

Ages isotopiques Rb-Sr des leucogranites du Nord-Vivarais (Massif central) et conséquences géodynamiques *

*Rb-Sr isotopic ages of the leucogranites from northern Vivarais
(french Massif Central) and geodynamic implications*

Marc GAY ⁽¹⁾, Jean-Louis DUTHOU ⁽²⁾ et Maurice CHENEVOY ⁽¹⁾

Mots-clés : Datation, Rb-Sr, Leucogranite, Permien inférieur, Analyse majeurs, Analyse éléments-traces, Anatexie, Tectonique tangentielle, Ardèche, Vivarais, Loire.

Résumé

Deux isochrones Rb-Sr sur roches totales montrent que les leucogranites du Nord-Vivarais se sont mis en place au Permien inférieur, à l'Autunien (284 ± 7 Ma) et même au Saxonien pour certains d'entre eux (267 ± 11 Ma). Ils sont donc contemporains de l'anatexie « vellave », et sans doute génétiquement liés à elle selon une hypothèse déjà envisagée : ils ne sauraient cependant tirer leur origine d'une simple fusion totale, isochimique, des leptynites d'après les données isotopiques. L'âge des leucogranites, en accord avec ceux des anatexites sombres et des granites d'anatexie, date la culmination thermique et indique que le métamorphisme de basse pression s'est produit en même temps que la sédimentation houillère ; de ce fait, la proximité actuelle du bassin de Saint-Étienne et de la série du Pilat doit nécessairement résulter d'un processus tectonique. On doit à cet égard remarquer que la tectonique tangentielle (extensive ?) n'était pas encore terminée à la fin du Carbonifère puisque les leucogranites en portent la trace.

Abstract

Two Rb-Sr whole-rock isochrons show that the leucogranites of northern Vivarais were emplaced during early Permian, at the Autunian (284 ± 7 Ma) and even during Saxonian for some of them (267 ± 11 Ma). They are contemporaneous and therefore genetically linked with the low pressure anatexis, according to a previous hypothesis; yet, they cannot be merely generated by isochemical melting of the quartzo-feldspathic gneisses, as inferred from isotopic data. The age of the leucogranites, as those of dark anatexites and anatectic granites, date the thermal culmination and point to the fact that the low pressure metamorphism occurred at the same time as the carboniferous sedimentation; hence, the present proximity of the Saint-Étienne coal basin and of the Pilat series must result from tectonic processes. In this connection, it should be noted that the tangential (extensional?) deformation was not completed at the end of the Carboniferous, since it is recorded by the leucogranites.

Introduction

Les granites à muscovite du Pilat, largement distribués dans la série métamorphique de basse pression en corps de dimensions métriques à kilométriques, ont été répartis en trois groupes selon leur mode et site de gisement (Ravier et Chenevoy, 1966) :

— granites en filons et sills dans la zone profonde axiale faite de granites et anatexites sombres :

— granites en petits stocks inclus dans les horizons leptyniques médians de la série métamorphique ou simplement enracinés à leur interface avec les métapélites sus-jacentes :

— granites en lentilles dans les métapélites supérieures, y relayant parfois des leptynites, ou en filons discordants.

Si la plupart d'entre eux ont une structure isotrope à l'échelle mésoscopique, certains sont fortement orientés dans la partie sommitale des corps enracinés

* Manuscrit reçu le 2 avril 1992, accepté le 10 octobre 1992.

(1) Centre des Sciences de la Terre, Université Claude-Bernard, 27-43, boulevard du 11-Novembre, 69622 Villeurbanne Cedex.

(2) U.R.A. n° 10, Université Blaise-Pascal, 5, rue Kessler, 63038 Clermont-Ferrand Cedex.

dans les leptynites et dans les lentilles du troisième groupe ; leur structure exprime alors une déformation non coaxiale cohérente avec celle reconnue dans l'ensemble de la série métamorphique (Gay, 1988 ; Malavieille *et al.*, 1990). Tous les granites sont analogues au plan chimique (éléments majeurs), et cette analogie s'étend aux leptynites, souvent anatexiques. Ce sont ces caractères, et les relations de terrain, qui ont conduit à soutenir l'hypothèse (Ravier et Chenevoy, 1966) d'une ascendance leptynique des leucogranites. C'est pour mieux cerner leur origine et préciser davantage l'évolution tectonométamorphique régionale qu'a été entreprise l'étude isotopique des divers groupes par la méthode Rb-Sr. L'homogénéité des teneurs en Rb et Sr a cependant limité l'étude à trois gisements : Montbard ($x = 789.150$; $y = 320.800$), les Sagnes ($x = 773.000$, $y = 347.140$ et Planfoy ($x = 765.050$, $y = 344.300$) situés respectivement (fig. 1) dans la zone axiale, au sein de leptynites et à leur interface avec les métapélites.

Pétrographie et chimie des matériaux

Les granites à muscovite de Montbard (M), les Sagnes (LS) et Planfoy (P) possèdent l'assemblage classique des leucogranites : quartz, orthose perthitique et albite en proportions subeutectiques, biotite et musco-

vite, apatite et zircon accessoires. Des silicates d'alumine sont sporadiquement présents, andalousite de cristallisation magmatique (M et P), cordiérite (LS et P) et fibrolite (LS) reliques. De faibles différences d'ordre structural s'observent de l'un à l'autre : l'automorphisme des cristaux est plus accusé dans le leucogranite de Montbard, la granulométrie y est plus homogène et l'isotropie parfaite, tandis que les leucogranites des Sagnes et de Planfoy présentent une discrète orientation qu'accompagne une plus forte déformation du quartz localement recrystallisé.

Les compositions chimiques des trois leucogranites (tabl. I) sont typiquement peralumineuses avec des valeurs très voisines du rapport A/CNK (1,21, 1,26, et 1,25 respectivement) et du pourcentage en corindon normatif (3,32, 3,57 et 3,36). Elles sont proches de celles du minimum thermique du système haplogranitique hydraté pour de basses pressions d'eau (1 Kb), comme celles des leptynites anatexiques qui encaissent le granite des Sagnes (Ravier et Chenevoy, 1966 et tabl. I). Les analogies au niveau des éléments majeurs ont argumenté l'idée d'une filiation directe des leucogranites avec les leptynites dont ils auraient dérivé par fusion aux températures minimales du liquidus sous l'effet d'un flux aqueux localisé. Cependant, les teneurs en éléments-traces des deux sortes de matériaux n'apportent pas d'argument : si les trois leucogranites ont des teneurs analogues, Y et Zr y sont deux fois moins abondants, et Nb et Rb deux fois plus, que dans

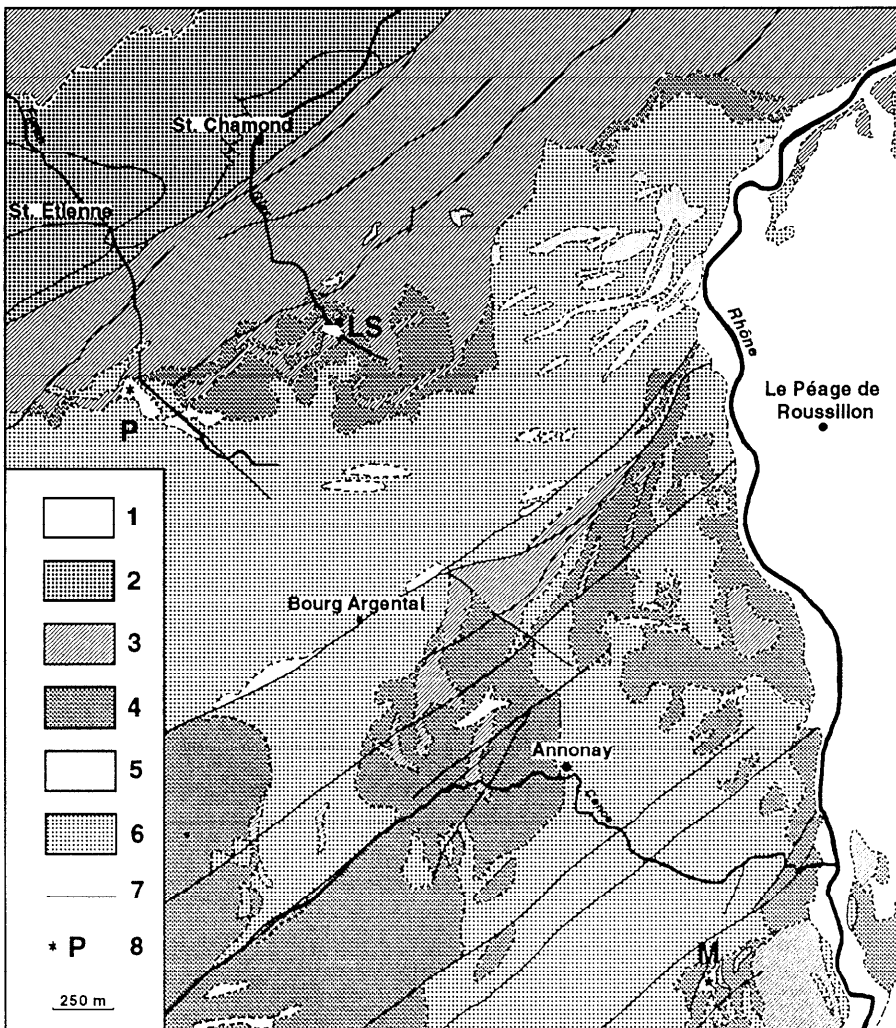


Fig. 1. - Carte de situation. 1 : terrains tertiaires et quaternaires ; 2 : Houiller ; 3 : micaschistes et gneiss ; 4 : leptynites, anatexites et granites leucocrates ; 5 : leucogranites ; 6 : anatexites sombres à cordiérite et monzogranites alumineux associés ; 7 : failles ; 8 : gisement des leucogranites étudiés (P : Planfoy ; LS : Les Sagnes ; M : Montbard).

Fig. 1. - Geological setting. 1: cenozoic and quaternary formations; 2: Carboniferous; 3: micaschists and gneisses; 4: gneisses, anatexites and granites with quartzo-feldspathic composition; 5: leucogranites; 6: dark cordierite anatexites and aluminous monzogranites; 7: faults; 8: situation of the studied leucogranites (P: Planfoy; LS: Les Sagnes; M: Montbard).

	M (N = 3)		P (N = 3)		LS (N = 8)		LLS (N = 8)	
SiO ₂ % pds	73,67	(0,35)	75,36	(0,14)	74,63	(0,37)	74,80	(1,21)
Al ₂ O ₃	14,58	(0,06)	14,29	(0,04)	14,41	(0,19)	13,41	(0,74)
FeO _t	0,94	(0,14)	0,78	(0,10)	0,80	(0,05)	1,14	(0,25)
MnO	0,04	(0,01)	0,06	(0,01)	0,05	(0,01)	0,03	(0,01)
MgO	0,09	(0,01)	0,19	(0,05)	0,20	(0,02)	0,26	(0,06)
CaO	0,47	(0,04)	0,49	(0,03)	0,41	(0,03)	0,65	(0,19)
Na ₂ O	3,92	(0,09)	3,74	(0,03)	3,71	(0,23)	3,49	(0,68)
K ₂ O	4,37	(0,04)	4,15	(0,09)	4,27	(0,19)	4,55	(0,55)
TiO ₂	0,08	(0,01)	0,09	(0,01)	0,07	(0,01)	0,11	(0,03)
P ₂ O ₅	0,39	(0,02)	0,31	(0,02)	0,28	(0,04)	0,29	(0,06)
PF ⁺	0,62		0,74		0,82		0,64	
H ₂ O ⁻	0,09		0,07		0,08		0,12	
Total	99,26		100,27		99,73		99,46	
Y ppm	12	(0,49)	12	(0,62)	11	(1,12)	22	(3,45)
Nb	26	(0,38)	20	(0,82)	26	(2,13)	14	(1,27)
Zr	36	(1,80)	39	(2,90)	34	(3,74)	65	(11,27)
Rb	545	(7,90)	412	(17,26)	525	(58,26)	278	(33,40)
Sr	51	(11,09)	38	(1,75)	29	(3,70)	37	(6,87)
B	130	(8,5)	-		13 ¹	(0,1)	5 ²	(2,86)

Tabl. I. - Compositions chimiques moyennes des leucogranites de Montbard (M), Planfoy (P) et Les Sagnes (LS), et des leptynites migmatitiques des Sagnes (LLS). Analyses du Laboratoire de Pétrographie, Université de LYON I. Ingénieur-chimiste : P. Capiez. Méthodes utilisées : Si, Al, Ti, Fe total, Mg, Ca, Mn et éléments traces par spectrométrie FX ; Na et K par spectrométrie d'émission de flamme ; P par colorimétrie ; B par activation neutronique avec comptage du rayonnement gamma prompt (Laboratoire de Pétrographie, Université de Grenoble, et ILL) - Écarts-types entre parenthèses.
1 : moyenne de 2 échantillons ; 2 : moyenne de 5 échantillons.

Table I. - Average chemical compositions of the leucogranites from Montbard (M), Planfoy (P) and Les Sagnes (LS) and of the migmatitic quartzo-feldspathic gneisses from Les Sagnes (LLS).

Analyses: Si, Al, Ti, total Fe, Mg, Ca, Mn, and trace elements by XRF spectrometry; NA and K by flame emission spectrometry; P by colorimetry; B by prompt gamma neutron activation analysis. Standard deviation in brackets.

1: average of 2 samples; 2: average of 5 samples.

les leptynites. Mais des fractionnements entre liquide silicaté et minéraux porteurs de ces éléments-traces ont pu, par exemple, intervenir. Notons enfin que les teneurs en B sont significativement différentes pour les leucogranites des Sagnes et de Montbard : le premier est pauvre en cet élément — 13 ppm, à comparer aux 5 ppm des leptynites environnantes — tandis que le second en contient 130 ppm, quantité à mettre en relation avec l'abondance, dans ses fissures, de la fluorine qui témoigne de la richesse en F de ses fluides résiduels.

Données isotopiques

Les teneurs en Rb et Sr, et les compositions isotopiques sont présentées sur le tableau II.

Les sept échantillons de leucogranite de Montbard couvrent une gamme étendue de rapports Rb/Sr. Ils définissent une droite correspondant à un âge permien inférieur (Odin et Odin, 1990), plus précisément Saxonnien, de 267 ± 11 Ma (MSWD = 1.8), avec un Sr_i de 0.737 ± 0.003 (fig. 2).

Les cinq échantillons de leucogranite des Sagnes se disposent aussi selon une isochrone qui indique également un âge permien inférieur, mais autunien, de 287 ± 10 Ma (MSWD = 0.7), avec un Sr_i de 0.712 ± 0.008 que les valeurs élevées des rapports Rb/Sr (41 à 63) ne permettent pas de définir avec précision.

Quant au leucogranite de Planfoy, son rapport Rb/Sr varie trop peu pour que soit construite une isochrone : mais ses points représentatifs s'inscrivent sur l'isochrone du leucogranite des Sagnes (fig. 2) et on peut admettre qu'il est contemporain de ce dernier. L'âge obtenu est alors de 284 ± 7 Ma (MSWD = 1.00) avec un Sr_i de 0.714 ± 0.004 .

Echantillons	S 1	S 7	S 9	S 16	S 19	PL 18	PL 20	PL 30	PL 32	PL 33
Rb p.p.m.	546	530	541	501	476	451	411	408	449	424
Sr p.p.m.	25,6	23,9	24,6	28,7	33,8	40,2	35,9	35,3	37,6	36,0
$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	63,2	62,6	65,4	51,6	41,5	32,9	33,5	37,4	31,8	34,5
$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	0,96716	0,96913	0,97702	0,92325	0,88012	0,84598	0,84745	0,86651	0,84275	0,85541
Granites des Sagnes et de Planfoy										
Echantillons	M 2	M 3	M 4	M 6	M 7	M 9	M 10			
Rb p.p.m.	517,0	517,5	517,0	530,0	529,5	541,0	532,0			
Sr p.p.m.	47,2	57,8	60,3	28,4	32,2	25,1	38,1			
$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	32,2	26,2	25,1	55,3	48,6	63,9	41,1			
$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	0,85880	0,83748	0,83220	0,94918	0,92310	0,97835	0,88965			
Granite de Montbard										

Tabl. II. - Résultats analytiques Rb-Sr. Rb et Sr dosés par FX. Compositions isotopiques déterminées par spectrométrie de masse (VG 54 E). Valeur obtenue avec l'étalon NBS 987 = $0,71023 \pm 2$; erreur sur les rapports $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr} = 2\%$ (2σ). Précision relative des rapports $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr} = 0,07\%$ (2σ).

Table 2. - Rb-Sr analytical results. Rb and Sr determined by XRF spectrometry. Isotopic compositions by mass spectrometry (VG 54 E). Mean value obtained with the NBS salt SRM 987 = 0.71023 ± 2 . $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ ratios precise to $\pm (2\sigma)$. Within run counting statistics uncertainty of Sr isotopic composition = 0.07% (2σ).

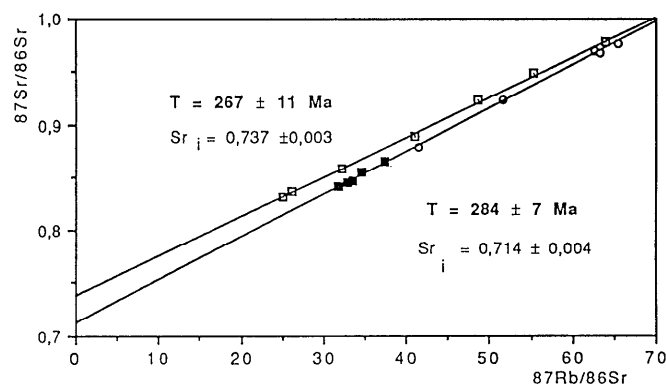


Fig. 2. - Isochrones Rb-Sr du granite de Montbard (au-dessus) et des granites de Planfoy et Les Sagnes (au-dessous). Calcul selon le programme de York (1969). Montbard : carrés ouverts : Planfoy : carrés pleins : Les Sagnes : cercles.

Fig. 2. - Rb-Sr isochrons of the granites from Montbard (above) and from Planfoy and Les Sagnes (below) computed following York (1969). Montbard: open squares; Planfoy: solid squares; Les Sagnes: circles.

Discussion

L'unité pétrogénétique des granites à muscovite du Pilat, argumentée par leur identité pétrographique et chimique, est partiellement confirmée par les données chronologiques : les leucogranites des Sagnes et de

Planfoy qui illustrent deux modes de gisement des granites à muscovite du deuxième groupe sont contemporains. Cette conclusion peut être étendue aux leucogranites en sills du premier groupe : en effet, l'un d'eux (Roisey, $x = 783.150$, $y = 346.850$) présente avec le complexe granito-anatexique sombre qui l'entourne, daté lui-même à 287 ± 6 Ma (Duthou *et al.*, à paraître), des relations (enclaves réciproques, structures d'interface indiquant un faible contraste de viscosité) témoignant d'une simultanéité de mise en place. Le leucogranite de Montbard n'appartient pas à cette génération autunnienne, sauf à invoquer une réhomogénéisation isotopique tardive par des circulations hydrothermales que peut suggérer sa richesse en B et F : mais, outre que l'on ne connaît pas de marques de telles circulations dans son environnement régional, sa mise en place au Permien est cohérente avec celle des granites tardimigmatitiques datés plus au sud à 274 ± 7 Ma (Caen-Vachette *et al.*, 1982).

Le lien établi précédemment (Ravier et Chenevoy, 1966) entre génération leucogranitique et anatexie est également confirmé : les âges du leucogranite des Sagnes et des anatexites sombres sont analogues, en accord avec les arguments structuraux indiqués ci-dessus, et ils s'inscrivent dans la fourchette définie au sud (Caen-Vachette *et alii*, 1982) pour l'« anatexie veillée » (298 ± 8 à 274 ± 7 Ma). Toutefois, une origine des leucogranites par simple fusion totale des leptynites encaissantes ou proches, que les teneurs en éléments traces ne permettent pas, ne s'accorde pas avec les données isotopiques : le calcul montre en effet que la

fusion et la réhomogénéisation consécutive des leptynites à 287 Ma aurait engendré, compte tenu de leurs caractéristiques isotopiques (Caen-Vachette, 1979), un bain leucogranitique de rapport $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ bien différent de celui déterminé par l'isochrone des Sagnes (0,760 - 0,770 et 0,712 respectivement). Pour concilier observations de terrain et données géochimiques, il faut donc envisager un affinement du mécanisme proposé, voir d'autres sources, au moins partielles, et/ou d'autres mécanismes.

Les leucogranites en lentilles dans les métapélites ou arrivant à leur contact tel celui de Planfoy, et eux seuls, présentent les marques régulières de la déformation non coaxiale relevée dans les métamorphites du Pilat et dans le granite du gouffre d'Enfer qui s'y est mis en place précocément (Caen-Vachette *et al.*, 1984 ; Gay, 1988 ; Malavieille *et al.*, 1990). La déformation tangentielle ductile de la série du Pilat s'est donc poursuivie pendant plus de 30 Ma, d'avant la mise en place du granite du Gouffre d'Enfer (322 Ma) à celle des leucogranites ; et les derniers incréments de cette déformation se sont localisés dans la fraction supérieure de la pile métamorphique, plus fissile et présentant à ce stade une moindre résistance au cisaillement.

La culmination du système thermique du Pilat qu'exprime l'anatexie est postérieure au Stéphanien : le métamorphisme de basse pression dont la phase dynamique a débuté au Namurien s'est donc développé simultanément à la sédimentation houillère du bassin de St-Étienne à partir du Stéphanien A. Là où s'observe, au bord sud du bassin, la base stratigraphique des dépôts houillers, leur substratum est constitué, comme au bord nord, de micaschistes et gneiss de la série métamorphique lyonnaise dont la phase anatectique est réputée dévonienne. Mais la distance mini-

male qui sépare aujourd'hui ces dépôts houillers autochtones, où n'a été signalée aucune évolution thermique, des métamorphites de basse pression les plus proches, est très faible. On doit donc s'interroger sur la position qu'occupait au Stéphanien le domaine Pilat par rapport à l'aire de sédimentation houillère, et sur l'âge et les modalités de leur rapprochement, horizontal, sous l'effet d'une compression comme le suggère en particulier le charriage d'une partie du Stéphanien (Bouroz, 1978) ou vertical en régime distensif (Malavieille *et al.*, 1990).

Conclusion

Les granites à muscovite connus à divers niveaux de la série métamorphique du Pilat et dont bon nombre sont inclus dans des leptynites anatectiques dont ils ont les caractères chimiques majeurs sont bien, par leurs âges de 284 ± 7 et 267 ± 11 Ma, liés à l'anatexie de basse pression vellave ; ils ne peuvent toutefois être le produit d'une simple fusion des leptynites.

Une partie d'entre eux au moins se sont mis en place, à l'Autunien, à un moment où la série du Pilat était sujette à une déformation tangentielle à vergence nord.

Les conditions thermiques qui régnaient alors dans la série du Pilat ne sont pas compatibles avec celles de la sédimentation contemporaine du bassin houiller de St-Étienne maintenant tout proche des leucogranites. La juxtaposition du domaine du Pilat et du Bassin houiller résulte donc d'un processus de rapprochement tectonique qui reste à préciser.

Références bibliographiques

- BOUROZ A. (1978). - Essai de synthèse tectonique du bassin houiller de Saint-Étienne. *Rev. Ind. Minér.*, **60**, n° 10, pp. 493-519.
- CAEN-VACHETTE M. (1979). - Age cambrien des rhyolites transformées en leptynites dans la série métamorphique du Pilat (Massif Central français). *C.R. Acad. Sci., Fr. (D)*, **289**, n° 14, pp. 997-1000.
- CAEN-VACHETTE M., COUTURIE J.P., DIDIER J. (1982). - Ages radiométriques des granites anatectique et tardimigmatique du Velay (Massif Central français). *C.R. Acad. Sci., Fr. (2)*, **294**, n° 2, pp. 135-138.
- CAEN-VACHETTE M., GAY M., PETERLONGO J.M., PITIOT P., VITEL G. (1984). - Age radiométrique du granite syntectonique du Gouffre d'Enfer et du métamorphisme hercynien dans la série de basse pression du Pilat (Massif Central français). *C.R. Acad. Sci., Fr. (2)*, **299**, n° 17, pp. 1201-1204.
- DUTHOU J.L., GAY M., CHENEVOY M. (à paraître). - Age « vellave » des migmatites sombres à cordiérite du Pilat (Massif Central français).
- GAY M. (1988). - Tectonique tardihercynienne dans le domaine métamorphique du Pilat (Massif Central français). *C.R. Acad. Sci., Fr. (2)*, **307**, n° 1, pp. 79-82.
- MALAVIEILLE J., GUIHOT P., COSTA S., LARDEAUX J.M., GARDIEN V. (1990). - Collapse of the thickened Variscan crust in the French Massif Central : mont Pilat extensional shear-zone and St-Étienne late carboniferous basin. *Tectonophysics*, **177**, n° 1-3, pp. 139-150.
- ODIN G.S., ODIN C. (1990). - Échelle numérique des temps géologiques. *Géochronique*, n° 35, pp. 18-21.
- RAVIER J., CHENEVOY M. (1966). - Les granites à muscovite du mont Pilat (Massif Central). *Bull. Soc. géol. Fr. (7)*, **8**, n° 1, pp. 133-149.
- YORK D. (1969). - Least-square fitting of a straight line with correlated errors. *Earth and Planetary Sci. Letters*, **5**, pp. 320-324.

HYDROGÉOLOGIE

Fondée en 1963, **Hydrogéologie** est une revue scientifique et technique trimestrielle destinée aux hydrogéologues professionnels et aux spécialistes de l'exploitation et de l'utilisation des eaux souterraines, auxquels elle offre la possibilité de publier leurs travaux en français ou en anglais. Ses articles traitent des techniques de prospection et de production, aussi bien que des progrès des connaissances sur la dynamique et l'hydrochimie des eaux souterraines et des méthodes de protection et de gestion. La revue publie régulièrement des numéros spéciaux thématiques : état de l'art sur un sujet méthodologique ou synthèse géographique. Elle publie, en outre, une lettre d'informations du Comité français de l'Association internationale des hydrogéologues.

« Hydrogéologie » first published in 1963, is a quarterly technical and scientific journal for professional hydrogeologists and specialists in the exploitation and utilization of groundwater, giving them the opportunity to publish their work, either in French or in English. It publishes articles on exploration and production techniques, progress achieved in groundwater dynamics and hydrochemistry, and protection and management methods. Special thematic issues are published regularly, on for example the state of the art in a methodological subject or geographical reviews. The journal also publishes the newsletter of the French Committee of the International Association of Hydrogeologists.

HYDROGÉOLOGIE - 4 numéros par an (4 issues per year).

Abonnement 1993 (annual subscription) : France 600 FF (frais de port inclus) (postage included) Etranger 650 FF (Abroad)
 * 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 :

Éditions du BRGM
 BP 6009,
 45060 Orléans Cedex 2,
 FRANCE



BON DE COMMANDE (order from to) :
CDR, 11, rue Gossin, 92543 Montrouge Cedex, France

Veuillez trouver ci-joint le paiement / m'envoyer la facture de FF * pour abonnement à **Hydrogéologie** (Please accept my payment of/invoice me for * FF for my 1993 subscription to **Hydrogeologie**).

Veuillez m'envoyer un spécimen de « Hydrogéologie » (Please send me a sample copy of **Hydrogeologie**).

NOM (Name)

ADRESSE (Address)

DATE SIGNATURE

Rayez la mention inutile (Please delete as appropriate).
 Etablir le chèque à l'ordre de CDR (Checks to be made payable to CDR).

COMITÉ DE DIRECTION (direction board)

Reynold BARBIER,
 Institut Dolomieu, Grenoble

Mustapha BESBES, ENIT
 Tunis, Tunisie

Pierre CHAUVE,
 Université de Besançon

John P. DAY,
 British Geological Survey,
 Wallingford, Royaume-Uni

Moussa DIENG,
 Mines et géologie,
 Dakar, Sénégal

Pierre DUBREUIL, ORSTOM,
 Paris, France

Claude GRENIER,
 Ministère de l'environnement,
 Québec, Canada

Roger GUENNELON, INRA,
 Montfavet, France

Jean KHOURI,
 ACSAD, Syrie

René LETOLLE,
 Université Paris VI, France

Ramon LLAMAS MADURGA,
 Universidad Autonoma,
 Madrid, Espagne

Claude Louis, Paris, France

Paul A. WITHERSPOON,
 Lawrence Berkeley Laboratory,
 Berkeley, USA

RÉDACTEUR EN CHEF (chief editor)
 Jean MARGAT, BRGM

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

