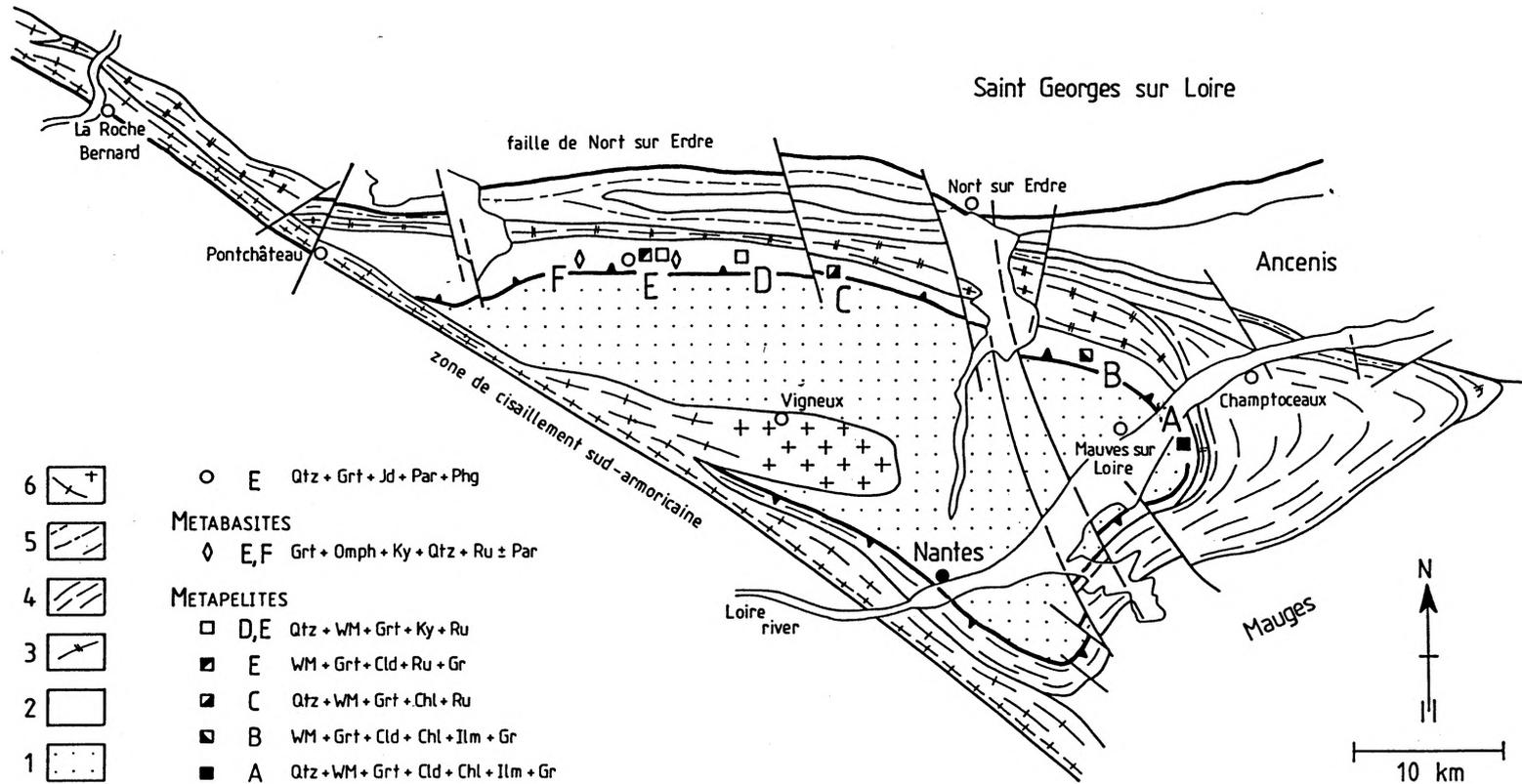


Fig. 1. — Schéma structural de la nappe de Champtoceaux (simplifié d'après [24]) et localisation des assemblages étudiés. 1. Micaschistes de Mauves-sur-Loire. 2. Leptynites, micaschistes et éclogites (unité inférieure). 3. Orthogneiss de Saint-Mars-du-Désert. 4. Leptynites, gneiss et amphibolites (unité supérieure). 5. Micaschistes du Hâvre. 6. Leucogranites carbonifères.

Fig. 1. — Structural map of the Champtoceaux nappe (simplified after [24]) and location of the studied rocks. 1. Mauves-sur-Loire mica schists. 2. Leptynites, mica schists and eclogites (lower unit). 3. Saint-Mars-du-Désert orthogneisses. 4. Leptynites, gneisses and amphibolites (upper unit). 5. Hâvre mica schists. 6. Carboniferous leucogranites.