



**HAL**  
open science

## Centre de recherches pétrographiques et géochimiques : rapport annuel 1986-1987

- Centre de Recherche Pétrographiques Et Geochemiques

► **To cite this version:**

- Centre de Recherche Pétrographiques Et Geochemiques. Centre de recherches pétrographiques et géochimiques : rapport annuel 1986-1987. [Rapport de recherche] CNRS. 1988, 197 p. hal-01358104

**HAL Id: hal-01358104**

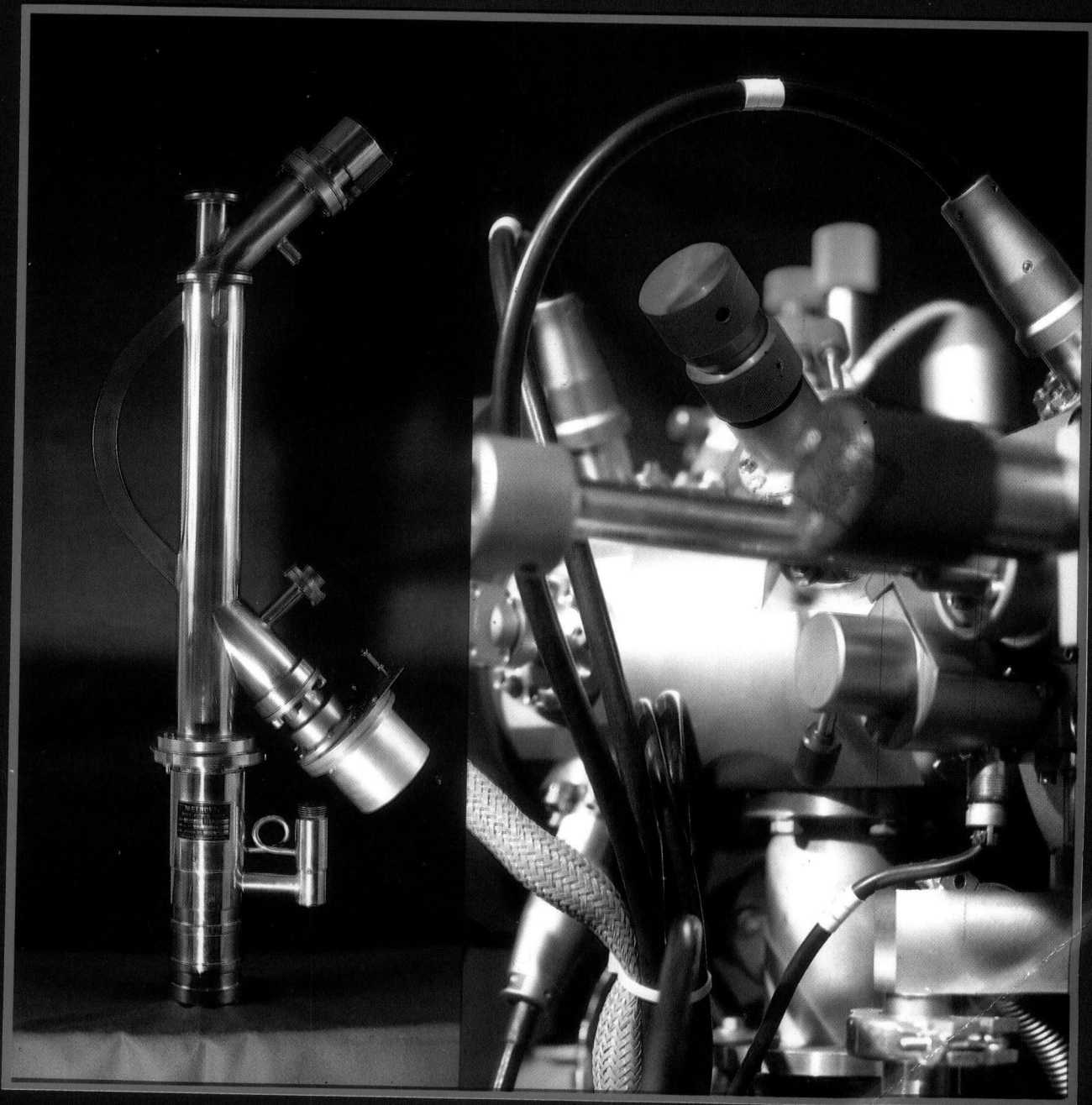
**<https://hal-lara.archives-ouvertes.fr/hal-01358104v1>**

Submitted on 31 Aug 2016

**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.

Centre de Recherches  
Pétrographiques et Géochimiques  
Rapport annuel 1986-1987



C.R.P.G., 15 rue Notre Dame des Pauvres,  
B.P. 20, 54501 Vandoeuvre-lès-Nancy, France.

430 a 10B  
RP 245 (20)

TOE



### Page 1 de couverture

- Analyse isotopique en phase gazeuse ou solide :  
Spectromètre de masse Metropolitan Vickers MS 2 SG en service au C.R.P.G. de 1958 à 1983 (photo de gauche).
- Microanalyse chimique et isotopique sur sections polies :  
Eléments de l'analyseur ionique Cameca IMS 4 F reçu au C.R.P.G. en 1986 (photo de droite).

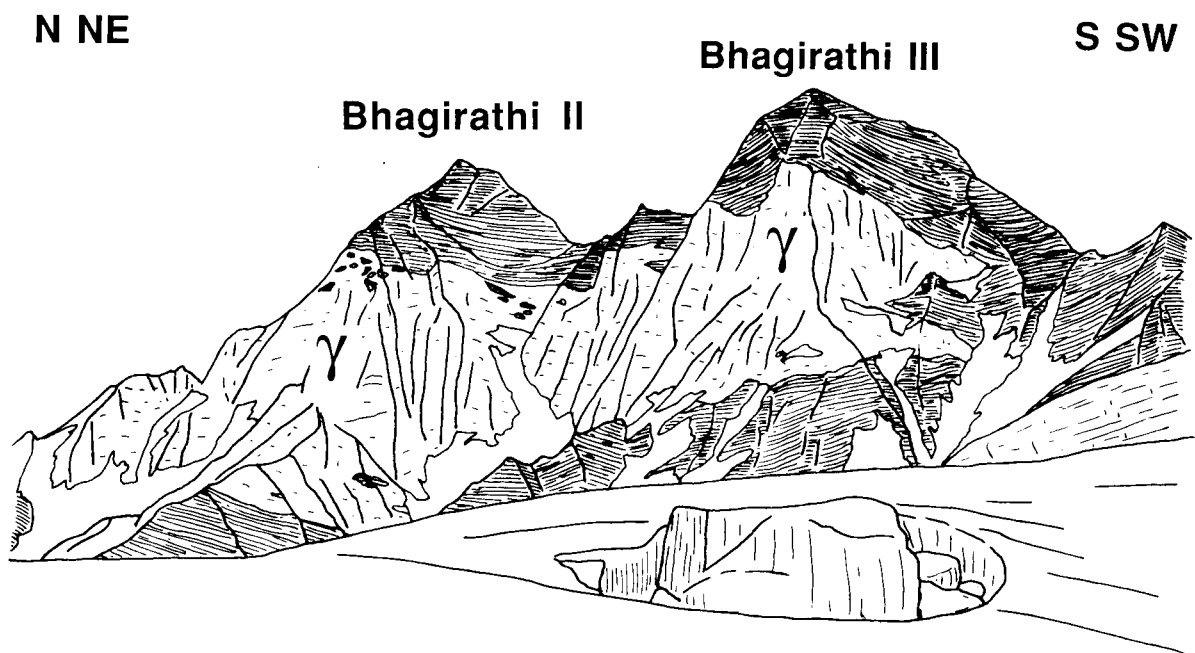
Du MS 2 à l'IMS 4 F le gain en sensibilité peut atteindre un million pour le soufre ou les terres rares, par exemple.

### Page 4 de couverture



#### Le leucogranite de Gangotri-Badrinath Pics des Bhagirathi II (6512 m) et III (6454 m) Himalaya du Garhwal, Inde - Photo Bruno SCAILLET

Ce massif appartient à la ceinture des leucogranites du Haut Himalaya. La photo est prise vers l'Est, à partir du glacier du Gangotri à 4600 m. Le leucogranite ( $\gamma$ ) est intrusif dans les Formations Sédimentaires Tibétaines. La forme lenticulaire est caractéristique des leucogranites de ce massif. Les données structurales actuelles suggèrent que cette géométrie dérive d'un mécanisme de "pinch and swell" d'échelle crustale



DB 122888

**GÉOLOGIE STRUCTURALE.** -- *Grandes nappes synschisteuses collisionnelles dans la catzone hercynienne des Cévennes médianes (Massif Central, France).* Note de Jean Macaudière, Christian Marignac et Alain Weisbrod, présentée par Georges Millot.

L'analyse des relations structurales dans un secteur des Cévennes médianes permet la mise en évidence d'une tectonique en nappes synschisteuses qui affecte à la fois les métagranites « ardéchois » et les paragneiss cévenols sous forme de têtes plongeantes à cœur de métagranites. Ces nappes sont reprises par la tectonique énéocontemporaine de la migmatisation tardihercynienne du Velay, qui en efface les marqueurs dynamiques.

**G17.58** *Terra Cognita (1987), 7, 2-3, 408*

### BORON CONTENT OF HYDROTHERMAL SOLUTIONS AND TOURMALINE SOLUBILITY

A. WEISBROD\*

(Ecole Nationale Supérieure de Géologie, Nancy, and CRPG, Vandoeuvre-lès-Nancy, France)

Boron is a common component of many hydrothermal fluids. Until now, nothing was known about the boron content of these fluids and models of boron metasomatism were largely speculative.

Because tourmaline is the most common boron-rich silicate, the following mineral associations have been chosen: tourmaline + cordierite (or clinocllore) + andalusite (or pyrophyllite) + albite + quartz + 3 wt% NaCl-B2O3 aqueous solution. At the chosen pressure (1 kbar), these associations are univariant in the T, K = XB203 space. They were runned in pressure-vessels at temperatures ranging from 300 to 750°C, and the values of the equilibrium constant (XB203) were determined.

The minimum solubility of tourmaline occurs at about 350-400°C (less than 0.05 wt% B2O3). It increases slightly at lower temperatures (about 0.2 wt% B2O3 at 300°C). Above 400°C, the boron concentration increases exponentially, and reaches 2.5 wt% B2O3 at 700-720°C. Beginning of melting occurs between 730 and 750°C. The consequences of these results are discussed.

**G16.09** *Terra Cognita (1987), 7, 2-3, 386*

### CRYSTAL CHEMISTRY OF FERBERITE AND ASSOCIATED Nb-Ta MINERALS AT ECHASSIÈRES (MASSIF CENTRAL, FRANCE)

C. MARIGNAC\*, M. AISSA & A. WEISBROD

(Ecole des Mines, Nancy, France)

In the Echassières district, a quartz-ferberite stockwork is known down to ~ 900 m.

1/ The ferberites (Fe/Fe+Mn grading from 0.77 at the surface to 0.93 at the lowest level) are Nb-rich (up to 9% Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) and Ta-poor (up to 0.34% Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>); minor contents of Ti and Sn are found only in the Nb-richest analyses (up to 0.5% TiO<sub>2</sub> or SnO<sub>2</sub>). The incorporation of Nb in Echassières ferberites is due to columbite-wolframite solid solution (or sub-micron crystal mixing), according to the substitution vector:  $W_{-3}Fe_{+4}Nb_{+4}$  (coupled with  $Fe_{+1}Mn_{+1}$  and  $Nb_{-1}Ta_{+1}$ ). The amount of the substitution shows an overall decrease with increasing depth. However, the resulting mineral should be Fe deficient, which is not the rule at Echassières. This implies subsidiary substitution of the type  $Nb_{-1}O_{+1}Fe_{+2}Fe_{+1}$  or  $W_{-1}Fe_{+2}$ . Fe<sup>3+</sup> component ( $\leq 10$  per F.U.) is rapidly decreasing at depth.

2/ In some dissolution cavities in the ferberite, later growth of some W-Nb-Ta minerals occurred prior to a mica infilling:

- Nb-rich Ta and Ti-enriched Fe+Mn-deficient ferberites, apparently characterized by pure columbite-wolframite solid solution (coupled with  $Nb_{-1}Ta_{+1}$ ).

- "columbites" enriched in W (up to 8.7% WO<sub>3</sub>), Ta (up to 9% Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), Ti (up to 4.9% TiO<sub>2</sub>) and Sn (up to 0.9% SnO<sub>2</sub>), which are therefore wolframite-ixiolites, characterized by a set of substitutions:  $O_{+1}W_{+2}Nb_{-2}Fe_{-1}$ ;  $Nb_{-1}Ta_{+1}$ ;  $Ti_{-1}Sn_{+1}$ ; and  $Nb_{-4}O_{+1}Ti_{+3}$ .

- dendritic minerals incorporated in the wolframite-ixiolites, with approximately 1/3 W and 2/3 Nb (WO<sub>3</sub> 34.7; Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 36.8; Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 2.6; TiO<sub>2</sub> 2.6; SnO<sub>2</sub> 0.8; FeO 13.7; MnO 6.9), which are likely to represent solid solution between the Nb-rich ferberites and the wolframite-ixiolites.

### Comportement métastable des inclusions fluides monophasées dans les minéraux des roches. Conséquences

Alain WEISBROD et Jacques LEROY

**Résumé** - L'étude du comportement microthermométrique d'inclusions fluides monophasées démontre le caractère métastable de la nature du fluide inclus. Le mécanisme du retour aux conditions d'équilibre est analysé. Il indique que, dans la quasi-totalité des cas, les fluides ont été piégés à des températures d'au moins 150°C.

**G16.03** *Terra Cognita (1987), 7, 2-3, 387*

### CRYSTAL CHEMISTRY OF NA-MG-AL TOURMALINES

A. WEISBROD\*

(Ecole Nationale Supérieure de Géologie, Nancy and CRPG, Vandoeuvre-lès-Nancy, France)

Na-Mg-Al tourmalines have been synthesized at 700°C, 1 kbar, from a mixture of oxides and borates. Afterwards, these tourmalines have been runned with Mg-cordierite (or Mg-clinocllore), andalusite (or pyrophyllite), albite, quartz and B2O3-NaCl aqueous solutions, at 1 kbar and temperatures ranging from 300 to 700°C. After quenching, the tourmalines were analyzed with the CAMEBAX electron microprobe. The structural formulae were calculated with assuming a perfect filling of the 3-4 sites (three B per formulae unit).

RESULTS: 1/ The chemistry and stoichiometry of the tourmalines do not depend on temperature. 2/ The composition departs slightly, but significantly, from the theoretical dravite (excess of Al). 3/ The rate of filling of the "X" (alkali) site (0.90 to 1.10) and of the "Y" (6-coordinated) sites (0.98 to 1.02) indicates an almost perfect occupancy of these sites. This precludes any proton deficiency in these tourmalines. 4/ These tourmalines clearly show a significant Tschermack substitution (5% of the tetrahedrons occupied with Al); this result disagrees with some authors' statements. 5/ Proton-deficient tourmalines can be easily confused with a combination of Tschermack and alkali-deficient substitutions, on the well-known diagram from Foit and Rosemberg.

**G06.18** *Terra Cognita (1987), 7, 2-3, 321*

### THERMOBAROMETRIC EVOLUTION OF HYDROTHERMAL AND MAGMATIC PROCESSES AT ECHASSIÈRES (MASSIF CENTRAL, FRANCE) FROM FLUID INCLUSION DATA

M. AISSA, CH. MARIGNAC & A. WEISBROD

(CRPG, Vandoeuvre-lès-Nancy, France)

At Echassières, a quartz-ferberite stockwork is crosscut by a succession (in chronological order) of granitic intrusions: 1/ the Li-bearing Colette granite and 2/ the lithium-fluorine-albite Beauvoir granite.

Fluid inclusions show evidences of two major hydrothermal events:

1. In the stockwork, fluids associated with tungsten mineralization are mainly nitrogen-bearing aquo-carbonic fluids. These fluids are progressively diluted by water. This dilution is associated with ore deposition. As the corresponding inclusions are not decrepitated during the subsequent intrusion of the close Colette granite, the lithostatic pressure at that time must have been of the order of 1500 bars (for a temperature of 525°C) in the stockwork.

2. In the stockwork and at the top of Beauvoir granite tardimagmatic hot brines are found, displaying evidence of retrograde boiling. These fluids yield to-paze impregnations in the stockwork. Composition of equilibrium vapor and brines involved in the boiling process indicates a fluid pressure of about 840 bars for a temperature of ~ 580°C at the top of the Beauvoir granite at the time of its intrusion. The relations between this fluid pressure and the lithostatic pressure are debatable.

## Characteristics and evolution of "vaugneritic magmas": an analytical and experimental approach, on the example of the Cévennes Médiannes (French Massif Central)

by JEAN-MARC MONTEL\* and ALAIN WEISBROD\*\*

\* Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques, 54500 Vandœuvre les Nancy, France.

\*\* Ecole Nationale Supérieure de Géologie, I.N.P.L., B.P. 452, 54001 Nancy cedex, France.

**Abstract.** -- This study of some vaugnerites (Mg-biotite rich diorites and associated rocks from the high grade metamorphic and migmatitic series of the Cévennes Médiannes region) intends to clarify some characteristics and the stages of the evolution of the so-called "vaugneritic magmas".

The study includes field work, petrographic work, mineral analyses and experiments at high temperatures (670-820°C) and pressure (2 kbar) under water-saturated conditions.

The main results are:

- 1 - The variety of the mafic potassic facies is much wider in the Cévennes Médiannes than in the other known occurrences. This must be related to the synkinematic emplacement of the intrusions at various structural levels.
- 2 - The Mg-rich and hydrated character of the vaugneritic magmas is quite early, as well as -- at least in part -- the potassic character.
- 3 - Pressure has an important effect upon the course of crystallization during the magmatic evolution.
- 4 - Vaugneritic magmas intrude the country rocks at their current level, at very high temperatures, around 1000°C. The part played by these intrusions on the thermal history of the country is quite significant.
- 5 - The solidus of common vaugnerites is at about 790°C, at  $\text{PH}_2\text{O} = \text{P tot} = 2$  kbar.
- 6 - Late stages of differentiation of this type of magma can yield unusual residual melts, the composition of which is that of a plagioclase-quartz-(biotite) mixture, without any K-feldspar.

**Key words:** mafic potassic magmas, vaugnerites, plagioclases, experimental petrology, Cévennes Médiannes.

### G06.19 Terra Cognita (1987), 7, 2-3, 321 AN EXAMPLE OF SEPARATE HEAT AND METAL SOURCES IN A TIN DEPOSIT OF ST MELANY (SE FRENCH MASSIF CENTRAL)

F. NOYE, C. MARIGNAC & A. WEISBROD  
(CRPG, Vandœuvre-lès-Nancy, France)

The Sn (and accessory W) deposit at St Melany results of several tectonic, metamorphic, magmatic and hydrothermal events. A tectono-metamorphic event "2" (early hercynian, low-temperature, moderate to high pressure) created a strong pervasive regional schistosity. During a later event "3" (late hercynian, high T-low P), the following stages occurred (in chronological order): 1/ Intrusion of the Rocles granite, and ensuing outlying pervasive quasi-regional hydrothermal circulations and alterations (muscovitization, tourmalinization; formation of thick barren quartz veins at St Melany); deformation of these quartz veins. 2/ Later intrusion of the Borne monzogranite, very poorly differentiated and not specialized; ensuing local and fissural hydrothermal circulations; at St Melany, these circulations are responsible for the transport and deposition of tin.

Lamprophyric intrusions followed each other during the whole event "3" at St Melany; they might also be responsible for the heat source, and therefore for the circulation of the mineralizing fluids.

Because of their geochemical features, neither the Borne granite nor the lamprophyres are convenient suppliers of tin and/or tungsten. The source of these metals is most likely the para-derived Cévennois schists, or possibly the ortho-derived Ardechois leptynites (old leucogranites).

### G06.21 Terra Cognita (1987), 7, 2-3, 322 THERMAL AND CHEMICAL EVOLUTION OF THE HYDROTHERMAL FLUIDS IN THE TIN-TUNG- STEN DEPOSIT AT TARMILET (WALMES DISTRICT, CENTRAL MOROCCO)

M. BENNANI, C. MARIGNAC & A. WEISBROD  
(CRPG, Vandœuvre-lès-Nancy, France)

The Walmes granitic complex, intrusive into low-grade graphitic shales and sandstones, is associated with mineralized quartz veins: extra-granitic Sn (El Karit) and W (Zguit) deposits; intragranitic Sn-W deposit at Tarmilet, which is located half-way between El Karit (N) and Zguit (S). At El Karit, tin deposition occurred just after the intrusion of the main two-mica granite. At Tarmilet, Sn and W mineralizations are found in a complex quartz stockwork, most of the veins of which are younger than the latest magmatic intrusions. However, some rare early E-W quartz veins contain cassiterite the features of which (including fluid inclusions) are similar to those at El Karit. In the main stockwork, cassiterite is older than the wolframite.

Fluids associated with tin deposition are  $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{CH}_4$  bearing waters of low salinity, more or less diluted and (at least partly) quartz undersaturated; they are very similar to the fluids associated with tin deposition at El Karit. The homogenization temperatures (320-270°C) decrease from the early cassiterite to the latest ones. The cassiterite stage at Tarmilet may then be considered as the result of shifting toward south and retraction inside the granitic body of the geothermal cell which was once responsible for El Karit mineralization. The beginning of wolframite deposition is marked by a significant rise in homogenization temperatures of the associated fluids, which do not differ greatly in chemistry from those associated with cassiterites. The same fluids are also found at Zguit, where they are the earlier ones. The W stage could therefore represent the onset of a new geothermal cell, with a new shift toward the south, associated with a new heat input, the origin of which is at the moment unknown.

A late hydrothermal stage, characterized by chalcedonic quartz and very low pressure boiling of aquo-carbonic fluids is centered at Zguit. Its effects are decreasing northward. It represents the last step of the continuous southward shifting of the centers of hydrothermal activity.

### S23.22 Terra Cognita (1987), 7, 2-3, 231 THE WALMES GRANITIC COMPLEX (CENTRAL MOROCCO): AN EXAMPLE OF SUBSOLIDUS TIN SPECIALIZATION

D. BLAMART\*, M. BOUTALEB, Ch. MARIGNAC, S.M.F. SHEPPARD & A. WEISBROD  
(CRPG, Vandœuvre-lès-Nancy, France)

The Walmes tin (tungsten) ore deposits are associated with multi-intrusive two-mica and muscovite granites ( $\pm$  tourmaline) which display a clear tin specialization.

The early two-mica granites contain 800-900 ppm F, 250 ppm Li, and 20-30 ppm Sn whereas muscovite granites contain 2100 ppm F, 750 ppm Li, 90 ppm Sn.

1 - Muscovite is largely post-magmatic. Most of the muscovite is clearly developed at the expense of feldspar. Euhedral muscovite in the main two-mica granites are also late: it often cross-cuts the plastic foliation of the outer facies of the massif. Moreover the limits between the muscovite granite and the two-mica granites correspond to an hydrothermal biotite-muscovite transformation.

2 - There is a geochemical evolution from the two-mica granites to the muscovite granites; enrichment in  $\text{SiO}_2$ ; decrease of K/Na and Sr/Rb, increase in Li, F, Sn, Be ... Projected onto the Q-Ab-Or plane, this trend is orthogonal to the Na enrichment, implying a post magmatic greisenization process.

3 - Hydrogen isotope fractionations between coexisting biotites and muscovites from the granites are variable (0 to 25) with  $\delta\text{D}$  of most of the biotites being relatively uniform. Water in equilibrium with the most  $\delta\text{D}$  enriched micas have  $\delta\text{D}$  values similar to those of the fluid inclusions from the vein cassiterite mineralisation ( $\delta\text{D} = 30$ ‰) indicating that the much of the two-mica granite and all of the muscovite granites have been modified by externally derived post-magmatic fluids. The major enrichment in F, Li, Sn, Be etc. in muscovite granite is therefore large part post-magmatic in origin.

### G08.07 Terra Cognita (1987), 7, 2-3, 338 STRUCTURAL ORGANIZATION OF THE SOUTH- ERN PART OF THE VELAY DIAPIR (FRENCH MASSIF CENTRAL): TECTONIC IMPLICATIONS

J. MACAUDIERE\*, C. MARIGNAC & A. WEISBROD  
(ENSG, Nancy, France)

The "Cévennes médianes" region is localized between the "Schistes des Cévennes" to the South and the granitic core of the highly migmatitic Velay diapiric dome to the North. Two main lithologic components have been recognized:

- a mainly para-derived "Série Cévenole"; it is demonstrated to be the northern continuation of the "Schistes des Cévennes", which in fact reappear in medium-grade conditions, grading to high-grade "Cévenolite" rocks, inside down faulted panels along late E-W hercynian faults, in the border of the migmatite core.

- an orthogneissic and leptynitic "Série ardéchoise".  
1/ A tangential event creates a strong flat-lying S2 schistosity (locally over-printing a tenuous S1 plane); S2 is axial plane for isoclinal folds organized in megascopic nappes. The overall structure probably involves granulitic segments, remnants of which have been found in the highly migmatitic core. Metamorphism is of barrovian type with a moderate grade. This event exhibits the characteristics of "collision tectonics". As the "ardéchois" metagranites are orthogneissified at this stage, they cannot be considered as the mark of the corresponding collision.

2/ The resulting multilayered tectonic pile is strongly refolded (P3 folds). The associated metamorphism is of low-pressure type and evolves from low-grade conditions to the South, to high-grade and migmatization to the North. The axial planes of megascopic folds show a nearly constant vergence toward the core of the Velay dome. These planes change gradually from gentle dip in the South to strong dip in the 20-30 km large border of the dome, then again to gentle dip at the top of the Velay diapir.

Such a structural settlement demonstrates that the P3 folds cannot be formed by lateral plastic flow during the Velay dome ascent, but were necessarily firstly organized before it. It also appears that the boundary of the Velay dome is neither a tectonic nor a magmatic discontinuity.

Chemical Geology (1988), 70, 1/2, 166

CHEMICAL COMPOSITION OF HYDROTHERMAL FLUIDS BUFFERED BY VE  
AND PEGMATITE-FORMING MINERAL ASSEMBLAGES: AN EXPERIMENT  
CALIBRATION AT HIGH TEMPERATURES AND PRESSURES.

A. WEISBROD  
ENSG-CRPG, BP 452, 54001 Nancy cedex, France.

Among the intensive parameters that control the mechanisms of dissolution, transport and deposition in aqueous media, the compositions of hydrothermal fluids are of major interest. At the moment, no analytical technique provides reliable estimates of the concentration of solutes in individual fluid inclusions. However, these compositions can be derived from equilibrium between the fluid and a convenient mineral assemblage (but examples of experimental calibration of such equilibria are presently rarer; they involve chemical species related to specific environments such as hydrothermal veins and pegmatites).

Modelling the metasomatic changes in ultramafic rocks during their evolution requires reliable equilibrium constants. These constants have been determined at 350 and 600°C, 1 kbar, in the system  $\text{MgO}-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}-\text{HCl}$ , for the following assemblages (excess fluid): 350°C: Q-Tc, K=5.9; Tc-Chrys, K=7.1; Chrys-Brucite, K=8. 600°C: Q-Tc, K=0.6; Tc-Biotopyroite, K=1.0; Biopyr-Fo, K=2.

Because of the good precision of the obtained K values, thermochemical data for solid and fluid species can be calculated with a much better accuracy than calorimetry.

Partition of Ca and Mn between aqueous chloride solution and tungsten has been determined at 1 kbar, 300 to 600°C. The Mn/Ca ratio increases exponentially with T and the total chloride content. This effect of molality is interpreted in terms of complexing and fluid unmixing.

Partition of fluorine between aqueous solution and F-OH phlogopite confirms the very strong partition of F towards the solid. At 700°C, 2 kbar experiments yield the quasi-linear relation  $X_{\text{F}}(\text{aq}) = 6 \times 10^{-3} X_{\text{F}}(\text{min})$  for  $X_{\text{F}}(\text{mica}) < 5$ . Higher contents of fluorine in fluids are expected with quartz-topaz-andalusite buffer. However, the reaction rates in this system are very low, even at high temperatures.

Tourmaline is considered as a very "refractory" mineral. The boron content of aqueous fluid equilibrated with tourmaline-cordierite or cordierite-andalusite or pyrophyllite-albite-quartz has been determined, from 350 to 730°C. For the pure Mg end member, the mass fraction of  $\text{B}_2\text{O}_3$  in solution increases from  $5 \times 10^{-3}$  (350°C) to  $22 \times 10^{-3}$  (720°C); melting occurs at about 730-740°C. For the pure Fe end member, the  $\text{B}_2\text{O}_3$  content of the fluid is slightly below that obtained with the end member; melting occurs at about 100°C below that measured for the pure Fe. The pressure effect is negligible between 1 and 4 kbar. During the course of these experiments, the presence of a Cl-B complex has been recognized. These results are used to model the transfer of boron in aqueous fluids during tourmalinization processes at high temperatures and pressures.

Chemical Geology (1988), 70, 1/2, 166

### EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF PVTX AND IMMISIBILITY IN THE SYSTEM $\text{H}_2\text{O} - \text{LiCl}$ , USING THE SYNTHETIC FLUID INCLUSIONS TECHNIQUE.

ZHANG YI GANG and A. WEISBROD  
ENSG-CRPG, BP 452, 54001 Nancy cedex

Lithium is a common component in late magmatic and hydrothermal processes associated with highly differentiated and specialized granites.

In the Echassières District (French Massif Central), evidence of significant contents of lithium in aqueous phases is attested by very low eutectic temperatures ( $T_e < 60^\circ\text{C}$ ) measured in early fluid inclusions from the Beauvoir granite (Aissa et al, 1987). In order to estimate the effect of lithium in such systems, the poorly known  $\text{H}_2\text{O} - \text{LiCl}$  system has been investigated, using the synthetic fluid inclusion technique.

1. **Isoschores.** Lines of constant homogenization temperature (LC Th) have been determined at 500°C, 1.0, 1.5 and 2 kbar, for 2 and 4.5 mol LiCl. The experimental results show that the slopes of the LC Th are similar to those obtained on the  $\text{H}_2\text{O} - \text{NaCl}$  and  $\text{H}_2\text{O} - \text{KCl}$  systems (Zhang and Frantz, 1987), at the same molalities. This means that, for a given molality and homogenization temperature (Th), the  $\text{H}_2\text{O} - \text{LiCl}$  isoschores are identical to those of the  $\text{H}_2\text{O} - \text{NaCl}$  and  $\text{H}_2\text{O} - \text{KCl}$ , although the real densities are different indeed.

2. **Immiscibility.** The immiscibility domain in the  $\text{H}_2\text{O} - \text{LiCl}$  system has been investigated at 500 and 600°C, 400 to 500 bar. The results indicate that, for a given molality, the boundary of the liquid + vapor immiscibility domain is close to that obtained in the system  $\text{H}_2\text{O} - \text{NaCl}$ , at least at 500°C (Rosenhauer and Bischoff, 1987) and 600°C (Sourinjan and Kennedy, 1962).

Taking these results into account permits to refine the TPX evolution of magmas and fluids associated with Li-rich granites such as the Beauvoir intrusion.

# CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

## CENTRE DE RECHERCHES PETROGRAPHIQUES ET GEOCHIMIQUES

### RAPPORT ANNUEL 1986 - 1987

#### Sommaire Général

Organigramme 1986-1987 .....	II
Organigramme 1988 .....	VI
Avant-Propos.....	IX
Cartes d'implantation .....	X
Index des auteurs CRPG figurant dans les résumés .....	XII
Service d'Analyses des Roches et des Minéraux. Service Etudes	
Documentaires et Traitement Automatique (E.D.T.A.).....	XV
- Laboratoire de Spectrochimie et de Géostandards.....	XVII
- Laboratoire de Chimie .....	XXVI
- Laboratoire de Diffractométrie X.....	XXX
- Service Etudes Documentaires et Traitement Automatique (E.D.T.A.).....	XXXI
Résumés publiés des travaux des Equipes d'Avril 1986 à Décembre 1987.....	1
- Chimie Analytique et Géostandards.....	3
- Fluides.....	9
- Géochimie Isotopique et Géochronologie.....	17
- Géologie Structurale .....	41
- Géothermie .....	55
- Informatique Appliquée .....	61
- Magmatisme .....	71
- Métallogénie .....	97
- Métamorphisme .....	125
- Minéralogie .....	133
- Pétrologie Expérimentale.....	139
Présentation Informatique des sujets .....	149
Annexe I .....	151
- Titres des résumés non publiés présentés à des réunions nationales et internationales .....	153
- Participation à des Congrès, Stages et Conférences .....	161
- Missions.....	167
- Séminaires de Géologie - Séminaires de Recherche .....	168
- Visiteurs.....	169
- Brevet.....	171
- Thèses et Rapports de D.E.A.....	172
- Liste des Publications 1986 - 1987 .....	174
Annexe II .....	185
- Publications en collaboration avec l'E.D.T.A. ....	187
- Assistance en Informatique et Mathématiques Appliquées .....	194
Annexe III .....	195
- Données sur la production des Laboratoires d'analyses et des ateliers.....	197

Président du Comité de Direction : **J. KORNPBOST**

**ORGANIGRAMME**

1986 - 1987

Directeur : **S.M.F. SHEPPARD**

Sous-Directeur : **J. LETERRIER**

**EQUIPES DE RECHERCHE ou SECTIONS**

**- Equilibres entre Fluides et Minéraux**

A. WEISBROD	Professeur E.N.S.G.	Animateur de l'Equipe
B. CHAROY	Maître de Conférences, E.N.S.G.	
A. CHEILLETZ	Maître de Conférence, E.N.S.G.	

**- Géochimie Isotopique et Géochronologie**

S. SHEPPARD	Directeur de Recherche	Animateur de l'Equipe
F. ALBAREDE	Professeur E.N.S.G.	Animateur de l'Equipe
A. MICHARD	Directeur de Recherche	Animateur de l'Equipe
C. ALIBERT	Chargée de Recherche	
M. ARNOLD	Chargé de Recherche	
J.L. ZIMMERMANN	Chargé de Recherche	

**- Granitoïdes et Tectogenèse**

J.M. BERTRAND	Chargé de Recherche	Animateur de l'Equipe
P. LE FORT	Directeur de Recherche	Animateur de l'Equipe
A. PECHER	Professeur, E.N.S.M.I.M.	Animateur de l'Equipe
P. BARBEY	Maître de Conférences	
A.M. BOULLIER	Chargée de Recherche	
F. DEBON	Chargé de Recherche	
J. LETERRIER	Chargé de Recherche	
A. PLOQUIN	Chargé de Recherche	
J.M. STUSSI	Chargé de Recherche	

**- Informatique Géologique**

J.J. ROYER	Ingénieur de Recherche	Animateur de l'Equipe
J.L. MALLET	Professeur E.N.S.G.	Animateur de l'Equipe
M. DANIS	Ingénieur de Recherche	
P. ISNARD	Ingénieur de Recherche	
P. JACQUEMIN	Ingénieur de Recherche	

**- Métallogénie**

F. SAUPE	Chargé de Recherche	Animateur de l'Equipe
----------	---------------------	-----------------------

**- Minéralogie et Pétrologie Expérimentale**

W.L. BROWN	Directeur de Recherche	Animateur de l'Equipe
M. PICHAVANT	Chargé de Recherche	Animateur de l'Equipe

**- Analyses de Roches, Recherches en Analyse Minérale, Diffraction de R-X**

K. GOVINDARAJU  
M. VERNET  
F. LHOTE

Ingénieur de Recherche  
Ingénieur de Recherche  
Ingénieur d'Etude

Spectrochimie  
Chimie  
R-X et Textures

**- Thésards**

M. AISSA  
W. ABOUCHAMI  
S. ANGOUA  
A. AZZA  
G. BANZET  
S. BAOUCH  
M. BENNANI  
A. BENNOUNA  
D. BLAMART  
M. BOHER  
L. BOUABSA  
M. BOUTALEB  
M. BROUAND  
M. BROUXEL  
M. CHAMPENOIS  
A. CHAREF  
M. CHAUSSIDON  
J. DELGADO  
L. DJAMA  
C. FRANCE-LANORD  
E. GONZALEZ PARTIDA  
P. GRANDJEAN  
G. HALTER

F. HOLTZ  
Y. HUANG  
A. LAGHBIDI  
F. LAPIQUE  
Y. MA  
D. MERIEM  
H. MEZGHACHE  
J.M. MONTEL  
A. MORTAJI  
D. MOULAHOU  
N. NGOYANADJI  
E. PALEN  
S. RABENANDRASANA  
J. RANDRIANASOLO  
N. RAZAFIMAHEFA  
A. ROMANO  
B. SCAILLET  
E. SIMOS  
V. TAMAGNAN  
R. TAIEB  
Y. ZHANG

**- D.E.A.**

M. ALLAQUI  
Z. BAROUDI  
M. BOHER  
B. BOURDON  
Y. ITARD  
H. MEZGUACHE

M. MOUROU  
H. OUGUIR  
M. ROY-BARMAN  
K. TOUNSI  
J. WEISS

**- Stagiaires**

A. BILAL, Syrie  
J.F. BREHERET, France  
M. BROUXEL, France  
L. CASARI, Italie  
C. DEVEY, Grande Bretagne  
P. DE GROOT, Pays-Bas  
J. FRANTZ, USA  
D. GARCIA, FranceC.  
C. ICHOKU, Nigéria  
Y. ITARD, France  
M. JUTEAU, France  
F. LAPIQUE, France

J. MENDEZ, Mexique  
J.M. MONTEL, France  
M. NGUYEN TIEN LUONG, Vietnam  
E. OGUNDIPE, Nigéria  
V. PICARD, France  
D. ROCK, France  
J.F. STENGER, France  
S.F. TOTEU, Cameroun  
S. VALDENNAIRE, France,  
C. WEBER, France



**- Secrétariat, Comptabilité, Ateliers, Bibliothèque**

Mme Ch. LHEMANN, Secrétaire de Direction

Mme M. NOEL, Comptabilité

M. G. LHOMEL, Chef des Ateliers et du Service Général

Mme G. PROTAS, Bibliothécaire, Service Editions

**- Service d'Analyses de Roches et de Minéraux (Travaux pour Tiers)**

S.M.F. SHEPPARD, K. GOVINDARAJU, M. VERNET, P. MARCHAL,  
J. LETERRIER, F. LHOTE

**- Service Etudes Documentaires et Traitement Automatique de l'Information**

A. PLOQUIN, M. MARCHAL



# ORGANIGRAMME

1988

Directeur : S.M.F. SHEPPARD

## EQUIPES DE RECHERCHE ou SECTIONS

### - Banque de Données et Caractérisation Géochimique des matériaux

A. PLOQUIN	Chargé de Recherche (CR1)	Animateur de l'Equipe
F. DEBON	Chargé de Recherche (CR1)	

### - Déformation et Métamorphisme

J.M. BERTRAND	Directeur de Recherche	Animateur de l'Equipe
A.M. BOULLIER	Chargée de Recherche (CR1)	
J. LETERRIER	Chargé de Recherche (CR1)	
J. MACAUDIERE	Maître de Conférence, ENSG	

### - Géochimie Isotopique et Géochronologie

F. ALBAREDE	Professeur, ENSG	Animateur de l'Equipe	
A. MICHARD	Directeur de Recherche (DR2)		Animateur de l'Equipe
S.M.F. SHEPPARD	Directeur de Recherche (DR1).		Animateur de l'Equipe
C. ALIBERT	Chargée de Recherche (CR1)		
P. ALLE	Ingénieur de Recherche (IR2)		
M. CHAUSSIDON	Chargé de Recherche (CR2)		
E. DELOULE	Chargé de Recherche (CR2)		
C.FRANCE-LANORD	Chargé de Recherche (CR2)		
J.L. ZIMMERMANN	Chargé de Recherche (CR1)		

### - Informatique Géologique

J.L. MALLET	Professeur, E.N.S.G.	Animateur de l'Equipe	
J.J. ROYER	Ingénieur de Recherche (IR1)		Animateur de l'Equipe
P. JACQUEMIN	Ingénieur de Recherche (IR2)		

### - Minéralogie et Pétrologie Expérimentale

W.L. BROWN	Directeur de Recherche (DR2)	Animateur de l'Equipe	
M. PICHAVANT	Chargé de Recherche (CR1)		Animateur de l'Equipe
P. BARBEY	Maître de Conférence, Univ. Nancy I		
J.M. STUSSI	Chargé de Recherche (CR1)		

### - Physico-Chimie des Fluides

C. RAMBOZ	Chargée de Recherche (CR1)	Animateur de l'Equipe
M. ARNOLD	Chargé de Recherche (CR1)	
B. CHAROY	Maître de Conférence, ENSG	
A. CHEILLETZ	Maître de Conférence, ENSG	
F. SAUPE	Chargé de Recherche (CR1)	
A. WEISBROD	Professeur, ENSG	

**- Service d'Analyses de Roches et des Minéraux**

K. GOVINDARAJU	Ingénieur de Recherche (IR0)	Spectrochimie
M. VERNET	Ingénieur de Recherche (IR2)	Chimie
F. LHOTE	Ingénieur d'Etude (IE1)	Diffraction de R-X

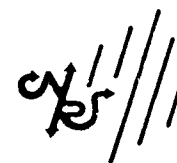
**- Service Etudes Documentaires et Traitement Automatique de l'Information**

A. PLOQUIN	Chargé de Recherche (CR1)
M. MARCHAL	Ingénieur d'Etude (IE2)

1988

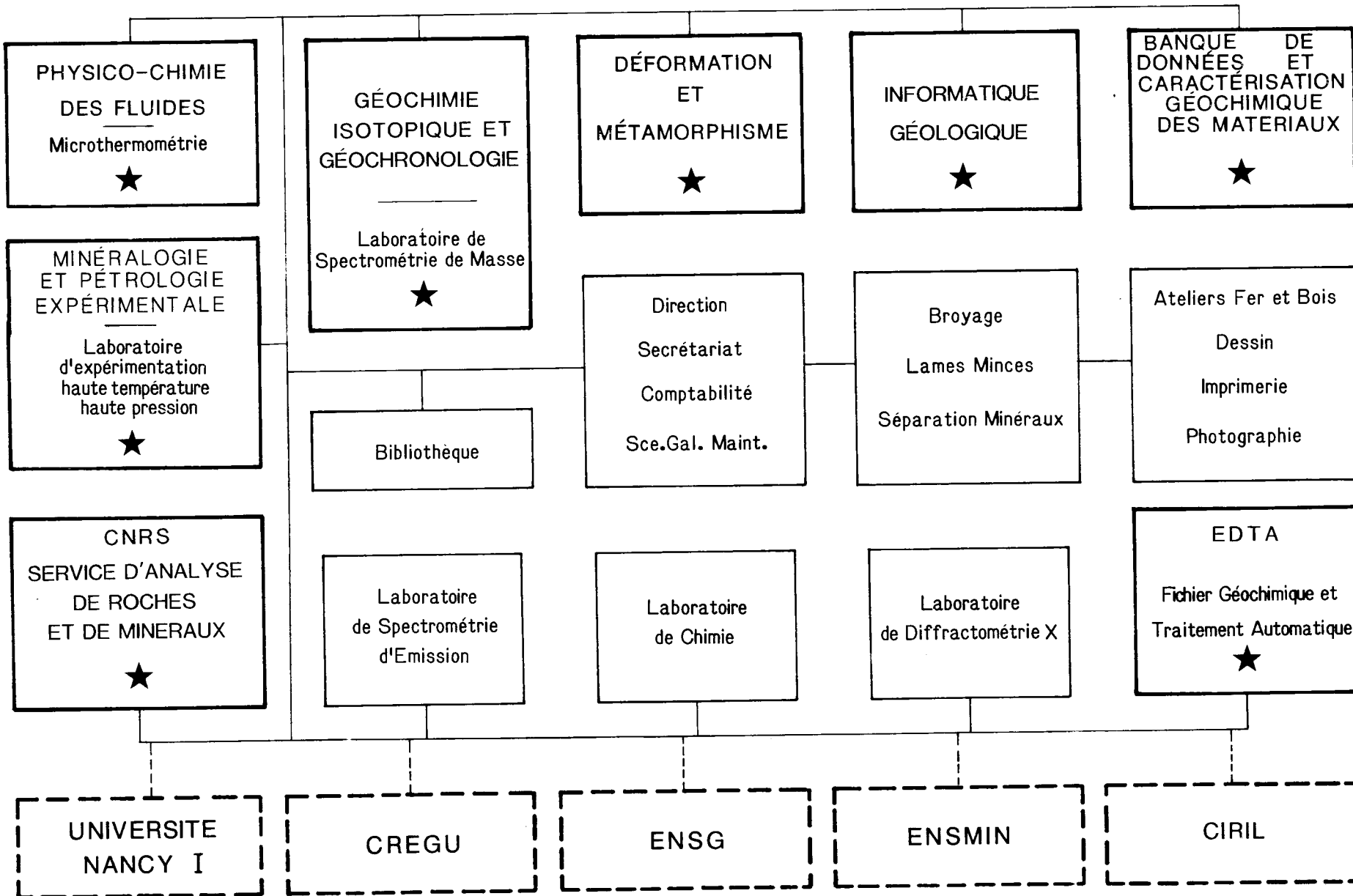
CENTRE DE RECHERCHES PÉTROGRAPHIQUES ET GÉOCHIMIQUES

B.P. 20 54501 VANDŒUVRE - LES - NANCY Cédex



ÉQUIPES DE RECHERCHE ET LABORATOIRES SPÉCIALISÉS

III A



## Avant-Propos

Ce Rapport 1986-1987 est axé sur la période avril 1986 à décembre 1987. Il présente les activités scientifiques des Equipes de Recherche, du Service d'Analyses de Roches et de Minéraux et du Service Etudes Documentaires et Traitement Automatique de l'Information du CRPG. Il réunit, en outre, tous les résumés de nos publications, soit manuscrits et/ou notes, soit communications. Ceux-ci sont organisés par thèmes et ils apportent un témoignage concret de l'une de nos contributions à la communauté scientifique. Dans le Rapport des Equipes de Recherche, qui constitue un fascicule à part, les animateurs des Equipes présentent leurs perspectives pour les études en voie d'achèvement et les nouveaux axes de recherche envisagés.

Le développement et l'application des méthodes analytiques quantitatives et mathématiques aux systèmes naturels ont été l'une des forces ainsi que la spécificité du CRPG. Par exemple, ce Rapport présente les premiers résultats basés sur les analyses ponctuelles isotopiques effectuées sur la sonde ionique CAMECA IMS 3F (voir couverture) installée en 1986. Ces premiers résultats sont parus sous forme d'une note qui a fait l'objet de la couverture en couleurs de Nature (1987, Volume 330, n° 6145, 19-25 novembre). De plus, le Laboratoire de Spectrochimie du Service d'Analyses bénéficie quant à lui de l'installation depuis fin 1987 du nouveau spectromètre (Jobin Yvon) avec une source à plasma induit (ICP).

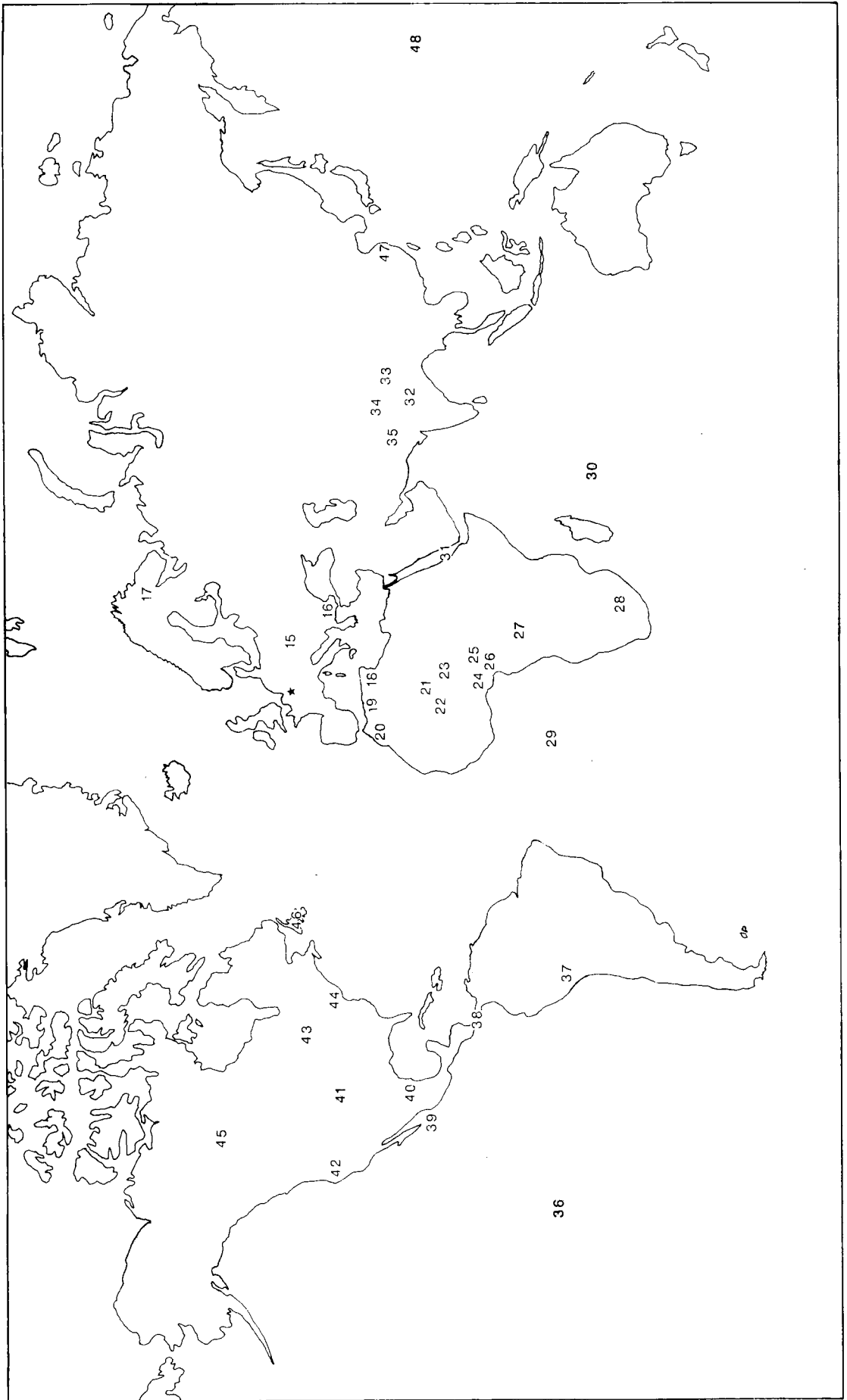
En 1987, P. Le Fort et A. Pêcher de l'Equipe "Granitoïdes et Tectogenèse" ont quitté le CRPG pour rejoindre l'UA 69 : "Géologie Alpine" de Grenoble. Puis M. Danis a demandé et obtenu sa mutation pour l'Université de Bordeaux. Nous leur souhaitons bonne chance dans leurs nouvelles Equipes. Pour ces raisons, en partie, nous présentons deux organigrammes du CRPG, l'un pour 1986-1987 et l'autre pour la situation actuelle en 1988. Ce dernier est le résultat des délibérations actives et constructives du Comité Scientifique du CRPG, en tenant compte de l'entrée au CNRS de C. France-Lanord (mars 1988), P. Allé (juin 1988) et M. Chaussidon (octobre 1988) ainsi que de la mutation de E. Deloule au CRPG. Nous espérons que cette restructuration du Centre aidera la pertinence de nos Equipes face aux problèmes en Géoscience et la productivité du Centre.

Plusieurs chercheurs du CNRS et Ingénieurs participent aux programmes d'enseignement (DEA, DESS, etc.) en collaboration avec nos collègues de l'Enseignement Supérieur à l'ENSG, l'ENSMIM et l'Université de Nancy I.

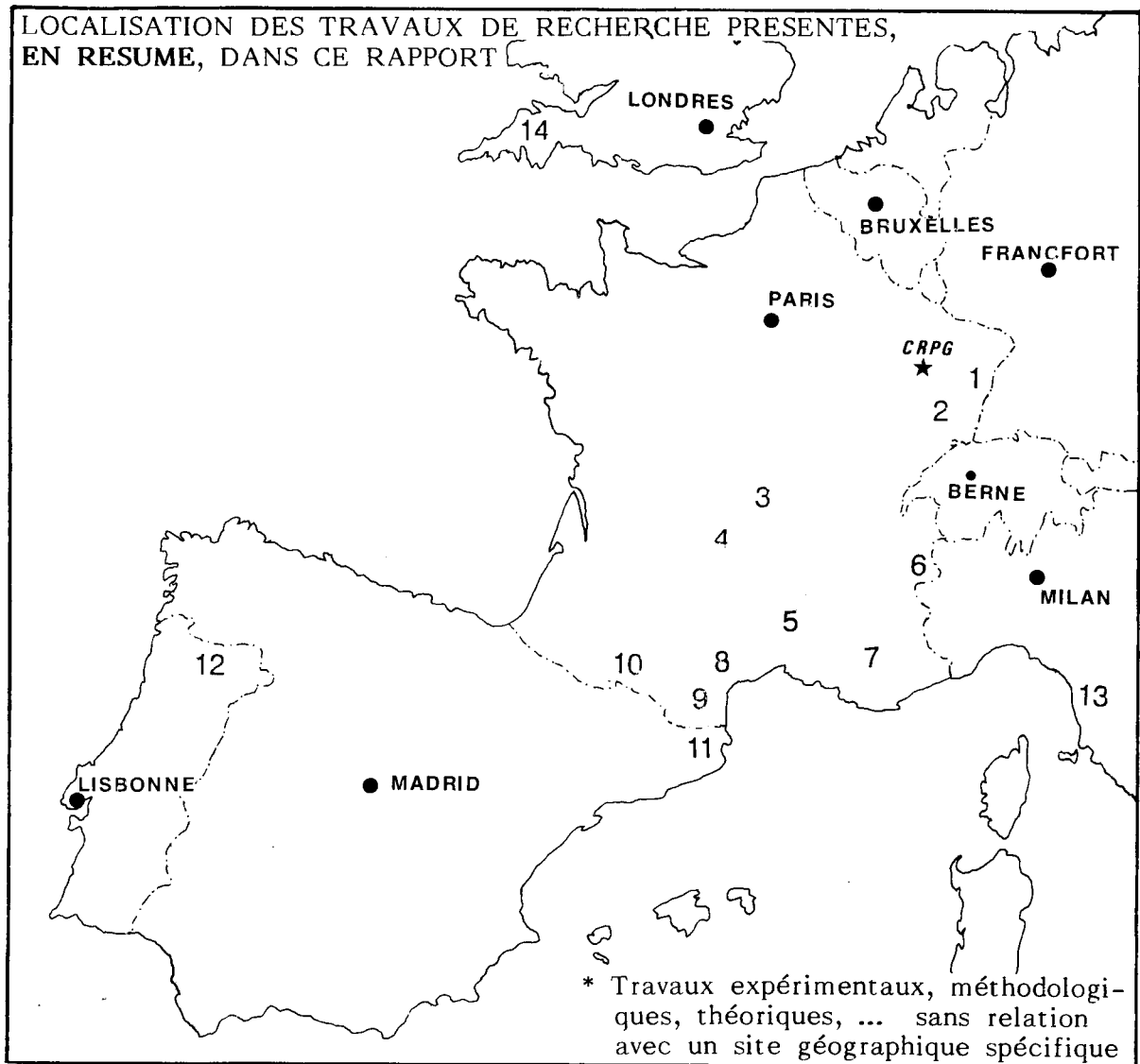
L'effort de tous les personnels au CRPG ressort clairement dans ce Rapport. Mais il faut également souligner que le CRPG, ses ateliers et ses Services ont joué un rôle pilote de prestataires de service auprès des Laboratoires des Sciences de la Terre à Nancy. Cependant, depuis quelques années, nous avons subi une diminution de nos effectifs ITA et si nous n'avons pas la possibilité de remplacer ces personnels il nous faudra peut-être remettre en cause les services utilisés par les autres laboratoires des Sciences de la Terre.

Novembre 1988

S.M.F. SHEPPARD



LOCALISATION DES TRAVAUX DE RECHERCHE PRESENTES,  
EN RESUME, DANS CE RAPPORT



AISSA	3	ISNARD	*,20
ALBAREDE	*,8,9,16,28,33,36,39,42,48	JACQUEMIN	*
ALIBERT	15,22,41	JUTEAU	37
ANGOUA	25	LAPIQUE	21
ARNOLD	*,1,5,19,24,27,40,45	LE FORT	32,34,35
BANZET	7	LETERRIER	15,22
BARBEY	3,5,17,25,26	MA	*,4
BENNOUNA	1	MACAUDIERE	25,26
BERTRAND	*,12,21,22,25,34	MARCHAL	*,35
BLAMART	*,20	MALLET	*
BOHER	*,3	MERIE M	21
BOUABSA	21	MICHARD	2,5,8,16,18,21,25,33,37, 39,42,48
BOULLIER	*,21,22,23	MONTEL	*,5
BOUTALEB	20	MOULAHOU M	21
BROUAND	32	NGOYANADJI	5
BROUXEL	*,42	OGUNDIPE	24
BROWN	*,23,25	PECHER	*,7,32
CHAREF	5,18,45	PICHAVANT	*,1,3,37
CHAMPENOIS	22	PLOQUIN	*,4,6
CHAROY	*,3,4,14,21,47	RABENANDRASANA	1
CHAUSSIDON	*,28,39	RAMBOZ	*,4,14,31
CHEILLETZ	20,21	RAZAFIMAHEFA	4
DANIS	*,2,3,31	ROYER	*,2,3,4
DEBON	11,34,35	SAUPE	10
DELGADO	*,37	SHEPPARD	*,6,18,20,28,29,32,37,39,45
DEVY	36	STENGER	*,3
FRANCE-LANORD	32,	STUSSI	*,1,40
FRANTZ	*,44	TAMAGNAN	30
GONZALEZ PARTIDA	*,40	VERNET	*,37
GOVINDARAJU	*,34	WEBER	*,5,44
GRANDJEAN	*	WEISBROD	4,5,14,20
HALTER	18,45	ZHANG	*,44
HOLTZ	12	ZIMMERMANN	*,15,34,35,38,40



## Index des auteurs, classés par Equipes, figurant dans les résumés

### Analyse de Roches

BOULMIER S.	6,7,75
GOVINDARAJU K.	5,8,88
LHOMME J.	6,7
MARIN L.	6,7,75
MEVELLE G.	5
VERNET M.	6,7,75

### Equilibres entre Fluides et Minéraux

AISSA M.	108,109,110,143
BOUABSA L.	94,111
BOUTALEB M.	103
CHAROY B.	82,83,94,101,106,143
CHEILLETZ A.	69,94,104,105
GIULIANI G.	102,104
WEISBROD A.	101,103,108,109
ZHANG Y.G.	11

### Géochimie Isotopique et Géochronologie

ALBAREDE F	13,21,22,24,25,26,27,28,29,31,32,33,40,76,80,81
ALIBERT C.	21,26,76
ARNOLD M.	12,13,40,115,117,118,120,121,122,123
BLAMART D.	103
BOHER M.	143,144
BROUXEL M.	22,23,24,25,26,80,81
CHAREF A.	35,112,113,115
CHAUSSIDON M.	32,33
DAUTEL D.	47,50,86,127
DEMANGE J.C.	7
FRANCE-LANORD C.	33,34,35,84
GONZALEZ PARTIDA E.	12,40,117,118,123
GRANDJEAN P.	28
JAEGY R.	40
JUTEAU M.	38,75
MICHARD A.	13,21,22,26,27,28,29,30,31,37,47,50,58,75,81,113
NGOYANADJI N.	121
OGUNDIPE I.E.	119,120
RABENANDRASANA S.	121
RAMBOZ C.	14,15,59,101,106
SHEPPARD S.M.F.	32,33,34,35,36,75,84,103,112,113,115
TAMAGNAN V.	24,76
ZIMMERMANN J.L.	11,38,39,40,76,77,86,87

## Granitoïdes et Tectogenèse

ANGOUA S.	50,127
BANZET G.	79,91,92
BARBEY P.	45,47,49,50,95,127,128,130
BENNOUNA A.	77,78
BERTRAND J.M.	37,39,45,46,47,48,50,51,52,93,94,127,136
BOULLIER A.M.	12,46,47,49,94
BROUAND M.	107
CHAMPENOIS M.	47
DEBON F.	39,52,86,87,88,89,90
HOLTZ F.	38,51,53
LAPIQUE F.	48
LE FORT P.	34,35,51,84,85,86,87,89,90,92,130
LETERRIER J.	26,76,93
MERIE M.	48
MOULAHOU M.	94
PECHER A.	12,51,52,90,130
PLOQUIN A.	69,106,132
RAZAFIMAHEFA N.	91
STUSSI J.M.	40,69,77

## Informatique Géologique

DANIS M.	57,58,59,63,64
DELGADO BELLIDO J.E.	68
ISNARD P.	69
JACQUEMIN P.	81
MA Y.Z.	65,66,67
MARCHAL M.	69,88
ROYER J.J.	57,58,65,66,68
SARRE M.	88

## Métallogénie

ORBERGER B.	115
SAUPE F.	115,116,131

## Minéralogie et Pétrologie Expérimentale

BROWN W.L.	81,82,95,135,137
MONTEL J.M.	129,131,140,141,142,146,147
PICHAVANT M.	75,77,101,129,143,144,145
WEBER C.	127,129,145,147

*SERVICE D'ANALYSE DES ROCHES  
ET DES MINERAUX*

*SERVICE ETUDES DOCUMENTAIRES  
ET TRAITEMENT AUTOMATIQUE*

## Sommaire

Laboratoire de Spectrochimie et de Géostandards (K. GOVINDARAJU) .....	XVII
Laboratoire de Chimie (M. VERNET) .....	XXVI
Laboratoire de Diffractométrie X (F. LHOTE) .....	XXX
Service Etudes Documentaires et Traitement Automatique (A. PLOQUIN, M. MARCHAL) .....	XXXI

## Laboratoire de SPECTROCHIMIE et de GEOSTANDARDS

Kuppusami GOVINDARAJU

L'évènement le plus important en 1987 a été le remplacement de l'ancien quantomètre (installé en 1974) par un nouveau spectromètre (JY70) en septembre 1987. La mise en route du nouveau système d'analyse et le bénéfice analytique qu'on puisse en tirer sont les principaux sujets de ce rapport. La liste de 19 géostandards internationaux préparés par le CRPG s'allonge par l'arrivée d'un nouvel échantillon, granite AC-E, en provenance d'Ailsa Craig (Ecosse). Le Journal Geostandards Newsletter a gravé des échelons supplémentaires pour se trouver en dixième rang ("rank") en 1985 parmi les revues géoscientifiques internationales.

### SPECTROCHIMIE

#### Quantomètre ARL (1974-1987)

En août 1987, nous avons arrêté le fonctionnement du quantomètre ARL, installé en 1974. Rappelons que ce spectromètre avait inauguré, en son temps, un nouveau système d'analyse spectrochimique **sur solution** en utilisant pour la première fois une source d'excitation à micro-onde, le mode d'analyse ayant été traditionnellement l'analyse sur poudres. Pendant la période de 1974 à 1987, plus de 50 000 échantillons ont été analysés ce qui représente une moyenne de 4000 échantillons par an pour 19 éléments majeurs, mineurs et en traces par échantillon :

Année	éch.	Année	éch	Année	éch
1974	2883	1979	3972	1984	4735
1975	3304	1980	4551	1985	4023
1976	3125	1981	4622	1986	4790
1977	3841	1982	4217	1987	2135
1978	3979	1983	4906		

TOTAL 55143

#### Spectromètre JY70

Le nouveau spectromètre JY 70 (Jobin Yvon, Longjumeau) a été installé en septembre 1987. Ce spectromètre est, en fait, composé de deux spectromètres, l'un (JY 32) pour l'analyse multi-élémentaire et l'autre (JY 38) pour l'analyse séquentielle. La source d'excitation pour ces deux spectromètres est une source à plasma induit (ICP).

##### 1. Dosage de 27 éléments majeurs, mineurs et en traces.

La mise en place du système JY 70 et le développement du protocole d'analyse a duré presque trois mois. Il a fallu ajouter un monochromateur pour le dosage du rubidium avec une flamme air-acétylène, adjoindre un passeur d'échantillons "intelligent" et développer entièrement le logiciel pour le fonctionnement en automatique du spectromètre JY 32. Le développement du protocole d'analyse a porté essentiellement sur la possibilité d'utiliser une seule mise en solution, c'est-à-dire, une solution mère préparée après une fusion de l'échantillon avec du borate de lithium, suivie d'une dissolution acide. En d'autres termes, il s'agit d'utiliser la solution mère pour le dosage simultané d'un grand nombre d'éléments et d'en prendre des aliquotes pour la séparation des éléments en traces tels que les terres rares. En pratique, nous avons réussi à doser 27 éléments sans séparation ou dilution préalable et 11 éléments de terres rares après une séparation robotisée via LabRob. Le nombre d'éléments dosés sur la solution mère passe donc de 19 avec l'ancien spectromètre à 27 avec le nouveau système. Ces éléments dosés sont présentés dans le Tableau 1 concernant un de nos géostandards, la diorite DR-N. Cet échantillon a été analysé régulièrement pendant trois mois afin de se rendre compte de la précision d'analyse en travaux de routine.

Tableau 1. La précision de l'analyse sur la Diorite DR-N

Eléments majeurs et mineurs Nombre d'analyses - 46			Eléments en traces Nombre d'analyses - 20					
	$\bar{x}$ %	s	VR %		$\bar{x}$ ppm	s	VR ppm	LD
SiO <sub>2</sub>	52.65	0.19	52.85	Ba	370	13	386	5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.59	0.07	17.52	Be	1.6	0.25	1.8	0.5
SFe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.68	0.05	9.70	Co	33	2.7	35	5
MnO	0.21	0.004	0.22	Cr	39	4	42	5
MgO	4.36	0.03	4.40	Cu	55	4	50	5
CaO	7.0	0.06	7.05	Nb	7.6	1.1	6	5
Na <sub>2</sub> O	2.92	0.016	2.99	Ni	22	4	16	5
K <sub>2</sub> O	1.71	0.018	1.70	Rb	65	1.6	70	5
TiO <sub>2</sub>	1.03	0.009	1.09	Sc	30	0.3	28	1
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.28	0.009	0.25	Sr	385	3.6	400	5
P.Feu	(2.53)	0.07		V	219	12	225	5
				Y	26.8	0.3	30	1
				Zn	136	4.8	145	5
				Zr	127	4.3	125	5

$\bar{x}$  - moyenne arithmétique; s - écart-type; VR - Valeur recommandée (Geostandards Newsletter, 1982, Vol 6, p 91-159); LD - limite du dosage.

On remarque les très faibles valeurs de l'écart-type pour les éléments majeurs et aussi pour les éléments en traces. En ce qui concerne Co, Cr, Nb, Ni et V, ils sont systématiquement recontrôlés (en utilisant la même solution mère) en mode séquentiel avec le spectromètre JY 38. En outre, lors de ce contrôle, nous "récupérons" deux éléments, Ga et Th. Rappelons qu'avant 1988, nous ne pouvions doser que dix neuf éléments. Les éléments en traces qui sont dosés en plus depuis décembre 1987 :

Be, Nb, Sc, Y, Zn, Zr et plus récemment Ga et Th.

Grâce à une préparation chimique appropriée et automatisée de l'échantillon et au développement d'un nouveau logiciel pour tenir compte des dérives instrumentales et pour la conduite de l'analyse, les résultats obtenus sur plusieurs géostandards se comparent favorablement avec ceux recommandés.

## 2. Dosage de 10 éléments de terres rares + Y

Ces éléments sont présentés dans le Tableau 2 avec l'écart-type pour chaque élément.

Ce tableau est repris d'une publication récente par K. Govindaraju et G. Mevelle : "Fully automated dissolution and separation methods for inductively coupled plasma atomic emission spectrometry rock analysis. Application to the determination of rare earth elements, Journal of Analytical Atomic Spectrometry, 1987, 2: 615-621". Dans cette publication, nous avons décrit un système de séparation pour les terres rares avec "LabRob", un appareil automatisé pour la séparation de terres rares dans 36 échantillons par jour en utilisant la solution mère. La limite du dosage est de l'ordre de 1 à 3 fois celle du niveau chondritique.

Depuis la mise en service du LabRob en 1982, nous avons analysé plus de 10 000 échantillons pour les terres rares avec le spectromètre JY 48 en mode multi-élémentaire.

## 3. U et Th.

Ces éléments sont toujours dosés avec une nouvelle mise en solution, après une séparation avec LabRob. La limite du dosage est de 0.5 ppm. L'écart-type relatif est de l'ordre de 10% au niveau de 10 ppm. Le spectromètre JY 48 est utilisé pour le dosage simultané de ces deux éléments.

Tableau 2. La précision du dosage de terres rares dans le Basalte BR (25 analyses en 1985)

	$\bar{x}$	s	C%	V.R.
La	81.93	3.30	4.03	820
Ce	149.38	5.72	3.83	151
Nd	64.15	3.12	4.86	65
Sm	11.85	0.53	4.50	12
Eu	3.66	0.18	4.91	3.7
Gd	9.87	0.51	5.17	9.5
Dy	6.31	0.31	4.90	6.2
Er	2.52	0.11	4.55	2.4
Yb	1.81	0.10	5.62	1.9
Lu	0.27	0.04	16.13	0.25
Y	31.32	1.55	4.95	30

$\bar{x}$  - moyenne arithmétique; s - écart-type;

C% - écart-type relatif; V.R. - Valeur recommandée en 1988 (Géostandards Newsletter, 1988, Vol. 12, p 119-201)

#### 4. Sn, W, Mo, Ta

Le dosage de ces éléments en utilisant la solution mère est en cours de développement.

#### Instrumentation

L'instrumentation tient une part importante dans nos recherches pour améliorer la précision et le rendement des méthodes analytiques mises en oeuvre dans notre laboratoire. Nous avons déjà mentionné le système LabRob pour la séparation des éléments en traces tels que les terres rares, U et Th, Sn, W, Mo et Ta. Les deux LabRob actuellement en service sont de la deuxième version (LabRob II, Fig. 1). En 1987, un exemplaire du LabRob II a été vendu à un Institut de Recherches en Belgique.

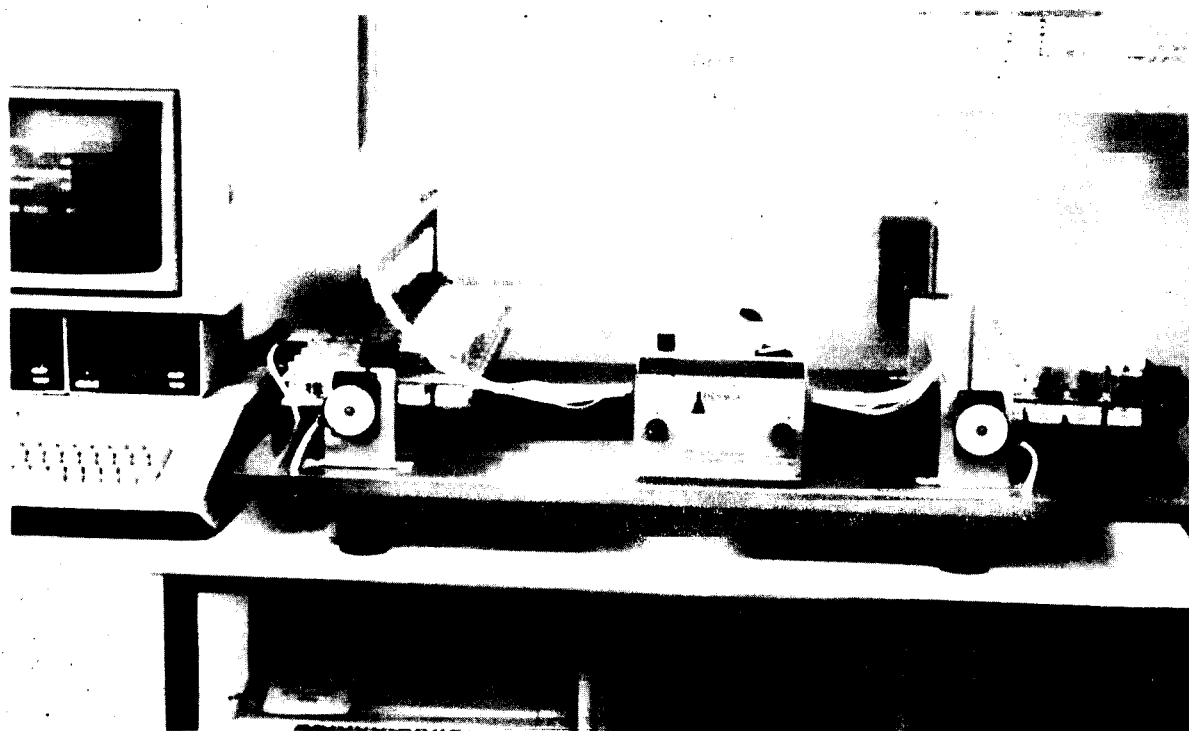


Figure 1. LabRob II

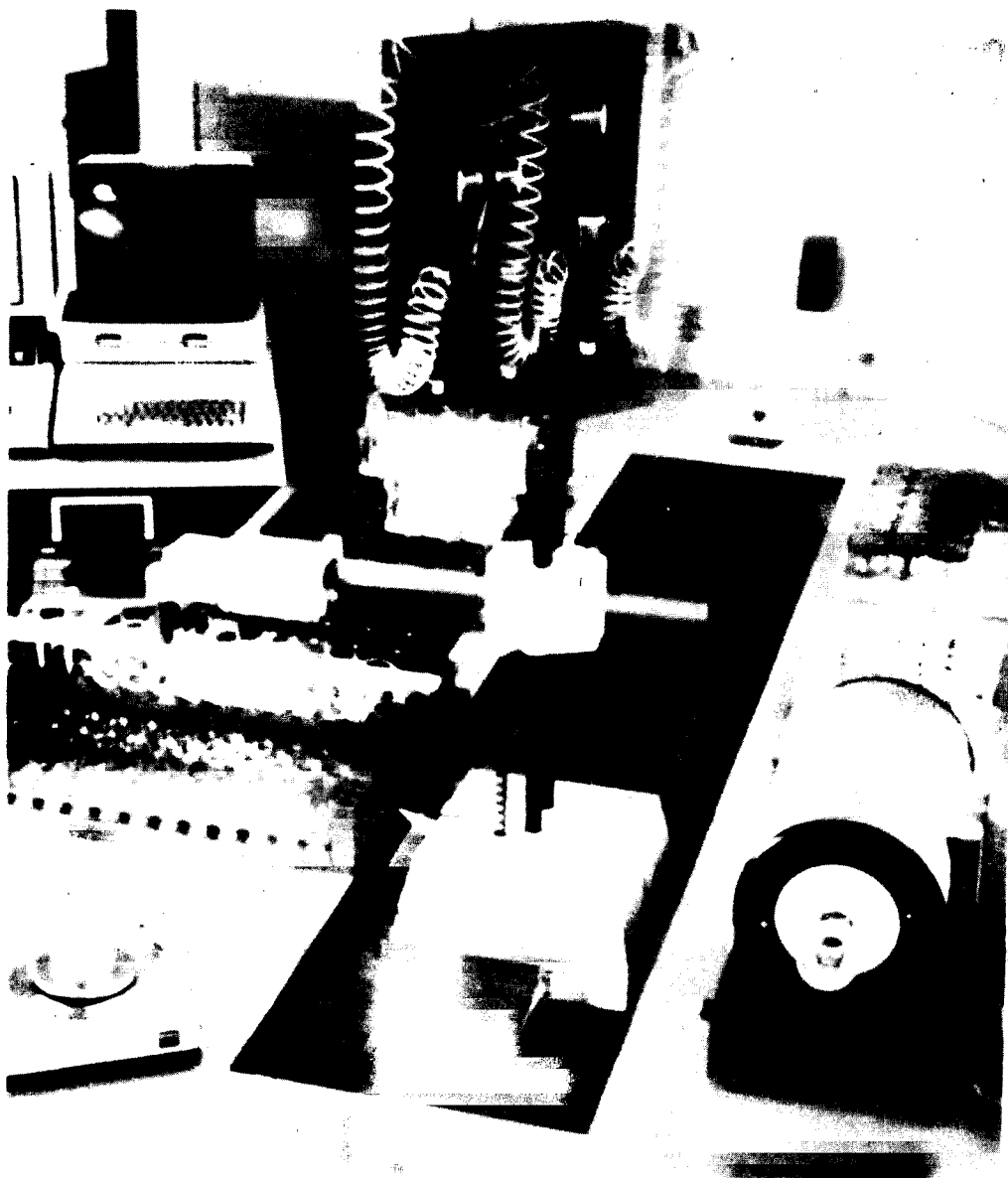


Figure 2. LabRobStation I

Dans notre précédent rapport nous avons brièvement indiqué la réalisation d'une station de travail ("workstation"), appelé LabRobStation. Il s'agit de rassembler sur une table de travail les différentes unités de travail telles qu'une balance, un four tunnel, un banc de mise en solution, une station de pompage et d'un LabRob. Au milieu de cette table est érigé un robot puissant (Zymark) et mobile sur rail. Le robot voyageur peut se déplacer d'un appareil périphérique à un autre, contrôlé par un micro-ordinateur Apple II (LabRobStation I, Fig. 2).

Le LabRobStation I est toujours en service pour la mise en solution, la dilution et pour la séparation des éléments avec une troisième version du LabRob. Si le robot Zymark du LabRobStation I est puissant, il lui manque de la précision et il est aussi susceptible de dériver dans le temps. D'autre part, le coût de la fabrication du LabRobStation I est trop élevé pour une éventuelle commercialisation de ce produit. Aussi, nous avons été amenés à développer une deuxième station de travail (LabRobStation II) avec un robot mobile réalisé par nous-mêmes. Les deux stations de travail sont présentés dans la Figure 3. Le LabRobStation II est piloté par micro-ordinateur IBM compatible. Le robot voyageur se trouve au fond et au bord de la table de travail. Ce robot est précis et rapide ; il retrouve sa position zéro sans erreur ou dérive.



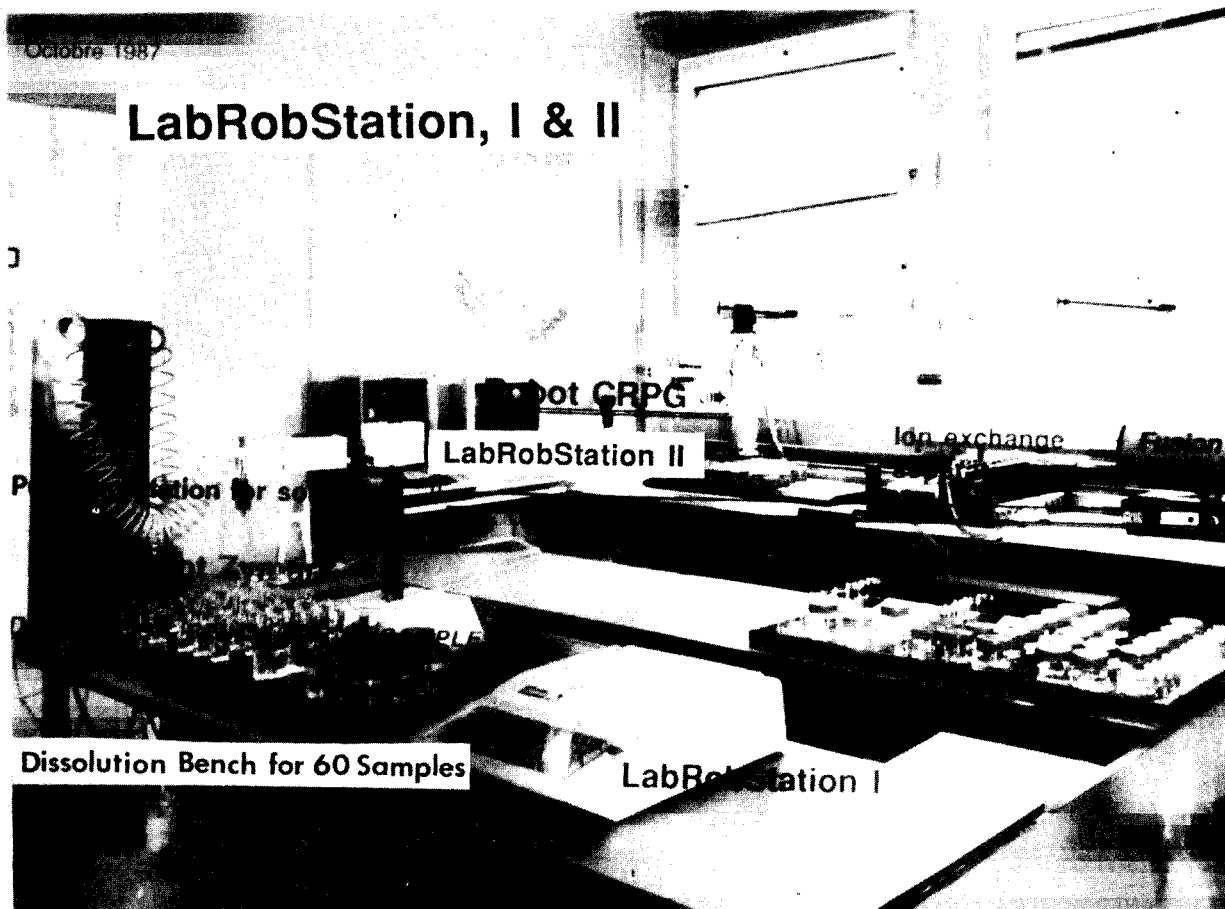


Figure 3. LabRobStation I et II

Nos efforts dans le domaine de robotique ont été considérablement amplifiés par la collaboration d'un stagiaire (Monsieur Prath) pour une formation en automatisation pendant 2 ans. Monsieur Prath faisait parti du personnel licencié par l'usine UNIMETAL à Neuves Maisons près de Nancy. Après ce stage, Monsieur Prath a pu obtenir un poste de professeur de formation en automatisation dans une école de formation près de Nancy.

## GEOSTANDARDS

### Groupe International de Travail (GIT)

En 1983, P.J. Potts (Open University, UK) a proposé la préparation d'un granite d'Ailsa Craig comme un échantillon de référence pour les éléments en traces, en particulier pour les terres rares. ("Proposal for the adoption of a microgranite from Ailsa Craig, SW Scotland as a trace element rock reference sample, Geostandards Newsletter, 7: 345-346"). L'étude du granite d'Ailsa Craig (Granite AC-E) n'a duré que neuf mois (septembre 86 - mai 1987) mais elle a été démarquée sur plusieurs points. 130 laboratoires venant de 30 pays y ont participé; 214 analystes ont contribué à 3212 données analytiques. Le résultat est que le Granite AC-E a pu être caractérisé pour environ 70 éléments et qu'un rapport de compilation est paru en octobre 1987 dans Geostandards Newsletter (Vol XI, 203-255). En règle générale, une telle caractérisation chimique d'un échantillon (Tableau 3) prend 20 à 25 ans d'études. Dans ce numéro du Géostandards Newsletter, P.J. Potts a raconté l'histoire de cet échantillon ("Ailsa Craig - The history of a reference material, Geostandards Newsletter 11: 257-260"): avant qu'il devienne un "étalon", le granite d'Ailsa Craig a été bien connu depuis deux siècles par le jeu de "curling stone" (Figure 4).

Tableau 3. Granite AC-E. Eléments majeurs et mineurs

El	RV	PV	N	El	RV	PV	N
ppm				%			
Ag		0.1	6	SiO <sub>2</sub>	70.35		124
As	2.3		17	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.70		126
B	21		3	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.34		51
Ba	55		10	FeO	1.07		43
Be	12		24	MnO	0.058		153
				MgO	0.03		107
Bi		0.4	2	CaO	0.34		134
Br		0.5	3	Na <sub>2</sub> O	6.54		140
Cd	0.6		9	K <sub>2</sub> O	4.49		146
Ce	154		60	TiO <sub>2</sub>	0.11		134
Cl		180	7	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.014		88
				H <sub>2</sub> O+	0.22		30
Co	0.2		40	H <sub>2</sub> O-	0.15		33
Cr	3.4		47	CO <sub>2</sub>		0.07	13
Cs	3		25	ZrO <sub>2</sub>	0.108		79
Cu	4		51	F	0.21		14
Dy	29		25	sub-total		99.79	1420
				less O=F		0.09	
Er	17.7		18			99.70	
Eu	2		41	plus other trace elements			
F	2100		14	(oxides) in Table 8		0.27	1583
Ga	39		26	Total		99.97	3003
Gd	26		27				
				Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> T	2.53		146
Hf	27.9		24	LOI	0.37		59
Ho	6.5		18			Total N	3208
La	59		66				
Li	93		29				
Lu	2.45		34				
Mo	2.5		18				
Nb	110		60				
Nd	92		49				
Ni	1.5		39				
Pb	39		65				
Pr	22.2		15				
Rb	152		30				
S		70	5				
Sb	0.4		9				
Sc	0.11		25				
Sm	24.2		43				
Sn	13		14				
Sr	3		61				
Ta	6.4		22				
Tb	4.8		26				
Th	18.5		52				
Tl		0.9	2				
Tm	2.6		13				
U	4.6		34				
V	3		22				
W	1.5		8				
Y	184		78				
Yb	17.4		48				
Zn	224		93				
Zr	780		79				
			Total N				1676

RV = Valeur recommandée

PV = Valeur proposée

N = Nombre de résultats

Ce tableau est reproduit d'un article par K. Govindaraju : "1987 compilation report on Ailsa Craig granite AC-E with the participation of 128 GIT-IWG laboratories, Geostandards Newsletter, 1987, 11: 203-256.

## GEOSTANDARDS NEWSLETTER

## GEOSTANDARDS NEWSLETTER

IIIX

EDITORIAL BY K. GOVINDARAJU	→→	1
COMITE DE REDACTION - BOARD OF EDITORS	→→	2
Sydney Abbey and Ernest S. Gladney: A re-evaluation of three Canadian reference rocks	→→	3
A.H. Victor: Accurate determination of cobalt in South African primary and secondary geochemical reference materials by cation exchange chromatography and atomic absorption spectrometry	→→	13
B.T. de Haas and K. Koopmans: The Abbey evaluation of reference sample IF-G. The significance of Abbey's method for laboratory quality	→→	19
J. Anderson and A.H. Victor: Determination of cobalt in South African primary and secondary reference samples by ion exchange chromatography and electrothermal atomic absorption spectrophotometry	→→	27
Maria.I. Prudencio, M.A. Gouveia and J.M.P. Cabral: Instrumental neutron activation analysis of two French geochemical reference samples - Basalt BR and Biotite Mica-Fe	→→	29
Brian Lister and Norman Gogger: The preparation and evaluation of bastnäsite reference materials IGS 40 and 41	→→	33
Yu-Jun Zhang, Xing-Bin Li, Lin-Shan Song, Ling Yuan, Bao-Guan Chen, Bing-Ru Chen, Yu-Qi Wang, Jing-Xin Sun: Multielemental neutron activation analysis of Chinese geochemical reference samples	→→	61
Yutaka Kanai, Noboru Imai and Shigeru Terashima: Determination of uranium in thirty-six geological reference samples by fluorimetry and extractive spectrophotometry	→→	73
Ernest S. Gladney, Sammy R. Garcia and Janet S. Newlin: Determination of elemental composition of NBS SRM coals via automated neutron activation analysis	→→	77
A. Colombo: Confidence intervals for the median of data sets containing up to 300 observations	→→	81
Josef Dempir: Contribution to evaluation of analytical data on reference samples	→→	87
H.G. Steger and R. Sutarno: Stability of CRMs: Significance to the user	→→	93
L.J. Schwarz, A.F. Dorrzapf, Jr., W.B. Crandell and F.J. Flanagan: Some trace-element contents of biotite, Bt-1, and hornblende, Hbl-1, by semiquantitative spectrographic analysis and by instrumental neutron activation analysis	→→	99
NOUVELLES BREVES - BRIEF NEWS	→→	109
ARTICLES A PARAITRE - FORTHCOMING PAPERS	→→	110

Published by the Working Group "Analytical Standards of Minerals, Ores and Rocks" of the Association Nationale de la Recherche Technique, with the assistance of the Centre Nationale de la Recherche Scientifique.

Address : GEOSTANDARDS, C.R.P.G.

15, rue Notre Dame des Pauvres, B.P. 20,  
54501 Vandoeuvre-lès-Nancy Cedex (France). Tél : 83 51 22 13; Téléc : 960 431 F ADNANCY

Directeur de la publication : H. de la Roche

Directeur gérant : K. Govindaraju.

F.J. Flanagan: Rock reference samples, San Marcos Gabbro, GSM-1 and Lakeview Mountain Tonalite, TLM-1	→→	111
Philip J. Potts and Nicholas W. Rogers: Instrumental neutron activation analysis of nine new reference materials from the Geological Survey of Japan	→→	121
Shigeru Terashima: Determination of arsenic and antimony in eighty-five geochemical reference samples by automated hydride generation and electrothermal atomic absorption spectrometry	→→	127
Chris C.Y. Chan: Determination of carbonate carbon in 41 international geochemical reference samples by coulometric method	→→	131
Iwan Roelandts and Gilbert Michel: Sequential inductively coupled plasma determination of some rare-earth elements in five French geostandards	→→	135
M. Pilar Rodriguez: Analyse multiélémentaire de six échantillons de référence "d'United States Geological Survey" GXR-1 à 6 par spectrométrie d'émission atomique à plasma conducteur	→→	155
Sydney Abbey: A study of robust estimators	→→	159
E. Kontas, H. Niskavaara and J. Virtasalo: Flameless atomic absorption determination of gold and palladium in geological reference samples	→→	169
Kazuhiro Toyoda and Hiroki Haraguchi: Rare earth elements in six new GSI standard rock samples as determined by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry	→→	173
Brian Lister: Re-evaluation of reference materials, IGS 21-39	→→	177
A. Colombo: Evaluation of interlaboratory geochemical data: some considerations on the Abbey-Rousseau debate, the meaningfulness of the median and other topics	→→	183
F.J. Flanagan: Reference samples in geology and geochemistry	→→	191
Iwan Roelandts: GeostandaRef Corner. Geochemical reference sample bibliography for 1985	→→	265
ARTICLES A PARAITRE - FORTHCOMING PAPERS	→→	281
COMITE DE REDACTION - BOARD OF EDITORS	→→	282

Published by the Working Group "Analytical Standards of Minerals, Ores and Rocks" of the Association Nationale de la Recherche Technique, with the assistance of the Centre National de la Recherche Scientifique.

Address : GEOSTANDARDS, C.R.P.G.

15, rue Notre Dame des Pauvres, B.P. 20,  
54501 Vandoeuvre-lès-Nancy Cedex (France). Tél : 83 51 22 13; Téléc : 960 431 F ADNANCY

Directeur de la publication : H. de la Roche

Directeur gérant : K. Govindaraju.

## GEOSTANDARDS NEWSLETTER

## GEOSTANDARDS NEWSLETTER

XIV

John W. Hosterman and Francis J. Flanagan: USGS reference samples attapulgite ATT-1 and Bentonite CSB-1	→→ 1
Brian Lister: The preparation of three base-metal reference materials: lead concentrate, IGS-42, zinc concentrate, IGS-43 and copper matte, IGS-44	→→ 11
Sydney Abbey: A Canadian "Geostandardist" in China	→→ 35
Nathan W. Bower, David K. Kim and Ernest S. Gladney: Determination of water in nineteen USGS geochemical reference standards using coulometry and neutron-capture prompt gamma-ray spectroscopy	→→ 37
Charles B. Bruce, Jr. and Nathan W. Bower: Spectrophotometric determination of ferrous iron in eighteen United States Geochemical reference standards	→→ 41
P. Vittoz, R.A. Oliver, G. Vivier, S.A. Kerr and F. Hoyler: Determination of B, Sm and Gd in twenty-three geological reference materials by neutron-capture prompt gamma-ray activation analysis (PGAA)	→→ 43
Iwan Roelandts: Determination of nine rare earth elements in eight USGS reference samples and in the ANRT glauconite, GL-O, by sequential inductively coupled argon plasma spectrometry	→→ 49
Shigeru Terashima and Atsushi Ando: Elemental concentrations in nine new Japanese rock reference samples	→→ 75
Iwan Roelandts, Guy Robaye, Panagiotis Aloupogiannis, Georges Weber and Jeanne-Marie Delbrouck-Habaru: The determination of fluorine by proton induced gamma-ray emission spectrometry (PIGE) in eighteen Chinese standard reference samples of stream sediments, soils and rocks: GSD 9-12, GSS 1-8 and GSR 1-6	→→ 79
Richard F. Sanzalone and T.T. Chao: Determination of selenium in thirty-two geochemical reference materials by continuous - flow hydride generation atomic absorption spectrophotometry	→→ 81
Vladimir Kocman and Linda M. Foley: Certification of four North-American gypsum rock samples type: calcium sulphate dihydrate, CaSO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O, GYP-A, GYP-B, GYP-C and GYP-D	→→ 87
Evgeny Taskaev and Ivan Penev, Hubert Schelhorn and Martin Geisler: Radiochemical determination of gold in rocks	→→ 103
Allen L. Stork, David K. Smith and James B. Gill: Evaluation of geochemical reference standards by X-ray fluorescence analysis	→→ 107
H.N. Elsheimer: Application of an ion-selective electrode method to the determination of chloride in 41 international geochemical reference materials	→→ 115
O.P. Sobornov and T.M. Zolotukhina: Radioelements in standard samples pertaining to magmatic rocks included in the single system of the USSR state standard samples (according to gamma-spectrometric data)	→→ 123
M.F. Benedetti, A.M. de Kersabiec and J. Boulègue: Determination of gold in twenty geochemical reference samples by flameless atomic absorption spectrometry	→→ 127
COMITE DE REDACTION - BOARD OF EDITORS	→→ 130
ANNOUNCEMENT	→→ 131
CORRECTIONS	→→ 131
ARTICLES A PARAÎTRE - FORTHCOMING PAPERS	→→ 132

Ernest S. Gladney and Iwan Roelandts: Distribution of NBS, USGS and CCRMP reference material data in the literature (1951-1985)	→→ 133
W.C. Godbeer: Results for fluorine in coals and other reference materials	→→ 143
Georges Beaudoin et Mario Bergeron: Determination de huit terres rares dans l'échantillon géochimique de référence NBS 88a par activation neutronique instrumentale	→→ 147
Robert M. St. Louis: Gold in BHVO-1, BIR-1, DNC-1 and BCR-1 by fire-assay preconcentration neutron activation analysis: sample size vs. accuracy	→→ 151
Atsushi Ando, Naoki Mita and Shigeru Terashima: 1986 values for fifteen GSJ rock reference samples, "Igneous rock series"	→→ 159
Ernest S. Gladney and Iwan Roelandts: Compilation of boron concentration data for NBS, USGS and CCRMP reference materials	→→ 167
A.H. Victor: Accurate determination of nickel in South African primary and secondary geochemical reference materials by cation exchange chromatography and atomic absorption spectrometry	→→ 187
Bi-Shia Wang King: Determination of trace elements in eight Chinese stream-sediment reference samples by energy-dispersive X-Ray spectrometry	→→ 193
Eugene Jarosewich, Ron Gooley and John Husler: Chromium augite - a new microprobe reference sample	→→ 197
S.R. Joshi: Determination of lead-210, radium-226, thorium-228 and uranium-238 in five CCRMP reference samples by gamma-ray spectrometry	→→ 199
K. Govindaraju: 1987 compilation report on Ailsa Craig granite AC-E with the participation of 128 GIT-IWG laboratories	→→ 203
P.J. Potts and J.R. Holbrook: Ailsa Craig - the history of a reference material	→→ 257
Iwan Roelandts: GeostandaRef Corner. Geochemical reference sample bibliography for 1986	→ 261
BOOK REVIEW	→→ 279
ANNOUNCEMENT	→→ 281
CORRECTIONS	→→ 281
ARTICLES A PARAÎTRE - FORTHCOMING PAPERS	→→ 281
COMITE DE REDACTION - BOARD OF EDITORS	→→ 282

Published by the Working Group "Analytical Standards of Minerals, Ores and Rocks" of the Association Nationale de la Recherche Technique, with the assistance of the Centre National de la Recherche Scientifique.

Address : GEOSTANDARDS, C.R.P.G.

15, rue Notre Dame des Pauvres, B.P. 20,  
54501 Vandœuvre-lès-Nancy Cedex (France). Tél : 83 51 22 13; Téléx : 960 431 F ADNANCY

Directeur de la publication : H. de la Roche

Directeur gérant : K. Govindaraju.

Published by the Working Group "Analytical Standards of Minerals, Ores and Rocks" of the Association Nationale de la Recherche Technique, with the assistance of the Centre National de la Recherche Scientifique.

Address : GEOSTANDARDS, C.R.P.G.

15, rue Notre Dame des Pauvres, B.P. 20,  
54501 Vandœuvre-lès-Nancy Cedex (France). Tél : 83 51 22 13; Téléx : 960 431 F ADNANCY

Directeur de la publication : H. de la Roche

Directeur gérant : K. Govindaraju.

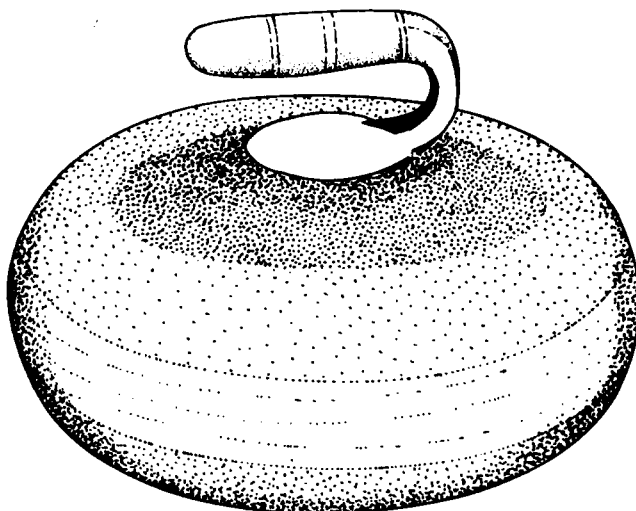


Figure 4. Sketch of a curling stone

### Geostandards Newsletter

Quatre numéros du Géostandards Newsletter sont parus en 1986 et 1987; les sommaires de ces numéros sont présentés dans le Tableau 4 et 5.

La revue "Science Citation Index" publie tous les ans le "rang" de journaux internationaux ("journal rankings") calculant le facteur d'impact. Parmi les journaux géoscientifiques, le classement du Geostandards Newsletter pour 1984-1986 est :

Année	"Rank"	"Impact Factor"	"Cited Half life"
1984	16	1.465	3.9
1985	10	2.043	4.2
1986	14	1.633	5.1

Selon "Science Citation Index", voici la liste des dix premières revues géoscientifiques en 1985 :

	GEOSCIENCES	1985
<b>1</b>	Earth Sci. Rev.	3.846
<b>2</b>	Meteoritics	3.333
<b>3</b>	J. Geophys. Res.	2.922
<b>4</b>	Tectonics	2.918
<b>5</b>	Annu. Rev. Earth. Pl. Sc.	2.629
<b>6</b>	Earth Planet. Sc. Let.	2.608
<b>7</b>	Adv. Geophys.	2.583
<b>8</b>	Geochim. Cosmochim. Acta	2.562
<b>9</b>	Geophys. Res. Letter	2.325
<b>10</b>	Geostandards Newsletter	2.043

Pour un Journal qui n'avait que 9 ans en 1985, ce classement paraît très encourageant.

## Laboratoire de CHIMIE

Michel VERNET

560 demandes de travaux, 6568 échantillons de matériaux géologiques divers et fluides variés pour 20472 dosages, 2 publications et 3 stagiaires sont l'illustration que la chimie analytique classique ou "Voie humide" avec ses différentes techniques : volumétrie, gravimétrie, électrochimie, absorptiométrie, spectrométrie d'émission de flamme et d'absorption atomique, est une méthode indispensable pour le traitement de tous les problèmes analytiques particuliers.

Elle permet en effet l'analyse d'une grande diversité de matériaux et de fluides naturels ou expérimentaux de compositions variées, de doser des anions et des cations, des éléments aussi bien en traces qu'en fortes teneurs et surtout de distinguer les différents états de valence ou différents composés physico-chimiques d'un même élément. De plus, en pratiquant l'étalonnage absolu, c'est-à-dire à partir de produits chimiques de haute pureté, elle reste une méthode de référence pour l'établissement des étalons géochimiques.

Cette souplesse et cette diversité dans l'analyse des matières minérales, solides ou liquides, s'accompagnant parfois d'une étude et d'un travail de mise au point si nécessaire, sont primordiales pour répondre non seulement à des Equipes de Recherche pour des travaux spécifiques, mais aussi à tous ceux, publics ou privés, qui ont besoin d'analyses chimiques complètes ou partielles de matières premières ou de produits finis, pour un simple contrôle de qualité ou en vue d'une valorisation.

### Etat actuel des éléments dosés

Voici la liste des éléments dosés en routine au Laboratoire de Chimie et groupés par méthodes. Tous les éléments habituellement à l'état de traces sont dosés à partir du ppm ou de quelques ppm.

Pour As, Li, Cs, Be, W, Mo, les dosages peuvent être effectués à partir de 0,1 ppm et 0,02 ppm pour Hg.

FeO	}	Volumétrie
HC03 (dans les eaux)		
H2O+ (de constitution)		
H2O- (d'humidité)	}	Gravimétrie
CO2 total		
C libre+organique	}	Coulométrie à impulsions
S total		
F	}	Potentiométrie avec électrode spécifique
As (fortes teneurs)		
Si, Ti, P, Cl, B, Mo, W	}	Absorptiométrie
S total (dans les eaux)		
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> -solubles	}	Turbidimétrie
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (dans les eaux)		
Li, Na, K, Rb, Cs, Be, Mg, Ca	}	Absorption Atomique
Sr, Ba, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni,		
Cu, Zn, Al, Sn, Pb, As, Hg		

## VOLUME DES TRAVAUX POUR LES ANNEES 1986 ET 1987

Dosages partiels ou complémentaires dans les roches				Dosages dans les fluides naturels ou expérimentaux	
FeO	2023	Li	575	Na	215
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	624	Na	117	K	133
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	366	K	403	Mg	172
H <sub>2</sub> O totale	87	Rb	192	Ca	123
CO <sub>2</sub> total	1507	Cs	187	F	68
C organique	440	Be	133	Cl	322
S total	830	Mg	133	B	80
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> solubles	19	Ca	222	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	313
F	963	Sr	214	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	67
Cl	473	Ba	217	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	41
As	90	Ti	92	Si	238
B	353	V	168	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	5
Mo	280	Cr	188	Fe	79
W	578	Mn	129	Al	33
Sn	687	Fe total	571	Sr	9
Si	122	Co	188	Hg	1
P	364	Ni	174	Br	4
Al	73	Cu	256	Total	1903
Pl	337	Zu	224		
Hg	54	Ag	125		
Nb	11	Ce	1		
Br	5	Zr	1		
P.F.	29	Total :	14825		

Analyses complètes  
de minéraux, minerais,  
et roches variées  
(13 éléments) : 288

Pour la fréquence des demandes, il faut noter qu'un élément comme le fluor vient maintenant en troisième position après FeO et CO<sub>2</sub>, suivi aussitôt par S, Sn, W, Li, Cl et B.

Pour les roches, minéraux et minerais en analyse complète y compris souvent un certain nombre d'éléments en traces, la variété est toujours présente, nécessitant parfois des mises au point préliminaires, des adaptations ou des modifications des modes opératoires :

- Roches diverses : roches carbonatées, basiques ou minéralisées, phosphates, verres, scories, latérites, kaolins, marbres dolomitiques, skarns, quartzites, lehrzolithes et pyroxénites.
- Minéraux silicatés : lépidolites, biotites, muscovites, kaolinites, beryls, morganites, aigue-marine, émeraude, tourmalines, feldspaths potassiques, spodumènes, grenats, topazes.
- Minéraux des gîtes : galènes, pyrites, blends.
- Minerais de plomb et de fer.

Les travaux spécifiques effectués ces deux dernières années sont en augmentation et représentent une part importante de notre activité :

Pour des Equipes de Recherches :

**1 - Des analyses de fluides naturels ou expérimentaux. Pour les derniers, la quantité d'échantillon est de l'ordre de 20 ml et les concentrations sont souvent faibles.**

- Dosages de Cl, SO<sub>4</sub>, Na, K, Ca, Mg dans les lixiviats de fluides en inclusions dans les minéraux.
- Dosages de Cl, SO<sub>4</sub>, Na, K, Ca, Mg, Sr en solutions méthanoliques dans le cadre de l'analyse des fluides en inclusions dans la halite.
- Dosages de Cl, B, Na, K, Fe, Mg, Al dans les solutions de pétrologie expérimentale.
- Dosages de F, PO<sub>4</sub>, Cl, SO<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, Li, Cs, Hg dans des eaux diverses.

**2 - Des dosages de K<sub>2</sub>O pour la Géochronologie.**

Et, pour une Société privée : des analyses de sulfate ferreux pour contrôler la fabrication. Des dosages d'éléments majeurs : Fe<sup>2+</sup>, Fe total, SO<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>O et des éléments en traces : Ca, Mn, Ni, Cr, Co, Zn, Cu, Pb, Sn, As, Hg, Al, SiO<sub>2</sub>.

Il faut signaler également que le laboratoire de Chimie participe à toutes les campagnes interlaboratoires pour l'établissement des étalons géochimiques. Ces deux dernières années, il y a eu deux campagnes. La première pour l'établissement du granite AC-E. Le laboratoire a fourni des résultats pour 35 éléments ou composés chimiques, 15 éléments majeurs ou mineurs et 20 éléments à l'état de traces. Et la deuxième pour les éléments en traces dans les 5 étalons géochimiques du CRPG, les granites GA et GH, le basalte BR et les micas biotite Mica-Fe et phlogopite Mica-Mg. Le laboratoire a fourni une centaine de résultats, 20 pour chaque étalon.

De même des analyses de verres ont été effectuées, 16 éléments majeurs et mineurs et 10 éléments à l'état de traces. Cela a permis la participation du laboratoire à la publication de M. Pichavant (1987) "The Macusani glasses, SE Peru : évidence of chemical fractionation in peraluminous magmas".

Et pour terminer, il faut mentionner que nos deux publications parues en 1987 sont le fruit d'un travail d'équipe de plusieurs années. L'intérêt grandissant pour les éléments beryllium et étain nous a conduit à rechercher une méthode rapide et suffisamment sensible et précise.

Pour les deux halogénures Fluor et Chlore, dosés au laboratoire à l'état de traces depuis plus de 15 ans, la règle a toujours été de chercher à rendre les méthodes plus rapides sans nuire à la précision.

La répartition des 560 demandes de travaux pour 1986 et 1987 s'établit ainsi :

CRPG	38,8 %
CREGU	11,6 %
Autres demandeurs nancéiens (CRVM, ENSG, Nancy I, CPB)	17,8 %
Autres demandeurs français (CEA-Fontenay aux Roses, Université P. et M. Curie, Muséum et ENS Mines de Paris, INSA de Lyon, Université P. Sabatier de Toulouse, Société Nouvelle d'Exploitation des Kaolins du Morbihan, etc.)	25,2 %
Demandeurs étrangers (Suède, Cameroun, Espagne, etc.)	6,6 %



En conclusion, avec un approvisionnement régulier et soutenu en échantillons et un programme de recherches et de mises au point en constant développement depuis de nombreuses années, le laboratoire a toujours pu fonctionner sans accroc sérieux.

Mais depuis environ un an, deux faits importants sont venus contrarier son bon fonctionnement. D'abord l'absence complète d'une personne à partir de juin 1987, son remplacement n'ayant pu être effectué.

Ensuite le mauvais fonctionnement de notre doseur carbone-soufre mis en service en 1975. L'achat d'une version moderne est la seule solution envisageable. Ces perturbations ont entraîné un ralentissement important de notre programme de recherche et de mises au point concernant en particulier la liste des dosages possibles avec l'analyseur de mercure/hydrures : Sb, Bi, Se, Te. En effet toutes les énergies du laboratoire ont été utilisées uniquement pour répondre aux demandes de travaux dans un délai raisonnable.

## Laboratoire de Diffractométrie X

Dans le cadre du projet "Phygis" nous venons d'équiper un de nos goniomètres haute résolution :

- d'une chambre haute température pouvant monter jusqu'à 1100°C et permettant également des manipulations en atmosphère contrôlée (vapeur d'eau par exemple),
- d'un détecteur courbe associé à un analyseur multicanal. Ce compteur peut récupérer, simultanément, les énergies diffractées dans un domaine angulaire de 60° ( $\phi$ ). Nous pourrions suivre ainsi des phénomènes susceptibles d'évoluer très rapidement dans le temps,
- d'une régulation thermique pour contrôler les montées et les paliers de température,
- d'un circuit vide assurant une évacuation thermique et un dégazage des produits,
- d'un ensemble de saisie de données capable de rendre compte des modifications de structure des cristaux irradiés lors de la montée en température ; avec écran de visualisation, imprimante et traceur de courbes.

Par l'intermédiaire de cet ensemble de diffraction à haute température l'Equipe de Monsieur J. Cases souhaite suivre :

- l'évolution au cours de traitements thermiques de la composition d'assemblages de minéraux notamment destinés à élaborer de nouvelles charges minérales naturelles de renforcement,

- l'étude du mécanisme du gonflement des argiles avec examen, in situ, du nombre et de la position des molécules d'eau insérées dans la maille.

Le premier problème que nous avons dû résoudre est celui de la préparation. Nous souhaitions continuer à travailler par réflexion de manière à conserver des énergies diffractées suffisantes et nous devions éviter les porte-échantillons du constructeur où l'on compacte de grandes quantités de poudre ce qui entraîne des déplacements importants du plan de diffraction lors des traitements. Un cache, en beryllium, par exemple, aurait empêché les échanges que nous voulions effectuer.

Nous avons pu remédier à ces difficultés par l'utilisation d'une grille métallique à mailles fines comme support de la poudre compactée.

Les premiers diagrammes effectués avec cette technique donnent des résultats tout à fait encourageants.

---

Toujours au chapitre des études originales effectuées au Laboratoire on notera l'examen de dents humaines par goniométrie de texture. Nous avons pu déterminer, pour la Faculté Dentaire de Nancy, le lien entre les orientations préférentielles des cristaux de fluorapatite constituant les dents et les contraintes imposées lors de mouvements latéraux de la mâchoire, anormalement répétés chez certains patients.

Nous avons dû confectionner des préparations "mosaïques" en juxtaposant des tranches parallèles découpées dans une même dent de manière à faire apparaître des énergies exploitables lors de la diffraction.

Ces résultats débordent largement les préoccupations habituelles du Laboratoire mais donnent malgré tout une idée très précise des possibilités de l'appareil.

## Le Service "ETUDES DOCUMENTAIRES et TRAITEMENT AUTOMATIQUE de L'INFORMATION en GEOCHIMIE (E.D.T.A.)

Alain PLOQUIN, Michèle MARCHAL

Le Service a une vocation double : gérer la base de données géochimiques ARTEMISE, confectionner et traiter des fichiers de travail à la demande des utilisateurs ; ces fichiers étant issus de la B.D. et/ou incorporant des données nouvelles.

Dans le précédent rapport (85-86) nous avons souligné que nous étions en phase d'adaptation au nouveau matériel informatique (HP 9000) ; on peut considérer que l'essentiel était fait fin 1986. Cependant il s'est révélé que certains champs devaient être revus : un travail fastidieux et long qui doit être mené sans perturber l'utilisation. Pour des raisons de capacité (130 Mo), il a fallu partager les champs entre disque et bandes en fonction des taux d'utilisation. L'intégration des différentes sections de la base (ARTEMISE sensu-stricto, GUF, Petros, Clair, Ophra, fichiers sauvages, ...) est améliorée au niveau des processus d'interrogation.

Les problèmes de transferts de données via supports informatiques nous a préoccupé et nous pouvons maintenant fournir des fichiers de travail, c'est-à-dire lots de données sélectionnées et structurées à la demande sur divers types de disquettes : Apple, Macintosh, IBM, HP 150 ou, depuis longtemps, sur bandes. Par exemple, le fichier "Granitoïdes Afghans" (750 analyses renseignées ayant servi de base à la typologie Debon-Le Fort) a été diffusée, en première main, à une trentaine de personnes. La jonction avec les logiciels en "Géol" est réalisée par la mise au point des transformations de fichiers.

L'activité de service, prioritaire, aux usages se poursuit au rythme soutenu d'environ 150 dossiers, pour une soixantaine de demandeurs différents, par an (cf. Annexe II) ; le point nori est la saisie des données nouvelles (issues de la bibliographie notamment) qui est largement tributaire de la présence d'un TUC avant tout ce que cela implique (temps de formation, alléats, renouvellements, ...).

Le Service, en tant que tel, participe à plusieurs projets, au-delà du "simple dossier" ; citons :

- nappes briançonnaises,
- typologie des granitoïdes paléozoïques français,,,
- pyroxènes des ophiolites,
- séries anorthositiques,
- paléosidéurgie : des minerais de fer aux scories, apports de la géochimie à l'histoire des techniques.

Ce dernier projet, amorcé début 1986, est une nouveauté en France et demande à développer une méthodologie tant au niveau de la formation des archéologues à ce type d'observations et à la prise d'échantillons, qu'à celui de l'interprétation des données analytiques : les résultats sont encourageants et permettent maintenant aux participants de faire jeu égal avec les pays à longue tradition dans ce domaine (cf. Congrès de Prague, Octobre 1987). Ceci grâce à un important soutien financier de la DBMIST, de collectivités locales, de 2 ATP et de l'AFAN.

La participation aux réunions IGBA (PICG 163 puis 269, dévolu à la mise en oeuvre d'une B.D. internationale sur la géochimie des roches ignées) de 1986 et 1987 a permis de mettre au point les consignes de transfert, d'élaborer le logiciel de transformation nécessaire et de constater les modifications indispensables dans ARTEMISE (problèmes de nomenclature et de dictionnaires de codifications, notamment). D'ici à un an l'échange de données avec IGBA sera effectif, c'est-

à-dire accès, mise à disposition et ..., avec un léger effort des auteurs, la possibilité de diffusion des données correspondant à leurs publications.

Nous sommes sollicités pour deux projets de B.D. :

- Service Géologique de Grèce (IGME),
- "SEDBA" : en 1986-1987 il s'est agi de préparer la demande au PICG sur un projet de mise au point d'un prototype de B.D. internationale sur les sédiments (et d'initier un groupe de travail français) : projet accepté en mars 1988, sous le n° 269, nous serons chargés d'organiser la réunion de 1989.

A la suite de débats, le Service EDTA devra évoluer en privilégiant les thèmes de recherche et les relations ; la fourniture des fichiers de travail sur disquettes étant au point, l'activité de "services" devra aller en s'allégeant et être plus sélective.

RESUMES PUBLIES  
DES TRAVAUX DES EQUIPES  
D'AVRIL 1986 A DECEMBRE 1987

# Sommaire

Chimie Analytique et Géostandards.....	3
Fluides.....	9
Géochimie Isotopique et Géochronologie.....	17
Géologie Structurale.....	41
Géothermie .....	55
Informatique Appliquée .....	61
Magmatisme .....	71
Métallogénie.....	97
Métamorphisme .....	125
Minéralogie.....	133
Pétrologie Expérimentale.....	139

*CHIMIE ANALYTIQUE ET GEOSTANDARDS*

## Sommaire

GOVINDARAJU K., MEVELLE G. Fully automated dissolution and separation methods for inductively coupled plasma atomic emission spectrometry rock analysis. Application to the determination of rare earth elements.....	5
VERNET M., MARIN L., BOULMIER S., LHOMME J. Méthode rapide de dosage du béryllium et de l'étain total à l'état de traces dans les matériaux géologiques par spectrométrie d'absorption atomique en flamme .....	6
VERNET M., MARIN L., BOULMIER S., LHOMME J., DEMANGE J.C. Dosage du fluor et du chlore dans les matériaux géologiques y compris les échantillons hyperalumineux.....	7
GOVINDARAJU K. 1987 Compilation report on Ailsa Craig Granite AC-E with the participation of 128 GIT- IWG laboratories.....	8



**Fully Automated Dissolution and Separation Methods for Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry Rock Analysis.  
Application to the Determination of Rare Earth Elements\***

**Plenary Lecture**

**Kuppusami Govindaraju and Guy Mevelle**

*CNRS, Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques, B.P. No. 20, 54501 Vandoeuvre les Nancy, France*

In rock analysis laboratories, sample preparation is a serious problem, or even an enormous bottleneck. Because this laboratory is production-oriented, this problem was attacked by automating progressively, different steps in rock analysis for major, minor and trace elements. This effort has been considerably eased by the fact that all sample preparation schemes in this laboratory for the past three decades have been based on an initial lithium borate fusion of rock samples and all analytical methods based on multi-element atomic emission spectrometry, with switch-over from solid analysis by arc/spark excitation to solution analysis by plasma excitation in 1974. The sample preparation steps which have been automated are: weighing of samples and fluxes, lithium borate fusion, dissolution and dilution of fusion products and ion-exchange separation of difficult trace elements such as rare earth elements (REE). During 1985 and 1986, these different unit operations have been assembled together as peripheral units in the form of a workstation, called LabRobStation. A travelling robot is the master of LabRobStation, with all peripheral units at its reach in 10 m<sup>2</sup> workspace. As an example of real application, the automated determination of REE, based on more than 8000 samples analysed during 1982 and 1986, is presented.

**Keywords:** *Rock analysis; rare earth elements; inductively coupled plasma atomic emission spectrometry; automation; dissolution and separation*

# Méthode rapide de dosage du béryllium et de l'étain total à l'état de traces dans les matériaux géologiques par spectrométrie d'absorption atomique en flamme

M. VERNET, L. MARIN, S. BOULMIER et J. LHOMME

*Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques (C.N.R.S.), 15, rue Notre-Dame des Pauvres, 54500 Vandœuvre-lès-Nancy*

## SUMMARY

### Rapid measurement of beryllium and total tin concentrations at the trace level in geological materials using flame atomic absorption spectrometry

The beryllium and total tin contents of geological materials can be determined by flame atomic absorption spectrometry using methods which have three essential points in common :

- A single decomposition of the sample by fusion with lithium metaborate.
- Separation and concentration of the elements concerned by extraction with MIBK (methylisobutylketone) yielding
  - beryllium as beryllium acetyl-acetonate at pH 6.
  - tin in a solution of TOPO (trioctylphosphine oxide) in the MIBK.
- Measurement of the concentrations by atomic absorption spectrometry with the solvent introduced directly into a nitrous oxide-acetylene flame.

After demonstrating that neither F or P (several %), nor Be or W (2 000 ppm) affect the measurements of the tin concentration and after determining the accuracy of the proposed method, we report results for 30 international geochemical reference samples. Detection limits are 0,1 ppm for beryllium and 1 ppm for tin.

*Key-words* : Beryllium. Total tin. Trace levels. Rocks. Flame atomic absorption.

## RÉSUMÉ

*Les dosages du béryllium et de l'étain total dans les matériaux géologiques ont pu être réalisés par spectrométrie d'absorption atomique en flamme avec des modes opératoires présentant trois points communs essentiels :*

- *Une seule et même décomposition de l'échantillon par une fusion au métaborate de lithium.*
- *Une séparation et une concentration par extraction par la MIBK (méthylisobutylcétone)*
  - *de l'acétyl-acétonate de béryllium à pH 6,*
  - *de l'étain dans une solution de TOPO (tri-n-octyl-phosphine oxyde) dans la MIBK.*
- *Le dosage par spectrométrie d'absorption atomique avec introduction directe du solvant dans une flamme protoxyde d'azote-acétylène.*

*Après avoir montré l'inaction de F, P (plusieurs %) et Be, W (2 000 ppm) dans le dosage de l'étain, et pour tester la justesse de la méthode proposée, des résultats sont donnés pour 30 étalons géochimiques internationaux de référence. Les limites de détection sont de 0,1 ppm pour le béryllium et 1 ppm pour l'étain.*

# Dosage du fluor et du chlore dans les matériaux géologiques y compris les échantillons hyperalumineux

M. VERNET, L. MARIN, S. BOULMIER, J. LHOMME et J.C. DEMANGE

Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques (C.N.R.S.), 15, rue Notre-Dame des Pauvres, 54500 Vandœuvre-lès-Nancy.

## SUMMARY

**Determination of fluorine and chlorine in geological materials including aluminium-rich samples.**

The determination of fluorine in geological materials by potentiometry using an ion-selective electrode has been rendered more rapid and more accurate by two combined operations :

- automation of the measurement procedures including reading of the potential, calculation and printing of the final analysis,
- the almost complete separation of aluminium by systematic addition of  $\text{SiO}_2$  to obtain a Si/Al ratio of at least 3, promoting the precipitation of halogen-poor silico-aluminates. In this way, the method can be applied to aluminium-rich samples such as bauxites.

The chlorine content is determined by a spectrophotometric method based on the formation of ferrithiocyanate. Extensive refinements of the method have been made to reduce contamination factors.

To determine the accuracy of the methods used, results are reported for 25 international geochemical reference samples. Detection limits are 20 ppm for both fluorine and chlorine.

*Key-words* : Fluorine. Potentiometry. Automation. Chlorine. Spectrophotometric method. Rocks.

## RÉSUMÉ

*Le dosage du fluor dans les matériaux géologiques par potentiométrie avec électrode spécifique a été rendu plus rapide et plus précis par deux actions conjuguées : d'une part l'informatisation du dosage avec automatisation de la lecture du potentiel, des calculs et de la production du bulletin d'analyse, d'autre part la séparation quasi complète de l'aluminium par addition systématique de  $\text{SiO}_2$  pour obtenir un rapport Si/Al au moins égal à 3 et favoriser la précipitation des silico-aluminates peu adsorbants. Ainsi, la méthode s'applique également aux échantillons hyperalumineux comme les bauxites.*

*Le dosage du chlore est effectué par absorptiométrie du ferrithiocyanate à partir de la même mise en solution. De nombreux essais ont été effectués pour diminuer les facteurs de contamination.*

*Pour tester la justesse des méthodes utilisées, des résultats sont donnés pour 25 étalons géochimiques internationaux de référence. Les limites de détection sont de 20 ppm pour le fluor et pour le chlore.*

*Mots-clés* : Fluor. Potentiométrie. Informatisation. Chlore. Absorptiométrie. Roches.

## 1987 COMPILATION REPORT ON AILSA CRAIG GRANITE AC-E WITH THE PARTICIPATION OF 128 GIT-IWG LABORATORIES

K. GOVINDARAJU

Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques, 15, rue Notre Dame des Pauvres  
B.P. 20, 54501 Vandœuvre-lès-Nancy Cedex, France

Third in the series of collaborative studies launched by the International Working Group "Analytical Standards of Minerals, Ores and Rocks" (IWG), the study on Ailsa Craig Granite AC-E has attracted the participation of 128 laboratories from 29 countries. Tables of compiled data, 3212 results in all, are presented with working values, recommended or proposed, for seventy major, minor and trace elements. The success of this study which lasted for only one year from the distribution of sample to the release of the present report is to be attributed entirely to the record participation of the IWG-Member laboratories.

# *FLUIDES*

## Sommaire

JAMBON A., ZIMMERMANN J.L. Major volatiles from a north Atlantic MORB glass and calibration to He : a size fraction analysis.....	11
ZHANG Y.G., FRANTZ J.D. Determination of the homogenization temperatures and densities of supercritical fluids in the system NaCl-KCl-CaCl <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> using synthetic fluid inclusions .....	11
ARNOLD M., GONZALEZ PARTIDA E. Capacités oxydantes d'un fluide hydrothermal en ébullition.....	12
BOULLIER A.M., MICHOT G., PECHER A. Diffusion and/or plastic deformation around fluid inclusions in synthetic quartz: X-ray topography and T.E.M. investigations.....	12
ARNOLD M. A propos des inclusions fluides monophasées dites métastables à température ambiante.....	13
MICHARD A., ALBAREDE F. The REE content of some hydrothermal fluids.....	13
DUBESSY J., RAMBOZ C. The history of organic nitrogen from early diagenesis to amphibolite facies : mineralogical, chemical, and isotopic implications.....	14
RAMBOZ C. Les inclusions fluides .....	15

## MAJOR VOLATILES FROM A NORTH ATLANTIC MORB GLASS AND CALIBRATION TO He: A SIZE FRACTION ANALYSIS

ALBERT JAMBON and JEAN LOUIS ZIMMERMANN

*G.I.S. C.N.R.S.-B.R.G.M., Centre de Recherches sur la Synthèse et la Chimie des Minéraux, F-45071 Orléans Cédex 2 (France)*

*C.R.P.G., F-54501 Vandoeuvre-lès-Nancy (France)*

(Received August 6, 1985; revised and accepted August 14, 1986)

### Abstract

Jambon, A. and Zimmermann, J.L., 1987. Major volatiles from a North Atlantic MORB glass and calibration to He: A size fraction analysis. *Chem. Geol.*, 62: 177-189.

The analysis of major volatiles in a North Atlantic mid-ocean ridge basalt (MORB) glass, has been performed using a new procedure based on the analysis of several size fractions of one single sample. It enables us to separate the contributions of volatiles from the glass phase, from the vesicle gas phase and eventually gas adsorbed on the grain surface. The vesicle composition (mole fractions) obtained upon crushing is 0.94 CO<sub>2</sub>, 0.002 H<sub>2</sub>, 0.06 H<sub>2</sub>O. Volatiles extracted from the glass at 1150°C are 9.7·10<sup>-6</sup> mol g<sup>-1</sup> CO<sub>2</sub>, 156·10<sup>-6</sup> mol g<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>O. The gases released at 500°C are mostly adsorbed contaminants but contribute marginally to the total amount except for numerous organic compounds which are destroyed at higher temperature.

When previous noble-gas data for the same sample are considered, one obtains the evidence that: (1) the He/CO<sub>2</sub> ratio does not fractionate between glass (4.1·10<sup>-5</sup>) and vesicles (4.6·10<sup>-5</sup>); and (2) water is not quantitatively degassed from MORB glasses. The ratio He : CO<sub>2</sub> : H<sub>2</sub>O of 10<sup>-4</sup> : 2.4 : 13 for primitive magma has to be confirmed by further results to be considered as a typical value for a MORB source.

Chemical Geology, 64 (1987) 335-350

YI-GANG ZHANG and JOHN D. FRANTZ

*Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques, Centre National de la Recherche Scientifique, F-54501 Vandoeuvre-lès-Nancy Cédex (France)*

*Geophysical Laboratory, Carnegie Institution of Washington, Washington, DC 20008 (U.S.A.)*

(Received December 4, 1986; revised and accepted March 19, 1987)

## DETERMINATION OF THE HOMOGENIZATION TEMPERATURES AND DENSITIES OF SUPERCRITICAL FLUIDS IN THE SYSTEM NaCl-KCl-CaCl<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O USING SYNTHETIC FLUID INCLUSIONS

## Abstract

Zhang, Y-G. and Frantz, J.D., 1987. Determination of the homogenization temperatures and densities of supercritical fluids in the system NaCl-KCl-CaCl<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O using synthetic fluid inclusions. *Chem. Geol.*, 64: 335-350.

Synthetic fluid inclusions were experimentally produced by equilibrating small fractured prisms of quartz with aqueous solutions at temperatures from 300° to 700°C and pressures of 1000, 2000 and 3000 bar. Solution compositions included: 0.500, 2.000 and 4.500 molal NaCl; 0.500, 2.000 and 4.500 molal KCl; 0.50 and 2.00 molal CaCl<sub>2</sub>; and H<sub>2</sub>O. The homogenization temperatures of the synthetic fluid inclusions were analyzed by microthermometry. Plots of homogenization temperatures as a function of experimental temperature and pressure indicate that lines of constant homogenization temperature are linear and intersect the liquid-vapor curve at the homogenization temperature. For each of the four chemical systems, a relatively simple function was developed by which the homogenization temperature can be related to the temperature (°C) and pressure (bar) of inclusion formation and the composition (*m*) of the trapped fluid:

$$P = A_1 + A_2 T$$

with

$$A_1 = 6.100 \cdot 10^{-3} + (2.385 \cdot 10^{-1} - a_1) T_h - (2.855 \cdot 10^{-3} + a_2) T_h^2 - (a_3 T_h + a_4 T_h^2) m$$

$$A_2 = a_1 + a_2 T_h + 9.888 \cdot 10^{-6} T_h^2 + (a_3 + a_4 T_h) m$$

where *m* is the molality; *T<sub>h</sub>* is the homogenization temperature; and *a*<sub>1</sub>, *a*<sub>2</sub>, *a*<sub>3</sub> and *a*<sub>4</sub> are constants fit to the data sets of each of the four chemical systems. Ten-parameter polynomial regressions are given for the densities of the solutions on their liquid-vapor surfaces as functions of temperature and composition. These functions combined with the above equations permit calculation of the density as a function of temperature, pressure, solute and solute concentration in the supercritical region. A function is also given which permits calculation of isochores for fluids containing more than one solute. The results of these experiments compare favorably to previously published ones.

C. R. Acad. Sc. Paris, t. 303, Série II, n° 9, 1986

MINÉRALOGIE. — *Capacités oxydantes d'un fluide hydrothermal en ébullition*. Note de Michel Arnold et Eduardo Gonzalez Partida, présentée par Georges Millot.

Dans un fluide hydrothermal ascendant en ébullition, *f*O<sub>2</sub> et *f*H<sub>2</sub> sont contrôlés par le sous-système qui se rééquilibre le plus rapidement lors du refroidissement (H<sub>2</sub>O<sub>1</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-O<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>). En régime permanent, le fluide en ébullition peut oxyder son encaissant bien que le système eau-roche soit réducteur à l'origine.

MINERALOGY. — Oxidizing properties of a boiling hydrothermal fluid.

*In an upward moving, boiling hydrothermal fluid, fO<sub>2</sub> and fH<sub>2</sub> are controlled by the most sensitive chemical system (H<sub>2</sub>O<sub>1</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>-O<sub>2</sub>) during cooling. Despite of the initially reducing character of the water-rock system, the boiling fluid is able to oxidize the percolated rocks under stationary conditions.*

Terra Cognita, 7, (2-3), 131, 1987

S05.26

### DIFFUSION AND/OR PLASTIC DEFORMATION AROUND FLUID INCLUSIONS IN SYNTHETIC QUARTZ: X-RAY TOPOGRAPHY AND T.E.M. INVESTIGATIONS

A.M. BOULLIER\*, G. MICHOT & A. PECHER

(Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques, Vandoeuvre-lès-Nancy, France)

Synthetic quartz containing fluid inclusions (H<sub>2</sub>O + 0.5N NaOH) was annealed at high temperature (T=438°C) and confining pressure (P<sub>c</sub>=200 or 350 MPa). Changes in the shape of the inclusions were observed together with variations of their filling densities which depend on the value of the internal pressure, P<sub>i</sub>; the latter tends to equilibrate with the confining pressure, P<sub>c</sub>. X-ray topography after treatment reveals a contrast around the modified fluid inclusions.



The changes of shape are due to dissolution - crystallization processes and are sensitive to  $P_i$ . The density variations are independent of the change of shape: they indicate that diffusion processes (positive or negative exchange between quartz and fluid inclusion) took place together with a possible plastic deformation of the wall (few dislocations have been observed in T.E.M.). The driving force could be the elastic strain energy due to the difference in pressure between the fluid inclusion and the confining medium.

C. R. Acad. Sc. Paris, t. 303, Série II, n° 6, 1986

MINÉRALOGIE. — *A propos des inclusions fluides monophasées dites métastables à température ambiante.* Note de Michel Arnold, présentée par Georges Millot.

L'absence de bulle de vapeur dans une inclusion fluide aqueuse est généralement considérée comme un état métastable par défaut de nucléation. Or, la contraction de l'eau liquide durant son refroidissement permet toujours la création mécanique d'une bulle de vapeur. Cette absence résulte dès lors d'un piégeage dans des conditions P-T de surface.

MINERALOGY. — Discussion on the so called metastable aqueous fluid inclusions.

*Lack of vapour bubble in aqueous fluid inclusions is generally considered as a proof of metastability from lack of nucleation. Now contraction of liquid water during its natural cooling always permits a mechanical appearance of vapour bubble. Consequently monophased inclusions appear as trapped in P-T surface conditions.*

Chemical Geology, 55, (1986) 51-60

## THE REE CONTENT OF SOME HYDROTHERMAL FLUIDS\*

ANNIE MICHARD and FRANCIS ALBARÈDE

*Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques and École Nationale Supérieure de Géologie,  
54501 Vandoeuvre-lès-Nancy Cédex (France)*

(Received December 3, 1985; accepted for publication December 17, 1985)

### Abstract

Michard, A. and Albarède, F., 1986. The REE content of some hydrothermal fluids. *Chem. Geol.*, 55: 51-60.

REE concentrations were determined in solutions from submarine hydrothermal vents on the East Pacific Rise and, for the first time, from continental geothermal fields in Tibet and Bulgaria. They indicate that, in hydrothermal systems, REE are immobile at temperatures below 350°C and for water/rock ratios of  $<10^5$ .  $\epsilon_{Nd}$ -values of submarine solutions and anhydrites (+4.7 to +6.2) suggests recharge on the sediment-covered flanks of the ridge. Carbonate anions, as measured by alkalinity, appear to increase the solubility of heavy REE somewhat, but not to the extent that substantial amounts of REE could be driven out from rocks by hydrothermal activity.

**The history of organic nitrogen from early diagenesis to  
amphibolite Facies : mineralogical, chemical, and isotopic implications**  
Jean Dubessy et Claire Ramboz.

L'azote ne rentre dans le réseau des minéraux que sous forme de  $\text{NH}_4^+$ , c'est-à-dire accompagné d'hydrogène. C'est donc uniquement l'azote organique lié à l'hydrogène, essentiellement l'azote protéinique des matières organiques (M.O.) de type I et II, qui est impliqué dans le cycle géochimique. L'azote protéinique, libéré de la M.O. dès les premiers stades de la diagenèse, n'est adsorbé et/ou fixé par les minéraux qu'en environnement strictement euxinique. On souligne les conséquences chimiques, mécaniques et isotopiques importantes liées à la libération d'azote et d'hydrogène des minéraux lors de la diagenèse et du métamorphisme.

Les calculs thermodynamiques montrent que, au-delà de  $250^\circ\text{C}$ ,  $\text{NH}_4^+$  se décompose en  $\text{N}_2$  et  $\text{H}_2$  dès qu'il est libéré des minéraux, même en très faible quantité. Les données sur les fluides naturels montrent que l'hydrogène ainsi produit est impliqué dans des réactions d'oxydo-réduction, par exemple avec les sulfates dans les dômes de sel d'origine marine, ou avec le  $\text{CO}_2$  de décarbonatation lors du métamorphisme de séries pélitiques et carbonatées. Ces réactions conduisent à la réduction des sulfates en sulfures avec production d'eau et d' $\text{H}_2\text{S}$  dans le premier cas, à la réduction de l'eau et du  $\text{CO}_2$  en  $\text{CH}_4$  dans le second cas. Dans les environnements imperméables (halite, shales), de telles réactions de volatilisation provoquent une augmentation du volume du fluide interstitiel qui favorise la rupture (tectonique salifère). En contexte de métamorphisme syntectonique, elles induisent des gradients de pression stables et, par suite, une convection accrue, du fait que la densité de la phase fluide est localement abaissée. L'hydrogène d'origine organique étant isotopiquement léger, il est normal que l'hydrogène de l'eau, du méthane et des silicates ammoniés associés aux fluides riches en  $\text{N}_2$  soit isotopiquement léger.

# LES RICHESSES DU SOUS-SOL EN AUVERGNE ET LIMOUSIN

Préface :  
Hubert CURIEN

Coordination :  
Hubert BRIL - *Maison des Volcans.*  
Pierre WATELET - *Musée d'Aurillac.*

Edité par la ville d'Aurillac - 1986

**LES INCLUSIONS FLUIDES**  
Claire RAMBOZ \*\*  
pp. 65-70

*GEOCHIMIE ISOTOPIQUE*

*ET*

*GEOCHRONOLOGIE*

## Sommaire

ALIBERT C., MICHARD A., ALBAREDE F. Isotope and trace element geochemistry of Colorado Plateau volcanics.....	21
DEVEY C.W., ALBAREDE F. Elemental and isotopic variations in samples from seamounts around Tahiti.....	21
MICHARD A., MONTIGNY R., SCHLICH R. Geochemistry of the mantle beneath the Rodriguez Triple Junction and the South-East Indian Ridge.....	22
ALBAREDE F., BROUXEL M. The Sm/Nd secular evolution of the continental crust and the depleted mantle.....	22
BROUXEL M. Géochimie d'un arc insulaire intra-océanique fossile et son bassin marginal : les séries paléozoïques de Copley, Balaklala et le cortège ophiolitique de Trinity (Klamath orientales, Nord Californie, USA).....	23
TAMAGNAN V., ALBAREDE F. Periodic geochemical variations in the Piton-de-la-Fournaise basalts, Reunion island (1931-86).....	24
ALBAREDE F., BROUXEL M. Coupled evolution of Nd isotopes in the depleted mantle - continental crust system.....	24
ALBAREDE F., BROUXEL M. The Sm/Nd secular evolution of the continental crust and the depleted mantle.....	25
BROUXEL M., LAPIERRE H., MICHARD A., ALBAREDE F. Trace element and Sr-Nd isotope geochemistry of the Devonian Copley-Balaklala intraoceanic arc volcanics (N. California, USA).....	26
LETERRIER J., ALIBERT C. A Sm-Nd study of basic rocks of the Kidal assemblage (Mali).....	26
APLIN A., MICHARD A., ALBAREDE F. $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ in pacific ferromanganese encrustations and nodules.....	27
APLIN A., ALBAREDE F., MICHARD A. REE and No isotopes in Pacific hydrothermal deposits, Fe-Mn crusts/nodules and sediments.....	27
GRANDJEAN P., CAPPETTA H., MICHARD A., ALBAREDE F. The assessment of REE patterns and $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ ratios in fish remains.....	28
GRANDJEAN P., CAPPETTA H., MICHARD A., ALBAREDE F. The REE patterns and $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ ratios in fish remains as palaeoceanographic tracers ..	28
ALBAREDE F., MICHARD A. Transfer of continental Mg, S, O and U to the mantle through hydrotehrmal alteration of the oceanic crust.....	29

BOGOCH R., MAGARITZ M., MICHARD A. Dolomite of possible mantle origin, southeast Sinai.....	30
MICHARD A., BEAUCAIRE C., MICHARD G. Uranium and rare earth elements in CO <sub>2</sub> -rich waters from Vals-les-Bains .....	30
ALBAREDE F., MICHARD A. Evidence for slowly changing <sup>87</sup> Sr/ <sup>86</sup> Sr in runoff from freshwater limestones of southern France .....	31
SHEPPARD Characterization and isotopic variations in natural waters.....	32
TAYLOR H.P., SHEPPARD S.M.F. Igneous rocks: I. Processes of isotopic fractionation and isotope systematics .....	32
SHEPPARD S.M.F. Igneous rocks: III. Isotopic case studies of magmatism in Africa, Eurasia and Oceanic islands.....	32
CHAUSSIDON M., ALBAREDE F., SHEPPARD S.M.F. Sulphur isotope heterogeneity in the mantle from ion microprobe measurements of sulphide inclusions in diamonds .....	32
CHAUSSIDON M., SHEPPARD S.M.F., ALBAREDE F. Ion probe $\delta^{34}\text{S}$ analysis of hydrothermal deposits from the EPR at 21°N.....	33
FRANCE-LANORD C. Chevauchement, métamorphisme et magmatisme en Himalaya du Népal Central. Etude isotopique H, C, O .....	33
FRANCE-LANORD C., SHEPPARD S.M.F., LE FORT P. Comparison of the H-isotope composition of a leucogranite (High-Himalaya Manaslu) with its potential source rock (Tibetan slab) .....	34
CHAUSSIDON M., SHEPPARD S.M.F. Isotopic study (H,C,O,S) and evidence for sea water-magma interaction at 13°N, EPR .....	34
FRANCE-LANORD C., SHEPPARD S.M.F., LE FORT P. C-O-H isotopic evidence for migration of fluids during the Himalayan reverse metamorphism.....	35
SHEPPARD S.M.F., CHAREF A. Eau organique : caractérisation isotopique et évidence de son rôle dans le gisement Pb-Zn de Fedj-el-Adoum, Tunisie .....	35
HALTER G., SHEPPARD S.M.F., WEBER F., CLAUER N., PAGEL M. Radiation-related retrograde hydrogen isotope and K-Ar exchange in clay minerals .....	36
ROSENBAUM J., SHEPPARD S.M.F. An isotopic study of siderites, dolomites and ankerites at high temperatures.....	36
TOTTEU S.F., MICHARD A., BERTRAND J.M., ROCCI G. U/Pb dating of Precambrian rocks from northern Cameroon, orogenic evolution and chronology of the Pan-African belt of Central Africa.....	37

PENVEN M.J., ZIMMERMANN J.L. Mise en évidence, par la méthode potassium-argon, d'un âge langhien pour le plutonisme calco-alcalin de la Kabylie de Collo (Algérie) .....	38
HOLTZ F., JUTEAU M. Indications géochronologiques des minéraux accessoires, monazites et zircons, sur la migmatisation hercynienne de la Péninsule ibérique. Migmatites et orthogneiss de Tourem (Nord Portugal) .....	38
DEBON F., ZIMMERMANN J.M., BERTRAND J.M. Le granite du Baltoro (batholite axial du Karakorum, nord Pakistan) : une intrusion subalcaline d'âge Miocène Supérieur.....	39
ZIMMERMANN J.L., DEBON F., BERTRAND J.M. The upper Miocene Baltoro granite (Karakorum axial batholith, northern Pakistan): K-Ar dates and cooling history.....	39
ZIMMERMANN J.L., STUSSI J.M., GONZALEZ PARTIDA E., ARNOLD M. K-Ar apparent ages, from lower Cretaceous to Palaeocene-Eocene, in Puerto Vallarta - Rio Santiago batholith (Jalisco, Mexico).....	40
JAEGY R., ALBAREDE F., MICHARD G. Mesures de <sup>14</sup> C dans quelques eaux thermales des Pyrénées orientales .....	40

## Isotope and trace element geochemistry of Colorado Plateau volcanics\*

CHANTAL ALIBERT, ANNIE MICHARD and FRANCIS ALBARÈDE

Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques and Ecole Nationale Supérieure de Géologie,  
54501 Vandoeuvre-lès-Nancy Cedex, France

(Received February 10, 1986; accepted in revised form September 17, 1986)

**Abstract**—Basalts from the San Francisco Peaks and North Rim of Grand Canyon, nephelinites from the Hopi Buttes, and Navajo minettes (Colorado Plateau) have been analyzed for trace element contents and Sr, Nd, Pb isotope compositions. The ages increase eastward from the Quaternary (basalt) to 5 Ma (nephelinite) and 30 Ma (minette) as does the depth of melt generation inferred from xenolith mineralogy and major element geochemistry.

The three rock types present an enrichment of incompatible elements (although minettes present negative concentration spikes for Nb, Zr, Ti, Ba, Sr) relative to other magma types. The chondrite-normalized Ce/Yb ratio changes from 8–22 (basalt) to 25–30 (nephelinite) and 33–60 (minette) and reflects small degrees of partial melting of a mantle source with a garnet/clinopyroxene ratio increasing with depth. The negative Eu anomaly present in minette, the low Sr/Nd and high Pb/Ce suggest the presence of a recycled continental crust component in their mantle source.

The  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratio varies from 0.7032–0.7045 (basalt and nephelinite) to 0.7052–0.7071 (minette), while  $\epsilon_{\text{Nd}}$  is remarkably more constant at +0.8 to +3.7 (nephelinite) and –2.6 to +2.2 (basalt and minette). Good linear correlations are observed in both  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  and  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  vs.  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  diagrams with basalt being the least and nephelinite the most radiogenic, and indicate a  $2.3 \pm 0.1$  Ga age and a Th/U of 3.4.

Three lithospheric source components are indicated: a) an OIB-type depleted mantle source, b) an end-member with unradiogenic Sr, Nd, and Pb for basalt and nephelinite and c) a recycled crustal component for minette.

Terra Cognita, 7, (2-3), 367, 1986

G11.61

### ELEMENTAL AND ISOTOPIC VARIATIONS IN SAMPLES FROM SEAMOUNTS AROUND TAHITI

C.W. DEVEY\* & F. ALBARÈDE

(Centre de Recherches Petrographiques et Geochimiques,  
Vandoeuvre, Nancy, France)

Major and trace element, and Sr & Nd isotopic data are presented for glass separates of samples dragged from 4 active seamounts to the south-east of Tahiti (Teahitia, Mehetia, Rocard, and 'Anonyme'). Basalt samples have been collected from all four volcanoes. Rocard is exceptional in that, apart from one sample of basalt, all the other samples recovered are of phonolitic composition. The basalt samples are relatively basic, with MgO ranging from 5.5–16 wt %. All basalts (with the exception of one from 'Anonyme') are alkaline, with high  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ .

All samples analysed for rare earth element contents show steep patterns, with strong LREE enrichment. The phonolites show higher absolute REE abundances, but similar relative REE abundances, when compared to the basalts.

Isotopic variations are present between the seamounts. Thus the phonolites from Rocard have higher Sr and lower Nd isotopic ratios (in the range 0.7058 - 0.7060 and 0.51260 - 0.51266 respectively) than the basalts from Mehetia (0.7043 - 0.7046, 0.51275 - 0.51285) or Teahitia (0.7046 - 0.7050, 0.51271 - 0.51277). The only basalt sample so far analysed from Rocard has isotopic ratios similar to the basalts from the other sea-mounts, and different from the phonolites. This basalt also has major and trace element compositions similar to the basalts from the other sea-mounts. It is thus possible that the extreme isotopic values of the phonolites are somehow related to their evolved nature, perhaps by contamination with sea-floor sediments or altered oceanic crust.



## Geochemistry of the mantle beneath the Rodriguez Triple Junction and the South-East Indian Ridge

A. Michard<sup>1</sup>, R. Montigny<sup>2</sup> and R. Schlich<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques, B.P. 220, 54501 Vandœuvre-les-Nancy (France)*

<sup>2</sup> *Institut de Physique du Globe de Strasbourg, 5 Rue Descartes, 68084 Strasbourg Cedex (France)*

Received October 30, 1985; revised version accepted February 10, 1986

Rare earth element abundances and Sr, Nd, Pb isotope compositions have been measured on zero-age dredge samples from the Rodriguez Triple Junction (RTJ) and the South-East Indian Ridge (SEIR). Along the SEIR, the geochemical “halo” of the St. Paul hot spot has a half-width of about 400 km and the data may be fairly well accounted for by a binary mixing between an Indian MORB-type component ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.7028$ ,  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.51304$ ,  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 17.8$ ) and the plume-type St. Paul component (0.7036, 0.5129, and 18.7 respectively). The alignment of the lead isotope data is particularly good with an apparent age of  $1.95 \pm 0.13$  Ga and Th/U source value of 3.94. One sample dredged on the ridge 60 km southeast of St. Paul bears a definite Kerguelen isotopic signature.

The RTJ has distinctive geochemical properties which contrast with those of the adjacent ridge segments. Low  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  ratios which plots to the left of the geochron, rather high  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  and  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratios (17.4, 37.4, and 0.7031 respectively), a striking isotopic homogeneity, and variable LREE/HREE fractionation with  $(\text{La}/\text{Sm})_N = 0.3\text{--}0.8$  make this triple junction an anomalous site.

The geochemical properties of the Indian Ocean basalts have been examined using a three-component mantle model involving (a) a normal MORB-type source thought to represent the depleted upper mantle matrix, (b) an OIB-type source of uncertain parentage (recycled oceanic crust?), and (c) a component with low  $\mu$ , low Sm/Nd, high Rb/Sr (time-averaged value) which is tentatively assigned to ancient hydrothermal and abyssal sediments recycled in the mantle. The high  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  and  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratios typical of the Dupal anomaly are likely due to the widespread distribution of this latter component in the basalt source from this area, including that for MORBs.

*Earth and Planetary Science Letters*, 82 (1987) 25–35  
Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam – Printed in The Netherlands

## The Sm/Nd secular evolution of the continental crust and the depleted mantle

Francis Albarède\* and Marc Brouxel\*\*

*Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques, F-54501 Vandœuvre Cedex (France)*

Received June 18, 1986; revised version received December 2, 1986

The published Nd isotopic data on rocks representative of either the continental crust or the depleted mantle are used to determine the Sm/Nd evolution of each system through time making allowance for a contribution from a primitive (chondritic) mantle. Screening using the  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$  ratio permits data of doubtful significance to be discarded. Mass balance equations describing mantle-crust exchange processes are numerically integrated. They suggest that crustal growth probably occurs through the addition of strongly LREE-enriched magmas derived from the mantle either directly (andesites) or indirectly (rhyolites). If the modern mean  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$  ratio of the crust is close to the sediment average (0.11), then progressive enrichment of LREE in the crust and depletion in the depleted mantle has occurred. If this ratio is of 0.13, then it, and the probable depleted-mantle  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$  ratio (0.26) have been constant over the last 3.8 Ga. The fraction of the total Nd (exclusive of the primitive mantle) stored in the continental crust has varied from 40% to 50% over the same period.

The volume of the continents can have remained constant only if the rate of sediment reinjection into the mantle is  $2.5 \text{ km}^3 \text{ a}^{-1}$  or more. For lower, probably more geologically reasonable, reinjection rates, a nearly uniform continent growth rate over the past 3.8 Ga is inferred. In all cases, the depleted mantle is continuously forming from a primitive reservoir.

# THESE

présentée à

**l'Université de Nancy I**

pour l'obtention du titre de

**Docteur de l'Université de Nancy I**

***Spécialité Géologie (pétrologie, géochimie)***

*Soutenue publiquement le 6 janvier 1987 devant la Commission d'Examen*

**Marc BROUXEL**

**Géochimie d'un arc insulaire intra-océanique fossile et son bassin marginal : les séries paléozoïques de Copley, Balaklala et le cortège ophiolitique de Trinity (Klamath orientales, Nord Californie, U.S.A.).**

## Résumé :

Les séries d'arcs insulaires paléozoïques inférieurs des Klamath orientales (Copley, Balaklala et Lovers Leap), et le cortège ophiolitique siluro-ordovicien de Trinity qui leur est spatialement associé, appartiennent à un même système arc insulaire - bassin marginal intra-océanique qui a fonctionné entre l'Ordovicien et le Dévonien inférieur. La géochimie des éléments traces réputés immobiles lors du métamorphisme et les isotopes du Sr et du Nd permettent de préciser d'une part, la nature des sources des différentes séries magmatiques, et d'autre part, les phénomènes secondaires ayant affecté ces roches.

Ainsi, les roches volcaniques et plutoniques paléozoïques inférieurs des Klamath orientales ont été le siège d'une activité hydrothermale intense (rapport eau/roche variant entre 0 et 30) qui a profondément modifié leurs caractéristiques pétrographiques et géochimiques. Cette activité hydrothermale, responsable de la formation de sulfures dans les rhyolites de Balaklala, permet d'expliquer l'existence d'anomalies négatives de Ce dans certaines rhyolites et trondhjémites

Les tholéïtes d'arc de la Formation de Copley proviendraient de la fusion partielle d'une source mantellique très appauvrie (plus appauvrie que celle des MORB), contaminée par un composant plus radiogénique (OIB et/ou sédiments). Les rhyolites tholéïtiques de Balaklala et les trondhjémites de Mule Mountain dériveraient de la fusion partielle des tholéïtes les plus appauvries de la Formation de Copley, ou plus vraisemblablement de leur équivalent plutonique (gabbros). Les roches du cortège ophiolitique de Trinity proviendraient d'une source identique à celle des tholéïtes d'arc qui lui sont spatialement et temporellement associées.

**S06.19**

**PERIODIC GEOCHEMICAL VARIATIONS IN THE  
PITON-DE-LA-FOURNAISE BASALTS, REUNION  
ISLAND (1931-86)**

V. TAMAGNAN\* & F. ALBAREDE  
(CRPG-ENSG, Vandoeuvre-lès-Nancy, France)

Volcanic eruptions of the Piton de la Fournaise volcano occur at a mean interval of 18 months. Common cotectic basalts (Ol-Cpx-Pl) give way to picritic basalts (oceanite) every *ca.* 16 years, probably as a result of a mechanical disruption of early cumulates in the deep layers of the edifice. A systematic major and trace element study has been carried out in order to disentangle the geochemical signal of fractional crystallization, partial melting and other mantle source processes.

Temporal variations have been assessed through an autocorrelation analysis over the period 1931-1986 and using a 3 year-moving average.

The degree *F* of phenocryst crystallization and the relative proportion of each mineral species calculated from whole rock and mineral analyses do not vary systematically over the investigated period ( $F = 15 \pm 5$  percent). In contrast, very compatible elements in basalts (Mg, Ni, Cr) present a positive correlation ( $r = 0.8-0.9$ ) at  $T = 22 \pm 2$  years which is significantly asynchronous of the picritic "events". For these elements, this period is thought to characterize the replenishment/fractionation processes within a nearly steady-state shallow magma chamber.

Variations of Ce/Yb in excess of 20 percent must reflect variable degrees of melting of the garnet-harzburgite source and present an indistinguishable periodicity (11 year half-period). Incompatible element concentrations (Ce, Th, Zr, K,...) vary with a broadly similar period, with, for some of them (REE, Ba, alkali elements), possible superposition of a higher frequency at *ca.* 7 years of uncertain significance.

Comparison of these cycles suggests that the periodic geochemical variations in the Piton de la Fournaise series are ultimately controlled by source processes and not by the dynamics and thermal evolution of the magma chamber. The present 22 year cycle of the Reunion hot-spot would be therefore characteristic of the upward migration of either the molten source (diapir) or the melt itself.

Terra Cognita, 6, 2, 1986, 126

**SG14**

**COUPLED EVOLUTION OF Nd ISOTOPES IN THE  
DEPLETED MANTLE - CONTINENTAL CRUST  
SYSTEM**

FRANCIS ALBARADE and MARC BROUXEL  
ENSG-CRPG Vandoeuvre & Université de Nancy I, France

Existing Nd isotope data relevant to the depleted mantle evolution (MORBs, ancient ophiolites, and komatiites) have been carefully screened as a function of their  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$  ratio in order to select samples at least as depleted as the mean MORB source through time. As a result, the apparent mantle  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  ratio has a seemingly linear evolution through time, starting 4 to 4.5 Ga ago with an apparent  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$  ratio of 0.215. As pointed out by DePaolo (1983), an apparent ratio lower than the actual  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$  of the mantle source is indicative of substantial recycling of LRE-enriched continental crust in the mantle.

The same screening has been applied to the evolution of the  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  ratio in fine-grained detrital sediments for they may be supposed to represent some average of the continental crust. The integrated  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$  of the crust is 0.175, *i.e.* substantially higher than common sediments (0.10-0.14) which, in turn, supports continuous addition of LRE-depleted mantle material to the crust. Unfortunately, the data base is insufficient to define a precise and reasonably unique evolution curve of  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  for Archean sediments.

We take the prejudice that the depleted mantle- continental crust behaves as a closed system (isolated lower mantle or whole mantle convection) and integrate numerically the differential equations ruling the secular evolution of  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  and  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ . Simple first order conclusions may be drawn: (i) a large fraction (40-60%) of the terrestrial Nd was extracted from the mantle to the continental crust earlier than 4 Ga ago (ii) early (Sm/Nd) fractionation between continental crust and depleted mantle may be as low as 0.6 which supports melt segregation from a garnet-bearing mantle and, subsequently, crustal growth through orogenic magmas (iii) the data base does not substantiate a major increase but could accommodate a significant decrease of the Nd fraction held by continental crust through geological time (iv) little evidence is found for a maximum continental production rate between 4 and 2 Ga (v) residence times of Nd are calculated as such:  $\tau^{\text{out}}(\text{mantle}) \neq \tau^{\text{in}}(\text{crust})=3$  Ga,  $\tau^{\text{in}}(\text{mantle})=4$  Ga (vi) the depleted mantle - continental crust Nd system works not too far from steady state with substantial bidirectional mantle/crust interaction.

Terra Cognita, 7, (2-3), 272, 1987

S30.04

### THE Sm/Nd SECULAR EVOLUTION OF THE CONTINENTAL CRUST AND THE DEPLETED MANTLE

F. ALBAREDE\* & M. BROUXEL

(Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques, Vandoeuvre, France)

The published Nd isotopic data on rocks representative of either the continental crust or the depleted mantle are used to determine the Sm/Nd evolution of each system through time making allowance for a contribution from a primitive (chondritic) mantle. Screening the data using the  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$  ratio permits those of doubtful significance to be discarded and results in a nearly linear evolution of the depleted mantle  $\epsilon_{\text{Nd}}(T)$  through time, and an apparent  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$  ratio of 0.21. The evolution of crustal residence ages of sediments increases also linearly from 1.4 Ga to-day to ages consistent with geological ages some 3.5 Ga ago.

Mass balance equations describing mantle-crust exchange processes are numerically integrated through a Monte-Carlo procedure. They suggest that crustal growth probably occurs through the addition of strongly LREE-enriched magmas derived from the mantle either directly (andesites) or indirectly (rhyolites). If the modern mean  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$  ratio of the crust is close to the sediment average (0.11), then progressive enrichment of LREE in the crust and depletion in the depleted mantle has occurred. If this ratio is 0.13, then it, and the probable depleted-mantle  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$  ratio (0.26) must have been constant over the last 3.8 Ga. The fraction of the total Nd (exclusive of the primitive mantle) stored in the continental crust increased from 40 to 50 percent over the same period.

The apparent  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$  ratio of the depleted mantle (0.21) is a combined result of sediment recycling into the mantle and continuous differentiation of the primitive reservoir. The extreme assumption of an isolated primitive reservoir is unlikely as it requires very high subduction rates and results in a rapid consumption of the continental crust. The volume of the continents may have remained constant for a rate of sediment reinjection into the mantle of ca.  $2.5 \text{ km}^3 \text{ a}^{-1}$ . For lower, probably more geologically reasonable, reinjection rates, a nearly uniform continent growth rate over the past 3.8 Ga is inferred.  $\epsilon_{\text{Nd}}(T)$  data by themselves cannot resolve whether sediment recycling or differentiation of a primitive reservoir controls primarily the Nd evolution of the mantle/crust system.

080

**TRACE ELEMENT AND SR-ND ISOTOPE  
GEOCHEMISTRY OF THE DEVONIAN COPLEY-  
BALAKLALA INTRAOCEANIC ARC VOLCANICS  
(N. CALIFORNIA, U.S.A.)**

M. BROUXEL<sup>1,2</sup>, H. LAPIERRE<sup>1</sup>, A. MICHARD<sup>2</sup> and F. ALBAREDE<sup>2</sup>

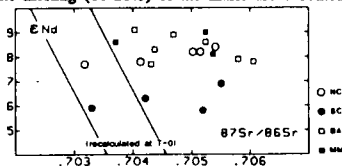
<sup>1</sup>Laboratoire de Pétrologie, Univ. Nancy; <sup>2</sup>C.R.P.G. et E.N.S.G., 54501 Vandoeuvre-les-Nancy Cedex, France

In spite of a mild metamorphic alteration in the greenschist facies, geochemical properties of the Devonian Copley basalts and andesites and overlying Balaklala rhyolites (Eastern Klamath, N. California) present a strong intraoceanic arc affinity. An age of 400-450 My may be assumed for the whole series. North Copley (NC) tholeiites are poor in Ti (average 0.57%), Nb (0.6 ppm), Zr (36 ppm), Th (0.22 ppm), Sr (90 ppm) with a  $(La/Sm)_N$  ratio of 0.3. South Copley (SC) tholeiites are also Ti-poor (0.77%) and Nb-poor (1.5 ppm) but show a relative enrichment in Zr (54 ppm), Th (0.66 ppm) and Sr (150 ppm) with a  $(La/Sm)_N$  ratio of 1.39. A strong depletion in Sr (38 ppm), Th (0.5 ppm), Eu ( $Eu/Eu^* = 0.54$ ) and LREE with  $(La/Sm)_N = 0.61$ , and occasionally strong Ce negative anomaly characterize Balaklala rhyolites (BA). The Mule Mountain trondhjemite (MM), intrusive in both the Copley and Balaklala formations, bears much geochemical similarity with the latter volcanics.

$Eps_{Nd}(400)$  values vary within a fairly narrow range: 6.3-7.3 (NC), 4.6-6.0 (SC), 6.4-7.9 (BA), and 7.0-7.8 (MM). The  $^{87}Sr/^{86}Sr$  initial ratio is much scattered (0.7036-0.7068). This variation likely reflects hydrothermal interaction with seawater at a water/rock ratio of 1.5 to 20 which led to the formation of massive sulfide deposits in BA rhyolites.

For a similar or even stronger degree of apparent depletion in HFS elements, intraoceanic arc magmas are extracted from a mantle source evolving with a lower time-integrated Sm/Nd ratio than typical MORBs. Consequently, it is unclear whether contribution of subducted sediments to arc magma genesis is only responsible for their lower  $Eps_{Nd}$  value.

Rhyolites from intraoceanic arcs are uncommon but probably represent the onset of continental crust evolution. The strongly depleted characteristics inferred for the source of BA rhyolites suggest that they formed through either extensive differentiation of arc tholeiite (or boninite) or partial melting of underlying basalts. Although the problem remains partially unsettled at this stage, HFSE concentrations and LREE/HREE fractionation do not favor extreme fractionation of tholeiite nor a small degree of melting. Taking geochemical and experimental petrology constraints into account, our preferred interpretation for the origin of rhyolites is a moderate melting (10-20%) of the mafic arc basement.



1987 14th Colloquium of African Geology, Berlin, CIFEG Publication occasionnelle 1987/12

**A Sm-Nd study of basic rocks of the Kidal assemblage (Mali).**

J. Leterrier and C. Alibert (Vandoeuvre-Lès-Nancy, France)

The Kidal assemblage is a high grade polyphased tectonic pile underlying the Iforas granulitic nappe (Boullier et al. 1978). Metabasalts and gabbroic intrusives are associated with ultrabasics, gneisses, metasediments and tonalitic plutons. All of them have been metamorphosed in the amphibolite facies during the Pan-African orogeny (600 Ma). Leptynites related to the gneissic component are Eburnean (1837 Ma, Caby and Andreopoulos-Renaud 1983) and provide a maximum age for the intrusives.

Whole rock analyses of the mafic samples do not define any isochron in the Sm-Nd systematics. The amphibolites show slightly LREE enriched patterns and homogeneous Nd isotope compositions ( $^{143}Nd/^{144}Nd_{present} = .51260$ ). A fine grained gabbro contrasts by its LREE depletion and MORB-like  $^{143}Nd/^{144}Nd$  ratio (.5130), suggesting a continental rifting episode prior to the Pan-African collision.

Basic cumulates show a diversity of REE patterns and Nd isotopic ratios ( $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = .5111-.5122$ ) likely to reflect some contamination of their parent melts by Eburnean or Archean gneisses similar to those of the Iforas granulitic unit. Sm-Nd internal isochrons (whole rock, plagioclase and clinopyroxene) for two gabbroic cumulates give two distinct ages of  $740 \pm 45$  and  $600 \pm 28$  Ma which can be ascribed to early and final phases of the Pan-African orogeny, respectively.

Earth and Planetary Science Letters, 81 (1986/87) 7-14

## $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ in Pacific ferromanganese encrustations and nodules

Andrew Aplin \*, Annie Michard and Francis Albarède

*C.R.P.G., B.P. 20, 54501 Vandoeuvre-lès-Nancy Cédex (France)*

Received May 27, 1986; revised version received August 29, 1986

$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  ratios have been measured in Fe-Mn encrustations and nodules taken from a wide area of the Pacific and over a large depth range. Over much of the Pacific,  $\epsilon_{\text{Nd}}(0)$  values fall between -2.5 and -5.0, similar to values for Nd presently dissolved at mid-depth in the Pacific. Deposits forming within the realm of Antarctic Bottom Water (AABW) are distinctly less radiogenic ( $\epsilon_{\text{Nd}}(0) = -6.0$  to  $-7.5$ ) and appear to have sampled Nd both from ambient AABW ( $\epsilon_{\text{Nd}}(0) = -8.5$ ) and from higher in the water column ( $\epsilon_{\text{Nd}}(0) = +0.3$  to  $-4.5$ ). Samples drilled from 50 to 65 mm within one crust are chemically and isotopically distinct from surface layers of the same crust. The isotope values suggest that the mid-depth Pacific may have previously exhibited a less radiogenic Nd isotope signal than that presently observed.

Terra Cognita, 6, 2, 114, 1986

### SD1

### REE AND NO ISOTOPES IN PACIFIC HYDROTHERMAL DEPOSITS, FE-MN CRUSTS/ NODULES AND SEDIMENTS

A. APLIN, F. ALBAREDE and A. MICHARD  
BP Research Centre, Sunbury-on-Thames, England

We have analysed the REE contents and Nd isotope ratios of hydrothermal deposits, Fe-Mn crusts and nodules and pelagic sediments from a wide area of the Pacific. Sulphides and sulphates from 13°N EPR, and hydrothermal Fe oxide from a Central Pacific seamount, all exhibit REE patterns similar to 13°N hydrothermal waters. But isotopic evidence suggests the REE geochemistry of each system is different:-  $\epsilon_{\text{Nd}}$  of the oxide (+1.6) is identical to that of associated basalt, whilst  $\epsilon_{\text{Nd}}$  of the sulphate (+5) is between that of Pacific seawater and EPR basalt.

Scavenging by oxides in the hydrothermal plume removes most hydrothermally supplied radiogenic Nd into a thin strip of crest sediment. Mass and isotopic balances for Nd indicate a shortfall in the supply of radiogenic Nd to the Pacific and force a reassessment of REE fluxes into the ocean.

$\epsilon_{\text{Nd}}$  in crusts dredged between 400 - 4000 m over a wide area of the Pacific are similar (-2.3 to -5.7) and show no spatial trends. Crusts, nodules and sediments forming within the realm of AABW are distinctly less radiogenic ( $\epsilon_{\text{Nd}} = -5.4$  to  $-7.5$ ) and exhibit  $\epsilon_{\text{Nd}}$  values between those for dissolved Nd in ambient AABW (-8) and overlying waters (0 to -4.5). This implies accretion of REE both by adsorption at the solid-water interface and by transfer from rapidly sinking labile particles. No relation is observed between  $\epsilon_{\text{Nd}}$  and REE patterns in sediments and Fe-Mn deposits; REE patterns are largely controlled by the relative abundances of REE-bearing phosphates and oxides.

## The assessment of REE patterns and $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ ratios in fish remains

Patricia Grandjean<sup>1</sup>, Henri Cappetta<sup>2</sup>, Annie Michard<sup>1</sup> and Francis Albarède<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques et Ecole Nationale Supérieure de Géologie,  
B.P. 20, 54501, Vandoeuvre-lès-Nancy (France)*

<sup>2</sup> *Laboratoire de Paléontologie, Université de Montpellier II, Place Eugène Bataillon, 34060 Montpellier (France)*

Received October 31, 1986; revised version accepted April 8, 1987

The REE content and isotopic composition of Sr and Nd have been determined in fish teeth ranging in age from the Trias to the present and from various localities mostly around the Atlantic. These measurements have been carried out on Selachian and Teleost remains from the same locality in Togo and show no appreciable difference, which suggests, with the help of a mass balance calculation of the Ce anomaly, that diagenetic effects are not responsible for the REE enrichment of biogenic phosphates.

One group of fossil teeth has about 3 times the REE abundances of shale and a shale-normalized pattern with a minimum at Sm: it is thought to reflect deposition in the open-sea environment. A second group has REE concentration about 10 times higher than the first group with either a regular light REE enrichment or, more frequently, a maximum in the middle REE, both being probably indicative of deposition in estuarine or near-shore conditions. The shape of the REE spectra and the size of the Ce anomaly can be used semi-quantitatively to determine the depth of deposition. The results presented here on Late Cretaceous/Eocene fish teeth samples from Morocco reflect an increasing influx of deep waters with a low La/Yb ratio and strong negative Ce anomaly, which agrees well with the evolution of sediment chemistry and microfauna associations.

In contrast,  $\epsilon_{\text{Nd}}$  is typical of the water mass in which the fish debris decayed. Examples of nearly isolated basins identified with Nd isotopes include the South Atlantic prior to the Lutetian ( $\epsilon_{\text{Nd}} \approx -13.5$ ), the Miocene Persian Gulf ( $\epsilon_{\text{Nd}} = -3.1$ ), and Bolivia during the Late Cretaceous ( $\epsilon_{\text{Nd}} = -12.8$ ). Togo and Guinea-Bissau results suggest that, in the South Atlantic, the meridional oceanic circulation had not started before 45 Ma ago.

Combination of REE and  $\epsilon_{\text{Nd}}$  data suggests that the assignment of Jurassic-Cretaceous samples measured so far to open-sea water masses is still ambiguous.

Terra Cognita, 7, (2-3), 410, 1987

G17.64

### THE REE PATTERNS AND $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ RATIOS IN FISH REMAINS AS PALAEOOCEANOGRAPHIC TRACERS

P. GRANDJEAN\*, H. CAPPETTA, A. MICHARD & F. ALBAREDE  
(CRPG, Vandoeuvre-lès-Nancy, France)

The present work brings in new evidence about the complementary potential of REE patterns,  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  and  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  ratios in fish remains as paleoceanographic tracers. Fish teeth of which the age extends from the Trias to the present and from various localities, mostly around the Atlantic and the Mediterranean, have been analyzed.

First, the marine or non-marine signature of a sample is assigned through the measurement of the  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratio. Then, the REE patterns and the Ce anomaly are used to constrain semi-quantitatively the position of the samples in the water column and the deposition environment (open sea vs. near-shore or estuaries). Finally, the  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  ratio is used to identify the water mass which provided Nd to the fish debris during the earliest diagenetic phases.

A first group of fossil teeth has about 3 times the shale REE abundance and a shale-normalized pattern with a minimum for Nd or Sm which mimics the seawater pattern: it is thought to reflect deposition in the open-sea environment. A second group is about 10 times more concentrated with either a regular light REE enrichment or, more frequently, a maximum in the middle REE, both being probably indicative of deposition in estuarine or near-shore conditions. Nearly all samples older than 100 Ma pertain to the second group.

Nd isotopes in fossil fish remains has proven to be useful in investigating the identification of water masses during the Mesozoic. Atlantic waters may have separated from Pacific waters as early as 100 Ma ago. Tethys-Mediterranean samples show  $\epsilon_{Nd}$  values ( $\epsilon_{Nd} = -9$ ) intermediate between those from the Pacific and Atlantic Oceans. Togo and Guinea-Bissau results suggest that, in the South Atlantic, the meridional oceanic circulation had not started before 45 Ma ago. Examples of nearly isolated basins identified with Nd isotopes include the South Atlantic prior to Lutetian ( $\epsilon_{Nd} = -14$ ), Bolivia during the Cretaceous ( $\epsilon_{Nd} = -13$ ), and the Miocene Persian Gulf ( $\epsilon_{Nd} = -3$ ). As pre-Cretaceous samples of undoubted open-sea affinity have not been analyzed so far, the identification of REE and Nd isotopic properties of the pan-Thalassa water masses is still a pending issue.

Chemical Geology, 57 (1986) 1-15

## TRANSFER OF CONTINENTAL Mg, S, O AND U TO THE MANTLE THROUGH HYDROTHERMAL ALTERATION OF THE OCEANIC CRUST\*

F. ALBARÈDE and A. MICHARD

*Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques and École Nationale Supérieure de Géologie, F-54501 Vandœuvre-lès-Nancy (France)*

(Accepted for publication July 4, 1986)

### Abstract

Albarède, F. and Michard, A., 1986. Transfer of continental Mg, S, O and U to the mantle through hydrothermal alteration of the oceanic crust. In: S. Deutsch and A.W. Hofmann (Editors), *Isotopes in Geology* — Picciotto Volume. *Chem. Geol.*, 57: 1-15.

The chemistry of high-temperature vent fluids and deposits from the East Pacific Rise and other submarine hydrothermal fluids, the conditions prevailing during the hydrothermal process, and the calculation of fluxes associated with cycling of seawater through mid-ocean ridges are reviewed. Due to conductive cooling and low-temperature processes at the ridge flanks, only the hydrothermal flux of elements which are stripped out from seawater (Mg, S, O, U) is known with a reasonable degree of confidence.

A simple first-order model, in which these elements are transferred from the continental crust to the mantle through hydrothermal exchange at ridge crests, allows us to estimate the rate at which this transfer takes place. Mg should be 2-5 times less concentrated in the present-day crust than 4 Ga ago. Uptake of seawater sulfate during the hydrothermal process has to be qualitative and, through subsequent reduction, irreversible, as it is the only process which accounts for the high oxidation state of Fe in deep levels of the oceanic crust. A time constant of 100 Ma for continental sulfate removal indicates that S has to be massively reinjected into the continental crust by arc magmatism. Consequences for the secular evolution of sulfur isotopes in seawater are discussed. Progressive injection of oxidized basalt into the mantle explains why the terrestrial mantle is more oxidized than its extraterrestrial equivalents. U of the oceanic crust is increased by 20% during the hydrothermal process but loss of continental U through submarine hydrothermal alteration is negligible. However, hydrothermal leaching of Pb from the oceanic crust results in the subduction of oceanic layers with either high  $\mu$  (altered basalts) and low  $\mu$  (hydrothermal and abyssal sediments) which may later contribute to the genesis of oceanic basalts with distinctive isotopic properties.



[1]

## DOLOMITE OF POSSIBLE MANTLE ORIGIN, SOUTHEAST SINAI

RON BOGOCH<sup>1</sup>, MORDECKAI MAGARITZ<sup>2</sup> and ANNIE MICHARD<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Geological Survey of Israel, Jerusalem 95 501 (Israel)

<sup>2</sup> Isotope Department, Weizmann Institute of Science, Rehovot 76 100 (Israel)

<sup>3</sup> Centre de Recherches, Pétrographiques et Géochimiques, Nancy (France)

(Received July 25, 1985; accepted for publication March 10, 1986)

### Abstract

Bogoch, R., Magaritz, M. and Michard, A., 1986. Dolomite of possible mantle origin, southeast Sinai. *Chem. Geol.*, 56: 281–288.

Dolomite and breunnerite occur in large amounts as veins and tabular bodies in association with the Tarr albitite within late Precambrian greenschist-facies metamorphics of southeast Sinai. Isotopic data for the dolomite (mean  $\delta^{18}\text{O} = +6.9\text{‰}$ ; mean  $\delta^{13}\text{C} = -8.1\text{‰}$ ; mean  $\delta\text{D} = -65\text{‰}$ ; mean  $\epsilon_{\text{Nd}} = +3.4$ ; mean  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.70422$ ), together with their low incompatible-element and high transition-metal contents, suggest that the dolomite derived from a mantle source. The isotopic composition of the breunnerite indicates contamination by metamorphic water during the replacement phase of the dolomite by the breunnerite.

## Uranium and rare earth elements in CO<sub>2</sub>-rich waters from Vals-les-Bains (France)\*

ANNIE MICHARD<sup>1</sup>, CATHERINE BEAUCAIRE<sup>2</sup> and GIL MICHARD<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire de Géochimie Isotopique, Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques, 54501 Vandoeuvre-lès-Nancy, France

<sup>2</sup>Laboratoire de Géochimie des Eaux, Université Paris 7 and Institut de Physique du Globe de Paris, France

(Received June 9, 1986; accepted in revised form January 9, 1987)

**Abstract**—Waters from springs at Vals-les-Bains result from the mixing of a CO<sub>2</sub>-rich, highly mineralized water with dilute, shallow subsurface water. Total content of dissolved species vary from 5 mmol/l to 100 mmol/l. For many elements, mixing of these waters is non-linear (non-conservative) and further water-rock reactions take place. The pH is controlled by CO<sub>2</sub> outgassing, redox conditions are controlled by both the iron hydroxide-siderite buffer and the introduction of oxygen with shallow subsurface waters. Among the major elements, concentrations of Ca, Mg, Mn, Fe, are related to mixing, CO<sub>2</sub> outgassing and carbonate precipitation.

Uranium shows a complex behaviour controlled by carbonate complexing, redox conditions, mixing of waters and leaching from the rocks. The  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  activity ratio is near secular equilibrium.

In the more dilute waters, dissolved rare earth element (REE) patterns are almost flat with a slight negative Eu anomaly. In the concentrated waters, heavy rare earth elements (Gd-Yb, HREE) are strongly enriched relative to light rare earth elements (Ce-Eu, LREE). We relate the enrichment in HREE to water chemistry and to complexing with carbonate species.

# EVIDENCE FOR SLOWLY CHANGING $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ IN RUNOFF FROM FRESHWATER LIMESTONES OF SOUTHERN FRANCE\*

FRANCIS ALBARÈDE and ANNIE MICHARD

*Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques and École Nationale Supérieure de Géologie de Nancy, B.P. 20, F-54501 Vandoeuvre (France)*

(Received December 12, 1986; revised and accepted December 29, 1986)

## Abstract

Albarède, F. and Michard, A., 1987. Evidence for slowly changing  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  in runoff from freshwater limestones of southern France. *Chem. Geol.*, 64: 55-65.

$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratios have been determined in modern rivers and freshwater limestones dating from 65 Ma to the present over an area extending from the Pyrénées to the Massif Central (southern France). About 40 Ma ago, the Alpine mountain range of the Pyrénées was strongly uplifted by the Alpine orogenic activity and its pre-Hercynian basement dominated by schists, gneisses and granites was rapidly exposed from beneath its blanket of Mesozoic marine limestones. Meanwhile, the  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratio of the rivers has remained remarkably constant in both space (with the exception of the very few northernmost samples) and time: in this area, extreme variations through the orogenic period are small with  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  lying between 0.7073 and 0.7084 at 55-65 Ma and 0.7077-0.7096 for the last 30 Ma. River Sr is controlled by a nearly binary mixing of silicate (~3/4) and carbonate (~1/4) end-members with negligible influence of evaporites.

It is inferred that the silicate/sediment contribution ratio of the world-average rivers to seawater Sr changes at a very slow rate. Even taking major basaltic events into account does not alter this conclusion as their contribution to the river Sr is very subordinated to other components. It is inferred that the seawater  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  secular main trend over the Phanerozoic is controlled by hydrothermal alteration of oceanic basalts and slow variation of the limestone/silicate contribution ratio to the riverine Sr. Oceanic events [changes in organic productivity and carbonate compensation depth (CCD)] may produce intense, short-term variations but recovery of steady-state seawater  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  is delayed by 40-80 Ma through diagenetic Sr remobilization in carbonate sediments.



## REVIEWS in MINERALOGY

Volume 16  
1986

## STABLE ISOTOPES in HIGH TEMPERATURE GEOLOGICAL PROCESSES

J.W. Valley, H.P. Taylor, Jr., J.R. O'Neil, Editors

Chapter 6

Simon M.F. Sheppard

CHARACTERIZATION and ISOTOPIC VARIATIONS  
in NATURAL WATERS

Chapter 8

Hugh P. Taylor, Jr. & Simon M.F. Sheppard

IGNEOUS ROCKS: I. PROCESSES of  
ISOTOPIC FRACTIONATION and ISOTOPE SYSTEMATICS

Chapter 10

Simon M.F. Sheppard

IGNEOUS ROCKS: III. ISOTOPIC CASE STUDIES of  
MAGMATISM in AFRICA, EURASIA and OCEANIC ISLANDS

NATURE vol. 330 pp. 242-244, 1987

**Sulphur isotope heterogeneity in  
the mantle from ion microprobe  
measurements of sulphide  
inclusions in diamonds**

M. Chaussidon, F. Albarède & S. M. F. Sheppard

Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques et  
ENS Géologie BP 20, 54501 Vandoeuvre Cedex, France

The sulphur isotope composition of the mantle has been generally considered to be  $0 \pm 2\%$ <sup>1</sup>. There is, however, considerable uncertainty in the mean  $\delta^{34}\text{S}$  value of the mantle and in its range because there have been very few analyses of unaltered sulphide phases of *direct* mantle origin<sup>1-4</sup> and  $\delta^{34}\text{S}$  values of sulphides from large mafic intrusions range from  $-9$  to  $+17\%$ <sup>5</sup>. We report here ion microprobe  $\delta^{34}\text{S}$  determinations from two mantle derived sulphide inclusions ( $\approx 100 \mu\text{m}$ ) preserved in a diamond ( $\delta^{13}\text{C} = -4.25\%$ ) of peridotitic(?) paragenesis from Premier (South Africa) and in four diamonds of eclogitic paragenesis from Orapa (Botswana). Three octahedral sulphides have lower  $\delta^{34}\text{S}$  values ( $+2.3 \pm 1.4\%$ ) than three platelet-like sulphides ( $+8.2 \pm 0.9\%$ ). This evidence for mantle heterogeneity for sulphur is interpreted in terms of recycling of crustal material into the eclogitic region of diamond growth in the mantle.

S23.12

**ION PROBE  $\delta^{34}\text{S}$  ANALYSIS OF HYDROTHERMAL DEPOSITS FROM THE EPR AT 21°N**

M. CHAUSSIDON\*, S.M.F. SHEPPARD & F. ALBAREDE  
(CRPG-ENSG, Vandoeuvre-lès-Nancy, France)

A 1 cm long sample of a hydrothermal chimney from the EPR at 21°N (ALV982R15) has been analysed for its sulfur isotopic composition with a CAMECA IMS 3F Ion Probe. The Ion Probe operated with an  $\text{O}^{2+}$  primary beam, positive secondary ions being analysed, at a mass resolution ranging from 2500 to 4000. Successive analyses of 60  $\mu\text{m}$  diameter spots across chalcopyrite and bornite have been carried out in a direction normal to the optical zonation. The measurements, both on the standards and the sample, have been repeated over more than two months and the analytical reproducibility is currently better than 1 permil.

The  $\delta^{34}\text{S}$  values of chalcopyrite range from  $-0.6 \pm 1$  to  $+7.1 \pm 1$  permil with a mean of  $+4.3 \pm 1.9$  permil. The six successive concentric zones of the chimney present homogeneous  $\delta^{34}\text{S}$  within 1-2 permil, but differ from each other by up to +3.2 permil. No correlation is observed between these variations and the proximity to the core or the presence of inclusions in the areas analysed.

Only enormous changes in  $f(\text{O}_2)$ , pH or chemistry of the hydrothermal fluids, during the recrystallisation of chalcopyrite from the early brown products of the chimney, could create these variations. The limited isotopic fractionation between chalcopyrite and sulfur in the range 200-400°C make  $\delta^{34}\text{S}$  virtually temperature-independent. In contrast, disequilibrium recrystallisation of the sulfides from the fluids (R.M. Haymon, *Nature* 301, 1983, 695) makes  $\delta^{34}\text{S}$  more sensitive to the growth rate of the chimneys (which can be as high than 1cm in 3 hours). Short-term variations in the discharge rate of the vents combined with a decrease in porosity could therefore account for both the variations in  $\delta^{34}\text{S}$  and the decreasing thickness of the zones from the core outwards.

Thèse de Docteur de l'INPL, Nancy, 202 p., Juillet 1987

Christian FRANCE LANORD

Chevauchement, métamorphisme et magmatisme en Himalaya  
du Népal Central. Etude isotopique H, C, O.

Résumé

L'étude des isotopes stables H, C, O, à été entreprise dans le but de préciser le rôle et la nature des fluides associés au magmatisme leucogranitique du Haut Himalaya, ses roches sources et le Grand Chevauchement Central Himalayen (MCT). 290 analyses isotopiques de roches totales, de minéraux et d'inclusions fluides provenant des formations chevauchées (Moyen Pays), des formations chevauchantes (source du granite, Dalle du Tibet) et du granite du Manaslu, apportent certaines contraintes sur les processus métamorphiques et magmatiques.

Les Formations du Moyen Pays ont des compositions isotopiques variables impliquant l'absence de circulation massive et pénétrante. La nature des roches majoritaires, très pauvres en C, implique que les fluides riches en  $\text{CO}_2$  présent dans les inclusions fluides sont libérés dans des niveaux plus profonds puis infiltrés dans les niveaux étudiés. La déshydratation des schistes atteint 20 à 40% de l'eau initiale dans les niveaux proches du MCT (maximum du métamorphisme) et s'accompagne d'une diminution des  $\delta\text{D}$  des schistes de l'ordre de 15‰. On peut prévoir des volatilisations plus intenses (2 à 5 % poids suivant les niveaux) dans les zones plus profondes du chevauchement.

Pour le granite, les  $\delta\text{D}_{\text{musc}}$  varient entre -70 et -85 ‰ et les  $\delta^{18}\text{O}_{\text{RT}}$  de 10.9 à 12.8. Les fractionnements entre minéraux de l'hydrogène comme de l'oxygène sont compatibles avec des températures d'équilibre élevées et, pour l'oxygène, avec des évolutions en système fermé. Quelques échantillons provenant surtout du Bras filonien de Chhokang ont des  $\delta\text{D}$  très négatifs ( $> -180$  ‰) et des fractionnements biot.-musc. trop importants. Ces rares déséquilibres sont liés à la chloritisation et à des circulations tardives de fluides d'origine météorique.

Les gneiss de la Dalle du Tibet (Formation I, source du granite) ont des  $\delta^{18}\text{O}_{\text{quartz}}$  variant de 12 à 14.3 ‰ qui confirment la filiation du granite à la Formation I. Par contre les  $\delta\text{D}$  sont environ 20 ‰ plus élevés que ceux du granite. Deux processus sont proposés pour expliquer cette différence : (1) le dégazage magmatique accompagné d'un fractionnement du deutérium, (2) l'infiltration de fluides pauvres en deutérium dans la zone de fusion. Les fluides libérés au niveau du Moyen Pays pourraient concorder avec ce dernier processus car de nombreux niveaux du Moyen Pays ont des  $\delta\text{D}$  initiaux  $< -80$  ‰.

La combinaison des données chimiques et isotopiques O, Sr, Nd du granite et de la Formation I confirme que les variations isotopiques et les relations des systèmes isotopiques dans le granite sont héritées de celles de la Formation I. De plus ces données dans la Formation I reflètent le stade sédimentaire des gneiss et pour l'oxygène et le Nd la proportion des minéraux détritiques et des phyllosilicates.

Terra Cognita, 6, 2, 192, 1986

O49

**COMPARISON OF THE H-ISOTOPE COMPOSITION OF A LEUCOGRANITE (HIGH-HIMALAYA MANASLU) WITH ITS POTENTIAL SOURCE ROCK (TIBETAN SLAB)**

C. FRANCE-LANORD, S.M.F. SHEPPARD and P. LE FORT  
CRPG, B.P. 20, 54501 Vandœuvre Cedex, France

During the late collision history of Himalaya, the MCT shear zone brought the hot Tibetan Slab (TS) gneisses over the cold Midland sedimentary formations. Geological and isotopic (O, Sr, Nd, Pb) studies have shown that the Manaslu leucogranite was derived by partial anatexis of the TS during thrusting. D/H ratios of muscovites and biotites are very homogeneous from (1) the musc. dominant Manaslu leucogranite :  $\delta\text{D}_{\text{musc}} = -77 \pm 7$  ‰,  $\delta\text{D}_{\text{biot}} = -98 \pm 10$  ‰ and (2) the biotite-dominant TS migmatitic gneisses, the potential equivalent source rock :  $\delta\text{D}_{\text{musc}} = -60 \pm 7$  ‰,  $\delta\text{D}_{\text{biot}} = -80 \pm 15$  ‰. Musc-Biot fractionations for both (1) and (2) are in equilibrium as deduced from the Suzuoki-Epstein experiments taking into account the atomic mass/charge ratio for octahedrally coordinated cation of the micas. In the granite the uniformity of fractionation factors, the homogeneity of  $\delta\text{D}$ , their large difference from rare post magmatic altered samples ( $\delta\text{D}_{\text{chl}} \approx -190$  ‰) and the uniform  $\delta^{18}\text{O}$  value (12 ‰  $\pm 1$ ) favours preservation of equilibrium at magmatic stage. Calculated waters in equilibrium with minerals of the granites have  $\delta\text{D} \approx -75$  ‰ at 650°C, and with the gneisses  $\delta\text{D} \approx -60$  ‰ at 650°C or higher for lower temperatures ; fluid inclusions from quartz pods have  $\delta\text{D} \approx -45$  ‰. The difference in the  $\delta\text{D}$  values (musc, biot,  $\text{H}_2\text{O}$ ) between the gneiss and the granite imply that the granite cannot be derived directly from the partial melting of the gneiss. Outcrop and anatexis zone of the TS gneiss must be different for D/H. Three possible models are (1) pre-melting dehydration of gneiss with loss of D-rich waters, (2) introduction of an exotic fluid with  $\delta\text{D} < -75$  ‰ during melting which could have migrated from the Midlands Formations, (3) late metamorphic migration of a D-rich fluid ( $\delta\text{D} \approx -45$  ‰) in the gneiss. The uniformity of  $\delta^{18}\text{O}$  from gneiss to granite implies for (2) and (3) migration of a fluid where  $\delta^{18}\text{O}$  is controlled by the minerals of TS and/or Midlands Formations.

Terra Cognita, 6, 2, 213, 1986

Q17

**ISOTOPIC STUDY (H, C, O, S) AND EVIDENCE FOR SEA WATER-MAGMA INTERACTION AT 13°N, EPR**

M. CHAUSSIDON and S.M.F. SHEPPARD  
CRPG, B.P. 20, 54501 Vandœuvre Cedex, France

Fourteen samples of fresh, non altered basaltic glasses have been analysed for their contents and isotopic compositions in sulphur (Kiba reagent method), total hydrogen, carbon and oxygen of the carbonates. Both fluid inclusions and sulphides globules are very rare and of micron size ; about 1  $\mu$  mole of  $\text{CO}_2$  for 10g of rock have been recovered during crushing experiments, and composition by microprobe of individual sulphides globules is pyrite, pyrrhotite or geocronite ( $\text{Pb}_{0.6}(\text{As}, \text{Sb})_{0.27}\text{S}$ ).

The glassy rinds (1 to 3 mm thick) have (1) higher S (1000  $\pm$  100 ppm) with  $\delta^{34}\text{S} = + 0.7 \pm 0.5$ , (2) variable  $\text{H}_2\text{O}^+$  (0.1 to 0.5 wt %) with  $\delta\text{D} = - 54$  to  $- 80$ , (3) carbonate (9 to 100 ppm C ; not surface contamination) with  $\delta^{13}\text{C} \sim - 10$  and  $\delta^{18}\text{O} \sim 25.5$ , compared to inner zones of the pillows ( $< 5$  cm from exterior) with (1) 900  $\pm$  150 ppm S,  $\delta^{34}\text{S} = + 1.6 \pm 0.7$ , (2)  $\delta\text{D} = - 72$  to  $- 103$  with  $\text{H}_2\text{O}^+ < 0.4$  wt %, (3) 130 to 500 ppm C with  $\delta^{13}\text{C} = + 4$  to  $- 11$  and  $\delta^{18}\text{O} \sim 24$ . For the inner parts correlations exist among wt %  $\text{H}_2\text{O}$  and  $\delta\text{D}$  and ppm S,  $\delta\text{D}$  and  $\delta^{34}\text{S}$ .

These data suggest that (1) initial magma with  $\delta\text{D} \sim - 80$ ,  $\text{H}_2\text{O}^+ \sim 0.1$  wt % was contaminated with sea water, underwent fractional crystallization to give  $\delta\text{D} \sim - 55$  and variable  $\text{H}_2\text{O}^+$ , (2) was then contaminated with sulphides from the vent systems (?). After quenching of the glasses the inner parts (1) lost  $\text{SO}_2$  and  $\text{H}_2\text{O}$  by degassing and (2) gained sulphate, carbonate, and hydrated minerals at low temperatures.

Alteration of the glass with  $\delta\text{D} \sim - 80$  to  $- 55$  is possible and could account for microcrystals of calcite with  $\delta^{18}\text{O} \sim 26$  but does not account readily for  $\text{H}_2\text{O}^+ = 0.1$  to 0.5 unless  $\delta\text{D}$  glass is controlled by fractionation with sea water.

S05.46

**C-O-H ISOTOPIC EVIDENCE FOR MIGRATION OF FLUIDS DURING THE HIMALAYAN REVERSE METAMORPHISM**

C. FRANCE-LANORD\*, S.M.F. SHEPPARD & P. LE FORT  
(Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques, Vandoeuvre-lès-Nancy, France)

The Midlands Formations in the MCT shear zone of Central Himalaya are overthrust by the highly metamorphosed Tibetan Slab. The thrusting induces in the Midlands a reverse metamorphic sequence from the chlorite zone, 3 to 12 km below the MCT, to kyanite-staurolite zone close to the MCT. Parallel to this metamorphic evolution, isotopic composition of rocks varies from low to high grade zones as follows:

- $\delta D$  (u.r.) of biotite free quartzo-pelitic schists increase from  $\approx -90\%$  to  $\approx -45\%$ . In the garnet and staurolite zones,  $\delta D$  decreases as biotite content increases:

- $\delta^{13}C$  of graphite increases from  $\approx -30\%$  to  $\approx -20\%$  for samples containing less than 0.2% C, whereas it remains constant around  $-28\%$  for C rich schists:

- $\delta^{18}O$  of dolomitic limestones decreases from  $\approx 20\%$  to  $\approx 15\%$ , but  $\delta^{13}C$  remains constant around 0%.

Isotopic compositions of fluid inclusions imply that fluids are (1) heterogeneous for  $\delta D$ ,  $\delta^{13}C$  and  $\delta^{18}O$  (quartz pods) and (2) under partial control of country rock.  $CO_2$  content of fluid inclusions increases from low (0%) to high grade zone (40% mol.). Apart from  $\delta D$  variations related to biotite content, isotopic evolutions and fluid compositions are not consistent with in situ devolatilization reactions and a single homogeneous fluid. Interaction of an exotic  $CO_2$  rich fluid, with high deuterium content and  $\delta^{13}C$  values around  $-6\%$ , is proposed. This exotic fluid migrates in the Midlands during the metamorphism and enriches the quartzo-pelitic rocks in D and  $^{13}C$ . For  $\delta^{13}C$ , fluids are buffered by the country rock when it is carbon rich (limestone and black schist). Fluid is in equilibrium with quartzo-pelitic rocks for  $\delta^{18}O$  but, in limestone environment, it is  $^{18}O$  enriched. Exotic fluid is possibly produced in a deeper crustal level and its  $CO_2$  is probably generated during decarbonation and oxydation of graphite reactions. High  $\delta D$  values imply that the fluids are produced by deuterium rich formations and therefore different from the Midlands. Scales of migration of fluids in the Midlands are certainly at least tens of kilometres.

C. R. Acad. Sc. Paris, t. 302, Série II, n° 19, 1986

**GÉOCHIMIE.** - *Eau organique : caractérisation isotopique et évidence de son rôle dans le gisement Pb-Zn de Fedj-el-Adoum, Tunisie.* Note de Simon M. F. Sheppard et Abdelkrim Charef, présentée par Georges Millot.

L'eau organique correspond à l'eau dont le rapport D/H dérive de la transformation directe ou indirecte - déshydratation, déshydrogénation, oxydation ou échange - de la matière organique, des bitumes, des charbons, des kérogènes, des pétroles, des gaz organiques, etc. La composition isotopique de l'hydrogène,  $\delta D$ , varie de  $-90$  à  $-250$  ‰ avec des rapports de  $^{18}O/^{16}O$  similaires à ceux des eaux de formation ou de métamorphisme. Les fluides responsables de la minéralisation plombifère en amas à Fedj-el-Adoum sont interprétés comme eaux organiques résultant de l'oxydation du matériel organique pendant la réduction bactérienne des sulfates.

**GEOCHEMISTRY.** --- Organic water: Isotopic characterization and evidence for its role in the Fedj-el-Adoum Pb-Zn deposit, Tunisia.

Organic water is defined to be a water whose D/H ratio, was derived from the direct or indirect transformation - - dehydration, dehydrogenation, oxidation or exchange - of organic matter, bitumen, coal, kerogen, petroleum, organic gases, etc. The hydrogen isotope compositions,  $\delta D$ , are estimated to be in the range  $-90$  to  $-250$  ‰ with  $^{18}O/^{16}O$  ratios similar to formation or metamorphic waters. Based on D/H,  $^{13}C/^{12}C$  and  $^{34}S/^{32}S$  and fluid inclusion data, fluids responsible for massive Pb mineralization at Fedj-el-Adoum are interpreted to be organic waters derived from the oxydation of organic material during bacterial sulphate reduction processes at  $\sim 70^\circ C$ .

## Radiation-related retrograde hydrogen isotope and K-Ar exchange in clay minerals

Ghislaine Halter\*, Simon M. F. Sheppard†, Francis Weber‡, Norbert Clauer‡ & Maurice Pagel\*

\* Centre de Recherches sur la Géologie de l'Uranium, BP23, 54501 Vandoeuvre Cedex, France

† Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques, BP20, 54501 Vandoeuvre Cedex, France

‡ Centre de Sédimentologie et de Géochimie de la Surface, 1 rue Blessig, 67084 Strasbourg Cedex, France

Hydrogen and oxygen isotope studies have been widely applied to characterize the origin of fluids during ore-forming processes<sup>1-4</sup>. The primary isotope record, however, may be disturbed by retrograde exchange reactions, thus complicating the interpretation of the data. The susceptibility of minerals to retrograde isotope and chemical exchange is variable<sup>5</sup>, reflecting differences in the mechanism and rate of isotope exchange. These depend on several factors, including mineralogy, surface area, temperature, pressure, nature and concentration of fluid phase, water/rock ratio. In the Cluff-D uranium deposit within the Athabasca basin (Saskatchewan, Canada) illites and chlorites associated with uranium mineralization are strongly depleted in deuterium ( $-90 > \delta D > -170\%$  SMOW (standard mean ocean water)) and have young K/Ar apparent ages ( $< 750$  Myr) compared with illites from the barren zones around the ore deposit ( $-48 > \delta D > -62\%$ ; 1,265 Myr)<sup>6-8</sup>. Both the  $\delta D$  values and K/Ar 'ages' decrease with increase in the uranium content of the rock. The  $H_2O^+$  content of illite from mineralized samples is higher than the theoretical value as well as samples from the barren zone. These relationships are interpreted in terms of radiation-catalysed retrograde hydrogen isotope and K-Ar exchange of the clays at low temperatures with post-Cretaceous meteoric waters.

Geochimica et Cosmochimica Acta, vol. 50, pp. 1147-1150 (1986)

### An isotopic study of siderites, dolomites and ankerites at high temperatures\*

J. ROSENBAUM‡

Centre de Recherches sur la Géologie de l'Uranium, B. P. 23, 54501 Vandoeuvre-les-Nancy Cedex, France  
Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques, B. P. 20, 54501 Vandoeuvre-les-Nancy Cedex, France  
and

S. M. F. SHEPPARD

Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques, B. P. 20, 54501 Vandoeuvre-les-Nancy Cedex, France

(Received August 10, 1983; accepted in revised form March 5, 1986)

**Abstract**—Siderite, dolomite and ankerite were reacted with ">103%" phosphoric acid at temperatures up to 150°C with >99% yields achieved in less than two hours, using a modification of the MCREA (1950) technique. The oxygen fractionation factors,  $\alpha$ , between the  $\delta^{18}O$  of the carbonate and that of the acid-extracted  $CO_2$  are:

	Siderite	Dolomite	Ankerite
100°C	1.00881	1.00913	1.00901
150°C	1.00771	—	—

An empirically derived relationship between the chemical composition of a carbonate in the  $CaCO_3$ -(Ca, Mg)( $CO_3$ )<sub>2</sub>- $FeCO_3$  system and the function  $10^3 \ln \alpha$  at 100°C is

$$10^3 \ln \alpha = 8.94X_{CaCO_3} + 9.29X_{MgCO_3} + 8.77X_{FeCO_3}$$

where  $X_i$  is the mole percent of component  $i$  in the carbonate.

# U/PB DATING OF PRECAMBRIAN ROCKS FROM NORTHERN CAMEROON, OROGENIC EVOLUTION AND CHRONOLOGY OF THE PAN-AFRICAN BELT OF CENTRAL AFRICA

S.F. TOTEU<sup>1</sup>, A. MICHARD<sup>2</sup>, J.M. BERTRAND<sup>2</sup> and G. ROCCI<sup>3</sup>

## Abstract

Toteu, S.F., Michard, A., Bertrand, J.M. and Rocci, G., 1987. U/Pb dating of Precambrian rocks from Northern Cameroon, orogenic evolution and chronology of the Pan-African belt of Central Africa. *Precambrian Res.*, 37: 71-87.

Northern Cameroon has been classically divided into an old 'basement complex', a Middle Proterozoic cover ('séries intermédiaires') and granites emplaced during the Pan-African orogeny. New U/Pb geochronological data on different rock units from this region are presented. A rhyolite from the Poli schists ('séries intermédiaires') gives an age close to 800 Ma. Migmatitic gneisses of the 'basement complex' seem to derive from different detrital or magmatic sources. The metadiorites and foliated granites of the 'basement complex' give ages around 630 Ma. The 800 Ma age is interpreted as dating volcanic activity, probably related to the initial stage of the Pan-African evolution. Ages around 630 Ma date a syn-tectonic plutonism dominated by a regional-scale basic to intermediate plutonic suite (BIP). Zircons of the BIP suite are almost concordant and show no evidence of inheritance; the suite shows calc-alkaline affinity and relatively low <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr initial ratios; thus the BIP suite represents material newly added to the crust during the Pan-African orogeny. These data are at variance with previous interpretations of this part of the mobile belt as old Precambrian crust reactivated during the Pan-African orogeny. The previous distinction between the 'séries intermédiaires' and a regional 'basement complex' must be reappraised, similar ages being found in both units. A chronological succession of the Pan-African evolution is established and tentatively compared with that of the Trans-Saharan belt in Nigeria and Hoggar.

C. R. Acad. Sc. Paris, t. 303, Série II, n° 5, 1986

GÉOCHIMIE ET GÉOCHRONOLOGIE ISOTOPIQUES. — *Données géochronologiques nouvelles (U/Pb et Rb/Sr) sur la zone mobile pan-africaine du Nord Cameroun.* Note de Sadrack Felix Toteu, Annie Michard, Jean Macaudière, Jean-Michel Bertrand et Joseph Penaye, présentée par Maurice Roques.

Au Nord Cameroun deux épisodes tectono-métamorphiques sont présents dans la série de Poli et dans le « complexe de base » jusqu'ici considérés comme représentant une couverture et son socle et sont globalement corrélables entre ces deux groupes. Les âges U/Pb sur zircons des ensembles magmatiques associés aux deux groupes s'échelonnent entre 820 M.a. et 616 M.a.; un granite post-tectonique a fourni un âge Rb/Sr de 546 M.a. L'âge pan-africain de la zone mobile est confirmé et une part considérable du « complexe de base » est en fait d'âge protérozoïque supérieur.

ISOTOPIC GEOCHEMISTRY AND GEOCHRONOLOGY. — U/Pb and Rb/Sr dating in the Pan-African mobile belt of North-Cameroon.

*In North-Cameroon low-grade schists and high-grade formations were considered to represent a cover and a basement. A similar two-stage tectonometamorphic evolution has been evidenced in both groups. U/Pb dating of zircons from pre-D2 deformed intrusives associated with both groups yields ages ranging from 820 to 616 M.a., the younger age is assumed to give a good estimate of the D1 age. A post-tectonic pluton is dated at 546 M.a. (Rb/Sr WR isochron). These results confirm the Pan-African age of the mobile belt and contrarily from previous interpretations show that most of the "basement" gneisses and orthogneisses correspond actually to late Proterozoic pre-tectonic plutons.*



**GÉOLOGIE (GÉOCHIMIE ET GÉOCHRONOLOGIE ISOTOPIQUES).** — *Mise en évidence, par la méthode potassium-argon, d'un âge langhien pour le plutonisme calco-alcalin de la Kabylie de Collo (Algérie).* Note de **Marie-Josée Penven** et **Jean-Louis Zimmermann**, présentée par Maurice Roques.

Les massifs granitiques et microgranitiques de la Kabylie de Collo, intrusifs dans la zone interne de l'orogène tellien donnent un âge moyen de  $15,7 \pm 0,8$  M.a. Cet âge, qui correspond à ceux obtenus sur des intrusions de moindre ampleur dans l'Est algérien, souligne l'importance de la phase de plutonisme calco-alcalin à la base du Langhien et marque le début d'une longue phase magmatique qui se poursuivra plus tardivement dans l'Ouest de la chaîne.

**GEOLOGY (ISOTOPIC GEOCHEMISTRY AND GEOCHRONOLOGY).** — A Langhian K-Ar age of calc-alkalin plutonism in Kabylie de Collo (Algeria).

*Granitic and microgranitic massifs of the Kabylie de Collo are intrusive in the internal zone of the Tell orogen. Their K-Ar ages are estimated to  $15.7 \pm 0.8$  M.a. This age agrees with those of others plutonic intrusions in East Algeria. They indicate the importance of the calc-alkalin plutonic phase at early Langhian and the beginning of a long magmatic period which will continue more lately in the West of Tell Range.*

**GÉOCHIMIE ET GÉOCHRONOLOGIE ISOTOPIQUES.** — *Indications géochronologiques des minéraux accessoires, monazites et zircons, sur la migmatisation hercynienne de la Péninsule ibérique. Migmatites et orthogneiss de Tourem (Nord Portugal).* Note de **François Holtz** et **Martine Juteau**, présentée par Georges Millot.

Les analyses isotopiques U/Pb sur monazites issues de granite anatectique permettent de dater la formation des migmatites du complexe de Tourém (Nord-Portugal) à 303 M.a. Cet âge concordant implique une réhomogénéisation isotopique des monazites au cours de la migmatisation.

La discordia obtenue par l'analyse isotopique de zircons d'orthogneiss en enclave dans le granite anatectique présente un intercept inférieur à  $399 \pm 13$  M.a. et un intercept supérieur à  $1902 \pm 160$  M.a. L'âge de 399 M.a. peut correspondre à l'âge de formation d'un ancien granite peralumineux ou peut résulter d'une perte en Pb au cours de plusieurs événements métamorphiques et n'aurait alors pas de signification chronologique. L'âge de 1902 M.a. témoigne de l'existence d'une croûte recyclée d'âge minimal Protérozoïque inférieur.

Le comportement différent du point de vue isotopique des monazites et des zircons, réfractaires au cours de la migmatisation, permet d'obtenir des indications géochronologiques plus nombreuses.

**ISOTOPIC GEOCHEMISTRY AND GEOCHRONOLOGY.** — Geochronological indications of accessory minerals, monazite and zircon, on Hercynian migmatization in Iberian Peninsula. Migmatites and Tourem orthogneiss (Northern Portugal).

*U/Pb dates on monazite from anatectic granites indicate an age of migmatization at 303 M.a. in the Tourem complex. This concordant age implies isotopic rehomogenisation of monazites during migmatization.*

*The discordia obtained on zircons of xenoliths of aluminous orthogneiss presents a lower intercept at  $399 \pm 13$  M.a. and an upper intercept at  $1,902 \pm 160$  M.a. The age of 399 M.a. could correspond to the age of formation of a peraluminous granite or could be interpreted in terms of multiple episodic lead loss and would not have in that case any geochronological significance. The lower intercept shows the existence of a recycled Lower-Paleozoic crust.*

*The different isotopic behaviour of monazite and zircon, which are both refractory minerals during migmatization, yields more geochronological dates.*

**PÉTROLOGIE.** — *Le granite du Baltoro (batholite axial du Karakorum, nord Pakistan) : une intrusion subalkaline d'âge Miocène Supérieur.* Note de **François Debon, Jean-Louis Zimmermann et Jean-Michel Bertrand**, présentée par Maurice Roques.

Intrusive dans des formations métamorphiques d'âges encore très discutés formant la bordure méridionale de l'Eurasie cénozoïque, la ceinture plutonique du Baltoro représente une association typiquement aluminocafémique subalkaline (monzonitique) claire. Trois isochrones internes Rb-Sr et dix datations K-Ar lui confèrent un âge Miocène Supérieur, voisin de 9 M.a. Conséquence tardive de la collision Inde-Eurasie, sa genèse pourrait résulter d'une subduction de l'arc insulaire du Kohistan-Deosai-Ladakh sous la marge continentale eurasiatique.

**PETROLOGY.** — The Baltoro granite (Karakorum axial batholith, northern Pakistan): an Upper Miocene subalkaline intrusion.

The Baltoro granite [1], a WNW-ESE trending plutonic belt more than 100 km long and ca. 4 to 20 km wide, is located in the southern margin of Cenozoic Eurasia. It intrudes metamorphic formations of debated ages. Contacts are sharp, roughly concordant and, except near Paiu, outwards-dipping. There is a thermal aureole. Metasedimentary septa of various size may be included. It represents a typical aluminocafemic and light-coloured subalkaline (i. e. monzonitic) association dominantly made up of Ba-, Sr- (and U-) rich leucogranodiorites and adamellites with biotite ± muscovite ± garnet. Sphene, allanite and, exceptionally, amphibole occur in the darkest members. Apatite, sometimes conspicuously zoned, is frequent. The rocks are medium- or fine-grained, rather often porphyritic. A more or less obvious flow structure, a mild cataclasis but no recrystallization is observed. Locally, a rough magmatic layering, made up of a complex association of porphyritic and equigranular rocks, exists. Only very scarce microgranular igneous enclaves are present. A conspicuous network of leucocratic dykes, sometimes extending to more than five hundred meters beyond the contact, roots in the plutonic body and intrudes its surrounding rocks. Ten whole rock Rb-Sr isotope analyses of the Baltoro granite give scattered results. This dispersion may result from an isotope heterogeneity of the fluid-rich original magma. Three accurate internal isochrons (plagioclase, whole rock, biotite) give an Upper Miocene age ( $8.8 \pm 0.3$  M.a., on an average) and initial Sr isotope ratios of 0.7078 to 0.7089. Ten K-Ar dates (whole rock, biotite, muscovite, K-feldspar) yield a quite similar result ( $8.5 \pm 0.8$  M.a.). The authors consider that the Baltoro granite was emplaced before the mineral isotope closures, viz. ca. 9.2 M.a. ago (according to whole rock K-Ar dates), with an average  $Sr_i$  of 0.7084. The coherence of the dates here obtained by various methods contrasts with the strong dispersion of ages previously obtained by mineral Rb-Sr, K-Ar,  $^{39}Ar$ - $^{40}Ar$  and fission-track dating elsewhere in northern Pakistan (Kohistan, Deosai, Karakorum, . . . : e.g. [6] to [8]). The Baltoro granite probably represents the youngest major event of acidic plutonism in the Karakorum batholith. It has been preceded by two older plutonic stages, respectively of Mid Cretaceous and Lower Cenozoic age ([2], [3]). In particular, a Mid Cretaceous dark metagranodiorite unit, well known in the Hunza valley, some 150 km more to the west, continues up to the area here considered, as a belt running parallel to the Baltoro granite and north of it, all along the right bank of the Baltoro glacier (Peribatholithic plagioclase gneiss and Muztagh Tower gneiss of Desio and Zanettin [1]). The Baltoro granite is basically different from the Miocene leucocratic Himalayan granites. Magma was possibly generated as a result of northward subduction of the Kohistan-Deosai-Ladakh island arc beneath the Cenozoic Eurasia continental margin and involved both basic and sialic source-materials. Late-Tertiary ages in the Karakorum may be related not only to uplift and erosion phenomena [6] but also to a huge magmatism.

**052 Terra Cognita, 6, 2, 193, 1986**

**THE UPPER MIOCENE BALTORO GRANITE (KARAKORUM AXIAL BATHOLITH, NORTHERN PAKISTAN): K-Ar DATES AND COOLING HISTORY**

J.-L. ZIMMERMANN, F. DEBON and J.-M. BERTRAND  
Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques, B.P. 20, 54501 Vandoeuvre-lès-Nancy, France

The Baltoro granite, an intrusion more than 100 km long and ca. 4 to 20 km wide, probably represents the youngest acidic plutonic unit of the composite Karakorum axial batholith. Proposed for a long time [1] from a comparative study of pleochroic haloes in biotite, its Upper Miocene age of emplacement has only quite recently been revealed by isotope dating methods, viz. three internal Rb-Sr isochrons ( $8.8 \pm 0.3$  Ma) and ten K-Ar dates ( $8.5 \pm 0.8$  Ma) [2]. The K-Ar dates have yielded the following results : (1) for three whole rocks : 8.85 / 9.35 / 9.25 Ma, average 9.2 Ma; (2) for three biotites and one muscovite : 7.45 / 8.0 / 8.85 / 8.85, average 8.3 Ma; (3) for three K-feldspars : 7.2 / 7.85 / 8.95, average 8.0 Ma. It is suggested that the three average ages (9.2, 8.3, 8.0 Ma) reflect the cooling - crystallization timing of the Baltoro magma, from its emplacement (ca. 9.2 Ma) down to the K-feldspar isotope closure. Much detailed work is needed to be done to transform this rough speculative estimate into tested and accurate hypotheses.

The Baltoro granite offers a rare possibility : a concrete and full-size approach of the cooling history of a plutonic body.

[1] Desio A. & Longinelli A. (1967).- Sull'eta dei graniti del Baltoro (Karakorum - Himalaya). *Rend. Accad. Naz. Lincei; Ser. 8a, 30, 4, 437-448.*

[2] Debon F., Zimmermann J.-L. & Bertrand J.-M. (1986).- Le granite du Baltoro (batholite axial du Karakorum, nord Pakistan) : une intrusion subalcaline d'âge Miocène Supérieur. *C. R. Acad. Sci., Paris, 000, sér. II, 000-000. In press.*

*Terra Cognita*, 7, (2-3), 329, 1987

G07.08

**K-AR APPARENT AGES, FROM LOWER CRETACEOUS TO PALAEOCENE-EOCENE, IN PUERTO VALLARTA - RIO SANTIAGO BATHOLITH (JALISCO, MEXICO)**

J.L. ZIMMERMANN\*, J.M. STUSSI, E. GONZALEZ PARTIDA & M. ARNOLD

(Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques, Vandoeuvre-lès-Nancy, France)

The Puerto-Vallarta-Rio Santiago batholith belongs to the southern part of the mesozoic to infra-cenozoic complex on which lies the Sierra Madre Occidental volcanic system. This batholith is composed of various plutonic rocks distributed along two major domains of NW-SE extension: (1) a SW domain mainly composed of adamellites, granites and rare granodiorites, (2) a NE domain composed mainly of quartz diorites, tonalites and some granodiorites. These two domains, which seem to define a SW-NE magmatic zonation of increasing basic composition, are transversal to the actual coast.

To this magmatic zonation corresponds also a SW-NE chronological zonation showing progressive decrease of the K-Ar ages from the SW (adamellites) to the NE (quartz diorites, tonalites, granodiorites). More precisely, three age alignments of same NW-SE extension as the plutonic domains, can be defined: (1) in the SW a  $85 \pm 5$  Ma isochron except for one sample dated at 108 Ma; (2) in the NE a  $65 \pm 5$  Ma isochron (quartz diorites,

tonalites) and a (3)  $55 \pm 5$  Ma isochron (tonalites, granodiorites). The K-Ar ages gradient confirms a progressive decrease of the age of intrusion or cooling from the coast toward the continent as shown also by KRUMMENACHER et al. (1975), McDOWELL and KEIZER (1977) and GASTIL (1983) in Southern California, Baja California and NW Mexico.

GASTIL (1983) - *Geol. Soc. Amer. Bull.*, **59**, 265-275.

KRUMMENACHER, GASTIL, BUSHNER, DOUPONT (1975) - *Geol. Soc. Amer. Bull.*, **86**, 760-768.

McDOWELL, KEIZER (1977) - *Geol. Soc. Amer. Bull.*, **88**, 1479-1487.

*C. R. Acad. Sc. Paris*, t. 304, Série II, n° 14, 1987

**GÉOCHIMIE.** — Mesures de  $^{14}\text{C}$  dans quelques eaux thermales des Pyrénées-Orientales. Note de Robert Jaegy, Francis Albarède et Gil Michard, présentée par Jean Wyart.

Les mesures de  $^{14}\text{C}$  dans cinq sources thermales des Pyrénées-Orientales conduisent à un âge conventionnel de l'eau compris entre 11 500 et 20 000 ans.

**GEOCHEMISTRY.** —  $^{14}\text{C}$  dating of some hot spring waters from the Eastern Pyrénées (Southern France).

Measurement of  $^{14}\text{C}$  in five thermal waters from the Eastern Pyrénées led to conventional ages in the range 11,500-20,000 years B.P.

*GEOLOGIE STRUCTURALE*

## Sommaire

<b>BARBEY P., MARTIN H.</b> The role of komatiites in Plate tectonics. Evidence from the Archaean and early Proterozoic crust in the eastern Baltic shield.....	45
<b>LIEGEOIS J.P., BERTRAND J.M., BLACK R.</b> The subduction- and collision-related Pan-African composite batholith of the Adrar des Iforas (mali) : a review .....	45
<b>BOULLIER A.M., LIEGEOIS J.P., BLACK R., FABRE J., SAUVAGE M., BERTRAND J.M.</b> Late Pan-African tectonics marking the transition from subduction-related calc-alkaline magmatism to within-plate alkaline granitoids (Adrar des Iforas, Mali).....	46
<b>CHAMPENOIS M., BOULLIER A.M., OSAUTTER V., WRIGHT L.I., BARBEY P.</b> Tectonometamorphic evolution of the gneissic Kidal assemblage related to the Pan-African thrust tectonics (Adrar des Iforas, Mali) .....	47
<b>BERTRAND J.M., MICHARD A., BOULLIER A.M., DAUTEL D.</b> Structure and U/Pb geochronology of Central Hoggar (Algeria): a reappraisal of its Pan-African evolution.....	47
<b>LAPIQUE F., BERTRAND J.M., MERIEM D.</b> A major Pan-African crustal decoupling zone in the Timgaouine area (Western Hoggar, Algeria).....	48
<b>COSSON Y., ROCCI G., BOULLIER A.M.</b> Rock deformation at a Pan-African plate boundary outlined by ophiolites in Air (Niger).....	49
<b>NEDELEC A., MACAUDIERE J., NZENTI J.P., BARBEY P.</b> Evolution structurale et métamorphique des schistes de Mbalmayo (Cameroun). Implications pour la structure de la zone mobile pan-africaine d'Afrique centrale, au contact du craton du Congo.....	49
<b>TOTTEU S.F., BERTRAND J.M., PENAYE J., MACAUDIERE J., ANGOUA S., BARBEY P., MICHARD A., DAUTEL D.</b> Structure and geochronology of northern Cameroun.....	50
<b>HOLTZ F., BERTRAND J.M.</b> Structures de déformation dans les schistes et les granites de la région de Montalegre (Nord-Portugal). Evolution métamorphique et conditions de mise en place des granites .....	51
<b>PECHER A., LE FORT P.</b> The metamorphism in Central Himalaya, its relations with the thrust tectonic .....	51
<b>BARFETY J.C., AMAUDRIC du CHAFFAUT S., GIDON M., PECHER A., ROUYX M., BOURSEAU J.P.</b> Les terrains sédimentaires du Mont-Pelvoux (zone dauphinoise, Alpes occidentales françaises) : nature, âge et implications paléostratigraphiques.....	52
<b>BERTRAND J.M., DEBON F.</b> Evolution tectonique phasée de la chaîne du Karakorum (Baltoro, Nord Pakistan) .....	52

LESPINASSE M., PECHER A. Microfracturing and regional stress field : a study of the preferred orientations of fluid-inclusion planes in a granite from the Massif Central, France.....	52
HOLTZ F. Chevauchement et décrochement superposés dans le socle centro-ibérique : le linéament de Ponte de Lima (NW du Portugal).....	53

## The Role of Komatiites in Plate Tectonics. Evidence from the Archaean and Early Proterozoic Crust in the Eastern Baltic Shield

P. BARBEY<sup>1,2</sup> and H. MARTIN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire de Pétrologie, Université de Nancy I, B.P. 239, 54506 Vandoeuvre-les-Nancy Cedex (France)

<sup>2</sup>C.A.E.S.S., Institut de Géologie, Université de Rennes, 35042 Rennes Cedex (France)

(Received June 30, 1985; revision accepted May 28, 1986)

### ABSTRACT

Barbey, P. and Martin, H., 1987. The role of komatiites in plate tectonics. Evidence from the Archaean and early Proterozoic crust in the eastern Baltic Shield. *Precambrian Res.*, 35: 1-14.

The early Archaean continental crust of the eastern part of the Baltic Shield had been submitted to repeated rifting during the Archaean and the early Proterozoic. The newly formed rifting belts evolved by sagduction and seemingly subduction in the Archaean, and subduction and collision in the Lapland fold belt and in the Svecokareliides of the central Baltic Shield.

The comparative evolution of these domains suggests that sagduction (compatible with plate motion) is a process competitive with subduction. It is postulated that the sagduction-subduction duality, characterizing the Archaean, is equivalent to the intracontinental-marginal orogenies encountered in Proterozoic and Phanerozoic times, and that both represent, at different periods, variations in crustal interaction within an overall plate-tectonic framework.

GEOLOGICAL JOURNAL., vol. 22, THEMATIC ISSUE, 185-211 (1987)

## The subduction- and collision-related Pan-African composite batholith of the Adrar des Iforas (Mali): a review

*J.P. Liégeois*

*Service de Géochronologie, Musée royal de l'Afrique centrale, 1980 Tervuren, Belgium*

*J.M. Bertrand*

*Centre de Recherches pétrographiques et géochimiques, B.P.20, 54501 Vandoeuvre-lès-Nancy, France*

*and*

*R.Black*

*Laboratoire de Pétrologie et U.A. 728, Université Pierre et Marie Curie, 75230 Paris Cedex 05, France*

A large composite calc-alkaline batholith, in the Iforas region, Mali, occurs close to the Pan-African suture between the 2000 Ma old West African craton and the Trans-Saharan mobile belt. Its location in an embayment of the West African craton is probably responsible for the important production of magma. The Iforas batholith intrudes the western border of an old continental segment affected by early nappe tectonics (D1 event) and is flanked to the west by the Tilemsi palaeo-island arc. The batholith comprises several successive stages. The cordillera (~620 Ma), probably post-dating the D1 event, is essentially composed of volcanosedimentary sequences. The collision (620–580 Ma) is marked by the production of abundant granitoids mostly emplaced by the end of the D2 EW compressional event. The post-collision tectonic stages (D3 and D4; 580–540 Ma) are characterized by strike-slip movements, reversals in the stress field, and a rapid switch from calc-alkaline to alkaline magmatism. Magmas corresponding to each step show distinctive geochemical trends but all share low  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  initial ratios (0.7035–0.7061). The possible successive sources have been evaluated from different entities in the Iforas region: Eburnean granulites for lower crust, Tilemsi palaeo-island arc for depleted subduction source and the Tadhak undersaturated province for asthenospheric more primitive mantle. A geodynamic model is proposed where all the calc-alkaline groups originated from a classical subduction source (depleted upper mantle modified by hydrous fluids from the subducted oceanic plate) which, some fifty million years after the beginning of the collision, was taken over by an asthenospheric source producing the alkaline province.

KEY WORDS Wilson cycle Calc-alkaline to alkaline magmatism Contrasting stress regimes  
End Pan-African Iforas batholith, Mali

Tectonophysics, 132 (1986) 233–246

## Late Pan-African tectonics marking the transition from subduction-related calc-alkaline magmatism to within-plate alkaline granitoids (Adrar des Iforas, Mali)

A.M. BOULLIER<sup>1</sup>, J.P. LIÉGEOIS<sup>2</sup>, R. BLACK<sup>3</sup>, J. FABRE<sup>4</sup>, M. SAUVAGE<sup>5</sup>  
and J.M. BERTRAND<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques, B.P. 20, F54501 Vandoeuvre-lès-Nancy Cedex (France)

<sup>2</sup> Service de Géochronologie, Musée Royal de l'Afrique Centrale, 1980 Tervuren (Belgium)

<sup>3</sup> Laboratoire de Pétrologie et U.A. 728, Université P. et M. Curie, 75230 Paris Cedex 05 (France)

<sup>4</sup> Institut Dolomieu, rue Maurice Gignoux, 38000 Grenoble (France)

<sup>5</sup> E.N. Sup. Bamako (Mali)

(Received October 15, 1985; accepted February 13, 1986)

### Abstract

Boullier, A.M., Liégeois, J.P., Black, R., Fabre, J., Sauvage, M. and Bertrand, J.M., 1986. Late Pan-African tectonics marking the transition from subduction-related calc-alkaline magmatism to within-plate alkaline granitoids (Adrar des Iforas, Mali). In: B. Johnson and A.W. Bally (Editors), Intraplate Deformation: Characteristics, Processes and Causes. *Tectonophysics*, 132: 233–246.

The Pan-African Trans-Saharan belt, resulting from oceanic closure and oblique collision between the West-African Craton and the Tuareg–Nigerian shields around 600 Ma ago, displays in the Iforas a rapid switch from subduction and collision related calc-alkaline magmatism to typical A-type granitoids (560–540 Ma). The transition is clearly seen in associated spectacular acid dyke swarms, early calc-alkaline E–W trending sets being cut by alkaline N–S trending arrays. Isotopic evidence shows that the change in chemistry involves a different more primitive mantle source. Structural observations indicate that the transition from calc-alkaline to alkaline magmatism is related to reversals in the stress field during and after collision. In the model proposed, the first major reversal from D<sub>2</sub> with  $\sigma_1$  ca. 135°N–110°N to D<sub>3</sub> with  $\sigma_1$  ca. 50°N–60°N is thought to have been responsible for the slicing of the subducted plate thereby allowing the rise to shallow depth beneath the continental lithosphere, of asthenospheric mantle believed to be the source of the alkaline magmatism. The tapping of this new source occurred between D<sub>3</sub> and D<sub>4</sub> events contemporaneous with a rotation of the maximum compressive stress back from 60°N to 105°N.



## Tectonometamorphic evolution of the gneissic Kidal assemblage related to the Pan-African thrust tectonics (Adrar des Iforas, Mali)

M. CHAMPENOIS\*, A. M. BOULLIER\*, V. SAUTIER†, L. I. WRIGHT‡ and P. BARBEY\*§

C.R.P.G., C.N.R.S., BP 20, 54501 Vandoeuvre Les Nancy Cedex, France

† Laboratoire de Minéralogie, Muséum d'Histoire Naturelle, 61, rue Buffon, 75005 Paris, France (Nouvelle adresse: Laboratoire de Physique du solide, Université d'Orsay, Bat. 510, 91405 Orsay Cedex, France)

‡ Department of Earth Sciences, The University, Leeds LS2 9JT, U.K.

§ Laboratoire de Pétrologie, Université de Nancy I, 54500 Vandoeuvre Les Nancy Cedex, France

(Received for publication 1 April 1986)

**Abstract**—In the central part of the Adrar des Iforas (Mali), the 2 Ba Eburnean granulitic unit has been thrust above a high-grade gneissic unit, the so-called 'Kidal assemblage', during an early event of the Pan-African orogeny. The Kidal assemblage can be defined as a tectonic mixing of an Eburnean granulitic basement, its sedimentary cover of Middle to Upper Proterozoic age (quartzites, marbles, basalts and metavolcanics) and various pre-tectonic rocks: ultrabasic to basic rocks, diorites, tonalites. All these rocks have been deformed during at least four main events and metamorphosed together. Thrusting of the Iforas Granulitic Unit above the Kidal assemblage happened during the first event D1. The movement direction was roughly N-S, as shown by the stretching lineation. Some field criteria indicate a sense of displacement towards the north. The lattice preferred orientation of quartz c- and (a) axes indicate that the slip was dominantly on prismatic and probably pyramidal planes along an (a) direction; consequently D1 deformation was achieved at high temperature or low-strain rate. The quartz c- and (a) axes do not show any constant asymmetry, so they do not indicate a sense of shear. Two metamorphic stages have been found in the Kidal assemblage: the first one is characterized by kyanite in aluminous metasediments and by the occurrence of garnet-clinopyroxene-bearing boudins of basic rocks. The *P-T* range of this event is located at  $700 \pm 50^\circ\text{C}$  and around 10 Kb. The second event is a syntectonic high temperature (600–650°C)–low pressure (3.5 Kb) stage accompanied by migmatization. Such a tangential deformation in barrowian-type metamorphic conditions and with N-S transport direction is known along the entire Trans-Saharan belt and cannot be related in a simple way to the collision between West African Craton and the mobile belt.

TECTONICS, VOL. 5, NO. 7, PAGES 955-972, DECEMBER 1986

### STRUCTURE AND U/Pb GEOCHRONOLOGY OF CENTRAL HOGGAR (ALGERIA): A REAPPRAISAL OF ITS PAN-AFRICAN EVOLUTION

Jean-Michel Bertrand, Annie Michard, Anne-Marie Boullier, and Danielle Dautel

Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques, Vandoeuvre-lès-Nancy, France

**Abstract.** Discovery of large-scale deep-seated thrusts in Central Hoggar, with a plurifacial evolution ranging from lower amphibolite facies to upper greenschist facies conditions and linked to a regional refoliation, has led us to reconsider the Pan-African tectonic and metamorphic history in that region. Two areas are described, and a review of other thrusts leads to an interpretative cross section of a large portion of reactivated continental crust. The age and kinematics of this structural reworking have been approached using U/Pb zircon dating in the Tamanrasset region. Despite the difficulty of estimating the age of the initiation of the assumed intracontinental A-type subduction, the results provide a time span of 30-40 m.y. between the climax of granitoid emplacement and a late retrogressive offset along the thrust planes. Some key ages were determined: (1)  $2075 \pm 30$  Ma is the age given by granulite facies remnants which escaped from the refoliation, the corresponding lower intercept at  $530 \pm 70$  Ma confirms the Pan-African imprint; (2)  $615 \pm 5$  Ma reflecting the age of syntectonic to late-tectonic granitoids emplaced in reworked gneisses and in preserved granulites; (3) 580 Ma, the concordant age of sphenes and monazites from the same granitoids, which is interpreted as corresponding to the end of medium-grade conditions. No evidence has been found of a ~1000 Ma age: a Kibaran event does not appear to exist in Central Hoggar. The age similarity between the observed deep intracontinental evolution of Central Hoggar and the collision-related tectonics of Western Hoggar and Iforas suggests a common origin for both phenomena.

Journal of African Earth Sciences, Vol. 5, N°6. pp. 617-625, 1986

## A major Pan-African crustal decoupling zone in the Timgaouine area (Western Hoggar, Algeria)

F. LAPIQUE\*, J. M. BERTRAND\* and D. MERIEM†

\* C.R.P.G., C.N.R.S., BP 20, 54501 Vandoeuvre Les Nancy Cedex, France and † Laboratoire de Pétrologie, Université de Nancy I, 54500 Vandoeuvre Les Nancy Cedex, France and E.R.E.M., BP 102 Boumerdes Alger, Algeria

(Received for publication 1 April 1986)

**Abstract**—In the Timgaouine area, the granite-gneisses and medium-grade metasediments of the Aouilene domain, situated to the east of the area studied and separated from the Timgaouine domain by a high-strain zone, the Tin Di-Tin Eifei lineament, do not correspond to a simple pre-Pan-African basement. The Timgaouine domain is constituted by two unconformable formations: the older Pharusian I cycle which ended 840 Ma ago with the emplacement of post-tectonic high-K granites and syenites, while the Pharusian II constitutes a volcanoclastic unconformable cover. Both units have been slightly deformed and metamorphosed under greenschist-facies conditions and large late-tectonic batholithic complexes (Imezzarene pluton) were emplaced. The contrast is sharp with the highly deformed, medium-grade Aouilene domain where, however, Pharusian II equivalents have been recognized. A study of the deformation in the Tin Di-Tin Eifei lineament and in the Aouilene domain (which are characterized by a strong, often mylonitic and flat-lying foliation and a conspicuous NE trending stretching lineation), shows that it corresponds to a complex association of thrusting and strike-slip mechanisms. This feature is interpreted as the result of a major intracrustal decoupling zone separating a deeply reactivated underlying basement and cover unit from a high-level unreactivated crustal 'pop-up'. U/Pb geochronological results confirm this interpretation and fix the age of the main tangential tectonics in the range 629-614 Ma. Ages and tectonic evolution of the Aouilene domain are thus very similar to what is known in the neighbouring Central Hoggar. The late-tectonic Imezzarene pluton has been dated, by the same method, at 583 Ma.

S04.06

**ROCK DEFORMATION AT A PAN-AFRICAN  
PLATE BOUNDARY OUTLINED BY OPHIOLITES  
IN AIR (NIGER)**

Y. COSSON, G. ROCCI\* & A.M. BOULLIER

(Laboratoire de Pétrologie, Université de Nancy I, Vandoeuvre-  
lès-Nancy, France)

Ultramafic and mafic rocks occurring in SE Air (Niger) have been identified as parts of an ophiolitic complex. Serpentinites, ultramafic rocks (more or less serpentinized harzburgites and dunites), rodingites, layered and massive gabbros, diabases, plagiogranites and probable metalavas have been recognized. A metasedimentary unit made of quartzo-phyllades, schists and metavolcanics, and a deformed granite are thrust over the ultramafic-mafic formation.

The stretching lineation is assimilated to the transport direction and shows a rotation from N90° in the uppermost unit to N20° in the serpentinites.

These ophiolites outline a suture between a western Pan-African block, which can be compared with the Central Polycyclic Hoggar in Algeria, and an eastern block with a molassic cover (Proche Ténére Formation) over which they are thrust.

This segment of suture is discussed in relation to its position in the Pan-African orogeny of the Tuareg shield.

C. R. Acad. Sc. Paris, t. 303, Série II, n° 1, 1986

*GÉOLOGIE. — Évolution structurale et métamorphique des schistes de Mbalmayo (Cameroun). Implications pour la structure de la zone mobile pan-africaine d'Afrique centrale, au contact du craton du Congo. Note de Anne Nédélec, Jean Macaudière, Jean-Paul Nzenti et Pierre Barbey, présentée par Georges Millot.*

Les caractères structuraux et métamorphiques des Schistes de Mbalmayo permettent de les rattacher sans ambiguïté à la série de Yaoundé. Ils présentent une évolution biphasée dont il n'est pas possible de préciser si elle est continue ou non. Leur tectonique tangentielle, un gradient de métamorphisme inverse et la rétro-morphose qui les affectent sont des caractères acquis au cours de la phase 2 et résultent de leur position en semelle de nappe au contact du craton du Congo.

*GEOLOGY. — Structural and metamorphic evolution of the Mbalmayo schists (Cameroon). Implications for the structure of the Pan-African mobile belt of Central Africa, close to the Congo Craton.*

*The structural and metamorphic characteristics of the Mbalmayo schists lead to link them to the Yaoundé series. Their tectono-metamorphic evolution results from two deformation phases which may be or not separated in time. The tangential tectonic regime, an inverse metamorphic gradient and retrograde recrystallizations are under the dependence of the second phase. The Mbalmayo schists correspond to the sole of a nappe emplaced on the Congo craton.*

Structure and Geochronology of Northern Cameroun

S.F. Toteu, J.M. Bertrand, J. Penaye, J. Macaudière, S. Angoua,  
P. Barbey, A. Michard and D. Dautel (Vandœuvre-lès-Nancy, France)

Structural relationships between the low-grade "Poli Series" and the underlying high-grade gneisses do not represent a simple basement-cover succession. The interpretation of the gneissic "Complexe de Base" as an Archaean basement reactivated during the Pan-African orogeny has to be reappraised. Critical observations are the following:

- the low to middle grade Poli schists contains 800 Ma old metavolcanics.
- the high-grade migmatitic "Basement Complex" contains a large volume of Late Proterozoic igneous rocks with low  $87\text{Sr}/86\text{Sr}$  initial ratios; however, 2000 Ma old inherited zircons have been determined in gneisses.
- all the observed contacts are tectonic or hidden by pre-to syntectonic intrusives.

The tectonic evolution of both groups may be compared although their metamorphic grade is generally highly contrasted: tangential tectonics with gently dipping schistosity (intermediate pressure metamorphism) followed by a compressional deformation with high-angle axial planes. Metamorphic grade corresponding to the second phase is of MP/BT type in the Poli schists and of LP/HT type in the gneisses. The age of the older deformation is well defined by the pre-to syntectonic emplacement of 630 Ma old basic to intermediate plutons.

Such an interpretation is supported by the following geochronological data, most of them corresponding to U/Pb ages on zircon:

- "Basement Complex": (1) Mayo Punko metadiorite,  $633 \pm 3$  Ma; (2) Tchamba metadiorite,  $639 \pm 1$  Ma to  $610 \pm 3$  Ma; (3) Mayo Ilou metagranodiorite,  $635 \pm 10$  Ma; (4) Bakonwa foliated granite,  $660 \pm 50 / -40$  Ma; (5) Tapare and Mayo Bandile migmatitic gneisses, upper intercepts at  $1900 \pm 450$  Ma and  $1285 \pm 50$  Ma, lower intercepts at  $606 \pm 15 / -24$  Ma and  $571 \pm 7 / -8$  Ma; (6) Mbe amphibolitic gneiss, c. 1940 Ma.
- Poli schists: (7) Gare metagranodiorite,  $665 \pm 10$  Ma; (8) Hossere Goldynia metarpyolite,  $830 \pm 12$  Ma; (9) Gode post-tectonic granite (Rb/Sr WR isochron),  $546 \pm 9$  Ma.

To conclude, the Upper Proterozoic age of the Poli schists is supported by the 800 Ma age of a major volcanic event showing alkaline to tholeiitic affinities (extension stage). The calcalkaline mafic to intermediate igneous suite is interpreted as resulting from a 630 Ma old collision as it is clearly related to the first deformation phase and deformed later. This suite shows low  $87\text{Sr}/86\text{Sr}$  initial ratios (.7043 to .7045). No basement has been recognised on structural or petrographical criteria, but geochronological evidence favors the existence of 2000 Ma old inherited material in the gneisses; on the other hand, the similarity of the structural evolution in both group of rocks must be stressed. Northern Cameroon corresponds partly to a young crust, accreted in Upper Proterozoic times; the interpretation of such an accretion is not clear as no suture is known in the vicinity. The Pan-African interaction between the Ntem Archaean craton, upon which the Yaoundé nappes are southwesterly thrust, and the Nigeria Eburnean reactivated basement is still a major problem.

Structures de déformation dans les schistes et les granites  
de la région de Montalegre (Nord-Portugal).  
Évolution métamorphique et conditions de mise en place des granites

par FRANÇOIS HOLTZ \* et JEAN-MICHEL BERTRAND \*

*Mots clés.* — Orogénie hercynienne, Déformation, Structures, Métamorphisme, Granites à deux micas, Syntectonique.

*Résumé.* — Une chronologie des événements tectoniques, métamorphiques et plutoniques dans la région de Montalegre (zone centro-ibérique) est présentée. La déformation régionale se caractérise par trois phases : la première est responsable d'une foliation métamorphique, la seconde correspond à un épisode de charriage, la troisième à un serrage suivi de décrochements dextres et senestres. Les granites se mettent en place à la fin et après la troisième phase, à des niveaux structuraux de plus en plus superficiels et sous des conditions métamorphiques qui évoluent vers des températures décroissantes. Une anomalie thermique associée au plutonisme est responsable de la formation des migmatites de Tourém.

Deformation structures in schists and granites of the Montalegre area (N Portugal).  
Metamorphic evolution and conditions of granite emplacement

*Abstract.* — A chronology of tectonic, metamorphic and magmatic events in the Montalegre area (centro-iberic zone) is presented. Three deformation phases have been recognized : the first one corresponds to a metamorphic foliation, the second to large scale recumbent folds, the third to upright open folds followed by right handed and left handed strike slip phase. The granites have been emplaced by the end and after the third phase ; the structural level of emplacement is more and more superficial and the metamorphic conditions evolve towards decreasing temperatures. The formation of the Tourém migmatites is the result of high temperature conditions associated with the plutonism.

SCIENCES de la TERRE, Mémoire 47, pp. 285-309  
NANCY, novembre 1986

THE METAMORPHISM IN CENTRAL HIMALAYA,  
ITS RELATIONS WITH THE THRUST TECTONIC

by

Arnaud PÉCHER\* (1) and Patrick LE FORT\* (2)

ABSTRACT

All along the Himalayan chain, an axis of crystalline rocks has been preserved, made of the Higher Himalayan crystalline series, also called the Tibetan Slab and the crystalline nappes of the Lesser Himalaya. The main characters of the metamorphism, its chronology and its relations with the thrust tectonics are analysed. In the Tibetan Slab two main metamorphic episodes can be distinguished : a first stage of Barrovian type metamorphism has been overprinted by a lower pressure and/or higher temperature type metamorphism; such an evolution would be mainly due to quasi-adiabatic uplift of the Slab by transport along the M.C.I. ramp, and also to thermal refraction effects in the contact zone between the gneisses and the sedimentary cover. In the Lesser Himalaya, the famous inverted zonation was basically acquired before post-crystallization thrust movements. Its early stage corresponds to a prograde metamorphism, related to the thrusting along the M.C.I., heat being supplied from the above seated (Tibetan Slab) to produce an inverse zonation. There is a thermal equilibrium between units above and below the M.C.I.; far behind the distal front of the M.C.I., there is a close agreement between the initial temperature of the Slab and the temperature attained in the overthrust rocks; but close to the M.C.I. front, the thermal equilibrium is achieved due to retrogressive metamorphism at the base of the Tibetan Slab.

C. R. Acad. Sc. Paris, t. 303, Série II, n° 6, 1986

**GÉOLOGIE.** — *Les terrains sédimentaires du Mont-Pelvoux (zone dauphinoise, Alpes occidentales françaises) : nature, âge et implications paléostratigraphiques.* Note de **Jean-Claude Barféty, Simon Amaudric du Chaffaut, Maurice Gidon, Arnaud Pécher, Michel Roux et Jean-Paul Bourseau**, présentée par Reynold Barbier.

La découverte de faune dans le tégument calcaire de la couverture du Mont-Pelvoux et dans les fissures accidentant le socle démontre le caractère marin de ces sédiments, qui ne peuvent donc être triasiques. Leur âge, donné par des crinoïdes, est au moins Callovien supérieur et sans doute Jurassique supérieur. Ceci traduit l'existence, à cette époque, d'une dorsale pelvousienne à peu près E-W, affectée de mouvements distensifs.

**GEOLOGY.** — The sedimentary formation of the Pelvoux mountain (Zone dauphinoise, Western French Alps): nature, age and paleostructural implications.

*Discovery of faunae in the calcareous basis layers of the cover of the Pelvoux mountains and in fissures cutting through the basements is proof of the marine character of these sediments, which cannot be triassic. Their age is later than Callovian and probably upper Jurassic. This shows the existence, at that time, of a nearly E-W Pelvoux ridge and distensives movements.*

C. R. Acad. Sc. Paris, t. 303, Série II, n° 17, 1986

**TECTONIQUE.** — *Évolution tectonique polyphasée de la chaîne du Karakorum (Baltoro, Nord Pakistan).* Note de **Jean-Michel Bertrand et François Debon**, présentée par Maurice Roques.

Deux phases principales de déformation sont situées par rapport à l'évolution en plusieurs étapes du batholite du Karakorum. La première phase non datée pourrait correspondre à la collision arc du Kohistan-Eurasie; elle déforme les plutons du Crétacé moyen. Le granite du Baltoro, daté à 9 M.a., s'est mis en place à la fin de la seconde phase. La linéarité de la « Zone de Suture Nord » (MKT = Main Karakorum Thrust) est expliquée par un rejeu tectonique très récent.

**TECTONICS.** — Polyphased tectonic evolution of the Karakorum belt (Baltoro, North Pakistan).

*Two major deformation events are shown and compared with the multistage evolution of the Karakorum batholith. The older phase deforms middle Cretaceous plutons; it could result from the Kohistan arc-Eurasia collision. The Baltoro granite was emplaced 9 M.a. ago by the end of the second deformation phase. This very young tectonic phase could explain the linearity of the NSZ (Northern Suture Zone) which would be better termed MKT (Main Karakorum Thrust).*

*Journal of Structural Geology*, Vol. 8, No. 2, pp. 169 to 180, 1986  
Printed in Great Britain

0191-8141/86 \$03.00 + 0.00  
© 1986 Pergamon Press Ltd.

## Microfracturing and regional stress field: a study of the preferred orientations of fluid-inclusion planes in a granite from the Massif Central, France

MARC LESPINASSE

Centre de Recherche sur la Géologie de l'Uranium, 3 Rue du Bois de la Champelle,  
54500 Vandœuvre les Nancy, France

and

ARNAUD PÉCHER

**Abstract**—A study of the deformation of a granitic massif indicates a relationship between palaeostress fields and the geometry of microfractures as defined by fluid-inclusion trails, that is, healed microfractures. A statistical study of the distribution of the trails leads to the following conclusions: trails exhibit several distinct preferred orientations on the scale of a grain, which may be observed in many samples; the orientations of the trails are similar to those of micro- and mesoscale fractures in the granite; and the dominant trail direction is parallel to the main direction of regional shortening. Thus, fluid-inclusion trails are mode I cracks which can be used as excellent markers of palaeostress fields.

**Résumé**—L'étude de la déformation rupturale d'un massif granitique a permis de mettre en évidence l'existence de relations entre les paléodirections de contraintes et la géométrie d'un marqueur particulier de la microfissuration: les trainées d'inclusions fluides. Une étude statistique de la répartition des trainées d'inclusions fluides montre que: à l'échelle du grain minéral, les trainées ont des orientations préférentielles nettes et régulières d'un échantillon à l'autre: leur réseau est analogue à celui des micro et mésofractures du granite; leur orientation préférentielle principale est parallèle à la direction de raccourcissement majeure régionale. Les trainées d'inclusions fluides sont donc des fractures en mode I qui peuvent être utilisées comme marqueur des paléodirections de contrainte.

**TECTONIQUE.** — *Chevauchement et décrochement superposés dans le socle centro-ibérique: le linéament de Ponte de Lima (NW du Portugal).* Note de **François Holtz**, présentée par Georges Millot.

Au NW du Portugal, deux domaines tectonométamorphiques différents sont séparés par un linéament granitique. Ce linéament masque un ancien chevauchement ayant fonctionné au cours d'une première phase de déformation hercynienne. Redressé au cours d'une seconde phase, ce chevauchement a finalement joué en décrochement lors des cisaillements tardi-hercyniens. Le granite qui souligne le linéament se met en place pendant le fonctionnement de décrochements sénestres.

**TECTONICS.** — *Superposed thrusting and strike-slip faulting in the centro-iberic basement: the Ponte de Lima lineament (NW Portugal).*

*In NW Portugal two different tectonometamorphic domains are separated by a granitic lineament. This lineament hides a thrust which was active during the older Hercynian deformation phase. The thrust was later rotated to the vertical by a second deformation phase and finally acted as a late Variscan strike-slip fault. Granite emplacement along the lineament occurred during sinistral wrench faulting.*

# *GEOHERMIE*



## Sommaire

ROYER J.J., DANIS M. Mise en évidence d'un phénomène de réfraction thermique entre le granite de Beauvoir et son encaissant : mesures et modélisation.....	57
DANIS M., ROYER J.J., AINARDI J.L., MICHARD A., VAN NGOC P. Interprétation d'une anomalie géothermique d'échelle kilométrique dans la région de Vittel .	58
DANIS M., ROYER J.J. Comportement hydrogéologique et thermique de la nappe des grès du trias inférieur dans le secteur de Vittel.....	58
RAMBOZ C., DANIS M. The temperature of the inflowing brine at the bottom of Atlantis II deep, Red Sea .....	59

# Mise en évidence d'un phénomène de réfraction thermique entre le granite de Beauvoir et son encaissant : mesures et modélisation

J.J. Royer\*, M. Danis\*\*

Mots-clés : Conductivité thermique, Granite (Granite Beauvoir), Micaschiste, Flux géothermique (Réfraction thermique)  
Modèle 2 dimensions, Transfert chaleur.

Allier (Cézallier)

## Résumé

Les mesures de conductivité thermique, sur 25 carottes de sondage réparties entre 80 et 900 mètres, ont été réalisées systématiquement sur les principaux faciès du forage d'Echassières (sondage GPF, Massif Central Français). La conductivité thermique augmente de 2.8 à 3.5  $W m^{-1}C^{-1}$  en fonction de la profondeur dans le faciès B1 entre 180 et 480 m, tandis qu'elle fluctue autour d'une valeur moyenne d'environ 3.4  $W m^{-1}C^{-1}$  dans les faciès B2 et B3. Ces variations sont attribuées à la charge en quartz (augmentation de la teneur en quartz avec la profondeur pour B1 et teneur à peu près constante pour B2 et B3). La foliation du granite de Beauvoir évaluée à 40° d'après l'orientation préférentielle des micas, observée par Gagny et Jacquot (1986) et Bernier *et al.* (1987), ne se traduit pas par une anisotropie marquée sur les conductivités thermiques. Des mesures au goniomètre de texture effectuées sur un échantillon confirment l'orientation aléatoire des cristaux de quartz. Par contre, une forte anisotropie de la conductivité thermique est observée dans les schistes de l'encaissant, avec des conductivités principales verticale et horizontale égales respectivement à 2.2  $W m^{-1}C^{-1}$  et 3.2  $W m^{-1}C^{-1}$  pour la série des micaschistes de la Sioule.

Le flux géothermique vertical calculé à partir des données de forage est de l'ordre de 150  $mW m^{-2}$ , atteignant 160  $mW m^{-2}$  et plus vers 800 m de profondeur. Ces valeurs élevées sont incompatibles avec les mesures effectuées sur le Massif central, et sont attribuées à un phénomène de réfraction thermique (fort contraste de conductivités entre différents faciès).

Après compilation des différents travaux de reconnaissance effectués sur le site d'Echassières, la géométrie du granite de Beauvoir a pu être précisée dans une coupe verticale bidimensionnelle. Ces données ont ensuite été utilisées afin de simuler les transferts de chaleur autour du forage d'Echassières. Plusieurs hypothèses ont été testées. Le modèle retenu permet de retrouver les températures mesurées dans le forage avec une erreur quadratique moyenne inférieure à 0.15 °C et des écarts locaux inférieurs à 0.7 °C. Ce modèle implique un flux géothermique régional moyen de 135  $mW m^{-2}$ ; cette valeur est élevée mais compatible avec certaines mesures publiées par Vasseur (1982) sur le Massif central. Du point de vue méthodologique, ces résultats montrent que le calcul direct du flux de chaleur, sans tenir compte des transferts de chaleur mis en jeu autour du site de mesure, conduit parfois à des résultats erronés, comme cela avait été déjà montré par les auteurs sur un autre site (Danis, Royer, 1986).

*Séance spécialisée : Bilan et perspectives de la  
recherche française en géothermie.  
Orléans, 12-13 juin 1985.*

## Interprétation d'une anomalie géothermique d'échelle kilométrique dans la région de Vittel

par MICHEL DANIS \*, JEAN-JACQUES ROYER \*, JEAN-LOUIS AINARDI \*\*,  
ANNIE MICHARD \* et PHAM VAN NGOC \*\*

**Mots clés.** — Géothermie, Anomalie, Géochimie isotopique, Magnéto-tellurique, Simulation numérique, Vosges (France).

**Résumé.** — Une anomalie géothermique et hydrochimique a été observée dans la région de Vittel (Vosges, France) sur la nappe des grès du Trias inférieur. Les mesures de flux géothermique permettent de préciser l'échelle kilométrique de cette anomalie. La synthèse des mesures du flux géothermique, de la géochimie et de la magnéto-tellurique indique que la cause de cette anomalie serait une venue d'eau thermique sous couverture sédimentaire. Les simulations numériques du comportement hydrogéologique et thermique de la nappe confortent cette hypothèse et donnent une estimation du débit et de la température de cette venue d'eau. Au terme de l'étude, des réserves sont émises sur la validité des mesures de flux géothermique en terrain sédimentaire.

### Interpretation of a small-scale geothermal anomaly in the Vittel region (Vosges - France)

**Abstract.** — A geothermal and hydrochemical anomaly has been observed in the Vittel region (Vosges, France) in the Lower Triassic sandstone aquifer. Heat-flow measurements characterize the kilometric scale of this anomaly. A synthesis of heat-flow measurements, isotopic geochemistry, and magneto-telluric measurements shows the occurrence of a hot spring under the sedimentary cover. A numerical simulation of the hydrogeological and thermal behaviour of the aquifer confirms this hypothesis and allows an estimation of flow rate and temperature of the hot spring. Finally, serious reserves are raised about the validity of heat-flow measurements in sedimentary basins.

"From statistics to expert systems. Applications in Geoscience". Sci. de la Terre, Sér. Inf. Géol. (1986), n°25, Nancy-France p. 33-56

### COMPORTEMENT HYDROGEOLOGIQUE ET THERMIQUE DE LA NAPPE DES GRES DU TRIAS INFERIEUR DANS LE SECTEUR DE VITTEL

Michel DANIS\* et Jean-Jacques ROYER\*

Une anomalie géothermique et hydrochimique a été observée sur deux forages au Trias inférieur dans la région de Vittel (Vosges-France). L'hypothèse d'une venue d'eau hydrothermale sous couverture sédimentaire, proposée récemment, est compatible avec les données géophysiques ou géochimiques disponibles à ce jour. Dans cet article, les résultats d'une simulation numérique du comportement hydrogéologique et thermique de la nappe sont présentés dans deux cas, absence de source hydrothermale et venue d'eau chaude du socle. Le flux de chaleur en surface, calculé suivant ces deux hypothèses est comparé à la carte de flux géothermique mesuré. La bonne concordance des résultats dans le cas d'une venue d'eau chaude valide cette dernière hypothèse et permet d'évaluer le débit de source à  $50\,000\text{ m}^3/\text{an}$  et la température à  $50^\circ\text{C}$ . Cet exemple montre la nécessité d'effectuer une étude très précise des conditions hydrogéologiques avant toute interprétation (extrapolation régionale ou en profondeur) des mesures de flux géothermique, spécialement en terrains sédimentaires.

**S14.03**

**THE TEMPERATURE OF THE INFLOWING BRINE  
AT THE BOTTOM OF ATLANTIS II DEEP, RED SEA**

C. RAMBOZ\* & M. DANIS

(Centre de Recherches Pétrographiques et Géo-chimiques,  
Vandoeuvre-lès-Nancy, France)

The sulfides deposited in the hot brine pools of Central Red Sea have been preserved from oxidizing waters, and the sediments at the bottom of Atlantis II Deep constitute a major deposit of Zn, Cu, Ag and Au.

From mineralogical and fluid inclusion works, many authors have drawn the attention on high temperature sulfide assemblages. Using fluid inclusions in barite and anhydrite, Oudin et al. (1984) demonstrated that the epigenetic sulfates had precipitated from a fluid at around 400°C.

Such a high temperature for inflowing brine at the bottom of Atlantis II Deep is inconsistent with temperatures previously calculated from heat and mass balance (temperatures between about 100°C and 360°C according to the authors).

We reconsider the heat and mass balance for only the Lower Brine, the evolution of which has been accurately observed for about 20 years.

The mass balance is calculated from published data: bathimetric data and measured raising of the interface between Upper and Lower Brine. Moreover we assume that a part of the Lower Brine is expelled towards the nearby depressions of Chain Deep. So the mass balance may be written as a function of the inflowing rate in the Atlantis II Deep, and of the water flow expelled towards Chain Deep.

The heat balance involves different parameters: i) conductive heat flow at the bottom of the Atlantis II Deep; ii) heat loss through the top of the Lower Brine; iii) heat advection due to the thermal spring; iv) heat loss due to advection towards Chain Deep. The heat balance may be written as a function of the rate and temperature of the thermal spring, and of the rate of water expulsion.

The heat and mass balance may be summarized in a diagram giving the temperature of the thermal spring as a function of the rate of water expulsion: the highest temperature is about 450°C for no water expulsion, and the temperature is lower if the expulsion rate increases.

It is concluded that the spring is associated with a dyke injection: a numerical 2D simulation of the transient thermal behavior of the spring is presented for different geometries and spring flow rates. For the most adequate configuration, the calculated temperature of the water at discharge is about 400°C half a year after the beginning of water injection, and then this temperature goes down to 300°C, which seems to be consistent with heat and mass balance and with temperatures observed from fluid inclusions.

*INFORMATIQUE APPLIQUEE*

## Sommaire

DANIS M., QUINTARD M. Simulation numérique du comportement d'une nappe aquifère captive : estimation directe des processus transitoires.....	63
BERNARD D., DANIS M., QUINTARD M. Influence du rejet de faille sur la transmissivité .....	64
ROYER J.J. Collecte, traitement et validation des données en géoscience : l'imprécis et le certain .....	65
MA Y.Z., ROYER J.J. Local geostatistical filtering application to remote sensing.....	65
MA Y.Z., ROYER J.J. Filtering of remote sensing images by kriging analysis - application to the automatic extraction of lieaments in Monts de Blond area (France).....	66
MA Y.Z. Filtrage géostatistique des images numériques .....	67
SURGET C., DELGADO J., ROYER J.J., SAMAMA J.C., LEMAITRE J. Geostatistiques sur micro-ordinateur : un outil pour les petites mines.....	68
DELGADO BELLIDO J.E. La petite exploitation minière au Pérou. L'évaluation de projets miniers. Exemple de deux petites mines du Pérou : la mine de Condor Pasa et la mine de Patchapaqui.....	68
CHEILLETZ A., ISNARD P. Géochimie multiélémentaire appliquée à la prospection en roche de gisements de tungstène hydrothermaux .....	69
LA ROCHE H. de, STUSSI J.M., MARCHAL M., PLOQUIN A. Communication and exchange of computerized chemical data problems and solutions, scientific results .....	69

**Simulation numérique du comportement d'une  
nappe aquifère captive: estimation directe des  
processus transitoires**

MICHEL DANIS

*Centre de Recherches Péetrographiques et  
Géochimiques, BP 20, 54501 Vandoeuvre-les-  
Nancy Cedex, France*

MICHEL QUINTARD

*Laboratoire Energétique et Phénomènes de  
Transfert UA 873, ENSAM, 33405 Talence  
Cedex, France*

**RESUME** La méthode classique de simulation d'une nappe captive consiste à résoudre le problème en régime transitoire à partir de la situation originelle. Dans cet article est présentée une méthode qui permet de déterminer directement l'état de la nappe à un instant donné si l'on peut connaître la chute piézométrique à cet instant.

*Numerical simulation of confined aquifers: direct  
calculation of transient parameters*

**ABSTRACT** The classical method for the simulation of a confined aquifer consists in solving the transient problem from initial conditions. In this paper a method is described which calculates directly the parameters of the aquifer at a given time if the evolution of the groundwater level is known.

**XIX GENERAL ASSEMBLY  
INTERNATIONAL UNION OF GEODESY AND GEOPHYSICS (IUGG)  
VANCOUVER, B.C., CANADA  
August 9 to 22, 1987**

**INFLUENCE DU REJET DE FAILLE SUR LA TRANSMISSIVITE.**

Bernard, D.\* , Danis, M.\*\* , Quintard, M.\*

\*LEPT-ENSAM, Esplanade des arts et métiers,  
33405 TALENCE Cedex, FRANCE

\*\*CRPG, BP 20, 54501 VANDOEUVRE Cedex, FRANCE

Dans cet article on considère l'effet d'une faille avec rejet sur l'écoulement dans un aquifère présentant une anisotropie verticale. Dans le modèle hydrogéologique 2D on se propose de prendre en compte les effets de l'écoulement 3D au voisinage de la faille par l'introduction d'une perte de charge singulière  $\Delta H'_S$  calculée par un modèle aux éléments finis (figure 1). La variation de la perte de charge adimensionnelle avec le rejet est présentée figure 2. Dans le modèle 2D deux méthodes de prise en compte de l'anomalie due à la faille sont testées:

1) la faille est considérée comme une frontière sur laquelle s'appuie le maillage et qui supporte la condition à la limite :

$$\Delta H'_S = f' \vec{V}' \cdot \vec{n}$$

2) le maillage est défini indépendamment de la faille et la transmissivité des éléments la recouvrant est modifiée dans la direction perpendiculaire à celle-ci. Une comparaison entre ces deux méthodes et une modélisation 3D est présentée.

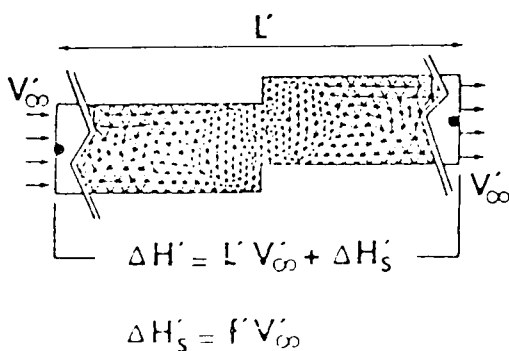


Figure 1 : Calcul de la perte de charge singulière adimensionnelle  $\Delta H'_S$  à l'aide d'un modèle numérique aux éléments finis.

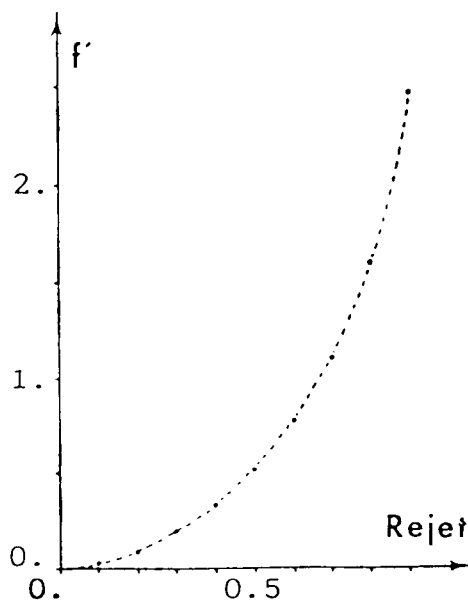


Figure 2:  $f'$  en fonction du rejet



**COLLECTE, TRAITEMENT ET VALIDATION DES DONNEES EN GEOSCIENCE:  
L'IMPRECIS ET LE CERTAIN**

J.J. Royer

*Centre de Recherche Pétrographiques et Géochimiques*

*15 Rue Notre-Dame des Pauvres, BP 20, 54501 Vandoeuvre-les-Nancy, France*

**Résumé :** Le développement des systèmes d'information, d'analyse et de traitement interactif appliqués à l'exploitation des données en géoscience jouent un rôle capital en science de l'ingénieur car ils concernent des domaines aussi variés que l'environnement, l'évaluation des ressources en matières premières minérales et énergétiques ou simplement la mise à jour cartographique. Dans cet article, on analyse les différents types de structure d'informations généralement utilisés en géologie, en prospection et en exploitation minière. Chaque information est caractérisée par sa nature (numérique, factuelle, sémantique ou iconographique) et sa qualité en termes de fiabilité (mesure ou observation). Le degré de "certitude" ou d'"imprécision" est apprécié pour chaque donnée. Ces caractéristiques spécifiques impliquent des méthodes de collectes, d'archivage, de validation et d'exploitation adaptées. De ce fait, les méthodes de traitement de l'information deviennent primordiales, elles procèdent soit par approche probabiliste dans le cas des données numériques (géostatistique, traitement multivariable ou par techniques dues à la théorie des possibilités), soit par des techniques de système expert dans le cas des données cognitives, sémantiques ou factuelles.

Geomathematics and Geostatistics Analysis Applied to Space and Time Dependent Data, in *Sci. de la Terre, Sér. Inf.*, Nancy. 1988, 27, 17-36.

**LOCAL GEOSTATISTICAL FILTERING  
APPLICATION TO REMOTE SENSING**

MA Y.Z.<sup>(1)</sup> et ROYER J.J.<sup>(2)</sup>

A local geostatistical filtering method, called Local Kriging Analysis (L.K.A.), is presented in this paper. The method can be applied to image filtering, image enhancement and image restoration. This approach takes into consideration the spatial correlation of image intensities using the locally stationary autocovariance function and is different in that sense from most filters classically used for image filtering. As the values of pixels which are close together are in general statistically correlated, geostatistics can be used to describe this spatial structure. In fact, the structural analysis of images often shows different correlation models at different scales (composite or nested models). This phenomenon of multiscaling dependence of pixel data can be used to separate several component images from the initial image by means of the kriging analysis technique. At this point, the method is equivalent to the spectral analysis for a stationary image, but can be extended to the non-stationary case using the intrinsic random function theory. In addition an adaptive moving correlation neighbourhood can be chosen to locally estimate the different components.

G14.02

**FILTERING OF REMOTE SENSING IMAGES BY KRIGING ANALYSIS - APPLICATION TO THE AUTOMATIC EXTRACTION OF LINEAMENTS IN MONTS DE BLOND AREA (FRANCE)**

Y.Z. MA\* & J.J. ROYER

(Centre de Recherches Pétrographiques et Géo-chimiques, Vandoeuvre-lès-Nancy, France)

The extraction of lineaments is a preliminary step in the geological interpretation of remote sensed images. Linear geological structures (faults, contacts,...) are key factors in mapping and economic geology. In image processing, classical automatic edge detection is often inefficient because of the different noises included in the image caused by external non-geological factors (atmospheric phenomena, instrumental errors, agriculture, urbanization,...). Many authors have used signal processing techniques to filter away the noise from the signal in order to better extract lineaments (Pratt W.K. 1978, Cao T.T. and Debray B. 1984, Carrere V. et al. 1985). Generally, these techniques do not take into account the intrinsic spatial properties of the image and are highly sensitive to non-stationarity.

We consider a filtering image technique named kriging analysis. The principle of the method is to decompose a random function into a sum of more regular random functions according to the properties of the autocovariance function. Each component is estimated and filtered by a linear moving  $N \times N$  weighted window estimator according to the local correlation between the neighbouring pixels (intrinsic properties). The number of components corresponds to that of the underlying structures observed on the autocovariance function. The kriging analysis is a generalization of spectral filtering of random processes. Classical filters used on remote sensing images such as moving average (MA), gaussian, Laplacian or difference filters correspond to given forms of the theoretical underlying autocovariance function.

The Monts de Blond two-mica granite, Western Massif Central, is intrusive into a metamorphic series (gneiss, amphibolite...) and is situated to the North of a migmatite and biotite granite complex. Different metal occurrences (Au, As, W, Sn, Cu, Mo) are associated with the main structural features of the region. Kriging analysis has been used for the enhancement and the automatic extraction of lineaments from a Landsat-2 scene. The resulting lineaments map is helpful for the understanding of relationship between metal occurrences and structural geology. A major ring structure situated to the South of the Monts de Blond massif, is pointed out under the migmatite rocks which seems to be consistent with the hypothesis of a major hidden intrusion.

# FILTRAGE

## GEOSTATISTIQUE

### DES IMAGES NUMERIQUES

Yuan-Zhe MA

l'Institut National Polytechnique de Lorraine

pour obtenir le titre de

**DOCTEUR DE L'I.N.P.L.**  
**RESUME**

L'analyse krigéante (A.K.), est une généralisation du filtre de Wiener, d'une part parce qu'elle peut s'adapter aux processus non stationnaires ou seulement localement stationnaires; d'autre part parce qu'elle représente un filtrage multi-composantes. Dans ce mémoire, on a comparé :

- (1) l'analyse krigéante sous représentation globale avec l'analyse spectrale;
- (2) l'analyse krigéante sous représentation locale avec les opérateurs classiques de filtrage spatial en traitement d'images;
- (3) l'analyse krigéante avec le filtre de Wiener.

L'A.K. est équivalente à l'analyse spectrale (A.S.) pour une fonction aléatoire stationnaire. En pratique, beaucoup d'images ne sont pas homogènes, l'A.K. s'y adapte souvent mieux que l'A.S. Cependant, on note qu'un des avantages de l'A.S. est qu'il est facile de vérifier l'orthogonalité entre les estimateurs des composantes à l'aide de la formule des interférences. Dans la pratique, ces deux techniques sont donc complémentaires.

Par rapport aux techniques classiques de filtrage spatial, l'A.K. est plus générale. En effet, les coefficients des masques de filtrage sont calculés en fonction de la covariance, si bien que de nombreux opérateurs classiques coïncident avec les filtres calculés par l'A.K. pour un choix particulier de la fonction de covariance. Ainsi les résultats présentés ici établissent une correspondance formelle entre les méthodes classiques et l'A.K. locale.

Par ailleurs, deux applications ont été particulièrement développées, il s'agit de filtrage du bruit et du rehaussement des contours.

On montre que l'élimination de l'effet de pépite par l'analyse krigéante permet de filtrer efficacement le bruit additif avec l'avantage, par rapport aux méthodes classiques, de prendre en compte les propriétés spatiales locales de l'image.

Le calcul des masques de détection des contours par l'A.K. s'effectue à l'aide d'un vecteur de pondération correspondant à une composante résiduelle. Ces filtres résiduels représentent en général un filtrage passe haut. Plus précisément, plus la portée de corrélation est faible, plus la composante résiduelle filtre les hautes fréquences. Ainsi le filtre correspondant à l'effet de pépite est un filtre passe haut des très hautes fréquences qui est destiné au filtrage du bruit. Un filtre correspondant à un schéma de covariance à portée non nulle peut être utilisé pour rehausser les contours de plusieurs pixels. L'A.K. se révèle ainsi un outil efficace de filtrage du bruit et de détection des contours.

En coll. avec l'E.N.S.G.

## GEOSTATISTIQUES SUR MICRO-ORDINATEUR : UN OUTIL POUR LES PETITES MINES

C. SURGET<sup>1</sup>, J. DELGADO<sup>2</sup>, J.J. ROYER<sup>3</sup>, J.C. SAMAMA<sup>2</sup> et J. LEMAITRE<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Société GEOSUM - <sup>2</sup>ENS Géologie - <sup>3</sup>CRPG

France

### Abstract

Geostatistical methods may be nowadays used in small scale mining due to the new and relatively low cost microcomputer and may be practiced by the geologist/miner himself. The major profit comes from the opportunity in introducing the various data as early as they are known and not to wait for the end of the mining exploration survey for geostatistical works.

La petite exploitation minière au Pérou. L'évaluation des projets miniers. Exemple de deux petites mines du Pérou: la mine de Condor Pasa et la mine de Patchapaqui.\*

**J. E. Delgado Bellido**

Thèse de Docteur de l'I.N.P.L., Nancy, 132 pages, Décembre 1986.

### RESUME

Le Pérou est, depuis ses origines, un pays de tradition minière. On y trouve une industrie minière distribuée en trois catégories : la grande mine, la moyenne et la petite. L'importance de l'industrie minière apparaît clairement au niveau des ressources en devises du pays puisque, depuis 1960 jusqu'à aujourd'hui, celle-ci représente plus de 40 %.

Il existe au Pérou une institution financière créée par l'Etat pour financer le développement de la petite mine : la Banco Minero du Pérou dans laquelle nous travaillons.

Dans ce travail, nous analysons la situation de la petite mine au Pérou, son développement et surtout les possibilités financières qu'elle peut trouver dans la Banco Minero du Pérou pour se développer.

La demande de financement pour le développement de la petite mine présente des modalités pour lesquelles l'élaboration des projets doit suivre des normes que nous analysons dans ce travail.

La structure financière de la Banco Minero est analysée en détail à titre de modèle d'application pour les pays s'intéressant au développement de la petite mine.

Nous analysons les différents types de financement offert par la banque de développement et, plus particulièrement, leur répercussion sur la petite mine.

L'utilisation de la micro-informatique est un des points les plus importants de notre travail ; nous avons développé un programme de géostatistique utilisable dans les petites mines, et nous avons utilisé les derniers programmes d'évaluation de projets par micro-ordinateurs élaborés en France.

Il nous semble important que les techniques d'évaluation de projets et de géostatistique, ainsi que l'utilisation de techniques modernes telles que la micro-informatique, soient connues par un nombre toujours plus grand d'ingénieurs.

**Gisements du Tungstène, Colloque Européen, Toulouse,  
mai, 1986, p. 88**

Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques, CRPG, B.P. 20,  
54501 Vandoeuvre-lès-Nancy Cédex

**GEOCHIMIE MULTIELEMENTAIRE APPLIQUEE A LA PROSPECTION EN ROCHE  
DE GISEMENTS DE TUNGSTENE HYDROTHERMAUX**

A. CHEILLETZ et P. ISNARD

Une application pratique de la géochimie multiélémentaire associée à une analyse statistique discriminante sur une prospection de tungstène est présentée. Il s'agit de l'étude du réseau filonien et fissural complexe du Djebel Aouam (Maroc Central) dont la mise en place s'accompagne du développement d'une large auréole de métamorphisme hydrothermal comparable aux halos d'altération bien connus des porphyres cuprifères par exemple. L'existence de contrastes de composition entre roches métamorphisées et roches saines dus aux circulations hydrothermales permet une séparation statistique à 83 % des deux groupes d'échantillons analysés ainsi que le calcul d'un paramètre de métamorphisme corrélable aux teneurs tungstène en roche. Le paramètre est utilisé pour la cartographie automatique de l'auréole de métamorphisme hydrothermal permettant le repérage rapide des zones à potentiel métallifère important.

Cette méthode pourra être utilisée lors de la prospection de surface ou en sondage de gisements de tungstène complexes développés à l'intérieur ou à l'extérieur de corps magmatiques.

Sciences de la Terre, Nancy, Série Informatique Géologique, 1986,25,11-32.

**COMMUNICATION AND EXCHANGE OF COMPUTERIZED CHEMICAL DATA  
PROBLEMS AND SOLUTIONS, SCIENTIFIC RESULTS**

Hubert DE LA ROCHE\*, Jean-Marc STUSSI\*\*, Michèle MARCHAL\*\*  
and Alain PLOQUIN\*\*

**RESUME**

*Communication et échange de données géochimiques informatisées.  
Problèmes et solutions. Aspects scientifiques.*

Dans les Sciences de la Terre, l'acquisition onéreuse des données géochimiques contribue à la constitution d'un potentiel analytique important et croissant d'informations quantitatives. La gestion et la valorisation de ce potentiel, qui intéresse toute la communauté scientifique, exige un archivage informatisé et efficacement structuré, susceptible de faciliter des communications et traitements ultérieurs. La qualité, l'efficacité et la crédibilité des fichiers et banques de données créés est liée à la qualité et la pertinence des indispensables données factuelles associées aux données numériques. L'efficacité de fichiers et banques de données interconnectables (réseaux) susceptibles de favoriser la communication et l'échange de données géochimiques, sera liée à la création et à l'accroissement d'interfaces et de compatibilités entre systèmes. Ce n'est qu'à ces conditions que des objectifs scientifiques interrégionaux pourront être plus communément réalisés par l'intermédiaire de l'outil informatique et des banques de données. Ces quelques observations et conclusions sont proposées par le Projet I.G.C.P. 154 "Global Exchange and Processing of Information in Geochemistry". Ce projet a pu montrer que la communication et l'échange de données géochimiques ne présentait pas d'obstacle technologique insurmontable et que des objectifs scientifiques interrégionaux sont réalisables si un minimum de contraintes est accepté lors de la création de fichiers.

## ***MAGMATISME***

## Sommaire

PICHAVANT M., VALENCIA HERRERA J., BOULMIER S., BRIQUEU L., JORON J.L., JUTEAU M., MARIN L., MICHARD A., SHEPPARD S.M.F., TREUIL M., VERNET M. The Macusani glasses, SE Peru: evidence of chemical fractionation in peraluminous magmas .....	75
HARRIS C., SHEPPARD S.M.F. Magma and fluid evolution in the lavas and associated granite xenoliths of Ascension island .....	75
ALIBERT C., LETERRIER J., PANASIUK M., ZIMMERMANN J.L. Trace and isotope geochemistry of the alkaline Tertiary volcanism in southwestern Poland .	76
ALBAREDE F., TAMAGNAN V. Trace-element composition of mantle magma sources: application of inverse methods to the Piton de la Fournaise volcano (Reunion Island) .....	76
ZIMMERMANN J.L., CHEMINEE J.L., DELORME H. Chemical analyses and diffusion studies of gases in andesitic lavas: Arenal volcano (Costa Rica) .....	77
BENNOUNA A., PICHAVANT M., STUSSI J.M. Carboniferous rhyolitic volcanism, southern Vosges: petrology, geochemistry and relation with plutonism .....	77
BENNOUNA A. Le volcanisme rhyolitique carbonifère des Vosges méridionales: pétrologie, minéralogie, géochimie et relations avec le plutonisme .....	78
OUAZZANI H., BANZET G., LAPIERRE H. Le volcanisme post-collision stéphanien à anté "permo-triasique" des Alpes françaises .....	79
LAPIERRE H., BROUXEL M., ALBAREDE F., COULON C., LECUYER C., MARTIN P., MASCLE G., ROUER O. Paleozoic and lower Mesozoic magmas from the eastern Klamath Mountains (North California) and the geodynamic evolution of northwestern America .....	80
BROUXEL M., LAPIERRE H., MICHARD A., ALBAREDE F. The deep layers of a Paleozoic arc: geochemistry of the Copley-Balaglala series, northern California .....	81
PARSONS I., BROWN W.L., JACQUEMIN H. Mineral chemistry and crystallization conditions of the Mbutou layered gabbro-syenite-granite complex .....	81
MOREAU C., BROWN W.L., KARCHE J.P. Monzo-anorthosite from the Tagueï ring-complex, Air, Niger: a hybrid rock with cumulus plagioclase and an infiltrated granitic intercumulus liquid ? .....	82
CHAROY B. The Suzhou complex (eastern China): petrological and geochemical constraints on the origin of zircon mineralization related to hypersolvus magmatism .....	82

CHAROY B., COUTURIE J.P., RAIMBAULT L., LIU Y. The Suzhou granite complexe (east China): evolution from granite to biotite with consequent Zr and REE mineralization.....	83
LE FORT P., CUNEY M., DENIEL C., FRANCE-LANORD C., SHEPPARD S.M.F., UPRETI B.N., VIDAL P. Crustal generation of the Himalayan leucogranites .....	84
DENIEL C., VIDAL P., FERNANDEZ A., LE FORT P., PEUCAT J.J. Isotopic study of the Manaslu granite (Himalaya, Nepal): inferences on the age and source of Himalayan leucogranites.....	85
DENIEL C., VIDAL P., LE FORT P. Les leucogranites himalayens et leur région source probable : les gneiss de la "Dalle du Tibet" .....	86
DEBON F., LE FORT P., DAUTEL D., SONET J., ZIMMERMANN J.L. Granites of western karakorum and northern Kohistan (Pakistan): a composite mid- Cretaceous to upper Cenozoic magmatism.....	86
DEBON F., AFZALI H., LE FORT P., SONET J. Major intrusive stages in Afghanistan: typology, age and geodynamic setting.....	87
DEBON F., AFZALI H., LE FORT P., SONET J., ZIMMERMANN J.L. Plutonic rocks and associations in Afghanistan: typology, age and geodynamic setting.....	87
DEBON F., GOVINDARAJU K., MARCHAL M., SARRE M. Chemical composition and typology of 725 plutonic rocks from Afghanistan .....	88
DEBON F., AFZALI H., LE FORT P., SONET J. Plutonic belts in Afghanistan: typology, age and geodynamic setting.....	89
DEBON F. Plutonism and geodynamics in Afghanistan.....	89
LE FORT P., DEBON F., PECHER A., SONET J., VIDAL P. The 500 Ma magmatic event in alpine southern Asia, a thermal episode at Gondwana scale.	90
ENRIQUE P., DEBON F. Le pluton permien calcoalcalin de Montnègre (Chaînes côtières catalanes, Espagne) : étude isotopique Rb-Sr et comparaison avec les granites hercyniens des Pyrénées, Sardaigne et Corse .....	90
RAZAFIMAHEFA N. Granites et leucogranites alumineux du nord-est du Massif de Millevaches (Massif Central français) : pétrologie, géochimie et synthèse cartographique .....	91
BANZET G. Interactions croûte-manteau et genèse du plutonisme subalcalin du Haut-Dauphiné occidental (massifs cristallines externes, Alpes) : vaugnérîtes, durbachites et granitoïdes magnésio-potassiques .....	91
BANZET G., LE FORT P. The subalkaline belt of granitoid-bearing vaugneritic inclusions in western Haut-Dauphine (external french Alps): accessory minerals and REE geochemistry.....	92



LETERRIER J., BERTRAND J.M. Pre-tectonic tholeiitic volcanism and related transitional plutonism in the Kidal assemblage (Iforas Pan-African Belt, Mali).....	93
DUPONT P.L., LAPIERRE H., GRAVELLE M., BERTRAND J.M. Caractérisation du magmatisme Protérozoïque supérieur en Afrique de l'Ouest et implications géodynamiques : des rifts intracratoniques au Panafrican ?.....	93
BERTRAND J.M., MOULAHOU M., BOUABSA L., CHEILLETZ A., CHAROY B., BOULLIER A.M. Pan-African younger granites of central Hoggar (Algeria) : structure, petrology, geochronology and mineralization .....	94
BARBEY P., BERNARD-GRIFFITHS J., CONVERT J. The Lapland charnockitic complex : REE geochemistry and petrogenesis.....	95
MOREAU C., BROWN W.L., DEMAIFE D., DUPONT P.L., ROCCI G. Un des plus grands ring-dykes du monde : le Meugueur-Meugueur, massif de l'Aïr, République du Niger .....	95

## The Macusani glasses, SE Peru: evidence of chemical fractionation in peraluminous magmas

MICHEL PICHAVANT,<sup>1</sup> JACINTO VALENCIA HERRERA,<sup>2</sup> SUZANNE BOULMIER,<sup>1</sup> LOUIS BRIQUEU,<sup>3</sup>  
JEAN-LOUIS JORON,<sup>4</sup> MARTINE JUTEAU,<sup>1</sup> LUC MARIN,<sup>1</sup> ANNIE MICHARD,<sup>1</sup>  
SIMON M. F. SHEPPARD,<sup>1</sup> MICHEL TREUIL<sup>4</sup> and MICHEL VERNET<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques, B.P. 20, 54501 Vandoeuvre les Nancy, France

<sup>2</sup> Instituto Peruano de Energia Nuclear, Av. Canada 1470, Lima 13, Peru

<sup>3</sup> Université des Sciences et Techniques du Languedoc, Laboratoire de Géochimie Isotopique,  
34060 Montpellier, France

<sup>4</sup> Groupe des Sciences de la Terre, Laboratoire P. Sue, C.E.N. Saclay, B.P. 12, 91191, Gif/Yvette, France

**Abstract**—The Pliocene non-hydrated obsidian glasses from Macusani, SE Peru, are associated with felsic peraluminous ash-flow tuffs of crustal origin. Several glasses have been analysed for their major, trace (37 elements) and isotopic compositions (<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr, <sup>18</sup>O/<sup>16</sup>O, D/H). They have a unique composition for obsidian glasses, similar to some rare-element pegmatites. The glasses represent a rare example of the preservation of lithophile-rich peraluminous melts as quenched glasses. The major element composition is characterized by moderately high SiO<sub>2</sub> (~72 weight percent), very high Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (~16 weight percent), high alkalis and particularly elevated concentrations in F (≥1.3 weight percent), B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (0.6 weight percent), Li<sub>2</sub>O (0.7 weight percent) and P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0.5 weight percent). CaO, FeO, MgO and TiO<sub>2</sub> are very low. Trace elements show marked enrichments in Rb, Ta, U, As, Sn, Sb, W, Cs and also marked depletions in Sr, Ba, Pb, Mo, Th, LREE, Eu, Zr, Hf, Y. Two groups of glasses can be defined on the basis of field relations, major/trace elements and Sr and O isotopes. The Rb-Sr isochron age (4.9 Ma, initial <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr about 0.7309, Chilcuno Chico samples) is in agreement with K-Ar and fission-track ages. Oxygen isotopic compositions are tightly grouped between 11.9 and 12.4‰. Hydrogen isotopic compositions (δD between -140 and -155‰) and their low H<sub>2</sub>O<sup>+</sup> (≤0.4 weight percent) suggest degassing. The discovery of inclusions of glasses in the ash-flow tuffs, the nearly identical mineralogy and mineral chemistry between tuffs and glasses and the chemical and isotopic data demonstrate a genetic filiation between these two rocks.

Experimental data in the Qz-Ab-Or system with added F, B and Li suggest that the glasses are residual liquids from the fractional crystallization of the tuffs. Enrichment/depletion patterns between tuffs and glasses are for the most part consistent with crystal fractionation of the observed phenocrysts. However, the behaviour of Al and P is unusual and relates to the specific structure of strongly peraluminous, F-, B-, P-, and H<sub>2</sub>O-rich melts. The role of these elements in the formation of complexes in the liquid and in promoting depolymerization is emphasized.

From: FITTON, J. G. & UPTON, B. G. J. (eds), 1987, *Alkaline Igneous Rocks*,  
Geological Society Special Publication No. 30, pp. 269-272.

## Magma and fluid evolution in the lavas and associated granite xenoliths of Ascension Island

Chris Harris and Simon M.F. Sheppard

**SUMMARY:** The mildly alkaline lavas of Ascension Island evolved in a H<sub>2</sub>O-undersaturated environment. H<sub>2</sub>O comprises less than 0.4 wt. % of glassy equivalents of the most evolved lavas (comendites) for which there is no evidence that it has been lost by degassing. In contrast, peralkaline granite xenoliths which are chemically similar to the evolved lavas contain silicate glass and fluid inclusions which demonstrate that the original granite body crystallized from a water-saturated magma. Microprobe analysis of the glass inclusions gives low totals suggesting that the H<sub>2</sub>O content was high (5-8 wt. %). Amphibole δD values for the granite xenoliths are significantly different from the whole-rock δD values of the comenditic obsidians while whole-rock δ<sup>18</sup>O values are similar. It is suggested that the high water content in the original granite magma is due to sea-water addition and that this explains these differences. Sea-water interaction with high-level magma chambers on Ascension may have been the cause of the extensive pyroclastic volcanism which occurred on the island.

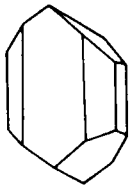
## Trace and isotope geochemistry of the alkaline Tertiary volcanism in southwestern Poland

C. ALIBERT<sup>1</sup>, J. LETERRIER<sup>1</sup>, M. PANASIUK<sup>2</sup> and J.L. ZIMMERMANN<sup>1</sup>

<sup>1</sup>C.R.P.G., B.P. 20 - 54501 Vandoeuvre les Nancy, Cedex (France)

<sup>2</sup>Instytut Geologiczny, ul Rakowiecka, 4, 00975 Warsaw (Poland)

LITHOS



Alibert, C., Leterrier, J., Panasiuk, M. and Zimmermann, J.L., 1987. Trace and isotope geochemistry of the alkaline tertiary volcanism in southwestern Poland. *Lithos*, 20: 311-321.

Alkaline lavas from southwestern Poland have been analysed for major and trace elements and Sr and Nd isotope composition. K-Ar age determinations indicate that the olivine nephelinites, basanites, hawaiites and trachytes were erupted during three episodes at about 30 Ma. A depleted mantle source is inferred for the mafic lavas from their  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  (0.70342-0.70376) and  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  (0.51278-0.51288) ratios, while the trachytes give higher  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratios (0.7045) explained by some crustal assimilation. Chemical and isotopic differences between nephelinites and basanites suggest that each rock type was derived from a distinct mantle source.

Terra Cognita, 6, 2, 138, 1986

**SJ8**

### **TRACE-ELEMENT COMPOSITION OF MANTLE MAGMA SOURCES: APPLICATION OF INVERSE METHODS TO THE PITON DE LA FOURNAISE VOLCANO (REUNION ISLAND)**

FRANCIS ALBAREDE and VIRGINE TAMAGNAN  
CRPG-ENSG, Vandoeuvre-les-Nancy, France

Trace elements in basalts carry unique information on the composition of their source. Unfortunately, the trace-element signal is most often blurred by superimposing effects which must be sorted out by appropriate chemical and inverse numerical methods. a) Heterogeneous isotopic compositions imply distinct mantle sources which, eventually, may be very distant from each other. A prerequisite of a trace element work is therefore an assessment of isotopic heterogeneities. b) Fractional crystallization in either closed or open systems alter the primitive element content of magmas. This problem is largely overdetermined and standard inverse methods exist which allow recovery of primitive melt concentrations reasonable well (with the noticeable exception of the most compatible elements) c) In principle, at least, data on melts produced by simple batch melting may be inverted to recover source composition and modal parameters of melting but minerals such as olivine and, to a lesser extent, orthopyroxene, are loosely constrained. Up to now, the more complicated continuous melting process has not been given a unique inverse solution.

An application of this approach is made to recent Mauna Ulu (Hawaii) and Piton de la Fournaise (Réunion Island) basaltic volcanoes which both present a conspicuous Nd, Sr, and Pb isotopic homogeneity. For Piton de la Fournaise, major and trace element determination on each phase allows the phenocryst fraction and the fractional crystallization to be accounted for, thereby providing access to a reasonable estimate of primitive melts. Secular variations in the Th/Zr, Th/Sr, and Ce/Yb ratios are interpreted as reflecting variable degree of melting and garnet/clinopyroxene ratio.

Inversion of the corrected trace element data turns out to not constrain very well the absolute abundance of olivine and orthopyroxene in the source since no element is found with partition coefficient intermediate between those of transition elements (too much affected by fractional crystallization) and incompatible elements ( $D=0$ ). However, the "shape" of the extended REE pattern is fairly well determined. The best fit solution suggests a LRE-depleted mantle source with a low clinopyroxene/garnet ratio (depleted harzburgite) in accord with Nd-isotope data inference, and a <0.5 percent degree of melting. However, a "latent" solution (secondary minimum) with a LRE-enriched harzburgitic mantle source and a ca; 5 percent degree of melting (metasomatized mantle) provide a not so good fit but cannot be rejected absolutely. Influence of the choice of partition coefficients on this dilemma will be discussed.

# CHEMICAL ANALYSES AND DIFFUSION STUDIES OF GASES IN ANDESITIC LAVAS: ARENAL VOLCANO (COSTA RICA)\*

J.L. ZIMMERMANN<sup>1</sup>, J.L. CHEMINÉE<sup>2,3</sup> and H. DELORME<sup>3,4</sup>

<sup>1</sup>Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques, F-54501 Vandoeuvre-lès-Nancy Cédex (France)

<sup>2</sup>Laboratoire de Géologie, École Normale Supérieure, F-75005 Paris Cédex (France)

<sup>3</sup>Observatoires Volcanologiques, I.P.G.P., F-75230 Paris Cédex 05 (France)

<sup>4</sup>Laboratoire de Géochimie des Isotopes Stables, F-75000 Paris Cédex 05 (France)

(Accepted for publication July 11, 1986)

## Abstract

Zimmermann, J.L., Cheminée, J.L. and Delorme, H., 1987. Chemical analyses and diffusion studies of gases in andesitic lavas: Arenal Volcano (Costa Rica). In: E.E. Horn and J.-J. Behr (Guest-Editors), Current Research on Fluid Inclusions, ECRFI, Göttingen, April 10-12, 1985. Chem. Geol., 61: 299-308.

Early in 1981, the eruptive behavior of the Arenal Volcano changed - an essentially effusive period was interrupted by an explosive phase. Analyses by mass spectrometry of occluded gases ( $H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $CO$ ,  $N_2$ ,  $H_2$  and  $CH_4$ ) in lava samples both younger and older than the explosive event were carried out. Although the fluid phases have approximately the same composition, the more recent lavas are enriched in gases relative to the older ones. Dehydration takes place at temperatures  $\sim 50^\circ C$  higher for the older lavas. Distinctive  $H_2O$  and  $CO_2$  diffusion lines and  $CO/(CO + CO_2)$  ratios (0.35 and 0.30, respectively), for both lava types substantiate this difference. Some organic compounds are also present in all samples albeit in small quantities.

Terra Cognita, 7, (2-3), 360, 1987

G11.36

## CARBONIFEROUS RHYOLITIC VOLCANISM, SOUTHERN VOSGES: PETROLOGY, GEOCHEMISTRY AND RELATION WITH PLUTONISM

A. BENNOUNA\*, M. PICHAVANT & J.M. STUSSI  
(CRPG, Vandoeuvre-lès-Nancy, France)

The Molkenrain rhyolitic volcanics, southern Vosges, form part of a carboniferous volcano-plutonic (the Ballons monzogranite) association. These are crystal-rich ash-flow tuffs (40 to 50 % phenocrysts). Three different types have been distinguished: type A (abundant fiamme, quartz-poor), type B (fiamme absent) and type C (fiamme absent, quartz- and sanidine-rich). These are subalkaline latites or latit-rhyolites ( $SiO_2 = 61-66\%$ ) with high  $K_2O$  (4.0-5.2 %) and  $MgO$  (2.0-3.4 %). Magnetite (from Ti- and Cr-rich to nearly pure  $Fe_3O_4$ ), plagioclase (from An 55 to An 35) and clinopyroxene (from Cr-rich diopside to salite and augite) are early phases, followed by biotite ( $Mg\# = 0.55-0.50$ ), Mg-hornblende ( $Mg\# = 0.6-0.7$ ), sanidine ( $Or_{75-80}$ ) and quartz. Biotite is definitely earlier than hornblende and may be found included in pyroxene. The mineralogical data, in particular the high  $Cr_2O_3$  of the early phenocrysts (up to 15 % in magnetite and 0.9 % in pyroxene) suggest mixing between mantle-derived and crustal magmas. Pyroxene-biotite

associations imply low  $f_{H_2O}$ . Two-feldspar temperatures scatter between 550 and 950°C, average 710°C.  $f_{O_2}$  is bracketed between the NNO buffer (lower limit) and sphene-bearing equilibria (upper limit, 2 log units higher than NNO). The Ballons monzogranite contains sphene and the parental magma evolved under higher  $f_{O_2}$ ,  $f_{H_2O}$  and lower T (from plagioclase compositions) than the rhyolitic magmas. This is consistent with the monzogranite mineral chemistry: magnetites are low in Ti, biotites and amphiboles are richer in Mg than in the volcanics. Major elements are identical for the volcanics and for the monzogranite when data are corrected for the loss of vitric fraction during eruption.

Thèse 3e Cycle, Université Nancy I, juin 1987

Azzeddine BENNOUNA

## LE VOLCANISME RHYOLITIQUE CARBONIFERE DES VOSGES MERIDIONALES: PETROLOGIE, MINERALOGIE, GEOCHIMIE ET RELATIONS AVEC LE PLUTONISME.

Les rhyolites dites du Molkenrain sont des tufs ignimbristiques ("phenocryst-rich ash flow") appartenant au complexe volcano-sédimentaire et plutonique (massif des Ballons) varisque des Vosges méridionales. Elles contiennent en moyenne 50% de phénocristaux de biotite, hornblende, (pyroxène), plagioclase, sanidine, quartz, apatite, zircon et de minéraux opaques. Trois faciès principaux y ont été distingués, caractérisés par l'abondance de fiammes ("A"), de cristaux ("B") ou de sanidine et de quartz ("C").

L'étude cristallogénétique des phases minérales a montré que les minéraux colorés en particulier les titanomagnétites sont souvent chromifères et le coeur des plagioclases à composante anorthitique élevée. Les variations de compositions des minéraux en fonction de leur site textural sont compatibles avec un processus de fractionnement magmatique.

L'estimation des principaux paramètres physico-chimiques,  $f(O_2)$ ,  $f(H_2O)$ ,  $T(^{\circ}C)$  et  $P_t$ , contrôlant la cristallisation est basée sur les assemblages minéralogiques. On montre que (1) la  $f(O_2)$  est comprise entre le tampon NNO et l'assemblage à sphène stable; (2) la T d'équilibre des deux feldspaths<sub>2</sub> est en moyenne de l'ordre de 750°C; (3) la  $f(H_2O)$  est de l'ordre de  $10^2$ ; (4) la  $P_t$  est de l'ordre de 2 Kbar.

L'étude des caractères chimiques actuels a mis en évidence des compositions différentes des trois faciès A, B et C. Leurs compositions sont celles de rhyolites d'associations subalcalines ou shoshonitiques. Les compositions du magma parent des rhyolites, corrigé de l'effet du fractionnement dynamique phénocristaux-matrice lors de l'éruption, sont très proches sans les atteindre strictement, de la composition des monzogranites des Ballons.

L'étude des relations pétrogénétiques entre les rhyolites et les monzogranites des Ballons montre, d'après les critères chimiques roches totales et surtout minéraux, que le magma parent des monzogranites a évolué sous des conditions thermodynamiques différentes, notamment sous plus forte  $f(O_2)$  et plus faible T, de celles qui caractérisent le magma parent des rhyolites.

## Le volcanisme post-collision stéphanien à anté "permo-triasique" des Alpes françaises

### The Stephanian to ante "Permo-Triassic" post-collision volcanism of the French Alps

par H. OUAZZANI (\*), G. BANZET (\*\*) et H. LAPIERRE (\*)

**Résumé.** — Le magmatisme stéphanien à anté "permo-triasique" des Alpes françaises s'associe à une sédimentation détritique (conglomérats, grès et pélites) fluviale, accessoirement lacustre ou marécageuse. Exclusivement hypovolcanique dans les zones internes (Briançonnais), il se manifeste dans les zones externes (Grandes Rousses) par des séquences pyroclastiques où s'intercalent des coulées acides (quartz-latites) et basiques (latibasaltes et latiandésites), auxquelles succèdent (col de la Croix de Fer) de puissants épanchements de quartz-latiandésites.

Dans la zone briançonnaise, les composants magmatiques sont des sills et/ou des filons de microdiorite et d'andésite.

La série stéphanienne des Grandes Rousses, fortement différenciée, présente des affinités shoshonitiques marquées (fortes teneurs en  $K_2O$ , en éléments lithophiles et terres rares légères, teneurs en  $TiO_2$  généralement inférieures à 1, absence d'enrichissement en fer) et s'apparente aux associations sub-alkalines potassiques de la chaîne hercynienne d'Europe.

Les dolérites, andésites, microdiorites et les microgranites briançonnais (post-stéphanien inférieur à anté "permo-trias" appartiennent à une série calco-alkaline de marge active (caractère isotitané, enrichissement en terres rares légères).

Ces deux manifestations du magmatisme permo-carbonifère sont apparues au droit de bassins subsidents.

L'origine de ce magmatisme orogénique permo-carbonifère est actuellement diversement interprétée. Il constitue un exemple de magmatisme post-collision non directement lié au processus de subduction proprement dit. Cette hypothèse est corroborée par les analogies qu'il présente avec le volcanisme oligocène des Alpes franco-italiennes, également post-collision.

**Abstract.** — *The Stephanian to ante "Permo-Triassic" magmatism of the French Alps is associated to a detritic (conglomerats, sandstones and pelites) fluvial and accessory lacustrine or swampy sedimentation. Being mainly hypovolcanic in the internal zones (Briançonnais) in the external zones (Grandes Rousses) it manifests itself by pyroclastite bands interstratified by acid (quartz-latites) and basic (latibasaltes and latiandesites) flows, on which succeeds (pass of Croix de Fer) large flows of quartz-latiandesites.*

*The highly differentiated Stephanian series of Grandes Rousses, have shoshonitic affinities marked by a high  $K_2O$  value, lithophile elements and LREE,  $TiO_2$  value < 1%, generally lack of enrichment in iron. They are attached to the subalkaline potash series of the Hercynian chains of Europe. Dolerites, andesites, microdiorites and microgranites of the briançonnais zone Post lower Stephanian to ante "Permo-Trias" belong to a active margin calc-alkaline series (isotitanous character, enrichment in LREE). These two magmatism occur in the subsident basins. The origin of the orogenic magmatism is presently diversly interpreted. It constitutes an example of a post-collision magmatism not directly linked to subduction process in the strict sence. This hypothesis is confirmed by other analogies of the Oligocene volcanism of the Franco-Italian Alps, equally post-collision.*

## Paleozoic and Lower Mesozoic magmas from the eastern Klamath Mountains (North California) and the geodynamic evolution of northwestern America

H. LAPIERRE<sup>1</sup>, M. BROUXEL<sup>1,2</sup>, F. ALBAREDE<sup>2,3</sup>, C. COULON<sup>4</sup>, C. LECUYER<sup>1</sup>,  
P. MARTIN<sup>1</sup>, G. MASCLE<sup>5</sup> and O. ROUER<sup>1</sup>,

<sup>1</sup> *Laboratoire de Pétrologie, U.A. 735, Université de Nancy I, B.P. 239, 54506 Vandœuvre-lès-Nancy cedex (France)*

<sup>2</sup> *Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques, B.P. 20, 54501 Vandœuvre-lès-Nancy cedex (France)*

<sup>3</sup> *Ecole Nationale Supérieure de Géologie, 94 Avenue de Lattre-de-Tassigny, B.P. 452, 54001 Nancy cedex (France)*

<sup>4</sup> *Laboratoire de Pétrologie, Université d'Aix-Marseille III, centre de Saint-Jérôme, rue H. Poincaré, 13397 Marseille cedex (France)*

<sup>5</sup> *Université de Grenoble, Institut Dolomieu, rue Maurice Gignoux, 38031 Grenoble cedex (France)*

(Received April 22, 1986; revised version accepted December 16, 1986)

### Abstract

Lapierre, H., Brouxel, M., Albarede, F., Coulon, C., Lecuyer, C., Martin, P., Mascle, G. and Louer, O., 1987. Paleozoic and Lower Mesozoic magmas from the eastern Klamath Mountains (North California) and the geodynamic evolution of northwestern America. *Tectonophysics*, 140: 155–177.

The Paleozoic to Early Mesozoic geology of the eastern Klamath Mountains (N California) is characterized by three major magmatic events of Ordovician, Late Ordovician to Early Devonian, and Permo-Triassic ages. The Ordovician event is represented by a calc-alkalic island-arc sequence (Lovers Leap Butte sequence) developed in the vicinity of a continental margin. The Late Ordovician to Early Devonian event consists of the 480–430 Ma old Trinity ophiolite formed during the early development of a marginal basin, and a series of low-K tholeiitic volcanic suites (Lovers Leap Basalt—Keratophyre unit, Copley and Balaklala Formations) belonging to intraoceanic island-arcs. Finally, the Permo-Triassic event gave rise to three successive phases of volcanic activity (Nosoni, Dekkas and Bully Hill) represented by the highly differentiated basalt-to-rhyolite low-K tholeiitic series of mature island-arcs. The Permo-Triassic sediments are indicative of shallow to moderate depth in an open, warm sea. The geodynamic evolution of the eastern Klamath Mountains during Paleozoic to Early Mesozoic times is therefore constrained by the geological, petrological and geochemical features of its island-arcs and related marginal basin.

A consistent plate-tectonic model is proposed for the area, consisting of six main stages: (1) development during Ordovician times of a calc-alkalic island-arc in the vicinity of a continental margin; (2) extrusion during Late Ordovician to Silurian times of a primitive basalt-andesite intraoceanic island-arc suite, which terminated with boninites; the latter suggest rifting in the fore-arc, followed by the breakup of the arc; (3) opening and development of the Trinity back-arc basin around 480–430 Ma ago; (4) eruption of the Balaklala Rhyolite either in the arc or in the fore-arc, ending in Early Devonian time with intrusion of the 400 Ma Mule Mountain stock; (5) break in volcanic activity from the Early Devonian to the Early Permian; and (6) development of a mature island-arc from the Early Permian to the Late Triassic.

The eastern Klamath Mountains island-arc formations and ophiolitic suite are part of the "Cordilleran suspect terranes", considered to be Gondwana margin fragments, that have undergone large northward translations before final collision with the North American craton during Late Mesozoic or Cenozoic times. These eastern Klamath Mountains island-arcs could be associated with the paleo-Pacific oceanic plate that led to accretion of these allochthonous terranes to the American margin.

## The deep layers of a Paleozoic arc: geochemistry of the Copley-Balaklala Series, northern California

Marc Brouxel<sup>1,2</sup>, Henriette Lapiere<sup>2</sup>, Annie Michard<sup>1</sup> and Francis Albarède<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques, B.P. 20, 54501 Vandoeuvre-les-Nancy (France)

<sup>2</sup> Laboratoire de Pétrologie, U.A. 735, Université de Nancy I, Nancy (France)

<sup>3</sup> Ecole Nationale Supérieure de Géologie de Nancy, Nancy (France)

Received January 27, 1987; revised version accepted July 8, 1987

REE, Zr, Nb concentrations and Sr, Nd isotope compositions have been measured in Copley basalts and andesites, Balaklala rhyolites, and Mule Mountain trondhjemites (northern California) which represent the deep layers of a well preserved intra-oceanic island arc of Siluro-Devonian age. <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr is shifted towards high values (up to 0.707) whereas Ce is preferentially removed from rhyolites. A large proportion of the analyzed samples including some acidic rocks shows a pronounced depletion in light REE. The  $\epsilon_{Nd}(T)$  values of most Copley, Balaklala, and Mule Mountain rocks fall in the range +6 to +8 which suggests that they originated from a normal MORB-type source ( $\epsilon_{Nd}(T) \approx +9$ ) contaminated with either sediments or an OIB-type component.

In modern island arcs, only the shallow levels are accessible: comparison with the Copley-Balaklala-Mule Mountain Series suggests that, at depth, an immature island arc is likely to comprise thick layers of LILE-depleted tholeiites and rhyolites intensely altered by pervasive circulation of seawater. Least-square solutions of trace element models suggest that rhyolites and trondhjemites represent remelting of mafic volcanics from the arc basement rather than residual melts of basalt-andesite differentiation.

Journal of Petrology, Vol. 27, Part 6 pp. 1305-1329, 1986

## Mineral Chemistry and Crystallization Conditions of the Maboutou Layered Gabbro-Syenite-Granite Complex, North Cameroon

by IAN PARSONS<sup>1</sup>, WILLIAM L. BROWN<sup>2</sup> AND HERVE JACQUEMIN<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup> Department of Geology and Mineralogy, The University, Aberdeen AB9 1AS, Scotland

<sup>2</sup> CRPG, B.P. 20, 54501 Vandoeuvre-les-Nancy Cedex, France

<sup>3</sup> Laboratoire de Pétrologie-Géochimie, Université de Nancy I, B.P. 239, 54506 Vandoeuvre-les-Nancy Cedex, France

(Received 19 March 1986; revised typescript accepted 9 June 1986)

### ABSTRACT

The Maboutou complex is one of a line of early Tertiary ring complexes which runs from Lake Chad to the Gulf of Guinea, none of which has hitherto been described in detail. The main rock types are layered gabbros and gabbronorites, with minor bodies of quartz-syenodiorite, quartz-syenite and hypersolvus granite. Feldspars form a continuum with exceptional compositional range, from  $An_{85}Ab_{13}Or_2$  to around  $An_1Ab_{46}Or_{55}$ , and form an entirely hypersolvus sequence with very strong zoning in the syenodiorites. Ca-rich clinopyroxenes (salite and calcic augite) and olivines ( $Fo_{78-62}$ ) have restricted range. Orthopyroxene-bearing leucogabbros and syenodiorites contain minor orthopyroxene ( $En_{62}Fs_{35}Wo_3$ ) and quartz; olivine and orthopyroxene never coexist. In more evolved rocks amphibole (magnesian hornblende to ferroedenite) and minor biotite, showing progressive Fe-enrichment, are the only mafic silicates.

Major-element rock chemistry, minor elements in clinopyroxenes and biotite chemistry show that, notwithstanding its thoroughly anorogenic setting, Maboutou was, at the outset, only very mildly alkaline. Its more evolved members embarked on a line of evolution with some calc-alkaline characteristics, probably because of ingress of water into residual batches of magma, a possibility supported by stable isotope data. This change in behaviour corresponded with the sudden appearance of quartz and orthopyroxene, which was not in equilibrium with clinopyroxene on the two-pyroxene surface. Amphibole then became the main mafic silicate with further increase in  $P_{H_2O}$ . The more evolved rocks are relatively highly altered, but Fe-Ti oxide pairs suggest that  $f_{O_2}$  was maintained near to and above the QFM buffer and the range of biotite compositions further suggests crystallization under a regime of decreasing  $f_{O_2}$ . Biotites maintain alkaline characteristics throughout the sequence. Zoning patterns in the ternary feldspars in the syenodiorites, and the hypersolvus character of the final granite, limit maximum values of  $P_{H_2O}$  to < 1 kb, and suggest minimum temperatures for the end of crystallization in the syenodiorites of ~ 850 °C.



# Monzo-anorthosite from the Tagueï ring-complex, Air, Niger: a hybrid rock with cumulus plagioclase and an infiltrated granitic intercumulus liquid?

Christian Moreau<sup>1</sup>, William L. Brown<sup>2</sup>, and Jean-Paul Karche<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Département de Géologie, Faculté des Sciences, Dakar-Fann, Sénégal

<sup>2</sup> CRPG, BP 20, 54501 Vandoeuvre-lès-Nancy Cédex, France

<sup>3</sup> Laboratoire de Pétrographie, Faculté des Sciences, 25030 Besançon Cédex, France

**Abstract.** An unusual hybrid rock composed of cumulus plagioclase with the interstices occupied by abundant quartzo-feldspathic material occurs in the Tagueï ring complex, Niger. The monzo-anorthosite consists of about 75% plagioclase in large tabular to elongate crystals with interstices occupied in two stages, firstly by clinopyroxene, titanomagnetite and apatite and then by an intergrowth of quartz and alkali feldspar associated with brown-green amphibole and zircon. Secondary green amphibole, chlorite, epidote and calcite may occur. Four stages in the crystallization history were identified:

(1) Cumulus stage represented by the cores of the plagioclase laths ( $An_{5.6} - An_{6.6}$  with reversed oscillatory zoning) and rare clinopyroxene ( $T \sim 1,150^\circ C$ ).

(2) Early intercumulus stage with a wide overgrowth zone on plagioclase ( $An_{6.2} - An_{1.5}$  with oscillatory zoning and increase in Or), clinopyroxene, apatite, titanomagnetite ( $T \sim 1,150 - 1,050^\circ C$ ).

(3) Late intercumulus stage with alkali feldspar, quartz, opaque oxide, brown-green amphibole, apatite and zircon ( $T \sim 750 - 700^\circ C$ ). Alkali feldspar gave cryptoperthite on further cooling.

(4) Deuteric stage with development of turbidity in the alkali feldspar and plagioclase rims, and formation of patch perthite with microcline and secondary minerals ( $T \sim 400^\circ C$ ).

The contrast in mineralogy, the large gap of  $\sim 300^\circ C$  between the early and late cumulus stages and the great abundance of quartz and alkali feldspar ( $\sim 20\%$ ) suggest that the late-stage liquid of granitic composition which filled the interstices was not a simple residual liquid which crystallized in situ. From chemistry (including REE) it is almost identical to the later radial granite dykes. From gravity measurements the intrusion has the form of a pipe with less dense rocks below the present exposure level. We propose that a pulse of granite magma rose within the pipe just before complete consolidation of the leucogabbro and replaced by infiltration the denser residual intercumulus liquid.

Terra Cognita, 7, (2-3), 113, 1987

G06.31P

## THE SUZHOU COMPLEX (EASTERN CHINA): PETROLOGICAL AND GEOCHEMICAL CONSTRAINTS ON THE ORIGIN OF ZIRCON MINERALIZATION RELATED TO HYPERSOLVUS MAGMATISM

B. CHAROY\*

(CRPG, Vandoeuvre, France)

The Suzhou complex (80 km west of Shanghai, Eastern China) forms a sequence of telescoped granite intrusions of various types (porphyry to coarse-grained). Most

can be referenced as high Si, low Ca and Mg felsic granites. Hypersolvus and transolvus types are closely intricated. The mineralogy is typical of peralkaline granites : coarsely perthitic microcline, few plagioclase (in transolvus granite), fluorite, quartz and late biotite. Accessories such as zircon, monazite and magnetite are numerous and related with biotite growth. In spite of these mineralogical features, the granites show a mildly peraluminous character (0.5 to 2.5 wt % normative corundum) acquired late in the crystallisation sequence. However trace-element data confirm the peralkaline affinities with high levels of HFS (high field strength) elements (Nb, Zr, Th, U, Y). They give somewhat flat HREE-enriched chondrite normalized REE patterns. Differentiation is evidenced by increasing Eu anomaly with time. Biotite rich lenses or layers (up to 200 m long) occur close to the top of the pluton. In these lenses, the accessory suite is well represented by zircon (1.5 wt % Zr), Th carbonate, fluorite. Because of structural and chemical constraints, two origins for these biotite-rich lenses can be postulated :

- modification and reequilibration of host sedimentary rock horizons (cauldron subsidence),

- the structurally controlled crystallisation of the ultimate ultradifferentiate magma enriched in ferrous components and trace elements.

### Intern. Symp. on Petrogenesis and Mineralization of granitoids - Dec 7-10 1987 CANTON, CHINA

#### THE SUZHOU GRANITE COMPLEXE (EAST CHINA) : EVOLUTION FROM GRANITE TO BIOTITITE WITH CONSEQUENT ZR AND REE MINERALIZATION.

CHAROY B., COUTURIE J.P., RAIMBAULT L., LIU Y.  
(CRPG, Nancy, France) (Clermont, Fr) (St Etienne, Fr) (Acad. Sinica, China)

The Suzhou complex (80 km West of Shanghai) is formed of a sequence of telescoped granite intrusions of various types where 2 main magmatic cycles can be discriminated:

- from subsolvus amphibole-biotite porphyry to hypersolvus biotite seriate granites ( $\gamma_1$ ,  $\gamma_2$ ,  $\gamma_3$  respectively),
- from trans to hypersolvus biotite granites ( $\gamma_2$ ).

Most often, the mineralogy looks typical of alkaline granites with early coarse braided perthite and a late accessory suite. Much of the granite types can be referenced as high Si, low Ca (saturated by F) and Mg felsic rocks. Normative Q + Ab + Or makes up to 95% of the mineral content. Minor and trace element behaviour confirms their alkaline affinity with high levels of HFS elements (Nb, Zr, Hf, Th, U, Y). All are distributed in the WPG (Within Plate Granite) domain of the Rb - (Y + Nb) discriminant diagram of PEARCE et al. (1984).

Biotite rich occurrences ( $\gamma_1$ ,  $\gamma_2$  up to true biotite = up to 70% of biotite in volume) are associated with the second intrusive cycle with a close spatial relation with the roof of the pluton. From  $\gamma_2$  to biotite-rich occurrences, REE patterns show a progressive enrichment in HREE, when LREE remains constant (fig.1). The accessory suite (up to 30.000 chondrite normalized for Yb) is enriched with thorium, new grown zircon (zircon 2) in numerous aggregates and fluorite (F up to 4% in the whole rock) (fig.2). Consequently, biotite-rich occurrences show a well comprehensible increase in Fe but especially a strongly enhanced content of Zr (1.7%), HREE (950 ppm), Th (1600 ppm), U (735 ppm), Nb (640 ppm) and Y (1850 ppm).

An hydrothermal origin for these biotite rich occurrences is unlikely because = i) close spatial relations with the roof of the pluton (infill of early decompressive flat joints ?), ii) sharp contact with the host rocks, iii) progressive enrichment in biotite content up to true biotitite, iiiii) no or weak variation in the biotite composition from  $Y_2$  to biotitite, iiiiii) progressive evolution in the minor and trace element distribution from  $Y_2$  to biotitite.

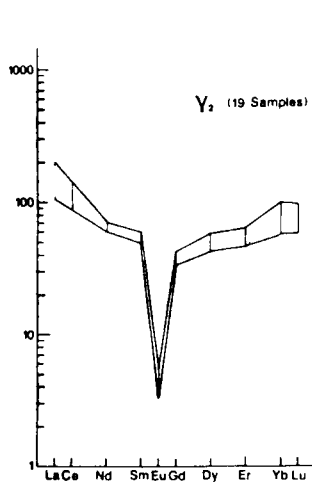


Fig. 1

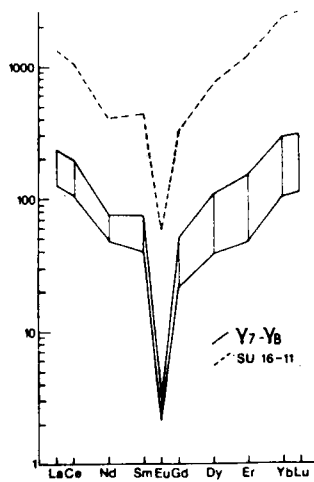


Fig. 2

Biotitite can be understood i) either as an enlargement in the mechanism of fractional crystallization of  $Y_2$  magma. Nb, Ta, HREE, Th, Zr and Fe have an incompatible behaviour and are concentrated in ultimate exotic rich segregations, ii) or as the result of the mixing of  $Y_2$  magma with an escaped (exsolved ?) fluorine rich fluid strongly enriched in Fe, Th, Zr, HREE (as fluoride complexes ?). Also both hypotheses can be genetically connected.

Fig.1 - REE evolution in the second intrusive sequence from  $Y_2$  to biotitite (sample SU 16-11).

Fig.2 - REE pattern of the accessory suite in the SU 16-11 sample.

PEARCE et al. (1984) - J. of Petrology, 5, pp.956-83.

Tectonophysics, 134 (1987) 39-57

## Crustal generation of the Himalayan leucogranites \*

P. LE FORT<sup>1,5</sup>, M. CUNEY<sup>2,5</sup>, C. DENIEL<sup>3,5</sup>, C. FRANCE-LANORD<sup>1,5</sup>  
S.M.F. SHEPPARD<sup>4</sup>, B.N. UPRETI<sup>4</sup> and P. VIDAL<sup>3,5</sup>

<sup>1</sup> Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques, B.P. 20, 54501 Vandoeuvre-lès-Nancy (France)

<sup>2</sup> C.R.E.G.U., B.P. 23, 54501 Vandoeuvre-lès-Nancy (France)

<sup>3</sup> Département de géologie et L.A. 10 (CNRS), 63038 Clermont-Ferrand (France)

<sup>4</sup> Department of Geology, University of Kathmandu (Nepal)

<sup>5</sup> Greco Himalaya-Karakorum (CNRS), 1 place Aristide-Briand, 92100 Meudon (France)

(Received August 13, 1985; accepted April 7, 1986)

## Abstract

Le Fort, P., Cuney, M., Deniel, C., France-Lanord, C., Sheppard, S.M.F., Upreti, B.N. and Vidal, P., 1987. Crustal generation of the Himalayan leucogranites. In: H.K. Gupta (Editor), *Deep Seated Processes in Collision Zones. Tectonophysics*, 134: 39–57.

Detailed studies of the Himalayan two-mica leucogranites, such as the Manaslu pluton, indicate that they have very uniform mineralogical, petrological and structural characteristics. One can relate their occurrence to the thickest zones of the underlying Tibetan Slab. In these zones, migmatization attains its greatest development and vertical extension. The granite is emplaced at first along the main disharmonic plane above the Main Central Thrust (MCT), at the top of the Tibetan Slab (infrastructure). Ductile deformation of the granite is variable: the granite being syn- to late-kinematic with regard to the functioning of the MCT.

Major elements are very homogeneous (except for Na and K) implying that  $P$ - $T$  conditions of melting were relatively uniform. The melted material was of a similar composition over a vast volume, and the percentage of melting was small (10–15%). Trace elements are highly variable. Some are characteristic for very evolved material (Ta, Rb, Cs, U) or show the link with the Tibetan Slab (Ba–Sr), whilst others are problematic (Th, REE). REE and Th abundances, being much less in the granite than in the Tibetan Slab, imply that they have been extracted during one of the main stages of formation, possibly by monazite. Radiogenic (Pb, Sr, Nd) and stable (O) isotopes are consistent with the origin of the granite from the Tibetan Slab. However, the heterogeneous Sr isotopic ratios make age dating difficult and imply poor mixing or little fluid interaction during its evolution. H-isotope data indicate that magmatic compositions of the main body of the Manaslu granite have been preserved. Late or post-magmatic alterations are extremely local in the main pluton.

To the north, another belt of two-mica granites occurs whose characteristics are very similar to the High Himalaya belt. They were probably generated in a similar way during this recent intracontinental evolution.

Contrib Mineral Petrol (1987) 96:78–92

# Isotopic study of the Manaslu granite (Himalaya, Nepal): inferences on the age and source of Himalayan leucogranites

Catherine Deniel<sup>1</sup>, Philippe Vidal<sup>1</sup>, Angel Fernandez<sup>1</sup>, Patrick Le Fort<sup>2</sup>, and Jean-Jacques Peucat<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Département de Géologie et UA 10 (CNRS), F-63038 Clermont-Ferrand Cédex, France

<sup>2</sup> Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques (CNRS), F-54501 Vandoeuvre les Nancy, France

<sup>3</sup> Centre Armoricaïn d'étude structurale des socles (CNRS), F-35042 Rennes Cédex, France

**Abstract.** A detailed isotopic study of the Manaslu leucogranite was carried out. A U-Pb age of 25 Ma and a whole rock Rb-Sr age isochron of 18 Ma were obtained, suggesting that the magmatic activity lasted at least 7 Ma. Initial Sr isotopic ratios are very high (0.740 to 0.760) and initial Nd isotopic ratios are low ( $\epsilon_{Nd}^i$ : -13 to -16), and they show the existence of large isotopic variations even at the metre scale. These are not the result of perturbations by fluids but rather they reflect the initial isotopic heterogeneity of the source material which has not been obliterated by magmatic processes (e.g. fusion, mixing by convection). These results also support the crustal origin of this leucogranite. The Tibetan slab paragneisses, whose Sr and Nd isotopic ratios are very similar to those of the granite at an age of 20 Ma, are the most probable parental material. Nd model ages for both the leucogranite and the gneisses are in the range 1.5–2 Ga. A model of formation of the Manaslu granite by coalescence of different batches of magma is in agreement with the present data.

GÉOCHIMIE ET GÉOCHRONOLOGIE ISOTOPIQUES. — *Les leucogranites himalayens et leur région source probable : les gneiss de la « Dalle du Tibet »*. Note de Catherine Deniel, Philippe Vidal et Patrick Le Fort, présentée par Maurice Roques.

Des échantillons de divers leucogranites himalayens, prélevés sur 1 300 km le long de la chaîne, ont été analysés par les méthodes Rb-Sr et Sm-Nd. Les gneiss de la « Dalle du Tibet » ont également été étudiés par ces techniques. Les rapports isotopiques des gneiss à 20 M.a. et ceux des leucogranites sont très similaires. Cette observation, ainsi que les arguments de terrain, permettent de considérer les gneiss de la « Dalle du Tibet » comme le matériel parent probable des leucogranites.

ISOTOPIC GEOCHEMISTRY AND GEOCHRONOLOGY. — The Himalayan leucogranites and their probable parent material: the Tibetan slab gneisses.

Samples from different Himalayan leucogranites collected along 1 300 km of the High Himalayas were analyzed by the Rb-Sr and Sm-Nd methods. The Tibetan slab gneisses were also studied by those methods. The isotopic ratios of the gneisses and the leucogranites are similar at an age of 20 M.a. This observation and the field data suggest that the Tibetan slab gneisses were the parental material for these leucogranites.

Lithos, 20 (1987) 19-40

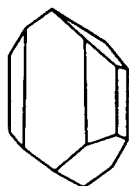
## Granites of western Karakorum and northern Kohistan (Pakistan): A composite Mid-Cretaceous to Upper Cenozoic magmatism

F. DEBON, P. LE FORT, D. DAUTEL, J. SONET and J.L. ZIMMERMANN

Centre de Recherches Péetrographiques et Géo-chimiques (C.R.P.G.), B.P. 20, 54501 Vandoeuvre-lès Nancy (France)

LITHOS

Debon, F., Le Fort, P., Dautel, D., Sonet, J. and Zimmermann, J.L., 1987. Granites of western Karakorum and northern Kohistan (Pakistan): A composite Mid-Cretaceous to Upper Cenozoic magmatism. *Lithos*, 20: 19-40.



The petrography, the chemical-mineralogical typology and the ages of six plutonic units, four from the Karakorum axial batholith (Darkot Pass, Ghamu Bar, Batura and Hunza units) and two of northern Kohistan (Gindai and Nomal plutons) are defined and compared based on field data and analyses of up to 78 samples (major elements, REE, Rb-Sr and K-Ar isotopes). The Karakorum axial batholith is a composite body. Three major intrusive stages occurred: (1) around Mid-Cretaceous times (ca. 110-95 Ma) with the emplacement of subalkaline, i.e. monzonitic (Darkot Pass) and calc-alkaline (Hunza, ?Ghamu Bar) units; (2) during Palaeogene, maybe up to 43 Ma (Batura subalkaline unit). A strong tectono-metamorphic event, recorded in the gneissification of the Cretaceous intrusives, occurred between these two stages; it may be of Palaeocene age. *P-T* estimates of the highest metamorphic grade rocks of the Hunza unit have yielded values of 580-640°C and  $5 \pm 0.5$  kbar; and (3) during Upper Miocene (ca. 9 Ma; Baltoro subalkaline unit; Debon et al., 1986c). In addition, a conspicuous network of aplo-pegmatitic dykes emplaced into the Hunza area, possibly from the Eocene up to the Upper Cenozoic with a maximum during the Middle Miocene (ca. 15 Ma). Most of these major magmatic stages are met again among the acidic intrusives and dykes of northern Kohistan: the first one as blastomylonitic tholeiitic plutons (Nomal; ca. 102 Ma; Petterson and Windley, 1985), the second one as subalkaline plutons (Gindai; ca. 59 Ma), and a third one as leucocratic dykes, of Oligocene age (ca. 30 Ma; Petterson and Windley, 1985).

These data may be related to the geodynamic evolution of the NW part of the India-Eurasia suture zone, thus allowing better constraints on the major steps of this evolution. The partly synchronous closures, by N-dipping subduction, of the two Tethys branches which are assumed to have encircled the Kohistan arc in Upper Mesozoic times, may have generated both the Karakorum and the Kohistan intrusives of Cretaceous and Palaeogene ages. The northern branch very likely closed before the southern one. At the time of the second intrusive stage (Palaeogene): (a) Kohistan and Karakorum had already collided, were welded and had suffered the same major tectonometamorphic event; (b) subduction of the southern Tethys floor beneath the welded Kohistan-Karakorum was still active; (c) however, collision between India and Kohistan-Karakorum may have already begun, particularly at the level of the Nanga Parbat promontory. Finally, it is emphasized that the intrusive processes continued in the Karakorum long after the collision (e.g., Baltoro granite).

(Received December 6, 1985; accepted after revision April 11, 1986)

## Major intrusive stages in Afghanistan: typology, age and geodynamic setting

By F. DEBON, Nancy, H. AFZALI, Orléans, P. LE FORT and J. SONET, Nancy\*)

With 7 figures and 3 tables

### Zusammenfassung

Afghanistan liegt beiderseits der Grenze zwischen Gondwana und Eurasien. Die meisten seiner großen Strukturgebiete sind mit bedeutenden Plutongürteln verbunden. Die Typologie der elf wichtigsten Plutongürtel ist mit Hilfe von etwa 700 chemischen Analysen vorgelegt. Diese Gürtel unterscheiden sich voneinander. Sie sind insgesamt mit einer großen Varietät petrographischer Typen (von Nephelin-Syeniten und Gabbros bis zu Muskovit- und Turmalin-Leukograniten) und magmatischer Assoziationen (von cafemischen oder alumocafemischen Assoziationen verschiedener Natur: tholeiitische, kalkalkalische, subalkalische i.e. monzonitische, alkalische, peralkalische, bis alumische Assoziationen) gebildet. Von der so definierten Typologie sowie von chronologischen Angaben aus wurden vier Phasen von plutonischen Intrusionen klargelegt, die mit der geodynamischen Entwicklung von Afghanistan und Zentral-Asien verbunden sind: (1) Frühpaläozoische alumische Phase (ca. 500 MA), mit linearen Krustenverdünnungen von Gondwana verbunden; (2) Triadische cafemische und alumo-cafemische Phase (ca. 230 MA), einer südlich unter Inselbogen ozeanischen Subduktion verbunden, die einen von dem Asiensüdrand getrennten breiten Kontinentstreifen einschließt; (3) cafemische und alumocafemische Kreidephase (ca. 100 MA), hauptsächlich an der unter des Gondwana Randpartien ozeanische Subduktionen gebunden; (4) eine Eozän-Oligozänphase (ca. 35 MA), die – durch die Indien-Eurasien Kollision eingeleitet – zwei ganz verschiedene Plutongruppen einschließt: (a) eine cafemische und alumo-cafemische Gruppe, die an Entspannungen beschränkt ist; diese sind meistens der nach Westen und der Heratspaltung entlang Zentral-Afghanistans Extrusion gebunden; sie sind beiderseits der Gondwana-Paläozoischasien Grenze lokalisiert, (b) eine alumische Gruppe, die aus einer Krustenverdickung von mehreren Gondwana Randteilen erfolgt.

### Abstract

Afghanistan straddles the Gondwana-Eurasia boundary. Most of its major structural areas comprise large plutonic belts. Based on some 700 major element analyses, the typology of the eleven main plutonic belts has been determined. These belts differ from each other. On the whole, they display a very broad range of petrographic types (from nepheline-syenites and gabbros to leucocratic muscovite-tourmaline granites) and a wide diversity of magmatic associations (from cafemic or alumino-cafemic associations of various types: tholeiitic, calc-alkaline, subalkaline i.e. monzonitic, alkaline, peralkaline, to various aluminous ones). Taking into account the typology of the belts and chronological data, four major intrusive stages have been recognized and related to the geodynamic evolution of Afghanistan (and Central Asia): (1) aluminous Lower Palaeozoic (ca. 500 Ma) stage, related to linear crustal thinning at the Gondwana scale; (2) cafemic and alumino-cafemic Triassic (ca. 230 Ma) stage, related to southward-dipping subduction of oceanic crust beneath an island arc involving a large continental strip detached from the southern Asia margin; (3) cafemic and alumino-cafemic Cretaceous (ca. 100 Ma) stage, dominantly related to subduction of oceanic crust under marginal Gondwana fragments; (4) Eocene-Oligocene stage (ca. 35 Ma), induced by the India-Eurasia collision, including two quite different groups of intrusives: (a) a cafemic and alumino-cafemic group, related to extensional phenomena dominantly associated with the westward extrusion of Central Afghanistan along the Herat fault; these phenomena occurred on both sides of the Gondwana-Palaeozoic Asia boundary; (b) an aluminous group, resulting from crustal thickening in marginal Gondwana fragments.

## PLUTONIC ROCKS AND ASSOCIATIONS IN AFGHANISTAN : TYPOLOGY, AGE AND GEODYNAMIC SETTING

François DEBON, Hachem AFZALI, Patrick LE FORT

Jacques SONET and Jean-Louis ZIMMERMANN

SCIENCES de la TERRE, Mémoire 49, 132 pages, 28 figures, 9 tableaux

NANCY, février 1987

ABSTRACT

Afghanistan straddles the Asia-Gondwana boundary. It is a geological mosaic-like assemblage of different palaeogeographical and structural areas. Plutonic rocks, still poorly known, widely occur in most of these areas. They make up several hundreds of plutons belonging to eleven major belts (Western Hindu Kush - Western Badakhshan, Feroz Koh, Band-e Bayan, North-Western Farah Rod, Helmand, Arghandab, Spin Boldak, Eastern Nuristan, Western Nuristan, Safed Khers, Wakhan). This study deals with a hundred plutons distributed among the eleven belts. Based on two field seasons carried out in 1975 and 1976, it comprises four parts. (I) The first part is a detailed table of the mean chemical compositions (major and some trace elements) of the different rock types recognized among each of the plutons studied. It is based on an homogeneous set of more than 700 chemical analyses (C.R.P.G., Nancy). (II) The second part, dominantly based on the 700 chemical analyses, is an individual description of the main petrographical and geochemical features of the plutons studied. In particular, a precise definition of the types of rocks and magmatic associations occurring in each pluton is given. On the whole, these types cover a very broad spectrum of rocks (from nepheline syenites or gabbros to leucocratic muscovite-tourmaline granites) and a wide diversity of magmatic associations (from cafemic or alumino-cafemic associations of various types - tholeiitic, calc-alkaline, subalkaline i.e. monzonitic, alkaline, peralkaline, ... - to various aluminous ones). This typology refers to the classification of Debon & Le Fort (1983). (III) The third part is a synthetic compiling of chronological data, mostly taken out from the literature, and obtained either by field observations or by absolute dating. Confident ages are still scarce. However, the available dates allow us to recognize four major intrusive stages, around 500, 230, 100 and 35 Ma. (IV) Based on the whole of the above data and on literature, the fourth part is an attempt at defining the geodynamic setting within which the genesis and emplacement of each of the eleven main plutonic belts occurred. Accordingly, we especially distinguish: (1) an aluminous Lower Palaeozoic (ca. 500 Ma) stage, related to linear crustal thinning at continent-scale (parts of several plutonic belts located in continental areas of Gondwanian origin: Western Nuristan, Helmand, ? Wakhan belts); (2) a cafemic and alumino-cafemic Triassic (ca. 230 Ma) stage, related to a south-dipping subduction of oceanic crust beneath an island arc involving a large continental strip detached from the southern Asia margin (Western Hindu Kush - Western Badakhshan belt and part of the Feroz Koh belt); (3) a cafemic and alumino-cafemic Cretaceous (ca. 100 Ma) stage, dominantly related to subduction of oceanic crust beneath either marginal Gondwana fragments (major parts of the Arghandab and Helmand belts, ? most of the Safed Khers and Wakhan belts, ? part of the Western Nuristan belt) and/or an island arc (most ? of the Eastern Nuristan belt); some of these subductions may have continued during Lower Cenozoic times (Spin Boldak belt, ? part of the Eastern Nuristan belt); (4) an Eocene-Oligocene stage (ca. 35 Ma), induced by the India - Eurasia collision and including two quite different groups of intrusives: (a) a cafemic and alumino-cafemic group, related to extensional phenomena dominantly generated by the westward extrusion of Central Afghanistan along major faults, in particular the Herat dextral wrench fault; this group was emplaced on both sides of the Gondwana - Palaeozoic Asia boundary (most ? of the Feroz Koh belt, part of the Band-e Bayan and of the North-Western Farah Rod belt); (b) an aluminous group, resulting from crustal thickening in marginal Gondwana fragments (part of the Western Nuristan belt, small parts of the Arghandab, ? Safed Khers and ? Wakhan belts). Finally, a summary of the "chemical-mineralogical classification of common plutonic rocks and associations" proposed by Debon & Le Fort (1983) is given in appendix of the memoir.

## CHEMICAL COMPOSITION AND TYPOLOGY OF 725 PLUTONIC ROCKS FROM AFGHANISTAN

(1987)

by

F. DEBON, K. GOVINDARAJU, M. MARCHAL & M. SARRE \*

ADDENDUM to: "Plutonic rocks and associations in Afghanistan: typology, age and geodynamic setting", *Mém. Sci. de la Terre*, Nancy, 49, 132 pp., 1987, by Debon F., Afzali H., Le Fort P., Sonet J. & Zimmermann J.L.

## PLUTONIC BELTS IN AFGHANISTAN : TYPOLOGY, AGE AND GEODYNAMIC SETTING

by

François DEBON\* (1), Hachem AFZALI (2), Patrick LE FORT\* (1) and Jacques SONET (1)

### ABSTRACT

Most of the great palaeogeographical and structural areas from Afghanistan include large plutonic belts. Based on some 700 major element analyses, the typology of the eleven main plutonic belts is determined. These belts differ from each other. On the whole, they display a very broad spectrum of petrographic types (from nepheline-syenites or gabbros to leucocratic muscovite-tourmaline granites) and a wide diversity of magmatic associations (from caferic or aluminocafemic associations of various types : tholeiitic, calc-alkaline, subalkaline i.e. monzonitic, alkaline, peralkaline, to various aluminous ones). The genesis of the plutonic belts thus characterized is related to the geodynamic evolution of the region (Afghanistan and neighbouring areas). Four major intrusive stages may be distinguished : aluminous stage of Lower Palaeozoic age, ca. 500 MA (1); caferic or aluminocafemic stages of Triassic, ca. 230 MA (2) and Mid-Cretaceous, ca. 100 MA (3) ages; aluminous (4a) and aluminocafemic or caferic (4b) stage of Upper Eocene-Oligocene age, ca. 30 MA. These different stages may be respectively related to : crustal thinning (stage 1); subduction of oceanic crust beneath active continental margin and/or island arc (stages 2 and 3); crustal thickening (stage 4a) and extensional phenomena (stage 4b), both processes resulting from the India-Eurasia collision.

Terra Cognita, 7, (2-3), 113, 1987

### S03.15

#### PLUTONISM AND GEODYNAMICS IN AFGHANISTAN

F. DEBON\*

(Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques,  
Vandoeuvre-lès-Nancy, France)

Afghanistan straddles the Gondwana-Eurasia boundary and includes a number of large plutonic belts. These belts differ from each other. On the whole, they display a very broad range of petrographic types (from nepheline-syenites and gabbros to leucocratic muscovite-tourmaline granites) and a wide diversity of magmatic associations (from caferic or aluminocafemic associations of various types: tholeiitic, calc-alkaline, subalkaline i.e. monzonitic, alkaline, peralkaline, to various aluminous ones).

Four major intrusive stages have been recognized: 1) aluminous Lower Palaeozoic (ca. 500 Ma) stage, related to linear crustal thinning at the Gondwana scale; 2) caferic and aluminocafemic Triassic (ca. 230 Ma) stage, related to southward-dipping subduction of oceanic crust beneath an island arc involving a large continental strip detached from the southern Asia margin; 3) caferic and aluminocafemic Cretaceous (ca. 100 Ma) stage, dominantly related to subductions of oceanic crust under marginal Gondwana fragments; 4) Eocene-Oligocene stage (ca. 35 Ma), induced by the India-Eurasia collision, including two quite different groups of intrusives: a) a caferic and aluminocafemic group, related to extensional phenomena dominantly associated with the westward ex-



trusion of Central Afghanistan along major faults; these phenomena occurred on both sides of the Gondwana-Palaeozoic Asia boundary; b) an aluminous group, resulting from crustal thickening in marginal Gondwana fragments.

*Debon P., Afzali H., Le Fort P. & Sonet J. (1986)- Plutonic belts in Afghanistan: typology, age and geodynamic setting. Livre jubilaire P. Bordet (P. Le Fort, M. Colchen & C. Montenat, eds), Mém. Sci. Terre, 47, 129-153.*

*-, -, - & - (1987)- Major intrusive stages in Afghanistan: typology, age and geodynamic setting. Geol. Rundsch., 76/1, 245-263.*

*-, -, -, - & Zimmermann J.L. (1987)-Plutonic rocks and associations in Afghanistan: typology, age and geodynamic setting. Mém. Sci. Terre, 49, 132 p.*

SCIENCES de la TERRE, Mémoire 47, pp. 191-209  
NANCY, novembre 1986

## THE 500 Ma MAGMATIC EVENT IN ALPINE SOUTHERN ASIA, A THERMAL EPISODE AT GONDWANA SCALE

by

Patrick LE FORT\* (1), François DEBON\* (1),  
Arnaud PÊCHER\* (2), Jacques SONET (1) and Philippe VIDAL\* (3)

### ABSTRACT

Numerous Cambro-Ordovician absolute ages have been recently determined from mainly plutonic bodies in southern Asia. They extend over more than  $10^6$  km<sup>2</sup> from the southern part of the Himalayan realm through the High Himalaya to the North Himalaya and even the Lhasa block of Tibet, whereas laterally they reach the Central Mountains of Afghanistan through the Pakistan-Afghan border. Their very similar characteristics include porphyritic texture, a peraluminous granite s.s. composition, a rather frequent association with dark microgranular inclusions. Regionally, the Cambro-Ordovician limit is often marked by uplift, erosion and disconformity. 500 Ma ago, India was part of Gondwana together with Australia and Antarctica. Oceanographic and geological considerations favour the proximity of India and western Australia, joining in a 10,000 km long belt, from Afghanistan to Antarctica, a large thermal episode associated here and there with deformation and metamorphism. The continental crust was mainly involved in this magmatic event, the boundaries of which were later reactivated during successive orogenies including the Main Central Thrusting along the Himalaya.

C. R. Acad. Sci. Paris, t. 305, Série II, p. 1157-1162, 1987

## Le pluton permien calcoalcalin de Montnègre (Chaînes Côtières Catalanes, Espagne) : étude isotopique Rb-Sr et comparaison avec les granites hercyniens des Pyrénées, Sardaigne et Corse

Pedro ENRIQUE et François DEBON

*Résumé* – Le complexe plutonique de Montnègre représente une association typiquement calcoalcaline formée de trois unités principales, elles-mêmes composites, où prédominent respectivement tonalites, granodiorites et monzogranites leucocrates [1]. Une isochrone Rb-Sr sur huit roches totales représentatives des trois unités lui confère un âge de  $269 \pm 4$  M.a. (Autunien) et un rapport  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  initial de  $0,71068 \pm 6$  ( $2\sigma$ ). Ces résultats sont discutés et comparés avec les données pyrénéennes, sardes et corses.

**El plutón pérmico calcoalcalino del Montnegre (Cadenas Costeras Catalanas, España) : estudio isotópico Rb-Sr y comparación con los granitos hercynianos de los Pirineos, Cerdeña y Córcega**

*Resumen* — El plutón del Montnegre, cuerpo compuesto formado por tres unidades principales de tonalitas, granodioritas y monzogranitos leucocráticos, respectivamente, constituye una asociación típicamente calcoalcalina [1]. Una isocrona de Rb-Sr en roca total (8 puntos), incluyendo muestras de las tres unidades, proporciona una edad de  $269 \pm 4$  M.a. (Autuniense) con una relación isotópica inicial  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  de  $0,71068 \pm 6$  ( $2\sigma$ ). Estos resultados son discutidos y comparados con los datos procedentes de los Pirineos, Cerdeña y Córcega.

**The Montnegre calc-alkaline Permian pluton (Catalonian Coastal Ranges; Spain) : Rb-Sr isotope study and comparison with the Hercynian granites from Pyrenees, Sardinia and Corsica**

*Abstract* — The Montnegre pluton, a composite body made up of three major units dominantly composed of tonalites, granodiorites and leucocratic monzogranites, respectively, represents a typical calc-alkaline association [1]. A whole rock Rb-Sr isochron (8 points), including samples from the three units, yields an age of  $269 \pm 4$  M.a. (Autunian) with an initial  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratio of  $0.71068 \pm 6$  ( $2\sigma$ ). These results are discussed and compared with data from the Pyrenees, Sardinia and Corsica.

**Narison RAZAFIMAHEFA**

**Thèse de l'Université de Nancy I juin 1987**

**GRANITES ET LEUCOGRANITES ALUMINEUX  
DU NORD-EST DU MASSIF DE MILLEVACHES**

**(Massif Central Français):  
PÉTROLOGIE, GÉOCHIMIE ET SYNTHÈSE CARTOGRAPHIQUE**

**R E S U M E**

L'étude de la partie Nord-Est du Plateau de MILLEVACHES (Massif Central français) a permis de mettre en évidence treize faciès pétrographiques différents. Une caractérisation chimique de ces faciès par les éléments majeurs, les éléments en trace et les terres rares, a été entreprise. Les variations cristalochimiques des minéraux essentiels viennent conforter les discriminations établies par les études pétrographiques et géochimiques. La cartographie établie sur la base de ces données montre que les faciès à biotite et cordiérite occupent la partie centrale du périmètre étudié; ce premier ensemble est ceinturé, en partie, par les faciès à sillimanite qui se trouvent en position zonéographique intermédiaire entre les précédent et les faciès à deux micas. La géochimie des éléments en trace, ainsi que les données expérimentales de JAMES et HAMILTON (1969) et de WINKLER (1979) montrent que la fusion partielle est à l'origine de ces faciès. Deux matériaux sources sont impliqués dans la genèse des faciès à biotite et cordiérite; l'ensemble des leucogranites (avec ou sans sillimanite) relève, par contre, de la fusion d'un matériau source unique. La diversité constatée, pétrographiquement et chimiquement, au sein de ce dernier ensemble est due à une ségrégation plus ou moins complète des phases résiduelles.

**Les massifs cristallins externes - Géologie alpine, t. 63, 1987, 95-117**

**INTERACTIONS CROUTE-MANTEAU ET GENESE DU  
PLUTONISME SUBALCALIN DU HAUT-DAUPHINE OCCIDENTAL  
(massifs cristallins externes, Alpes) :  
vaugnérîtes, durbachites et granitoïdes magnésio-potassiques**

**Par Gilles BANZET \***

## Résumé

Bien que des rééquilibrations avec la croûte continentale aient pu intervenir à divers stades de leur évolution, l'affinité lamproïtique des vaugnerites et des durbachites de la ceinture plutonique hercynienne du Haut-Dauphiné occidental est manifeste (notamment si on se réfère à la distribution de leurs terres rares) et rend compte de la majorité des particularités chimiques de ces plutonites. Elles se rapprochent en effet fortement, tant du point de vue des éléments majeurs que de celui des éléments en traces, des lamproïtes de type méditerranéen (classification de Foley et al., 1987), dont les lamproïtes miocènes du SE de l'Espagne sont des représentants types et pour lesquels l'intervention d'une contamination crustale n'a d'ailleurs pas été exclue (e.g. Venturrelli et al., 1984a; Mitchell et al., 1987).

L'intime association de ces plutonites d'origine mantellique à des granitoïdes (adamellites et granites s.s.), présentant eux-mêmes des affinités vaugneritiques (richesse en MgO, K<sub>2</sub>O, Ba, Sr, U, Th et terres rares légères; relation MgO > CaO), ne peut refléter une série de différenciation continue. Fondamentalement, il y a bimagmatisme acide et basique (e.g. majeurs, traces, isotopes du strontium). L'apparente consanguinité de l'ensemble des faciès ne serait ainsi qu'une conséquence de processus interactifs très poussés à des niveaux profonds entre magmas lamproïtiques et magmas granitiques alumineux d'origine crustale, hypothèse rejoignant les conclusions d'autres auteurs au sujet de la genèse de ce type d'associations acides et basiques à caractère magnésio-potassique (e.g. Sabatier, 1984). Les termes de composition intermédiaire, très abondants dans deux des plutons étudiés (les adamellites y étant en contrepartie beaucoup plus subordonnées), pourraient justement représenter des témoins de telles hybridations prononcées et non des faciès essentiellement issus d'une simple différenciation des magmas basaltiques Mg-K.

Il est également suggéré que la variabilité des rapports <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr initiaux (généralement élevés) des termes les plus sombres traduit davantage une hétérogénéité de leur source mantellique métasomatisée (pour laquelle il existe des arguments en faveur de la présence d'un composant crustal) que le jeu de rééquilibrations ultérieures, ces rapports pouvant être supérieurs à ceux des faciès acides, beaucoup plus homogènes.

## Abstract

The vaugnerites and durbachites from the Hercynian plutonic belt of the western Haut-Dauphiné have a lamproitic affinity specially well marked in their REE patterns. Their major and trace elements compositions are very similar to those of the lamproite of Mediterranean type such as the Miocene lamproites of SE Spain. For these, crustal contamination has been suggested. Similarly reequilibration with continental crust may have occurred at different

\* Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques B.P. 20, 54501 Vandœuvre-lès-Nancy

Terra Cognita, 7, (2-3), 389, 1987

### G16.23

#### THE SUBALKALINE BELT OF GRANITOID-BEARING VAUGNERITIC INCLUSIONS IN WESTERN HAUT-DAUPHINE (EXTERNAL FRENCH ALPS): ACCESSORY MINERALS AND REE GEOCHEMISTRY

G. BANZET\* & P. LE FORT  
(CRPG, Vandœuvre-lès-Nancy, France)

The subalkaline (*i.e.* monzonitic) belt of plutons aligned in the western part of the Haut-Dauphiné massif is made up of light coloured granitoids associated with dark ones, mica rich and amphibolic. The darkest ones have the mineralogy and the chemistry of typical vaugnerites. All these rocks are K and Mg-rich, a characteristic of many subalkaline Hercynian associations in France (e.g. Ballons, Crêtes, Margeride), and have large abundances of some trace elements such as Cr and Ni exist in the more mafic members; elements such as P, Ba, Sr, U, Th and LREE are abundant whatever the rock type.

Two different sets of accessory minerals have been identified: (1) a sphene-apatite-zircon-allanite-thorite association, very dominant, usual in most Hercynian subalkaline plutons, (2) a zircon-apatite-monazite-rutile association, in particular in the Rochail granite. The difference typically results from the lower Ca activity of the latter, bringing the crystallisation of monazite-rutile instead of sphene-allanite. The vaugneritic inclusions show systematically the first association but with allanite not very abundant. The typologic study of the zircons meets with the average points and the evolution trends of subalkaline potassic granitoids. The inclusions, however, may show lower IT Pupin's indexes that may correspond to crystallisation under higher water pressure.

REE concentrations and patterns also show a definite subalkaline potassic affinity as does the U and Th high concentrations. In particular, LREE are highly enriched, Eu present moderate anomalies whatever the fractionation degree, and the patterns show regular fractionations with typical La/Yb ratios from 27 to 36. The fractionation of accessories controls the overall REE abundance during differentiation. Using the REE analyses of separated accessories shows the importance of sphene, apatite and allanite for retaining LREE and that of sphene and zircon for the HREE.

Altogether, the granitoids and their mafic inclusions show uniform major and trace element geochemistry, the parallelism of REE patterns, in a given pluton and similar sets of accessories. However, these similarities do not imply necessarily that the whole association originated from the same source material.

Journal of African Earth Sciences, Vol. 5, N°6 pp. 607-615, 1986

## Pre-tectonic tholeiitic volcanism and related transitional plutonism in the Kidal assemblage (Iforas Pan-African Belt, Mali)

J. LETERRIER and J. M. BERTRAND

C.R.P.G., BP 20, 54501 Vandoeuvre Les Nancy Cedex, France

(Received for publication 1 April 1986)

**Abstract**—The Kidal assemblage corresponds to a high-grade tectonometamorphic unit situated beneath the IGU granulitic nappe. Pre-tectonic magmatic rocks of intermediate to ultrabasic compositions form more than 60% of the volume and were intensely foliated during the D1 event. Four groups have been defined: (i) alkaline leptynites associated with aluminous quartzites and dated at  $1837 \pm 17/-9$  Ma (Caby and Andreopoulos-Renaud 1983, *J. Afr. Earth Sci.* 1, 193-197); (ii) metadiorites-metatonalite plutons, far the most abundant; (iii) amphibolite bands, locally associated with metaconglomerates (O. Bourhessa), lying directly upon the quartzites and marbles attributed to the Upper Proterozoic; (iv) narrow lenses and large bodies of metagabbros associated with metaperidotites and some meta-anorthosites.

The amphibolites show T. MORB affinities (low alkali and incompatible element contents and almost flat REE patterns), and this suggests a spreading environment. The gabbroic suite magmas, with various cumulates, are distributed between three end-members (olivine peridotites, pyroxenites, anorthosites). The fine grained gabbros show a close chemical similarity with the amphibolites and this suggests a direct genetic relationship between the two suites. The chemical characters of the metadiorite-metatonalite suite conform to typical diorite-tonalite-trondhjemite continental suites in a spreading environment.

The magmatic units of the Kidal assemblage show significant lithological and geochemical similarities with the supracrustal basic volcanics and intrusive complexes of Archean high-grade belts.

The postulated extensional behaviour of the Kidal assemblage may be considered to have indirectly induced the high-strain and dominantly rotational tectonic regime evidenced in this domain.

Can. J. Earth Sci. 24, 96-109 (1987)

### Caractérisation du magmatisme Protérozoïque supérieur en Afrique de l'ouest et implications géodynamiques : des rifts intracratoniques au Panafricain?

P. L. DUPONT et H. LAPIERRE

Laboratoire de Petrologie, Université de Nancy I, B.P. 239, 54506 Vandoeuvre les Nancy CEDEX France

M. GRAVELLE

Laboratoire de géologie structurale et GIS -Océanologie et Géodynamique, - Faculté des sciences, 6, avenue Le Gorgeu, 29287 CEDEX France

ET

J. M. BERTRAND

Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques, B.P. 20, 54506 Vandoeuvre les Nancy CEDEX France

Reçu le 3 décembre 1985

Révision acceptée le 26 juin 1986

L'étude des caractéristiques pétrographiques, minéralogiques et chimiques des métavolcanites d'âge protérozoïque supérieur incluses dans les séries de Termessé et de Niokolo Koba - Koulountou (Mauritanides méridionales) d'une part et dans la série de Timesselarsine (Hoggar occidental, Algérie) d'autre part permet une première reconstitution des environnements géodynamiques qui contrôlèrent l'évolution des chaînes panafricaines en Afrique de l'ouest. Les coulées volcaniques et les pyroclastites associées, métamorphosées dans les conditions du faciès schiste vert, sont interstratifiées dans des métasédiments détritiques et carbonatés, indiquant un milieu de dépôt marin, instable, proche de la marge.

L'association de laves tholéitiques à affinité océanique légèrement enrichies en LREE et de basaltes à affinité alcaline plus riches en  $TiO_2$ , Zr, Nb et LREE annoncerait un «nifting» avec expansion limitée en domaine intracontinental. L'absence de complexes ultrabasiques - basiques dans les Mauritanides méridionales et leur présence au Hoggar font penser que l'océanisation était plus importante en allant du sud vers le nord.

Au Hoggar, la fermeture du rift se marque, au sein même de l'unité de Timesselarsine, par un volcanisme calco-alcalin de type marge active. Au Sénégal et en Guinée, le même type de volcanisme, marquant la fermeture et la collision continentale (unités de Niokolo Koba - Koulountou), est plus récent que les séries alcalines et tholéitiques. La fermeture semble donc plus précoce au Hoggar que dans les Mauritanides du sud.

The main petrological, mineralogical, and geochemical features of the metavolcanites belonging to the Late Proterozoic tectono-sedimentary units of southern Mauritanides (Termessé and Niokolo Koba - Koulountou) and western Hoggar, Algeria (Timesselarsine), permit a reconstruction of the geodynamic environment that controlled the evolution of the Pan-African ranges of western Africa. Flows and pyroclastic beds metamorphosed under greenschist-facies conditions are interbedded within detritic and carbonate platform sediments, suggesting an unstable environment in the vicinity of a continental margin.

The association of oceanic tholeiites slightly enriched in LREE and basalts more enriched in  $TiO_2$ , Zr, Nb, and LREE displaying alkalic affinities suggests intracontinental rifting succeeded by expansion. The lack of ultrabasic - basic complexes (oceanic paleosutures) in southern Mauritanides and their occurrence in the Hoggar suggest that the opening was bigger in the north than in the south.

The later calc-alkalic sequences of the Niokolo Koba - Koulountou units are tectonically associated with the Termessé unit. In the Timesselarsine unit, calc-alkalic acid rocks coexist with the basic lavas previously mentioned. Thus, the closure of the rift related to a continental collision appears to be later in southern Mauritanides than in the Hoggar.

## 14<sup>th</sup> Coll. African Geol. Berlin 1987, CIFEG, Publ. Occ. 1987/12

### Pan-African younger granites of central Hoggar (Algeria): Structure, Petrology, Geochronology and Mineralisation.

J.M. Bertrand, O. Moulahoum, L. Bouabsa, A. Cheilletz, B. Charoy and  
A.M. Boullier (Vandoeuvre-les Nancy, France)

Until now, almost all the post-tectonic granites of the Hoggar shield were considered to belong to the so-called "Taourirt granite" group. New data confirm the differences in composition, age and nature of the source between granites emplaced in the strongly reactivated Eburnean Basement of Central Hoggar and those intruding the Pharusian belt (Boissonnas 1973). From existing data, this contrast may be outlined as follows:

(1) In the western margin of the Pharusian belt, close to the suture zone: 540 to 560 Ma old alkaline ring-complexes ( $R_i = .7058$  to  $.7061$ , Liegeois et al 1986).

(2) In the eastern part of the Pharusian belt, in a dominantly volcanic and sedimentary environment: 575 to 592 Ma old calcalkaline to subalkaline concentric plutons ( $R_i = .701$  to  $.707$ , Boissonnas et al 1973).

(3) In the Central Hoggar, in a dominantly high-grade gneisses environment: 520 Ma old aluminous plutons ( $R_i = .7225$ , Vialette and Vitel and new determination); these granites are often mineralised in Sn and W.

The In Tounine granite pluton has been studied in detail. This pluton intrudes gently dipping gneisses and migmatites which includes refoliated older granulites; the main foliation of these rocks corresponds to a tangential tectonic regime under retrogressive high to low grade metamorphic conditions dated between 615 and 580 Ma (Bertrand et al. 1986). The discordant high level intrusion cross-cuts a dense doleritic to microgranitic dyke swarm structurally related to the brittle deformation associated with regional-scale wrench-faulting; later microgranites and rhyolites cross-cut the In Tounine granite.

The main rock type is coarse to medium grained biotite granite with finer grained apical and marginal variations. All are peraluminous. An eight samples Rb/Sr whole-rock isochron yields a 521 +/- 17 Ma age (MSWD = 2,4) with a 87 Sr/86 Sr initial ratio of .7226, similar to that obtained further North by Vialette and Vitel (1979).

The main granite is intruded by an Albite - Topaze - Protolithionite bearing alkali-feldspar granite which outcrops at two different levels of the pluton: (i) as a central intrusive body with marginal pegmatites (or stockscheider) and (ii) as fine-grained cross-cutting pophyry dykes in the outer zones of the pluton. This peraluminous granite is enriched in Li and F and it develops in the surrounding rocks a metasomatic halo with Topaze II, Fluorite and Li-mica. Similar F-Li bearing assemblages occurring in the wall-rock greisens bordering the quartz veins which support the Sn - W mineralisation suggest a genetic link with the topaze bearing granite.

The Sn - W mineralisation in Central Hoggar is thus related to a crustal derived geochemically differentiated magmatism and to associated hydrothermal processes. This association suggest that the Sn - W mineralised Younger granites are those emplaced in an old reactivated crustal segment as it is the case in other parts of West Africa (Black 1985) or in the Arabo-Nubian Shield (Jackson and Ramsay 1986); on the contrary, Younger granites intruding a juvenile crust, accreted during Upper Proterozoic orogenic cycles, are barren or if not, mineralised in U, Th and REE.

Lithos, 19 (1986) 95-111

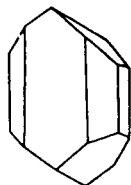
## The Lapland charnockitic complex: REE geochemistry and petrogenesis

P. BARBEY<sup>1,2</sup>, J. BERNARD-GRIFFITHS<sup>2</sup> and J. CONVERT<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire de Pétrologie, Université de Nancy I, BP 239 54506 Vandœuvre-les-Nancy Cédex (France)

<sup>2</sup>Centre Armoricaïn d'Étude Structurale des Socles, Université de Rennes, 35042 Rennes Cédex (France)

LITHOS



Barbey, P., Bernard-Griffiths, J. and Convert, J., 1986. The Lapland charnockitic complex: REE geochemistry and petrogenesis. *Lithos*, 19: 95-111.

The Lapland charnockitic complex is mainly composed of basic and intermediate granulites, with more restricted types including ultramafic rocks and one high-Mg enderbite occurrence. All these rocks are interbedded with or intrude the metasedimentary granulites (khondalites).

The charnockites can be subdivided on the basis of their Y and REE contents into three groups. The first group is characterized by an increase in Y content with progressive differentiation and by fractionated LREE-enriched patterns quite similar to those of some Archean granulites. The REE distribution patterns of these rocks suggests an origin by partial melting of a LREE-enriched mantle source (metasomatism). The other groups and the high-Mg enderbite are depleted in Y and display strongly fractionated REE patterns either with U-shaped HREE and positive Eu anomalies similar to Archean TTG rocks despite more basic major element composition (group II and the high-Mg enderbite) or with strong HREE depletion (group III). The high-Mg enderbite approximates closely high-Mg andesites with respect to major and some trace elements and its REE pattern is identical to those of early Archean group III komatiites of the Onverwacht Group, South Africa. Parental magmas for group II rocks and the high-Mg enderbite are assumed to derive by partial melting of a garnet-enriched mantle source metasomatized by a LREE-enriched fluid, whereas those of group III could be produced by melting of quartz-eclogites or garnet-amphibolites with fractionated REE patterns similar to those of group I.

The overall petrographical and geochemical features of the Lapland charnockitic complex are consistent with an evolution of the Belomorian fold belt according to a collision model.

C. R. Acad. Sc. Paris, t. 302, Série II, n° 5, 1986

223

**PÉTROLOGIE.** — *Un des plus grands ring-dykes du monde: le Meugueur-Meugueur, massif de l'Air, République du Niger.* Note de Christian Moreau, William L. Brown, Daniel Demaiffe, Pierre-Luc Dupont et Georges Rocci, présentée par Georges Millot.

Le Meugueur-Meugueur, immense ring-dyke de 65 km de diamètre, est un anneau de 250 m de puissance en moyenne, composé d'un mélagabbro troctolitique à enclaves variées (leucogabbro, anorthosite, microgabbro, dunite). Sa position structurale, sa composition minéralogique relativement simple (olivine  $Fo_{68}$ , plagioclase  $An_{60}$ , clinopyroxène  $Wo_{46}-En_{40}-Fs_{14}$  et phlogopite titanifère et oxydes de fer et de titane) et sa géochimie traduisent des relations pétrogénétiques évidentes avec les complexes anorogéniques à suites anorthositiques avoisinants, notamment ceux d'Ofoud et de Tagueï. La composition des minéraux n'est pas compatible avec une montée du magma directement du manteau, sans chambre intermédiaire.

**PETROLOGY.** — The Meugueur-Meugueur, one of the largest ring-dykes in the world, Air massif, Republic of Niger.

The Meugueur-Meugueur is an immense ring-dyke, 65 km in diameter and on average 250 m thick. It is composed of a troctolitic melagabbro with various igneous inclusions (leucogabbro, anorthosite, microgabbro, dunite). Its relatively simple mineralogical composition (olivine  $Fo_{68}$ , plagioclase  $An_{60}$ , clinopyroxene  $Wo_{46}-En_{40}-Fs_{14}$ , titaniferous phlogopite and Fe-Ti oxides) and its chemistry confirm its close petrogenetic and structural relationship with the neighbouring "anorthositic suite" complexes, especially Ofoud and Tagueï. The compositions of minerals are not compatible with a direct ascension of the magma from the mantle.

# ***METALLOGENIE***

## Sommaire

POLLARD P.J., PICHAVANT M., CHAROY B. Contrasting evolution of fluorine- and boron-rich tin systems .....	101
DUBESSY J., RAMBOZ C., NGUYEN-TRUNG C., CATHELINÉAU M., CHAROY B., CUNEY M., LEROY J., POTY B., WEISBROD A. Physical and chemical controls (fO <sub>2</sub> , T, pH) of the opposite behaviour of U and Sn-W as exemplified by hydrothermal deposits in France and Great-Britain, and solubility data .....	101
GIULIANI G. La cassitérite zonée du gisement de Sokhret Allal (granite des Zaër ; Maroc central) : composition chimique et phases fluides associées .....	102
BLAMART D., BOUTALEB M., MARIGNAC Ch., SHEPPARD S.M.F., WEISBROD A. The Walmes granitic complex (central Morocco): an example of subsolidus tin specialization .....	103
GIULIANI G., CHEILLETZ A., MECHICHE M. Behaviour of REE during thermal metamorphism and hydrothermal infiltration associated with skarn and vein-type tungsten ore bodies in Central Morocco.....	104
CHEILLETZ A. Epigenesis versus syngensis: a contribution to the debate based on the stratiform tungsten skarn mineralizations of Djebel Aouam (Central Morocco).....	104
CHEILLETZ A. Gîtologie et géochimie des minéralisations de tungstène du Djebel Aouam : bilan de l'étude des skarns stratiformes à scheelite-biotite.....	105
BOGDANOFF S., CIRODDE J.L., PLOQUIN A., RAMBOZ C. Recherche du tungstène dans le district de la Châtaigneraie .....	106
MONIER G., CHAROY B., CUNEY M., OHNENSTETTER D., ROBERT J.L. Evolution spatiale et temporelle de la composition des micas du granite albitique à topaze-lépidolite de Beauvoir .....	106
CUNEY M., BROUAND M. Minéralogie et géochimie de U et Th dans le granite de Beauvoir et les micaschistes encaissants. Comparaison avec la géochimie de l'étain .....	107
AISSA M., WEISBROD A., MARIGNAC C. Caractéristiques chimiques et thermodynamiques des circulations hydrothermales du site d'Echassières.....	108
AISSA M., MARIGNAC C., WEISBROD A. Le stockwerk à ferbélite d'Echassières: évolution spatiale et temporelle; cristallogénie des ferbélites. ....	109
AISSA M. Reconstitution d'un système de paléocirculations hydrothermales et ses conséquences métallogéniques: le district d'Echassières.....	110



BOUABSA L. Intrusions granitiques à albite et topaze: minéralisations stannio-wolframifères et altérations hydrothermales associées. L'exemple du Hoggar Central - Algérie. ....	111
NEGGA H.S., SHEPPARD S.M.F., ROSENBAUM J.M., CUNEY M. Late Hercynian U-vein mineralization in the Alps: fluid inclusion and C,O,H isotopic evidence for mixing between two externally derived fluids.....	112
CHAREF A., SHEPPARD S.M.F. Pb-Zn mineralization associated with diapirism: fluid inclusion and stable isotope (H,C,O) evidence for the origin and evolution of the fluids at Fedj-el-Adoum, Tunisia.....	112
CHAREF A., SHEPPARD S.M.F., MICHARD A. Pb-Zn mineralization associated with diapirism: fluid inclusion and stable isotope (H,C,O,S,Pb) evidence for the origin and evolution of the fluids at, Fedj-el-Adoum, Tunisia. ....	113
CHAREF A. La nature et le rôle des phases fluides associées à la minéralisation Pb-Zn dans les formations carbonatées et leurs conséquences métallogéniques: Etude des inclusions fluides et des isotopes (H,C,O,S,Pb) des gisements des Malines (France), Jbel Hallouf - Sidi Bou Aouane et Fedj-el-Adoum (Tunisie).....	113
SHEPPARD S.M.F., CHAREF A., HALTER G., PAGEL M., WEBER F. Origin of low $\delta D$ fluids in unconformity U-deposits and Pb-Zn mineralizations associated with diapirs. ....	115
ORBERGER B., ARNOLD M., SAUPE F. Sulfur isotopic studies of the minerals from the Pollone and Monte Arsiccio deposits (SW Apuane Alps, Tuscany, Italy).....	115
SAUPE F., VEGAS G. Chemical and mineralogical compositions of black shales (Middle Palaeozoic of the Central Pyrenees, Haute-Garonne, France). ....	116
THORETTE J., ARNOLD M. $\delta^{34}S$ of sulfides mineralizations associated with the bay of Islands ophiolitic complex (Newfoundland). ....	117
ARNOLD M., GONZALEZ PARTIDA E. The Fresnillo mine (Mexico): conditions of deposition; origin of sulfur and metals.....	117
GONZALEZ PARTIDA E., ARNOLD M. The Cuale-El Rubi mineralization: a mexican-kuroko-type origin of sulfur. ....	118
OGUNDIPE I.E. Mineralogical, fluid inclusion and stable isotope studies of the Benue valley lead-zinc-barite-fluorite deposits, Nigeria. ....	119
OGUNDIPE I.E., ARNOLD M. Sulfur isotopic studies of the Benue valley lead-zinc-barite-fluorite deposits, Nigeria.....	120
MAIZA I., ARNOLD M. The baritic mineralizations of the Aïn Mimoun's mining field (Aures mountain range, Algeria) - $\delta^{34}S$ compositions and origin of sulfur. ....	120

RABENANDRASANA S., ARNOLD M. Mineral veins in Rhine graben margins: region of Colmar and Ribeauville (Middle Vosges, France).....	121
NGOYANADJI N., ARNOLD M. Genesis of Largentière Pb-Zn ore deposit (France): contribution of fluid inclusions and sulfur isotopes ( $\delta^{34}\text{S}\%$ ) studies.....	121
OKITAUDJI L.R., BERNARD A., DAGALLIER G., ARNOLD M. The Cu-Co sulfides mineralizations hosted in detrital sediments of Upper Proterozoic age in Shaba (Zaïre): new $\delta^{34}\text{S}$ data.....	122
ARNOLD M., GONZALEZ PARTIDA E. Le système hydrothermal actuel de Los Humeros (Mexique): Etat du système $\text{SO}_4^{--}$ - $\text{SH}_2$ à 300°C, origine du soufre et phénomène d'oxydation associés à l'ébullition du fluide ascendant. ....	123
DAGALLIER G., MACAUDIERE J. Contrôles tectoniques des concentrations Pb-Ba en milieu carbonaté de Mibladen (Maroc)..	124

## Contrasting evolution of fluorine- and boron-rich tin systems

P. J. Pollard<sup>1</sup>, M. Pichavant<sup>2</sup> and B. Charoy<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Geology, James Cook University of North Queensland, Townsville, 4811, Australia

<sup>2</sup> Centre de Recherches Petrographiques et Geochemiques, BP 20, 54501 Vandœuvre Les Nancy, France

**Abstract.** Individual Sn provinces or regions within provinces are sometimes enriched in fluorine or boron, giving rise to fluorine-rich and boron-rich environments. The structural styles of mineralisation within these environments are similar except that hydrothermal intrusive breccia pipes are more common in boron-rich environments and apogranite/massive greisen systems are more common in fluorine-rich environments. The increased solubility of H<sub>2</sub>O in B-bearing magmas compared to F-bearing magmas may play a role in the structural evolution of the mineralising systems. The greater mechanical energy produced during crystallisation of B-rich magmas provides a mechanism for breccia pipe and stockwork formation, while the more passive crystallisation of F-rich magmas often results in the formation of disseminated mineralisation. The partitioning of boron toward the aqueous fluid phase and the enhanced solubility of silica in the fluid phase frequently results in tourmalinisation and silicification of the wall-rocks in B-rich environments. In contrast, feldspathic and sericitic alterations usually predominate in F-rich environments.

**Bull. Minéral. (1987), 110, 261-281**

## Physical and chemical controls (fO<sub>2</sub>, T, pH) of the opposite behaviour of U and Sn-W as exemplified by hydrothermal deposits in France and Great-Britain, and solubility data

by JEAN DUBESSY\*, CLAIRE RAMBOZ\*\*, CHINH NGUYEN-TRUNG\*, MICHEL CATHELINÉAU\*, BERNARD CHAROY\*\*, MICHEL CUNEY\*, JACQUES LEROY\*, BERNARD POTY\* and ALAIN WEISBROD\*\*

\* CREGU and GS C.N.R.S.-CREGU, B.P. 23, 54501 Vandœuvre-les-Nancy Cedex, France.

\*\* C.R.P.G., B.P. 20, 54501 Vandœuvre-les-Nancy Cedex, France.

**Résumé.** — Le but de ce travail est de déterminer les paramètres physico-chimiques qui contrôlent le comportement antagonique de l'uranium et de l'étain-tungstène entre 300° et 500 °C. Dans les gisements d'uranium, les fO<sub>2</sub> et fS<sub>2</sub> des fluides minéralisateurs sont supérieures à celles fixées par le point triple pyrite - hématite - magnétite comme le montre l'association uraninite - hématite - et/ou pyrite. La stabilité de la paragenèse quartz - feldspath potassique - muscovite dans les roches encaissantes des minéralisations uranifères considérées témoignent de pH faiblement acides. En revanche, pour les minéralisations à Sn-W du sud du Massif Central français, la fO<sub>2</sub> des fluides minéralisateurs est comprise entre les tampons Ni-NiO et Q-F-M comme l'indiquent les inclusions fluides à CO<sub>2</sub>-CH<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O-NaCl. Le pH de ces fluides est faiblement acide à faiblement basique comme le montre la stabilité de la muscovite en présence ou en absence de quartz et/ou de feldspath. Les fluides minéralisateurs en Sn-W de Cornouailles sont, au contraire, purement aqueux et acides, comme l'indique l'assemblage muscovite - quartz typique des greisens.

L'analyse des données expérimentales de solubilité de UO<sub>2</sub>, SnO<sub>2</sub>, FeWO<sub>4</sub>, CaWO<sub>4</sub> et de spéciation des métaux montrent que des fO<sub>2</sub> ≤ Ni-NiO favorisent le transport de l'étain. L'état d'oxydation du fluide n'a aucune influence directe sur le transport et le dépôt du tungstène. Le contrôle de la fO<sub>2</sub> sur les capacités de transport hydrothermal de ces trois métaux est mis en relation d'une part avec la composition des fluides et des roches,

d'autre part avec la température minimum de 320 °C requise pour que les équilibres homogènes du système C-O-H fixent l'état d'oxydation à des valeurs basses

A haute température, la stabilité accrue des complexes chlorures de Sn, Fe, Ca comparée à celle des complexes carbonatés et phosphatés d'uranium est discutée en fonction de la structure des complexes, et de la constante diélectrique du fluide. On souligne également que la présence de gaz dissous (concentration élevée), produits à haute température par les réactions de dévolatilisation, diminue la constante diélectrique du fluide et stabilise corrélativement les complexes chlorurés.

L'ensemble de ces résultats montre que la température et la fugacité d'oxygène rendent compte du comportement antagonique de l'uranium et de l'étain - tungstène au stade hydrothermal entre 300° et 500 °C.

**Mots-clés :** U, Sn, W, stade hydrothermal, fO<sub>2</sub>, température, pH, solubilité, spéciation.

### **Mineral. Deposita 22, 253-261 (1987)**

## **La cassitérite zonée du gisement de Sokhret Allal (Granite des Zaër; Maroc Central): Composition chimique et phases fluides associées**

G. Giuliani

ORSTOM<sup>1</sup>, Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération, Antenne de Salvador CP 4021, Alameda da Barra 40.000, Salvador da Bahia, Brésil  
CRPG, Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques, BP 20, 54501, Vandoeuvre-lès-Nancy Cedex, France

**Abstract.** The chemical composition of a zoned cassiterite from the tungsten-tin deposit of Sokhret Allal (Zaër granite, Central Morocco) has been analyzed with an electron microprobe. The mineral zoning is related to variable Fe, Ti, and Nb contents: the darker zones are enriched in titanium and iron whereas lighter zones are purer. Fluid inclusions contemporaneous with cassiterite deposition are primary, and the fluids are aqueous with a composition of 97-99 mol% H<sub>2</sub>O and 3-1 mol% eq. NaCl (temperature = 270-330 °C) and were trapped in the liquid-stability field. The contribution of these data to the central Morocco W-Sn metallogenesis is discussed.

**Résumé.** La composition chimique d'une cassitérite zonée provenant du gisement de tungstène-étain de Sokhret Allal (Granite des Zaër; Maroc Central) a été analysée par microsonde électronique. La zonation optique du minéral correspond à des variations en éléments mineurs (Fe, Ti, Nb): les bandes sombres apparaissent corrélées à une augmentation en titane et fer tandis que les bandes claires sont plus pures. Les inclusions fluides contemporaines du dépôt de la cassitérite sont primaires et constituées de fluides typiquement aqueux de composition (97 à 99 moles % H<sub>2</sub>O, 3 à 1 moles % équivalent NaCl, température = 270-330 °C) et sont piégées en phase liquide. La contribution de ces nouvelles données à la métallogenèse W-Sn du Maroc Central est discutée.

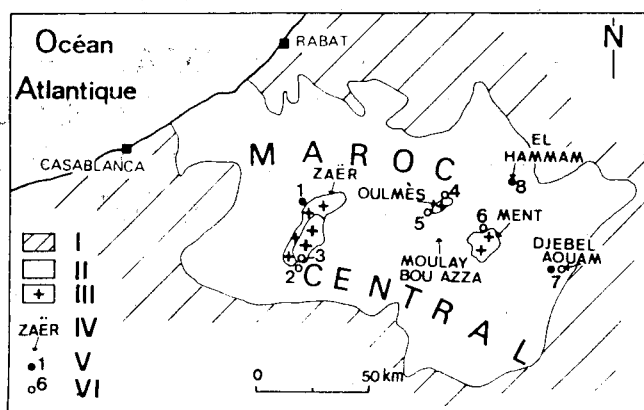


Fig. 1. Localisation des principaux gisements et indices de tungstène de type skarn et de type filonien du Maroc Central. Abréviations: W = wolframite, Sc = scheelite, Mo = molybdénite, Sn = cassitérite. 1: Sibara (Sc); 2: Koudiat Chbeïka (Sc); 3: Sokhret Allal (W, Sn, Sc); 4: El Karit (Sn); 5: Zgît (W); 6: Zrari (W, Mo); 7: Djebel Aouam (Sc, W, Mo); 8: El Hammam (Sc). I. Terrains post-paléozoïques; II. Terrains paléozoïques; III. Granites hercyniens; IV. granite des Zaër; V. gisement et indice de type skarn; VI. gisement et indice de type filonien

Terra Cognita, 7, (2-3), 231, 1987

S23.22

### THE WALMES GRANITIC COMPLEX (CENTRAL MOROCCO): AN EXAMPLE OF SUBSOLIDUS TIN SPECIALIZATION

D. BLAMART\*, M. BOUTALEB, CH. MARIGNAC, S.M.F. SHEPPARD & A. WEISBROD (CRPG, Vandoeuvre-lès-Nancy, France)

The Walmes tin (tungsten) ore deposits are associated with multi-intrusive two-mica and muscovite granites ( $\pm$  tourmaline) which display a clear tin specialization.

The early two-mica granites contain 800-900 ppm F, 250 ppm Li, and 20-30 ppm Sn whereas muscovite granites contain 2100 ppm F, 750 ppm Li, 90 ppm Sn.

1 - Muscovite is largely post-magmatic. Most of the muscovite is clearly developed at the expense of feldspar. Euhedral muscovite in the main two-mica granites are also late: it often cross-cuts the plastic foliation of the outer facies of the massif. Moreover the limits between the muscovite granite and the two-mica granites correspond to an hydrothermal biotite-muscovite transformation.

2 - There is a geochemical evolution from the two-mica granites to the muscovite granites; enrichment in  $\text{SiO}_2$ , decrease of K/Na and Sr/Rb, increase in Li, F, Sn, Be ... Projected onto the Q-Ab-Or plane, this trend is orthogonal to the Na enrichment, implying a post magmatic greisenization process.

3 - Hydrogen isotope fractionations between coexisting biotites and muscovites from the granites are variable (0 to 25) with  $\delta\text{D}$  of most the biotites being relatively uniform. Water in equilibrium with the most  $\delta\text{D}$  enriched micas have  $\delta\text{D}$  values similar to those of the fluid inclusions from the vein cassiterite mineralisation ( $\delta\text{D} - 30\text{‰}$ ) indicating that the much of the two-mica granite and all of the muscovite granites have been modified by externally derived post-magmatic fluids. The major enrichment in F, Li, Sn, Be etc. in muscovite granite is therefore large part post-magmatic in origin.

# BEHAVIOUR OF REE DURING THERMAL METAMORPHISM AND HYDROTHERMAL INFILTRATION ASSOCIATED WITH SKARN AND VEIN-TYPE TUNGSTEN ORE BODIES IN CENTRAL MOROCCO\*

G. GIULIANI<sup>1</sup>, A. CHEILLETZ<sup>1</sup> and M. MECHICHE<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques, CRPG, F-54501, Vandoeuvre-lès-Nancy Cédex (France)

<sup>2</sup>Société Minière du Djebel Aouam, SMA, Casablanca (Morocco)

(Received February 18, 1987; revised and accepted April 7, 1987)

## Abstract

Giuliani, G., Cheilletz, A. and Mechiche, M., 1987. Behaviour of REE during thermal metamorphism and hydrothermal infiltration associated with skarn and vein-type tungsten ore bodies in central Morocco. *Chem. Geol.*, 64: 279-294.

The analysis of REE in tungsten ore bodies and surrounding rocks from Paleozoic schist-sandstone and limestone series in central Morocco shows two kinds of behaviour: (1) no significant modification of lanthanide distribution occurs during thermal and hydrothermal metamorphic events; and (2) important variations of REE patterns characterize highly infiltrated and mineralized samples corresponding to the mixing of scheelite and wall-rock spectra. A water/rock ratio of  $\sim 2.4$  is estimated for the paleogeothermal continental system. By comparison of REE patterns, hydrothermal mineralizing fluids are assumed to be derived from blind evolved late acidic magmas rather than from outcropping Aouam granitic stocks.

Terra Cognita, 6, 3, 519, 1986

## 5.5

### EPIGENESIS VERSUS SYNGENESIS: A CONTRIBUTION TO THE DEBATE BASED ON THE STRATIFORM TUNGSTEN SKARN MINERALIZATIONS OF DJEBEL AOUM (CENTRAL MOROCCO)

A. CHEILLETZ

CRPG, BP 20, 545 01 Vandoeuvre, Les Nancy Cédex, France

The recent discovery of stratiform tungsten skarn mineralizations in the polymetallic W-Pb-Zn-Ag Djebel Aouam district, Central Morocco, provides an opportunity to test epigenetic and syngenetic concepts. These mineralizations can be interpreted as stratiform skarn occurrences developed by metasomatic replacement of barren calc-silicate layers.

This model is supported by field and underground mapping associated with structural analyses of the lithostratigraphic units. Late Hercynian intrusion of small granitic stocks is accompanied by the development of thermal metamorphism producing zoned calc-silicate layers by metasomatic cation exchange between marly dolomites and aluminous pelites of Silurian-early Devonian age. This process commonly yields monomineralic anorthitic zones. Petrographic studies and major element analyses allow calculation of mass balance of oxide components at constant volume or after normalization to a constant TiO<sub>2</sub> value during the metasomatic process. CaO and SiO<sub>2</sub> are the most mobile components whereas Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> is relatively immobile. Late ascending hydrothermal fluid percolations reacting with calc-silicate layers produced the tungsten skarn by replace-

ment of Ca-Fe-Mg zones parallel to bedding. The calculation of mass balance during stratiform skarn development for a constant alumina concentration shows addition of W, F, SiO<sub>2</sub>, MgO and Na<sub>2</sub>O, subtraction of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO and immobility of TiO<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>O and P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Fluid inclusion studies as well as silicate and scheelite electron microprobe analyses allow the calculation of the physico-chemical parameters during reaction between percolating fluids and calc-silicate layers. The stratiform mineralized skarn, which exhibits a diablastic texture defined by an intergrowth of quartz, Mg-biotite, actinolite, pure scheelite, apatite and ilmenite, developed at T = 570°C–600°C, P<sub>total</sub> = 1.8 kb, fO<sub>2</sub> < 10<sup>-19</sup>b, fS<sub>2</sub> = 10<sup>-4</sup>b and involves moderately saline fluid circulations.

The development of stratiform skarn mineralization occurs away from the granitic contact. REE analyses of scheelite crystals and highly mineralized zones do not show any correlation with outcropping Djebel Aouam granitic stocks but might suggest some relation with an evolved late-acidic magma. The stratiform tungsten skarn mineralization appears enveloped by a huge biotitic stockwork-like alteration halo similar to a Cu-porphyry wall-rock alteration zone.

## Gisements de Tungstène, Coll. Europ., Toulouse mai 1986, p. 87

### GITOLOGIE ET GEOCHIMIE DES MINÉRALISATIONS DE TUNGSTÈNE DU DJEBEL AOUAM : BILAN DE L'ÉTUDE DES SKARNS STRATIFORMES À SCHEELITE-BIOTITE

A. CHEILLETZ

Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques, CRPG, B.P. 20  
54501 Vandœuvre-lès-Nancy Cédex

Le district polymétallique (W-Pb-Zn-Ag) du Djebel Aouam constitue un remarquable exemple de système paléogéothermique résultant de la mise en place de stocks granitiques et de la circulation polyphasée de solutions hydrothermales. Les minéralisations se divisent en quatre groupes principaux : les skarns à scheelite (dont un nouveau type de minéralisation de type skarn stratiforme à scheelite-biotite), les filons et veines à quartz-scheelite-wolframite, les filons à Cu-Zn-Ag, les filons à Pb-Zn-Ag actuellement exploités. Les minéralisations stratiformes de type skarn résultent de la superposition de deux mécanismes distincts (1) un métamorphisme thermique produisant la formation de bandes calco-silicatées par réaction et échanges cationiques entre bancs marno-dolomitiques et pélites alumineuses encaissantes. La séquence des zones de métasomatose ainsi produites est caractérisée en particulier par le développement d'une bande monominérale à anorthite. Le bilan des transformations métasomatiques calculé à volume constant ou normalisé par rapport au titane est caractérisé essentiellement par des échanges importants de calcium et silice, l'aluminium restant relativement immobile, (2) la percolation de fluides hydrothermaux produisant par réaction et remplacement des bancs calco-silicatés, le développement de lentilles stratiformes à scheelite-biotite. Le bilan des transformations, normalisé par rapport à l'alumine, est caractérisé par un apport de tungstène, fluor, silice, magnésium et sodium, un départ de fer et calcium, titane, potassium et phosphore restant immobiles. Les paramètres physico-chimiques caractérisant la percolation des fluides hydrothermaux sont déterminés à partir d'assemblages minéralogiques dominés par l'association biotite magnésienne, trémolite-actinolite, ilménite, pyrothite, scheelite pure et de données d'inclusions fluides : 570° < T < 600°C, P total = 1.8 kb,  $fO_2 < 10^{-19}$  b et  $fS_2 = 10^{-4}$  b. Les skarns stratiformes du Djebel Aouam constituent un nouveau type de minéralisation de tungstène de la chaîne hercynienne marocaine. Leur originalité consiste en leur développement dans l'environnement sédimentaire des intrusions granitiques et non pas à leur contact direct.

## Recherche du tungstène dans le district de la Châtaigneraie

(Cantal, Aveyron - Massif central français)

### Géochimie des schistes de la Châtaigneraie

S. BOGDANOFF<sup>(1)</sup>, J.L. CIRODDE<sup>(1)</sup>, A. PLOQUIN<sup>(2)</sup>, C. RAMBOZ<sup>(2)</sup>

On a effectué l'étude géochimique des schistes de la Châtaigneraie qui encaissent les gisements du tungstène. Cette série est très probablement constituée de nappes qui s'empilent, à métamorphisme croissant vers le haut, des formations schisteuses et grésopélitiques. Cet empilement est recoupé par des granites hercyniens, puis par des filons de quartz tungstifères avec tourmalinisations associées.

La caractérisation géochimique (éléments majeurs) conduit à proposer deux groupes sédimentologiquement distincts :

- *Le groupe pélitique*, structuralement inférieur, est le plus mature, essentiellement d'origine quartzo-illitique, les roches pélitiques y dominent largement sur les quartzites.

- *Le groupe grésopélitique*, structuralement supérieur, avec ses teneurs en quartz plus variables, est caractérisé en outre par des leptynites silico-sodiques qui sont probablement d'anciens tufs.

Les teneurs en W de ces formations, hors minéralisation, en sont pas anormales.

La localisation des concentrations économiques et des principaux indices en W paraît indépendante de la nature sédimentologique/géochimique en grand de la formation encaissante, mais serait liée à une oxydation du fer liée aux événements tectonométamorphiques antérieurs aux intrusions granitiques hercyniennes et aux filons de wolframite.

Géologie de la France

n°2-3, 1987, pp. 179-188, 7 fig., 3 Tabl.

## Évolution spatiale et temporelle de la composition des micas du granite albitique à topaze-lépidolite de Beauvoir

G. Monier<sup>\*\*\*</sup>, B. Charoy<sup>\*\*\*</sup>, M. Cuney<sup>\*\*</sup>, D. Ohnenstetter<sup>\*</sup>, J.L. Robert<sup>\*</sup>

### Résumé

Plusieurs centaines d'analyses ont été effectuées sur les lépidolites, lato sensu (incluant les zinnwaldites), du sondage GPF Échassières 1, par voie humide sur échantillons séparés, et par microsonde électronique sur lames minces. Toutes les compositions de lépidolites se situent hors de la lacune de miscibilité entre micas trioctaédriques (type biotite) et micas dioctaédriques (type muscovite). La tendance globale observée, de la base au sommet du sondage, est un appauvrissement progressif en Fe et un enrichissement corrélatif en Li (et F), jusqu'à des termes pratiquement trioctaédriques, proches du joint trilithionite-polyolithionite. Les discontinuités observées dans la zonalité verticale : augmentations brutales des teneurs en Fe reflètent des injections magmatiques successives, en accord avec l'évolution géochimique générale rencontrée le long du sondage. Les contaminations par l'encaissant micaschisteux se traduisent par l'apport de Mg et la migration de Li et F vers les épontes. Les discontinuités observées à l'échelle du cristal reflètent les étapes successives de cristallisation des micas depuis des stades à pression relativement élevée ( $\geq 3$  kbar) où le mica cristallise précocement, jusqu'à la mise en place à pressions faibles ( $\sim 1$  kbar) et la cristallisation finale du magma.



## Abstract

### *Time and space evolution of mica composition in the topaz-lepidolite albitic granite of Beauvoir*

Several hundred analyses have been performed by wet chemistry and electron microprobe on lepidolites, lato sensu (including zinnwaldites), from the deep drill hole GPF Échassières 1. All the lepidolite compositions lie outside the miscibility gap between trioctahedral micas (biotite-type) and dioctahedral micas (muscovite-type). The general trend observed from base to top is a progressive decrease of Fe content and a correlative enrichment in Li (and F), up to almost purely trioctahedral micas which lie close to the trillithionite-polythionite join. The discontinuities observed marked by strong and sudden enrichments in Fe correspond to the limits of the successive magmatic injections, in agreement with the geochemical evolution observed along the drill core. Close to the contact with enclosing micaschists, the micas are contaminated by Mg, whereas Li and F migrate from the granite to the micaschists. The discontinuities observed within single crystals reflect the successive crystallization steps of the micas from relatively high pressure stages ( $\geq 3$  kbar), with early mica crystallization, to a lower pressure stage ( $\sim 1$  kbar) during final emplacement and crystallisation of the magma.

*Géologie de la France*

n° 2-3, 1987, pp. 247-257, 5 fig., 4 tabl.

# Minéralogie et géochimie de U et Th dans le granite de Beauvoir et les micaschistes encaissants. Comparaison avec la géochimie de l'étain

Michel Cuney\* et Marc Brouand\*\*

Mots-clés : Uranium, Thorium, Granite (Granite Beauvoir), Micaschiste, Uraninite, Microlite, Étain, Allier (Échassières).

## Résumé

Le granite albitique à topaze-lépidolite de Beauvoir présente des teneurs en uranium élevées qui décroissent de la base vers le sommet de l'intrusion alors que les éléments incompatibles Sn, F, Li, Ta, Nb... montrent un fort accroissement. L'uraninite est le principal porteur de l'uranium dans la partie inférieure du granite caractérisée par des rapports U/Ta élevés et le microlite devient l'unique porteur dans la partie supérieure présentant des rapports U/Ta faibles. La diminution de teneurs en uranium résulte d'un caractère plus oxydant du magma dans la partie supérieure de la coupole ayant favorisé, le fractionnement de cet élément dans les fluides expulsés au moment de la sursaturation du magma. L'étain peu mobile en conditions oxydantes reste au contraire essentiellement piégé dans le magma. Cependant, la concentration en chlorures extrêmement élevée des fluides magmatiques a permis le fractionnement d'une partie de l'étain dans les fluides pour produire les halos géochimiques de forte intensité observés dans les micaschistes encaissant le granite de Beauvoir. Le thorium présente au contraire des teneurs extrêmement basses correspondant à un fractionnement très important de la monazite dans le magma parent ou la roche source soumise à la fusion partielle. Le seul porteur identifié de manière certaine est un minéral de composition voisine de la brockite.

Des minéralisations uranifères dont certaines avec la paragenèse Bi, Ni, Co ont été observées dans les micaschistes au toit et à la base du granite de Beauvoir. Des remobilisations récentes ( $\leq 1$  Ma) de l'uranium sont également mises en évidence.

## Abstract

### *Mineralogy and geochemistry in the Beauvoir granite and enclosing micaschists. A comparison with tin geochemistry*

The Beauvoir topaz-lepidolite albitic granite presents high uranium contents which decrease from the floor to the roof of the intrusion, whereas incompatible elements Sn, F, Li, Ta, Nb... increase strongly. Uraninite is the main uranium bearing

mineral in the lower half of the granite characterized by high U/Ta ratio, and microlite is the only one in the upper half because of the low U/Ta ratios in the granite. The uranium content decrease results from higher  $fO_2$  conditions in the upper part of the Cupola, which have lead to the partition of uranium into the fluids expelled at the time of magma oversaturation. Despite the very high tin content of the Beauvoir magma, tin mineralized veins are nearly absent around the granite. Tin is weakly soluble in oxidizing conditions and mainly crystallizes as cassiterite in the magma. However the very high salinity of the magmatic fluid has lead to a limited fractionation of tin in this fluid. The tin enrichment expressed as geochemical halos around the Beauvoir granite result from this process. The extremely low Th content of the Beauvoir granite result from the strong fractionation of monazite either in the parent magma or the source rock submitted to partial melting. The only thorium-bearing mineral is a phase close to brockite composition.

Uranium mineralizations, with a Bi, Ni, Co paragenesis occur in the micaschists each side of the Beauvoir cupola. Recent uranium mobilisation and deposition ( $\leq 1$  Ma) have been also evidenced.

Géologie de la France  
n° 2-3, 1987, pp. 335-350, 11 fig. 2 Tabl.

## Caractéristiques chimiques et thermodynamiques des circulations hydrothermales du site d'Échassières

Mohammed Aïssa <sup>(1-2)</sup>, Alain Weisbrod <sup>(1-2)</sup> et Christian Marignac <sup>(3)</sup>

Mots-clés : Inclusions fluides, Thermodynamique, Wolframite, Topaze, Granite, Convection, Phase fluide, Magma Allier, Échassières.

### Résumé

L'étude minéralogique et d'inclusions fluides, réalisée sur des échantillons du sondage Ech. 1, ainsi que sur des échantillons de surface de la carrière de la Bosse, a permis de mettre en évidence les résultats suivants.

1. — Les fluides du stockwerk à ferberite sont des fluides aquo-carbo-azotés (« COHN ») ; 0,2 à 5 mol. % de  $CO_2 + CH_4 + N_2$  de densité moyenne (0,4 à 0,7). La dilution de ces fluides par des fluides entièrement aqueux et plus froids a entraîné la précipitation de la wolframite.

2. — L'existence d'inclusions partiellement décrépitées (densités 0,15 à 0,40) résulte d'un réchauffement du stockwerk ( $\sim 600^\circ C$  dans la zone de prélèvement des échantillons), dû lui-même à l'intrusion du granite des Colettes.

3. — Cette décrépitation a été utilisée pour estimer les conditions de pression (1 000-1 200 bars) et de température (600 à moins de  $400^\circ C$ ) de circulation des fluides du stockwerk.

4. — Les conditions de mise en place du granite de Beauvoir ont été estimées à environ  $570^\circ C$ , 800 bars.

5. — Les premiers fluides du faciès B1 de Beauvoir sont des saumures magmatiques (25-30 % pds NaCl). L'exsolution de ces saumures hors du magma B1 entraîne une surpression fluide, puis une fracturation hydraulique : on passe ainsi de 700-800 bars,  $500^\circ C$ , à 100-200 bars,  $350-400^\circ C$ .

6. — Cette décompression quasi-adiabatique entraîne l'ébullition des saumures magmatiques, en vapeurs aqueuses peu denses et peu salées et saumures extrêmement salées.

7. — Des fluides extérieurs envahissent ensuite le granite par la base, à des températures de  $350$  à  $410^\circ C$ . Ces fluides de faible salinité (2-6 % pds NaCl), contribuent à refroidir le système et, localement (essentiellement dans le granite B1), diluent les saumures précoces.

8. — Le résultat de ces mélanges conduit à des fluides plus froids ( $T < 350^\circ C$ ) et de salinités très variables (10 à 60 % pds NaCl). Toutefois, dans quelques fractures, des saumures non « contaminées » continuent à bouillir et, au moins dans certains cas, ont dû atteindre la surface.

9. — Finalement, l'intervention de fluides extérieurs de plus en plus froids, en dissipant la chaleur du système, entraîne la fin des circulations convectives du site d'Échassières.

### Abstract

*Chemistry and thermodynamics of the hydrothermal circulations in the Échassières district*

A fluid inclusion and mineralogical study has been performed on various samples from the drilling « Échassières 1 » and from surface samples in the Échassières district (northern French Massif central). From the obtained results, it was possible to reconstruct the hydrothermal evolution, in relation with the magmatic events. Three stages have been recognized.

1. — Formation of the Bosse stockwerk (wolframite-bearing quartz veins) and associated aplitic veins. This event is supposed to be related to the still hypothetical intrusion of the Bosse granite. The earliest aqueous fluids in the quartz veins « COHN fluids » contain significant amounts (up to 5 mol. % of  $CO_2$ ,  $CH_4$  and  $N_2$  in various proportions. Their density is low to moderate (0,15 to 0,70). However, the lower densities (0,15 to 0,40) result from partial decrepitation of inclusions, the initial density of which was higher than 0,70. The dilution of these early hot ( $450-600^\circ C$ ) volatile bearing fluids by colder aqueous ones resulted in wolframite (ferberite) precipitation between 300 and  $400^\circ C$ .

2. — Intrusion of the Colettes granite. This granite crosscuts the Bosse stockwerk and is responsible for the decrepitation of a part of the stockwerk COHN inclusions. Combining the maximum temperature reached at that time in the stockwerk sampling area ( $\sim 600^\circ\text{C}$ ) and the limiting density (0.70) of the non-decrepitated COHN inclusions in the quartz-wolframite veins, permits to estimate the pressure of entrapment of these volatil-bearing fluids (1 000–1 200 bars).

3. — Intrusions of the successive sheets (B3, B2, B1) of the Beauvoir granite. Most of the associated hydrothermal events are related to the B1 facies. The pressure of emplacement of the Beauvoir granite ( $\sim 800$  bars) was estimated by combining the solidus temperature of this granite (560–580  $^\circ\text{C}$ ) and the density of the earliest brines. These brines (25–30 wt% eq. NaCl, enriched in alkalis (Na, Li, K), Al, fluorine, niobium, etc.) unmixed from the B1 magma. An over-pressure built up, yielding hydraulic fracturing and changing the fluid regime from lithostatic to hydrostatic. During this process, the fluid pressure dropped quasi-adiabatically from 700–800 bars,  $500^\circ\text{C}$  to 100–200 bars,  $350\text{--}400^\circ\text{C}$ . Consequently, the early magmatic brines unmixed into low-density aqueous vapours and high density-very high salinity brines.

1. Ecole Nat. Sup. de Géologie (I.N.P.L.), B.P. 452, 54001 Nancy Cedex

2. Centre de Rech. Petr. et Géoch. (C.N.R.S.), B.P. 20, 54501 Vandœuvre Cedex

3. Ecole Nat. des Mines (I.N.P.L.), Parc de Saurupt, 54000 Nancy

**Géologie de la France**

**n° 2-3, 1987, pp. 311-333, 10 fig., 11 Tabl. 4 pl. photo**

## **Le stockwerk à ferbélite d'Échassières : évolution spatiale et temporelle ; cristallochimie des ferbélites**

**M. Aïssa <sup>(1)</sup>, Ch. Maignac <sup>(2)</sup>, A. Weisbrod <sup>(1)(3)</sup>**

**Mots-clés :** Stockwerk (Tungstate), Ferbélite, Hübnerite, Cristallochimie, Tungstène substance, Columbite, Zonalité, Allier (Échassières).

### **Résumé**

Le stockwerk à ferbélite d'Échassières s'est mis en place en trois stades, de façon pénecontemporaine de l'intrusion d'aplites et d'aplo-pegmatites (stockscheiders), formant elles-mêmes un stockwerk, et représentant vraisemblablement des manifestations de l'hypothétique granite de la Bosse, dont l'existence est postulée en profondeur pour rendre compte de celle de la minéralisation tungstifère. Par rapport à ce granite, il semble que le stockwerk occupe une position plus distale que celle de la plupart des minéralisations péritholites de même type connues dans la chaîne hercynienne.

Les ferbélites ( $\text{Fe}/\text{Fe}+\text{Mn} \approx 0,75$ ) sont riches en niobium (couramment entre 0,5 et 1,5 %  $\text{Nb}_2\text{O}_5$ ) et pauvres en tantale (généralement 0,1 %) ; elles correspondent essentiellement à une solution solide (ou à des syncristallisations infra-micrométriques) entre ferbélite et ferrocolumbite, mais une petite partie (généralement moins de 5 % du fer s'y trouve sous forme de  $\text{Fe}^{3+}$ ).

Les teneurs en niobium varient au cours du temps, chaque stade de minéralisation montrant apparemment une séquence cristaux zonés riches en niobium-cristaux non zonés plus pauvres ; en revanche, le taux de ferbélite reste remarquablement encaissant.

Il y a de plus une nette zonation verticale des compositions : avec la profondeur, les ferbélites s'appauvrissent en  $\text{Fe}^{3+}$  et en niobium, tandis que le taux de ferbélite augmente (jusqu'à  $\approx 0,95$ ) ; ces phénomènes reflètent vraisemblablement la plus grande proximité du granite de la Bosse.

L'intrusion du granite de Beauvoir, connu depuis longtemps pour recouper le stockwerk, induit des circulations hydrothermales qui ont, sur le stockwerk, des effets considérables. Les filons de quartz sont envahis et corrodés par une topaze tardive, à laquelle succèdent des micas, lithinifères puis phengitiques. Des micro-cavités de dissolution se développent dans les ferbélites, remplies de quartz, zircon, micas, et, localement de « columbites » riches en W (jusqu'à  $\approx 8\%$   $\text{WO}_3$ ), tantale (jusqu'à  $\approx 5\%$   $\text{Ta}_2\text{O}_5$ ) et titane (jusqu'à  $\approx 4\%$   $\text{TiO}_2$ ) ; en même temps, des transformations en wolframite et hübnerite ont lieu sporadiquement à la faveur de circulations fissurales et de diffusions à partir de la périphérie des cristaux.

### **Abstract**

*The ferberite stockwerk at Échassières : spatial and temporal evolution ; crystal chemistry of ferberites.*

The ferberite stockwerk at Échassières was formed in three stages, penecontemporaneously with the emplacement of a stockwerk of aplites and aplo-pegmatites (stockscheiders). These magmatic rocks are probably related to a hypothetical granite body (Bosse granite), the existence at depth of which is currently postulated in order to explain the tungsten mineralizing event. Relatively to this granite, the Échassières stockwerk is probably in a more distal position than most of the similar peritholitic quartz-wolframite deposits in the hercynian belt.

The ferberites ( $Fe/Fe+Mn \approx 0.75$ ) are Nb-rich (currently in the range 0.5-1.5%  $Nb_2O_5$ ) and Ta-poor (usually 0.1%  $Ta_2O_5$ ). This is due to solid solution (or submicrometric imbricated growth) between ferberite and ferrocolumbite; there is however some  $Fe^{3+}$  (currently  $< 5\%$  total iron).

Niobium content was time dependent: at each mineralization stage is observed the succession Nb-rich zoned crystals-Nb-poorer unzoned crystals. To the contrary, ferberite ratio is very constant at a given locality: this fact suggests a local control of the ratio, for instance by the surrounding rocks composition.

Compositions display great variations downwards: impoverishment in  $Fe^{3+}$  and niobium; increasing of the ferberite ratio (up to  $\approx 0.95$ ). These changes are thought to reflect the increasing proximity of the Bosse granite.

Intrusion of the late Beauvoir granite has strong effects upon the stockwork. Quartz veins are invaded by topaze, quartz being dissolved and not ferberites, then by micas (first lithiniferous, then phengitic). Corrosion microcavities within the ferberites are filled with quartz, zircon, micas, and, locally, a Ta-Ti-W-rich - columbite - (up to  $\approx 5\%$   $Ta_2O_5$ ,  $\approx 4\%$   $TiO_2$  and  $\approx 8\%$   $WO_3$ ); meanwhile, ferberites are changed by place into wolframite or even hubnerite, along fissure zones, or from the crystal rims.

1. Centre de Recherches Petrographiques et Geochemiques, BP 9, 54501 Vandœuvre-les-Nancy;

2. Ecole des Mines de Nancy, 54042 Nancy Cedex

3. Ecole de geologie, BP 152, 54001 Nancy Cedex

## SOUTENANCE DE THESE

Mr **AISSA Mohamed** soutiendra sa thèse de doctorat de l'I.N.P.L.  
intitulée:

### RECONSTITUTION D'UN SYSTEME DE PALEOCIRCULATIONS HYDROTHERMALES ET SES CONSEQUENCES METALLOGENIQUES: LE DISTRICT D'ECHASSIERES.

**Jeudi 9 avril 87** à 14h au C.R.P.G. et vous invite cordialement au  
pot qui suivra.

#### RESUME

L'étude des inclusions fluides piégées dans les différentes unités lithologiques recoupées par le sondage Echassières 1, couplée avec l'étude détaillée du cortège filonien de la Bosse et de sa minéralisation tungstifère, ont permis de construire un modèle de l'évolution hydrothermale du site en liaison avec les divers événements magmatiques qui s'y sont succédés.

Ce modèle comporte 3 stades principaux :

- Stade du stockwerk de la Bosse, caractérisé par une évolution biphasée avec d'abord la mise en place des filons quartzeux (et magmatiques associés), à la suite de la mise en place de l'hypothétique granite de la Bosse et de la circulation de fluides comportant des quantités significatives de  $CO_2$ ,  $CH_4$ ,  $N_2$ , dont la dilution par des fluides aqueux était probablement, à l'origine de la précipitation de la wolframite entre 300 et 400°C. La deuxième phase de l'évolution de ce stockwerk est liée à la mise en place du granite de Beauvoir dont les saumures précoces enrichies en Li, F, Nb, ..., ont produit, au niveau du stockwerk, une dissolution sporadique du quartz et la précipitation de la topaze et du mica lithinifère. Ces fluides ont réagi également sur la wolframite en donnant des solutions solides wolframite columbite et en corrodant les anciens cristaux.

- Stade du granite des Colettes dont la mise en place, estimée à 1000-1200 bars, a provoqué un réchauffement de son environnement proche (jusqu'à 600°C), produisant ainsi des modifications physico-chimiques des fluides les plus denses ( $d \approx 0.75$ ) du stockwerk, notamment ceux responsables du dépôt de la minéralisation.

- La suite de l'évolution de ce site s'est faite par l'intrusion du granite de Beauvoir, dont les conditions de mise en place sont estimées à 560-580°C et 800-900 bars. Cette intrusion a produit le déclenchement d'un important circuit hydrothermal avec d'abord le passage d'un régime lithostatique à un régime hydrostatique, et l'expulsion des premières saumures magmatiques dont l'impact a été enregistré au niveau du stockwerk (encaissant). Ensuite, ces saumures ont été diluées en se mélangeant à des fluides extérieurs, qui ont circulé dans tout le système grâce aux fractures et au moteur thermique que constitue le granite de Beauvoir. L'introduction de fluides extérieurs "froids" a entraîné le refroidissement de ce dernier et donc le ralentissement des circulations et le vieillissement du système géothermique de Beauvoir.

L. BOUABSA Soutiendra sa thèse de Doctorat de 3<sup>ème</sup> Cycle

intitulée

INTRUSIONS GRANITIKES A ALBITE ET TOPAZE :  
MINERALISATIONS STANNO - WOLFRAMIFERES  
ET ALTERATIONS HYDROTHERMALES ASSOCIEES  
L'EXEMPLE DU HOGGAR CENTRAL - ALGERIE

Le 20 Novembre 1987, à l'amphi. 4 de la faculté des sciences (VANDOEUVRE)

à 14 Heures

RESUME

Le présent travail met l'accent sur la dualité du magmatisme de cette région du Hoggar Centrale. Outre un granite banal à biotite (parfois amphibole) constituant l'ossature principale des granites post orogéniques (Taourirts), il est mis en évidence un type particulier de granite spécialisé à albite, topaze et protolithionite comme paragenèse I. Ce magmatisme évolué est sans liaison génétique avec le précédent comme le soulignent les contacts intrusifs marqués par des stockscheiders et les discontinuités géochimiques au niveau des éléments majeurs et traces (sur roches totales et phases micacées).

Les particularités pétrographiques et géochimiques de ce magmatisme spécialisé ne sont pas sans rappeler celles présentées par les granites de Beauvoir du complexe d'Echassières.

La liaison spatiale et génétique des altérations hydrothermales avec ce magmatisme spécialisé apparaît évidente. Ces altérations affectent les différents termes magmatiques de la région; elles sont essentiellement lithinifères, fluorées (protolithionite, muscovite lithinifère, topaze et fluorine) et peuvent conduire à des phénomènes de convergence à partir des granites banaux à biotite.

Les minéralisations Sn - W, déjà exprimées de façon primaire dans les granites à albite - topaze, sont liées au développement de ces altérations greisenisantes fissurales. Plusieurs stades dans l'expression de ces minéralisations peuvent être reconnus:

- Dans les greisens à protolithionite et topaze développés à partir des granites à albite - topaze, alors que les greisens à muscovite - Li et fluorine développés aux dépens des granites à biotite ou granito - gneiss sont apparemment stériles.

- Dans les filons quartzeux contemporains voire postérieurs à l'expression principale de la greisenisation (il existe une variation progressive de la composition des fluides hydrothermaux depuis le greisen d'éponte jusqu'au filon de quartz central).

Il ressort de cette étude qu'il ne peut exister aucun lien génétique entre les minéralisations (Sn - W) régionales et les granites "Taourirts" dans leur ensemble, tel qu'il était considéré jusqu'ici.

La spécificité du magmatisme spécialisé à albite - topaze et son importance dans l'expression des minéralisations sont maintenant bien établies.

La recherche de l'expression de ce magmatisme spécifique et plus particulièrement sous ces formes filoniennes apicales se doit maintenant être une des contraintes majeures à la prospection de nouvelles minéralisations dans cette partie du Hoggar Central.

Mots clés: magmatisme, Hoggar Central, granite, post orogénique, spécialisé, génétique, albite, topaze, protolithionite, stockscheider, muscovite - Li, minéralisation, Sn - W, fissurale, greisens, prospection.

## Late Hercynian U-vein mineralization in the Alps: fluid inclusion and C, O, H isotopic evidence for mixing between two externally derived fluids

H.S. Negga<sup>1</sup>, S.M.F. Sheppard<sup>2</sup>, J.M. Rosenbaum<sup>1, 2</sup>, and M. Cuney<sup>1</sup>

<sup>1</sup> CREGU, BP 23, F-54501 Vandœuvre-les-Nancy Cedex, France

<sup>2</sup> CRPG-CNRS, BP 20, F-54501 Vandœuvre-les-Nancy Cedex, France

**Abstract.** Late Hercynian U-bearing carbonate veins within the metamorphic complex of La Lauzière are characterized by two parageneses. The first is dominated by dolomite or ankerite and the second by calcite and pitchblende. Fluids trapped in the dolomites and ankerites at 350–400° C are saline waters (20 to 15 wt % eq. NaCl) with  $\delta D \sim -34$  to  $-49\text{‰}$ . In the calcite they are less saline (17 to 8 wt % eq. NaCl) and trapped at 300–350° C with  $\delta D \sim -50$  to  $-65\text{‰}$ . All fluids contain trace N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> and probably CH<sub>4</sub>. The carbonates have  $\delta^{13}C \sim -8$  to  $-14\text{‰}$  and derived their carbon from organic matter. Evolution of the physico-chemical conditions from dolomite (ankerite) to calcite deposition was progressive.

H and O-isotope studies indicate the involvement of two externally derived fluids during vein development. A D-rich ( $\sim -35\text{‰}$ ) low  $fO_2$ , saline fluid is interpreted to have come from underlying sediments and entered the hotter overlying metamorphic slab and mixed with more oxidizing and less saline U bearing meteoric waters during regional uplift. This evidence for a sedimentary formation water source for the deep fluid implies that the metamorphic complex overthrust sedimentary formations during the Late-Hercynian.

## Pb–Zn MINERALIZATION ASSOCIATED WITH DIAPIRISM: FLUID INCLUSION AND STABLE ISOTOPE (H, C, O) EVIDENCE FOR THE ORIGIN AND EVOLUTION OF THE FLUIDS AT FEDJ-EL-ADOUM, TUNISIA \*

Chemical Geology, 61 (1987) 113–134

ABDELKRIM CHAREF and SIMON M.F. SHEPPARD

*Centre de Recherches Péetrographiques et Géochimiques, F-54501 Vandoeuvre Cédex (France)*

### Abstract

(Accepted for publication July 11, 1986)

Charef, A. and Sheppard, S.M.F., 1987. Pb-Zn mineralization associated with diapirism: Fluid inclusion and stable isotope (H, C, O) evidence for the origin and evolution of the fluids at Fedj-el-Adoum, Tunisia. In: E.E. Horn and H.-J. Behr (Guest-Editors), Current Research on Fluid Inclusions, ECRFI, Göttingen, April 10–12, 1985. Chem. Geol., 61: 113–134.

Pb-Zn mineralizations occur in the contact zone to a saliferous diapir and its surrounding Cretaceous limestone-rich sediments. The diapir of Triassic formations was initially intruded hot from a depth of 3–7 km during the Cretaceous. Three principal types of mineralization occur: bedded, vein and massive. Combined microthermometric and stable isotope (H, C, O) studies have characterized three principal thermal events before cool meteoric waters entered the system:

(1) Hot (170–250° C) saline (22–33 eq. wt. % NaCl) fluids of probable deep formation water origin with  $\delta D \sim -43\text{‰}$  and  $\delta^{18}O \sim +20\text{‰}$  precipitated calcite (with  $\delta^{13}C \sim -8\text{‰}$ ) and celestite in the inner part of the contact zone with the diapir.

(2) Hot (100-130°C) saline (18-23 eq. wt.% NaCl) fluids with  $\delta D \sim -60\text{‰}$  and  $\delta^{18}O \sim +13\text{‰}$  (containing  $CO_2$ ,  $N_2$  and hydrocarbons) precipitated sphalerite, calcite ( $\delta^{13}C \sim -9\text{‰}$ ), quartz and minor galena as banded mineralization in the outer part of the contact zone. More galena-rich vein mineralizations in the contact zone were deposited at similar temperatures from comparable fluids. Mineralizing solutions are interpreted to be formation waters with the carbonate carbon being derived from organic carbon. The colloform textures in the banded mineralization suggest that the nearby sedimentary basin underwent episodic dewatering.

(3) Warm (70-90°C) saline (16-22 eq. wt.% NaCl) fluids with  $\delta D > -110\text{‰}$  and  $\delta^{18}O \sim +10\text{‰}$  precipitated calcite (with  $\delta^{13}C \sim -16\text{‰}$ ), galena-rich ore in the massive mineralizations and vein mineralizations in the Cenomanian-Turonian limestones, and essentially sulphide-free calcite in the banded and contact vein mineralizations. A locally derived organic water origin is proposed where both hydrogen and carbon were derived from organic constituents such as petroleum during bacterial sulphate reduction reactions. Variable  $\delta D$  and salinity values suggest mixing processes between the D-depleted organic water and a more D-rich formation or meteoric water.

(4) Low-temperature (< 50°C) meteoric waters with  $\delta D \sim -15$  to  $-25\text{‰}$  introduced a second generation of calcite, with the carbonate largely coming from the sedimentary carbonates, in the massive and Turonian vein mineralizations. Anhydrite was probably converted to gypsum at about this time and before Fedj-el-Adoum arrived at its present altitude.

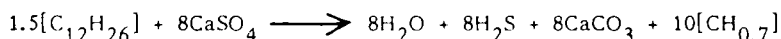
\*Contribution No. 691 of Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques.

## Geol. Soc. Amer. Abstracts with Programs, San Antonio, TX. 563 1986

Pb-Zn MINERALIZATION ASSOCIATED WITH DIAPIRISM :  
FLUID INCLUSION AND STABLE ISOTOPE (H,C,O,S,Pb)  
EVIDENCE FOR THE ORIGIN AND EVOLUTION OF THE  
FLUIDS AT FEDJ-EL-ADOUM, TUNISIA.

CHAREF Abdelkrim, SHEPPARD Simon M.F. and  
MICHARD Annie, CRPG, B.P. 20, 54501 VANDOEUVRE,  
France.

Three principal types of Pb-Zn mineralization occur in the contact zone to a saliferous diapir and its surrounding Cretaceous limestones. Combined fluid inclusion and stable isotope studies have shown that (1) for first generation bedded and vein ore, saline fluids (18-23 wt % equiv. NaCl ; 130-100°C) with  $\delta D \sim -60$ ,  $\delta^{18}O \sim 13$ , containing  $CO_2$ ,  $N_2$  and hydrocarbons, precipitated sulfides (Zn > Pb) with  $\delta^{34}S \sim 12$  to 30, (2) for first generation massive ore and second generation bedded and vein ore equally saline fluids at  $\sim 70^\circ C$  with  $\delta D \sim -110$  and  $\delta^{18}O \sim 10$  precipitated calcite with  $\delta^{13}C \sim -16$  and sulfides (Pb > Zn) with  $\delta^{34}S \sim -13$  to  $-5$ , and (3) low temperature (< 50°C) meteoric waters with  $\delta D \sim -20$  introduced a final generation of calcite ( $\delta^{13}C \sim -1$ ). Pb-isotope compositions of (1) and (2) ores imply different sources for metals. For (1) fluids are interpreted to be formation waters which transported metals and reduced S from Jurassic to Cretaceous sediments in nearby basin. Sulfide S originated from bacterial reduction of sulfate S in sediments before deep burial. For (2) fluids are considered to contain a major organic water component, possibly generated during a simplified overall reaction of type :



where much of hydrogen was derived from organic constituents, such as petroleum, diurnal bacterial sulfate reduction reactions using diapir sulfate (cap-rock type reactions). Two or more sources of fluid, sulfur and metals are required for ore deposit. The later (2) mineralization was not therefore formed by reworking (1) mineralization.

### A. CHAREF

LA NATURE ET LE ROLE DES PHASES FLUIDES ASSOCIEES A LA  
MINERALISATION Pb-Zn DANS LES FORMATIONS CARBONATEES  
ET LEURS CONSEQUENCES METALLOGENIQUES : Etudes des  
inclusions fluides et des isotopes (H, C, O, S, Pb) des gisements  
des Malines (France), Jbel Hallouf - Sidi Bou Aouane et Fedj-  
el-Adoum (Tunisie).

Docteur es-Sciences Naturelles, INPL, Nancy, 303 p., 1986

### Résumé

Ce mémoire présente surtout une étude géochimique -isotopes stables (H, C, O, S) et radiogéniques (Pb), microthermométrie et microspectrométrie Raman des inclusions fluides pour déterminer la source et la nature des fluides, du soufre et des métaux de trois gisements Pb-Zn associés à des formations carbonatées et des shales des Malines (France). Jbel Hallouf Sidi Bou Aouane et Fedj-el-Adoum (Tunisie).

Ces exemples nous ont permis d'étudier un gisement Karstique très jeune comme Jbel Hallouf-Sidi Bou Aouane (plio-quaternaire) et de comparer à un gisement beaucoup plus ancien (Les Malines) dont les premières concentrations (minéralisation stratiforme) remontent à l'âge Cambrien.

En plus, le gisement de Fedj-el-Adoum nous a offert un exemple de minéralisations associées avec un diapir salifère. Les gisements des Malines et de Fedj-el-Adoum présentent également des exemples de minéralisations polyphasées - stratiformes, karstiques, amas, et/ou filonien. Ces trois gisements sont directement ou indirectement liés soit à un bassin soit à des formations sédimentaires.

Aux Malines, il existe une minéralisation stratiforme à sphalérite d'âge cambrien. Les isotopes du plomb de cette minéralisation ont indiqué que la galène cambrienne reste un composant mineur de ces amas. La composition isotopique du soufre ( $\sim -23\%$ ) et du carbone ( $-8.6 < \delta^{13}C < -2.3$ ) impliquent que le soufre est réduit sur place dans les petites cuvettes en milieu euxinique. Cependant pour les minéralisations karstiques de Fedj Adoum et des Malines le soufre a été réduit à l'extérieur du site de dépôt et a été donc transporté par le fluide avec les métaux (Pb et Zn). Le gisement karstique filonien et de bassins lacustres de Fedj Adoum Sidi Bou Aouane a connu un seul processus de minéralisation de basse température.

Les températures sont comprises entre 10 et 25°C (modèle isotopique). Les fluides à potentiel minéralisateurs proviennent d'une source à eaux météoriques et à dégazage du CO<sub>2</sub>. Ce type de fluide a fait précipiter des carbonates, type travertin, riches en <sup>13</sup>C ( $\delta^{13}C > 4\%$ ) et des sulfures. Ce type de fluide doit traverser une zone anaérobie où il lessive du soufre réduit et des métaux de séquences sédimentaires traversées.

Aux Malines le dépôt de la minéralisation karstique est, aussi, à basse température ( $\sim 70^\circ\text{C}$ , modèle isotopique). Cependant, la nature du fluide qui a transporté le soufre réduit et les métaux est tout à fait différent de celui de Jbel Hallouf-Sidi Bou Aouane. Les fluides d'imbibition des sédiments triasiques de couverture et peut-être l'eau de surface sont les principaux transporteurs des composants de la minéralisation K-I.

Aux Malines, il y a eu une surimposition d'une autre phase de minéralisation, appelée K-II lorsqu'elle est dans les Karsts et F dans les fissures de la dolomie cambrienne. Il est probable que le soufre et les métaux de la minéralisation F et KII sont ramenés par les eaux de formation salées qui parviennent du bassin de Rhône à des températures voisines de 150 °C. Ces fluides sont probablement expulsés du bassin sous forme de pulsations rapides et périodiques. Entre ces événements chauds, il y a eu infiltration des eaux météoriques froides vers les sites du dépôt. Également, le bassin du Rhône a été en grande partie à l'origine des fluides tardifs à CO<sub>2</sub> et hydrocarbures qui ont contribué à la précipitation des barytines géodiques.

L'étude microthermométrique et microspectrométrique au Raman des inclusions piégées par la barytine montrent qu'elles ont gardé ces propriétés V-X primaires et que leurs études ont fourni de précieux renseignements concernant la pression de piégeage. Ces inclusions fluides dans la barytine ont permis de mettre en évidence le rôle des marnes triasiques dans la création d'une zone de géopression qui, à la fin, a causé la fracturation de la roche du socle.

A Fedj-el-Adoum, la minéralisation liée au diapir a connu deux phases d'évolution qui sont relativement différentes. On a une minéralisation liée à T  $\sim 110^\circ\text{C}$  et  $\delta^{34}\text{S}$  qui varie entre 29.8 et 11.7 ‰. Pour ce type de minéralisation ce sont les eaux de formation provenant du bassin qui ont ramené du plomb, du zinc (Zn > Pb) et du soufre réduit. La seconde minéralisation correspond à la minéralisation massive à  $\delta^{34}\text{S}$  comprise entre 13.1 et - 4.8 et de T  $\sim 70^\circ\text{C}$ . Le soufre de cette minéralisation provient de la réduction bactérienne des sulfates triasiques (du diapir) qui peuvent être aussi, en partie, la source des métaux (Pb > Zn). Pour cette seconde minéralisation la matière organique a joué un rôle important pas simplement pour l'activité bactérienne mais aussi comme source de l'eau à partir des réactions d'oxydo-réduction.

L'étude de ces trois gisements dont les dépôts sont développés près ou à quelques centaines de mètres de la surface a mis en évidence (1) le rôle des bassins sédimentaires pour les Malines et Fedj-el-Adoum, (2) le rôle des séquences sédimentaires et leurs reliefs pour le cas de Jbel Hallouf-Sidi Bou Aouane, (3) le rôle de la montée d'un horst pour le cas des Malines et d'un diapir pour le cas de Fedj-el-Adoum, et (4) les structures faillées et reliefs focalisant la circulation des fluides qui transportent le soufre réduit et les métaux.



L'étude de Fedj-el-Adoum a montré que le diapir peut jouer également un rôle direct en fournissant du soufre et de la matière organique, qui a favorisé la réduction bactérienne, et peut-être les métaux.

Ces travaux présentés dans ce mémoire montrent que les dépôts d'importantes concentrations métallifères ne résultent pas d'un simple remaniement des matériaux in situ. Les gisements sont souvent économiquement importants car ils sont polyphasés - syngénétique, karstique, hydrothermal - et leurs sources des métaux et du soufre sont diverses.

Terra Cognita, 6, 2, 132, 1986

S13

**ORIGIN OF LOW  $\delta D$  FLUIDS IN UNCONFORMITY U-DEPOSITS AND Pb-Zn MINERALIZATIONS ASSOCIATED WITH DIAPIRS**

S.M.F. SHEPPARD, A. CHAREF, G. HALTER, M. PAGEL and F. WEBER

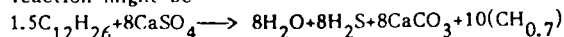
CRPG, B.P. 20, 54501 Vandoeuvre Cedex, France

Combined H- and O-isotope, fluid inclusion and mineralogical studies have demonstrated the role of warm (70 to 200°C) formation waters with  $\delta D = -35$  to  $-75$  in (1) the Proterozoic unconformity U-deposits of the Athabasca basin, Saskatchewan (e.g. Carswell) and (2) the Pb-Zn carbonate-hosted deposits in the contact zone of saliferous diapirs (Fedj-el-Adoum, Tunisia). In both types of deposits strongly deuterium depleted fluids or minerals ( $-100 > \delta D \text{ fluid} > -170$ ) are directly associated with some mineralization. O-isotope values are not abnormally depleted in  $^{18}O$ .

At Carswell a good correlation is observed between decreasing  $\delta D$  value of Mg-chlorite ( $\delta D > -182$ ) and increasing concentration of U in rock sample ( $> 2000$  ppm U) and disturbed K-Ar ages. The low  $\delta D$  chlorites are interpreted to reflect exchange with subactual low  $\delta D$  meteoric waters with the intense radiation flux aiding the H-isotope exchange processes. (Average ore U  $\sim 3.8$  wt %).

At the post-Aptian Fedj-el-Adoum deposit saline fluids with  $\delta D \sim -110$ ,  $\delta^{18}O \sim +10$  at  $\sim 70^\circ C$  followed brines with  $\delta D \sim -60$ ,  $\delta^{18}O \sim +12$  at  $\sim 120^\circ C$  interpreted to be of formation water origin and preceded low temperature ( $< 50^\circ C$ ) less saline fluids with  $\delta D \sim -20$ ,  $\delta^{18}O \sim +2$  of inferred meteoric origin. The low D-fluids are interpreted to be of organic water origin where the water hydrogen

was derived from the oxidation of organic matter during bacterial sulphate reduction processes. A generalised overall reaction might be



where  $C_{12}H_{26}$  and  $(CH_{0.7})$  represent the organic matter (petroleum?) and residual bitumen respectively.

Low-D fluids are not necessarily (1) of meteoric origin or (2) meteoric waters contemporaneous with the mineralization.

**Fortschr. Miner. 64, 2, 215-226 Stuttgart, Dezember 1986**  
**Sulfur isotopic studies of the minerals from the Pollone and Monte Arsiccio deposits**  
**(SW Apuane Alps, Tuscany, Italy)**

Contribution to the knowledge of the ore deposits of Tuscany, III\*

B. ORBERGER\*\*, M. ARNOLD and F. SAUPE

Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques CNRS, Boîte Postale 20, F-54501 Vandoeuvre lès Nancy.

ORBERGER, B., ARNOLD, M. & SAUPÉ, F.: Sulfur isotopic studies of the minerals from the Pollone and Monte Arsiccio deposits. — *Fortschritte der Mineralogie* **64**, 215–226, 1986.

**Abstract:** Fifty eight  $\delta^{34}\text{S}$  values are provided for the Pollone, Monte Arsiccio and Buca della Vena mines (36 for  $\text{BaSO}_4$ , 16 for  $\text{FeS}_2$ , 5 for  $\text{PbS}$  and one for  $\text{ZnS}$ , of which 11 for paired  $\text{BaSO}_4$  and  $\text{FeS}_2$ ). The  $\delta^{34}\text{S}$  of barite range from 11 to 23‰ and average 20‰. The  $\delta^{34}\text{S}$  of pyrite and galena have a large range of variation (–1 to –18‰), the average value of the pyrite is of –10‰ for Pollone and of –1‰ for Monte Arsiccio. The differences between the  $\delta^{34}\text{S}$  values for coexisting barite and pyrite are 20.7 to 36.5‰.

The S isotope data are compatible with (1) a Silurian-Devonian age of the host rocks and of the mineralization, and (2) a deposition of the barite in a near shore, euxinic environment. No isotope equilibration occurred during Alpine metamorphism which reached 425 to 465°C and 3 to 4 kb. The  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratios were determined for three barites from Pollone ( $x = .7079$ ) as well as the Pb isotope ratios for one galena ( $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 18.305$ ,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.67$ ,  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 38.43$ ). These ratios support a predominantly crustal origin of the Sr and the Pb of these deposits, a conclusion that can be extended to the Ba.

**Keywords:** S-, Pb-, Sr-isotopes, barite, pyrite, sphalerite, galena, Apuane Alps.

**Mineralogical Magazine, September 1987, Vol. 51 pp. 357–69**

## Chemical and mineralogical compositions of black shales (Middle Palaeozoic of the Central Pyrenees, Haute-Garonne, France)

FRANCIS SAUPÉ

Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques, BP 20, 54501 Vandœuvre-les-Nancy Cedex, France

AND

GHISLAINE VEGAS

Laboratoire de Minéralogie, 39 Allées Jules Guesde, 31400 Toulouse, France

### Abstract

The epicontinental sedimentary, epi- to mesozonal rocks of the Middle Palaeozoic of the Central Pyrenees host several economic Pb–Zn concentrations and numerous occurrences of these metals. The authors have endeavoured to recognize the original mineralogical nature of the epizonal host rocks in the concession of Baren (Haute-Garonne). Seventy-two whole-rock analyses were used for this purpose and interpreted by means of chemico-mineralogical diagrams.

These diagrams use parameters chosen so as to include in the projection planes the essential minerals forming the rocks under discussion. In this way, the nature and the possible initial mineralogical composition of the rocks, which are usually obliterated during metamorphism, are made visible. The chemical compositions of the different rock units are sufficiently typical to compensate for the absence of fossils and to allow stratigraphic identifications.

No volcanic contribution could be recognized in the pelites. The latter demonstrate the existence of a continent, undergoing a kaolinite-producing alteration, especially during the Silurian. The analysed trace elements (Ba, Cr, Cu, Ni, Pb, Rb, Sr, Th, U, V and Zn) are not enriched with respect to the clarkes for these rocks, except slightly in the case of U and Th and more strongly for Cr and V. The carbonate rocks contain predominantly calcite, with subordinate dolomite. They show a strong enrichment in Ba, whereas the content of the other trace elements is normal.

**KEYWORDS:** black shales, palaeogeographic reconstruction, geochemistry, sulphides, Pyrenees, France.

S23.10

**$\delta^{34}\text{S}$  OF SULFIDES MINERALIZATIONS ASSOCIATED WITH THE BAY OF ISLANDS OPHIOLITIC COMPLEX (NEWFOUNDLAND)**

J. THORETTE\* & M. ARNOLD

(Ecole Nationale Supérieure des Mines, Paris, France)

Sulfides mineralizations of York Harbour-Bay of Islands are situated in Newfoundland Province in the vicinity of York Harbour town. In this area, ore mineralizations are related to an extensive sub-marine volcanism of Ordovician age. Mapped area exhibits large outcrops of ophiolitic complex, with flows and submarine pillow lavas, and gabbroic rocks. These are cutted by dyke of doleritic rocks and by a vein complex (THORETTE, 1986).

Sulfides mineralizations are lying in various occurrences. they form stockwork in pillows and massive ore bodies in flows. Disseminated sulfides occur also in cracks of pillows, in chert lens and in intravolcanic sediments. The main mineral components are pyrite and pyrrhotite with minor contents in sphalerite and chalcopyrite. With object to determine sulfur source of mineralizing fluids (marine sulfate, magmatic sulfur, ...) 50  $\delta^{34}\text{S}$  measurements of the main pyritic component are made. A very surprising data range is obtained : from -1 to +46 ‰. The  $\delta^{34}\text{S}$  trend towards high values can be partly explained by mixing of magmatic and marine sulfur as is proven in actual submarine vents at L21°N (ARNOLD and SHEPPARD, 1981). But, the isotopic composition of Ordovician marine sulfates is close to +30‰ (CLAYPOOL and al., 1980). So, this proposition does not explain the  $\delta^{34}\text{S}$  value higher than 30‰. Nevertheless, disymmetrical histogram can be obtained in a very simple manner with a Rayleigh distillation process. Indeed, in a degassing magma the displacement of the  $\text{SO}_2\text{-SH}_2$  equilibrium under constant or decreasing temperature conditions induces the mentioned process. In this manner, the  $\delta^{34}\text{S}$  of  $\text{SH}_2$  spreads from typical mantelic sulfur value to the abnormal  $\delta^{34}\text{S}$  values. A small participation of Ordovician marine sulfate is probable as in actual hydrothermal vents.

ARNOLD and SHEPPARD (1981) - Earth Planet Sci. Let., 56, 148-156.  
CLAYPOOL, HOLSER, KAPLAN, SAKAI and ZAK (1980) - Chem. Geol., 28, 199-260.  
THORETTE (1986) - Thèse Doc 3ème Cycle (unpublished).

S23.02

**THE FRESNILLO MINE (MEXICO): CONDITIONS OF DEPOSITION; ORIGIN OF SULFUR AND METALS**

M. ARNOLD\* & E. GONZALEZ PARTIDA

(CRPG, Vandoeuvre-lès-Nancy, France)

The Fresnillo mine, Mexico, is situated on the western edge of the Mesa Central in Zacatecas state. Ore is recognized from surface to a depth of over 1000m. Two types of mineralizations are mined. Between 500 to 800m below the surface, several stratabound (or replacement) ore bodies are enclosed in a thick bituminous shaly unit ( $\text{J}_3\text{C}_1$ ). One of these is cutted and metamorphosed by a small quartzo-monzonitic (QM) intrusion (28.1±2.5 Ma). In its vicinity, shaly unit is intensively fractured. Between 800 to 1000 meters in the depths, mineralization appears both as stockwork in QM and as very numerous intersected veins in shaly unit. Towards the surface, more regular veins are enclosed in overlying carbonated rocks *pro parte*. Characteristics of fluid phase are studied at different levels (1000m in stockwork, 920, 450 and 320m in the most important vein). In deeper level, a low (1.7% wt NaCl) and constant salinity is prevailing during thermal event from 350 to 200°C. In Lode vein, the increase of salinity (from 1.7 to 10% wt NaCl) is clearly related with a decrease of T (300° to 160°C) and of the depths. This is consistent with deposition by a boiling hydrothermal fluid and calcite precipitation in the vein. In QM, magmatic (po+ilm+mt) paragenesis and py+po association are coexisting. These sulfides are not connected with minor fractures and clearly contemporaneous of growth of rhyolitic quartz crystals. So, the mechanically trapped sulfides are partly contemporaneous of QM crystallization. Contrastly, more reduced paragenesis occur in stockwork (po+sp with  $X_{\text{FeS}}^{\text{SP}} > 20\%$ ) and in enclosing sedimentary rocks ( $X_{\text{FeS}}^{\text{SP}} > 20\%$ ) whose the bituminous products are graphitized. So, under similar thermal conditions the QM-fluid system is more oxidized than the surrounding rock-fluid system. Consequently, Fresnillo

mineralizations are not the product of a late magmatic hydrothermal activity. Indeed, strongly reduced properties of hydrothermal fluid can be attained only by a slow percolation across the intensively fractured bituminous shaly unit. In this manner sulfides are also leached then redeposited *in situ* in numerous fractures or faults developed during the magmatic event. Then, the very similar ranges of  $\delta^{34}\text{S}$  values (200 data falling in -2, -10‰ interval) measured on py, sp and ga from various occurrences (stratabounds, veins disseminated in QM and enclosing shales) are explained in a simple manner. These are the product of a partial remobilization of syngenetic mineralizations of Cretaceous age.

Terra Cognita, 7, (2-3), 326, 1987

G06.35P

### THE CUALE-EL RUBI MINERALIZATION: A MEXICAN-KUROKO-TYPE ORIGIN OF SULFUR

E. GONZALEZ PARTIDA\* & M. ARNOLD  
(CRPG, Vandoeuvre-lès-Nancy, France)

The volcanogenic area of Cuale-El Rubi (Mexico) is located near the Pacific coast in Jalisco State. In this area, exposed basement is a monotonous sequence of slightly metamorphosed graphitic shales. Age of it is unknown. Basement rocks are unconformably covered by rhyolitic flows (250m of thick), then by complex recurrences of fossiliferous (Albian-Aptian) black lutes and volcanic products (tufts and flows). Upper part of volcanic pile is still in discussion. Indeed, acidic volcanic outcrops may be confused with the tertiary volcanics of the Sierra Madre occidental. Sulfides mineralizations form stockworks in basal volcanics and lens overlie it or interstratified in black lutes. Mineralogy is dominated by py+sp+gn+ba with minor contents in Po, Cb, Cp and Gp. Rare minerals or supergenic oxidation minerals are not mentioned here. The Cuale area is unmetamorphosed. Unusual reduced conditions of deposition are attested both the early (sp+po±cb) and late (py+ba+sp with  $X_{\text{FeS}^{\text{SP}}} \sim 9\%$  mole) paragenesis. This unusual "kuroko type" give precious indications on the localization of the convective cell. Indeed, an haematite-magnetite association is generally observed in volcanic rocks. These are probably the product of oxidation of an early and more reduced paragenesis (mt+ilm). Nevertheless, highly reduced properties of mineralizing fluids can be attained only by interaction with graphitic shales.

At Cuale,  $\delta^{34}\text{S}$  of sulfides minerals (67 analysis) falls in the +2.5, +7.5‰ range.  $\delta^{34}\text{S}$  of early sulfides is close to +2.5‰.  $\delta^{34}\text{S}$  of late baryte is close to +30‰. These facts strongly suggest that hydrothermal sulfur is a mixing of marine sulfate (+17‰) and remobilized sulfur in the basement. Isotopic composition of it is unknown in this area but probably close to -2.5‰ - the mean of  $\delta^{34}\text{S}$  values determined in the equivalent Tizapa Formation. Then, initial marine contribution is close to 25%. The  $\delta^{34}\text{S}$  of baryte is higher than +17‰. So, sulfates and sulfides species are in chemical equilibrium under final conditions (~ 300°C). Then, knowledge of  $f_{\text{S}_2}$  ( $10^{-9}$  atm for  $X_{\text{FeS}^{\text{SP}}} \sim 9\%$ ) and pH (~ 4.5) permits a relatively accurate estimation of  $X_{\text{SH}_2}$  and of the  $\delta^{34}\text{S}_{\Sigma\text{S}}$  value. Estimated value (+4‰) requires a marine sulfate contribution close to 50%.

# MINERALOGICAL, FLUID INCLUSION AND STABLE ISOTOPE STUDIES OF THE BENUE VALLEY LEAD-ZINC-BARITE-FLUORITE DEPOSITS, NIGERIA.

Ibukun Emmanuel OGUNDIPE

Thèse de Docteur de l'University of Ibadan, Nigeria, 341 pages, Avril 1987

## Abstract

The lead-zinc-barite-fluorite deposits of the Benue valley are epigenetic-type of mineralisation, localised in N-S trending fractures developed in the lower Cretaceous Albian shales, limestones or arkosic sandstone. The mineralized fractures are concentrated in three districts - the lower, middle and upper Benue - that occur along the central axis of the trough.

Fluid inclusion studies of the ore and gangue minerals indicate that temperatures of deposition varied from district to district : about 140°C in the lower Benue (Pb-Zn), 130°C in the middle Benue (Ba-F) and about 220°C in the upper Benue (Pb-Zn). Variations of about 50°C occur within and between the early and late minerals. The most saline fluids (~ 20 wt % eq. NaCl) occur in the Lower Benue sulfides but decreases gradually from the middle (15 wt % eq. NaCl) to upper (12 wt % eq. NaCl) Benue. Chemical analyses indicate that the saline fluids are Na-Ca-Cl brines.

Sulfur isotopic composition of sulfides increase systematically from lower Benue ~ - 9 ‰ to middle Benue ~ -13 ‰ and on to the upper Benue ~ + 10.4 ‰. The origin of the sulfide sulfur is considered to be of sedimentary sulfide origin. The variations in  $\delta^{34}\text{S}$  are considered to reflect differences in the nature of the diagenetic sulfate reduction processes with the sulfate-sulfide fractionation factor decreasing on going from the lower to the upper Benue as the system for sulfur changed from being open to closed. This interpretation implies that the upper Benue is a sulfur-poor system where most of the available sulfate was reduced to sulfide.

The Benue valley deposits are characterised by low radiogenic leads. Lead isotopic ratios such as  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  increase from Isiagu (~ 17.6), to the main group of lower Benue deposits including the upper Benue (Zurak) deposit (~ 17.98) and finally to middle Benue (~ 18.20). These variations suggest multiple sources of lead for the deposits. The source of lead for the Isiagu deposit has not been identified but its characteristically lower ratios implies a granulite basement or low U/Pb sediment source rock. The main Lower Benue and upper Benue deposits could have derived their lead from arkosic sandstones while a mixed source (shales and sandstone) could have contributed to the middle Benue lead.

Hydrogen and oxygen isotopic data for the fluids associated with sulfides and quartz are consistent with a formation water origin. Because the dD values of the formation waters range from -13 to -40 ‰ these could not have been simply connate seawater. A dominant meteoric water component is probably involved in view of variations between the deuterium isotopic composition of early minerals and the late minerals. The formation waters probably came from different sedimentary units which had different histories.

Although the carbon in the carbonates are lighter ( $\delta^{13}\text{C}$  ~ -2.5 to -5.3 ‰) than many marine limestones, the carbon could still be dominantly derived from dissolution of marine carbonates; a minor contribution from the oxidation of organic carbon is possible.

A model is proposed whereby saline hydrothermal formation waters were expelled from the deeper levels of the basin at a temperature similar to or hotter than the maximum temperature of ore deposition. These fluids transported both metals and reduced sulfur from the sedimentary reservoir rocks and then precipitated the sulfide and gangue minerals in the N-S trending normal fault system as a result of decrease in pressure and cooling. No systematic evidence for mixing with less saline and cooler surface waters or boiling, except probably for  $\text{CO}_2$ , has been observed.

Comparisons are made with MVT deposits. Because of the difference in tectonic environment, location of the Benue deposits along the central rift axis and variable nature of the host rocks, BVT deposits are best considered as a class of deposits different from MVT deposits.

G17.83P

**SULFUR ISOTOPIC STUDIES OF THE BENUE VALLEY LEAD - ZINC - BARITE - FLUORITE DEPOSITS, NIGERIA**

I. OGUNDIPE\* & M. ARNOLD

(Department of Mining & Engineering, Federal Polytechnic, Ado Ekiti, Nigeria)

The Cretaceous lead-zinc-barite-fluorite deposits of the Nigeria Benue Valley (BV) occur in nine localities spread over a distance of more than 500 km extending from the lower Benue (LBV) in the Southwest to upper Benue (UBV) in the Northeast. Five of these occurrences are localized in en-echelon fractures within Carbonaceous black shales in the LBV where only sphalerite and galena are the major minerals. In the Middle Benue (MBV), fluorite and barite are dominant while galena occurs as disseminations within the fluorite hosted by silicated limestones. Lead and zinc mineralizations have also been mapped in two localities in arkosic sandstones in the UBV. The sulfur isotopic compositions of sulfide minerals are quite heterogeneous in their distribution. For galena and sphalerite from the LBV, the  $\delta^{34}\text{S}$  ranges from -7.4 to -11.2‰ and from -3.8 to -6.6‰ respectively. Two measurements made on disseminated galena from two localities in the MBV gave  $\delta^{34}\text{S}$  values of +0.7 and -1.3‰ respectively. The  $\delta^{34}\text{S}$  for barite from the same MBV falls in +21.6 to +23.6‰ interval. Similarly, galena and sphalerite from the UBV gave  $\delta^{34}\text{S}$  values between +5.3 to +17.5‰ and +7.9 to +14.5‰ respectively. The trend of the  $\delta^{34}\text{S}$  from negative to high positive values can be explained in two ways. Firstly, the isotopically lighter sulfur from the LBV may be produced by sulfate reduction by organic matter at 150-200°C in an open system while the heavy sulfur measured in barite from the MBV is suggested to be contributed by the Cretaceous seawater sulfate, with respect to the UBV, thermal reduction of seawater sulfate in a close system is believed to have produced the isotopically heavy sulfur in the sulfide minerals in view of the high geothermal gradient and the unique geotectonic setting of the mineral district.

Alternatively, this trend can also be ascribed to continental modalities of metal input towards the marine part of the basin. Metal supply is generally more abundant in the continental than in the oceanic end of the basin (ARNOLD and SAUPE, 1986). Consequently  $\Delta$  differences between isotopic compositions for marine sulfates and for bacteriogenic reduced sulfur would be expected to increase from the continental UBV to oceanic LBV. The original isotopic trend recorded by the sediment would be slightly transposed during hydrothermal leaching and redeposition in fractures ultimately.

G06.36P

**THE BARITIC MINERALIZATIONS OF THE AIN MIMOUN'S MINING FIELD (AURES MOUNTAIN RANGE, ALGERIA) -  $\delta^{34}\text{S}$  COMPOSITIONS AND ORIGIN OF SULFUR**

I. MAIZA\* & M. ARNOLD

(ENSG, Nancy, France)

The Ain Mimoun mining field (Ba, Pb, Cu, Si) is located at the extreme North East of the Auresian Mountain range. In this area, Kheuchela's anticline has been folded during the major alasic phase (Priobanian). It shows a core of Barremian, Aptian and Albian outcrops. Four Triassic extrusions stake out its north slope along a major strike fault. In this area, upper Cretaceous formations are definitely marine, whereas lower Cretaceous series exhibit features characterizing a continental carbonated platform more or less mobile and detrital.

The uneconomic stratabound baritic mineralizations (1) are closely linked to the diagenetic dolomitization of the Upper Aptian and Albian limestones. The workable baritic lode mineralization (2) is of post Priobanian and Miocene age and controlled by shear tectonic (Riedel's system).

$\delta^{34}\text{S}$  values of barite are nearly uniform: a 50 values sample yields 47 between 25‰ CDT and 31‰ CDT and this independently of the vein or stratabound barite occurrences. Those values are extremely high with regard to the  $\delta^{34}\text{S}$  sulfate value of Aptian or Albian sea water (17‰).

Author's hypothesis relate to mobilization of brines (from immersed Caprock) during Albian-Aptian times for mineralization (1), the same process being controlled by tectonic for mineralization (2), at the Eocene. In conclusion, the baritic mineralization of the Djebel Kheuchela should be considered in a context of an unstable shelf dynamic evolution controlled by blind diapir during lower Cretaceous and diapiric extrusion in late Eocene.

Terra Cognita, 7, (2-3), 322, 1987

G06.23

**MINERAL VEINS IN RHINE GRABEN MARGINS:  
REGION OF COLMAR AND RIBEAUVILLE  
(MIDDLE VOSGES, FRANCE)**

S. RABENANDRASANA & M. ARNOLD  
(CRPG, Vandoeuvre-lès-Nancy, France)

The Cu-Bi, Pb, Zn fluorite-barite mineralizations occur within quartz veins in tertiary faults and in formations of varied age and nature.

In the Aspach and Zimmerbach lodes, quartz which is pseudomorphic after siderite and anhydrite always shows a fibrous structure, suggesting silicification in an evaporitic environment. Bi-tennantite, chalcocopyrite, goethite and haematite are closely associated with the pseudomorphic texture.

Similar fibrous texture has been observed in the calcareous elements and cement of Bergheim lode, where fluorite, barite and disseminated galena are the main ore minerals.

The Orschwiller-Saint Hippolyte vein on the other hand shows a diagenetic silicified aureole around quartz grains in graded and thin bedded terrigenous sediments. Galena and fluorite occur as interstitial cement for the detrital coarse grains. They can be observed with barite and disseminated sphalerite in subvertical veinlets.

Microthermometric studies carried out on fibrous quartz, fluorite and barite indicate a mean homogenization temperature of 120°C for quartz, 150-300°C for barite and 160°C for fluorite. The salinity in barite and fluorite is similar : 7-8 eq. wt. % NaCl. Most of the inclusions in quartz (with a high content of divalent ions,  $T_E < -50^\circ\text{C}$  and  $T_{\text{melt-I}} -20$  to  $-24^\circ\text{C}$ ) and in barite are however monophasic liquids. All the inclusions in fluorite are biphasic with a constant liquid/vapor ratio. On the other hand, the fluid inclusions in barite become a biphasic system after heating at constant temperature of  $-140^\circ\text{C}$  during one month.

These results cannot be explained by metastability or "necking down" phenomena. They are interpreted as low temperature precipitation of these minerals from heterogeneous liquid-gas solutions. These solutions are generated when subsurface fresh waters mix with hypersaline waters from coastal sabkhas and lagoons. The nature of the gangue and the associated silicification are consistent with the regional paleogeography.

Terra Cognita, 7, (2-3), 228, 1987

S23.08

**GENESIS OF LARGENTIÈRE Pb-Zn ORE DEPOSIT  
(FRANCE): CONTRIBUTION OF FLUID INCLUSIONS  
AND SULFUR ISOTOPES ( $\delta^{34}\text{S}_{\text{0/00}}$ ) STUDIES**

N. NGOYANADJI\* & M. ARNOLD  
(CRPG, Vandoeuvre-lès-Nancy, France)

The Largentière ore deposit of Trias age is situated within the Southern-East margin of "Massif Central français". Geology and petrology of this deposit have been studied by numerous geologists several years ago.

On the genesis of the ore deposit, there are two possible mechanisms. Firstly the ore may be deposited during the transitional period between redbed-evaporitic deposition. Alternatively, the ore may be deposited by migration basinal brines.

In this paper results of microthermometry, sulfur isotopes and mineralogy are presented. The paragenetic ore minerals (galena, sphalerite, barite, ...) are partly contemporaneous with the growth of the quartz detrital particulates. Ore minerals generally fill the interstitial spaces between the detrital minerals. Fluid inclusions studies in quartz, sphalerite and barite reveal both mono-biphasic in these minerals but monophasic are more abundant than biphasic inclusions. Trapping at high temperature, necking-down phenomenon, leakage or heterogeneous trapping could be responsible for the multiphase nature of the inclusions. Filling temperature for quartz ranges between 50-170°C with a mean salinity of 18 wt % NaCl, for sphalerite between 80-170°C with a mean salinity of 4 wt % NaCl while barite ranges between 80-260°C with a mean salinity of 14 wt % NaCl. First melting temperatures suggest the presence of Ca and Mg salts.

Gypsum occurs as inclusions in quartz suggesting that the precipitation took place below 43°C which is also in conformity with the temperature at which the monophased inclusions were stable. The existence of biphased inclusions could probably be due to fluid mixtures.

Fifty  $\delta^{34}\text{S}$  measurements are made on galena, sphalerite, pyrite, barite and gypsum sampled at different levels in arkosic rocks. The means of isotopic values as determined are -4.2, +0.75, -4.4, +21.1 and +18.2‰ respectively. For all these mineral species, natural range is small and uncorrelated to the localisation and/or sedimentological peculiarities. The  $\delta^{34}\text{S}$  for barite and gypsum is in accordance with a Triassic marine origin of sulfates. The  $\Delta$  isotopic differences between sulfates and sulfides are in accordance with a bacteriogenic origin of reduced sulfides in a highly metal supplied environment. All these facts support the genetic conclusions proposed by the precedent authors (SAMAMA, 1969; FOGLIERINI et al., 1980; MICHAUD, 1980). The lead-zinc mineralization is deposited in transitional area between continental and marine domains.

Terra Cognita, 7, (2-3), 326, 1987

G06.37P

**THE Cu-Co SULFIDES MINERALIZATIONS  
HOSTED IN DETRITAL SEDIMENTS OF UPPER  
PROTEROZOIC AGE IN SHABA (ZAIRE): NEW  
 $\delta^{34}\text{S}$  DATA**

L.R. OKITAUDJI\*, A. BERNARD, G. DAGALLIER & M. ARNOLD

(Laboratoire de Typologie des Gisements, ENSG, Nancy, France)

The economic Cu-Co mineralizations of Shaba are exploited in an overthrust block of Roan formation (Upper Proterozoic). The banded ore bodies are localized in the lower part of the middle Roan megasequence. They occur in reduced silicodetritic and ultra detritic facies in the lower part of metric and decametric sequence. Evidence of a sedimentological control of primary mineralizations (syndimentary) are numerous. This control is found at smaller scale (microsequential) where the mineralization is also localized near the lowest level. A sequential analysis carried out at different scales of observation revealed that the sequence (s.s.) and the megasequence of Roan and its mineralization occurred within a positive evolution, which becomes neutral at the top of the megasequence of the middle Roan. This is a proof of the individualization of a main basin which becomes stable towards the top of the sequence. The paleo-landscape could be defined as an "epicontinental sea" subjected simultaneously to continental marine and climatic influences (tidal flats sedimentation and evaporation). It could probably supply the sulfur needed for sulfuration of metals (bacteria reduction of marine sulfates).

$\delta^{34}\text{S}$  measurements (25) are made on anhydrite disseminated in red sediment and on sulfides (pyrite, chalcopyrite and bornite) in disseminations in reduced silico-detritic facies. All these minerals exhibit very large  $\delta^{34}\text{S}$  variations.  $\delta^{34}\text{S}$  of anhydrite fall in +26, +7‰ interval. The  $\delta^{34}\text{S}$  ranges for pyrite and chalcopyrite are (+15.5, -29.9‰) and (+18.7, -9.7‰) respectively.  $\delta^{34}\text{S}$  of bornite is close to 0‰. The precedent measurements of DECHOW and JENSEN (1965) in this area fall in the +5, -10‰ interval. The new data presented here are partly consistent with a marine origin of oxidized and reduced sulfur. Indeed, it is assumed that marine sulfates are close to +25‰ (CLAYPOOL and al., 1980) in latter Proterozoic times, maximum  $\delta^{34}\text{S}$  value for anhydrite and  $\delta^{34}\text{S}$  variations for sulfides are consistent with a syndimentary origin of these. Nevertheless, the  $\delta^{34}\text{S}$  for anhydrite lower than 25‰ are not explained in this simple manner.



# Le système hydrothermal actuel de Los Humeros (Mexique): Etat du système $\text{SO}_4^{2-} - \text{SH}_2$ à 300 °C, origine du soufre et phénomènes d'oxydation associés à l'ébullition du fluide ascendant

M. Arnold<sup>1</sup> et E. Gonzalez Partida<sup>2</sup>

<sup>1</sup> C.R.P.G., B.P. 20, 54501 Vandœuvre Cédex, France

<sup>2</sup> Instituto de Investigaciones Electricas, Division de Fuentes e Energia, Depto. de Geotermia, Mexico

**Résumé.** Dans le champ géothermique de Los Humeros, les sulfates et sulfures aqueux sont en équilibre chimique et isotopique bien que les fluides soient pauvres en soufre (7,7 mM/kg) et alcalins (pH  $\cong$  8,5) dans les conditions régnant en profondeur. Le figement de cet équilibre à 290 °C peut résulter de l'entrée en ébullition du liquide ascendant. Dans le puits LHI, le  $\delta^{34}\text{S}$  de la pyrite (0‰) et du  $\text{SH}_2$  ( $\cong$  -12‰) sont très différents. Le  $\delta^{34}\text{S}$  du soufre total en solution est voisin de -11‰. Le soufre de la pyrite (0‰) peut être d'origine magmatique. En revanche, le soufre hydrothermal actuel est clairement remobilisé à partir du substratum sédimentaire. Dans le fluide du même puits le rapport  $\text{CO}_2/\text{CH}_4$  (58) est très inférieur à celui calculé à 300 puis à 350 °C. Inexplicable par le figement du système  $\text{CO}_2 - \text{CH}_4$  dans cet intervalle, cet écart peut être supprimé moyennant une réestimation de la constante de cet équilibre ( $\log K_G = -7.90$  à 300 °C). L'existence d'un paléosystème hydrothermal en ébullition est démontrée par une étude des inclusions fluides des minéraux de néoformation collectés à différentes profondeurs dans l'empilement volcanique. L'intense oxydation affectant cette dernière peut alors être expliquée. En effet, l'entrée en ébullition du liquide ascendant détermine un transfert massif et irréversible de l'hydrogène moléculaire dans la phase vapeur. Ceci rend la phase liquide plus oxydante que dans le réservoir. Par ailleurs, remontant vers la surface, le fluide biphasé se vaporise continuellement. Il s'élève donc à température décroissante et à vitesse croissante. Dès lors, chaque kg de fluide ne peut être en équilibre avec les paragenèses primaires (pyrite + pyrrotite + magnétite) rencontrées lors de sa remontée que si  $f\text{O}_2$  et  $f\text{H}_2$  s'ajustent de manière continue et très rapide aux conditions locales d'équilibre. Ce réajustement quasi instantané est irréalisable compte tenu de la lenteur des réactions entre phases fluides et cristallisées. Dans un système hydrodynamique en état stationnaire, ce déséquilibre permet la lente oxydation de la pyrrotite et de la magnétite en hématite.

**Abstract.** In the geothermal system of Los Humeros, hydrothermal fluids are low in sulfur (7.7 mM/kg) and are slightly alkaline (pH of ca. 8.5) at depth. Nevertheless, the aqueous sulfate-sulfide species are in isotopic and chemical equilibrium. The "freezing" of these equilibria at 290 °C is tentatively related to boiling of water at this temperature. In the LHI borehole  $\delta^{34}\text{S}$  values for pyrite (ca. 0‰) and present aqueous  $\text{SH}_2$  (ca. -12‰) are very different. Measured  $\delta^{34}\text{S}$  value of the bulk aqueous sulfur is close to -11‰. These data suggest a possible magmatic origin of pyrite (ca. 0‰) and, in contrast, a sedimentary source for the present hydrothermal sulfur. The  $\text{CO}_2/\text{CH}_4$  molar ratio of 58 determined in the fluid from this well is much lower than the ratio calculated for 300° and 350 °C. This divergence is eliminated when the equilibrium constant is reestimated ( $\log K_G = -7.9$  at 300 °C). Based on fluid inclusion study the boiling of hydrothermal fluid before the geothermal area was opened by drilling is proven in neoformed minerals sampled at different levels of the volcanic sequence. In this way, the pervasive oxidation of the primary reduced paragenesis (pyrite + pyrrotite + magnetite) can be explained. The boiling of the ascending water does induce a  $\text{H}_2$  loss from the liquid and creates more oxidizing conditions in the ascending liquid. Moreover, the continuous vaporization of liquid water induces its gradual cooling and increases the ascension speed. Furthermore, a persistence of chemical equilibrium between primary paragenesis and the hydrothermal fluid at different levels would require a very fast and unrealistic adjustment of the  $f\text{O}_2 - f\text{H}_2$  parameters to the local equilibrium conditions. This expected disequilibrium induces the afore mentioned oxidation processes under steady-state conditions.

## Contrôles tectoniques des concentrations Pb-Ba en milieu carbonaté de Mibladen (Maroc)

par GUY DAGALLIER \* et JEAN MACAUDIERE \*

**Mots clés.** — Mésozoïque, Rift atlasique, Minéralisation Pb-Ba, Stratiforme, Carbonates, Dissolution, Remobilisations, Contrôles tectoniques.  
Maroc.

**Résumé.** — La série littorale du Lias moyen dolomitique de Mibladen comporte des minéralisations plombo-barytiques en corps stratiformes et discordants ; ils s'associent dans le temps et dans l'espace à des structures de dissolution polyphasées dont l'histoire s'inscrit dans la dynamique d'une flexure bordière du rift atlasique.

Une première étape de concentration karstique syn-diagénétique sur stromatolites inter à supratidaux affecte des panneaux sédimentaires contrôlés par la seule direction N070° à N080° E jouant en distension ; elle est subcontemporaine du jeu d'autres fractures distensives à N045° E, ce qui détermine des amas métallifères slumpés particulièrement riches. D'autres failles à N165-170° E, non guidées directement par la tectonique, entraînent une redistribution locale du stock métal dans des corps bréchiques stratoïdes de tassement-dissolution par drainage karstique suivant la direction de plus grande pente. Enfin, un ensemble de brèches karstiques et de géodes minéralisées correspond à des mouvements conjugués de direction N030 et N140° E ; il en résulte une remobilisation partielle et plus ou moins tardive de la paragenèse métallifère qui répond aux déformations liées à plusieurs étapes de la compression atlasique.

En grand, les corps minéralisés ne s'observent que sur un segment oblique (N070° E) s'ouvrant sur une direction de distension majeure NW-SE, le long du horst de la Haute-Moulouya ; il s'agit d'une réplique intracratonique locale de l'ouverture de l'Atlantique.

### Tectonic controls for Pb-Ba mineralizations in carbonate rocks from Mibladen (Morocco)

**Abstract.** — The littoral series of dolomitic middle Lias from Mibladen (Morocco) shows stratiform or cross-cutting ore bodies with lead and barite. These mineralizations are associated both in space and time with polyphased dissolution events. Their history is controlled by the dynamic evolution of the northern edge of the atlasic realm.

A first stage of syngenetic karstic concentration affects inter to supratidal stromatoliths. It is guided by N070 - N080° E distensive fractures. A few later, other N045° E distensive faults induce the slumping of previously formed ore bodies. Other fractures are not directly the result of tectonic stresses but of dissolution and compaction phenomena. They also mobilise the stratiform ore bodies into N165 - N170° E strata controlled breccias along the direction of draining. Late karstic breccias follow the directions N030° E and N140° E linked to the atlasic shortening. This stage of remobilisation is accompanied with open space infillings of ore metals and seems very partial.

On a larger scale, mineralization is mainly developed at the crossing of an oblique segment (N070° E) and a distensive direction (X ≈ N125° E) striking N035 - N045° E along the Upper Moulouya Horst. This direction is a local intracratonic replica of the Atlantic Ocean opening.

# *METAMORPHISME*

## Sommaire

<b>WEBER C., BARBEY P.</b> The role of water, mixing processes and metamorphic fabric in the genesis of the Baume migmatites (Ardèche, France). .....	127
<b>ANGOUA A., BERTRAND J.M., BARBEY P., DAUTEL D.</b> Petrology and U/Pb Geochronology of the Aleksod Migmatites, Central Hoggar, Algeria. .	127
<b>NZENTI J.P., BARBEY P., MACAUDIERE J.</b> The migmatites of Yaounde (Cameroon): tectonic style and melting conditions. ....	128
<b>BARBEY P., CUNEY M.</b> Modalités de la fusion partielle dans l'orthogneiss de Saint-Alyre (Cézaillier). ....	128
<b>MONTEL J.M., WEBER C., PICHAVANT M.</b> Biotite-sillimanite-spinel assemblages in high-grade metamorphic rocks: occurrences, chemographic analysis and thermobarometric interest.....	129
<b>LE FORT P., PECHER A., UPRETI B.N.</b> A section through the Tibetan slab in Central Nepal (Kali Gandaki valley): mineral chemistry and thermobarometry of the Main Central Thrust zone. ....	130
<b>BARBEY P.</b> Signification géodynamique des domaines granulitiques. La ceinture des granulites de Laponie: une suture de collision continentale d'âge protérozoïque inférieur (1.9-2.4 Ga)....	130
<b>MONTEL J.M.</b> Xénolithes peralumineux dans les dolérites du Peyron, en Velay (Massif central, France). Indications sur l'évolution de la croûte profonde tardihercynienne. ....	131
<b>MOINE B., BRULA P., SAUPE F.</b> Schistes et marnes noirs métamorphiques du Paléozoïque inférieur des Pyrénées Centrales (France). ....	131
<b>GUILLOT F., PLOQUIN A., RAOULT J.F., PERUCCIO-PARISON M.D.</b> Les séries antéperniennes de Vanoise septentrionale (zone briançonnaise, Alpes de Savoie): lithologie et géochimie dans le massif de Bellecôte; arguments pour un âge antéhouiller. ....	132

## The role of water, mixing processes and metamorphic fabric in the genesis of the Baume migmatites (Ardèche, France)

C. Weber<sup>1,2</sup> and P. Barbey<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire de Pétrologie, Université de Nancy I, BP 239, F-54506 Vandoeuvre-les-Nancy Cedex, France

<sup>2</sup> Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques, BP 20, F-54501 Vandoeuvre-les-Nancy Cedex, France

**Abstract.** The Baume migmatites arose from melting of a high-grade metamorphic sequence comprising quartzofeldspathic and biotite-plagioclase gneisses. Geochemical data and REE modelling suggest that melting occurred under open-system conditions and was caused mainly either by the infiltration along shears of an alkali-rich (K, Rb) aqueous fluid phase or by the injection along foliation planes of granitic magma: some leucosomes result from mixing between in situ partial melts and externally derived granitic materials. Melting appears to be almost independent of the paleosome composition but rather is dependent on the amount of introduced material, itself controlled by the metamorphic fabrics of parent gneisses and/or tectonic structures.

14<sup>th</sup> Coll. Afr. Geol. Berlin 18/22 August 1987

Petrology and U/Pb Geochronology of the Aleksod Migmatites,  
Central Hoggar, Algeria

A. Angoua, J.M. Bertrand, P. Barbey and D. Dautel  
(Vandoeuvre-lès-Nancy, France)

The Aleksod Series is constituted by a thick migmatitic formation with  $Bt+Hbl+Grt+Pl+Kfs+Qtz$  assemblages interlayered with mobilised metasediments (quartzites, marbles and metapelites). A Middle Proterozoic age and a Kibaran tectonic and metamorphic evolution have been previously assumed from Rb/Sr and K/Ar data (Bertrand and Lasserre 1976). To check the actuality of such a Kibaran event in the Pan-African belt and to confirm the contradictory results obtained in the Tamanrasset region using the U/Pb method on zircon, it was necessary to study, with the latter method, rocks from the type area.

The protolith of the studied rocks is broadly of magmatic origin. However the small scale compositional layering and the presence of rocks containing mafic xenoliths suggest that plutonites were associated with greywackes in the migmatitic formation. From a geochemical modelling using major and trace elements from separated leucosomes and melanosomes, a primary granodioritic composition may be assumed. The corresponding PT conditions have been estimated using  $Bt-Grt$  association and, in associated metasediments,  $Grt-Pl-Ky-Qtz$ ; they are:  $720 \pm 50$  °C and  $13 \pm 2$  Kb.

During the mobilisation process, accessory minerals (Apatite, Titanite, Allanite, and Zircon) have been concentrated and recrystallized in the melanosomes. Such a recrystallization is likely to have consequences on the isotopic behaviour of these minerals and then to enable the dating of the main metamorphic event.

The Concordia diagram obtained from the zircon of one sample of the Aleksod migmatite has been interpreted in the way. Experimental points are highly discordant: the upper intercept at  $2131 \pm 12$  Ma corresponds to plutonic emplacement during the Eburnean orogenic cycle, but the lower intercept, well defined at  $609 \pm 17$  Ma outline the major imprint of the Pan-African event. These ages are perfectly consistent with those obtained in the Tamanrasset region. However, it is not possible to exclude completely a primary Pan-African metamorphism affecting immature volcanic rocks showing a Lower Proterozoic inheritance.

These data preclude the existence of a Kibaran event and confirm that the main tectonic and metamorphic event is Pan-African in age as in the Tamanrasset region. The stratigraphic age of the high-grade metasediments widespread in central Hoggar (Aleksod, Amsinassene, Iherane, Oumelalen) is still a problem but considering the magmatic origin of the Aleksod migmatites and the 2000 Ma age of the intrusive Oumelalen charnockites (Latouche and Vidal 1974), they more probably represent Lower Proterozoic formations involved in the Eburnean orogeny and subsequently highly reactivated during the Pan-African orogeny.

Terra Cognita, 7, (2-3), 290, 1987

G03.20

**THE MIGMATITES OF YAOUNDE (CAMEROON):  
TECTONIC STYLE AND MELTING CONDITIONS**

J.-P. NZENTI, P. BARBEY\* & J. MACAUDIERE  
(Université de Nancy I et CRPG, Nancy, France)

The Yaounde region belongs to the Pan-African north-equatorial fold belt, just to the North of the Archean Congo craton. The metamorphic grade increases from the border of the craton (low-grade schists) towards the North and reaches the granulite facies in the Yaounde area. Two groups of rocks have been recognized.

- a metasedimentary group with kyanite-garnet gneisses, garnet gneisses, marbles, calc-silicate rocks, quartzites and orthopyroxenites,
- an orthoderived group mainly with pyroclases accompanied with pyrobolites and some biotites.

These rocks have suffered a widespread phase of migmatization which can be broadly characterized as post-D1 and syn-D2 relatively to the two main deformation events. Two types of migmatites have been distinguished :

1) in situ migmatites are formed with thin leucosomes and melanosomes, parallel to the S1 plane and folded by the D2 event. Their parageneses are those of the peak of metamorphism. Their petrographic characters and their REE geochemistry show that they result from partial melting of the gneisses under non equilibrium conditions.

2) injection migmatites are composed of fine-grained and pegmatitic quartzofeldspathic veins, without restitic material, injected in syn-D2 shears, affected with S2 schistosity or cross-cutting the D2 structures, and of garnet-rich rocks with a strong residual character and also cross-cutting the D2 structures. The parageneses range from high to medium grade, showing the decrease of metamorphic conditions all along the D2 event. This group of migmatites results either from partial melting under equilibrium conditions (veins) or fractional crystallization of anatectic liquids (pegmatitic veins).

## **Modalités de la fusion partielle dans l'orthogneiss de Saint-Alyre (Cézallier)**

Pierre Barbey\* et Michel Cuney\*\*

Géologie de la France n°4, 1987 pp. 45-50, 4 fig. 2 tabl.

Résumé

Les orthogneiss de Saint-Alyre, recoupés par le sondage GPF-S2, correspondent à une ancienne série granodiorite-granite d'affinité calco-alcaline. Ils ont subi une fusion partielle limitée, sans ségrégation leucosomes - cristaux résiduels, dont l'intensité est contrôlée principalement par la lithologie initiale et vraisemblablement  $\text{PH}_2\text{O}$ . Ils sont en outre injectés par des faciès leucogranitiques pouvant provenir d'un même matériel ayant subi une fusion plus poussée, en profondeur.

## Abstract

*Partial melting conditions in the Saint-Alyre orthogneiss (Cézallier)*

The Saint-Alyre orthogneisses of the GPF-S2 drill hole correspond to a granodiorite-granite series of calc-alkaline affinity. They have been submitted to partial melting without segregation of the leucosomes from the residual crystals. The degree of melting is mainly controlled by initial lithologies and probably  $\text{PH}_2\text{O}$ . These orthogneisses are also injected with leucogranitic dykes which may derive from partial melting of the same material, but at higher degrees at depth.

**Bull. Minéral. (1986), 109, 555-573**

### **Biotite-sillimanite-spinel assemblages in high-grade metamorphic rocks : occurrences, chemographic analysis and thermobarometric interest**

by JEAN-MARC MONTEL\*, CATHERINE WEBER\*,\*\* and MICHEL PICHAVANT\*

\* Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques B.P. 20, 54501 Vandœuvre les Nancy, France.

\*\* Laboratoire de Pétrologie, Université de Nancy I, B.P. 239, 54506 Vandœuvre les Nancy, France.

**Abstract.** — We present several new examples of biotite-sillimanite-hercynite-rich spinel assemblages in high grade, mostly pelitic metamorphic rocks. One group of assemblages is characterized by the presence of quartz and high Zn contents in the spinel while another group shows evidence of quartz-deficient conditions and lower Zn contents in the spinel. Textural evidence shows that the spinel is formed from the breakdown of biotite. Chemographic analysis carried out in the KFLASH system indicates that the presence of large amounts of Zn is necessary to stabilize spinel in the presence of quartz ( $\pm$  melt), relatively to cordierite or garnet, at temperatures lower than required for hercynite + quartz in the FASH system. In the absence of quartz and with melt present, spinel may be a breakdown product of biotite-sillimanite assemblages, irrespective of the Zn content of the system. Calculations show that the quartz-spinel boundary is shifted towards lower temperatures with progressively higher Zn content in the spinel. Biotite-sillimanite-spinel equilibria occur in a P-T domain bounded towards high pressure, by garnet-spinel reactions and towards low pressure, by cordierite-spinel reaction. The occurrence of spinel near or below the onset of anatexis therefore indicates high Zn content. On the other hand, occurrence of Zn-poor spinel in high grade assemblages indicates advanced, quartz deficient conditions of partial melting.

**Key words :** spinel, metamorphic rocks, Zn, biotite, thermobarometry.

*Associations biotite-sillimanite-spinelle dans les roches métamorphiques de haut degré : occurrences, analyse chimographique et intérêt thermobarométrique.*

**Résumé.** — On présente plusieurs nouveaux exemples d'associations à biotite-sillimanite-spinelle riche en hercynite dans des roches pour la plupart métapélitiques de haut degré métamorphique. Une famille d'associations se caractérise par la présence de quartz et par des quantités importantes de Zn dans le spinelle tandis qu'une autre se marque par des associations déficitaires en quartz et des quantités moindres de Zn dans le spinelle. Les arguments texturaux montrent que le spinelle se forme à partir de la déstabilisation d'une biotite. L'analyse des relations de phase dans le système KFLASH indique que des quantités importantes de Zn sont nécessaires pour stabiliser le spinelle en présence de quartz ( $\pm$  bain silicaté), par rapport au grenat et à la cordiérite, à des températures inférieures à celles requises pour l'association hercynite + quartz dans le système FASH. En l'absence de quartz et avec un bain silicaté, le spinelle peut être un produit de déstabilisation d'associations biotite-sillimanite indépendamment de la présence de Zn. Les calculs montrent que le domaine à quartz-spinelle se déplace vers les basses températures avec des concentrations en Zn croissantes. Les équilibres biotite-sillimanite-spinelle interviennent dans un domaine P-T limité vers les hautes pressions par un domaine à grenat et vers les basses pressions par un domaine à cordiérite. L'apparition de spinelles en-dessous ou à proximité de l'isograde d'anatexis indique donc des teneurs importantes en Zn. En revanche, la présence de spinelles pauvres en Zn dans des associations de haut degré témoigne de conditions avancées de fusion partielle, en l'absence de quartz.

**Mots-clés :** spinelle, roches métamorphiques, Zn, biotite, thermobarométrie.

A SECTION THROUGH THE TIBETAN SLAB  
IN CENTRAL NEPAL (KALI GANDAKI VALLEY) :  
MINERAL CHEMISTRY AND THERMOBAROMETRY  
OF THE MAIN CENTRAL THRUST ZONE

Patrick LE FORT\* (1), Arnaud PÉCHER\* (2) and Bishal N. UPRETI (3)

ABSTRACT

The Thulo Bugin crest, east of the Kali Gandaki valley, presents a good section of the base of the Tibetan sedimentary series, the entire Tibetan slab and the top of the Midlands' formations. It is equivalent to a vertical section of some 6000 m through the upper part of the Main Central Thrust zone. 17 of the 80 samples picked up have been probed and more than 200 mineral compositions have been determined. Large variations are met among the four petrographic groups, depending either on the global chemistry (e.g. plagioclase, micas and garnet) or on the metamorphic grade (biotite, garnet and epidote in particular).

P-T conditions have been evaluated using coexisting biotite - garnet - plagioclase. Temperatures in the Tibetan slab follow a gradient of around + 34°C/km down to some 900 m above the MCI, then decrease with a possible jump at the level of the thrust. This is in agreement with the thermal model of the inverted metamorphism proposed earlier. Pressure also increases downward but the gradient is too high. This may result from a diachronic record of the pressure, the high pressure being observed in the basal section cooled first during the overthrusting of the Midlands along the MCI.

Mem. Docum. Centre Arm. Et. Struct. Socles, Rennes, 7, 346 p. (1986)

SIGNIFICATION GEODYNAMIQUE DES DOMAINES  
GRANULITQUES.

LA CEINTURE DES GRANULITES DE LAPONIE :  
UNE SUTURE DE COLLISION CONTINENTALE  
D'AGE PROTEROZOIQUE INFÉRIEUR (1.9-2.4 Ga)

par Pierre BARBEY

Résumé : Les domaines de faciès granulite ont été l'objet d'un intérêt croissant depuis que Weiss (1803) a créé le terme "granulite". Après un nécessaire regard sur la systématique, les études se sont orientées vers la recherche des conditions de P-T de leur formation et vers l'étude de leurs caractères chimiques dans le but de mieux connaître la base de la croûte continentale. L'intérêt porté aux mécanismes géodynamiques générateurs des grands ensembles granulitiques est relativement récent lié à l'essor qu'ont pris au cours de la dernière décennie, les études des domaines archéens et protérozoïques. De nombreuses questions restent néanmoins en suspens quant à leur signification. En particulier, les ceintures granulitiques sont-elles le résultat du jeu d'un processus géodynamique unique ? Comment se situent-elles par rapport aux autres domaines granulitiques ? Quelles hypothèses génétiques retenir parmi celles qui ont été proposées : mouvements intracontinentaux aulacogènes, collisions continentales, marges actives ? L'objectif de ce mémoire est de tenter de répondre à ces interrogations en partant d'un exemple précis : la ceinture des granulites de Laponie.

La croûte précambrienne de Laponie présente une structure zonée caractéristique. Les principaux ensembles géologiques distingués sont du NE vers le SW : - le craton archéen d'Inari, partie occidentale de la péninsule de Kola ; - la ceinture des granulites et celle de la Tana, constituant la chaîne bémoride, zone mobile d'âge protérozoïque inférieur (2.3 - 1.9 Ga) ; - la craton de Laponie méridionale, partie de l'important domaine archéen de Karélie.



Les domaines archéens sont constitués de l'association classique granite-gneiss - ceintures de roches vertes. Alors que le craton d'Inari, daté à 2.8 Ga (Meriläinen, 1976) a été profondément remodelé par la tectonique tangentielle liée à l'évolution de la chaîne béloride, le craton de Laponie méridionale n'est au contraire que peu affecté et a une structure en dômes et bassins. Ces deux ensembles représentaient la croûte continentale lors du dépôt des formations supracrustales constituant la ceinture des granulites et celle de la Tana.

La ceinture de la Tana est formée, outre de diverses roches plutoniques (suite anorthositique, gabbros, granites), d'une unité de gneiss à pyroxènes et d'amphibolites, rubanés, de composition basaltique à rhyolitique. Les caractères chimiques montrent que cette unité correspondait à l'origine à une pile volcanique issue de la mise en place de deux séries magmatiques, l'une calco-alcaline, l'autre tholéïtique (d'affinité "océanique"). Nous interprétons cette ceinture comme une ancienne croûte océanique d'extension latérale restreinte, mise en place à la faveur d'une croûte continentale amincie et fracturée.

**PÉTROLOGIE.** — *Xénolithes peralumineux dans les dolérites du Peyron, en Velay (Massif central, France). Indications sur l'évolution de la croûte profonde tardihercynienne.*  
Note de Jean-Marc Montel, présentée par Georges Millot.

L'étude de xénolithes à Bi-Sill-Hc-Cd-Gt-Corr, enclavés dans la dolérite du Peyron, montre que ces enclaves résultent de la rétrogenèse biphasée d'une paragenèse à Gt-Di. Le premier stade (P=8-10 kbar, T=700-800°C) est marqué par un développement de la biotite au dépend du grenat, et le second (P=5-6 kbar, T=700-800°C), par l'apparition de la cordiérite et du spinelle. L'évolution P, T ainsi définie caractérise une décompression quasi isotherme, rattachée à l'événement 3 (épisode tardihercynien basse pression, haute température).

**PETROLOGY.** — *Peraluminous xenoliths in the Peyron dolerite (Ardèche, French Massif Central) implications for the tardihercynian deep crust of the Velay.*

*Study of some Bi-Sill-Cd-Gt-Cor bearing xenoliths, included in the Peyron dolerite, shows that these enclaves result from a two-step retrogenesis, from a Gt-Ky paragenesis. The first step (P=8-10 kbar; T=700-800°C) is marked by the appearance of biotite from garnet breakdown and the second one (P=5-6 kbar; T=700-850°C) by the appearance of cordierite and spinel. This evolution corresponds to an isothermic decompression, contemporaneous with the low pressure, high temperature, tardihercynian event.*

## Docum. BRGM, 110, p. 285 (1986)

### SCHISTES ET MARNES NOIRS MÉTAMORPHIQUES DU PALEOZOÏQUE INFÉRIEUR DES PYRÉNÉES CENTRALES (FRANCE)

Bernard MOINE<sup>(1)</sup>, Pascal BRULA<sup>(2)</sup> et Francis SAUPE<sup>(3)</sup>.

- (1) - Laboratoire de Minéralogie, UA 67 du CNRS, 39 Allées Jules Guesde  
31400 TOULOUSE
- (2) - Laboratoire de Pétrographie UA 805 du CNRS, 22-43 Bd du 11 Novembre  
69622 VILLEURBANNE
- (3) - Centre de Recherche Pétrographiques et Géochimiques, BP 20,  
54501 VANDOEUVRE-NANCY.

Dans le Paléozoïque inférieur des Pyrénées Centrales, on observe deux principaux niveaux de schistes et marnes noirs métamorphiques. Les schistes carbonifères du Silurien sont classiques. Au Dévonien inférieur se développent de façon extensive des faciès noirs, indurés, à grain très fin ("quartzites noirs", "faciès pseudo-carburés") qui ont été interprétés comme des roches volcano-sédimentaires intermédiaires à basiques ("faciès noirs tuffacés").

Ces faciès que l'on observe aussi localement dans l'Ordovicien supérieur sont considérés comme un métallotecte important puisque des minéralisations en Zn (Pb) leur sont souvent associées (Nerbiou).

Les études pétrographiques et géochimiques récentes conduites dans le secteur Luchon-Gave de Gavarnie (thèses de 3ème cycle suivantes : G. VEGAS, TOULOUSE, 1982 ; J.M. FRANCOIS, NANCY, 1983 ; P. BRULA, LYON, 1984) ont permis de préciser l'origine de ces diverses roches et notamment de montrer que les faciès noirs du Dévonien inférieur dérivent de marnes noires sans aucune composante volcanique.

Les schistes graphiteux du Silurien proviennent d'argilites riches en matière organique et pauvres en pyrite, à fraction argileuse (illite et kaolinite) très abondante (de l'ordre de 70 à 80%). Ces compositions expliquent bien les faciès métamorphiques très riches en mica blanc, à andalousite (ou sillimanite) + paragonite.

Les faciès les plus typiques du Dévonien basal sont des roches à anorthite (environ 50%)-biotite-muscovite-quartz + feldspath potassique + clinozoisite contenant en moyenne 2% de graphite et 5% de pyrrhotite. Les compositions chimiques correspondantes sont celles de marnes noires (de l'ordre de 15% de calcite) dont la fraction argileuse abondante (60%) est formée d'illite (30%), chlorite (10%) et kaolinite (10%). C'est l'association calcite-kaolinite qui explique les particularités minéralogiques des roches métamorphiques. On montre en effet qu'elle doit conduire à la formation d'anorthite, quelle que soit la fraction molaire de  $\text{CO}_2$  dans la phase fluide, pour T supérieure à 400°C si P = 2000 bars. D'autres caractères sont en relation avec les valeurs basses de la fugacité d'oxygène et les valeurs relativement élevées de la fugacité du soufre.

Dans l'ensemble de ces roches, les concentrations en éléments-traces ne sont pas exceptionnelles : enrichissement modéré en V et U auxquels s'ajoutent Zn et Pb dans le Dévonien.

Les variations de l'intensité du métamorphisme, de l'épizone à la mésozone profonde, n'affectent pas ces concentrations, sauf pour ce qui concerne l'uranium.

**GÉOLOGIE.** — *Les séries antépermiennes de Vanoise septentrionale (zone briançonnaise, Alpes de Savoie) : lithologie et géochimie dans le massif de Bellecôte; arguments pour un âge antéhouiller.* Note de François Guillot, Alain Ploquin, Jean-François Raoult et Marie-Dominique Peruccio-Parison, présentée par Georges Millot.

La lithostratigraphie de la série antépermienne de Bellecôte est revue, et précisée grâce aux données géochimiques. Avant le métamorphisme alpin, la série comportait de bas en haut : 1. des spilites et kérophyres lités; 2. des tholéiites massives de type arc insulaire immature; 3. des sédiments sodiques à sills de tholéiites de type abyssal. Elle diffère donc totalement de la série houillère briançonnaise proche. En revanche nombre d'arguments, dont les analogies avec une série des massifs cristallins externes, permettent d'envisager un âge anténamurien, comme ce fut proposé pour la Vanoise méridionale et Ambin.

**GEOLOGY.** — *Prepermian series of Northern Vanoise (Zone Briançonnaise, Savoy Alps): lithology and geochemistry in the Bellecôte massif; arguments for a Prenamurian age.*

*Lithostratigraphy of the Bellecôte Prepermian series has been reviewed, and better defined thanks to geochemical data. Before alpine metamorphism, the series displayed from the bottom to the top: 1. layered spilites and keratophyres; 2. massive, IAT-type tholeiites; 3. sodic sediments with tholeiitic, MORB-like sills. Hence it totally differs from the neighbouring Upper Carboniferous series. On the other hand several arguments, including the similarities with a series from External Crystalline Massifs, could indicate a Prenamurian age, as it was proposed for Southern Vanoise and Ambin.*

# *MINERALOGIE*

## Sommaire

SMITH J.V., BROWN W.L. Feldspar Minerals.....	135
PARSONS I., BROWN W.L. Feldspars as cooling-rate meters in igneous rocks.....	135
KOSZTOLANYI C., ELOY J.F., BERTRAND J.M. Etude de l'hétérogénéité des zircons du granite d'Anfeg (Algérie) à l'aide de méthodes microanalytiques. ....	136
BROWN W.L., DUBESSY J. A Raman microprobe study of cryptoperthitic alkali feldspars.....	137

Joseph V. Smith William L. Brown

# Feldspar Minerals

Volume 1

Crystal Structures, Physical, Chemical,  
and Microtextural Properties

Second Revised and Extended Edition

With 352 Figures, 828 p.

Springer-Verlag  
Berlin Heidelberg New York  
London Paris Tokyo

Inst. Mining Metall., Dunham vol., 321-32 (1986)

## Feldspars as cooling-rate meters in igneous rocks

Ian Parsons B.Sc., Ph.D., F.R.S.E.  
*Department of Geology and Mineralogy, Marischal College,  
Aberdeen University, Scotland*  
William L. Brown B.Sc., Dr.Sc.Nat.  
*Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques,  
Vandoeuvre-lès-Nancy Cedex, France*

### SYNOPSIS

The microtextures in alkali feldspar crystals can be used as a measure of cooling rate in igneous rocks. The principles involved are described. Exsolution by spinodal decomposition leads to lamellar cryptoperthitic intergrowths with a wavelength which depends on cooling rate. Textures of this type have been successfully interpreted quantitatively in rapidly chilled rocks (in flows and dykes) and have been applied to a thick tuff body. In more slowly cooled rocks complex textures develop as a result of the interaction of exsolution with framework ordering and associated twinning.

These textures have been interpreted semiquantitatively but may be useful guides to relative cooling rates, proximity to hidden contacts, and to envelope temperatures.

Bull. Minéral. (1986), 109, 265-274

## Étude de l'hétérogénéité des zircons du granite d'Anfeg (Algérie) à l'aide de méthodes microanalytiques

par CHARLES KOSZTOLANYI\*, JEAN-FRANÇOIS ELOY\*\* et JEAN-MICHEL BERTRAND\*\*\*

\* Centre de Recherches sur la Géologie de l'Uranium (C.R.E.G.U.),  
B.P. 23, 54501 Vandœuvre-les-Nancy Cedex, France.

\*\* Centre d'Etudes Nucléaires de Grenoble (C.E.A.-C.E.N.G.),  
Laboratoire S.E.A.-S.E.A.P.C., 38041 Grenoble Cedex, France.

\*\*\* Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques,  
B.P. 20, 54501 Vandœuvre-les-Nancy Cedex, France.

**Résumé.** — Des zircons du granite d'Anfeg (Algérie) ont été étudiés par microsonde électronique, par microsonde Raman et par spectrographie de masse à sonde laser (L.P.M.S.). Cette dernière technique permet d'effectuer des analyses par couches de 200 à 300 Å d'épaisseur.

Les mesures mettent en évidence l'hétérogénéité de la composition chimique des zircons issus d'un même échantillon. De plus, la répartition des éléments en fonction de la profondeur, à partir de la surface, est fortement variable. La variation de la teneur en Si et en Zr de couche en couche indique l'existence de zones avec excès de Si ou de Zr.

Les zones externes sont généralement fort appauvries en Si dont parfois la teneur ne dépasse pas 4 % (% atomique). Ce phénomène peut être attribué au remplacement de  $\text{SiO}_4^{4-}$  par les ions  $(\text{OH})_4^-$  dont la présence a été constatée par microsonde Raman.

Les zircons sont riches en éléments de substitution répartis d'une façon irrégulière avec fortes concentrations localisées dans des zones étroites où leur teneur atteint des valeurs considérables notamment : Ge 3,6 %, Hf 2,2 %, Sm 2,3 %, Yb 1,1 %, Gd 0,64 %.

Les zones riches en Pb radiogénique sont décalées par rapport à celles riches en U. Ce fait indique la migration des éléments intermédiaires de la chaîne radioactive au sein des cristaux, notamment au niveau de  $^{222}\text{Rn}$ .

**Mots-clés :** zircon, hétérogénéité, microsonde Raman, microsonde électronique, spectrométrie de masse à sonde laser.

*The chemical heterogeneity of zircons from the Anfeg granite (Algeria) investigated by microanalytical techniques.*

**Abstract.** — Zircons from the Anfeg granite (Algeria) were investigated by electron and Raman microprobe techniques and by laser probe mass spectrometry. The latter method enables the analysis of 200-300 Å depth layers.

The analytical results show that the composition of the zircon grains is heterogeneous. In addition, the element distributions vary greatly from rims to cores.

The variation of Si and Zr contents in the layers suggests the existence of zones enriched in Si or Zr. The outer zones are generally depleted in Si, sometimes showing less than 4 atom %. This phenomenon may result from the substitution of  $(\text{OH})_4^-$  for  $\text{SiO}_4^{4-}$ . Raman spectroscopy confirms the presence of  $(\text{OH})^-$ . The zircons are also rich in substituted cations. The latter are irregularly distributed, with high concentrations in narrow zones : e.g. Ge 3.6, Hf 2.2, Sm 2.3, Yb 1.1, Gd 0.64 atom %.

It is shown that the U rich zones are not rich in radiogenic Pb. This suggests that migration of certain elements has occurred in the crystal cores. Such elements were intermediate in the U-Pb radioactive decay chain, possible near  $^{222}\text{Rn}$ .

**Key words :** zircon, chemical heterogeneity, laser probe mass spectrometry, electron microprobe, Raman microprobe.

S29.40

**A RAMAN MICROPROBE STUDY OF CRYPTO-  
PERTHITIC ALKALI FELDSPARS**

W.L. BROWN\* & J. DUBESSY

(CRPG, Vandoeuvre, France and CREGU, Vandoeuvre, France)

A room-temperature Raman microprobe study of cryptoperthitic alkali feldspars was undertaken to determine the effect of the scale of exsolution on the spectra. Two cryptoperthites from the Klokken intrusion, south Greenland, consisting of low albite and low microcline in the diagonal association with primary periodicities of  $\sim 40$  and  $250$  nm, were compared with a 'single-phase low albite and a low microcline in the range  $50$  to  $1200$   $\text{cm}^{-1}$ '. The spectra of the cryptoperthites consist essentially of a superposition of the spectra of low albite and low microcline. Single lines which are close in position in the two phases are observed either as a single broadened line in the cryptoperthites (e.g. strong lines near  $815$ ,  $485$ ,  $455$  and  $285$   $\text{cm}^{-1}$ ) or as a partially resolved doublet (e.g. strong lines near  $760$  and  $515$   $\text{cm}^{-1}$ ). The resolution of the coarser cryptoperthite (lamellar thickness  $\sim 100$ - $150$  nm) is considerably better than that of the finer one (lamellar thickness  $\sim 15$ - $25$  nm), not only because of the larger domain size but also because of lower coherent elastic strain.

*PETROLOGIE EXPERIMENTALE*



## Sommaire

MONTEL J.M. Experimental determination of the solubility of Ce-monazite in SiO <sub>2</sub> -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -K <sub>2</sub> O-Na <sub>2</sub> O melts at 800°C, 2 kbar, under H <sub>2</sub> O-saturated conditions.....	141
MONTEL J.M. Comportement des terres rares dans les magmas granitiques: modélisation et approche expérimentale du rôle de la monazite. ....	141
MONTEL J.M. Monazite as REE vector in the crust: application of experimental data to natural rocks. ....	142
PICHAVANT M. Effects of B and H <sub>2</sub> O on liquidus phase relations in the haplogranite system at 1 kbar.....	143
PICHAVANT M., BOHER M., STENGER J.F., AISSA M., CHAROY B. Relations de phase des granites de Beauvoir à 1 et 3 kbar en conditions de saturation en H <sub>2</sub> O.....	143
BOHER M., STENGER J.F., PICHAVANT M. Low temperature, Li-, F-rich granitic magmas.....	144
WEBER C., PICHAVANT M. Plagioclase-Liquid Phase Relations in the System Qz-Or-Ab-An-H <sub>2</sub> O at 3 kbar: Toward a Resolution of Experimental Difficulties.....	145
MONTEL J.M. Characteristics and evolution of "vaugneritic magmas": an analytical and experimental approach, on the example of the Cévennes Médiannes (Franch Massif Central). ....	146
WEBER C., GOLDSMITH J.R. Breakdown of An <sub>0</sub> -An <sub>30</sub> plagioclases at high pressure: the use of fluxes (Li <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> -V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ).....	147
PICARD V., MONTEL J.M., YVON J. Stability of a natural, Ca and Fe-rich montmorillonite under hydrothermal conditions.....	147

Experimental determination of the solubility of Ce-monazite  
in  $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-K}_2\text{O-Na}_2\text{O}$  melts at 800 °C, 2 kbar,  
under  $\text{H}_2\text{O}$ -saturated conditions

Jean-Marc Montel  
Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques  
B.P. 20, 54501 Vandoeuvre-lès-Nancy, Cedex, France

**ABSTRACT**

The solubility of cerium-monazite ( $\text{CePO}_4$ ) in  $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-K}_2\text{O-Na}_2\text{O}$  melts was determined at 800 °C, 2 kbar, under water-saturated conditions. Dissolution experiments using synthetic Ce-monazite crystals and crystallization experiments using Ce and  $\text{PO}_4$ -bearing glasses yield results in good agreement. Microprobe analyses of glasses using a sensitive method (detection limit to < 130 ppm) show that the solubility of monazite is dependent on the melt composition and is especially low for peraluminous compositions. Application of these data to various geologic occurrences is in good agreement with petrographic and geochemical observations and shows that monazite fractionation is probably a very common phenomenon in two-mica granites. This provides a good explanation for the light REE and Th depletion commonly observed in such rocks.

Jean-Marc MONTEL

**COMPORTEMENT DES TERRES RARES  
DANS LES MAGMAS GRANITIKES :  
MODELISATION ET APPROCHE EXPERIMENTALE  
DU ROLE DE LA MONAZITE**

Thèse de Docteur de l'INPL, Nancy, 110 p., 1987

Résumé

Les Terres rares (TR) ont été utilisées de façon intensive en pétrologie pour modéliser les phénomènes de différenciation magmatique au sens large. Des résultats spectaculaires ont été obtenus sur les séries basaltiques, mais le comportement des TR dans les séries granitiques est resté souvent énigmatique. La première partie de ce mémoire passe en revue les bases théoriques de la modélisation pétrogénétique à partir des éléments en trace, en mettant en relief les difficultés théoriques particulières liées aux granites. Un modèle calculé et une simulation montrent de façon concrète le rôle des minéraux accessoires. La seconde partie est consacrée à l'étude (d'après la littérature) de quelques séries classiques (alcaline : Boïna ; charnockitique : Norvège ; calco-alcaline : Bishop Tuff ; leucogranitique : Manaslu, St-Sylvestre, Sweetwater Wash, Macusani). Elle suggère que la monazite (phosphate de TR légère) contrôle le comportement des TR dans les séries alumineuses.

La troisième partie est consacrée à l'étude expérimentale de la solubilité de la monazite dans les liquides granitiques. Les expériences ont été conduites dans les conditions suivantes :  $T = 800^{\circ}\text{C}$ ,  $900^{\circ}\text{C}$ ,  $1\ 000^{\circ}\text{C}$  ;  $\text{PH}_2\text{O} = \text{P tot.} = 2 \text{ kbar}$  ; monazite :  $\text{CePO}_4$  ou  $\text{SmPO}_4$  ; verres de composition variée :  $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{K}_2\text{O} - \text{Na}_2\text{O}$ . Appareillage : autoclave à chauffage interne. Des monazites synthétiques (jusque 3 mm de taille) ont été fabriquées ( $\text{LaPO}_4$ ,  $\text{CePO}_4$ ,  $\text{PrPO}_4$ ,  $\text{NdPO}_4$ ,  $\text{SmPO}_4$ ,  $\text{GdPO}_4$  et composition complexe). Une méthode performante d'analyse de Ce dans les verres expérimentaux a été mise au point (seuil de détection à 90% : 150 pp.m). Les résultats montrent que la solubilité de la monazite décroît avec la température et est beaucoup plus faible dans les verres peralumineux que dans les verres peralcalins. Un modèle thermodynamique de solubilité est proposé. Il peut être appliqué aux roches naturelles, et donne des résultats conformes aux réalités géologiques.

On déduit de cette étude que la monazite est très faiblement soluble dans les magmas peralumineux, et donc qu'elle se comporte de façon réfractaire au cours de l'anatexie.

Terra Cognita, 7, (2-3), 401, 1987

### G17.30

#### MONAZITE AS REE VECTOR IN THE CRUST: APPLICATION OF EXPERIMENTAL DATA TO NATURAL ROCKS

J.M. MONTEL\*

(CRPG, Vandœuvre, France)

The behaviour of REE in the crustal magmatism, has been somehow puzzling until it has been shown that accessory minerals played a key-role as trace-element vectors in silicic rocks. Monazite is one of the most important REE and Th bearers. Experimental data (Montel, 1985, 1986, and in prep.) show that its solubility is highly dependant on temperature and composition of the melt. It can be inferred from these data that monazite is poorly soluble in anatectic melts, because of their peraluminous nature, and relatively low T of generation.

Examination of the REE behaviour in natural series in the light of these data suggests the following conclusion.

REE behaviour in peraluminous melts is mainly controlled by monazite. Its solubility is so low that it can be suspected that crystals of monazite can easily, in anatectic melts, be inherited from the source material. Then the behaviour of REE, Th, but also of the Sm/Nd ratio must be related to the mechanical behaviour of crystals of monazite during magmatic processes.

Montel, J.M., 1985 : Terra Cognita 5 : 330.

Montel, J.M., 1986 : Geology 14 : 659-662.

## Effects of B and H<sub>2</sub>O on liquidus phase relations in the haplogranite system at 1 kbar

MICHEL PICHAVANT

Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques, BP 20, 54501 Vandœuvre les Nancy, France

### ABSTRACT

Liquidus phase relations have been determined in the system Qz-Ab-Or at 1 kbar with 1 and 4.5 wt% B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> in the melt under both H<sub>2</sub>O-saturated conditions and H<sub>2</sub>O-undersaturated conditions (4.5 wt% B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> in the melt), using a H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> fluid mixture. Under H<sub>2</sub>O-saturated conditions, the addition of B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> leads to a reduction of the liquidus temperatures for compositions in the feldspar field; compositions in the quartz field are not significantly affected. The minimum liquidus temperature is progressively reduced, and its composition moves toward the Ab corner: Qz<sub>40</sub>Ab<sub>30</sub>Or<sub>30</sub>, 720 °C (B-free, Tuttle and Bowen, 1958), Qz<sub>30</sub>Ab<sub>30</sub>Or<sub>40</sub>, 680 °C (1 wt% B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), Qz<sub>30</sub>Ab<sub>30</sub>Or<sub>40</sub>, 640 °C (4.5 wt% B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). H<sub>2</sub>O solubility in the melt increases with increasing B concentration. Isobaric reduction of the H<sub>2</sub>O content in the melt by about 50% at constant B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> increases liquidus temperatures for all of the compositions studied and shifts the minimum liquidus composition toward the Qz-Or side at constant Qz contents: Qz<sub>40</sub>Ab<sub>30</sub>Or<sub>30</sub>, 750 °C (4.5 wt% B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

The contraction of the liquidus field for Ab suggests that the addition of B partially disrupts the aluminosilicate network. B-bearing structural units are formed involving alkalis (mainly Na) that were previously used for charge-balancing <sup>IV</sup>Al. A fraction of the B atoms may exist in tetrahedral coordination. The increase in the H<sub>2</sub>O solubility is attributed to the hydrolysis of the borate units. An isobaric increase of the H<sub>2</sub>O content of the melt has similar effects on phase relations, indicating that H<sub>2</sub>O is preferentially associated with the Ab-forming components in the melt and that the incorporation of H<sub>2</sub>O in aluminosilicate melts may involve expulsion of Al from the network. These results allow an estimation to be made of the individual effects of pressure and of the H<sub>2</sub>O content of the melt on the phase relations in the Qz-Ab-Or system. The B concentration of natural magmas (1 wt% B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> maximum) is too low to influence significantly the major-element composition of residual melts. However, the minor- and trace-element chemistry of these melts may be profoundly affected.

*Géologie de la France* n° 2-3, 1987, pp. 77-86, 6 fig. 5 tabl.

## Relations de phase des granites de Beauvoir à 1 et 3 kbar en conditions de saturation en H<sub>2</sub>O

Michel Pichavant\*, Muriel Boher\*\*  
Jean-François Stenger\*\*, Mohamed Aïssa\*\*\*  
et Bernard Charoy\*\*\*

### Résumé

Des expériences de fusion et de cristallisation ont été effectuées sur deux échantillons représentatifs des faciès B 1 et B 2 des granites de Beauvoir provenant du sondage GPF Echassières n° 1, entre 500 et 750 °C, de 1 à 3 kbar et en conditions de saturation en H<sub>2</sub>O. Les températures solidus (expériences de fusion) sont très basses (faciès B 1 : 575 °C à 1 kbar, 555 °C à 3 kbar ; faciès B 2 : 585 °C à 1 kbar, 575 °C à 3 kbar) et dépendent peu de P<sub>H<sub>2</sub>O</sub>. Ces températures anormalement basses pour des compositions granitiques sont attribuées à la présence de F et Li<sub>2</sub>O (respectivement 2.39 et 1.28 % poids, faciès B 1, 1.77 et 0.71 % poids, faciès B 2). La topaze est la phase liquidus dans les deux types d'expériences. Sa cristallisation est proche de 700 °C à 1 kbar pour les deux faciès. Le domaine de stabilité de la lépidolite dépend de sa composition et s'élargit de 1 à 3 kbar. Parmi les phases cardinales, le quartz disparaît en dernier dans les expériences de fusion tandis que, dans les expériences de cristallisation, c'est le plagioclase qui apparaît en premier. Ceci démontre l'existence de problèmes cinétiques dans les deux types d'expériences. Le feldspath potassique est la dernière phase cardinale à cristalliser. Bien que variable, la composition des feldspaths déterminée dans trois expériences de cristallisation est conforme à celle attendue à basse température pour des compositions de liquide faiblement calciques. La composition de ces plagioclases et feldspaths potassiques, proche de l'équilibre à 600 °C, contraste avec celle des feldspaths des granites de départ. Les résultats expérimentaux et les compositions des éléments majeurs suggèrent que les granites de Beauvoir sont les produits de cristallisation de liquides résiduels enrichis en F, Li, P, Rb. Toutefois, leurs caractères pétrographiques et géochimiques ne peuvent s'expliquer uniquement par des processus magmatiques.

## Abstract

### *Phase relations of the Beauvoir granites between 1 and 3 kbar under H<sub>2</sub>O-saturated conditions*

Melting and crystallization experiments have been carried out between 500 and 750 °C, 1 and 3 kbar (H<sub>2</sub>O-saturated conditions), on two representative samples of the B1 and B2 Beauvoir granites from the GPF Echassières n°1 drill hole. These granites are characterized by unusual compositions for granitic rocks. Both are felsic, peraluminous and F and Li-rich. Each rock was ground and the powders (grain size ~ 50 μm) used as starting products for the melting experiments. For the crystallization experiments (mostly 1 kbar runs), glasses were synthesized at 800 °C, 1 kbar from each powder. The solidus temperatures (determined from melting experiments) are very low (B1: 575 °C, 1 kbar, 555 °C, 3 kbar; B2: 585 °C, 1 kbar, 575 °C, 3 kbar) and do not largely depend on P<sub>H<sub>2</sub>O</sub>. These low solidus temperatures for granitic compositions are attributed to the presence of F and Li<sub>2</sub>O (respectively 2.39 and 1.28 wt% in B1, 1.77 and 0.71 wt% in B2). Topaz is the liquidus phase in both type of experiments. It crystallizes close to 700 °C at 1 kbar for both samples. The stability of lepidolite depends on its composition, which is Fe-rich in B2 but nearly totally Fe-free in B1. At 1 kbar, lepidolite is the last phase in the crystallization sequence. However, the lepidolite stability field widens with pressure from 1 to 3 kbar. Among quartz and feldspar phases, quartz is the last phase to disappear in the melting experiments for both samples. However, it is preceded by plagioclase in the crystallization experiments with B1. This demonstrates kinetic problems in both types of experiments (slow melting kinetics of quartz in this temperature range, possible disequilibrium melting of feldspar phases and supercooling in the crystallization experiments). However, both types of experiments show K-feldspar to be the last (among these three phases) in the crystallization sequence. The composition of feldspars has been determined in three crystallization experiments at 600 °C. Although somewhat variable, the coexisting plagioclases and K-feldspars (sample B2) have compositions close to equilibrium at this temperature. Plagioclase compositions (up to 3.5 mole % An) conform with that expected for low temperature, Ca-poor liquids. However, the composition of the experimental feldspars is in contrast with that of the starting products. Experimental results and major element compositions strongly support the contention that the Beauvoir granites represent the products of crystallization of residual granitic liquids enriched in F, Li, P, Rb. However, all their present-day petrographical and geochemical characters cannot be explained by purely magmatic processes.

1 Centre de recherches pétrographiques et géochimiques BP 20, 54501 Vandœuvre-les-Nancy Cedex,

2 Université de Nancy I, BP 239, 54501 Vandœuvre-les-Nancy Cedex,

3 École nationale supérieure de géologie, BP 452, 54000 Nancy Cedex.

Terra Cognita, 7, (2-3), 356, 1987

#### G11.19

#### LOW TEMPERATURE, LI-, F-RICH GRANITIC MAGMAS

M. BOHER, J.F. STENGER & M. PICHAVANT\*  
(CRPG, Vandœuvre-lès-Nancy, France)

Melting phase relations are currently being determined on several natural Li-, F-rich granitic rocks to (1) constrain their crystallization history and PT conditions (2) assess the importance of the postmagmatic reequilibration and (3) relate the results with similar experimental data for the synthetic haplogranite system. Two samples (B1, B2) of the Beauvoir granites (quartz, albite, K-spar, lepidolite, topaz) and a sample of the Macusani glass (granitic obsidian, 0.74 % Li<sub>2</sub>O, 1.31 % F) are used. All runs are carried out between 1 and 3 kbar P<sub>H<sub>2</sub>O</sub> (10 wt % H<sub>2</sub>O added). Only melting experiments were performed on the granite samples and recrystallization experiments on the glass sample. The solidus temperatures for B1 and B2 are reduced by more than 100 °C compared to "normal" granitic rocks: 1 kbar: 575 °C (B1), 585 °C (B2); 3 kbar: 560 °C (B1), 575 °C (B2). The higher solidus temperature found for B2 is consistent with bulk composition: % Li<sub>2</sub>O: 1.28 (B1), 0.71 (B2); % F: 2.39 (B1), 1.77 (B2); % FeO<sub>t</sub>: 0.17 (B1), 0.51 (B2). For both B1 and B2, K-spar and lepidolite disappear first above the solidus followed by albite, topaz and quartz (the position of topaz in this sequence is uncertain). In B2, lepidolite (more Fe-rich than in B1) breaks down to a brown-coloured mica phase which persists up to liquidus temperatures: 1 kbar: 730 °C (B1), > 740 °C (B2); 3 kbar: 630 °C (B1), > 680 °C (B2). In both samples, reaction between topaz and melt produces an additional phase, possibly Al<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>. The liquidus temperature of the Macusani glass is 650 °C at 1 kbar. Feldspar, quartz and a similar brown-coloured mica phase crystallize below the liquidus. The data strongly support the existence

in nature of low temperature granitic melts enriched in Li and F. Both the range of temperature found and the melting sequence agree with experimental data in the synthetic haplogranite system. Topaz and lepidolite may crystallize at the magmatic stage.

**Eos** Vol. 67, No. 16, April 22, 1986

## Experimental Petrology I

Room 301 Wed PM

Presider, C. E. Lesher

LDGO

D. Johnston

Caltech

V32C-01 1330H

### Plagioclase-Liquid Phase Relations in the System Qz-Or-Ab-An-H<sub>2</sub>O at 3 Kbar: Toward a Resolution of Experimental Difficulties

C. WEBER and M. PICHAVANT (C.R.P.G., B.P. 20, 54501 Vandoeuvre Cedex, France)(Sponsor: J.R. Goldsmith)

Phase relations have been reexamined in the system Qz-Or-Ab-An-H<sub>2</sub>O at P(H<sub>2</sub>O) = 3 kbar with emphasis on plagioclase composition. The solidus curve, determined from mixtures of quartz and synthetic feldspars, runs from 660°C (Ab) to 720°C (An) and is very flat for plagioclase compositions below An<sub>50</sub> (mol %). Reversals consisting of two-stage melting-recrystallization runs yield temperatures in good agreement with melting runs.

The liquidus surface for 5 wt % An has been determined by using synthetic glasses with various Qz/Or/Ab ratios. The liquidus temperatures obtained by the appearance of crystals are in good agreement with the temperatures obtained by the disappearance of crystals in the crystallization-melting reversals. This suggests that our experimental method effectively reduces the nucleation problems, in particular for the plagioclase. The composition of the piercing point (Qz<sub>36</sub>Or<sub>26</sub>Ab<sub>38</sub>)An<sub>5</sub>, 670±10°C, is displaced towards the Qz-Or side compared to the An-free system. This determines one point on the cotectic line (isobaric univariant equilibrium: L + V + Qz + Kf + plag). For cotectic compositions, we have obtained plagioclase crystals significantly more An-rich (An<sub>19</sub>-An<sub>21</sub>) than the coexisting liquid (An<sub>12</sub>-An<sub>14</sub>) (composition projected onto the Ab-An join). For non-cotectic compositions, we also found an important partitioning of the plagioclase components between liquid (An<sub>12</sub>) and liquidus plagioclase (An<sub>33</sub>).

Our results indicate that chemical equilibrium between plagioclase and melt is approached rapidly in our experiments.

## Characteristics and evolution of "vaugneritic magmas" : an analytical and experimental approach, on the example of the Cévennes Médiannes (French Massif Central)

by JEAN-MARC MONTEL\* and ALAIN WEISBROD\*\*\*

\* Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques, 54500 Vandœuvre les Nancy, France.

\*\* Ecole Nationale Supérieure de Géologie, I.N.P.L., B.P. 452, 54001 Nancy cedex, France.

**Abstract.** — This study of some vaugnerites (Mg-biotite rich diorites and associated rocks from the high grade metamorphic and migmatitic series of the Cévennes Médiannes region) intends to clarify some characteristics and the stages of the evolution of the so-called "vaugneritic magmas".

The study includes field work, petrographic work, mineral analyses and experiments at high temperatures (670-820°C) and pressure (2 kbar) under water-saturated conditions.

The main results are :

- 1 - The variety of the mafic potassic facies is much wider in the Cévennes Médiannes than in the other known occurrences. This must be related to the synkinematic emplacement of the intrusions at various structural levels.
- 2 - The Mg-rich and hydrated character of the vaugneritic magmas is quite early, as well as — at least in part — the potassic character.
- 3 - Pressure has an important effect upon the course of crystallization during the magmatic evolution.
- 4 - Vaugneritic magmas intrude the country rocks at their current level, at very high temperatures, around 1000°C. The part played by these intrusions on the thermal history of the country is quite significant.
- 5 - The solidus of common vaugnerites is at about 790°C, at  $P_{H_2O} = P_{tot} = 2$  kbar.
- 6 - Late stages of differentiation of this type of magma can yield unusual residual melts, the composition of which is that of a plagioclase-quartz-(biotite) mixture, without any K-feldspar.

**Key words :** mafic potassic magmas, vaugnerites, plagioclasites, experimental petrology, Cévennes Médiannes.

*Caractérisation et évolution des "magmas vaugnéritiques" : approche analytique et expérimentale sur l'exemple des Cévennes Médiannes (Massif Central Français).*

**Résumé.** — L'étude de certains faciès de vaugnérîtes (diorites riches en biotites magnésiennes) des formations catazonales ardéchoises, ainsi que certaines roches associées permet de préciser quelques caractéristiques des magmas vaugnéritiques et de leur évolution. L'étude comprend des observations de terrain, des données pétrographiques, des données cristallographiques et des résultats expérimentaux obtenus à hautes températures (670°C-820°C) et haute pression (2 kbar), sous condition de saturation en eau.

A l'issue de ce travail, plusieurs points peuvent être considérés comme acquis :

- 1 - La variété des faciès basiques potassiques dans les Cévennes Médiannes est très supérieure à ce que l'on observe dans les autres gisements. Cet aspect est dû en grande partie au caractère syncinématique des intrusions ainsi qu'à leur mise en place à des niveaux structuraux différents.
- 2 - Le caractère magnésien et hydraté des magmas vaugnéritiques est acquis très précocement, ainsi que, au moins en partie, le caractère potassique.
- 3 - La pression joue un rôle important sur le déroulement de la cristallisation lors de l'évolution magmatique.
- 4 - Les magmas vaugnéritiques se mettent en place à des températures très élevées, de l'ordre de 1000°C. La contribution de ces magmas à l'évolution thermique de la région peut être considérable.
- 5 - Le solidus des vaugnérîtes actuelles se situe (à  $p_{H_2O} = P_{tot} = 2$  kbar) vers 790°C.
- 6 - La différenciation finale de ce type de magma peut donner des liquides résiduels à composition (biotite)-plagioclase-quartz, sans feldspath potassique.

**Mots-clés :** magmatisme basique potassique, vaugnérîtes, plagioclasites, expérimentation, Cévennes Médiannes.

G16.41P

**BREAKDOWN OF AN0-AN30 PLAGIOCLASES AT HIGH PRESSURE: THE USE OF FLUXES (Li2MoO4-V2O5)**

C. WEBER\* & J.R. GOLDSMITH

(Department of Geophysical Sciences, University of Chicago, Chicago, Ill, USA; CRPG, Vandoeuvre-lès-Nancy, France)

The breakdown reaction of intermediate plagioclases (An0-An30) I:  $Pl(1) = Jd + px + Qz + Pl(2)$  involve both Al-Si ordering in the plagioclase structure and NaSi = CaAl exchange during reaction. Preliminary experiments showed minor kinetic problems at 900-1000°C; at lower temperatures (600-800°C), the use of fluxes was essential and experiments were first conducted to test the use of Li2MoO4 and V2O5. We calibrated the reaction  $Ab = Jd + Qz$  (Holland, 1980) with and without fluxes between 600-1000°C. The Li2MoO4 flux was rapidly eliminated because a lithium- and aluminium- rich silicate phase (X-ray determination and partial microprobe analyses) appears on the Ab side of the reaction. With V2O5, the cell volume of Ab increases slightly (by 0.5 % maximum) and systematically but within the limits of error. The V2O5-present curve is always below the V2O5-absent curve which coincides perfectly with that of Holland (1980). The difference between the two curves increases from 1 kbar (600°C) to 1.5 kbar (1000°C). The increase of volume may be possibly explained by some incorporation of V in the Ab structure. Following these results, the reaction I was investigated between 15-30 kbar at 700°C and 1000°C. At both T, preliminary results show that intermediate plagioclases are stable to higher P than Ab in agreement with the conclusion of Boettcher (1971) but in contradiction with the calculations of Gasparik (1985). However, determination of the degrees of order show that plagioclase may orders more rapidly in the presence of V2O5.

Terra Cognita, 7, (2-3), 387, 1987

G16.12

**STABILITY OF A NATURAL, CA AND FE-RICH MONTMORILLONITE UNDER HYDROTHERMAL CONDITIONS**

V. PICARD, J.M. MONTEL\* & J. YVON

(CRPG, ENSG, Vandoeuvre, France)

The stability of a natural montmorillonite has been investigated between 200 and 500°C. Runs have been performed at 250 bars, in cold-seal vessels. An aqueous solution which mimics the composition of a natural granitic water is added (water-rock ratio 1/1 in weight). The duration of the first set of runs is five months. The montmorillonite structural formula is:  $(Al_{1.62} Fe_{0.30} Mg_{0.08}) Si_4 O_{10} (OH)_2 Ca_{0.15} Na_{0.07}$ . X-ray analysis of the run products (air dried and ethylene glycol treated samples) shows:

- (1) at 200°C montmorillonite is the only clay material present, but its Ca/Na ratio depicted from 001 spacing increases from exchanges with the solution. This point is confirmed by variation in the Ca/Na ratio of the solution.
- (2) at 300°C the only present phase is a 17 Å non-swelling clay (illitic layer + kaolinitic layer : 2:1 + 1:1 regular packing).
- (3) at 400°C quartz is present, with a swelling clay (20-22 Å air dried ; 27 Å with EG) (2:1<sub>S</sub> + 2:1<sub>U.S</sub> regular packing).
- (4) at 500°C the final product is a mixture of margarite, ferrous chamosite, quartz, and plagioclase.

Further investigations are planned to determine more precisely the nature of the products formed during runs.

This clay is to be used as a confining material for containers of radioactive wastes (Agence Nationale pour la gestion des déchets radioactifs - CEA project). Its stability at moderate T for long periods has then to be investigated.



# Présentation "INFORMATIQUE" des sujets

## 1 - Chimie Analytique et Geostandards

BOULMIER, DEMANGE, GOVINDARAJU, LHOMME, MARIN, MEVELLE, VERNET

## 2 - Fluides

ALBAREDE, ARNOLD, BOULLIER, DUBESSY, FRANTZ, JAMBON, JOHN, MICHARD, MICHOT, GONZALEZ PARTIDA, PECHER, RAMBOZ, ZHANG, ZIMMERMANN

## 3 - Géochimie Isotopique et Géochronologie

ALBAREDE, ALIBERT, APLIN, ARNOLD, BERTRAND, BOGOCH, BROUXEL, CAPPETTA, CHAREF, CHAUSSIDON, CLAUER, DEBON, DEVEY, FRANCE-LANORD, GONZALEZ PARTIDA, GRANDJEAN, HALTER, HOLTZ, JAEGY, JUTEAU, LAPIERRE, LE FORT, LETERRIER, MACAUDIERE, MAGARITZ, MICHARD, MONTIGNY, PAGEL, PENAYE, PENVEN, ROCCI, ROSENBAUM, SCHLICH, SHEPPARD, STUSSI, TAMAGNAN, TAYLOR, TOTEU, WEBER, ZIMMERMANN

## 4 - Géologie Structurale

AMAUDRIC du CHAFFAUT, ANGOUA, BARBEY, BARFETY, BERTRAND, BLACK, BOULLIER, BOURSEAU, CHAMPENOIS, COSSON, DEBON, FABRE, GIDON, HOLTZ, LAPIQUE, LE FORT, LESPINASSE, LIEGEOIS, MACAUDIERE, MARTIN, MERIEM, MICHARD, NEDELEC, NZENTI, PECHER, PENAYE, ROCCI, ROUX, SAUTTER, SAUVAGE, TOTEU, WRIGHT

## 5 - Géothermie

AINARDI, DANIS, MICHARD, RAMBOZ, ROYER, VAN NGOC

## 6 - Informatique Appliquée

BERNARD, CHEILLETZ, DANIS, DELGADO, ISNARD, LA ROCHE (de), LEMAITRE, MA, MARCHAL, PLOQUIN, QUINTARD, ROYER, SAMAMA, STUSSI, SURGET

## **7 - Magmatisme**

**AFZALI, ALBAREDE, ALIBERT, BANZET, BARBEY, BENNOUNA, BERNARD-GRIFFITHS, BERTRAND, BOUABSA, BOULMIER, BRIQUEU, BROUXEL, BROWN, CHAROY, CHEILLETZ, CHEMINEE, CONVERT, COULON, COUTURIE, CUNEY, DAUTEL, DEBON, DELORME, DEMAIFFE, DENIEL, DUPONT, ENRIQUE, FERNANDEZ, FRANCE-LANORD, GOVINDARAJU, GRAVELLE, HARRIS, JACQUEMIN, JORON, JUTEAU, KARCHE, LAPIERRE, LECUYER, LE FORT, LETERRIER, LIU, MARCHAL, MARIN, MARTIN, MASCLE, MICHARD, MOREAU, MOULAHOU, OUAZZANI, PANASIUK, PARSONS, PEUCAT, PICHAVANT, RAIMBAULT, RAZAFIMAHEFA, ROCCI, ROUER, SARRE, SHEPPARD, SONET, STUSSI, TAMAGNAN, TREUIL, UPRETI, VALENCIA HERRERA, VERNET, VIDAL, ZIMMERMANN**

## **8 - Métallogénie**

**AISSA, ARNOLD, BERNARD, BLAMART, BOGDANOFF, BOUABSA, BOUTALEB, BROUAND, CATHELINÉAU, CHAREF, CHAROY, CHEILLETZ, CIRODDE, CUNEY, DAGALLIER, DUBESSY, GIULIANI, GONZALEZ PARTIDA, HALTER, LEROY, MACAUDIERE, MAIZA, MARIGNAC, MECHICHE, MICHARD, MONIER, NEGGA, NGUYEN-TRUNG, NGOYANADJI, OGUNDIPE, OHNENSTETTER, OKITAUDJI, ORBERGER, PAGEL, PICHAVANT, PLOQUIN, POLLARD, POTY, RABENANDRASANA, RAMBOZ, ROBERT, ROSENBAUM, SAUPE, SHEPPARD, THORETTE, VEGAS, WEBER, WEISBROD**

## **9 - Métamorphisme**

**ANGOUA, BARBEY, BERTRAND, BRULA, CUNEY, LE FORT, MACAUDIERE, MOINE, MONTEL, NZENTI, PECHER, PICHAVANT, SAUPE, UPRETI, WEBER**

## **10 - Minéralogie**

**BERTRAND, BROWN, DUBESSY, ELOY, KOSZTOLANYI, PARSONS**

## **11 - Pétrologie Expérimentale**

**AISSA, BOHER, CHAROY, GOLDSMITH, MONTEL, PICARD, PICHAVANT, STENGER, WEBER, WEISBROD, YVON**

(seuls sont indiqués en "gras" les noms du Personnel du CRPG)

*ANNEXE I*

## Sommaire

Titres des résumés non publiés présentés à des réunions nationales et internationales .....	153
Participation à des Congrès et Conférences.....	161
Missions .....	167
Séminaires de Géologie - Séminaires de Recherche .....	168
Visiteurs.....	169
Brevet .....	171
Thèses et Rapports de D.E.A.....	172
Liste des publications 1986 - 1987 .....	174

**TITRES des RESUMES NON PUBLIES PRESENTES**  
**à des REUNIONS NATIONALES et INTERNATIONALES**

AGC-AMC annual meeting PICG 215, Saskatoon, Canada, 20 mai-6 juin 1987

Cameroon, a keystone in the Pan-African network.

**TOTOU S.F., BERTRAND J.M., PENAYE J., MACAUDIERE J., ANGOUA S., BARBEY P.**

Colloque Association française Etude Age du fer, Sarreguemines, 1-3 mai 1987

Les noyaux calcinés du rempart Hallstattien du Camp d'Afrique (Messein, 54) : données archéométriques et interprétation.

**PLOQUIN A., DUVAL P., EVEILLARD J., LAGADEC J.P. et LEROY M.**

Le Camp d'Afrique (Messein, 54), une fortification du Hallstatt final : bilan de 6 campagnes de fouilles.

**LAGADEC J.P., PLOQUIN A., DUVAL P., EVEILLARD J. et LEROY M.**

Colloque Géologie Profonde de la France, Paris, 2-3 décembre 1987

Sondage de Louy, données analytiques

**PLOQUIN A., QUENARDEL J.M.**

Colloque IGCP "Geochemistry and mineralization of Proterozoic volcanic suites", Nottingham, Grande Bretagne, 31 mars-4 avril 1986

Late proterozoic magmatism and geodynamic implications in Western Africa. Comparisons with the Arabo-Nubian shield.

**DUPONT P.L., LAPIERRE H., BERTRAND J.M.**

Colloque International "Minéralogie et Géochimie Expérimentales", Nancy, Avril 1986

Plagioclase-liquid phase relations in the system Qz-Or-Ab-An-H<sub>2</sub>O : towards a resolution of experimental difficulties.

**WEBER C., PICHAVANT M.**

Experimental study of tourmaline solubility in the system Na-Mg-Al-Si-B-O-H. Applications to the boron content of natural hydrothermal fluids and tourmalinization processes.

**WEISBROD A.**

Equilibrium kinetics and mechanisms of isotope exchange reactions in mineral-water systems.

**SHEPPARD S.M.F.**

The system NaAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>(melt)-H<sub>2</sub>O-sea water : solubility of water and hydrogen isotope fractionation factor at 3, 5 and 8 kbar.

**BLAMART D., GRAHAM C.M. et SHEPPARD S.M.F.**

Solubility of monazite in felsic melts : experimental data and application to the REE behaviour in crustal magmas.  
**MONTEL J.M.**

Colloque "Les gisements de tungstène : métallogénie, exploration, minéralurgie, exploitation",  
Toulouse, 12-14 mai 1986

Caractères généraux des phases fluides dans les indices et gisements de tungstène et d'étain.  
**WEISBROD A.**

Les fluides du district d'Echassières : premiers résultats.  
**AISSA A., MARIGNAC C., MERCIER P. et WEISBROD A.**

L'origine des gisements stannio-wolframifères : une approche critique.  
**MARIGNAC C. et WEISBROD A.**

La série de la Chataigneraie.  
**BOGDANOF S., PLOQUIN A., CIRODDE J.L.**

Paramètres physiques et facteurs de contrôle des circulations hydrothermales convectives impliquées dans la formation des concentrations en tungstène du sud du Massif Central français.  
**RAMBOZ C.**

Colloque Phanerozoic Magmatism Africa, Lubumbashi, Zaïre, août 1986,

Anorogenic anorthositic ring structures of the Aïr-Niger.  
**MOREAU C., DEMAÏFFE D., BROWN W.L.**

Phanerozoic magmatism of the Aïr massif - Niger.  
**MOREAU C., ROCCI G., BROWN W.L., DEMAÏFFE D.**

Colloque PICG 233 "Terranes" paléozoïques péri-Atlantique, Oviedo, Espagne, septembre 1986

The pre-hercynian french paleozoic orogen.  
**SANTALLIER D., PIQUÉ A., PLOQUIN A., QUENARDEL J.M.**

Observations dans les Sudètes polonaises, comparaisons.  
**PIQUÉ A., PLOQUIN A., QUENARDEL J.M., SANTALLIER D. et al.**

Colloque PIRSEM "Facteurs de concentration des matières premières minérales", Montpellier,  
30 septembre-3 octobre 1986

Les gisements de barytine, pyrite et oxydes de fer des Alpes apuanes méridionales (Toscane, Italie).  
**F. SAUPE, B. ORBERGER et M. ARNOLD**

Colloque "Résolution temporelle des datations géologiques", Paris, 22-24 mars 1987

Les méthodes Uranium-Plomb.  
**MICHARD A.**

Colloque "Transatlantique 2000, Paris, 1er-2 avril 1987

Le cadre géodynamique du Birrimien d'Afrique de l'Ouest.  
**BERTRAND J.M.**

Conference Physics and Chemistry of Magmas, Hawaiï, USA, 18-22 juin 1986

The evolution of leucogranitic magmas: field, petrographic and experimental evidence.  
**PICHAVANT M., M. MONTEL J.M.**

Monazite-melt interactions: experimental results and applications of REE distribution to acidic rocks.  
**MONTEL J.M.**

Congrès European Current Research on Fluid Inclusions, IX Symposium on fluid inclusions, Porto, Portugal, 1-7 mai 1987

The role of gases in the generation of abnormal fluid pressures : fluid inclusion evidence in continental margins, in salt and clay environments.  
**RAMBOZ C. et CHAREF A.**

A high temperature geyser at the bottom of Atlantis II deep, Red Sea : is the heat-mass balance of the deep consistent with mineralogy and fluid inclusion data ?  
**RAMBOZ C. et DANIS M.**

Congrès NATO Advanced research Workshop "Fluid movements and their influence on the composition of the deep-crust, Lindas, Norvège, 16-24 mai 1987

Diffusion and/or plastic deformation around fluid inclusions in synthetic quartz: X-ray topography and T.E.M. investigations.  
**BOULLIER A.M., MICHOT G., PECHER A.**

Cycle de Formation spécialisée en géostatistique, Fontainebleau, 14 juin 1987

Le comportement des pondérateurs en analyse krigeante. Comparaison avec les filtres classiques utilisés en traitement d'images.  
**MA Y.Z. et ROYER J.J.**

Comparaison de quelques méthodes de déconvolution. Apport de la géostatistique.  
**ROYER J.J.**

Deuxième Congrès national de Géologie, Lisbonne, Portugal, 24 septembre-6 octobre 1986

Estudo isotopico Rb-Sr dos Maciços graníticos de Sto. Ovidio e Arga (Ponte de Lima, Norte de Portugal). Inferencias geocronologicas e petrogeneticas.  
**DIAS G., MICHARD A. et LETERRIER J.**

Ecole d'été de microscopie électronique (conférence invitée), Rennes, 4-13 septembre 1986

Interprétation des microstructures d'exsolution de feldspaths ternaires.  
**BROWN W.L.**

14th Colloque de Géologie africaine, Berlin, RFA, 15-24 août 1987

Pan-African younger granites of Central Hoggar (Algeria): structure, petrology, geochronology and mineralization.

**BERTRAND J.M., MOULAHOU M., BOUABSA L., CHEILLETZ A., CHAROY B., BOULLIER A.M.**

Petrology and U/Pb geochronology of the Aleksod migmatites, Central Hoggar, Algeria.

**ANGOUA S., BERTRAND J.M., BARBEY P., DAUTEL D.**

Structure and geochronology of Northern Cameroon.

**TOTTEU S.F., BERTRAND J.M., PENAYE J., MACAUDIERE J., ANGOUA S., BARBEY P., MICHAUD A., DAUTEL D.**

Rock deformation at a Pan-African plate boundary outlined by ophiolites in Air (Niger).

**COSSON Y., BOULLIER A.M., ROCCI G.**

A Sm-Nd study of basic rocks of the Kidal assemblage (Mali).

**LETERRIER J. et ALIBERT C.**

14th. General. Meeting, I.M.A., Stanford, USA, juillet 1986

F, B and H<sub>2</sub>O: effects on phase equilibria in granitic systems.

**M. PICHAVANT, MANNING D.A.C.**

International Conference and training course on geomathematics and geostatistics, CODATA, Wroclaw, Pologne, 1-6 juin 1987

Local geostatistical filtering. Application to remote sensed images.

**MA Y.Z. et ROYER J.J.**

Statistical and geostatistical analysis for exploration.

**ROYER J.J.**

International Conference of IGCP Project 233, Nouakchott, Mauritanie, 3-26 décembre 1987

Directions of movement in the Pan-African trans-Saharan belt. Tectono-thermal evolution of the West African orogens and circum Atlantic terrane linkages.

**BOULLIER A.M., BERTRAND J.M.**

Pan-African deformation at a plate boundary outlined by ophiolites in Air (Niger).

Tectonothermal evolution of the west african orogens and circum atlantic terrane linkages.

**COSSON Y., BOULLIER A.M., ROCCI G.**

Mineral Deposits Studies group, Newcastle-upon-Tyne, Grande Bretagne, 11-18 décembre 1987

A geochemical approach to carbonate-shale hosted Pb-Zn deposits.

**SHEPPARD S.M.F.**

Ion microprobe evidence for <sup>34</sup>S variations in primary magmatic sulphides from diamonds, ultramafic and basic rocks.

**CHAUSSIDON M., ALBAREDE F., SHEPPARD S.M.F.**



NATO ASI on Physical properties and thermodynamic behaviour of minerals, Cambridge, Brade Bretagne, 25 juillet-8 août 1987

The Raman spectra of cryptoperthitic and homogeneous alkali feldspars: a comparison of the effect of coherency strain and local distortions.

**BROWN W.L., DUBESSY J.**

Penrose Conference, "Migmatites and Crustal Melting", Amherst, USA, Juin 1986

Effect of volatils (H<sub>2</sub>O, F, B, CO<sub>2</sub>, Cl) on crustal melting.

**PICHAVANT M.**

Premier Colloque annuel des Géologues et Géophysiciens "Géologie des Vosges", Strasbourg, 9 octobre 1987

Modélisation des transferts thermiques selon une coupe est-ouest Forêt Noire - bassin rhénan, Vosges.

**ROYER J.J.**

Réunion annuelle de l'Association française de Cristallographie, Marseille, 1-4 juin 1986

Interaction entre exsolutions et micromacles dans les feldspaths .

**BROWN W.L.**

Réunion annuelle du Programme "Mines et Métallurgie de l'Est", Montbard, 18-19 octobre 1986 et à Salin, 24-25 octobre 1987

Les scories paléosidéurgiques, données analytiques et essais d'interprétation, conseils aux fouilleurs.

**PLOQUIN A.**

Réunion du Groupe anglais du Pétrole, Burlington House, Grande Bretagne, 23-25 novembre 1987

Chemical equilibria and kinetics in the C-O-H system: evidence from the study of fluid inclusions by microthermometry and Raman spectrometry (conférence invitée).

**DUBESSY J. et RAMBOZ C.**

Réunion Massifs Cristallins Externes "Les journées d'Autrans" (Université de Grenoble), 11-14/5/87

La ceinture plutonique subalcaline du Haut-Dauphiné occidental - Minéralogie des accessoires et géochimie des terres rares"

**G. BANZET**

Géochimie des orthogneiss granitoïdes de Belledonne.

**PLOQUIN A., VIVIER G.**

Réunion de la Royal Society of London, , Londres, grande Bretagne, 10-14 , novembre 1987

Structure and metamorphism of the Karakorum gneisses in the Braldu Valley (North Pakistan).

**BERTRAND J.M., KIENAST J.R., PINARDON J.L.**

Réunion "Structure et physique de la croûte profonde", Paris, 28 janvier 1987

Fluides dans la croûte profonde.  
**BOULLIER A.M. et PÉCHER A.**

Réunion spécialisée Société Géologique de France-Société française de Minéralogie et Cristallographie "Le paléovolcanisme", Paris, 9-10 février 1987

Interprétation des compositions des clinopyroxènes reliques dans les roches paléovolcaniques : intérêt et limites.  
**LETERRIER J. et MAURY R.**

Réunion spécialisée Société Géologique de France "Mer Rouge", Paris, 7 décembre 1987

Un geyser sous-marin actuel de très haute température (> 350°C) dans le bassin sud-ouest de la fosse d'Atlantis II : les preuves fournies par les inclusions fluides et le bilan thermique.  
**RAMBOZ C. et OUDIN E.**

Séminaire Himalaya, Poitiers, 25-28 juin 1986

Le granite du Baltoro (batholite axial du Karakorum, Nord Pakistan) : une intrusion subalcaline d'âge miocène supérieur.  
**DEBON F.**

Migmatisation dans la Dalle du Tibet : données préliminaires sur la région du Zaskar et du Cachemire (Ouest Himalaya).  
**M. BROUAND**

Séminaire Himalaya-Karakorum, Nancy, 13-15 février 1987

Structural and metamorphic evolution of the Karakorum gneisses in the Braldu Valley (Northern Pakistan).  
**BERTRAND J.M., KIENAST J.R.**

Séminaire ORSTOM "Andes Centrales", Bondy, 15 janvier 1987

Les "macusanites" (SE Pérou): exemple effusif unique d'un magma granitique hyperalumineux. Genèse d'une évolution. Minéralisation associée.  
**PICHAVANT M., BRIQUEU L., CARLIER G. et VALENCIA-HERRERA J.**

Plutonism west of the Himalaya-Karakorum : the Nuristan (Afghanistan) standpoint.  
**DEBON F.**

Structures transverses synmétamorphes dans le cristallin du Haut-Himalaya.  
**PECHER A., BARBEY P., BROUAND M.**

VII Semana de Geoquímica e I Reunião Iberica de Geoquímica, Aveiro, Portugal, 14-18 décembre 1987

Variations géochimiques des granites alumineux : le rôle de la présence de phases restitiques. Le cas des granites de la région de Montalègre (Nord Portugal).  
**HOLTZ F., LETERRIER J.**

Sixth International Conference on Secondary Ion Mass, Versailles, 13-18 septembre 1987

Instrumental mass fractionation of sulphur isotopes in ion probe measurements.  
**CHAUSSIDON M. et DEMANGE J.C.**

Symposium international Archéoméallurgie du fer, Mayence, RFA, 12-15 septembre 1986

Archéoméallurgie des sites de Minot et Fontenay, Bourgogne.  
**BENOIT P., GUILLOT I, PLOQUIN A., FLUZIN Ph.**

Symposium international Archéoméallurgie du fer, Prague, Tchécoslovaquie, 5-10 octobre 1987

La métallurgie du fer à Ludres en Lorraine : données archéométriques et essai d'interprétation des conditions de réduction d'un bas-fourneau.  
**FORRIERES C., LEROY M. et PLOQUIN A.**

Etudes analytiques et métallographiques de fonds de fours de réduction directe.  
**BENOIT P., FLUZIN Ph., GUILLOT I. et PLOQUIN A.**

Symposium International sur les "Granites et les minéralisations associées", Salvador, Brésil, 20 janvier-2 février 1987

Petrogenesis of lithophile-rich leucogranite magmas.  
**PICHAVANT M.**

Mineralizations of W, Sn, Mo and collision plutonism.  
**LE FORT P.**

Symposium on "The origin of granites", Edinburgh, Grande Bretagne, 11-18 septembre 1987

Melting in migmatites. Petrogenetic and experimental data.  
**WEBER C., BARBEY P.**

Origin of felsic peraluminous plutonic and volcanic rocks.  
**PICHAVANT M. et MONTEL J.M.**

Crustal melting and granite genesis during the Himalayan collision orogenesis.  
**LE FORT P.**

Workshop Himalayans Tectonics, Londres, Grande Bretagne, 10-14 novembre 1987

Structure and metamorphism of the Karakoram gneisses in the Braldu valley (North Pakistan).  
**BERTRAND J.M., KIENAST J.R., PINARDON J.L.**

## Participation à des Congrès, Stages et Conférences

AGC-AMC annual meeting, PICG 215, 20 mai-6 juin 1987, Saskatoon, Canada  
J.M. BERTRAND

CODATA France. Journée d'Etude sur les "Banques de données factuelles sur les matériaux",  
20 novembre 1986, Paris  
J.J. ROYER

CODATA France. Journée d'Etude sur les "Banques de données sur les matériaux", 26  
novembre 1987, Bordeaux  
J.J. ROYER

Colloque Association Française. Etude. Age du Fer, 1er-3 mai 1987, Sarreguemines  
A. PLOQUIN

Colloque IGCP "Geochemistry and mineralization of Proterozoic volcanic suites", 31 mars-4  
avril 1986), Nottingham, Grande-Bretagne  
J.M. BERTRAND

Colloque International "Minéralogie et Géochimie Expérimentales", 17-19 avril 1986, Nancy  
D. BLAMART, J.M. MONTEL, M. PICHAVANT, S.M.F. SHEPPARD

Colloque "Lagerstättenkunde Quo vadis ?", 15 octobre 1987, Heidelberg, RFA  
F. SAUPE

Colloque "Les gisements de tungstène : métallogénie, exploration, minéralurgie, exploitation",  
12-14 mai 1986, Toulouse  
M. AISSA, M. BENNANI, M. BOUTALEB, A. CHEILLETZ, A. PLOQUIN

Colloque PICG 233, septembre 1986, Oviedo, Espagne  
A. PLOQUIN

Colloque PIRSEM "Facteurs de concentration des matières premières minérales", 30 septembre-  
3 octobre 1986, Montpellier  
D. BLAMART, F. SAUPE, S.M.F. SHEPPARD

Colloque "Résolution temporelle des datations géologiques", 22-24 mars 1987, Paris  
F. ALBAREDE, P. GRANDJEAN, A. MICHARD

Colloque "Transatlantique 2000", 1er-2 avril 1987, Paris  
F. ALBAREDE, C. ALIBERT, P. BARBEY, J.M. BERTRAND, P. GRANDJEAN

Conférences, 10 avril 1987, à l'Université de Bonn, R.F.A.  
P. BARBEY

Conférences, 20 novembre 1987, à l'Université de d'Orléans  
P. BARBEY

Conférences à l'Université de Milan, 16-19 mars 1987, Milan, Italie  
W. BROWN

Conférences, 10-27 avril 1986, dans les Universités de Baltimore, Harvard, Pennsylvania State, Princeton, Yale, USA

C. FRANCE-LANORD

Conférence, 11 décembre 1987, à l'Université de Rennes

C. FRANCE-LANORD

Conférence "Physics and Chemistry of Magmas", 18-22 juin 1986, Hawaï, USA

M. PICHAVANT

Conférence, 5 avril 1986, University of California, Los Angeles, USA

C. WEBER

Conférence, 7 mai 1986, University of Iowa, USA

C. WEBER

Congrès de l'American Geophysical Union, 10-30 mai 1987, Baltimore, USA

M. CHAUSSIDON

Congrès CAMECA "Analyseur Ionique", 8-12 décembre 1986, Munich

M. CHAUSSIDON

Congrès European Current Research on Fluid Inclusions, IX Symposium on fluid inclusions, 1er-7 mai 1987, Porto, Portugal

A. CHEILLETZ, M. DANIS, C. RAMBOZ, A. WEISBROD, Y. ZHANG

Congrès NATO Advanced Research Workshop "Fluid movements and their influence on the composition of the deep-crust", 16-24 mai 1987, Bergen-Lindas, Norvège

A.M. BOULLIER, S.M.F. SHEPPARD

Crystallographic Fabrics and Deformation Histories, 19 mai 1986, Leeds, Grande Bretagne

A.M. BOULLIER

Cycle de Formation Spécialisée en Géostatistique, Ecole des Mines, 14 juin 1987, Paris, Fontainebleau

Y. MA, J.J. ROYER

Deuxième Congrès National de Géologie, 24 septembre-6 octobre 1986, Lisbonne, Portugal

J. LETERRIER

European Association of Geochemistry EAG School "Element partition", 10-12 avril 1987, Strasbourg

F. ALBAREDE, C. ALIBERT, P. GRANDJEAN

European Union of Geosciences, 13-16 avril 1987, Strasbourg

F. ALBAREDE, C. ALIBERT, M. ARNOLD, G. BANZET, P. BARBEY,  
M. BENNOUNA, J.M. BERTRAND, D. BLAMART, L. BOUABSA,  
A.M. BOULLIER, M. BROUAND, W. BROWN, M. CHAMPENOIS, B. CHAROY,  
M. CHAUSSIDON, F. DEBON, C. DEVEY, P. GRANDJEAN, P. DE GROOT,  
L.M. DJAMA, C. FRANCE-LANORD, A. LAGHBIDI, F. LAPIQUE, Y. MA,  
A. MICHARD, J.M. MONTEL, N. NGOYANADJI, M. PICHAVANT,  
S. RABENANDRASANA, C. RAMBOZ, J.J. ROYER, F. SAUPE,

S.M.F. SHEPPARD, C. WEBER, J.L. ZIMMERMANN

International Conference of IGCP 233, 3-26 décembre 1987, Nouakchott, Mauritanie  
A.M. BOULLIER

International Conference and training course on geomathematics and geostatistics, CODATA,  
1er-6 juin 1987, Wroclaw, Pologne  
J.J. ROYER

International Winter Conference on ICP, 11-16 janvier 1987, Lyon  
K. GOVINDARAJU

Journée d'Etude "Banque de données factuelles sur les matériaux", 20 novembre 1986, Paris  
J.J. ROYER

"Mineral Deposits Studies group", 11-18 décembre 1987, Newcastle, Grande Bretagne  
M. CHAUSSIDON, S.M.F. SHEPPARD

NATO - Advanced Study Institute (Geochemistry of Hydrothermal ore-forming Processes), 7-  
24 janvier 1987, Salamanca, Espagne  
C. RAMBOZ, F. SAUPE, S.M.F. SHEPPARD, A. WEISBROD

NATO - Advanced Study Institute (Physical properties and thermodynamic behaviour of  
minerals), 25 juillet-8 août 1987, Cambridge, Grande Bretagne  
W. BROWN

NATO ASI on Physical properties and thermodynamic behaviour of minerals, 25 juillet-8 août  
1987, Cambridge, Grande Bretagne  
W. BROWN

NATO "Statistical Treatments for estimation of minerals and energy resources", 21 juin-6 juillet  
1986, Ciocco (Lucca), Italie  
J.J. ROYER

XIXth General Assembly International Union of Geodesy and Geophysics, 9-22 août 1987,  
Vancouver, Canada  
M. DANIS, J.J. ROYER

Penrose Conference "Migmatites and Crustal Melting", 7-10 juin 1986, Amherst, USA  
P. LE FORT, M. PICHAVANT, C. WEBER

Premier Colloque annuel des Géologues et Géophysiciens "Géologie des Vosges", 9 octobre  
1987, Strasbourg  
J.J. ROYER, J.M. STUSSI

14e Colloque de Géologie africaine, 15-24 août 1987, Berlin, RFA  
S. ANGOUA, J.M. BERTRAND, A.M. BOULLIER, J. LETERRIER

Réunion Annuelle du Programme "Mines et Métallurgie de l'Est", 18-19 octobre 1986 et à Salin,  
24-25 octobre 1987  
A. PLOQUIN

Réunion Annuelle de l'Association Française de Cristallographie, 1-4 juin 1986, Marseille

W. BROWN

Réunion Biafo-Hispar-Karakorum, 7-8 novembre 1986, Paris  
P. LE FORT

Réunion Bloc collision, 14-18 décembre 1986, Toulouse  
P. LE FORT

Réunion Déformation-Cristallisation, 26-28 novembre 1986, Lyon  
S. ANGOUA, A.M. BOULLIER, A. PECHER

Réunion GAMS, 22 mai 1986, Paris,  
K. GOVINDARAJU

Réunion Géologie Profonde de la France, 24 octobre 1986, Paris  
M. PICHAVANT

Réunion Groupe anglais du Pétrole, 23-25 novembre 1987, Burlington House, Grande Bretagne  
C. RAMBOZ

Réunion "Les journées d'Autrans" sur la géologie des Massifs cristallins externes, 11-13 mai 1987, Grenoble  
G. BANZET

Réunion PICG 23, 28 juin-8 juillet 1986, Ankara, Turquie  
A. PLOQUIN

Réunion PICG 239 "Banque de données", 11-25 septembre 1987, Koweït  
A. PLOQUIN

Réunion scientifique sur la gîtologie des terres rares, 24-30 novembre 1986, Berlin, RFA  
F. SAUPE

Réunion spécialisée Société Géologique de France-Société Française de Minéralogie et Cristallographie "Le Paléovolcanisme", 9-10 février 1987, Paris  
J. LÉTERRIER

Réunion Extraordinaire Société Géologique de France, massif Central, 7-14 septembre 1986  
A. PLOQUIN

Réunion de la Société Géologique de France sur les PICG à forte participation française, 13 octobre 1986, Paris  
A. PLOQUIN

Réunion des projets "Scories", 16 mars, 1er juillet, Nancy, 28 septembre 1987, Montbard  
A. PLOQUIN

Réunion spécialisée Société Géologique de France "Mer Rouge", 7 décembre 1987, Paris  
C. RAMBOZ

Réunion "Structure et physique de la croûte profonde", 28 janvier 1987, Paris  
A.M. BOULLIER

Réunion Synthèse Géologique des Pyrénées, 1-3 décembre 1986, Bordeaux  
F. DEBON

Réunion Synthèse Géologique des Pyrénées, 28 janvier-1er février et 16-18 novembre 1987,  
Barcelone, Espagne  
F. DEBON

Réunion de la Royal Society of London, "Workshop Himalayans Tectonics", 10-14 novembre  
1987, Londres, Grande Bretagne  
J.M. BERTRAND, P. LE FORT

Séminaire Himalaya, 25-28 juin 1986, Poitiers  
M. BROUAND, F. DEBON

Séminaire Himalaya-Karakorum, 13-15 février 1987, Nancy  
J.M. BERTRAND, F. DEBON, C. FRANCE-LANORD, P. LE FORT,  
A. PECHER, B. SCAILLET, S.M.F. SHEPPARD

VII Semana de Geoquímica e I Reunião Iberica de Geoquímica, 14-18 décembre 1987, Aveiro,  
Portugal  
F. HOLTZ, J. LETERRIER

Session intensive de la Société Minéralogique d'Amérique - Réunion Société  
Géologique d'Amérique, 3-22 novembre 1986, USA-Mexique  
S.M.F. SHEPPARD

7th International Association on the genesis of Ore Deposits Symposium and Nordkalott Project  
Meeting, 18-22 août 1986, Lulea, Suède  
A. CHEILLETZ

SGA Field Conference "ore deposits of the Iberian Peninsula", 11-21 avril 1986, Espagne et  
Portugal,  
F. SAUPE

Shear Criteria Meeting, 22-24 mai 1986, Londres, grande Bretagne  
A.M. BOULLIER, M. CHAMPENOIS, F. LAPIQUE

6e International Conference on Geochronology, Cosmochronology and Isotope Geology, 29  
juin-6 juillet 1986, Cambridge, Grande Bretagne  
F. ALBAREDE, D. BLAMART, M. BROUXEL, M. CHAUSSIDON,  
C. FRANCE-LANORD, S.M.F. SHEPPARD, J.L. ZIMMERMANN

Sixth International Conference on Secondary Ion Mass Spectrometry, 13-18 septembre 1987,  
Versailles  
M. CHAUSSIDON

Symposium international Archéométaburgie du fer, 12-15 septembre 1986 à Mayence, RFA et 5-  
10 octobre 1987, à Prague, Tchécoslovaquie  
A. PLOQUIN

Symposium international sur les "Granites et les minéralisations associées", 20 janvier-2 février  
1987, Salvador, Brésil  
P. LE FORT, M. PICHAVANT



**Symposium on "The origin of granites", 11-18 septembre 1987, Edinbourg, Grande Bretagne**  
P. BARBEY, W. BROWN, C. FRANCE-LANORD, P. LE FORT,  
J.M. MONTEL, M. PICHAVANT, C. WEBER

**Table Ronde "Massifs cristallins externes des Alpes", 11-14 mai 1987, Autrans**  
A. PLOQUIN

**10th International CODATA Conferences, 12-20 juillet 1986, Ottawa, Canada**  
J.J. ROYER

**Workshop SGA "Primary Ore Deposits of REE, Ta and Nb", 26-28 novembre 1986, Berlin**  
F. SAUPE (organisateur, président de séance et co-éditeur des comptes-rendus imprimés)

## Missions majeures de terrain dans les pays d'Outre-Mer et étranger :

S. ANGOUA	Italie	Septembre 1986
M. ARNOLD	Espagne	Juin 1986
P. BARBEY	Himalaya	Octobre 1986
J.M. BERTRAND P. LE FORT	Pakistan	Juillet-Août 1986
J.M. BERTRAND	Canada	Mai-Juin 1987
A.M. BOULLIER	Niger Mauritanie	Décembre 1986 Décembre 1987
A.M. BOULLIER S.M.F. SHEPPARD	Norvège	Mai 1987
F. DEBON	Espagne	Janvier 1987
P. LE FORT	Inde	Mars-Juin 1987
P. LE FORT M. PICHAVANT	Brésil	Janvier-Février 1987
J. LETERRIER	Algérie	Avril 1986
A. MICHARD	Equateur	Décembre 1986
A. PLOQUIN	Turquie Koweït Tchécoslovaquie Grèce	Juin-Juillet 1986 septembre 1987 octobre 1987 décembre 1987
C. RAMBOZ	Portugal	Mai 1987
J.J. ROYER	Italie Canada Pologne	Juin-Juillet 1986 Juillet 1986 Juin 1987
F. SAUPE	Espagne	Avril 1986
F. SAUPE	Algérie	Avril-Mai 1987
C. RAMBOZ F. SAUPE S.M.F. SHEPPARD A. WEISBROD	Espagne	Janvier 1987
S.M.F. SHEPPARD	USA-Mexique	Novembre 1986
J.M. STUSSI	Maroc	Avril 1986

## Séminaires de Géologie -- Séminaires de Recherche

ALT J.C.	Washington University, Saint-Louis Missouri, USA
ANGOUA S.	CRPG
ARNDT N.T.	Max-Planck Institut, Mayence, RFA
BAKER J.	University van Amsterdam Geologisch Instituut, Amsterdam, Pays Bas
BOPP P.	Universität de Darmstadt, RFA
BURNHAM C.W.	The Pennsylvania State University, USA
CHAUVEL C.	Max-Planck Institut, Mayence, RFA
CLEMENS J.D.	Université de Clermont-Ferrand
COURRIOUX G.	Université de Nancy I
DEBON F.	CRPG
DE GROOT P.	Universté d'Amsterdam, Pays Bas
DELOULE E.	IPG, Paris
DEVEY C.	CRPG
Equipe E.D.T.A.	CRPG
FABBRI A.G.	Centre Canadien de Télédétection, Canada
FRANCE-LANORD C.	CRPG
HONNOREZ J.	Centre de Sédimentologie et de Géochimie de la Surface, Strasbourg
KRUPP R.	Lower Hutt, Nouvelle Zélande
LE GALL B.	GIS Brest
LEWIS J.F.	Washington University, Washington D.C., USA
MATHEZ E.	Université du Washington, Seattle, USA
MICHARD G.	Université de Paris VII
MOLNAR P.	M.I.T., USA
NALDRETT, J.	Université de Toronto, Canada
PERROUD H.	CAESS, Rennes
RAMBOZ C.	CRPG
SCHENK P.	Institut für Allgemeine, Universität München, RFA
SEWARD T.M.	Department of Scientific, Industrial Research, Nouvelle Zélande
SMITH C.H.	Max-Planck Institut, Mayence, RFA
TOURET J.	Vrije Universiteit, Amsterdam, Pays Bas
VASSEUR G.	CGGM Montpellier
WEBER C.	CRPG

## VISITEURS

ALT J.C., Saint-Louis Missouri Washington University, USA  
AZAMBRE M., Laboratoire de Pétrologie, Université de Paris VI  
BAILLY-MAITRE M.Ch., CRA, Sophia Antipolis  
BAO DAOCHONG., Ministry of Geology and Mineral Resources Beijing, China  
BAOUCH, Université de Marrakech, Maroc  
BARTLOMIEJCZYK M. SARUAL, Hagondange  
BENOIT P., Université de Paris I  
BIGOIS M., Service Central d'Analyse Vernaison Lyon  
BIRKE W., Université de Mayence (RFA)  
BOTTINGA Y., Institut de Physique du Globe Université Pierre et Marie Curie, Paris  
BOUHLEL S., Faculté des Sciences Tunis, Tunisie  
BOURGUIGNON A., Université de Lyon  
BURKHARD D., Université de Heidelberg, Heidelberg RFA  
BURNHAM M., Pennsylvania State University, University Park, USA  
CARPENTER M.A., Department of Earth Sciences, Cambridge, Grande Bretagne  
CARRON J.M., Université Claude Bernard, Lyon  
CHUNG F.J., Canadian Geological Survey of Canada  
CLEMENS J., Université de Clermont-Ferrand  
COTTIN J.Y., Université d'Oran, Algérie  
CUNNINGHAM M., Department of Earth. Sciences, Oxford University Grande.Bretagne.  
DONG JIMING, Officiel du Bureau des Affaires extérieures du Ministère de la Géologie et des  
Ressources minérales, Chine  
ECONOMOY G.S., Institut de Géologie et d'Exploitation Minière, Athènes, Grèce  
FALTSETAS M., Institut de Géologie et d'Exploitation Minière, Athènes, Grèce  
FOURQUIN C., Laboratoire de Géologie, Université de Reims  
GARCIA J.L., Laboratoire de Pétrologie, Université de Madrid  
GOGUEL R., DSIR, Chemistry Division, Nouvelle Zélande  
GAMBA M., Commission Nature Energie Atomique, Buenos Aires, Argentine  
HONNOREZ J., CSS Strasbourg ULP  
JOHANNES W., Institut für Kristallographie Hannover, RFA  
KANEOKA I., Geophysical Institute, University of Tokyo, Japon  
KERHARDY M., Jobin Yvon S.A., Longjumeau  
KEESMANN I., Université de Mayence, RFA  
KHAN TAHIRKHELI R.A., Université de Peshawar, Pakistan  
KOCH M. Jobin Yvon S.A., Longjumeau  
KONNERUP MADSEN J.,  
LE MAITRE R., Université de Melbourne, Australie  
LUC A., Université de Bruxelles, Belgique  
LU JUNXIONG ,Ministry of Geology and Mineral Resources Beijing, China  
MAILLET N., Laboratoire de Géologie, Université de Lyon  
MANGIN M., Université de Besançon  
MARINELLI G., Université de Nancy  
MOREAU C., Département de Géologie, Dakar, Sénégal  
PARSONS I., Department of Geology, Aberdeen, Grande Bretagne  
PETRUCCI C., Roma Dip Scienze Della Terra, Rome, Italie  
PFEIFER H.R., Université de Lausanne, Lausanne, Suisse  
PHAM THI HUYNH MAI Mme, CNRS, Vernaison  
POLLARD P.J., Department of Geologie, Townsville, Australia  
POTH P.J., Open University, Grande Bretagne  
Professeurs de Classes Préparatoires, Nancy  
QUENARDEL J.M., Université d'Orsay  
REMY J.L., Laboratoire d'Archéologie des Métaux, Jarville  
ROBERT E., COGEMA, Fontenay-aux-Roses  
ROBINSON A., BP Research Centre, Chertsey Road Sunbury on Thames, Grande Bretagne

ROLLIN P., Universités de Poitiers et de Tulea (Madagascar)  
SCHLIESTEDT M., Institut für Kristallographie, Hannover, RFA  
SEMET M., Service Central d'Analyses, Vernaison-Lyon  
SRETENSKAYA N.G., USSR Academy of Sciences, Moscou, URSS  
STAHL V. Université de Heidelberg, Heidelberg, RFA  
STEJER H., Geological Survey of Canada  
SUN LONGCHUN Directeur du Département du plan du Ministère de la Géologie et des  
Ressources minérales, Chine  
TAHIRKHELI R.A.K., Université Peshawar, Pakistan  
TURPAULT M.P. Faculté des Sciences, Poitiers  
VIVIER G., Université de Grenoble  
WANKE H., Max Planck Institut, Mainz RFA  
WANG FUQING ,Ministry of Geology and Mineral Resources, Beijing China  
WOODHEAD J., Department of Earth Sciences, Oxford University, Grande Bretagne  
XIONG ZENGXI., Ministry of Geology and Mineral Resources, Beijing, China  
YANG ZHILING ,Directeur du Bureau des Affaires extérieures du Ministère de la Géologie et  
des Ressources minérales, Chine  
ZENG BENGUI ,Directeur du Bureau de la Géologie et des Ressources minérales de la province  
du Sichuan, Chine  
ZHANG DAO ,Chef de la Division géologique du Bureau de la planification territoire national  
auprès de la Commission du plan d'Etat, Chine  
ZHU XUN, Ministre de la Géologie et des Ressources Minérales de la République Populaire de  
Chine

## BREVET D'INVENTIONS

Les logiciels développés par l'Equipe Informatique sont diffusés par l'ANVAR (Agence Nationale pour la Valorisation de la Recherche). Ces logiciels de cartographie automatique sont utilisés dans différents domaines des sciences de la Terre concernant les ressources du sous-sol (prospection géochimique, pétrole, mine, hydrogéologie et gestion de l'eau, environnement), mais aussi traitement d'images (superposition d'une scène télédéetectée sur un bloc diagramme topographique par exemple). Parmi les logiciels diffusés, on peut citer

### CARTOLAB (depuis 1976)

Logiciel de cartographie automatique utilisé par :

**Industries :**

- C.I.S.I.            Compagnie Internationale de Services Informatiques
- I.F.P.             Institut Français des Pétroles
- C.N.R.             Compagnie Nationale du Rhône
- I.R.SID            Institut de Recherches SIDérurgiques
- C.N.EX.O.        (IFREMER) - Centre National d'EXploration des Océans
- C.N.E.T.          Centre National d'Etude des Télécommunications
- GEOMATH         (Denver U.S.A.)
- etc.

**Universités :**

- Nancy
- Montpellier
- Marseille
- Toulouse
- Bordeaux
- Grenoble
- Strasbourg
- Rennes

**Ecoles :**

- Ecole de Géologie de Nancy
- Ecole des Mines de Paris

### GEOL (depuis 1986)

**Industries :**

- C.I.S.I.
- SNEAP             logiciels basés sur Geol
- CFP
- E.D.F.
- Mines de Potasses d'Alsace
- Charbonnage du Bassin d'Aquitaine
- SIROMINES (Australie)

**Université :**

- Stanford (Californie)

**Ecoles :**

- Ecole de Géologie de Nancy
- Ecole des Mines de Paris
- Ecole des Mines de Nancy
- Ecole des Mines d'Alès

## THESES et RAPPORTS DE D.E.A..

### Thèses

**AISSA M.**- Reconstitution d'un système de paléocirculations hydrothermales et ses conséquences métallogéniques : le district d'Echassières. Thèse de Doctorat de l'INPL, Nancy, 267 pages, Avril 1987.

**ALIBERT. C.** - La Géochimie du volcanisme Alcalin continental. Thèse d'Etat, INPL, Nancy, 207 pages, Décembre 1987.

**BENNOUNA A.**- Le volcanisme rhyolitique carbonifère des Vosges méridionales : pétrologie, minéralogie, géochimie et relations avec le plutonisme. Thèse de Doctorat de troisième cycle, Nancy, 168 pages, Juin 1987.

**BOUABSA L.**- Intrusions granitiques à Albite et Topaze : Minéralisations Stanno-Wolframifères et altérations hydrothermales associées, l'exemple du Hoggar Central-Algérie. Thèse de Doctorat de troisième cycle, Nancy, 210 pages, Novembre 1987.

**BROUXEL M.** - Géochimie d'un arc insulaire intra-océanique fossile et son bassin marginal : les séries paléozoïques de Copley, Balaklala et le cortège ophiolitique de Trinity (Klamath orientales, Nord California, U.S.A.). Thèse de Doctorat de l'Université de Nancy I, 323 pages, Janvier 1987.

**DELGADO BELLIDO J.** - La petite exploitation minière au Pérou l'Evolution des projets miniers, exemples de deux petites mines du Pérou, La mine de Condor Pasa et la mine de Pachapaqui. Thèse de Doctorat de l'INPL, Nancy, 133 pages, Décembre 1987.

**FRANCE-LANORD C.** - Chevauchement, métamorphisme et magmatisme en Himalaya du Népal Central. Etude isotopique H, C, O. Thèse de Doctorat de l'INPL, Nancy, 202 pages, Juillet 1987.

**HOLTZ F.** - Etude structurale, métamorphisme et géochimique des granitoïdes hercyniens et de leur encaissant dans la région de Montalegre, (Tras-os Montes, Nord Portugal). Thèse de Doctorat de l'Université de Nancy I, 233 pages, Janvier 1987.

**LAGHBIDI A.** - Etude des concentrations de magnésite de la série de Boured Bani M'zala. Thèse de Docteur Ingénieur, Université de Nancy I, 310 pages, Décembre 1987.

**LAPIQUE F.** - Traitement informatique de la déformation fine et interprétation de l'évolution tectonique Pan-Africaine de la région de Timgaouine (Hoggar, Algérie). Thèse de Doctorat de l'Université de Nancy I, 224 pages, Juillet 1987.

**MA. Y. Z.** - Filtrage géostatistique de images numériques. Thèse de Doctorat de l'INPL, Nancy, 143 pages, Octobre 1987.

**MERIEM D.E.** - Nouvelles données sur les granitoïdes du Pharusien de la région de Timgaouine (Hoggar, Algérie), Pétrogenèse et Géodynamique. Thèse de Doctorat de 3ème cycle de l'Université de Nancy I, 216 pages, Juillet 1987.

**MONTEL J. M.** - Comportement des Terres Rares dans les magmas granitiques modélisation et étude expérimentale du rôle de la monazite. Thèse de L'INPL, Nancy, 120 pages, Mars 1987.

**NGOYANADJI N.** - Le gisement de Pb-Zn de Largentière (Ardèche-France) : Apport de l'étude des inclusions fluides et des isotopes du soufre au problème de sa genèse. thèse de Doctorat de l'INPL, Nancy, 197 pages.

**RANDRIANASOLO J.** - Etude des profils de sondages de leucogranites de Grandrieu (Massif Central Français), Géochimie et analyse des données. Thèse de Docteur Ingénieur, INPL, Nancy, 107 pages, Novembre 1987.

**RAZAFIMAHEFA N.** - Granites et leucogranites alumineux de Ne du Massif de Millevaches (Massif Central français), Pétrologie, Géochimie et synthèse cartographique. Thèse de Doctorat de l'Université de Nancy I, 164 pages, Juin 1987.

**TAMAGNAN V.** - Evolution géochimique récente du Piton de la Fournaise (1931-1986) (Ile de la Réunion). Thèse de Doctorat de l'INPL, Nancy, 202, pages, Juin 1987.

### **Rapports de D.E.A.**

**GRANDJEAN P.** - Les Terres Rares et le rapport  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  des Sélaciens fossiles comme traceurs paléo-océanographiques. 46 pages, 17 Septembre 1986.

**LECUYER C.** - Chronologie et diversité des phases magmatiques dans un bassin inter-arc : le complexe plutonique, ophiolitique, Paléozoïque inférieur de Trinity (Klamaths orientales - Nord Californie). 40 pages, 22 Septembre 1986.

**TAIEB R.** - Contribution à l'étude du fractionnement de l'hydrogène à température ambiante entre l'eau échangeable (interfoliaire et adsorbée) de la Montmorillonite et l'eau libre liquide, 23 pages, 3 Octobre 1986.

**MEZGHACHE H.** - Contrôles géologiques des minéralisations mercurifères dans le secteur d'Ismail (Wilaya de Skikda, Algérie). 54 pages, 8 Octobre 1987.

**OUGUIR H.** - Etude métallographique, conditions physico-chimiques et géochimie isotopique du soufre de la minéralisation sulfurée de Guemessa (Maroc Central). 44 pages, 26 Novembre 1987.



## LISTE DES PUBLICATIONS D'AVRIL 1986 à DECEMBRE 1987

### REVUES DE RANG A (1986)

- ALBAREDE F., BROUXEL M.** (1986) - The Sm/Nd secular evolution of the continental crust and the depleted mantle. *Earth Planet. Sci. Let.*, V. 82, pp 25-35.
- ALBAREDE F., MICHARD A.** (1986) - Transfer of continental Mg, S, O and U to the mantle through hydrothermal alteration of the oceanic crust. *Chem. Geol.*, V. 57, pp 1-15.
- ALIBERT C., MICHARD A., ALBAREDE F.** (1986) - Isotope and trace element geochemistry of Colorado Plateau volcanics. *Geochim. Cosmochim. Acta*, V. 50, pp 2735-2750.
- APLIN A., MICHARD A., ALBAREDE F.** (1986) -  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  in Pacific ferromanganese encrustations and nodules. *Earth Planet. Sci. Let.*, V. 81, pp 7-14.
- ARNOLD M.** (1986) - A propos des inclusions fluides monophasées dites métastables à température ambiante. *C.R. Acad.Sci., Paris, Série II*, V. 303, pp 459-461.
- ARNOLD M., GONZALEZ PARTIDA E.** (1986) - Capacités oxydantes d'un fluide hydrothermal en ébullition. *C.R. Acad. Sci., Paris, Série II*, V. 303, pp 817-820.
- ARNOLD M., GONZALEZ PARTIDA E., MUNGUIA BRACAMONTES F.** (1986) Le système sulfate-sulfure : preuves d'un équilibre chimique et isotopique à 300°C ; conséquences géochimiques. *C.R. Acad. Sci., Paris. Série II*, V. 303, pp 1097-1099.
- BARBEY P., BERNARD-GRIFFITHS J., CONVERT J.** (1986) - The Lapland charnockitic complex : REE geochemistry and petrogenesis. *Lithos*, V. 19, pp 95-111.
- BARFETY J.C., AMAUDRIC du CHAFFAUT S., GIDON M., PECHER A., ROUX M., BOURSEAU J.P.** (1986) - Les terrains sédimentaires du Mont-Pelvoux (zone dauphinoise, Alpes occidentales françaises) : nature, âge et implications paléostratigraphiques. *C.R. Acad. Sci., Paris. Série II*, V. 303, pp 491-494.
- BERTRAND J.M.** (1986) - Plutonisme et collision au Hoggar ; aspects structuraux. *C.R. Acad. Sci., Paris, II*, 302, pp 233-236.
- BERTRAND J.M., DEBON F.** (1986) - Evolution tectonique polyphasée de la chaîne de Karakorum (Baltoro, Nord Pakistan). *C.R. Acad. Sci., Paris. Série II*, V. 303, pp 1611-1614.
- BERTRAND J.M., MERIEM D., LAPIQUE F., MICHARD A., DAUTEL D.**, (1986) - Nouvelles données radiométriques sur l'âge de la tectonique Pan-

- Africaine dans le rameau oriental de la chaîne Pharusienne (région de Timgaouine, Hoggar, Algérie). C.R. Acad. Sci., Paris, II, 302, pp 437-440.
- BERTRAND J.M., MICHARD A., BOULLIER A.M., DAUTEL D.** (1986) - Structure and U/Pb geochronology of central Hoggar (Algeria) : a reappraisal of its Pan-African evolution. *Tectonics*, V. 5, pp 955-972.
- BOGOCH R., MAGARITZ M., MICHARD A.** (1986) - Dolomite of possible mantle origin, Southeast Sinai. *Chem. Geology*, V. 56, pp 281-288.
- BOULLIER A.M.** (1986) - Sense of shear and displacement estimates in the Abeibara-Rarhous late Pan-African shear-zone (Adrar des Iforas, Mali). *J. Struct. geol.*, 8, pp 47-58.
- BOULLIER A.M., LIEGEOIS J.P., BLACK R., FABRE J., SAUVAGE M., BERTRAND J.M.** (1986) - Late Pan-African tectonics marking the transition from subduction related calc-alkaline magmatism to within-plate alkaline granitoids (Adrar des Iforas, Mali). *Tectonophysics*, V. 132, pp 233-246.
- BROWN W.L., MACAUDIERE J.** (1986) - Mechanical twinning of plagioclase in a deformed meta-anorthosite- the production of M-twinning. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 92, pp 44-56.
- CHAROY B.** (1986) - The genesis of the Cornubian batholith (South-West England) : the example of the Carnmenellis pluton. *J. Petrology*, V. 27, 571-604.
- DEBON F., ZIMMERMANN J.L., BERTRAND J.M.** (1986) - Le granite du Baltoro (batholite axial du Karakorum, nord Pakistan) : une intrusion subalcaline d'âge Miocène supérieur. C.R. Acad. Sci., Paris, Série II, V. 303, pp 463-468.
- DENIEL C., VIDAL Ph., LE FORT P.** (1986) - Les leucogranites himalayens et leur région source probable : les gneiss de la " Dalle du Tibet". C.R. Acad. Sci., Paris, Série II, V. 303, pp 57-62.
- GUILLOT F., PLOQUIN A., RAOULT J.F., PERUCCIO-PARISON M.D.** (1986) - Les séries antépermienne de Vanoise septentrionale (zone briançonnaise, Alpes de Savoie) : Lithologie et géochimie dans le massif de Bellecôte ; arguments pour un âge antéhouiller.. C.R. Acad. Sci., Paris, Série II, V. 303, pp 1141-1146.
- HARRIS C.** (1986) - A quantitative study of magmatic inclusions in the plutonic ejecta of Ascension Island. *J. Petrology*, V. 27, pp 251-276.
- HOLTZ F.** (1986) - Chevauchement et décrochement superposés dans le socle centro-ibérique : le linéament de Ponte de Lima (NW du Portugal). C.R. Acad. Sci., Paris, Série II, V. 303, pp 1041-1046.
- JUTEAU M., MICHARD A., ALBAREDE F.** (1986) - The Pb-Sr-Nd isotope geochemistry of some recent circum-Mediterranean granites. *Contrib. Mineral. Petrol.*, V. 92, 331-340.
- KOSZTOLANYI C., ELOY J.F., BERTRAND J.M.** (1986) - Etude de l'hétérogénéité des zircons du granite d'Anfeg (Algérie) à l'aide de méthodes microanalytiques. *Bull. Minéral.*, V. 109, pp 265-274.
- LEMIERE B., DELFOUR J., MOINE B., PIBOULE M., PLOQUIN A., ISNARD P., TEGYEY M.** (1986) - Hydrothermal alteration and the formation of aluminous haloes

around sulfide deposits. A modele for alterites at Chizeuil (Morvan, France). Mineral. Deposita, V. 21, 147-155.

- LESPINASSE M., PECHER A. (1986) - Microfracturing and regional stress field : a study of the preferred orientations of fluid-inclusion planes in a granite from the Massif Central, France. Journ. of Struct. Geol., vol. 8, n°2, pp 169-180.
- MICHARD A., ALBAREDE F. (1986) - The REE content of some hydrothermal fluids. Chem. Geol., V. 55, pp 51-60.
- MICHARD A., MONTIGNY R., SCHLICH R. (1986) - Geochemistry of the mantle beneath the Rodriguez Triple Junction and the South-East Indian Ridge. Earth Planet. Sci. Lett., V. 78, pp 104-114.
- MONTEL J.M. (1986) - Experimental determination of the solubility of Ce-monazite in  $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-K}_2\text{O-Na}_2\text{O}$  melts at 800°C, 2 kbar, under H<sub>2</sub>O-saturated conditions. Geology, V.14, pp 659-662.
- MONTEL J.M., WEBER C., BARBEY P., PICHAVANT M. (1986) - Thermo-barométrique du domaine anatectique du Velay (Massif Central, France) et conditions de genèse des granites tardi-migmatitiques. C.R. Acad. Sci., Paris, Série II, V. 302, pp 647-652.
- MONTEL J.M., WEBER C., PICHAVANT M. (1986) - Biotite-sillimanite-spinel assemblages in high-grade metamorphic rocks : occurrences, chemographic analysis and thermobarometric interest. Bull. Minéral., V. 109, pp 555-573.
- MONTEL J.M., WEISBROD A. (1986) - Characteristics and evolution of "vaugneritic-magmas" : an analytical and experimental approach on the example of the Cévennes médianes (French Massif Central). Bull. Minéral., V. 109, pp 575-587.
- MOREAU C., BROWN W.L., DEMAIFFE D., DUPONT P.L., ROCCI G. (1986) - Un des plus grands ring-dykes du monde : le Meugueur-Meugueur, massif de l'Aïr, République du Niger. C.R; Acad. Sci. Paris, 302, pp 223-226.
- NEDELEC A., MACAUDIERE J., NZENTI J.P., BARBEY P. (1986) - Evolution structurale et métamorphique des schistes de Mbalmayo (Cameroun). Implications pour la structure de la zone mobile pan-africaine d'Afrique centrale, au contact du Craton du Congo. C.R. Acad. Sci., Paris, 303, pp 75-80.
- NEGGA H.S., SHEPPARD S.M.F., ROSENBAUM J.M., CUNEY M. (1986) - Late Hercynian U-vein mineralization in the Alps : fluid inclusion and C, O, H isotopic evidence for mixing between two externally derived fluids. Contrib. Mineral. Petrol., V. 93, pp 179-186.

- ORBERGER B., ARNOLD M., SAUPE F.** (1986) - Sulfur isotopic studies of the minerals from the Pollone and Monte Arsiccio deposits (SW Apuane Alps, Tuscany, Italy). Contribution to the knowledge of the ore deposits of Tuscany, III. *Fortschr. Miner.*, V. 64, pp 215-226.
- PARSONS I., BROWN W.L., JACQUEMIN H.** (1986) - Mineral chemistry and crystallization conditions of the Mboutou layered gabbro-syenite-granite complex, North Cameroon. *J. Petrol.*, V 27, pp 1305-1329.
- PENVEN M.J., ZIMMERMANN J.L.** (1986) - Mise en évidence, par la méthode potassium-argon, d'un âge langhien pour le plutonisme calco-alcalin de la Kabylie de Collo (Algérie). *C.R. Acad. Sci., Paris, Série II*, V. 303, pp 403-406.
- ROSENBAUM J., SHEPPARD S.M.F.** (1986) - An isotopic study of siderites, dolomites and ankerites at high temperatures. *Geochim. Cosmochim. Acta*, V. 50, n°6, pp 1147-1150.
- SHEPPARD S.M.F.** (1986) - Characterization and isotopic variations in natural waters. Extrait de : *Reviews in mineralogy*, V. 16 : *Stable Isotopes in High Temperature Geological Processes*, J.W. Valley, H.P. Taylor, Jr., J.R. O'Neil, editors, chapitre 6, pp 165-183.
- SHEPPARD S.M.F.** (1986) - Igneous rocks : III. Isotopic case studies of magmatism in Africa, Eurasia and Oceanic Islands. Extrait de : *Reviews in mineralogy*, V. 16 : *Stable Isotopes in High Temperature Geological Processes*, J.W. Valley, H.P. Taylor, Jr., J.R. O'Neil, editors, chapitre 10, pp 319-371.
- SHEPPARD S.M.F., CHAREF A.** (1986) - Eau organique : caractérisation isotopique et évidence de son rôle dans le gisement Pb-Zn de Fedj-el-Adoum, Tunisie. *C.R. Acad. Sci., Paris, Série II*, V. 302, pp 1189-1192.
- SMITH J.V., BROWN W.L.** (1986) - Feldspar Minerals. Crystal structures, physical, chemical, and microtextural properties. Vol. 1, Springer-Verlag. 352 p.
- TAYLOR H.P., SHEPPARD S.M.F.** (1986) - Igneous rocks : I. Processes of isotopic fractionation and isotope systematics. Extrait de : *Reviews in mineralogy*, V. 16 : *Stable Isotopes in High Temperature Geological Processes*, J.W. Valley, H.P. Taylor, Jr., J.R. O'Neil, editors, chapitre 8, pp 227-271.
- WEBER C. BARBEY P.** (1986) - The role of water, mixing processes and metamorphic fabric in the genesis of the Baume migmatites (Ardèche, France). *Contrib. Mineral. Petrol.*, V.92, pp481-491.

#### REVUES DE RANG B (1986)

- DANIS M., ROYER J.J.** (1986) - Comportement hydrogéologique et thermique de la nappe des grès du Trias inférieur dans le secteur de Vittel. *Sci. de la Terre, Informatique Géologique*, n°25, pp 33-56.
- LETERRIER J., BERTRAND J.M.** (1986) - Pre-tectonic tholeiitic volcanism and related transitional plutonism in the Kidal assemblage (Iforas Pan-African Belt, Mali). *J. African Earth Sci.*, V. 5, pp 607-615.

PARSONS I., BROWN W.L. (1986) - Feldspars as cooling-rate meters in igneous rocks. Extrait de : Geology in the real world - the Kingsley Dunham volume, The Institution of Mining and Metallurgy, London, pp321-332.

RAMBOZ C. (1986) - Les inclusions fluides. Extrait de : Les richesses du sous-sol en Auvergne et Limousin, H. Bril, P. Watelet, coordinateurs, édité par la ville d'Aurillac, chapitre II-3 : nos moyens d'investigation en métallogénie : du microscope à l'étude des isotopes.

#### REVUES DE RANC C (1986)

BARBEY P. (1986) - Signification géodynamique des domaines granulitiques. La ceinture des granulites de Laponie (Fennoscandie) : une suture de collision continentale d'âge protérozoïque inférieur (2.3-1.9 Ga). Mém. Docum. Centre Arm. Et. Struct. Socles, Rennes, 7, 346 p.

CHAREF A. (1986) - La nature et le rôle des phases fluides associées à la minéralisation Pb-Zn dans les formations carbonatées et leurs conséquences métallogéniques : Etudes des inclusions fluides et des isotopes (H, C, O, S, Pb) des gisements des malines (France), Jbel Hallouf § Sidi Bou Aouane et Fedj-el-Adoum (Tunisie). Thèse Doct. ès Sci. Nat., I.N.P.L., Nancy, 303 p.

DEBON F., AFZALI H., LE FORT P., SONET J. (1986) - Plutonic belts in Afghanistan : typology, age and geodynamic setting. Sci. de la Terre, mémoire n°47, pp 129-153.

DELGADO BELLIDO J.E. (1986) - La petite exploitation minière au Pérou. L'évaluation des projets miniers. Exemple de deux petites mines du Pérou : la mine de Condor Pasa et la mine de patchapaqui. Thèse de Doct. I.N.P.L. Nancy, 132 p.

LAPIQUE F., BERTRAND J.M., MERIEM D. (1986) - A major Pan-African crustal decoupling zone in the Timgaouine area (Western Hoggar, Algeria). J. Afri. Earth Sci., V. 5, pp 617-625.

LE FORT P., DEBON F., PECHER A., SONET J., VIDAL Ph. (1986) - The 500 Ma magmatic event in Alpine Southern Asia, a thermal episode at Gondwana scale. Sci. de la Terre, mémoire n°47, pp 191-209.

LE FORT P., PECHER A., UPRETI B.N. (1986) - A section through the Tibetan Slab in central Nepal (Kali Gandaki Valley) : mineral chemistry and thermobarometry of the Main Central Thrust Zone. Mém. Sci. de la Terre, 47, pp 311-228.

PECHER A., LE FORT P. (1986) - The metamorphism in central Himalay ; its relations with the thrust tectonics. Mém. Sci. de la Terre, 47, pp 285-309.

#### REVUES DE RANG A (1987)

ARNOLD M., GONZALEZ PARTIDA E. (1987) - Le système hydrothermal actuel de Los Humeros (Mexique) : état du système  $\text{SO}_4^{--}$  -  $\text{SH}_2$  à 300°C, origine du

soufre et phénomènes d'oxydation associés à l'ébullition du fluide ascendant. Mineral. Deposita, V. 22, pp 90-98.

- ALBAREDE F., MICHARD A.** (1987) - Evidence for slowly changing  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  in runoff from freshwater limestones of southern France. Chem. Geol., V. 64, pp 55-65.
- ALIBERT C., LETERRIER J., PANASIUK M., ZIMMERMANN J.L.** (1987) - Trace and isotope geochemistry of the alkaline tertiary volcanism in southwestern Poland. Lithos, V. 20, pp 311-321.
- BARBEY P., MARTIN H.** (1987) - The role of komatiites in plate tectonics. Evidence from the Archaean and early Proterozoic crust in the eastern Baltic Shield. Precamb. Research, V. 35, pp 1-14.
- BROUXEL M., LAPIERRE H., MICHARD A., ALBAREDE F.** (1987) - The deep layers of a Paleozoic arc : geochemistry of the Copley-Balaklala series, northern California. Earth Planet. Sci. Let., V. 85, pp 386-400.
- CHAREF A., SHEPPARD S.M.F.** (1987) - Pb-Zn mineralization associated with diapirism : fluid inclusion and stable isotope (H, C, O) evidence for the origin and evolution of the fluids at Fedj-el-Adoum, Tunisia. Chem. Geol., V. 61, pp 113-134.
- CHAUSSIDON M., ALBAREDE F., SHEPPARD S.M.F.** (1987) - Sulphur isotope heterogeneity in the mantle from ion microprobe measurements of sulphide inclusions in diamonds. Nature, V.330, n°6145, pp 242-244.
- DAGALLIER G., MACAUDIERE J.** (1987) - Contrôles tectoniques des concentrations Pb-Ba en milieu carbonaté de Mibladen (Maroc). Bull. Soc. Géol. Fr., 8, t 3, n°2, pp 387-394.
- DEBON F., AFZALI H., LE FORT P., SONET J.** (1987) - Major intrusive stages in Afghanistan : typology, age and geodynamic setting. Geol. Rundschau, V. 76, 245-264.
- DEBON F., LE FORT P., DAUTEL D., SONET J., ZIMMERMANN J.L.** (1987) - Granites of western Karakorum and northern Kohistan (Pakistan) : a composite Mid-Cretaceous to Upper Cenozoic magmatism. Lithos, V. 20, 19-40.
- DUBESSY J., RAMBOZ C., NGUYEN-TRUNG C., CATHELIN M., CHAROY B., CUNNEY M., LEROY J., POTY B., WEISBROD A.** (1987) - Physical and chemical controls ( $f\text{O}_2$ , T, pH) of the opposite behaviour of U and Sn-W as exemplified by hydrothermal deposits in France and Great-Britain and solubility data. Bull. Minéral., V. 110, pp 261-281.

- ENRIQUE P., DEBON F. (1987) - Le pluton permien calco-alcalin de Montnègre (Chaînes côtières Catalanes, Espagne) : étude isotopique Rb-Sr et comparaison avec les granites hercyniens des Pyrénées, Sardaigne et Corse. C.R. Acad. Sci., Paris, Série II, V. 305, pp 1157-1162.
- GIULIANI G., (1987) - La cassitérite zonée du gisement de Sokhret Allal (granite des Zaër, maroc Central) : composition chimique et phases fluides associées. Mineral. Deposita, V. 22, pp 253-261.
- GIULIANI G., CHEILLETZ A., MECHICHE M. (1987) - Behaviour of REE during thermal metamorphism and hydrothermal infiltration associated with skarn and vein-type tungsten ore bodies in central Morocco. Chemical Geology, V. 64, pp 279-294.
- GOVINDARAJU K. (1987) - Compilation report on Ailsa Craig granite AC-E with the participation of 128 GIT-IWG Laboratories Geostandards Newsletter, 1987, V.11, n°2, pp 203-255.
- GOVINDARAJU K., MEVELLE G. (1987) - Fully automated dissolution and separation methods for inductively coupled plasma atomic emission spectrometry rock analysis. Application to the determination of rare earth elements. J. Anal. Atom. Spectrometry, V. 2, pp 615-621.
- GRANDJEAN P., CAPPETTA H., MICHARD A., ALBAREDE F. (1987) - The assessment of REE patterns and  $^{142}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  ratios in fish remains. Earth Planet. Sci. Let., V. 84, pp 181-196.
- HALTER G., SHEPPARD S.M.F., WEBER F., CLAUER N., PAGEL M. (1987) - Radiation-related retrograde hydrogen isotope and K-Ar exchange in clay minerals. Nature, V. 330, n°6149, pp 638-641.
- HOLTZ F., BERTRAND J.M. (1987) - Structures de déformation dans les schistes et les granites de la région de Montalègre (Nord Portugal). Evolution métamorphique et conditions de mise en place des granites. Bull. Soc. géol. France, 8ème série, V. 3, pp 361-369.
- HOLTZ F., JUTEAU M. (1987) - Indications géochronologiques des minéraux accessoires, monazites et zircons, sur la migmatisation hercynienne de la Péninsule ibérique. Migmatites et orthogneiss de Tourem (Nord Portugal). C.R. Acad. Sci., Paris, Série II, V. 304, pp 713-717.
- JAEGY R., ALBAREDE F., MICHARD G. (1987) - Mesures de  $^{14}\text{C}$  dans quelques eaux thermales des Pyrénées orientales. C.R. Acad. Sci., Paris, Série II, V. 304, pp 819-821.
- JAMBON A., ZIMMERMANN J.L. (1987) - Major volatiles from a North Atlantic MORB glass and calibration to He : a size fraction analyses. Chem. Geol., V. 62, pp 117-189.
- LAPIERRE H., BROUXEL M., ALBAREDE F., COULON C., LECUYER C., MARTIN P., MASCLE G., ROUER O. (1987) - Paleozoic and lower mesozoic magmas from the eastern Klamath Mountains (North California) and the geodynamic evolution of northwestern America. Tectonophysics, V. 140, pp 155-177.

- LE FORT P., CUNEY M., DENIEL C., FRANCE-LANORD C., SHEPPARD S.M.F., UPRETI B.N., VIDAL P.** (1987) - Crustal generation of the Himalayan leucogranites. *Tectonophysics*, V. 134, pp 39-57.
- LIEGEOIS J.P. BERTRAND J.M., BLACK R.** (1987) - The subduction -and collision-related Pan-African batholith of the Adrar des Iforas (Mali). *Geological Journal*. Vol. 22, Thematic Issue, pp 185-211.
- MACAUDIERE J., MARIGNAC C., WEISBROD A.** (1987) - Grandes nappes synschisteuses collisionnelles dans la catazone hercynienne des Cévennes médianes (Massif Central, France). *C.R. Acad. Sci. Paris*, 304, pp 1195-1198.
- MICHARD A., BEUCAIRE C., MICHARD G.** (1987) - Uranium and rare earth elements in CO<sub>2</sub>-rich waters from Vals-les-Bains (France). *Geochim. Cosmochim. Acta*, V. 51, pp 901-909.
- MOREAU C., BROWN W.L., KARCHE J.P.** (1987) - Monzo-anorthosite from the Taguë ring-complex, Air, Niger : a hybrid rock with cumulus plagioclase and an infiltrated granitic intercumulus liquid. *Contrib. Mineral. Petrol.*, V. 95, pp 32-43.
- PICHAVANT M., HERRERA J.V., BOULMIER S., BRIQUEU L., JORON J.L., JUTEAU M., MARIN L., MICHARD A., SHEPPARD S.M.F., TREUIL M., VERNET M.** (1987) - The Macusani glasses, SE Peru : evidence of chemical fractionation in peraluminous magmas. In : *Magmatic Processes : Physicochemical Principles*, B.O. Mysen (Ed.), the Geochemical Society, Special Publication n°1, pp 359-373.
- PICHAVANT M.** (1987) - Effects of B and H<sub>2</sub>O on liquidus phase relations in the haplogranite system at 1 kbar. *Amer. Mineral.*, Vol. 72, pp 1056-1070.
- POLLARD P.J., PICHAVANT M., CHAROY B.** (1987) - Contrasting evolution of fluorine-and boron-rich tin systems. *Mineral. Deposita*, V. 22, pp 315-321.
- SAUPE F., VEGAS G.** (1987) - Chemical and mineralogical compositions of black shales (Middle Palaeozoic) of the Central Pyrenees, Haute Garonne, France. *Minéral. Mag.* V 51, pp 375-369.
- TOTEU S.F., MICHARD A., BERTRAND J.M., ROCCI G.** (1987) - U/Pb dating of Precambrian rocks from Northern Cameroon, orogenic evolution and chronology of the Pan-African belt of Central Africa. *Precamb. Research*, V. 37, 71-87.
- TOTEU S.F., MICHARD A., MACAUDIERE J., BERTRAND J.M., PENAYE J.** (1986) - Données géochronologiques nouvelles (U/Pb et Rb/Sr) sur la zone mobile pan-africaine du Nord Cameroun. *C.R. Acad. Sci., Paris, Série II*, V. 303, pp 375-378.
- VERNET M., MARIN L., BOULMIER S., LHOMME J.** (1987) - Méthode rapide de dosage du béryllium et de l'étain total à l'état de traces dans les matériaux géologiques par spectrométrie d'absorption atomique en flamme. *Analysis*, V. 15, pp 87-94.
- VERNET M., MARIN L., BOULMIER S., LHOMME J., DEMANGE J.C.** (1987) - Dosage du fluor et du chlore dans les matériaux géologiques y compris les échantillons hyperalumineux. *Analysis*, V. 15, n°9, pp 490-498.



**ZHANG Y.G., FRANTZ J.D. (1987)** - Determination of the homogenization temperatures and densities of supercritical fluids in the system NaCl-KCl-CaCl<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O using synthetic fluid inclusions. *Chemical Geology*, 64, pp 335-350.

**ZIMMERMANN J.L., CHEMINEE J.L., DELORME H. (1987)** - Chemical analyses and diffusion studies of gases in andesitic lavas : Arenal Volcano (Costa Rica). *Chem. Geol.*, V. 61, pp 299-308.

### REVUES DE RANG B (1987)

**AISSA M., MARIGNAC Ch., WEISBROD A. (1987)** - Le stockwerk à ferbélite d'Echassières : évolution spatiale et temporelle ; cristallogénèse des ferbélites. *Mémoire Géologie profonde de la France*, t. 1, n°2-3, pp 311-333.

**AISSA M., WEISBROD A., MARIGNAC Ch. (1987)** - Caractéristiques chimiques et thermodynamiques des circulations hydrothermales du site d'Echassières. *Mémoire Géologie profonde de la France*, t. 1, n°2-3, pp 335-350.

**BARBEY P., CUNEY M. (1987)** - Modalités de la fusion partielle dans les orthogneiss de St Alyre (Cézallier, Massif Central Français). *Géologie de la France Profonde*, 4, pp 45-50.

**BROUAND M. (1987)** - Minéralogie et géochimie de U et Th dans le granite de Beauvoir et les micaschistes encaissants. Comparaison avec la géochimie de l'étain. *Géologie profonde de la France*, n°2-3, pp 247-257.

**CHAMPENOIS M., BOULLIER A.M., SAUTTER V. WRIGHT L.I., BARBEY P. (1987)** - tectonometamorphic evolution of the gneissic Kidal assemblage related to the Pan-African thrust tectonics (Adrar des Iforas, Mali). *J. African Earth Sci.*, V. 6, n°1, 19-27.

**DANIS M., QUINTARD M. (1987)** - Simulation numérique du comportement d'une nappe aquifère captive : estimation directe des processus transitoires. *Hydrological Sciences- Journal - des sciences géologiques*, 1987, V. 32, pp 105-111.

**DANIS M., ROYER J.J., AINARDI J.L., MICHARD A., VAN NGOC Pham (1987)** - Interprétation d'une anomalie géothermique d'échelle kilométrique dans la région de Vittel. *Bull. Soc. Géol. France*, 8ème série, V. 3, n°6, pp 1033-1039.

**DEBON F., LE FORT P., SONET J., ZIMMERMANN J.L., AFZALI H. (1987)** - Plutonic rocks and associations in Afghanistan : typology, age and geodynamic setting. *Sci. de la Terre*, mémoire n°49, 132 p.

**DUPONT P.L., LAPIERRE H., GRAVELLE M., BERTRAND J.M. (1987)** - Caractérisation du magmatisme Protérozoïque supérieur en Afrique de l'Ouest et implications géodynamiques : des rifts intracratoniques au Pan-Africain. *Can. J. Earth Sci.*, 24, pp 96-109.

**HARRIS C., SHEPPARD S.M.F. (1987)** - Magma and fluid evolution in the lavas and associated granite xenoliths of Ascension Island. In : *Alkaline igneous*

rocks, J.G. Fitton, B.G.J. Upton, editors, Geological Society, Special publication n°30, pp 269-272.

**MA Y.Z., ROYER J.J.** (1988) - Le comportement des pondérateurs en analyse krigéante. Comparaison avec les filtres classiques utilisés en traitement d'images. Etudes Géostatistique V-Séminaire C.F.S.G. sur la Géostatistique 15-16 juin 1987, Fontainebleau, Sci. de la Terre, Sér. Inf., Nancy, 28, pp 175-194.

**MONIER G., CHAROY B., CUNEY M., OHNENSTETTER D., ROBERT J.L.** (1987) - Evolution spatiale et temporelle de la composition des micas du granite albitique à topaze-lépidolite de Beauvoir. Géologie Profonde de la France, n°2-3, pp 179-188.

**PICHAVANT M., BOHER M., STENGER J.F., AÏSSA M., CHAROY B.** (1987) - Relations de phase des granites de Beauvoir à 1 et 3 kbar en conditions de saturation en H<sub>2</sub>O. Géologie Profonde de la France, n°2-3, pp 77-86.

**ROYER J.J.** (1987) - Collecte, traitement et validation des données en géoscience : l'imprécision et le certain. In : Computer handling and dissemination of data, P.S. Glaeser (Ed), CODATA, Elsevier, Amsterdam, pp 316-323.

**ROYER J.J., DANIS M.** (1987) - Mise en évidence d'un phénomène de réfraction thermique entre le granite de Beauvoir et son encaissant : mesures et modélisation. Géologie Profonde de la France, n°2-3, 87-94.

#### REVUES DE RANG C (1987)

**AISSA M.** (1987) - Reconstitution d'un système de paléocirculations hydrothermales et ses conséquences métallogéniques : Le district d'Echassières. Thèse doct. 3ème Cycle, INPL, Nancy, 257 p.

**BANZET G.** (1987) - Interactions croûte-manteau et génèse du plutonisme subalcalin du Haut-Dauphiné occidental (massifs cristallins externes, Alpes) : vaugnérites, durbachites et granitoïdes magnésio-potassiques. Géologie Alpine, V. 63, pp 95-117.

**BERTRAND J.M. et al.** (1987) - Hoggar 1980-1986, Rapport sur les travaux de l'équipe de Nancy au Hoggar réalisés en collaboration avec SONAREM-EREM (Algérie). Rapport inédit.

**BOGDANOFF S., CIRODDE J.L., PLOQUIN A., RAMBOZ C.** (1987) - Recherche du tungstène dans le district de la Châtaigneraie (Cantal, Aveyron, Massif Central français). Géochimie des schistes de la Châtaigneraie. Chron. rech. Min., n°487, pp 11-30.

- BOUABSA L.** (1987) - Intrusions granitiques à albite et topaze : Mineralisations stanno-wolframifères et altérations hydrothermales associées. L'exemple du Hoggar Central, Algérie. Thèse Doct. 3ème Cycle, Univ. Nancy I, 224p.
- BROUXEL M.** (1987) - Géochimie d'un arc insulaire intra-océanique fossile et son bassin marginal : les séries paléozoïques de Copley, Balaklala et le cortège ophiolitique de Trinity (Klamath orientales, Nord Californie, USA). Thèse doct. Université de Nancy, spécialité géologie (pétrologie, géochimie), 323 p.
- DUBESSY J., RAMBOZ C.** (1987) - The history of organic nitrogen from early diagenesis to amphibolite facies : mineralogical, chemical, mechanical and isotopic implications. Fifth International Symposium on water-rock Interaction, Reykjavik, Iceland, 8-17 août 1987, pp 170-174.
- MA Y.Z.** (1987) - Filtrage géostatistique des images numériques. Thèse Doct. 3ème Cycle, INPL Nancy, 150 p.
- MONTEL J.M.** (1987) - Comportement des terres rares dans les magmas granitiques : Modélisation et approche expérimentale du rôle de la monazite. Thèse Doct. INPL, Nancy, 110 p.
- OGUNDIPE E.E.** (1987) - Mineralogical, fluid inclusion and stable isotope studies of the Benue Valley lead-zinc-barite-fluorite deposits, Nigeria. Thèse Doct. Univ. of Ibadan, Nigeria, 341 p.
- OUAZZANI H., BANZET G., LAPIERRE H.** (1987) - Le volcanisme post-collision stéphanien à anté "permo-triasique" des Alpes Françaises. Ann. Soc. Géol. Nord, 1987, V. 106, pp 219-227.
- RAZAFIMAHEFA N.** (1987) - Granites et leucogranites alumineux du Nord-Est du massif de Millevaches (Massif Central Français) : Pétrologie, géochimie et synthèse cartographique. Thèse doct. 3ème Cycle, Univ. Nancy I, 200 p.

*ANNEXE II*

## Sommaire

Publications en collaboration avec l'E.D.T.A.....	187
Notes et publications.....	187
Thèses .....	189
Liste des utilisateurs d'avril 1986 à décembre 1987.....	193
Assistance en Informatique et Mathématiques appliquées.....	194

publiees dans la periode du 1.04.86 au 31.12.87 et dont les auteurs ont communique les references en temps utile. Les donnees correspondantes sont stockees dans la Banque ARTEMISE

Cette liste est incomplete ; il manque notamment la plupart des publications exploitant les theses pour lesquelles nous avons oeuvre.

### Notes et Publications

1986

DEBON F. (1986) -

Etude geochemique des plutons de Neouvielle et de Bassies (zone axiale pyreneenne).

- Rapport CRPG Nancy, presente dans le cadre de la convention "Etude geochemique de granites hercyniens" passee avec la Direction du S.G.N. du B.R.G.M., 1986, 1-19.

DEBON F., AFZALI H., LE FORT P. and SONET J. (1986) -

Plutonic belts in Afghanistan : typology, age and geodynamic setting.

- Sc. de la Terre, Mem. 47, 129-153.

DEBON F., ZIMMERMANN J.L. et BERTRAND J.-M. (1986) -

Le granite du Baltoro (batholite axial du Karakorum, Nord Pakistan) : une intrusion subalcaline d'age Miocene Superieur.

- C. R. Acad. Sci. Paris, 303, II, 6, 463-468.

GUILLOT F., PLOQUIN A., RAULT J.F. et PERUCCIO-PARISON M.D. (1986) -

Les series antepermiennes de Vanoise septentrionales (zone brianconnaise, Alpes de Savoie) : lithologie et geochemie dans le massif de Bellecote ; arguments pour un age antehouiller.

- C. R. Acad. Sci., Paris, t. 303, serie II, no. 12, 1141-1146, 1 fig.

LA ROCHE H. de, STUSSI J.M., MARCHAL M. and PLOQUIN A. (1986) -

Communication and exchange of computerized geochemical data. Problems and solutions. Scientific results.

- Sc. de la Terre, Serie Informatique Geologique, Nancy, 1986, no. 25, 12-29.

LE FORT P., DEBON F., PECHER A., SONET J. and VIDAL Ph. (1986) -

The 500 Ma magmatic event in alpine southern Asia, a thermal episode at Gondwana scale.

- Sc. de la Terre, Mem. 47, 191-209.

- LE FORT P., PECHER A. and UPRETI B.N. (1986) -  
 A section through the tibetan slab in central Nepal (Kali Gandaki Valley) : mineral chemistry and thermobarometry of the Main Central Thrust zone.  
 - Sc. de la Terre, Mem. 47, 211-228.
- LEMIERE B., DELFOUR J., MOINE B., PIBOULE M., PLOQUIN A., ISNARD P., TEGYEY M. (1986) -  
 Hydrothermal alteration and the formation of aluminous haloes around sulfide deposits. A model for alterites at Chizeuil (Morvan, France).  
 - Mineralium Deposita, 21, pp. 147-155.
- MONTENAT Ch., VACHARD D., OUEDRAGO A., BEBIEN J. et DESMET A. (1986) -  
 Le Bassin volcanico-sedimentaire de Kandahar (Afghanistan). Un jalon de la marge active nord-tethysienne au malm et au cretace inferieur.  
 - Sc. de la Terre, Mem. 47, 253-283, nov. 86.
- OUAZZANI H. et LAPIERRE H. (1986) -  
 Le magmatisme carbonifere de la zone brianconnaise (Alpes internes). Essai sur la lecture, des matismes calco-alcalins tardifs dans les chaines de collision continentale.  
 - C. R. Acad. Sc. Paris, t. 302, serie II, no. 18, 1171-1176.

#### Notes et Publications

1987

- BAROZ F., BEBIEN J. and IKENNE M. (1987) -  
 An example of high-pressure low-temperature metamorphic rocks from an island-arc : the Paikon Series (Innermost Hellenides, Greece).  
 - J. Metamorphic Geol., 5, 509-527.
- BEBIEN J., BAROZ F., CAPEDE S. et VENTURELLI G. (1987) -  
 Magmatismes basiques associes a l'ouverture d'un bassin marginal dans les Hellenides internes au Jurassique.  
 - Ofioliti, 12 (1), 53-70.
- DEBON F., AFZALI H., LE FORT P. and SONET J. (1987) -  
 Major intrusive stages in Afghanistan ; typology, age and geodynamic setting.  
 - Geologische Rundschau 76/1, 245-264.
- DEBON F., AFZALI H., LE FORT P., SONET J. ET ZIMMERMANN J.L. (1987)-  
 Plutonic rocks and associations in Afghanistan : typology, age and geodynamic setting.  
 - Mem. Sci. de la Terre, 49, 132 p.
- DEBON F., GOVINDARAJU K., MARCHAL M. et SARRE M. (1987) -  
 Chemical composition and typology of 725 plutonic rocks from Afghanistan.  
 - Unpubl. CRPG, Nancy. Addendum to Mem. Sci. Terre 49, 39 p.
- DEBON F., LE FORT P., DAUTEL D., SONET J. et ZIMMERMANN J.L. (1987)-  
 Granites of western Karakorum and northern Kohistan (Pakistan) : a composite Mid-Cretaceous to Upper Cenozoic magmatism.  
 - Lithos, 20, 19-40.

- LE FORT P. (1987) -  
Mineralization of Sn, W, Mo and collision plutonism.  
- Revista Brasileira de Geociencias, 17 (4), 551-554.
- LE FORT P., CUNEY M., DENIEL C., FRANCE-LANDORD C., SHEPPARD S.M.F.,  
UPRETI B.N. and VIDAL P. (1987) -  
Crustal generation of the Himalayan leucogranites.  
- Tectonophysics, 134, 39-57.
- MANGIN M. et BIRKE W. (1987) -  
Le Fer en Bourgogne : mines, ferriers et fourneaux dans le Morvan  
septentrional a l'epoque romaine. Minoria y metalurgia en los  
antiguas civilizaciones mediterraneas y europeas.  
- Actes du Colloque intern., Madrid 24-28 octobre 1985.
- MARINI F. (1987) -  
Clinopyroxenes reliques dans les metabasites paleozoiques de  
l'Albigeois : indicateurs d'un volcanisme transitionnel-tholei-  
itique en distension (formation des "Schistes et Roches Vertes",  
Tarn, age ordovicien probable).  
- C. R. Acad. Sc., Paris, t. 304, Serie II, no. 1, 29-34.
- OHNENSTETTER D., OHNENSTETTER M., MARCHAL M. (1987) -  
Etude comparative de la mineralogie des ophiolites tethysiennes.  
- Ophioliti, 12 (1), 255.
- OUAZZANI H., BANZET G. et LAPIERRE H. (1987) -  
Le volcanisme post-collision stephanien a ante "permo-triasique"  
des Alpes francaises. (The Stephanian to ante "Permo-Triassic"  
post-collision volcanism of the French Alps.  
- Ann. Soc. Geol. Nord, CVI, 219-227, Septembre 1987.
- SAUPE F. et VEGAS G. (1987) -  
Chemical and mineralogical compositions of black shales (Middle  
palaeozoic of the Central Pyrenees, Haute Garonne, France).  
- Mineralogical Mag., vol. 51, 357-369.

#### Theses

1986

- BERARD BERGERY M. (1986) -  
Contribution a l'etude du volcanisme triasique en Grece.  
Implications geodynamiques.  
- These 3e Cycle, Fac. Sci., Univ. Nancy-I.
- BLANC A. (1986) -  
Le magmatisme du complexe alcalin mineralise en terres rares  
yttrium et thorium de Bov-Naga (Mauritanie). Environnement geolo-  
gique et geochemique, radiocronologie et signification geodyna-  
mique.  
- These, Univ. Nice, 247 p.
- DIOH E. (1986) -  
Etude des roches magmatiques birrimiennes de la region de Foufara-  
Laminia-Medina Foulbe (Senegal Oriental).  
- These 3e Cycle, Fac. Sc., Univ. Nancy-I, 25 nov. 86, 144 p.



HOLTZ F. (1986) -

Etude structurale, metamorphique et geochemique des granitoides hercyniens et de leur encaissant dans la region de Montalagre (Tras-os Montes, Nord Portugal).

- These, Univ. Nancy-I, 200 p.

IKENNE M. (1986) -

Le volcanisme devono-dinantien du Massif du Rabodeau : un temoin de l'evolution orogenique des Vosges du Nord dans l'Europe Moyenne Varisque.

- These, Doc., Univ. Nancy-I, 160 p.

KANE M. (1986) -

Sur les caracteres ophiolitiques du complexe ultrabasique-basique du proterozoique superieur des Mauritanides Centrales.

Metallogenese et geochemie des indices de metaux de base associes et guides de prospection (pour une ophiolitisation du precambrien

- These 3e Cycle, Fac. Sc., Univ. Nancy-I, 300 p.

MARRO Ch. (1986) -

Les granitoides du Mont Blanc en Suisse.

- These, Doc. es-Sc. Nat., Fac. Sc. Univ. Fribourg (Suisse), 145 p.

RANDRIANASOLO J. (1986) -

Etude des profils de sondages des leucogranites de Grandrieu (Massif Central Francais). Geochemie et analyse des donnees.

- These, Doc. Ing., Univ. Nancy, CRPG, CNRS, 25 nov. 86.

REMOND S. (1986) -

Diversite des cumulats ophiolitiques du Massif de Limassol Forest (Chypre).

- These, Fac. Sc., Univ. Nancy-I.

### Theses

1987

BENNOUNA A. (1987) -

Le volcanisme rhyolitique carbonifere des Vosges Meridionales : petrologie, mineralogie, geochemie et relations avec le plutonisme

- These, 3e Cycle, Univ. Nancy-I, CRPG, 200 p.

BOUABSA L. (1987) -

Intrusions granitiques a albite et topaze : mineralisations stannifere, wolframifere et alterations hydrothermales associees. L'exemple du Hoggar Central, Algerie.

- These, 3e Cycle, Univ. Nancy-I, CRPG, 210 p.

BOUKHALFA L. (1987) -

Diversite et signification geodynamique des complexes ultrabasiques/basiques d'age proterozoique superieur du rameau oriental pharusien de la chaine panafricaine (Hoggar, Algerie).

- These "nouvelle these", Univ. Nancy-I, 304 p.

CATHELINÉAU M. (1987) -

Les interactions entre fluides et roches ; thermometrie et modelisation. Exemple d'un systeme geothermique actif (Los Azufres, Mexique) et d'alterations fossiles dans la chaine Varisque.

- These, Doc. es-Sc., Univ. Nancy, INPL, CREGU.

- LAGHBIDI A. (1987) -  
 Etude des concentrations de magnesite de la serie de Boured Bani M'Zala (Rif interne, Maroc).  
 - These, 3e Cycle, Univ. Nancy, CRPG, 11 dec., 200 p.
- MAILLET N. (1987) -  
 Dualite d'origine des massifs ultrabasiques limousins. Implications geodynamiques.  
 - These, Doc., Univ. Claude Bernard, Lyon-I, 210 p.
- MERIEU D.E. (1987) -  
 Donnees nouvelles sur les granitoides du Pharusien de la region de Timgaouine (Hoggar, Algerie). Petrogenese et evolution geodynamique.  
 - These 3e Cycle, Univ. Nancy-I, juillet, 190 p.
- QUENARDEL J.M. (1987) -  
 Geologie des Caledonides de Laponie occidentale (Norve)  
 Evolution geodynamique d'une portion d'orogene paleozoique peri-Atlantique.  
 - These, Doc. es-Sc. Nat., Univ. Paris-Sud, Centre d'Orsay.
- RAZAFIMAHEFA N. (1987) -  
 Granites et leucogranites alumineux du Nord-Est du Massif de Millevaches (Massif Central Francais) : Petrologie, geochemie et synthese cartographique.  
 - These, "nouvelle formule", Fac. Sc., Univ. Nancy-I, 164 p.
- TOTOU S.F. (1987) -  
 Chronologie des grands ensembles structuraux de la region de Poli : accretion crustale dans la chaine Panafricaine du Nord Cameroun.  
 - These, Doc. Etat, Univ. Nancy-I, 200 p.
- ZONOU S. (1987) -  
 Les formations leptyno-amphibolitiques et le complexe volcanique et volcano-sedimentaire du proterozoique inferieur de Bouroum-Nord (Burkina Faso, Afrique de l'Ouest). Etude petrographique, geochemique, approche petrogenetique et evolution geodynamique.  
 - These, Doc. Etat, Univ. Nancy-I, 294 p. + annexes.

D E A

1986

- ARRIBET D. (1986) -  
 La Siderurgie indirecte dans le Pays de Bray normand (vallee de la Bethune) de 1485 a 1565.  
 - Maitrise, Universite de Paris I.

D E A

1987

- ARRIBET D. (1987) -  
 La Siderurgie dans le Pays de Bray ; textes, terrain, laboratoire.  
 - DEA, Universite de Paris I.

CHIEZE V. (1987) -

La metallurgie du fer au Mali : archeologie et archeometrie.  
- DEA , Universite de Paris I .

LAURENT H. (1987) -

Mines et Metallurgie : inventaire du Doubs.  
- DEA , Univ. Besancon.

## Liste des utilisateurs du 1-4-1986 au 31-12-1987

### C.R.P.G.

Aissa - Angoua - Banzet - Benani - Bennouna - Blamart - Boher - Bouabsa - Boutaleb - Brouand - Brown - Charoy - Cheilletz - Danis - Debon - Djama - France-Lanord - Kahoui - Laghbidi - Le Fort - Leterrier - Meriem - Moulahoum - Ongen - Pêcher - Pichavant - Ploquin - Randrianasolo - Razafimahefa - Romano - Royer - Saupé - Scaillet - Stussi

### Nancy I - BRGM - CREGU - Musée du Fer - GIS d'Orléans

Almeida - Baouch - Baroz - Bonnefons - Boukhalfa - Bourguignon - Breheret - Chami - Cuney - Dahire - Desmond - Dioa - Economou - Fkihech - France-Lanord - Friedrich - Gabenisch - Giuliani - Halter - Kane - La Roche de - Maillet - Marini - Nachit - Negga - Njel - Noyé - Ohnenstetter D. - Ohnenstetter M. - Okitaudji - Ouazzani - Piantone - Quenardel - Remond - Remy - Rizki - Santarelli - Vivier - Zonou

### Note :

certaines travaux "CRPG" sont en collaboration avec l'"extérieur"

Total "utilisateurs" : 73

Nombre de dossiers traités :

1985 : 151 - 1986 : 149 - 1987 : 168

## Assistance en INFORMATIQUE et MATHEMATIQUES APPLIQUEES

L'Equipe de Recherche en Informatique et Mathématiques Appliquées a été sollicitée pour des prestations de services ou une assistance technique dans différentes études pour des organismes extérieurs. On trouvera une liste succincte des thèmes abordés ci-dessous.

Ces relations avec l'industrie font partie de notre activité normale et sont indispensables pour assurer un débouché à nos étudiants que ce soit au niveau DEA, DESS ou 3ème cycle. Si l'on fait un bilan sur ces cinq dernières années, la plupart ont trouvé un emploi. (WILD, INRS; RAOULT, CFP; ORENGO, CISI; EPITALON, Société de Services en Informatique; MERY, Cerchar; VERMOT-CAUCHY, Rank Xerox; Ma, SNEAP; HELIOT, Schlumberger,...).

Il est dommage que dans le cadre de la politique de restructuration du CNRS, un minimum vital n'ait été maintenu dans cette équipe. Sur 3 postes libérés pour diverses raisons (décès, départ en retraite et mutation) aucun n'a été renouvelé. De cinq permanents, cette équipe a été réduite à deux personnes (JACQUEMIN, ROYER). Il est évident que si la situation actuelle se maintient, une restructuration de l'équipe sera nécessaire dans un proche avenir. Celle-ci risque de se faire en fonction d'une conjoncture à cours termes, pas nécessairement dans un secteur aussi porteur que celui de l'informatique.

Synthèse pétrographique, géochimique et cartographique du Massif du Millevaches (MCF).  
(M. Marchal, J.J. Royer, J.M. Stussi)  
en coll avec CEA & CREGU  
**1988 contrat CREGU-CNRS**

"Analyse de la trace sismique post-stack dans les domaines temporel et fréquentiel en vue d'une caractérisation des propriétés géométriques et mécaniques des terrains rencontrés par l'onde sismique." (J.J. Royer)  
**1987-88- Contrat SNEAP CNRS.**

"Estimation de Réserves du Gisement Aurifère de Ban Do Dia Chat (Viet Nam)."  
(J.J. Royer)  
**1987-88. Contrat Ministère des Relations Extérieures**

Système graphique de traitement d'images  
**1987 Contrat INSU**

Episyénites: modélisation des transferts de chaleur et de masse.(M. Danis)  
**1986-87 Contrat CREGU-CNRS.**

Etude Isotopique et datation de deux sources du Bassin Hydrogéologique de Vittel (Vosges). (J.J. Royer) En coll. avec Equipe Isotopique du CRPG..  
**1986-87 Contrat Société des Eaux de Vittel-CNRS.**

Mise à jour. Surveillance d'affaissements miniers - Exploitation de la Madeleine. Evolution des côtes 1986. (Janvier 87). (M. Danis et J.J. Royer).  
**1986-87 Contrat CIM.**

Etude géostatistique du gisement d'Ismail (Algérie).(J.J. Royer)  
**1986 Contrat EREM**

*ANNEXE III*

**Données sur la production  
des Laboratoires d'analyses  
et des ateliers  
du 1er avril 1986 au 31 décembre 1987**

<b>1 - Atelier de Broyage</b> : préparation pour analyse ou séparation de minéraux	
. Broyage	2405
. Porphyrisations	3984
. Standard GH : 10200 g porphyrisés	
. Standard AN.G : 8600 g porphyrisés	
. Standard FK-N : 23500 g porphyrisés	
. Standard DT.N : 16500 g porphyrisés	
. Tamisage	30
 <b>2 - Atelier de Lames Minces</b>	
. Lames minces couvertes	2120
. Lames minces polies	1385
. Lames épaisses à inclusions	1065
. Lames à polir	340
. Lames minces grand format	-
. Sections polies	275
. Rafrâchissements et démétallisation	250
. Dressages et polissages d'échantillons	30
. Rondelles de protection pour platine microthermométrie	45
 <b>3 - Laboratoire de Séparation des Minéraux</b>	
. Séparation de minéraux	450
 <b>4 - Laboratoire de Rayons X : minéralogie et textures</b>	
. Diffractogrammes	3435
. Fluides de texture avec figures de pôles	39
 <b>5 - Laboratoire de Spectrochimie</b>	
. Dosages "éléments majeurs et mineurs" (19 éléments, nbr. éch.)	6925
. Dosages de terres rares (11 éléments, nbr. éch.)	4068
. Dosages de U et Th	2516
. Dosages de Nb et Zr	1193
. Dosages de potassium	48
 <b>6 - Laboratoire de Chimie</b>	
. Analyses de roches, minéraux et minerais :	
analyses complètes "éléments majeurs" (13 éléments)	288
dosages partiels et complémentaires	14825
. Dosages dans les fluides naturels ou expérimentaux	1903
 <b>Total évalué en unités d'oeuvre</b>	 <b>395 000</b>
<b>pour mémoire</b> : évaluation pour 1985	<b>235 200</b>

