

Concentrations en terres rares et thorium dans les ségrégations biotitiques du granite rouge de Ploumanac'h (Massif armoricain) *

*REE and Thorium concentrations
in biotitic segregations
of the Ploumanac'h granite*

Louis CHAURIS ⁽¹⁾

Mots-clés : Terres rares, Thorium, Biotite, Granite, Analyse majeurs, Analyse éléments-traces, Allanite, Radioactivité. Côtes-d'Armor, Granite Ploumanac'h.

Résumé

Les ségrégations biotitiques d'origine magmatique du granite rouge de Ploumanac'h renferment de nombreux cristaux d'allanite (associée au sphène et à l'apatite), qui expliquent leurs fortes teneurs en Terres Rares légères. Leur radioactivité élevée est due au thorium fixé dans l'allanite et la thorite.

Abstract

Biotitic segregations of magmatic origin from the Ploumanac'h granite include numerous allanites (associated with titanite and apatite) which explain their strong percentages in light Rare Earth Elements. Their strong radioactivity is explained by thorium in allanite and thorite.

Introduction

Le complexe granitique de Ploumanac'h est un pluton polyphasé à structure concentrique, d'âge tardihercynien (300 Ma par Rb/Sr) (Vidal, 1980). Il représente l'un des éléments de la ceinture batholithique des granites rouges d'Armorique septentrionale (Barrois, 1909). La première venue, qui affleure principalement dans la zone périphérique du complexe intrusif, est constituée par un faciès porphyroïde rougeâtre dit des Traouieros, qui passe progressivement, vers la bordure externe de l'intrusion, à un faciès grossier, de la même teinte, dit de La Clarté : des masses importantes de roches gabbroïques co-magmatiques sont associées à ce premier ensemble (Barrière, 1976). Le granite de Ploumanac'h est à biotite-hornblende et renferme les miné-

raux accessoires suivants : sphène, apatite, allanite, magnétite, zircon, thorite, ... Il est à caractère subalcalin potassique (Barrière, 1977).

L'allanite se présente dans diverses paragenèses :

1) dans la masse granitique, en cristaux millimétriques disséminés, associés à la biotite ou, plus rarement, au plagioclase (Kervella, 1964 ; Barrière, 1977) ;

2) dans des veinules intra-granitiques de puissance subcentimétrique, caractérisées par l'association : allanite (prédominante) - zircon - apatite - ilménite - quartz - biotite (Chauris et Mulot, 1965) ;

3) dans des pegmatites intragranitiques à hornblende, biotite, magnétite, situées près de la bordure du massif en cristaux de 1 à plus de 10 cm [La = 3.6 % : Ce = 7.1 % : Th = 1.3 % : Y = 1.2 %] (Chauris, 1958) : une autre analyse (Fourcade, 1981) a donné [La = 2.3 % : Ce = 5.7 % : Nd = 3.4 % : Sm = 1.0 % : Gd = 0.6 %] ;

* Manuscrit reçu le 27 mai 1992, accepté le 5 octobre 1992.

(1) Département des Sciences de la Terre, URA n° 1278, Faculté des Sciences, Université de Bretagne occidentale, 29287 Brest cedex.

4) dans des *amas mélancrates*, à biotite dominante, formant des ségrégations, en particulier au sein du faciès des Traouieros. C'est à la composition chimico-minéralogique de ces amas biotitiques — non analysés jusqu'alors — qu'est consacrée la note.

Les ségrégations à biotite constituent de véritables *biotites*. Elles forment fréquemment des schlieren rubanés allongés sur quelques mètres, ou plus rarement des amas trapus infra-métriques. Ces occurrences sont disséminées essentiellement dans une sorte d'anneau, de quelques centaines de mètres de large, développé à une distance de 0,5 à 1,5 km de la bordure externe du massif, dans le faciès des Traouieros et la zone de passage vers le faciès de La Clarté. Ces concentrations ne sont pas des restites, mais sont liées — comme l'a bien établi M. Barrière (1976, 1977) à la cristallisation du granite encaissant : elles se rattachent aux *cumulats magmatiques* (ségrégations de minéraux précoce, cimentés par un liquide interstitiel quartzo-feldspathique). Les affleurements les plus spectaculaires ont été observés entre Coz Porz et l'île du Dé, dans l'anse de Tourony, ... (fig. 1).

Composition minéralogique

La paragenèse est essentiellement constituée de biotite (souvent plus de 50 %), en lamelles trapues, jointives, pouvant atteindre 3-4 mm, d'un noir brillant, associée à la hornblende verte (subordonnée, de quelques % à parfois 15 %), en plages de même dimension, mais à éclat terne, à l'oligoclase [22 à 30 % an] en pourcentage variable [5 à 30 %], au feldspath potassique (microcline) [2 à 15 %] et au quartz [4 à 15 %]. Les « minéraux accessoires » sont relativement abondants [5 à plus de 10 %] : allanite, sphène, apatite, zircon, thorite, pyrite, ilménite, magnétite. L'allanite se

présente en cristaux zonés, automorphes, allongés, atteignant souvent 2 à 3 mm, plus ou moins métamictes, parfois très fréquents : dans une seule lame mince, on comptabilise une vingtaine d'individus ! Les cristaux inclus dans la biotite sont ourlés d'un halo pléochroïque. Parfois, l'allanite est moulée par le quartz qui présente alors des microfissures à tendance rayonnée, dues à l'augmentation de volume lors de la métamictisation. Le sphène est également très répandu, en plages souvent xénomorphes, atteignant parfois 2 à 3 mm. L'apatite en cristaux automorphes (de quelques dixièmes de mm) est très abondante ; elle apparaît en inclusions dans la biotite, l'allanite et le sphène. Les minéraux opaques (magnétite et ilménite) sont peu nombreux et de faible dimension, sauf dans les zones riches en hornblende. La thorite, subordonnée, en petits cristaux subautomorphes en voie de transformation en orangite par métamictisation, est incluse dans la biotite où elle développe un halo pléochroïque extrêmement intense.

Composition chimique

Le tableau I, 1 à 4, donne la *composition chimique* (en éléments majeurs + 19 éléments en traces) de quatre ségrégations biotitiques. Neuf autres éléments en traces ont été dosés uniquement dans l'échantillon 1 (tableau II, 1). L'examen des données conduit à formuler quelques remarques.

— Les analyses intègrent non seulement la composition de la biotite (dominante), mais aussi celle des autres minéraux de la paragenèse. Ainsi s'expliquent les teneurs variables en fer, potassium (biotite, microcline), calcium (oligoclase, hornblende, allanite, apatite) et en sodium.

— La forte teneur en titane reflète le cachet titanifère de la biotite et la présence d'ilménite et de sphène. Le pourcentage significatif en phosphore correspond à la fréquence de l'apatite. Les teneurs en zirconium sont relativement élevées. Les teneurs en chrome, cobalt et nickel restent faibles. La forte teneur en niobium doit être soulignée.

— L'échantillon 1 est faiblement lithique (Li = 120 ppm). Il n'y a pas d'enrichissement en bore (B = 32 ppm). La teneur en étain reste très faible (< 10 ppm), en bon accord avec le caractère non stannifère du complexe granitique (Chauris, 1991). On note une anomalie positive en zinc (200 ppm), mais de faibles teneurs en cuivre (29 ppm) et en plomb (10 ppm).

— Les résultats les plus intéressants concernent les teneurs élevées en *Terres Rares légères* : lanthane = 440.2 ppm ; cérium = 915 ppm ; néodyme = 340.5 (teneur moyenne de quatre échantillons). La teneur moyenne en europium est de 2.62 ppm. La somme totale des Terres Rares analysées (La - Ce - Nd - Eu - Dy - Er - Yb) s'élève à 1 736.6 ppm, soit 0.17 % (fig. 2). Ces fortes teneurs sont dues à l'abondance de l'allanite. Les amas biotitiques sont nettement enrichis en Terres Rares par rapport aux différents faciès du granite rouge du complexe de Ploumanac'h (Traouieros, transition, La Clarté) (tabl. III).

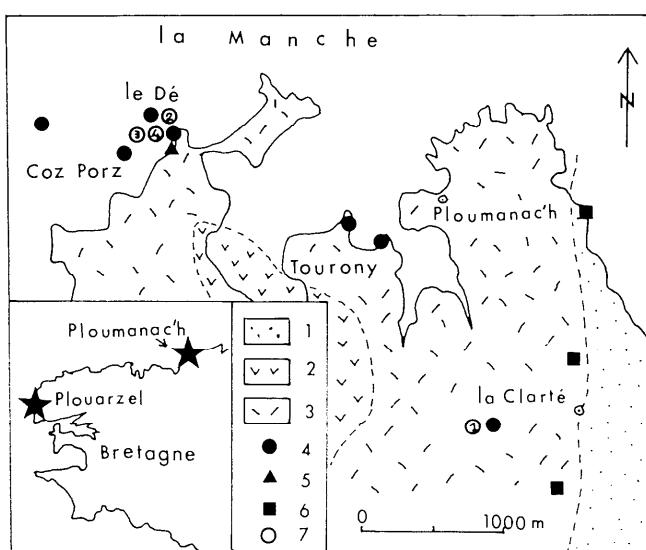


Fig. 1. - Carte de situation. 1 - Socle ancien. 2 - Formations gabbroïques. 3 - Granite rouge de Ploumanac'h. 4 - Ségrégations biotitiques examinées. 5 - Veinules à allanite. 6 - Pegmatites à allanite. 7 - Échantillons analysés (tableau I).

Fig. 1. - Location map. 1 - Old basement. 2 - Gabbro. 3 - Ploumanac'h granite. 4 - Biotitic segregations studied. 5 - Allanite veinlets. 6 - Allanite-bearing pegmatites. 7 - Samples analysed (Table I).

	1	2	3	4	5
SiO ₂	47,78	34,35	43,75	60,30	44,30
Al ₂ O ₃	14,36	12,10	10,90	12,30	20,49
Fe ₂ O ₃	16,97	26,85	22,00	10,86	17,27
MnO	0,19	0,31	0,30	0,12	0,31
MgO	4,65	7,42	5,85	2,80	4,64
CaO	3,30	2,02	4,75	1,68	0,35
Na ₂ O	2,54	0,16	1,08	1,86	0,58
K ₂ O	5,08	8,50	5,25	5,74	6,59
TiO ₂	2,77	4,75	3,31	2,03	2,21
P ₂ O ₅	0,74	1,30	1,00	0,60	0,19
PF	1,33	1,10	1,13	0,97	2,43
Total	99,71	98,86	99,32	99,26	99,36
	1	2	3	4	5
Rb	530	1055	550	461	
Sr	158	23	54	184	35
Ba	491	710	423	650	294
Sc	40	19	59	10	
V	177	264	246	110	297
Cr	66	77	95	34	228
Co	26	39	31	18	34
Ni	26	37	25	17	94
Y	101	122	164	43	58
Zr	555	1550	780	485	816
Nb	114	198	155	78	118
Th	472	1120	654	384	
	1	2	3	4	5
La	610	497	309	345	126
Ce	1150	990	880	640	239
Nd	430	400	330	202	
Eu	3,1	2,45	3,4	1,55	
Dy	20	23	32	8,1	
Er	9,3	12	16	4,1	
Yb	6,6	7,68	11,2	3,12	

Tabl. I. - Données géochimiques. 1 à 4 - Ségrégations biotitiques d'origine magmatique dans le granite rouge de Ploumanac'h (localisation sur la fig. 1). 5 - Restite biotitique dans les formations anatectiques de Plouarzel, près Saint-Renan. Rb à Yb en ppm. Analyses : 1 à 4 - J. Cotten, UBO, Brest ; 5 - BRGM, Orléans.

Table I. - Geochemical data. 1 to 4 - Biotitic segregations of magmatic origin in the Ploumanac'h granite (see Fig. 1 for location). 5 - Biotitic restite in the Plouarzel anatectic rocks, near Saint-Renan.

Rb to Y in ppm. Analyses: 1 to 4 - J. Cotten, UBO, Brest; 5 - BRGM, Orléans.

— La teneur en thorium est singulièrement élevée (384 à 1 120 ppm). Un certain pourcentage en cet élément doit être rapporté à l'allanite (Chauris, 1958). Un faible pourcentage est à rattacher au sphène, à l'apatite et surtout au zircon. Toutefois, une proportion importante du thorium paraît être liée à la thorite (orangite) : en effet, les amas biotitiques les plus radioactifs (infra) sont aussi les plus riches en ce minéral.

	Li	Be	B	Cu	Zn	Sn	Sb	Pb	U
1	120	7	32	29	200	<10	<10	10	48,9
5	1211	42	1008	17	363	77	11	<10	

Tabl. II. - Données géochimiques complémentaires. Ségrégations biotitiques. 1 - Ploumanac'h (origine magmatique). 5 - Plouarzel (origine anatectique).

Table II. - Additional geochemical data. Biotitic segregations. 1 - Ploumanac'h (magmatic origin). 5 - Plouarzel (anatectic origin).

I	La 99,8 (5)	Ce 167,4 (5)	Nd 57,9 (51)	Eu 1,3 (5)	Dy	Er	Yb 2,07 (1)	Th 67,8 (5)	U 12,3 (5)	Th/U 5,5
II	69,7 (2)	130,6 (2)	35,2 (1)	1,04 (2)			0,86 (1)	81,2 (2)	15,2 (1)	5,3
III	63,4 (6)	106,1 (6)	46,2 (2)	0,72 (6)			1,60 (2)	86,2 (6)	20,9 (5)	4,1
IV	440,2 (4)	915 (4)	340,5 (4)	2,62 (4)	20,77 (4)	10,35 (4)	7,15 (4)	610 (4)	48,9 (1)	9,65
V	55	104	47	1,1	6,2	4,2	4,3	19,1	4,5	4,2

Tabl. III. - Teneurs moyennes en Terres Rares, thorium et uranium.

I - Granite des Traouieros. II - Granite de transition. III - Granite de La Clarté. IV - Ségrégations biotitiques. V - Abondance des Terres Rares dans les granites d'après A. G. Hermann (1974) ; de l'U et du Th, d'après R. Coppens (1973). () = nombre d'analyses.

(I à III : in Fourcade, 1981 ; IV : Analyste J. Cotten, UBO, Brest, sauf U (BRGM)).

Table III. - Average REE, thorium and uranium concentrations. I - Les Traouieros granite. II - Transition granite. III - La Clarté granite. IV - Biotitic segregations. V - Average abundance in granite: REE after Hermann (1974); U and Th after Coppens (1973). () = number of analyses.

(I to III: in Fourcade, 1981; IV: Analyses by J. Cotten, UBO, Brest, except U (BRGM)).

— Dans l'échantillon 1, seul analysé pour l'uranium (tabl. II), le rapport Th/U est élevé (9,65). Comme le montre le tableau III, les teneurs en uranium et en thorium des granites rouges de Ploumanac'h et de leurs ségrégations, sont nettement plus élevées que les teneurs moyennes des granites données par R. Coppens (1973).

— L'absence totale de gîtes uranifères dans le massif de Ploumanac'h (mis à part quelques traces d'autunite dans un filon de silice rouge près de Trébeurden (Mulot, 1971 : Chauris, 1991) suggère que l'uranium n'est pas concentré dans une espèce minéralogique facilement « lessivable » (telle la pechblende), mais est plutôt lié à la thorite (passage à l'uranothorite ?).

Le thorium est la cause principale de la forte radioactivité du granite rouge de Ploumanac'h (Kervella, 1964 : Coppens et Bolfa, 1963 : Chauris, en préparation). Dans le secteur de Coz Porz — Ile du Dé, la radioactivité moyenne du granite porphyroïde des Traouieros, mesurée directement sur le terrain au scintillomètre SPP2, est de l'ordre de 440 chocs par seconde (c/s) (moyenne de 40 mesures ponctuelles). Sur les amas biotitiques du même secteur, les mesures de radioactivité ont donné les résultats suivants (en c/s)

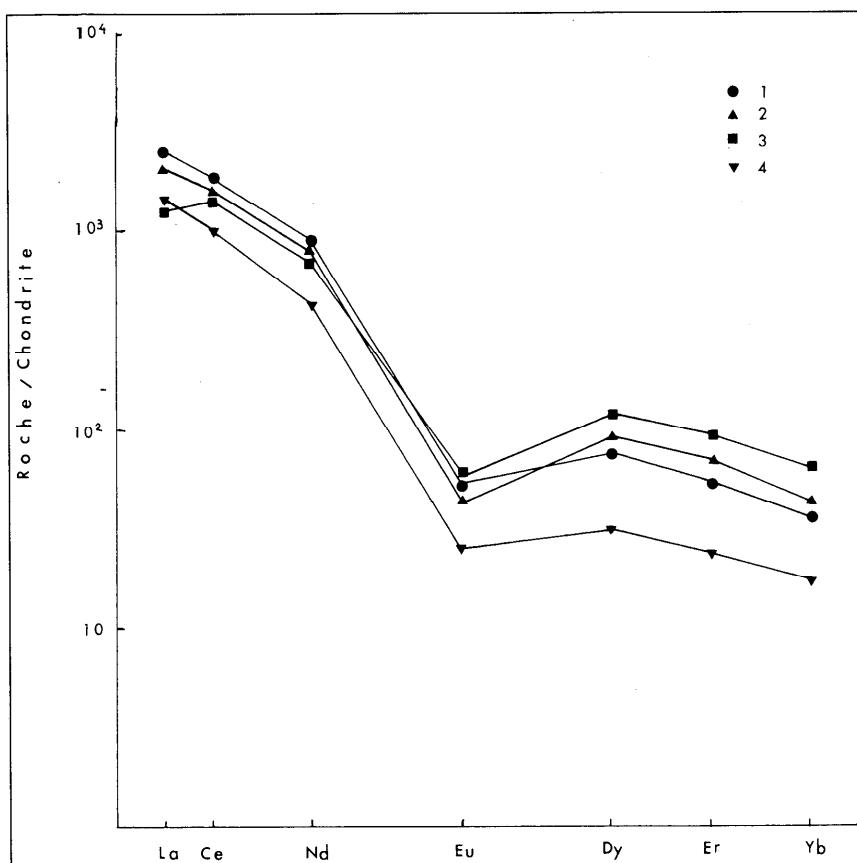


Fig. 2. - Diagrammes des Terres Rares. Les figures 1 à 4 correspondent aux analyses chimiques du tableau I.

Fig. 2. - REE diagrams. Figures 1 to 4 correspond to the chemical analyses of Table I.

sur les 11 sites examinés : 990 - 960 - 2 000 - 650 - 750 - 960 - 600 - 650 - 640 - 1 200 - 850, soit une radioactivité moyenne de 930 c/s, plus de deux fois supérieure à la radioactivité du granite encaissant.

Contrastes avec les restites et les granites alumineux

Les concentrations biotitiques sont fréquentes dans les complexes métamorphiques anactectiques. A la différence des ségrégations de biotite d'origine magmatique de Ploumanac'h, ces amas mélanocrates représentent des restites (mélanosome) en liaison avec l'anatexie. Pour mieux préciser la spécificité des occurrences de Ploumanac'h, on donne ici (tabl. I et II, 5) la composition chimique d'une restite du complexe métamorphique de Plouarzel, au contact du granite stannifère de Saint-Renan, dans le Pays de Léon (Chauris, notice feuille à 1/50 000 Plouarzel — Ile d'Ouessant, sous presse). Le contraste entre les deux types de roches est très net pour certains éléments. La restite est plus riche en alumine ($\times 1.65$), Sn, Li ($\times 10$), Be ($\times 6$), B ($\times 3.1$) ; plus pauvre en P_2O_5 ($\times 0.2$) et Terres Rares (La $\times 0.28$; Ce $\times 0.26$). Les teneurs en uranium et thorium n'ont pas été dosées, mais la radioactivité nettement plus basse (~ 200 c/s) indique qu'elles sont aussi significativement plus faibles dans la restite.

L'opposition entre granites subalcalins à schlieren cumulatifs et granites alumineux à restites se retrouve

dans le chimisme des biotites. Dans le diagramme $MgO - FeO_T - Al_2O_3$, les champs correspondant aux granites des Traouïeros et de La Clarté se situent tous deux dans le domaine subalcalin qui se distingue très nettement du domaine alumineux (fig. 3) (Chevremont *et al.*, 1988). Les analyses des schlieren biotitiques présentées dans cette note n'ont pu être reportées dans ce diagramme, car elles portent sur l'ensemble des minéraux des schlieren et non sur la biotite seule. Toutefois, une analyse de biotite d'un schlieren de ce massif (Barrière, 1977) se place dans le champ du granite des Traouïeros.

Le contraste entre les deux types de roches peut être expliqué par leur source différente. Le granite rouge de Ploumanac'h appartient à la famille des granites subalcalins potassiques (Barrière, 1977) d'origine profonde (base de la croûte, plus éventuellement manteau supérieur), enrichis en Terres Rares. Ces granites s'opposent aux granites alumineux d'origine crustale moins profonde, à fréquentes restites hyperalumineuses, enrichis en lithium, beryllium, bore... (Cuney *et al.*, 1979 ; Fourcade, 1981 ; Pagel, 1982). En première approximation, les premiers peuvent être rapportés à la « magnetite series » (attribution bien établie pour le granite rouge de Ploumanac'h (Chauris, 1981) et les seconds à l'« ilmenite series », selon la classification de S. Ishihara (1977). Géochimiquement et métallogéniquement, les premiers se signalent par des concentrations en W-Mo (Th) (type Ploumanac'h), s'opposant ainsi aux seconds, caractérisés par des enrichissements en Sn-Be (U) (type Saint-Renan).

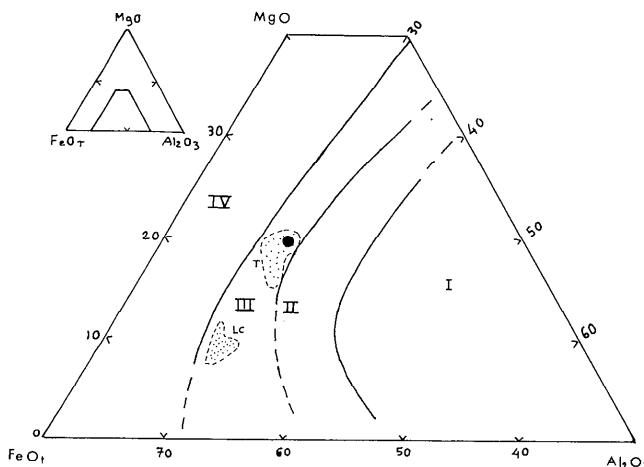


Fig. 3. - Diagramme MgO - Fe_{O_T} - Al₂O₃ (Chevremont *et al.*, 1988). Champs des biotites dans les granites rouges de Ploumanac'h (analyses *in* Barrière, 1977). LC : Granite de La Clarté. T : Granite des Traouïeros. Point noir : biotite d'un schlieren. I à IV : types d'association : I - Alumineuse ; II : Calco-alcaline ; III : Subalcaline ; IV : Alcaline.

Fig. 3. - MgO - Fe_{O_T} - Al₂O₃ diagram (Chevremont *et al.*, 1988). Biotite fields in the Ploumanac'h granite (analyses in Barrière, 1977). LC: La Clarté granite. T: Les Traouïeros granite. Black point: Biotite from a schlieren. I to IV: Associations: I - Aluminous; II - Calc-alkaline; III: Subalkaline; IV: Alkaline.

Conclusion

La mise en évidence de fortes teneurs en Terres Rares légères et en thorium dans les différenciations biotitiques précoce du granite rouge de Ploumanac'h confirme la richesse du pluton en ces éléments, déjà pressentie par l'étude des veinules et des pegmatites (Chauris, 1958). Les Terres Rares et le thorium ont cristallisé à divers stades de l'évolution de la première venue du complexe : cumulats magmatiques relativement précoce, granite rouge, veinules intragranitiques et pegmatites. Les veinules et les pegmatites sont riches en allanite, mais leur volume global est nettement inférieur à celui des ségrégations micacées. Ces anomalies positives en Terres Rares et thorium sont en accord avec le caractère subalcalin potassique du granite de Ploumanac'h (Barrière, 1977). Les observations nouvelles présentées complètent et confirment les travaux de M. Barrière (1976, 1977) sur les schlieren cumulatifs.

Nous adressons nos vifs remerciements à Ph. Chèvremont et au lecteur anonyme pour leurs remarques constructives.

Références bibliographiques

- BARRIERE M. (1976). - Architecture et dynamisme du complexe éruptif centré de Ploumanac'h (Bretagne). *Bull. BRGM Fr.*, section I, n° 3, pp. 247-295.
- BARRIERE M. (1977). - Le complexe de Ploumanac'h (Massif armoricain). Thèse Doct. d'État. Université de Brest, 291 p., 1 carte h.t.
- BARROIS Ch. (1909). - Carte géologique à 1/80 000, feuille Lannion. Éditions du BRGM.
- CHAURIS L. (1958). - Pegmatites à allanite et molybdénite dans le massif granitique de Ploumanac'h (Côtes-du-Nord). *Bull. Soc. fr. Minér. Cristallogr.*, **81**, pp. 150-153.
- CHAURIS L. (1981). - Une province stannifère : le Massif armoricain (France). *Chron. Rech. Min.*, n° 462, pp. 5-42.
- CHAURIS L. (1991). - Minéralisations miarolitiques et fissurales dans le massif granitique de Ploumanac'h (Côtes-d'Armor). *Bull. Soc. Sci. nat. Ouest Fr.*, **13**, pp. 25-29.
- CHAURIS L., MULOT B. (1965). - Sur un nouveau mode de gisement de l'allanite dans le granite de Ploumanac'h (Côtes-du-Nord). *Bull. Soc. fr. Minér. Cristallogr.*, **88**, p. 354.
- CHEVREMONT P., GAGNY C., de LA ROCHE H., PUPIN J.-P., ROSSI P. (1988). - Représentation cartographique du plutonisme acide et du plutonisme intermédiaire à basique associé. *Doc. BRGM*, n° 152, Orléans.
- COPPENS R. (1973). - Sur la radioactivité des granites. In (pp. 44-61). Les roches plutoniques dans leurs rapports avec les gîtes minéraux. Masson Édit. Paris, 406 p.
- COPPENS R., BOLFA (1963). - Étude de la radioactivité du granite de Ploumanac'h (Côtes-du-Nord). 88^e Congrès Nat. Soc. savantes, Sci. II, pp. 227-237.
- CUNAY M., LEROY J., PAGEL M. (1979). - Comportement de l'uranium et du thorium dans les granites uranifères français. *Sciences de la Terre*, Nancy. Série « Inform. Géol. », n° 13, pp. 55-63.
- FOURCADE S. (1981). - Géochimie des granoïdes. Thèse Doct. État, Univ. Paris 7, 211 p.
- HERMANN A.G. (1974). - Yttrium and Lanthanides. Handbook of Geochemistry. K.H. Wedepohl (Edit.). Springer Verlag, 39, pp. 57-71.
- ISHIHARA S. (1977). - The magnetite-series and ilmenite-series granitic rocks. *Mining Geology*, **27**, pp. 293-305.
- KERVELLA F. (1964). - Gisements et indices uranifères de la Bretagne. Généralités (pp. 210-223). In : Les minéraux uranifères français. 3, 292 p., Presses Universitaires de France, Paris.
- MULOT B. (1971). - Atlas-Guide des gisements et indices uranifères dans le département des Côtes-du-Nord. Inédit, 43 p.
- PAGEL M. (1982). - The mineralogy and geochemistry of uranium, thorium and rare - earth elements in two radioactive granites of the Vosges, France. *Mineral. Mag.*, **46**, 339, pp. 149-161.
- VIDAL Ph. (1980). - L'évolution polyorogénique du Massif armoricain : apport de la géochronologie et de la géochimie isotopique du strontium. *Mém. Soc. géol. minéral. Bretagne*, 21, 162 p.

Chronique de la RECHERCHE MINIERE

LA REVUE EUROPÉENNE DE LA RECHERCHE MINIÈRE INTERNATIONALE

Fondée en 1932, la **Chronique de la recherche minière** est une revue trimestrielle diffusée dans une centaine de pays. Elle a pour objectif de promouvoir les travaux consacrés à la géologie des gîtes minéraux et à la prospection minière et pour ambition de servir de trait d'union entre les géologues d'exploration et les géologues universitaires. Elle publie, en français ou en anglais, des articles couvrant un large éventail thématique, de la géologie des gîtes minéraux à l'économie minière, en passant par les techniques de prospection. Elle contient également diverses rubriques, rédigées par des spécialistes, présentant une sélection des nouveautés de l'actualité scientifique et minière.

THE EUROPEAN JOURNAL OF INTERNATIONAL MINERAL EXPLORATION

Launched in 1932, the **Chronique de la recherche minière** is a quarterly scientific and technical journal distributed in over 100 countries. Its aims are to promote all work concerning the geology and exploration of mineral deposits and to act as a link between the economic/exploration geologist and the applied research geologist. The journal publishes, in French or English, articles on a wide range subjects, from the geology of mineral deposits to mineral economics, not forgetting exploration techniques. It also contains several columns written by specialists, outlining a selection of scientific and technical news items.

CHRONIQUE DE LA RECHERCHE MINIÈRE - 4 numéros par an (4 issues per year)

Abonnement 1993 (Annual subscription 1993) : France FF 600 - (FF 420 *)
(frais de port inclus - postage included) Etranger (Abroad) FF 650 - (FF 455 *)
- 30 % pour les membres de la SGA et les étudiants
(30 % discount for SGA members and Registered Students)

VISA/CARTE BLEUE

EUROCARD

MASTER CARD

Expiration. Date :/.....

Signature :

COMITÉ ÉDITORIAL

EDITORIAL BOARD

Mircea BORCOŞ, Institut de géologie
et de Géophysique de Bucarest

Michel CUNEX, CREGU, Nancy
Léon DEJONGHE,

Service géologique de Belgique

Alfredo FERRARIO,

Université de Milan

Lluís FONTBOTÉ,

Université de Genève

Michel JÉBRAK,

Université du Québec à Montréal

Zdenek JOHAN, BRGM

Gunnar NORBLAD,

The State Mining Property
Commission, Stockholm

Enrique ORTEGA GIRONÈS,

Minas de Almadén y Arrayanes SA

Hubert PÉLISSONNIER,

École des Mines de Paris

Henri ROUVIER,

Université Paris VI

Vladimir SATTRAN,

Geological Survey
of Czechoslovakia

Frédéric TONA, COGEMA

Etienne WILHELM, BRGM

Fouad ZARGOUNI,

Service géologique de Tunisie

RÉDACTEUR EN CHEF

CHIEF EDITOR

Philippe LAGNY, BRGM

Département exploration

PENSEZ À RENOUVELEZ
VOTRE ABONNEMENT
POUR 1993
REMEMBER
TO RENEW YOUR
SUBSCRIPTION FOR 1993



ORDER FORM TO :

CDR, 11, rue Gossin, 92543 Montrouge Cedex, France

Veuillez trouver ci-joint le paiement / m'envoyer la facture de * FF

(Please accept my payment of / invoice me for *)

pour abonnement à **Chronique de la recherche minière** (for my 1993... subscription)

ou (or)

veuillez m'envoyer un spécimen de la **Chronique de la recherche minière** (please send me a sample copy)

NOM (NAME)

ADRESSE (ADDRESS)

DATE SIGNATURE

Rayer la mention inutile. Établir le chèque à l'ordre de CDR,
(please delete as appropriate. Checks to be made payable to CDR)



AUSCULTATION PAR IMAGERIE NUMÉRIQUE DE QUELQUES VERSANTS INSTABLES

par
François GIRAULT
Document du BRGM n° 217

La mise au point, dans le cadre d'une étude méthodologique, d'une méthode de caractérisation de l'évolution de versants instables est décrite dans ce document. Cette méthode est basée sur l'utilisation de modèles numériques de terrain (MNT) - calculés à partir de données photogrammétriques traditionnelles ou provenant d'autres sources - décrivant l'état d'un site à des dates successives T_0 , T_1 , T_2 etc. Elle est basée, également, sur les techniques de traitement d'images.

Les différences observées entre ces MNT permettent d'identifier et de décrire la zone de désordres dont la mise en évidence est à la base de la cartographie des déformations superficielles du versant, souligne les zones de faiblesse et les secteurs de plus grande résistance de celui-ci, et autorise une approche qualitative et quantitative de son évolution. Le comportement des unités pétrographiques ou lithologiques, et le rôle éventuel d'accidents structuraux, peuvent ainsi être décrits.

La démarche adoptée permet à l'ingénieur ou à l'expert d'orienter son diagnostic sur l'origine des désordres et sur la pathologie des terrains, et d'optimiser les mesures à prendre pour conforter ou surveiller le site. Elle complète donc, en permettant de les optimiser, les méthodes classiques, plus ponctuelles, d'auscultation de versants instables.

L'éclairage particulier qu'apporte, par une approche relativement nouvelle, la méthode présentée dans ce mémoire, est illustrée par une application à deux exemples situés en France : la Clapière et le Friolin.

PRINCIPE OF THE METHOD

Based on morphological slope analysis, the method uses traditional photogrammetrical data - scattered (x,y,z) data sets - from which digital elevation models (DEM) are calculated. Comparison of successive DEMs, showing site conditions at successive dates T_0 , T_1 , ..., T_n enables to draw up detailed maps of disorders.

(1) Exemple of La Clapière, Alpes Maritimes (France)

Site characteristics : elevation = 700 m (from 1,000 to 1,700 m) lenght along the foot of the slope = 1,200 m projected surface area = 90 ha. The disorders affect metamorphic basement rocks of heterogeneous composition, with fracture patterns at N 10°E and N 60°E.

Available data : - geological map at scale 1: 10,000
- photogrammetrical coverage from 1970, 1987, 1989
- monitoring network, automated since 1991, that provides displacement measurements of topometric targets since 1976.

(2) Exemple of La pointe de Friolin (Vanoise), Savoie (France)

Site characteristics : elevation = 700 m (from 1,900 to 2,600 m), lenght of the disorders = 600 m, projected surface area : 36 ha. The disorders affect plutonic rocks of La pointe de Friolin, carried above gypsum.

Available data : - geological map at scale 1:50,000
- bibliographic data
- IGN photographs from 1970, 1986, at scale 1:30,000.

USE OF THE DATA

The photogrammetrical data are processed for the DEM at 5 m x 5 m (1) or 4 m x 4 m (2) steps. The differences between two DEMs, shown as an image, reveals any changes in slope topography.

By comparison with geographical reference data, a map of the surficial deformation field is obtained. The digitized geological contours are superposed on the document; an aerial photograph at original scale 1:10,000 (1) or 1:30,000 (2) is used as topographical "base map".

The resulting images highlights the role of fractures and specific geological units in disorders' evolution. In both cases, the method enables to optimise monitoring of landslides through the perception of the disorders' dynamic.

Prix de vente : 200 F + 35 F de frais de port et d'emballage

En vente chez votre libraire habituel

ou à défaut aux :

Éditions du BRGM - BP 6009 - 45060 Orléans Cedex 2 - France

Tél. : 38 64 30 28

accompagné de votre titre de paiement

ANALYSE PÉTRO-STRUCTURALE DANS UN AVANT-PAYS MÉTAMORPHIQUE : INFLUENCE DU PLUTONISME TARDI-OROGÉNIQUE VARISQUE SUR L'ENCAISSANT ÉPI A MÉSOZONAL DE VENDÉE

par
Jean-Christian GOUJOU

Document du BRGM n° 216

La cartographie des structures métamorphiques de l'avant-pays varisque de Vendée permet de développer l'analyse pétro-structurale des séries vendéennes.

La transition régionale épizone-mésozone s'opère d'abord par l'homogénéisation progressive de la composition des phyllites, avec dans l'ordre, les chlorites, les micas blancs puis les biotites. Parallèlement, on assiste à l'intensification de la transposition des structures précoces (S_{0-1}) dans la foliation régionale (S_2), qui est à la base d'une zonéographie microstructurale. L'entrée dans la mésozone est marquée par la fin de la transposition et la coexistence des "premiers" silicates index de métamorphisme : biotite-staurolite-chloritoïde. Cette intensification est "normale" (vers la base de la série) en Vendée littorale où l'anatexie des pélites est atteinte vers 700°C et 7 Kb. Ceci définit le type Barrovien de ce métamorphisme, contemporain de la déformation majeure.

L'accent est ensuite porté sur les modifications pétrologiques de l'encaissant des granites tardifs du Bas-Bocage. La zonéographie métamorphique reste cohérente autour des anatexites mais le gradient métamorphique est "de contact". La signification de chaque isograde change : les granites tardifs entretiennent un climat favorable, en présence de fluides, à l'enregistrement des variations des conditions PT après la déformation majeure, pendant l'ascension des plutons (refroidissement et exhumation du massif). L'histoire PT rétrograde du Bas-Bocage fait temporellement et thermobarométriquement suite à celle de Vendée littorale figée en phase prograde.

Le métamorphisme de contact vrai (prograde) reste limité aux granites tardifs qui se sont mis en place en déséquilibre thermique avec leur encaissant, c'est à dire dans l'épizone.

Les âges $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ sur micas et feldspaths des métapélites vendéennes à 306-317 Ma appuient le scénario envisagé : continuité et donc complémentarité des histoires métamorphiques de Vendée littorale et du Bas-Bocage. Ces âges suggèrent, en outre, que le plutonisme soit namurien à namurien supérieur.

Les derniers déplacements des nappes connues dans cette région ont lieu après toute cette histoire pétro structurale.

Petrostructural analysis of a metamorphic foreland : influence of late variscan plutonism on the epizonal to mesozonal schists of Vendée, France.

Detailed mapping of metamorphic structures in the variscan foreland of Vendée helps us to define relations between deformation and metamorphism in pelitic schists. Homogenization of phyllite compositions and progressive transposition of old structures into the regional foliation mark the epizone-mesozone transition. Total transposition is achieved in the mesozone where biotite, staurolite and chloritoid are the "first" coexisting metamorphic index minerals. Anatexis is reached under 700°C and 7 Kb, resulting from a downward increase in Barrovian type metamorphism. We also approach petrologic perturbations around the late variscan granitoids that have intruded the vendean Bas-Bocage, close anatexite bodies. The metamorphic zoneography is also consistent with anatexite outlines but surrounding rocks record contact metamorphic gradient after the major deformation event. Each isograd represents cooling reactions with or without decompression. Late variscan granitoids are responsible for the long-lasting record of PT variations during uplift : they contribute to an enrichment in fluids and a slow PT decrease allowing retrograde reactions to develop in surrounding metapelites.

Prix de vente : 400 F + 35 F de frais de port et d'emballage

En vente chez votre libraire habituel

ou à défaut aux :

Éditions du BRGM - BP 6009 - 45060 Orléans Cedex 2 - France

Tél. : 38 64 30 28

accompagné de votre titre de paiement