



**HAL**  
open science

## Centre de recherches pétrographiques et géochimiques : rapport annuel 1989-1990

- Centre de Recherches Pétrographiques Et Géochimiques

► **To cite this version:**

- Centre de Recherches Pétrographiques Et Géochimiques. Centre de recherches pétrographiques et géochimiques : rapport annuel 1989-1990. [Rapport de recherche] CNRS. 1991, 168 p. hal-01358115

**HAL Id: hal-01358115**

**<https://hal-lara.archives-ouvertes.fr/hal-01358115>**

Submitted on 31 Aug 2016

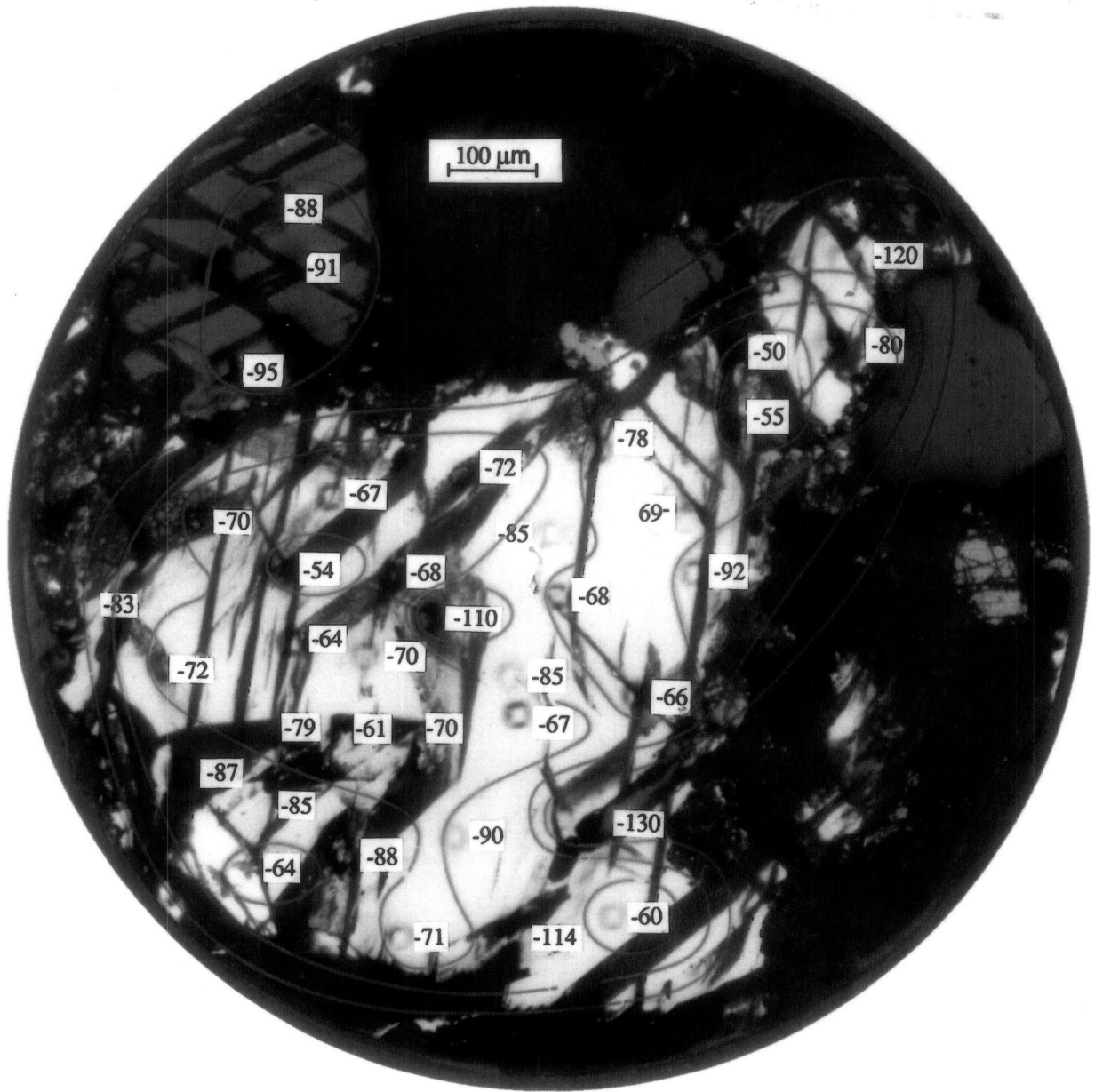
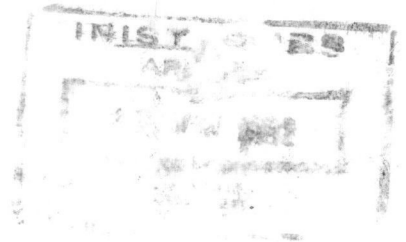
**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

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.

4624

# Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques

## Rapport Annuel 1989-1990



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

G 85828

**Page 1 de couverture : Variation de la composition isotopique de l'hydrogène, exprimée en  $\delta D$ , à l'intérieur de deux cristaux de pargasite du xénolithe SLC4c, de Salt Lake Crater à Hawaii.**

Ces mesures ont été rendues possibles par la mise au point de l'analyse isotopique de l'hydrogène in situ sur la sonde ionique du CRPG, et son étalonnage pour les minéraux hydroxylés. La taille d'une analyse est 30x30x4 mm, soit quelques dizaines de nanogrammes d'amphibole, et la précision meilleure que 10‰, quand les méthodes conventionnelles requièrent des dizaines de milligrammes pour une précision de 1‰. Ces résultats font partie des premières mesures jamais réalisées à cette échelle. La présence d'une zonation intra-cristalline montre :

- la présence de deux fluides mantelliques de composition différente, l'un avec une valeur de  $\delta D$  de -60 lors de la formation des amphiboles, l'autre avec une valeur de  $\delta D$  inférieure à -120 qui vient interagir avec les cristaux déjà formés.
- un déséquilibre isotopique sur une échelle de quelques centaines de  $\mu m$ , ce qui implique que l'interaction entre le second fluide et les cristaux n'a duré que peu de temps, et que les cristaux ont été refroidis rapidement pour préserver un tel déséquilibre. Ceci permet de penser que le second fluide est associé au volcanisme qui a extrait les xénolithes du manteau, et que leur remontée a été rapide (quelques années pour remonter de 30 km de profondeur jusqu'à la surface).

**Page 4 de couverture : Modélisation numérique des transferts de chaleur et des circulations fluides autour du site géothermique de Soultz - Graben du Rhin . Projet Européen (Travaux soutenus par le PIRSEM)**  
[photos J.J. Royer]

Les mouvements d'un fluide en milieu poreux sont régis par deux équations couplées (équation de la chaleur et de Darcy). Les propriétés physiques du milieu étudié sont déterminées directement par mesure sur échantillon en laboratoire (perméabilité, conductivité thermique) ou indirectement par géophysique ou par l'interprétation des sondages existants et des travaux géologiques de terrain (lithologie, flux de chaleur, bilan hydrogéologique,...). Ces différents paramètres sont indispensables pour la construction du modèle numérique et la définition des conditions aux limites. Après calcul sur ordinateur, les résultats sont visualisés à l'aide d'un système de traitement d'images. Les calculs de l'exemple présenté ici, ont été effectués à l'aide d'un logiciel développé sur une station de travail HP9000/400.

De bas en haut

1 ère photo: Distribution verticale du champ de températures calculées le long d'une coupe Est-Ouest autour du site de Soultz. On notera la dissymétrie du graben où l'épaisseur des principales formations géologiques schématisées sur la coupe augmente d'Ouest en Est, dans l'ordre des profondeurs croissantes: le lias, le jurassique, le trias (grès principalement), le granite altéré et le socle. Les températures évaluées par modélisation numérique varient de 250 à 350°C à 6km de profondeur, avec un dôme thermique situé sous le Rhin.

2ème photo: Fonction de courant montrant l'existence de deux cellules de convection (convection naturelle) dans les formations gréseuses du Buntsandstein. La dérivée de cette fonction donne la vitesse de filtration des fluides dans le milieu poreux. Les fluides chauds situés en profondeur ont une densité plus faible que ceux situés près de la surface car la densité de l'eau diminue en fonction de la température. Sous l'effet antagoniste des forces gravitationnelles et de la variation de densité des fluides, le système s'organise par la mise en place de cellules de convection naturelle.

3ème photo: La circulation des fluides dans le milieu poreux redistribue, parfois de manière complexe, la chaleur dans les différentes formations. Ici, on a représenté le flux de chaleur vertical (en  $mW.m^{-2}$ ) calculé en chaque point du modèle.

# CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

## CENTRE DE RECHERCHES PÉTROGRAPHIQUES ET GÉOCHIMIQUES

RAPPORT 1989-1990

### Sommaire

	page
Avant-Propos	2
Organigrammes	4
Service d'Analyses des Roches et des Minéraux.	9
- Liste et résumés des publications	11
- Laboratoire de Spectrochimie et de Géostandards	12
- Laboratoire de Chimie	26
- Laboratoire de Diffractométrie X	31
- Données sur la production des laboratoires d'analyses	32
Service Etudes Documentaires et Traitement Automatique (E.D.T.A.)	33
- Activité scientifique et prospective	35
- Publications en collaboration avec l'E.D.T.A.	39
Équipe Caractérisation des matériaux et des processus. Banques de données géochimiques	43
Liste et résumé des publications	45
Résumés publiés de communications	47
Équipe Déformation et Métamorphisme	49
Liste et résumé des publications	50
Thèses	59
Résumés publiés de communications	61
Équipe Géochimie Isotopique et Géochronologie	67
Liste et résumé des publications	69
Thèses	84
Résumés publiés de communications	88
Équipe Informatique Géologique	97
Liste et résumé des publications	99
Thèses	103
Assistance en informatique et mathématiques appliquées	106
Équipe Minéralogie et Pétrologie Expérimentale	107
Liste et résumé des publications	109
Thèses	117
Résumés publiés de communications	121
Équipe Physico-Chimie des Fluides	125
Liste et résumé des publications	127
Thèses	132
Résumés publiés de communications	135
Liste générale des publications du C.R.P.G.	143
- Tableau récapitulatif	144
- Rang A	145
- Rang B	149
- Rang C	151
- Résumés	152
- Thèses et Rapports de D.E.A.	160
- Cartes de localisation des études	162
Annexe	165
- Brevets	167
- Titres des résumés non publiés présentés à des réunions nationales et internationales	169
- Participations à des Congrès, Stages et Conférences	171
- Missions	174
- Séminaires de Géologie du CRPG	175
- Visiteurs	178



## Avant Propos

Ce rapport couvre la période 1989 et 1990 et donne les résumés de nos publications classés par équipe de recherche, les activités du Service National d'Analyse du CNRS, ainsi que divers aspects de la vie du Centre (missions, séminaires, visiteurs reçus, brevets etc).

Le CRPG a connu d'importantes modifications dans la composition de ses personnels scientifiques et techniques. Parmi les scientifiques il y a eu les départs de M. Pichavant et C. Ramboz pour Orléans en 1990, F. Albarède et S. Sheppard pour Lyon, de A. Michard pour Marseille et de F. Debon pour Grenoble en 1991. Néanmoins, nous avons l'intention de maintenir et de développer des pôles très performants en expérimentation et en géochimie, décision soutenue par l'Institut Lorrain des Géosciences. Ceci s'est notamment traduit par le recrutement en 1990 de G. Libourel sur un poste de Maître de Conférences à l'Université de Nancy I dans le domaine de l'expérimentation, par l'intention de l'ENSG de demander la déclaration de la vacance du poste libéré par F. Albarède en géochimie isotopique et par nos efforts pour attirer des chercheurs à Nancy. Pendant cette même période nous avons installé au CRPG un certain nombre d'appareils, dont un spectromètre de masse, financés grâce à l'aide importante de la Région Lorraine (Finnigan Mat 262 à source solide). De plus, nous avons pu acheter sur le budget du centre un analyseur de carbone par coulométrie, un spectrophotomètre, un tour de précision et moderniser un spectromètre à source gazeuse. L'équipement informatique a été sérieusement amélioré. Ces instruments ont contribué de façon substantielle à renforcer le potentiel de Nancy.

Le CRPG comportait pour la période 1989-1990 six équipes de recherches et un Service National d'Analyses du CNRS. Nous donnons pour chaque équipe un bref résumé des thèmes abordés. La composition des ces équipes est donnée sur la page 4.

**"Caractérisation des Matériaux et des Processus - Banque de Données Géochimiques"** - Traitement des ensembles de données géochimiques, et en particulier des granitoïdes et des séries métamorphiques, typologie chimico-minéralogique et développement de la banque de données géochimiques. Application à la paléosidéurgie et collaboration active avec archéologues et historiens des sciences et techniques.

**"Déformation et Métamorphisme"** - Evolution de la croûte continentale par l'étude du métamorphisme, du magmatisme orogénique et de la géochronologie de la déformation (Brésil, Alpes, Portugal, Labrador). Mécanismes de déformation en présence de fluides, orientation des contraintes régionales et fluctuation de la pression fluide (Himalaya, Abitibi). Quantification et simulation de la déformation à l'aide de l'analyseur vidéographique interactif du CRPG (Alpes, Afrique de l'Ouest). Cartographie et nomenclature métamorphique.

**"Fluides et Minéraux"** - Mise en évidence des caractéristiques physico-chimiques des fluides géologiques hydrothermaux et leurs interactions à différents niveaux de la croûte (continentale ou océanique) par microthermométrie, microspectrométrie et analyseur vidéographique interactif du CRPG. Modélisation des processus par voie expérimentale. Aspects métallogéniques et conséquences sur le mode de transport des métaux. Etudes de cas en Algérie, France, Mer Rouge, Colombie, Brésil.

**"Géochimie Isotopique et Géochronologie"** - La géochimie des isotopes stables et radiogéniques et des éléments en trace est appliquée à la datation et l'identification des sources des magmas et des fluides, aux problèmes de l'évolution mantellique, crustale et océanique et à la genèse des gisements, par spectrométrie de masse conventionnelle et sonde ionique, avec le développement de mesures isotopiques ou d'éléments traces in situ à la sonde ionique. Les cibles : les océans et les fonds

océaniques, l'Afrique de l'Ouest, l'Amérique du Nord, l'Himalaya et le golfe du Bengale, les Alpes.

**"Informatique et Analyse des Données"** - Méthodes informatiques (simulation numérique, géostatistique, analyse des données, infographie, traitement d'images) mises en oeuvre pour modéliser différents processus naturels (transferts de chaleur et de masse dans les milieux naturels tels que géothermiques et pétroliers). Caractérisation des propriétés physiques des roches à partir de mesures indirectes (conductivité thermique, vitesse, densité, porosité, propriétés sismiques). Conception de méthodes et de logiciels pour manipuler les objets géologiques complexes 3D (Consortium international GOCAD). Cibles étudiées: France, USA, Mer Rouge, Algérie.

**"Minéralogie et Pétrologie Expérimentale"** - Etudes des microtextures, microstructures et physique des minéraux et des verres par microscopie électronique, spectroscopie et voie expérimentale : transformations de phase, exsolutions, mécanismes de fusion. Production expérimentale de magmas et interactions minéral-fluide dans les conditions de fusion crustale (granites et migmatites) et mantellique, et hydrothermalisme. Cibles de terrain : Afrique de l'Ouest, Groenland, France, Amérique de Sud, Himalaya.

**"Service d'Analyses du CNRS et EDTA"** - Ils continuent de fournir des données analytiques et un traitement informatique aux chercheurs tout en améliorant leurs propres techniques. De plus, ils développent vigoureusement leur rayonnement national et international dans le domaine des géostandards, dans la publication "Geostandards" et le projet international d'une base de données dédiée aux sédiments, SEDBA.

Les départs de chercheurs ont entraîné une restructuration des équipes de recherche, non encore terminée, et le choix de nouveaux axes de recherches abordant à terme de nouveaux thèmes tels que environnement, risques naturels et industriels, et déchets. La composition et les noms des nouvelles équipes sont donnés page 7. Pour mener à bien nos projets de recherche et continuer à développer les services analytiques, il est essentiel de prévoir de nouveaux équipements, surtout dans le domaine de l'expérimentation, de la géochimie et pour le service analytique. Le re-équipement du laboratoire d'expérimentation est en cours de réalisation avec l'achat d'un four à atmosphère contrôlée et de deux autoclaves à chauffage interne (1400°C et 10 kbar). Le projet d'installer à Nancy une sonde ionique de nouvelle génération, Cameca 1270, nous permettra de renforcer notre position comme centre national et international et d'attirer des chercheurs permanents ou de passage grâce à la présence des deux sondes ioniques et l'équipement en isotopes stables et radiogéniques. Il est donc impératif de conserver ces trois volets géochimiques, les approches étant complémentaires. Nous souhaitons moderniser notre salle de chimie et les équipements spécifiques d'étude des gaz par spectrométrie de masse appliquée aux isotopes stables et à la datation  $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ . Pour que le Service d'Analyse conserve sa réputation internationale, il est impératif d'ajouter à l'équipement existant un ICP-MS et de prévoir le recrutement d'un successeur pour K. Govindaraju le plus tôt possible avant son départ à la retraite fin 1993.

Grâce à l'adaptabilité et à la bonne volonté de notre personnel ITA, nous avons pu faire face jusqu'à présent aux départs non-compensés qui ont déjà eu lieu (deux en 1990 et deux en 1991), mais nous ne pourrions pas continuer de cette façon étant donné ceux qui sont à prévoir dans les trois années à venir. Il est donc impératif d'établir dès maintenant un plan de remplacement de ces personnes étalé sur plusieurs années. Finalement, il est bien évident que les activités décrites dans ce rapport n'auraient pas pu être réalisées sans le concours actif de tous nos ITA.

# O R G A N I G R A M M E 1989-1990

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

• **Caractérisation des matériaux et des processus. Banque de données géochimiques**

A. PLOQUIN	Chargé de Recherche 1	Animateur de l'Equipe
F. DEBON	Chargé de Recherche 1	

• **Déformation et Métamorphisme**

J.M. BERTRAND	Directeur de Recherche 2	Animateur de l'Equipe
A.M. BOULLIER	Chargée de Recherche 1	
J. DESMONS	Chargée de Recherche 1	
J. LETERRIER	Chargé de Recherche 1	
J. MACAUDIERE	Maître de Conférence, ENSG	

• **Fluides et Minéraux**

C. RAMBOZ	Chargée de Recherche 1	Animatrice de l'Equipe
M. ARNOLD	Chargé de Recherche 1	
B. CHAROY	Maître de Conférence, ENSG	
A. CHEILLETZ	Maître de Conférence, ENSG	
G. GIULIANI	Chercheur ORSTOM	
C. MARIIGNAC	Maître de Conférence, ENSMIN	
F. SAUPE	Chargé de Recherche 1	
A. WEISBROD	Professeur, ENSG	

• **Géochimie Isotopique et Géochronologie**

F. ALBAREDE	Professeur, ENSG	Co-animateur de l'Equipe Co-animatrice de l'Equipe Co-animateur de l'Equipe
A. MICHARD	Directeur de Recherche 2	
S.M.F. SHEPPARD	Directeur de Recherche 1	
C. ALIBERT	Chargée de Recherche 1	
P. ALLE	Ingénieur de Recherche 2	
M. CHAUSSIDON	Chargé de Recherche 2	
E. DELOULE	Chargé de Recherche 1	
C. FRANCE-LANORD	Chargé de Recherche 2	
J.L. ZIMMERMANN	Chargé de Recherche 1	

• **Informatique Géologique et Analyse de Données**

J.L. MALLET	Professeur, E.N.S.G.	Co-animateur de l'Equipe Co-animateur de l'Equipe
J.J. ROYER	Ingénieur de Recherche 1	
P. JACQUEMIN	Ingénieur de Recherche 2	

• **Minéralogie et Pétrologie Expérimentale**

W.L. BROWN	Directeur de Recherche 2	Co-animateur de l'Equipe Co-animateur de l'Equipe
M. PICHAVANT	Chargé de Recherche 1	
P. BARBEY	Maître de Conférence, Nancy I	
J.M. STUSSI	Chargé de Recherche 1	

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

S.M.F. SHEPPARD

J. LETERRIER

K. GOVINDARAJU

F. LHOTE

P. MARCHAL (>05/89)

J. MOREL (<05/89)

M. VERNET

Ingénieur de Recherche 0

Ingénieur d'Etude 1

Ingénieur d'Etude 2

Ingénieur d'Etude 2

Ingénieur de Recherche 1

Spectrochimie

Rayons X

Coordinateur

Coordinateur

Chimie

- Service Etudes Documentaires et Traitement Automatique de l'Information

A. PLOQUIN

Chargé de Recherche 1

- Secrétariat, Comptabilité, Ateliers, Bibliothèque

Mme Ch. LEHMANN

Mme M. NOEL

M. J.P. BLANCHARD

Mme A. L. MONTERAGIONI,

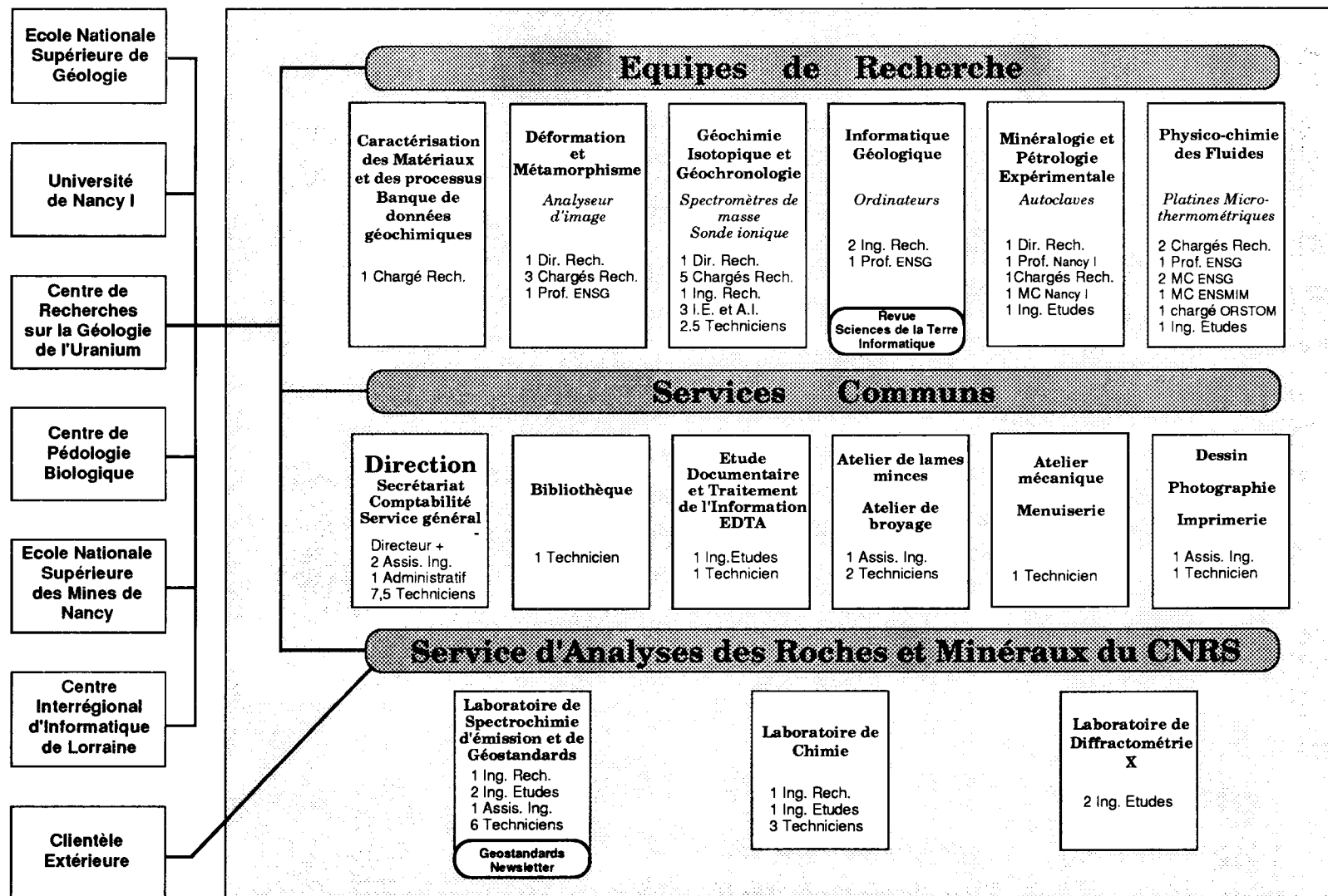
Secrétaire de Direction

Comptabilité

Chef des Ateliers et du Service Général

Bibliothécaire, Service Editions

# Centre de Recherches Pétrographiques et Géo-chimiques



# ORGANIGRAMME 1991 (prévisionnel)

**Directeur : W. L. BROWN**

(Cet organigramme des équipes de recherche n'est donné qu'à titre indicatif, la ré-organisation des équipes n'étant pas encore complètement terminée)

- **Caractérisation Chimique des matériaux**

A. PLOQUIN	Chargé de Recherche 1	Animateur de l'Equipe
M. ARNOLD	Chargé de Recherche 1	

- **Déformation et Métamorphisme**

J.M. BERTRAND	Directeur de Recherche 2	Co-animateur de l'Equipe
J. MACAUDIERE	Professeur, ENSG	
A.M. BOULLIER	Chargée de Recherche 1	Co-animateur de l'Equipe
J. DESMONS	Chargée de Recherche 1	
J. LETERRIER	Chargé de Recherche 1	

- **Géochimie des Gaz et Applications**

A. CHEILLETZ	Maître de Conférence, ENSG	Co-animateur de l'Equipe
J.L. ZIMMERMANN	Chargé de Recherche 1	
B. CHAROY	Maître de Conférence, ENSG	Co-animateur de l'Equipe
G. GIULIANI	Chercheur ORSTOM	

- **Géochimie Isotopique**

E. DELOULE	Chargé de Recherche 1	Animateur
C. ALIBERT	Chargée de Recherche 1	
P. ALLÉ	Ingénieur de Recherche 2	
M. CHAUSSIDON	Chargé de Recherche 2	
C. FRANCE-LANORD	Chargé de Recherche 1	
F. SAUPÉ	Chargé de Recherche 1	

- **Informatique Géologique**

J.L. MALLET	Professeur, E.N.S.G.	Co-animateur de l'Equipe
J.J. ROYER	Ingénieur de Recherche 1	
P. JACQUEMIN	Ingénieur de Recherche 2	

- **Métallogénie Endogène**

J.M. STUSSI	Chargé de Recherche 1
C. MARIGNAC	Maître de Conférence, ENSMIN

- **Minéralogie et Pétrologie Expérimentale**

W.L. BROWN	Directeur de Recherche 1	Co-animateur de l'Equipe
P. BARBEY	Professeur, Nancy I	
G. LIBOUREL	Maître de Conférence, Nancy I	Co-animateur de l'Equipe
A. WEISBROD	Professeur, ENSG	

# SERVICE D'ANALYSES

## DES ROCHES ET DES MINÉRAUX

### Laboratoire de Spectrochimie et de Géostandards

K. GOVINDARAJU	Ingénieur de Recherche 0
G. MEVELLE	Ingénieur d'Etudes 1
J. MOREL	Ingénieur d'Etudes 2
P. HILD	Assistant Ingénieur (<12/89)
N. LHOMEL	Assistant Ingénieur
C. BLANCHARD	AGT 1
C. CHOUARD	Technicien 3 (>06/89)
C. GAUDE	AJT 1
M.T. NOEL	AJT 2
C. PARMENTIER	AGT2
C. RAIGUE	AJT2

### Laboratoire de Chimie

M. VERNET	Ingénieur de Recherche 1
L. MARIN	Ingénieur d'Etudes 2
S. BOULMIER	Technicien 2
J. LHOMME	Technicien 3
F. DREUX	Technicien 3
J. FAVIER	Technicien 3 (>07/90)

### Laboratoire de Diffractométrie X

F. LHOTE	Ingénieur d'Etude 1
J.P. URIOT	Ingénieur d'Etudes 2

## **Liste et Résumés des Publications**

Geostandards Newsletter, 1989, 13, Spec. Issue, 1-113.

### **1989 COMPILATION OF WORKING VALUES AND SAMPLE DESCRIPTION FOR 272 GEOSTANDARDS**

K. GOVINDARAJU

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

In this special issue, working values are reported for 272 international geostandards along with sample description. For many geostandards, the number of compiled data were not adequate enough for assigning working values. Users of geostandards are solicited to contribute more and more data particularly on trace elements. Think *Geostan* is a slogan that we wish to launch to set this problem in the limelight.

\*\*\*\*\*  
Geostandards Newsletter, 1989, 13, 1, 5-67.

### **1988 COMPILATION REPORT ON TRACE ELEMENTS IN SIX ANRT ROCK REFERENCE SAMPLES: DIORITE DR-N, SERPENTINE UB-N, BAUXITE BX-N, DISTHENE DT-N, GRANITE GS-N AND POTASH FELDSPAR FK-N**

K. GOVINDARAJU

CNRS, Centre de Recherches Pétrographique et Géochimiques,  
B.P. 20, 54501 Vandoeuvre-lès-Nancy Cedex, France

I. ROELANDTS

Geology, Petrology and Geochemistry, University of Liège,  
B 4000 Sart Tilman, Liège 1, Belgium

The six ANRT rock reference samples (DR-N, UB-N, BX-N, DT-N, GS-N, FK-N) have been distributed as reference samples for nearly twenty years. All available data on trace elements in these samples are presented and evaluated. It has been possible to assign working values for nearly 40 trace elements. These samples prepared in 600 to 1300 kg quantities are expected to last for some decades to come.

\*\*\*\*\*  
**MONTEL JM , LHOTE F, CLAUDE JM (1989). Monazite end members and solid solutions : synthesis, unit-cell characteristics, and utilization as microprobe standards. Mineralium Magazine, 53, 120-123.**



# **LABORATOIRE DE SPECTROCHIMIE ET DE GEOSTANDARDS**

**KUPUSAMI GOVINDARAJU**

Le dosage de 40 éléments majeurs, mineurs et en traces, y compris 10 éléments de terres rares, est maintenant une affaire de routine avec près de 10 000 échantillons analysés en 1989-90. Le Journal Geostandards Newsletter a encore gravi un échelon parmi les revues géoscientifiques internationales en passant du 9<sup>ème</sup> rang en 1988 au 7<sup>ème</sup> rang en 1989.

## **SPECTROCHIMIE**

Tous les travaux analytiques sont effectués avec deux spectromètres d'émission-plasma (ICP):

••• Spectromètre JY 48 P, installé en 1981, pour le dosage simultané d'une part de 10 éléments de terres rares (La, Ce, Nd, Sm, Eu, Gd, Dy, Er, Yb, Lu) +Y et d'autre part de U et Th.

••• Spectromètre JY 70 P, en fonctionnement depuis 1988, pour le dosage simultané de 26 éléments majeurs (SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>T, MgO, CaO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), mineurs (MnO, TiO<sub>2</sub>), et en traces (Ba, Be, Co, Cr, Cu, Ga, Nb, Ni, Rb, Sc, Sr, Th, V, Y, Zn, Zr). Le JY 70 est, en fait, composé de deux spectromètres, JY 32 pour l'analyse multi-élémentaire et JY 38 pour l'analyse séquentielle. Nos travaux analytiques se caractérisent par une **simplification** et une **automatisation** au niveau de la préparation chimique des échantillons et au niveau de l'analyse proprement dite.

## **Préparation chimique**

La préparation des échantillons pour tous les travaux analytiques repose sur la fusion de l'échantillon avec du métaborate de lithium. En outre, la préparation est très simplifiée par le fait que le dosage d'une quarantaine d'éléments énumérés auparavant (sauf U et Th) n'exige qu'une seule préparation (fusion et mise en solution acide en milieu HCl). En effet, la solution ainsi préparée est analysée directement pour 26 éléments majeurs,

mineurs et en traces; une aliquote de la même solution est utilisée pour la séparation des terres rares en bloc à l'aide de résine échangeuse d'ions.

Le fait de pouvoir doser simultanément 10 éléments majeurs et 16 éléments en traces avec une solution unique et avec un élément majeur tel que la silice au niveau de 1 à 100 % et les traces telles que le béryllium au niveau de 1 à 100 ppm, est une **simplification** significative et un progrès remarqué en analyse de roches compte tenu des économies réalisées en temps et en produits chimiques. Ceci est rendu possible par une préparation chimique "spéciale" de la solution finale analysée afin d'alimenter régulièrement le plasma avec une solution chargée en sel de 2.5 % et par une modification apportée à l'exploitation du spectromètre JY70.

Brièvement la préparation actuelle comporte les quatre étapes suivantes et elles sont toutes **automatisées**:

1. *Estimation de la perte au feu.* Les trois pesées nécessaires se font avec une balance Sartorius couplée avec un micro-ordinateur Apple II. Les valeurs de pesées et les numéros d'échantillons sont stockés sur disquette.

2. *Fusion.* Un mélange d'échantillon+métaborate de lithium contenu dans un creuset en platine est fusionné dans un four tunnel automatisé. Deux échantillons sont fusionnés toutes les deux minutes après un temps mort de 60 minutes au départ.

3. *Mise en solution.* Le creuset contenant la masse fondue est déposé dans un becher en plastique. L'acide (100 ml) pour la mise en solution est versé à l'aide d'une pipette automatique déplacée par un robot mobile (LabRobStation II)

4. *Séparations.* Les séparations sont effectuées à l'aide de LabRob décrit dans nos précédents rapports. Deux LabRob (version II) sont utilisés pour la séparation de 10 terres rares + Y et pour la séparation de U et Th. Une troisième version de LabRob, installée sur LabRobStation II, est utilisée pour la séparation de Sn, W, Mo et Ta. Les méthodes de séparation sont originales et ont été développées dans le laboratoire.

Grâce à la préparation chimique simplifiée et automatisée, non seulement la production augmente mais on maintient également une répétabilité accrue des opérations unitaires dans le temps ce qui est un atout majeur pour un laboratoire assurant une prestation de service .

## Analyse Spectrochimique

Compte tenu des interférences spectrales et de la limite du dosage des éléments en traces, il a fallu répartir les 26 éléments majeurs et en traces entre le spectromètre multi-élémentaire (JY 32) et le spectromètre séquentiel (JY 38), ce dernier ayant une meilleure résolution optique et flexibilité dans le choix de lignes spectrales. Durant la période 1988-89, le JY 32 a été utilisé, dans la matinée, pour le dosage des éléments majeurs, mineurs, et quelques éléments en traces et le JY 38, dans l'après-midi pour les éléments en traces manquants. En 1990, il a été possible d'apporter des modifications au niveau de ces deux spectromètres et au niveau des logiciels afin de permettre le fonctionnement des deux spectromètres simultanément, chaque spectromètre étant piloté par un micro-ordinateur dédié et synchronisé. Le dosage de 26 éléments ainsi se trouve confondu et **simplifié** en une seule opération exécutée dans la matinée. Environ 2 à 3 heures ainsi récupérées permettent d'aborder la recherche de méthodes de séparation chimique des éléments en traces, d'améliorer les systèmes d'automatisation notamment la station de travail, LabRobStation et, pourquoi pas, de rompre la monotonie et la lourdeur du travail en routine.

Si toutes les étapes de la préparation des échantillons sont automatisées, il en est de même pour l'analyse proprement dite. La disquette qui suit les échantillons depuis l'étape de la perte au feu contient aussi des renseignements sur l'échantillon et sur le demandeur. Ces informations sont transmises à l'ordinateur qui contrôle l'étape d'analyse. Les solutions à analyser sont arrangées sur un passeur d'échantillons développé par nos soins. L'ordinateur chargé de l'analyse pilote également le passeur permettant ainsi d'analyser les échantillons sans aucune intervention extérieure jusqu'à l'édition du bulletin d'analyse. L'analyse s'effectue par le passage d'un étalon de calibrage suivi par un échantillon à analyser; ce cycle ne dure que 6 minutes. Les courbes de travail établies avec l'étalon et avec un blanc sont utilisées pour l'échantillon qui le suit. Ce cycle est répété pour chaque échantillon à analyser délimitant ainsi la dérive instrumentale dans une période courte de 6 minutes. Rappelons que 20 % d'échantillons analysés en routine sont des géostandards internationaux, rapprochant autant que possible la composition chimique des échantillons analysés et ceci pour les besoins du contrôle de qualité d'analyse en routine .

*Dosage simultané de 26 éléments.* Ce programme "standard" est le plus demandé par la clientèle du Service d'Analyse et est en analyse de routine depuis janvier 1988. Pendant la période 1988-1990, le nombre d'échantillons analysés a été de 12460. La 100 000<sup>ème</sup> analyse des éléments majeurs et en traces a été enregistrée le 23 janvier 1991, la première (éléments majeurs et mineurs) datant de 1959.

*Dosage simultané de 10 terres rares + Y.* ce programme analytique, après séparation avec LabRob, est en analyse de routine depuis 1982:

1982 - 426	1985 - 2398	1988 - 2148	Total - 18612
1983 - 1208	1986 - 2010	1989 - 3047	
1984 - 2194	1987 - 2043	1990 - 3138	

Dosage simultané de U et Th. Une nouvelle méthode de séparation simultanée de U et Th a été développée en 1980, cette méthode (non publiée) est en analyse de routine depuis 1981:

1981 - 345	1985 - 2067	1988 - 1008	Total - 10629
1982 - 721	1986 - 1408	1989 - 1004	
1983 - 617	1987 - 1108	1990 - 676	
1984 - 1675			

Le dosage simultané de U et Th reste encore une "première" de notre laboratoire, car nous ne connaissons pas d'autres laboratoires dans le monde qui effectuent un tel dosage simultané avec une limite de dosage de 0.5 - 1 ppm.

## **Automatisations**

L'automatisation de toutes les étapes d'analyse de roches est une préoccupation constante et nous y consacrons un temps appréciable. Progressivement, nous tentons de rassembler dans une station de travail ("workstation") les différents modules de la préparation. La première station de travail appelée LabRobStation I construite autour d'un robot Zymark (mobile) n'est plus utilisée par manque de précision du positionnement. Depuis 1990, LabRobStation II est entrée en service et elle est aussi mobile. La précision de mouvements dans trois directions et leur répétabilité dans le temps sont excellentes. Cette station dispose d'un module de mise en solution acide pour 60 échantillons et un module de LabRob pour la séparation de Sn, W, et Mo.

Deux autres modules envisagés sont: module de balance avec une main "agile" pour les pesées et un module de four tunnel pour la fusion. Ajoutons que le système LabRob, fabriqué par nous mêmes, est commercialisé par la société INSTRUMENTS S.A. (Division Jobin Yvon) et nous vendons un système par an.

## **Commentaires sur ICP-Emission et ICP-MS**

Depuis 1974, le dosage d'éléments majeurs, mineurs et en traces a été l'apanage de la spectrométrie d'émission-plasma, avec le plasma micro-onde pour 16 éléments entre 1974 et 1987 et avec le plasma inductif (ICP) pour 26 éléments depuis 1988.

Depuis 1977, nous avons commencé à développer des méthodes de séparation à l'aide de résines échangeuses d'ions pour le dosage des éléments en traces par l'ICP. C'est ainsi que nous avons d'abord développé la séparation simultanée et automatisée de U et Th, ensuite les terres rares et enfin d'une série d'éléments tels que Au, Sn, W, Mo et Ta. Le dosage de U et Th et les terres rares sont en analyse de routine depuis 1981-82. Malgré tous nos efforts, les dosages de Sn, W et Mo et de Ta n'ont pas pu être mis en application. La raison principale en est que nous n'avons pas pu atteindre, avec l'ICP-Emission, la limite de dosage de 0.5 ppm exigée pour ces éléments.

Le spectromètre d'émission JY 70 est en fonctionnement depuis 1988. Pendant les années 1988-90, nous avons amélioré très largement la performance de cet appareil par une simplification et une automatisation au niveau de la préparation des échantillons et de l'analyse. Il en résulte que l'on a maintenant un système d'analyse de roches très compétitif et original de surcroît. La production actuelle de 5000 échantillons par an peut être portée à 6000, après une modification du logiciel.

Arrivés à ce stade de nos recherches en géochimie analytique nous avons bien le sentiment d'avoir atteint le niveau maximum que l'on peut

espérer avec la spectrométrie d'émission-ICP, c'est-à-dire le dosage en routine d'une quarantaine d'éléments. Pour développer davantage nos études, il faut nous tourner vers l'ICP-MS.

A ce propos, il nous semble que nous avons déjà préparé un environnement propice pour appliquer l'ICP-MS pour le dosage des éléments en traces. En effet notre laboratoire a développé des méthodes automatisées de séparation pour une vingtaine d'éléments en traces, avec le système LabRob et ces efforts ne seront pas inutiles dans le domaine de l'ICP-MS. A titre d'exemple, le dosage de terres rares est, de loin, l'application type de l'ICP-MS car leur dosage est possible avec des solutions conventionnelles, après l'élimination de la silice en milieu HF, mais sans leur séparation. Toutefois, dans le cas de roches ultrabasiqes où les teneurs de terres rares sont très basses (0.001 à 0.1 ppm), une séparation devient nécessaire. La séparation de terres rares étant une manipulation courante avec la possibilité de séparer 36 échantillons par LabRob par jour, nous pouvons plus aisément nous permettre de doser les terres rares après séparation pour tous les types d'échantillons, augmentant ainsi la qualité d'analyse. Ceci est valable pour U et Th et aussi pour Sn, W et Mo, éléments que nous n'avons pas réussi à doser avec l'ICP-Emission, même après leur séparation. Au, B, Ta et Zr sont encore des éléments pour lesquels nous avons des procédures LabRob de séparation déjà prêtes. En d'autres termes, les solutions préparées pour l'ICP-Emission sont également utilisables pour l'ICP-MS. Rappelons que notre laboratoire est un des rares laboratoires dans le monde à développer des systèmes automatisés de séparation et, d'une manière générale, à automatiser toutes les étapes de la préparation des échantillons (LabRobStation) et de l'analyse proprement dite.

Cette digression sur l'ICP-MS a pour but de démontrer l'environnement propice qui existe pour une utilisation prompte de l'ICP-MS dont une unité est attendue pour 1992. Nous sommes aussi persuadés que la combinaison de l'ICP-Emission pour les éléments majeurs de l'ICP-MS pour un certain nombre d'éléments en traces dits difficiles accroîtra très sensiblement le potentiel analytique du Service d'Analyse.

## GEOSTANDARDS

Le contrôle de la qualité d'analyse, particulièrement en grande production, a été un souci permanent. Devant l'absence quasi-totale de standards géochimiques vers les années 50, sauf le Granite G-1 et le Diabase W-1, nous avons été amenés à préparer, en 1959, un granite étalon expérimental (appelé GR) en 12 kg. Depuis cette expérience fructueuse, plus d'une vingtaine de standards géochimiques, appelés aujourd'hui "géostandards" a été préparée dans le cadre du CRPG, de l'ANRT (Association Nationale de la Recherche Technique) et du GIT-IWG (Groupe International de Travail "Etalons Analytiques de Minéraux, Minerais et Roches"):

CRPG		ANRT		GIT-IWG	
	Kg		Kg		Kg
Granite GA (1963)	40	Diorite DR-N (1968)	850	Anorthosite AN-G (1980)	900
Granite GH (1963)	110	Serpentine UB-N (1968)	500	Basalte BE-N (1980)	850
Basalte BR (1963)	10	Bauxite BX-N (1969)	1300	Granite MA-N (1980)	950
Biotite Mica-Fe (1967)	45*	Disthène DT-N (1969)	1300	Albite AL-I (1983)	180
Phlogopite (1968)	75*	Granite GS-N (1974)	900	Iron Formation sample (1983)	740
		Feldspath FK-N (1974)	520	Granite AC-E (1987)	290
		Glauconite GL-O (1974)	28*		

Depuis 1977, tous les géostandards préparés par le CRPG ont été réalisés dans le cadre du GIT qui compte aujourd'hui environ 400 membres venant de 40 pays. La composition chimique de nos standards est présentée dans le tableau 1, extrait d'un numéro spécial du Géostandards Newsletter (Juillet 1989). Il est à remarquer que les échantillons du GIT sont caractérisés pour près de 70 éléments dès leur première année de lancement tandis que les échantillons du CRPG et de l'ANRT ont dû attendre respectivement 25 et 20 ans d'existence pour se hisser progressivement au même niveau de caractérisation que celui du GIT. En effet les échantillons du GIT ont été analysés par plus de 120 laboratoires-membres du GIT.

En 1990, deux chromites en provenance de Shetland Islands ont été lancées pour une étude collaborative avec P.J.Potts (Open University). Une de ces chromites, CHR-Pt<sup>+</sup>, est riche en métaux nobles et la deuxième, CHR-

Bkg, est pauvre en ces métaux. Un rapport sur ces échantillons sera disponible vers la fin de 1991.

Nous possédons déjà deux micas, la biotite ferrifère Mica-Fe et la Phlogopite Mica-Mg. Un mica lithinifère, Zinnwaldite ZW-C (Zinnwald, Bohème, Tchécoslovaquie), est en cours d'étude en collaboration avec I. Rubeska du Service Géologique de Tchécoslovaquie. D'autre part, nous attendons un moment propice pour le lancement d'une Muscovite (MUS-N) et d'une Kaolinite (KAL-M).

Disposant de plus de 20 géostandards dont la plupart en quantité importante (200 à 1300 kg) mais tous bien caractérisés pour leur composition chimique, le CRPG se trouve maintenant en possession d'un patrimoine "standard" qui prend de plus en plus de valeur chaque année et avec chaque compilation nouvelle qui paraît. En effet, nous estimons que la plupart de nos standards géochimiques risque de rester disponibles dans les 50 ans à venir, ou même plus, nos échantillons se plaçant actuellement en très bonne position parmi les 50 géostandards les mieux caractérisés et toujours disponibles dans le monde. Ajoutons que le prix de vente d'un gramme de géostandards se situe entre 2 et 3 \$ en moyenne sur le marché actuel.

### **Geostandards Newsletter.**

Le journal Géostandards Newsletter a été fondé en 1977 en tant que support pour les activités du GIT. Ce journal est devenu aujourd'hui le journal principal ("primary journal") dans le domaine des géostandards. La reconnaissance internationale du Journal est bien mise en évidence par la revue "Science Citation Index" qui publie tous les ans le rang ("rank") de journaux internationaux ("journal rankings") en calculant le facteur d'impact. Parmi les journaux géoscientifiques le classement du Geostandards Newsletter pour 1989 est n°7 (cf Tableau suivant).

Chaque année, nous publions deux numéros par an. (Avril et Octobre). En 1989 et en 1990, il y a eu trois numéros (voir tableau 1), avec un numéro spécial en juillet 1989 et un numéro additionnel en juillet 1990. Le numéro spécial de juillet 1989 (SIGN II) mérite bien une mention spéciale. En effet SIGN II renferme des valeurs de travail ("working values") et des descriptions sur 272 géostandards internationaux en 113 pages. Les tableau 2 est, en fait,



extrait de ce numéro. Dans ce numéro, des tableaux similaires (28 pages) sont présentés sur 272 géostandards (Annexe I); les annexes II, III et IV présentent respectivement les valeurs de travail par élément en ordre ascendant, l'identification et la description des géostandards numérotés de 1 à 272 et les références bibliographiques pour l'annexe I et III. Rappelons que SIGN II est une mise à jour du numéro spécial de juillet 1984 qui traitait 170 géostandards et qui était subventionné par l'UNESCO et l'IAGC.

Rank	Journal	Impact Factor	Cited half-life
1	J GEOPHYS RES	4.131	8.0
2	ANNU REV EARTH PL SC	3.590	6.3
3	METEORITICS	3.000	4.6
4	TECTONICS	2.693	3.8
5	EARTH PLANET SC LETT	2.543	8.2
6	GEOCHIM COSMOCHIM AC	2.534	7.9
<b>7*</b>	<b>GEOSTANDARDS NEWSLETTER</b>	<b>1.854</b>	<b>5.2</b>
8	GEOPHYS RES LETT	1.833	5.0
9	REV GEO PHYS	1.703	9.3
10	QUATERNARY RES	1.509	7.6
11	J GEOL SOC LONDON	1.492	6.5
12	B SEISMO SOC AM	1.457	7.9
13	MAR GEOPHY RES	1.444	6.1
14	J GEOPHYS-Z GEOPHY	1.421	7.4
15	PLANET SPACE SCI	1.339	7.6
16	ANN GEOPHS	1.324	6.8
17	TECTONOPHYSICS	1.291	7.0
18	J STRUCT GEOL	1.279	5.2
19	WATER RES	1.238	7.5
20	PHYS EARTH PLANET IN	1.193	6.6

\* - classements antérieurs

1984	16
1985	10
1986	14
1987	10
1988	9
1989	7

La rédaction du SIGN II a démontré combien la mise à jour a été longue et fastidieuse pour passer simplement de 170 géostandards en 1984 à 272 en 1989. Pour rendre de telles mises à jour plus fréquentes et plus faciles, nous avons converti SIGN II en une base de données sous forme d'une série de piles ("stacks") appelées "**Geostan**" à l'aide du logiciel HyperCard™, fourni gratuitement avec les micro-ordinateurs de la marque Apple Macintosh. **Geostan** a été présenté en démonstration réelle avec un Macintosh pendant le symposium international Geoanalysis 90 à Huntsville (Juin 1990, Canada) et a reçu un accueil très favorable. Les congressistes, dont la plupart ne

possèdent pas de Macintosh, ont suggéré une version pour les compatibles IBM. Une telle version pour les PCs (Windows 3) est en cours de développement. **Geostan** sera disponible pour les membres du GIT en 1992. D'autrepart, **Geostan** sera également proposé en option en complément d'un chapitre intitulé "Geostandards: Preparation and Use" dans un livre en cours de rédaction ("Handbook on the analysis geological materials", Ed: C. Riddle). Il est également envisagé d'inclure les différents rapports de compilations sur nos géostandards dans la version finale du **Geostan**. Puisqu'on parle de piles HyperCard™, ajoutons qu'un index des 15 volumes du Geostandards Newsletter (1977-1991) est prêt pour la distribution en Octobre 1991. Cette pile appelée **GNindex** permet une recherche bibliographique par plusieurs critères de selection: auteur, sujet, un mot dans le titre ou par mots clés personnalisés et enregistre les références sélectionnées sous forme un fichier texte (ASCII).

Enfin, une précision sur le mot "geostandards" Ce mot, "inventé" en 1977 pour le titre du journal Geostandards Newsletter, est maintenant devenu un synonyme de plusieurs termes utilisés auparavant tels que "étalons géochimiques", "standards géochimiques", "échantillons géochimiques de référence", "geochemical standards", "geological standards", "geochemical reference samples", "geochemical reference materials"... . D'autre part, lors du Geoanalysis 90, une journée GEOSTANDARDS a été organisée avec une présentation orale, des posters et une table ronde. Un autre exemple: une société Australienne appelée "Geomin Research" a changé son nom, en 1988, en "Australian Geostandards"!. La propagation internationale et l'acceptation générale du mot géostandards par les géochimistes démontrent l'impact international de nos efforts dans le domaine de l'étude et de la promotion des géostandards.

**Tableau 1. Geostandards Newsletter: sommaires des articles parus en 1989 (volume 13) et en 1990 (volume 14)**

- Hall, G.E.M. and Vaive, J.A. (1989)  
Determination of sulphur at low levels in standards reference materials by pyrohydrolysis/ion chromatography, **13**: 1-4.
- Govindaraju, K. and Roelandts, I. (1989)  
1988 compilation report on trace elements in six ANRT rock reference samples: Diorite DR-N, Serpentine UB-N, Bauxite BX-N, Disthene DT-N, Granite GS-N and Potash Feldspar FK-N, **13**: 5-67.
- Randle, K. and Croudace, I.W. (1989)  
Rapid non-destructive determination of fluorine in seventy-one geological and other reference samples using fast-neutron activation analysis, **13**: 69-73.
- Doff, D.H. (1989)  
Determination of bromine and iodine in four marine sediment reference samples by energy-dispersive X-ray fluorescence spectrometry, **13**: 75-77.
- Meyer, G. and Piccot, D. (1989)  
Instrumental determination of indium in geochemical reference samples by epicalcium neutron activation analysis and Ko - standardization, **13**, 79-81.
- Xie, X., Yan, M. and Wang, C. (1989)  
Geochemical standard reference samples GSD 9-12, GSS 1-8 and GSR 1-6, **13**: 83-179.
- Chan, C.C.Y. and Bina, S. (1989)  
A sensitive automated method for determination of mercury in geological materials by cold vapor atomic absorption, **13**: 181-186.
- Reay, A., Johnstone, R.D. and Kawachi, Y. (1989)  
Kaersutite, a possible international microprobe standard, **13**: 187-190.
- Govindaraju, K. (1989)  
1989 compilation of working values and sample description on 272 geostandards, *Geostandards Newsletter*, **13**: Special Issue:114p.,
- Sen Gupta J.G. and Grégoire, D.C. (1989)  
Determination of ruthenium, palladium and iridium in 27 international reference silicate and iron-formation rocks, ores and related materials by isotope dilution inductively-coupled plasma mass spectrometry, **13**: 197-204.
- Kane J.S. (1989)  
Analysis of geochemical reference materials using simultaneous multi-element atomic absorption spectrometry, **13**: 205-215.
- Gladney, E.S. and Roelandts, I. (1989)  
1988 Compilation of elemental concentration data from CCRMP soils SO-1 to SO-4, **13**: 217-268.
- Kuznetsova, A.I. and Chumakova, N.L. (1989)  
Determination of trace abundances of Ag, B, Ge, Mo, Sn, Tl and W in geochemical reference samples by atomic emission spectrography, **13**: 269-272.
- Atkin, B.P. and Harvey, P.K. (1989)  
Determination of major and trace element abundances in selected CANMET ore standards by X-ray fluorescence spectrometry, **13**: 273-275.
- Terashima, S. (1989)  
Determination of thallium in eighty-seven geochemical reference samples by atomic absorption spectrometry, **13**: 277-281.
- Norman, M.D., Leeman, W.P., Blanchard, D.P., Fitton, J.G. and James, D. (1989)  
Comparison of major and trace element analyses by ICP, XRF, INAA and ID methods, **13**: 283-290.
- Roelandts, I. (1989)  
GeostandaRef Corner. Geochemical reference sample bibliography for 1988, **13**: 291-304.
- Terashima, S., Ando, A., Okai, T., Kanai, Y., Taniguchi, M., Takizawa, F. and Itoh, S. (1990)  
Elemental concentrations in nine new GSJ rock reference samples 'sedimentary rock series', **14**: 1-5.
- Tong, C. (1990)  
Some trace element contents of three Chinese gold reference samples, **14**: 7-10.

**Tableau 1 (cont.). Geostandards Newsletter: sommaires des articles parus en 1989 (volume 13) et en 1990 (volume 14)**

Watkins, J. and Nola, J. (1990)

Determination of rare-earth elements, scandium, yttrium and hafnium in 32 geochemical reference materials using inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry, **14**: 11-20.

Gladney, E.S. and Roelandts, I. (1990)

1988 compilation of elemental concentration data for USGS geochemical exploration reference materials GXR-1 to GXR-6, **14**: 21-118.

MacRae, N.D. and Wu, T-W. (1990)

Determination of the rare earth elements in thirteen GSJ silicate rock reference samples by secondary ion mass spectrometry, **14**: 119-125.

Potts, P.J., Webb, P.C. and Watson, J.S. (1990)

Zirconium determination by ED-XRF: a critical evaluation of silicate reference materials as calibration standards, **14**: 127-136.

Roelandts, I. (1990)

Inductively coupled plasma determination of nine rare-earth elements in sixty international geochemical reference samples, **14**: 137-147.

Landsberger, S. and Bode, P. (1990)

Simultaneous determination of gallium and molybdenum in reference materials using epithermal activation analysis and a well-type germanium detector, **14**: 149-152.

Lynch, J. (1990)

Provisional elemental values for eight new geochemical lake sediment and stream sediment reference materials LKSD-1, LKSD-2, LKSD-3, LKSD-4, STSD-1, STSD-2, STSD-3 and STSD-4, **14**: 153-167.

Kane, J.S., Arbogast, B. and Leventhal, J. (1990)

Characterization of Devonian ohio shale SDO-1 as a USGS geochemical reference sample, **14**: 169-196.

Hall, G.E.M. and Pelchat, J-C. (1990)

Analysis of standard reference materials for Zr, Nb, Hf and Ta by ICP-MS after lithium metaborate fusion and cupferron separation, **14**: 197-206.

Gladney, E.S., Jones, E.A., Nickell, E.J. and Roelandts, I. (1990)

1988 compilation of elemental concentration data for USGS BCR-1, **14**: 209-369

Webb, P.C., Potts, P.J. and Watson, J.S. (1990)

Trace element analysis of geochemical reference samples by energy dispersive X-ray fluorescence spectrometry, **14**: 361-372

Gladney, E.S. and Roelandts, I. (1990)

1988 compilation of elemental concentration data for CCRMP reference rock samples SY-2, SY-3 and MRG-1, **14**: 373-458

Halicz, L. (1990)

Germanium contents of selected international geostandards by hydride generation and ICP-AES, **14**: 459-460

Bergeron, M. et Beaumier, M. (1990)

Etude de la représentativité des teneurs en platine et en iridium d'un échantillon de sédiment de ruisseau prélevé à proximité d'un gîte de Cr-EGP-Ni, **14**: 461-467

Jochum, K.P., Seufert, H.M. and Thirlwal, M.F. (1990)

Multi-element analysis of 15 international standard rocks by isotope-dilution spark source mass spectrometry, **14**: 469-473

Rantala, R.T.T. and Loring, D.H. (1990)

Determination of lithium in the NRCC marine sediments: MESS-1, BCSS-1, PACS-1 and the NIST river sediment: SRM 2704, **14**: 475-476

Kontas, E., Niskavaara, H. and Virtasalo, J. (1990)

Gold, palladium and tellurium in South African, Chinese and Japanese geological reference samples, **14**: 477-478

Bedard, L.P. and Barnes, S-J. (1990)

Instrumental neutron activation analysis by collecting only one spectrum: results for international geochemical reference samples, **14**: 479-484

Roelandts, I. (1990)

GeostandaRef Corner. Geochemical reference sample bibliography for 1989, **14**: 485-499

**Tableau 2. Deux pages extraites du numéro spécial (Juillet 1989) de Geostandards Newsletter, concernant les "étalons" du CRPG**

PAGE 06 OF APPENDIX I. REFERENCE SAMPLES: GR, GA, GH, BR, MICA Fe, MICA-Mg, DR-N, UB-N, BX-N, DT-N

Major, minor and trace elements

Note: Each sample is identified by a sample number in the first column (see Appendix III) and by a Ref. (see Appendix IV); data underlined are recommended values; Other values are proposed except those preceded by a "(" which are information values.

%	Ref.	S.name	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O+	H <sub>2</sub> O-	CO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> T	Remarks
051	70ROU1	GR	<u>65.90</u>	<u>14.75</u>	<u>1.65</u>	<u>2.16</u>	<u>0.06</u>	<u>2.40</u>	<u>2.50</u>	<u>3.80</u>	<u>4.50</u>	<u>0.65</u>	<u>0.28</u>	<u>0.70</u>	<u>0.10</u>	<u>0.26</u>	<u>4.05</u>	depleted
052	88GOV1	GA	<u>69.90</u>	<u>14.50</u>	<u>1.36</u>	<u>1.32</u>	<u>0.09</u>	<u>0.95</u>	<u>2.45</u>	<u>3.55</u>	<u>4.03</u>	<u>0.38</u>	<u>0.12</u>	<u>0.87</u>	<u>0.09</u>	<u>0.11</u>	<u>2.83</u>	
053	88GOV1	GH	<u>75.80</u>	<u>12.50</u>	<u>0.41</u>	<u>0.84</u>	<u>0.05</u>	<u>0.03</u>	<u>0.69</u>	<u>3.85</u>	<u>4.76</u>	<u>0.08</u>	<u>0.01</u>	<u>0.46</u>	<u>0.14</u>	<u>0.30</u>	<u>1.34</u>	
054	88GOV1	BR	<u>38.20</u>	<u>10.20</u>	<u>5.58</u>	<u>6.57</u>	<u>0.20</u>	<u>13.28</u>	<u>13.80</u>	<u>3.05</u>	<u>1.40</u>	<u>2.60</u>	<u>1.04</u>	<u>2.30</u>	<u>0.50</u>	<u>0.86</u>	<u>12.88</u>	
055	88GOV1	MICA-Fe	<u>34.40</u>	<u>19.50</u>	<u>4.64</u>	<u>18.91</u>	<u>0.35</u>	<u>4.55</u>	<u>0.43</u>	<u>0.30</u>	<u>8.75</u>	<u>2.50</u>	<u>0.45</u>	<u>2.91</u>	<u>0.43</u>	<u>0.19</u>	<u>25.65</u>	
056	88GOV1	MICA-Mg	<u>38.30</u>	<u>15.20</u>	<u>1.98</u>	<u>6.73</u>	<u>0.26</u>	<u>20.40</u>	<u>0.08</u>	<u>0.12</u>	<u>10.00</u>	<u>1.63</u>	<u>0.01</u>	<u>2.09</u>	<u>0.31</u>	<u>0.15</u>	<u>9.46</u>	
057	89GOV1	DR-N	<u>52.85</u>	<u>17.52</u>	<u>3.70</u>	<u>5.40</u>	<u>0.22</u>	<u>4.40</u>	<u>7.05</u>	<u>2.99</u>	<u>1.70</u>	<u>1.09</u>	<u>0.25</u>	<u>2.22</u>	<u>0.25</u>	<u>0.10</u>	<u>9.70</u>	
058	89GOV1	UB-N	<u>39.43</u>	<u>2.90</u>	<u>5.36</u>	<u>2.68</u>	<u>0.12</u>	<u>35.21</u>	<u>1.20</u>	<u>0.10</u>	<u>0.02</u>	<u>0.11</u>	<u>0.04</u>	<u>10.84</u>	<u>1.26</u>	<u>0.39</u>	<u>8.34</u>	
059	89GOV1	BX-N	<u>7.40</u>	<u>54.21</u>	<u>22.88</u>	<u>0.26</u>	<u>0.05</u>	<u>0.11</u>	<u>0.17</u>	<u>0.04</u>	<u>0.05</u>	<u>2.37</u>	<u>0.13</u>	<u>11.48</u>	<u>0.44</u>	<u>0.44</u>	<u>23.17</u>	
060	89GOV1	DT-N	<u>36.45</u>	<u>59.20</u>	<u>0.55</u>	<u>0.10</u>	<u>0.008</u>	<u>0.04</u>	<u>0.04</u>	<u>0.04</u>	<u>0.12</u>	<u>1.40</u>	<u>0.09</u>	<u>0.90</u>	<u>0.15</u>	<u>0.62</u>	<u>0.66</u>	CC <sup>org</sup> .

ppm	S.name	Ag ppb	As	Au ppb	B	Ba	Be	Bi ppb	Br	C	Cd ppb	Ce	Cl	Co	Cr	Cs	Cu	Dy	Er
051	GR				6	<u>1050</u>	<u>5.5</u>							10	110		<u>345</u>		
052	GA				26	<u>840</u>	<u>3.6</u>				130	76	250	5	12	6	16	3.3	1.9
053	GH	1.7				<u>20</u>	<u>5.5</u>				200	60	100	1	6	2.5	14	12	8
054	BR	2.5			8	<u>1050</u>	<u>1.5</u>				150	151	350	52	380	1	72	6.2	2.4
055	Mica-Fe	3				<u>150</u>	<u>4.5</u>					430	500	23	90	180	5	11	3.8
056	Mica-Mg					<u>4000</u>						<u>800</u>	<u>24</u>	<u>100</u>	<u>55</u>		4		
057	DR-N	3			14	<u>385</u>	<u>1.8</u>	--			90	46	400	35	42	6	50	4	2.5
058	UB-N	12			140	<u>30</u>	<u>0.2</u>					1	<u>800</u>	<u>100</u>	<u>2300</u>	<u>11</u>	<u>28</u>	0.38	0.28
059	BX-N	<u>120</u>				<u>34</u>	<u>5.5</u>					520	<u>35</u>	<u>290</u>		<u>18</u>			
060	DT-N					<u>130</u>						134		12	240	0.13	2		

ppm	S.name	Eu	F	Ga	Gd	Ge	Hf	Hg ppb	Ho	I ppb	In ppb	Ir ppb	La	Li	Lu	Mo	N	Nb	Nd
051	GR			20									75	55		18			
052	GA	1.08	500	16	3.8		4						40	90	0.3	1		12	27
053	GH	0.12	<u>3500</u>	<u>23</u>	<u>9.5</u>		<u>6.6</u>						25	45	1.1	2		85	22
054	BR	3.7	<u>1000</u>	<u>19</u>	<u>9.5</u>		<u>5.4</u>						82	13	0.25	2.4		98	65
055	Mica-Fe	1	<u>1.60%</u>	<u>95</u>	21		<u>26</u>						200	<u>1200</u>	<u>0.5</u>	1		270	180
056	Mica-Mg		<u>2.85%</u>	<u>21</u>										<u>110</u>				<u>120</u>	
057	DR-N	<u>1.45</u>	<u>500</u>	<u>22</u>	<u>4.7</u>		<u>3.2</u>		0.9				21	<u>40</u>	<u>0.4</u>			8	23
058	UB-N	0.08	95	3	0.3		0.1						0.5	<u>27</u>	0.04				0.6
059	BX-N	4	900	70	18		14						370	39	1.7	7.7		58	160
060	DT-N	1.4	40	30	5.5		10						90	26	0.14				50

ppm	S.name	Ni	Os	Pb	Pd ppb	Pr	Pt ppb	Rb	Re ppb	Rh ppb	Ru ppb	S	Sb	Sc	Se	Sm	Sr	Ta
051	GR	55		32				175						7			10	550
052	GA	7		30		7.3		175				80	0.2	7		5	4	310
053	GH	3		45				390				70		0.8		9	10	4.8
054	BR	260		8				47				390	0.3	25		12	2.5	1320
055	Mica-Fe	35		13		45		2200				70		14.8		33	70	5
056	Mica-Mg	110		9				1300				125		1.2		5	27	4.4
057	DR-N	15		55		5.7		73				350	0.4	28		5.3	400	0.6
058	UB-N	2000		18				5				200	0.3	13		0.2	10	
059	BX-N	190		135				10					8	60		22	14	110
060	DT-N	16		30				4.5					0.2	2.1		8.4	27	2.7

ppm	Tb	Te ppb	Th	Tl	Tm	U	V	W	Y	Yb	Zn	Zr	LOI %	sample description
051							65		19	2	60	180	0.7	70ROU1 CRPG GRANITE GR
052	0.6		17	0.008		5	38	2.2	21	2	80	150	1	88GOV1 CRPG GRANITE GA
053	1.9		87	1.8		18	5	1.6	75	8	85	150	0.7	88GOV1 CRPG GRANITE GH
054	1.25		11	0.05		2.5	235	1.3	30	1.9	160	250	3	88GOV1 CRPG BASALT BR
055	3		150	16		80	135	15	50	3.5	1300	800	2	88GOV1 CRPG BIOTITE MICA-Fe
056		1.4					90				290	20	1.75	88GOV1 CRPG PHLOGOPITE MICA-Mg
057	0.8		5			1.5	220	130	28	2.7	145	125	2.26	89GOV1 ANRT DIORITE DR-N
058	0.06		2			0.1	75	20	2.5	0.25	85	8	12.06	89GOV1 ANRT SERPENTINE UB-N
059	2.7		55			8	310	114	11	75	520	12.17	89GOV1 ANRT BAUXITE BX-N	
060	0.57		12			2.3	150	10	0.8	28	370	1.43	89GOV1 ANRT DISTHENE DT-N	

Tableau 2 (cont.). Deux pages extraites du numéro spécial (Juillet 1989) de Geostandards Newsletter, concernant les "étalons" du CRPG

PAGE 07 OF APPENDIX 1. REFERENCE SAMPLES: VS-N, GS-N, FK-N, GL-O, AN-G, BE-N, MA-N, AL-I, IF-G, AC-E

Major, minor and trace elements

Note: Each sample is identified by a sample number in the first column (see Appendix III) and by a Ref. (see Appendix IV); data underlined are recommended values; Other values are proposed except those preceded by a "(" which are information values.

%	Ref.	S.name	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O+	H <sub>2</sub> O-	CO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> T	Remarks
061	73ROC1	VS-N	55.57	13.44			0.1	4.51	4.53	5.95	8.12	1.08					4.14	
062	89GOV1	GS-N	<u>65.80</u>	<u>14.67</u>	<u>1.92</u>	<u>1.65</u>	<u>0.056</u>	<u>2.30</u>	<u>2.50</u>	<u>3.77</u>	<u>4.63</u>	<u>0.68</u>	<u>0.28</u>	<u>1.02</u>	<u>0.28</u>	0.18	<u>3.75</u>	replaces GR
063	89GOV1	FK-N	<u>65.02</u>	<u>18.61</u>	<u>0.02</u>	<u>0.06</u>	<u>0.005</u>	<u>0.01</u>	<u>0.11</u>	<u>2.58</u>	<u>12.81</u>	<u>0.02</u>	<u>0.024</u>	<u>0.32</u>	<u>0.14</u>	0.09	<u>0.09</u>	
064	76ROC1	GL-O	<u>50.90</u>	<u>7.55</u>	<u>17.17</u>	<u>2.19</u>	<u>0.008</u>	<u>4.46</u>	<u>0.96</u>	<u>0.04</u>	<u>7.95</u>	0.07	<u>0.37</u>	<u>5.58</u>	<u>2.52</u>		<u>19.60</u>	
065	80GOV1	AN-G	<u>46.30</u>	<u>29.80</u>	<u>0.87</u>	<u>2.24</u>	<u>0.04</u>	<u>1.80</u>	<u>15.90</u>	<u>1.63</u>	<u>0.13</u>	<u>0.22</u>	<u>0.01</u>	<u>0.61</u>	<u>0.11</u>	<u>0.13</u>	<u>3.36</u>	
066	80GOV1	BE-N	<u>38.20</u>	<u>10.07</u>	<u>5.34</u>	<u>6.74</u>	<u>0.20</u>	<u>13.15</u>	<u>13.87</u>	<u>3.18</u>	<u>1.39</u>	<u>2.61</u>	<u>1.05</u>	<u>2.24</u>	<u>0.50</u>	<u>0.74</u>	<u>12.84</u>	
067	80GOV1	MA-N	<u>66.60</u>	<u>17.62</u>	<u>0.13</u>	<u>0.31</u>	<u>0.04</u>	<u>0.04</u>	<u>0.59</u>	<u>5.84</u>	<u>3.18</u>	<u>0.01</u>	<u>1.39</u>	<u>1.08</u>	<u>0.21</u>	<u>0.13</u>	<u>0.47</u>	
068	84GOV1	AL-I	<u>69.34</u>	<u>18.59</u>	<u>0.03</u>	<u>0.04</u>	<u>0.004</u>	<u>0.035</u>	<u>0.384</u>	<u>10.59</u>	<u>0.14</u>	<u>0.012</u>	<u>0.038</u>	0.29	0.06	0.2	<u>0.075</u>	
069	84GOV1	IF-G	<u>41.20</u>	<u>0.15</u>	<u>37.20</u>	<u>16.78</u>	<u>0.042</u>	<u>1.89</u>	<u>1.55</u>	<u>0.032</u>	<u>0.014</u>	<u>0.014</u>	<u>0.063</u>	0.41	0.06	0.3	<u>55.85</u>	
070	87GOV1	AC-E	<u>70.35</u>	<u>14.70</u>	<u>1.34</u>	<u>1.07</u>	<u>0.058</u>	<u>0.03</u>	<u>0.34</u>	<u>6.54</u>	<u>4.49</u>	<u>0.11</u>	<u>0.014</u>	<u>0.22</u>	<u>0.15</u>	0.07	<u>2.53</u>	

ppm	S.name	Ag	As	Au	B	Ba	Be	Bi	Br	C	Cd	Ce	Cl	Co	Cr	Cs	Cu	Dy	Er
061	VS-N				300	1000		1000ppm			900ppm			700	700	900	800		
062	GS-N		1.6			<u>1400</u>	<u>5.4</u>				36	<u>135</u>	450	<u>65</u>	<u>55</u>	<u>5.7</u>	<u>20</u>	3	1.7
063	FK-N					<u>200</u>	1				18	<u>1</u>	20	<u>16</u>	<u>5</u>	<u>7</u>	<u>2</u>	0.06	0.04
064	GL-O														17		5		
065	AN-G					<u>34</u>	0.3					<u>4.7</u>	<u>300</u>	<u>25</u>	<u>50</u>	<u>0.06</u>	<u>19</u>	1.3	0.08
066	BE-N		1.7			<u>1025</u>	2					<u>152</u>	<u>300</u>	<u>61</u>	<u>360</u>	<u>0.8</u>	<u>72</u>	6.4	2.5
067	MA-N	2ppm	13		17	<u>42</u>	<u>280</u>				2ppm	1	140	1	3	<u>640</u>	<u>140</u>		
068	AL-I		0.8			<u>85</u>	2.7					21	110	1	4	<u>0.34</u>	<u>3</u>	1.4	0.59
069	IF-G		2				1.5	4.7				4		<u>22</u>	10	<u>0.06</u>	<u>13</u>	0.8	0.63
070	AC-E	100	<u>2.3</u>		<u>21</u>	<u>55</u>	<u>12</u>	400	0.5		<u>600</u>	<u>154</u>	180	<u>0.2</u>	<u>3.4</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>29</u>	<u>17.7</u>

ppm	S.name	Eu	F	Ga	Gd	Ge	Hf	Hg	Ho	I	In	Ir	La	Li	Lu	Mo	N	Nb	Nd
061	VS-N			400															
062	GS-N	<u>1.7</u>	<u>1050</u>	<u>22</u>	5.2		6.2		0.5				<u>75</u>	<u>55</u>	<u>0.22</u>	1.2		21	<u>50</u>
063	FK-N	<u>0.42</u>	30	19	0.05		0.13						1	<u>8.5</u>	<u>0.01</u>				0.3
064	GL-O														70				
065	AN-G	<u>0.37</u>	<u>120</u>	<u>18</u>	1		0.38						2	<u>13</u>	<u>0.12</u>	0.2		2	2.4
066	BE-N	<u>3.6</u>	<u>1000</u>	17	9.5		5.4		1.1				<u>82</u>	<u>12</u>	<u>0.24</u>	2.5		100	<u>70</u>
067	MA-N			<u>1.7%59</u>			4.5						0.4	4900				<u>173</u>	
068	AL-I	<u>0.19</u>	45	20	1.9		2.6		0.2				9.9	1	0.11			4	10
069	IF-G	<u>0.39</u>	50		0.74				0.2				3	1	<u>0.1</u>	1		4	2
070	AC-E	<u>2</u>	<u>2100</u>	<u>39</u>	<u>26</u>		<u>27.9</u>		<u>6.5</u>				<u>59</u>	<u>93</u>	<u>2.45</u>	<u>2.5</u>		<u>110</u>	<u>92</u>

ppm	S.name	Ni	Os	Pb	Pd	Pr	Pt	Rb	Re	Rh	Ru	S	Sb	Sc	Se	Sm	Sn	Sr	Ta
061	VS-N	800		1000				800										800	700
062	GS-N	<u>34</u>		<u>53</u>		16		<u>185</u>				140	0.4	<u>7.3</u>		<u>7.7</u>	3	<u>570</u>	<u>2.6</u>
063	FK-N	<u>3</u>		<u>240</u>				<u>860</u>				60	0.45	0.05		<u>0.06</u>		<u>39</u>	0.25
064	GL-O	36						<u>238</u>											<u>19.3</u>
065	AN-G	<u>35</u>		<u>2</u>				<u>1</u>				140	0.09	<u>10</u>		0.7	2	<u>76</u>	0.2
066	BE-N	<u>267</u>		<u>4</u>				<u>47</u>				300	0.22	<u>22</u>		<u>12</u>		<u>1370</u>	<u>5.5</u>
067	MA-N	<u>3</u>		<u>29</u>				<u>3600</u>				100	1.9	0.24			1050	<u>84</u>	290
068	AL-I	<u>3</u>		<u>4.5</u>				<u>5.8</u>				85	0.3	1.74		2.74	1	<u>80</u>	1.85
069	IF-G	<u>22.5</u>		<u>6.5</u>				<u>0.4</u>				700	0.63	0.38		0.4	0.6	<u>3</u>	0.2
070	AC-E	<u>1.5</u>		<u>39</u>		<u>22.2</u>		<u>152</u>				70	<u>0.4</u>	<u>0.11</u>		<u>24.2</u>	<u>13</u>	<u>3</u>	<u>6.4</u>

ppm	Tb	Te	Th	Tl	Tm	U	V	W	Y	Yb	Zn	Zr	LOI %	sample description
061							600							
062	<u>0.6</u>					<u>8</u>	<u>65</u>	490	19	<u>1.5</u>	<u>48</u>	<u>235</u>	1.33	73ROC1 ANRT GLASS STANDARD VS-N
063	0.01		<u>42</u>			0.13	3	120	0.3	0.04	10	13	0.6	89GOV1 ANRT GRANITE GS-N
064			0.33										8.5	76ROC1 ANRT K-FELDSPAR FK-N
065	0.2		0.04				<u>70</u>	90	<u>8</u>	<u>0.85</u>	<u>20</u>	<u>15</u>	0.65	80GOV1 ANRT GLAUCONITE GL-O
066	1.3				0.36	<u>2.4</u>	<u>235</u>	29	<u>30</u>	<u>1.8</u>	<u>120</u>	<u>265</u>	2.45	80GOV1 ANRT ANORTHOSITE AN-G
067						<u>12</u>	<u>4.6</u>	<u>70</u>	<u>1</u>	<u>220</u>	<u>27</u>	<u>27</u>	1.82	80GOV1 ANRT BASALT BE-N
068	0.3		<u>1</u>			<u>5.8</u>	5.5		<u>7</u>	<u>0.78</u>	<u>8</u>	<u>43</u>	0.4	84GOV1 ANRT GRANITE MA-N
069	0.11		<u>2.5</u>			4	220	2	0.56	<u>27</u>	<u>2.4</u>	(1.1)	0.37	84GOV1 ANRT ALBITE AL-I
070	<u>4.8</u>		<u>18.5</u>	0.9	<u>2.6</u>	<u>4.6</u>	<u>3</u>	<u>1.5</u>	<u>184</u>	<u>17.4</u>	<u>224</u>	<u>780</u>	0.37	87GOV1 ANRT IRON FORM.SAMPLE IF-G
														87GOV1 ANRT GRANITE AC-E

# **LABORATOIRE DE CHIMIE**

**MICHEL VERNET**

En s'enrichissant de nouvelles possibilités analytiques, l'arrivée fin 1990 d'un chromatographe d'ions Dionex 4500i et d'un nouveau spectromètre d'absorption atomique Perkin-Elmer, le 5100 Zeeman flamme et four graphite, le Laboratoire de Chimie voit ses deux axes privilégiés de Recherches et de développement se renforcer c'est à dire les déterminations d'anions et les déterminations d'éléments en traces par spectrométrie d'absorption atomique (SAA). Ces deux appareils apportent en commun plusieurs avantages :

- une grande sensibilité, les détections limites sont au niveau du ppb,
- possibilité d'analyser de petits échantillons, quelques milligrammes de substance suffisent,
- augmentation du nombre d'éléments susceptibles d'être déterminés.

Dans un premier temps, la chromatographie ionique nous permettra une plus grande vitesse d'exécution :

- dans l'analyse des eaux pour la détermination quasi simultanée des anions F, CL, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, et SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, et des cations Li, Na, K, Ca, Mg et NH<sub>4</sub><sup>+</sup>,
- dans les roches pour la détermination quasi-simultanée des anions F, CL, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> et PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>.

Et l'atomisation électrothermique en SAA (Four graphite) nous permettra d'augmenter notre potentiel analytique en sensibilité et en nombre d'éléments dosés.

## **Etat actuel des éléments dosés**

Voici la liste des éléments dosés en routine au Laboratoire de Chimie pour les analyses de matériaux divers et fluides naturels ou expérimentaux.

Tous les éléments habituellement à l'état de traces sont dosés à partir du ppm ou de quelques ppm.

Pour As, Li, Cs, Cd, Be, W, Mo, les dosages peuvent être effectués à partir de 0.1 ppm et 0.02 ppm pour Hg.

576 demandes de travaux, 6600 échantillons pour 21182 déterminations et 4 stagiaires pour une durée totale de 18 semaines, le Laboratoire de Chimie confirme son évolution vers le traitement de problèmes analytiques particuliers dans des matériaux divers, géologiques ou autres, et l'analyse de fluides naturels ou expérimentaux.

FeO HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (dans les eaux) H <sub>2</sub> O <sup>+</sup> (de constitution)	Volumétrie
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup> (d'humidité)	Gravimétrie
CO <sub>2</sub> total C libre + organique S total	Coulométrie
F	Potentiométrie avec électrode spécifique Chromatographie ionique
As (fortes teneurs) Si, Ti, P, Cl, B, Mo, W S total (dans les eaux)	Absorptiométrie Chromatographie ionique
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> solubles SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (dans les eaux)	Chromatographie ionique Turbidimétrie
Li, Na, K, Rb, Cs, Be, Mg, Ca, Sr, Ba, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Al, Sn, Pb, As, Hg, Ag, Si, Cd	Absorption Atomique Chromatographie ionique

#### VOLUME DES TRAVAUX POUR LES ANNÉES 1989 - 1990

Dosages partiels ou complémentaires dans les roches Eléments majeurs, mineurs et en traces				Dosages dans les fluides naturels ou expérimentaux			
Ag	19	K	182	Al	279	Pb	1
Al	172	Li	977	B	502	Rb	62
As	153	Mg	63	Ba	21	Si	509
B	275	Mn	53	Ca	446	Sn	5
Ba	149	MnO <sub>2</sub>	2	Cl	305	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	14
Be	15	Mo	130	Co	6	Sr	66
Ca	124	Na	139	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	5	Ti	18
Cd	33	Ni	156	Cr	8	V	4
Cl	569	P	59	Cs	40	Zn	58
CO <sub>2</sub> total	1218	Pb	256	Cu	7	Densité	1
C org.	291	Rb	107	F	20	pH	2
Co	126	Stotal	960	Fe	175		
Cr	186	SO <sub>3</sub> sol	2	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	7	Total	4155
Cs	147	Si	165	Hg	67		
Cu	78	Sn	989	K	216		
F	1446	Sr	78	Li	117		
Feo	1135	Ti	13	Mg	106		
Fe total	188	V	157	Mn	10		
Hg	60	W	316	Mo	38		
H <sub>2</sub> O total	124	Zn	121	Na	966		
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	663	PF	210	Ni	8		
				PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	66		
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	418		12 724				

Et 331 analyses complètes de minéraux, minerais et roches variées (13 éléments)  
**soit 21 182 déterminations**



## Matériaux analysés

**Matériaux divers** : roches carbonatées, calcaires, craies, phosphates, kaolins, basaltes, argiles, roches volcaniques, trachytes, rhyolites, amphibolites, vesuvianites, phosphorites, mylonites, réfractaires, latérites, ciments, verres, résidus d'incinération, cendres, boues de décantation, produits de corrosion, tourbes, sédiments, mâchefer, déchets de papeterie, briques.

**Minéraux silicatés ou non** : Amphiboles, spodumènes, apatites, dolomie, quartz, colémanites, barytines, célestines, gypses, kaolinites, émeraudes, béryls, biotites, muscovites, chromites, montmorillonites, feldspaths, anthophyllites, orthoses, albites, anorthites, chlorites, tourmalines, hématite, hambergite.

**Minerais** titanifères, de fer et de manganèse.

## Travaux effectués

Les travaux effectués au Laboratoire peuvent être regroupés en 4 points :

### 1. Déterminations d'anions à l'état de traces ou en fortes teneurs : As, B, Cl, F, P, Si, Mo, W

Ils représentent 25 % du volume des travaux. Les dosages de B, Cl, F, sont en augmentation constante et cette fois le fluor arrive en tête de tous les dosages pour le nombre des déterminations.

Actuellement ces éléments sont surtout déterminés par spectrophotométrie d'absorption moléculaire (SAM) sauf le fluor qui est dosé par potentiométrie avec électrode spécifique et Si et As par SAA, As avec l'analyseur de mercure/hydrures. Ces deux éléments sont parfois dosés par SAM lorsque Si est en faible teneur et As en forte teneur.

### 2. Détermination des différents états de valence ou différents composés physico-chimique, d'un même élément.

FeO, CO<sub>2</sub> total, C organique, S total, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> solubles, H<sub>2</sub>O<sup>-</sup> (d'humidité à 110°C), H<sub>2</sub>O<sup>+</sup> (de constitution à 1250°C). Pour FeO, CO<sub>2</sub> total, S total, H<sub>2</sub>O<sup>+</sup> de constitution, les quatre titrations sont automatisées.

Ces éléments ou composés représentent 27 % du volume des travaux.

### 3. Dosages d'éléments majeurs ou en traces par SAA

Actuellement 26 éléments sont dosés par cette méthode, voir tableau "Etat actuel des éléments dosés".

Ils représentent 48 % du volume des travaux et sont également en augmentation surtout pour Li, Sn, Si, Na, Ca et Pb.

Cd a été ajouté à cette liste en 1989 et le dosage de Pb en faible teneur a été amélioré. Pb et Cd en faibles teneurs (<100 ppm) sont déterminés, après une extraction des iodures par la MIBK (Méthyl-isobutylcétone) en milieu acide phosphorique, par SAA avec introduction directe du solvant dans la flamme. Les limites de détection sont de 1 ppm pour le Pb et 0,1 ppm pour le Cd. Les dosages peuvent être effectués à partir d'une fusion au métaborate de lithium ou à partir d'une attaque acide.

**4 - Une part importante de notre activité est consacrée à la recherche et à la mise au point de nouvelles méthodes de dosages, à des travaux spécifiques** pour des équipes de Recherche ou des sociétés privées, et à des **Campagnes interlaboratoires** pour l'établissement des étalons géochimiques.

**4.1** En ce qui concerne la Recherche et les mises au point, le remplacement en 1989 de notre doseur Carbone-Soufre par une version améliorée pilotée par micro-ordinateur apporte un net progrès dans l'automatisme.

- l'appareil donne les résultats calculés sur imprimante,
- la durée d'une détermination est généralement plus courte, 3 à 5 minutes pour le carbone et 5 à 8 minutes pour le soufre.
- l'appareil détermine lui-même la fin de la réaction en prenant en compte le retour à la valeur du blanc.

et nous avons vu précédemment qu'un nouvel élément, le Cadmium, avait été ajouté à notre tableau et que les déterminations de Pb pouvaient se faire désormais à partir de 1 ppm.

**4.2.** Pour les travaux spécifiques, voici quelques exemples :

Pour des Equipes de Recherche, des dosages d'éléments en traces dans des fluides naturels ou expérimentaux .Comme on peut le voir sur le tableau "**Volume des travaux**", c'est une activité en forte augmentation non seulement pour le nombre de dosages mais aussi pour le nombre d'éléments demandés.

Ce sont le plus souvent des lixiviats de fluides en inclusions dans des quartz, des fluides résultant d'études pétrologiques expérimentales et d'études de migrations d'éléments dans la cadre de la protection de l'environnement. Le volume des échantillons est presque toujours inférieur à 20 ml et les concentrations sont faibles, d'où une recherche pour accroître la sensibilité et la précision des méthodes. Les deux appareils cités au début rendront de grands services dans ce domaine.

Et pour des sociétés privées, en contrôle de fabrication ou en vue d'une valorisation, des analyses de métaux lourds tels que Sn, Pb, As, Cd, Hg sur des produits à destination industrielle, agro-alimentaire ou pharmaceutique préparés à partir de matériaux géologiques comme les carbonates, les feldspaths, les kaolins, les talcs, les barytines et les phosphates.

**4.3** Le laboratoire a participé à de nombreuses campagnes inter-laboratoires pour l'établissement des étalons géochimiques. Pour la dernière dont les résultats sont parus dans Geostandards Newsletter d'Avril 1989, Le laboratoire de chimie a fourni des résultats pour 21 éléments en traces pour l'établissement de six échantillons géochimiques de référence : Diorite DR-N,

Serpentine UB-N, Bauxite-BX-N, Disthène DT-N, Granite GS-N et feldspath potassique FK-N.

La répartition des 576 demandes de travaux s'établit ainsi :

C.R.P.G.	23 %
Autres demandeurs nanceiens (CREGU, CRVM, ENSG, Nancy I, CPB)	26 %
Autres demandeurs français (85 clients répartis dans une trentaine de villes différentes)	44 %
Demandeurs étrangers (20 clients répartis dans 9 pays différents)	7 %

## **LABORATOIRE DE RAYONS X**

**FRANÇOIS LHOTE**

Le Service d'analyse par diffraction RX continue d'accentuer ses contacts avec le secteur industriel. Cela le conduit à des études minéralogiques fines sur des produits toujours plus variés. Actuellement, ce sont les problèmes posés par les cimentiers qui nous occupent pleinement. Nous sommes également sollicités pour :

- des estimations quantitatives des phases présentes. Ce qui n'est pas sans risque, surtout lorsqu'il s'agit de matériaux argileux présentant des régularités d'empilement variables,
- préciser la qualité des produits par des tests de cristallinité le plus souvent chiffrés.

En plus, de cette forte demande extérieure, nous étudions avec notre ensemble chambre haute-température et détecteur courbe, les cinétiques d'hydratation et de déshydratation d'une montmorillonite du Wyoming. En fonction de la nature du cation positionné dans les sites octaédriques, nous mesurons, à partir des distances interréticulaires des plans (001), le nombre de couches d'eau placées en position interfoliaire.

Donc, pour une température donnée, nous examinons le nombre de couches d'eau fixées pour différentes pressions de vapeur d'eau introduites dans la chambre.

Actuellement, vu l'intérêt des premiers résultats, nous reprenons les mesures précédentes pour différentes températures de la montmorillonite homoionique afin de mieux préciser les mécanismes d'ancrage des molécules d'eau dans la structure argileuse.

*Données sur la production  
des Laboratoires d'analyses et des ateliers  
du 1er janvier 1989 au 31 décembre 1990*

<b>1 - Atelier de Broyage</b> : préparation pour analyse ou séparation de minéraux	
. Broyage	658
. Porphyrisations	2169
. Standard GA : porphyrisés	11817
 <b>2 - Atelier de Lames Mincees</b>	
. Lames minces couvertes	1092
. Lames minces polies	799
. Lames épaisses à inclusions	678
. Lames à polir	212
. Lames minces grand format	10
. Sections polies	272
. Rafrâichissements et démétallisation	102
. Dressages et polissages d'échantillons	57
. Rondelles de protection pour platine microthermométrique	135
 <b>3 - Laboratoire de Rayons X : minéralogie et textures</b>	
. Diffractogrammes	3993
. Figures de texture avec figures de pôles	80
 <b>4 - Laboratoire de Spectrochimie</b>	
. Dosages "éléments majeurs et mineurs" (27 éléments, nbr. éch.)	8457
. Dosages de terres rares (11 éléments, nbr. éch.)	6185
. Dosages de U et Th	1380
 <b>5 - Laboratoire de Chimie</b>	
. Analyses de roches, minéraux et minerais :	
analyses complètes "éléments majeurs" (13 éléments)	331
dosages partiels et complémentaires	12724
. Dosages dans les fluides naturels ou expérimentaux	4155
 <b>Total évalué en unités d'oeuvre</b>	<b>386799</b>
<b>pour mémoire</b> : évaluation pour 1988	172 302

# SERVICE ETUDES DOCUMENTAIRES ET TRAITEMENT AUTOMATIQUE

A. PLOQUIN                      Chargé de Recherche 1

G. DREUX                        Ingénieur d'Etudes 2  
E. BOYMOND                      Technicien 3

## Thésards:

S. NION                            Nouvelle Thèse, Fac. Nancy I  
(avec Pr. Haguenaer: GES)

En collaboration avec l'Université de Besançon: encadrement des travaux en géochimie:

M. LEROY                        Nouvelle Thèse, Besançon  
H. LAURENT                      Pr. Mangin , Archéologie  
M. BOUKEZOULA                "                                "  
K. DUNISKOVSKY  
B. RAISSOUNI  
A. FAIVRE

En collaboration avec l'Université de Paris I: encadrement des travaux en géochimie:

Stagiaires :                      N. DIEUDONNE -GLAD      Nouvelle thèse

A. DESMIDT                      CES (mi-temps emploi solidarité)  
D. CHAPOTOT                    DESS Informatique (Nancy I)  
P. GUNDELWEIN                DESS Informatique (Nancy I)

## **1 - Activité scientifique et prospective**

L'Equipe EDTA (Etude Documentaire et Traitement Automatique) est un service du C.R.P.G. rattaché au Service d'Analyses des Roches et des Minéraux. Il a été créé en 1969, en liaison avec le Centre de Calcul Universitaire (IUCA), pour coordonner les activités d'archivage et de valorisation de l'Information Géologique, en particulier des analyses géochimiques. En 1985, ce service est devenu autonome avec l'arrivée de l'ordinateur HP9000/500 (ENSG-CRPG). Ce service a fonctionné avec 5 techniciens et ingénieurs, chercheurs jusqu'en 1988. A partir de cette date, la moitié du personnel a été recrutée par l'INIST. Naturellement une réorganisation et une réorientation des objectifs de ce service ont été mises en place (cf. rapport activité précédent et ci-dessous).

### **1.1. Activités techniques**

Les activités techniques de ce service sont essentiellement tournées vers l'archivage, la valorisation et la diffusion de la production analytique du C.R.P.G. C'est un outil de type bibliothèque dont le contenu est constitué par de l'information numérique et factuelle. De fait, la majeure partie de l'information concerne des analyses chimiques majeures et traces, mais il serait souhaitable d'étendre la base de données aux isotopes si l'on veut disposer d'outils de base à la réalisation de synthèses à grande échelle (un projet similaire est actuellement en cours aux USA pour le Sm/Nd).

En complément à cet archivage systématique, au recueil et à la critique de l'information, une partie essentielle de l'activité de ce service est l'aide à l'exploitation d'ensemble de données à l'aide de techniques paramétriques, statistiques et cartographiques.

### **1.2. Activités scientifiques**

Les activités scientifiques de ce service sont essentiellement tournées vers la conception de bases de données, la mise au point de méthodes de traitement et de valorisation de ces données. Un domaine récent actuellement en développement concerne l'archéométrie et l'étude des déchets industriels.

#### **Base de données:**

Une partie de notre activité scientifique concerne la conception de structures d'information adaptées aux problèmes rencontrés en géologie. L'analyse et la conception de tels outils est en soi une activité scientifique (science cognitive) dont le but est de traduire et organiser les concepts géologiques en un langage compréhensible et véhiculable par un ordinateur. Les bases de données qui en résultent ont été essentiellement développées autour de logiciels hiérarchiques tels que Image (HP). Nous nous orientons maintenant vers des bases de données de type relationnel qui fournissent des structures d'information plus adaptées (Paradox sur PC ou prochainement Informix sur Station de travail Unix).

Dans ce cadre, notre service participe activement, avec l'appui du PICG 269 et de l'UNESCO, à un groupe de travail International sur la réalisation d'une base de données sédimentaire SEDBA. Plusieurs pays participent à ce projet à savoir Japon, USA, Australie, Inde, Chine, Europe (GB, RFA, CH, F). Le deuxième colloque a été organisé à Nancy en 1989 ainsi qu'une réunion intermédiaire en 1990. Le manuel du prototype a été conçu et rédigé en grande partie à Nancy compte tenu de notre expérience antérieure dans ce domaine (édition à 1000 exemplaires dont 500 au Japon), sortie début 1991.

### **Développement des méthodes de traitement:**

Une base de données sans exploitation est semblable à une bibliothèque sans lecteur. C'est pourquoi nous nous sommes toujours efforcés de développer des outils et méthodes de traitement de données orientées vers les applications. Pour ce faire, un certain nombre de logiciels ont été développés essentiellement autour de méthodes statistiques, paramétriques et cartographiques. Ainsi, ce service a contribué à l'exploitation des données de nombreuses thèses [en moyenne 150 dossiers / an avant 1989 (cf. rapports d'activité précédents)]. Cette activité s'est réduite depuis (maintenant environ 60 à 90/an) compte tenu du départ de personnel et du développement de la micro informatique personnalisée. Néanmoins la demande extérieure reste importante ( ex début 91: Brésil, Inde, Chine, Univ. Lille, BRGM, Orsay, ORSTOM, CREGU,...).

Compte tenu de l'évolution de la demande, nous avons mis en place une procédure de diffusion de données sur disquettes compatibles avec la plupart des micro-ordinateurs.

### **Archéométrie et étude de déchets industriels**

Une politique d'ouverture des Sciences Humaines vers les Sciences Fondamentales a été mise en place vers les années 1985. Dans ce cadre et compte tenu des compétences acquises en matière d'exploitation des données géochimiques (paramètres, statistiques,...), l'EDTA a été sollicité par la communauté archéologique (Mines et Métallurgie). Une collaboration nationale en paléo-sidérurgie s'est développée depuis 1987 entre différents laboratoires et équipes de recherches.

Les méthodes de traitement des données géochimiques utilisées en géologie ont été adaptées et transférées aux problèmes de ces matériaux artificiels. De nouvelles méthodes sont en cours de mise au point et se montrent particulièrement efficaces pour l'étude de ce type de déchets pré-industriels. Une extension de cette méthodologie à des déchets modernes peut être envisagée.

Un colloque International UISPP comité "paléométaballurgie" a été organisé pour la première fois en France en 1990 à Sévenans.

Cette activité a reçu de nombreux soutiens financiers (DBMIST, ATP Archéologie métropolitaine, MRT, AFAN, Ministère des Affaires Culturelles, Régions: Bourgogne, Lorraine, Languedoc, Franche-Comté). Par ailleurs, cette nouvelle activité scientifique a récemment été encouragée par la



dont le directeur a été recruté par la commission 14 (SPI) sur demande de la commission 40 (SHS). Un d'entre nous a été sollicité pour organiser et participer à l'enseignement d'un nouveau DESS en archéométrie à Dijon.

### **1.3 Activités de Valorisation de la Recherche - Relations avec l'Industrie**

L'EDTA entretient depuis plus de 10 ans des liens avec l'Industrie et plus particulièrement les Services Géologiques, dernièrement l'IGME (Grèce), BRGM, IGME (Espagne), COGEMA, ORSTOM, CREGU,...

### **1.4 Relations internationales et locales**

L'EDTA a participé à l'organisation de Colloques Internationaux sur les Bases de Données (SEDBA Nancy, 1989 et 1990; UISPP Sevenans, 1990). Il participe régulièrement aux colloques IGBA, 1988, 1990 et UISPP.

Sur le plan local, différentes collaborations scientifiques ont été entreprises dans le cadre des grandes synthèses géologiques, comme par exemple avec le CREGU (Cuney, Girard) en géochimie (J.M. Stussi, F. Debon), J. Desmond). Ces collaborations seront maintenues à l'avenir dans la mesure du possible, en particulier si un potentiel minimum en ressources humaines est préservé, avec :

Un projet de collaboration avec Usinor Sacilor est à l'étude pour le financement d'une thèse. Dans le cadre du projet "Archéométrie", nous collaborons essentiellement avec:

- le Laboratoire d'Archéologie des métaux (Musée du Fer, Nancy Jarville)
- l'Université de Besançon (Pr. Mangin)
- l'Université de Paris I (Pr Benoît)
- l'Université de Compiègne Sevenans (Pr. Guillot et Dr. Fluzin)
- l'Université de Toulouse (Pr. Domergues)
- l'Université de Friburg (RFA) (Dr. Goldenberg)
- l'Université de Lausanne (Suisse) (Dr. Sernels)
- l'Université de Mayence (RFA) (Pr. Keesman)

## **2 - Contrats**

Les moyens de l'EDTA sont en partie autofinancés par des contrats de recherche publics [ATP, DBMIST, Régions, AFAN]. Ces moyens sont pour l'essentiel utilisés pour la jouvence du matériel [acquisition d'une station de travail HP, d'un micro type IBM PC et logiciels sur fonds propres] et des frais de personnels [vacations, prestations].

1 - DBMIST 1986-87: Développement d'une base de données en Archéométrie

2 - DBMIST 1988-89: Développement et exploitation d'une base de données en Archéométrie (suite)

3 - BRGM 1989: Synthèse Pyrénées plutonisme (en coll. Debon)

4 - AFAN et Régions 1988-90: Diverses actions ponctuelles sur l'analyse et le traitement des données de scories.

5 - ATP 1987 et 1989: "Archéologie métropolitaine"

## *Publications réalisées en collaboration ou avec le concours de l'EDTA*

Publications de la période du 1er janvier 1989 au 31 décembre 1990 et dont les auteurs ont communiqué les références en temps utile. Cette liste est très incomplète (cf. liste des utilisateurs 1988 dans le précédent rapport p. XXXI). Les données chimiques correspondantes sont stockées dans la base de données.

### **Publications**

- MANGIN M. (1988) - Les Mines et le Métallurgie du feu en Gaule romaine : travaux et recherches. *Latomus*, XLVII, 1, 74-89.
- FORRIERES C. & REMY J.L. (1989) - Des études de paléométallurgie du Fer en France. *Culture et Recherche*, Ministère de la Culture, Paris, n° 19, mars 1989, 4-5.
- FORRIERES C., LEROY M. & PLOQUIN A. (1989) - La métallurgie du fer à Ludres en Lorraine: données archéométriques des conditions de réduction d'un bas-fourneau. *Int. Symp. of the "Comité pour la sidérurgie ancienne de l'UISPP"*. Liblice Prague, 5-7 oct. 1987, R. PLEINER, 253-277.
- MANGIN M. (1989) - La production du fer en France avant le haut-fourneau : présentation sommaire des recherches récentes et en cours. *Int. Symp. of the "Comité pour la Sidérurgie Ancienne de l'UISPP"*, Liblice, Prague, 5-7 oct. 1987, R. PLEINER ed., 239-252.
- LEDRU P. & PLOQUIN A. (1989) - Où sont les nappes dans le Massif Central français. *Bull. Soc. géol. Fr.*, 8, V, 3, 605-618.
- LAGADEC J.P., DUVAL P., EVEILLARD J., LEROY M. & PLOQUIN A. (1989) - Bilan de sept campagnes de fouilles à la cité d'Afrique de Messein (1981-1987). *Rev. Archéol. de l'Est et du Centre-Est*, 40, 2.
- MANGIN M. (1989) - La Sidérurgie ancienne dans l'Est de la France : recherches en cours (1981-1989). *Int. Symp. on Archaeometallurgy, Ameliowka, Krakow, 1989*.
- STUSSI J.M., PLOQUIN A., AUTRAN A. & ORSINI J.B. (1989) - Chronologie et typologie du plutonisme calédono-varisque en France. In: *L'orogène Calédonien PICG projet n° 27, le Maroc et l'orogène paléozoïque*, Symp. Rabat, août-sept. 1983, *Notes et Mém. Serv. géol. Maroc*, n° 335, 161-174.
- DESMONS J. & PLOQUIN A. (1990) - Chimisme du Briançonnais - Grand Saint-Bernard anté-mésozoïque (Alpes occidentales): une vue synoptique. *Géol. alpine*, t. 65, 1-44.
- BOUKEZZOULA M., LAURENT H., MANGIN M., RAISSOUNI B. & PLOQUIN A. (1990) - Le fer en Franche-Comté aux époques romaine et médiévale : état des recherches archéologiques 1983-1987, 51-86. In J.P. Jacob & M. Mangin dir.: *De la mine à la forge en Franche-Comté. Des origines au XIXè*. Ann. Litt. Univ. Besançon, 410, 316 p.
- LEROY M., FORRIERES C. & PLOQUIN A. (1990) - Un site de production sidérurgique du haut Moyen Age en Lorraine. *Archéol. médiévale*, XX, éd. C.N.R.S., 141-179.
- LEROY M., FORRIÈRES C., GIRARD G. & PLOQUIN A. (1990) - Contribution à l'étude de la sidérurgie antique: un atelier en milieu urbain à Metz (Arsenal Ney). *Rev. Archéol. de l'Est*, CNRS ed., vol. 41, 281-300.
- PLOQUIN A. & BAILLY-MAITRE M.C. (1990) - Un exemple d'expérimentation cistercienne à propos de la métallurgie du fer au XIIIè siècle. In FIXOT M. et PELLETIER J.P. *Bâtiments d'accueil et métallurgie aux Abbayes de Silvacane et du Thoronet*. *Archéol. médiévale*, XX, 181-252.
- CAMBON R., CUNEY M., MOLINA P., STUSSI J.M. & VIRLOGEUX D. (1990) - Notice explicative des cartes géologique et géochimique des granitoïdes du Millevaches (Massif Central français). Rapport inédit, C.E.A - Direction de l'Approvisionnement en Matières Nucléaires, Saclay, déc. 1990.

## Thèses

- BROUAND M. (1989) - Pétrogenèse des migmatites de la Dalle du Tibet (Himalaya du Népal). Thèse de l'I.N.P.L., Nancy, 224 p., juin 1989.
- MORTADJI A. (1989) - La boutonnière précambrienne de Tagragra d'Akka (Anti-Atlas occidental, Maroc). Pétrologie et géochimie des granitoïdes, filons basiques et métamorphites associées. Thèse Univ. Nancy I, 210 p., déc. 1989.
- ROMANO A.W. (1989) - Evolution tectonique de la région nord-ouest du quadrilatère ferrifère - Minas Gerais - Brésil. (Géochronologie du socle - aspects géochimiques et pétrographiques des supergroupes Rio Das Velhas et Minas). Univ. Nancy I, U.E.R. Géosci. et Matériaux, Labo. Pétrol., CNRS-CRPG, 12 oct. 1989.
- SANTARELLI N. (1989) - Evolution structurale et métamorphique du socle précambrien de la Chaîne Calédonienne Scandinave dans le Nord-Oppland, Norvège. Thèse d'Etat, 12.06.1989, Université de Paris VII.
- ANDRIEUX Ph. (1990) - Prolégomènes à une étude traceologique sur les structures d'élaboration thermique et les parois argilo-sableuses. Application à la paléométallurgie du fer. Thèse 3è cycle, nov. 1990, Univ. Besançon, 1 vol. texte 130 p., 2 vol. annexes 468 p.
- ESSOMBA J.M. (1990) - La métallurgie du fer au Cameroun. Univ. de Yaoundé.
- FOUGNOT J. (1990) - Le magmatisme miocène du littoral Nord-Constantinois (Algérie): caractères, origine, signification. Doct. INPL, Nancy.
- GIBERT P. (1990) - Les minéralisations à W, Sn et Au de la région nord de Bagnères-de-Luchon (Pyrénées centrales). Etude structurale, minéralogique et géochimique. Doct. Univ. Paul Sabatier, Toulouse, 293 p.
- SIMOS E.S. (1990) - Géologie et géochimie des indices aurifères de la région de Stanos, Grèce septentrionale. Thèse I.N.P.L., Nancy, 28 mai 1990.
- DIEUDONNÉ-GLAD N. (1991) - La métallurgie du fer chez les Bituriges à l'époque gallo-romaine. Univ. Paris I.

## D.E.A.

- HAUSS-STECK C. (1989) - La sidérurgie à Minot. Univ. Paris I.
- NION S. (1989) - SEDBA, une proposition de base de données appliquée à la sédimentologie. D.E.A. Univ. Nancy I et I.N.P.L.

## Maîtrise

- SPORTES N. (1990) - Domaine boisé, droits d'usage et exploitation du fer en Forêt d'Othe, l'exemple des abbayes cisterciennes de Pontigny et de Vauluisant, d'après les cartulaires et les données archéologiques (XIIè-XIVè siècles). Univ. Paris I.

## Résumés publiés de communications

- STUSSI JM (1989). Granite magma chemistry and related mineralizations in the European Variscan. *Fifth Meeting of European Union of Geosciences (EUG V), 20-23 mars, Strasbourg*. Terra Abstracts, 1, 1, p.127.
- CUNEY M. & SABATÉ P. - The peraluminous magmatism of the Jacobina-Contendas Mirente belt (Bahia, Brazil): a signature of an early proterozoic continental collision. *Fifth Meeting of European Union of Geosciences (EUG V), 20-23 mars, Strasbourg*. Terra Abstracts, 1, 1, p. 181.
- PLOQUIN A, MEYER R, NION S (1989). Towards an international Data Base in sedimentary petrology. *Fifth Meeting of European Union of Geosciences (EUG V), 20-23 mars, Strasbourg*. Terra Abstracts, 1, 1, p. 411.
- PLOQUIN A, NIONS S (1990). Sedba, un projet de base de données internationale dévolue aux sédiments. *13è Réunion des sciences de la Terre, Grenoble*, p. 103.

## Documents EDTA

- PLOQUIN A. & NIONS S - Coding forms, a proposal following the conclusions of the second SEDBA meeting held at Nancy, France. oct. 1989 (tirage offset, épuisé, en refonte).
- PLOQUIN A., REMY J.L. & FORRIERES C. (1989) - Développement d'une base de données archéométriques. Chimie des déchets de la paléonmétallurgie du fer (minerais, scories et produits associés). Catalogue des analyses, 1ère éd., mai 1989, Doc. CRPG-EDTA, disponible sur papier ou sur disquette.
- DEBON F., DREUX G. & BOYMOND E. (1989) - Composition chimique et nomenclature de 115 couples "enclave microgrenue - matrice plutonique". Doc. CRPG-EDTA, disponible sur disquette (cf. DIDIER ET BARBARIN, Enclaves and granite petrology, à paraître).
- DEBON F., ENRIQUE P., DREUX G. BOYMOND E. & DESMIDT A. (1990) - Composition chimique et nomenclature de 1726 roches plutoniques et filoniennes hercyniennes des Pyrénées. Doc. CRPG-EDTA, disponible sur disquette (cf. BRGM et ITGE, Synthèse géologique et géophysique des Pyrénées, à paraître).

# ÉQUIPE CARACTÉRISATION DES MATÉRIAUX ET DES PROCESSUS. BANQUE DE DONNÉES GÉOCHIMIQUES

A. PLOQUIN  
F. DEBON

Chargé de Recherche 1  
Chargé de Recherche 1

Animateur

Thésards :

BANZET G.

## Liste et Résumés des Publications

BOUKEZZOULA M, LAURENT H, MANGIN M, RAISSOUNI B, PLOQUIN A (1990). Le fer en Franche-Comté aux époques romaine et médiévale : état des recherches archéologiques 1983-1987. In: De la mine à la forge en Franche-Comté. Des origines au XIXe, JP Jacob (Ed.), M Mangin (Ed.), Ann. Litt. Univ. Besançon, 410, 51-86.

\*\*\*\*\*

FORRIERES C, LEROY M, PLOQUIN A (1989). La métallurgie du fer à Ludres en Lorraine : données archéométriques des conditions de réduction d'un bas-fourneau. Int. Symp. "Comité pour la sidérurgie ancienne de l'UISPP", Liblice, 5-7 oct. 1987, R. Pleiner (Ed.), 253-277.

\*\*\*\*\*

Revue Archéologique de l'Est et du Centre-Est, 1989, t.40, fasc.2.

### BILAN DE SEPT CAMPAGNES DE FOUILLES A LA CITÉ D'AFFRIQUE DE MESSEIN (1981-1987)

par Jean-Paul LAGADEC, Patrick DUVAL, James EVEILLARD, Marc LEROY, Alain PLOQUIN

*Résumé.* — Les fouilles effectuées de 1981 à 1987 à la Cité d'Affrique de Messein, habitat fortifié de hauteur situé à proximité du confluent de la Moselle et du Madon, ont porté à la fois sur l'architecture du rempart intérieur de la fortification et sur les niveaux d'occupation.

La coupe du rempart a révélé la présence de deux noyaux calcinés bien distincts, édifiés intentionnellement dans des fours à chaux rudimentaires. Après avoir mis en évidence l'existence d'habitats permanents au pied des fortifications, l'étude se consacre plus particulièrement au petit mobilier de métal, de lignite, verre, céramique, etc. Incluant le matériel des fouilles anciennes de Beaupré et de collections particulières, elle permet de situer l'occupation du site au Hallstatt D 3 (contemporain de La Tène 1 a) et à la Tène 1 b, et d'établir de multiples comparaisons avec le mobilier des phases récentes de La Heuneburg. L'étude de la faune, la présence de meules à grains et l'abondance de la céramique permettent une approche de l'économie de subsistance. Enfin l'examen de plusieurs outils et de vestiges du travail du bronze et du fer permet d'aborder le rôle économique et politique de cette forteresse située sur l'axe Rhin-Moselle et Saône-Rhône et à proximité d'importantes sources salées.

*Zusammenfassung.* — Die Ausgrabungen des « Affriquer » Siedlung von Messein sind von 1981 bis 1987 veranstaltet worden. Diese Siedlung ist ein befestigter Wohnort in der Höhe, unweit von der Flusservereinigung der Mosel und des Madon. Während der Ausgrabungen haben wir uns zugleich an die Architektur der inneren Schutzwehr der Befestigung und an die verschiedenen Bewohnerschichten interessiert. Der Querschnitt der Schutzwehr hat zwei deutliche ausgefüllte Herne, die gewillt in rudimentären Kalköfen gebaut worden sind. Nachdem sie das Vorhandensein am Fuss der Schutzwehr liegender dauernder Wohnorten anschaulich gemacht hat, hat die Studie besondere kleine Mobilien aus Metal, Glas, Keramik und Braunkohle gezeigt.

Indem sie Material aus früheren Ausgrabungen von Beaupré und aus persönlichen Sammlungen einschliesst, lässt die Studie folgendes schliessen. Die Lage ist während der Epoche « Hallstatt D. 3 » (gleichzeitig mit « Tène 1 a ») und « Tène 1 b » besetzt worden. Manche Vergleichen werden deswegen mit den Mobilien der neuesten Phasen von der « Heuneburg » möglich. Die Erforschung der Tierresten, die Anwesenheit von Mühlsteine und Keramik (in Überfülle), lassen uns an eine Art Lebensunterhalt denken. Die Untersuchung mehrerer Werkzeuge und Bronzearbeitsüberreste lässt die wirtschaftliche und politische Rolle dieser Festung, die auf den Axen « Mosel-Rhein » und « Saône-Rhône » und in der Nähe wichtiger Salzquellen lag, erraten.

\*\*\*\*\*

LEROY M., FORRIERES C, PLOQUIN A (1990). Un site de production sidérurgique du haut Moyen Age en Lorraine. Archéologie Médiévale, XX, 141-179.

\*\*\*\*\*

PLOQUIN A, BAILLY-MAITRE MC (1990). Un exemple d'expérimentation cistercienne à propos de la métallurgie du fer au XIII<sup>e</sup> siècle. In : Bâtiments d'accueil et métallurgie aux abbayes de Silvacane et du Thoronet, M Fixot (Ed.), JP Pelletier (Ed.). Archéologie médiévale, tome XX, 217-252.

## Où sont les nappes dans le Massif central français ?

par PATRICK LEDRU\*, JEAN-MARC LARDEAUX\*\*, DANIELLE SANTALLIER\*\*\*, ALBERT AUTRAN\*,  
JEAN-MICHEL QUENARDEL\*\*\*\*, JEAN-PIERRE FLOCH\*\*\*\*\*, GILLES LEROUGE\*\*\*\*\*, NATHALIE MAILLET\*\*\*,  
JACQUES MARCHAND\*\*\*\*\* et ALAIN PLOQUIN\*\*\*\*\*.

*Mots clés* — Unités tectoniques, Nappes, Métamorphisme, Lithologie, Orogenèse varisque, France, Massif central.

*Résumé* — Les nappes varisques du Massif central français résultent d'une tectonique collisionnelle dont les effets se sont succédés durant plus de 100 Ma. Les connaissances acquises ces dernières années permettent de contraindre les reconstitutions de l'évolution tectonique des différentes unités géologiques en positionnant les surfaces de base des nappes et en proposant de nouvelles corrélations.

Quatre périodes orogéniques sont définies : période éo-varisque (450-400 Ma) d'enfouissement de croûte océanique et continentale, période médio-varisque (400-340 Ma) de collision continent-continente et de mise en place des nappes principales, périodes néo-varisques comprenant un stade néo-varisque 1 (350-320 Ma) et un stade néo-varisque 2 (330-280 Ma) de réactivation de la chaîne suivant des chevauchements et de grands décrochements crustaux.

Les nappes sont géométriquement empilées avec de bas en haut : (1) les unités supérieures épizonales d'extension géographique limitée aux zones périphériques, (2) l'unité supérieure des gneiss qui présente les traces les plus marquées de la période éo-varisque, (3) l'unité inférieure des gneiss bien caractérisée de son sommet à sa base dans le Limousin, (4) les complexes autochtones relatifs à dominante micaschisteuse et constituant apparemment la marge continentale sur laquelle se sont mises en place les nappes lors de l'évolution dévonienne. Ces complexes sont toutefois eux-même impliqués dans une tectonique tangentielle carbonifère sur (5) les unités méridionales paléozoïques.

En conclusion l'édification de la chaîne varisque ne peut s'expliquer par la mise en place d'un seul chevauchement. Les cinématiques successives, les chemins métamorphiques, les zones racines des nappes, l'orientation des zones limites de plaque aux différentes époques ne peuvent être déduits de l'application de la modélisation actuelle de l'Himalaya.

### Where are the nappes in the French Massif central?

*Key words* — Tectonic units Nappes, Metamorphism, Lithology, Variscan orogenesis, France, Massif central.

*Abstract* — The Variscan nappes of the French Massif central are the result of collision tectonics whose effects lasted during more than 100 Ma. The data collected during recent years constrain the tectonic evolution of the different geological units, by the location of the main basal surfaces of the nappes and by the proposal of new correlations.

Four orogenic periods can be distinguished: early-Variscan period (450-400 Ma) with subduction of oceanic and continental crust, medio-Variscan period (400-340 Ma) of continent-continent collision and of major nappe emplacement, neo-Variscan stage 1 (350-320 Ma) and a neo-Variscan stage 2 (330-280 Ma) of crustal reactivation along thrusts and large transcurrent shear zones.

The nappes are geometrically stacked and five main units are distinguished from top to bottom: (1) the upper epizonal units geographically restricted to peripheral zones, (2) the Upper Gneissic Unit which has been most strongly affected by the early-Variscan period, (3) the Lower Gneissic Unit well defined in Limousin, (4) relatively autochthonous complexes composed mainly of micaschists and apparently constituting a stable continental zone on which the nappes were emplaced during the Devonian. These complexes are themselves involved in Carboniferous tangential tectonics and thrust over (5) the southern Palaeozoic units.

In conclusion, the Variscan tectonic evolution of the Massif central cannot be related to the emplacement of a single thrust sheet. The successive kinematics, the metamorphic paths, the root zones of the nappes, the orientations of the plate boundaries during the different periods cannot be deduced by the application of the current Himalayan model.

\*\*\*\*\*

Revue Archéologique de l'Est, 1990, 41, 281-300.

## CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DE LA SIDÉRURGIE ANTIQUE : un atelier en milieu urbain à Metz (Arsenal Ney)

par Marc LEROY\*

avec la collaboration de Claude FORRIERES\*\*, Ghyslaine GIRARD\* et Alain PLOQUIN\*\*\*

*Résumé* — De récentes fouilles effectuées dans l'ancien quartier de la Citadelle à Metz, ont permis de reconnaître un atelier de métallurgie du fer (avec des traces de travail du bronze), datable de la seconde moitié du III<sup>e</sup> siècle. Son emplacement dans un quartier résidentiel au I<sup>e</sup> siècle, et à peu de distance du cœur de la cité, nous a poussés à déterminer quelles étapes de la chaîne opératoire y étaient représentées. L'analyse chimique d'un lot représentatif de scories montre que la réduction du minerai était probablement réalisée sur place. Un fragment de loupe brute, contenant du métal bien carburé, y a été recueilli. Certaines couches riches en géodes vitreuses et en battitures prouvent aussi que toute la chaîne de fabrication était présente.

L'étude de tous ces déchets métallurgiques apparaît incontournable pour comprendre les techniques mises en œuvre, car les vestiges des structures de travail ne semblent pas pouvoir livrer des informations suffisamment objectives en raison de leur état de dégradation important. C'est précisément sur ce thème que se développe une recherche interrégionale regroupée autour des moyens analytiques du Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques de Nancy.

*Zusammenfassung* — Neuere Ausgrabungen, die im alten Citadelle-Stadtviertel im Metz gemacht wurden, erlaubten eine Eisenbearbeitungswerkstatt mit Spuren von Bronzearbeit zu erkennen, die aus dem 2. Hälfte des 3. Jhdts stammt. Sie wurde in einem Wohnviertel des 2. Jhdts, unweit vom Stadtzentrum eingerichtet. Deshalb versuchten wir zu bestimmen, welche Stufen der Bearbeitung dort durchgeführt wurden. Die chemische Analyse einer repräsentativen Schlakenauswahl zeigt, daß die Reduktion des Erzes wahrscheinlich am Ort gemacht wurde. Ein Fragment einer unbearbeiteten Loupe, die aus kohlenstoffhaltigen Metall bestand, und einige Schichten mit glasartigen Geoden, lassen auch alle Stufen der Bearbeitung erkennen.

Es scheint notwendig sein, alle diese Metallabfälle zu untersuchen, weil die Reste der Arbeitsstrukturen nicht gut genug erhalten sind, um genaue Angaben zu liefern. Dies ist das Thema eines interregionalen Untersuchungsprogramms, das sich um dem Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques in Nancy entwickelt, das die Analysemöglichkeiten besitzt.



## Résumés publiés de Communications

**PLOQUIN A, MEYER R, NION S (1989).** Towards an international Data Base in sedimentary petrology. *Fifth Meeting of European Union of Geosciences (EUG V), 20-23 mars, Strasbourg.* Terra Abstracts, 1, 1, p. 411.

The new IGCP project SEDBA is devoted to the creating of a DB on sediments. The First International Meeting was held at Nara University (Japan) in 1988. We make here a tentative proposal for collecting data.

The ultimate purpose is not the storage, but the future uses by geologists; e.g. balances, statistical studies, references for comparisons between sedimentary series and first rate help for the studies of metamorphic series. ...

The sample (= hand specimen, rather homogeneous) is the logical unit; but we have to keep in mind that the description of a sedimentological environment needs a set of samples. We want to develop more petrographical and sedimentological aspects than in the main living geochemical DB (IGBA, PETROS, OPHRA, ARTEMISE, ...).

A header sheet have to identify the sample and its outcrop, to give the main descriptive characters and to orientate towards specific data sheets. These sheets are used for detailed descriptions and analytical data, following a thematic division. These divisions (e.g. siliciclastics, pyroclastics, carbonates and evaporites, iron or phosphate deposits, coal, ...) do not involve a partition into several DB but is a way to reduce the coding form for each sample.

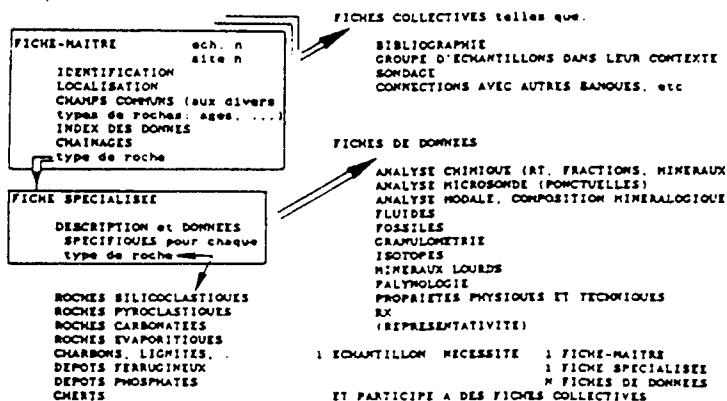
In a second phase, we will improve the system and take into account the sedimentological point of view: -define the position of the sample in its own environment at several scales (from the sequence to the basin) -link the samples which are contributing to the characterization of a same environment.

Good choices for defining the coding form and the critical mass of data should be the target in a near future; it needs a large collaboration inside the geology community.

\*\*\*\*\*

**PLOQUIN A, NIONS S (1990).** Sedba, un projet de base de données internationale dévolue aux sédiments. *13è Réunion des sciences de la Terre, Grenoble, p. 103.*

A la suite de la 2<sup>de</sup> réunion du nouveau PICG, n°269, le groupe de travail français a été chargé de la mise au point du projet de feuilles de collecte de données et d'une préfiguration sur micro-ordinateur.



# ÉQUIPE

## DÉFORMATION ET MÉTAMORPHISME

J.M. BERTRAND  
A.M. BOULLIER  
J. DESMONS  
J. LETERRIER  
J. MACAUDIERE

Directeur de Recherche 2  
Chargée de Recherche 1  
Chargée de Recherche 1  
Chargé de Recherche 1  
Maître de Conférence, ENSG

Animateur

### Chercheurs associés et post-doc

ROBERT F.                      Geological Survey of Canada

### Thésards :

BRIEDJ M.  
CHAMPENOIS M.  
DIAS G.  
HOXHA M.  
ROMANO A.  
SA J.

### DEA :

AILLERES L.  
FIRDAOUS K.  
MANAC'H G.

### Stagiaires

GALINDO A.C.                      Université du Para-Brazil

## Liste et Résumés des Publications

Comptes Rendus de l'Académie des Sciences (Paris), 1989, t. 309, série II, 751-756.

### Réflexions sur la structure interne du craton Ouest-Africain au Sénégal oriental et confins guinéo-maliens

Jean-Michel BERTRAND, Abdoulaye DIA, Edmond DIOH et Jean-Pierre BASSOT

*Résumé* – Les trois supergroupes précédemment définis au Sénégal oriental (Mako, Dialé et Daléma) apparaissent tous constitués par plusieurs ensembles lithologiques certains étant polyphasés, d'autres monophasés. Pour la phase la plus précoce définie dans le domaine Mako, où dominent les volcanites basiques et les complexes ultra-basiques, on envisage l'hypothèse d'une obduction vers le NW, sur un craton archéen actuellement masqué, contrôlée par un coulissage sénestre le long du bord nord du craton archéen de Man.

#### On the structure of the southwestern part of the West African Craton (Senegal, Mali and Guinea)

*Abstract* – The Mako, Dialé and Daléma supergroups previously defined in eastern Senegal appear to be comprised of several rock assemblages, some polyphased, others monophased. The earliest event occurring in the westernmost Mako domain, mainly constituted of mafic and ultramafic tholeiitic volcanics and associated intrusives, is assumed to have resulted from a NW-verging obduction controlled by a sinistral strike-slip along the northern edge of the Man Archaean Craton.

Canadian Journal of Earth Sciences, 1990, 27, 1382-1393.

### Where are the Eburnian–Transamazonian collisional belts?<sup>1</sup>

JEAN MICHEL BERTRAND

Centre de recherches pétrographiques et géochimiques, B.P. 20, 54501 Vandœuvre-les-Nancy CEDEX, France

AND

EMMANUEL FERRAZ JARDIM DE SÁ

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Geologia, Campus Universitário, UFRN 59072, Natal, Brasil

Received January 13, 1990

Revision accepted June 28, 1990

The reconstruction of Early Proterozoic crustal evolution and geodynamic environments, in Africa and South America, is incomplete if cratonic areas alone are studied. If the presence of high-grade gneisses is considered as a first clue to past collisional behaviour, 2 Ga high-grade gneisses are more abundant within the Pan-African–Brasiliano mobile belts than in the intervening pre-Late Proterozoic cratons. The West African craton and the Guiana–Amazonia craton consist of relatively small Archaean nuclei and widespread low- to medium-grade volcanic and volcanoclastic formations intruded by Early Proterozoic granites. By contrast, 2 Ga granulitic assemblages and (or) nappes and syntectonic granites are known in several areas within the Pan-African–Brasiliano belts of Hoggar–Iforas–Air, Nigeria, Cameroon, and northeast Brazil. Nappe tectonics have been also described in the Congo–Chaillu craton, and Early Proterozoic reworking of older granulites may have occurred in the São Francisco craton. The location of the Pan-African–Brasiliano orogenic belts is probably controlled by preexisting major structures inherited from the Early Proterozoic. High-grade, lower crustal assemblages 2 Ga old have been uplifted or overthrust and now form polycyclic domains in these younger orogenic belts, though rarely in the cratons themselves. The Congo–Chaillu and perhaps the São Francisco craton are exceptional in showing controversial evidence of collisional Eburnian–Transamazonian assemblages undisturbed during Late Proterozoic time.

La reconstitution de l'évolution crustale et des environnements géodynamiques au Protérozoïque précoce dans l'Afrique et l'Amérique du sud est incomplète lorsque seuls les cratons sont pris en compte. Si on considère la présence de gneiss de haut degré de métamorphisme comme un premier indice d'une collision passée, on connaît plus de roches de ce type âgées de 2 Ga dans les zones mobiles d'âge pan africain–brésilien que dans les cratons. Par exemple, le craton ouest-africain et le craton guyanais–amazonien sont constitués par des noyaux archéens relativement petits et par d'immenses étendues constituées de formations volcaniques et volcano-clastiques peu à moyennement métamorphiques recoupées par des granites d'âge protérozoïque précoce. Au contraire, dans les chaînes d'âge pan africain–brésilien du Hoggar, des Iforas, de l'Air, du Nigeria, du Cameroun et du nord-est Brésil, on connaît de nombreux cas de granulites datées aux environs de 2 Ga. La trace de tectonique tangentielle de cet âge est attestée par la présence de granites syntectoniques. Des charriages de cet âge ont aussi été décrits dans le craton du Congo–Chaillu, et il est possible que certaines granulites plus anciennes du craton de São Francisco aient été réactivées au cours du Protérozoïque précoce. La localisation des ceintures orogéniques d'âge pan africain–brésilien est probablement contrôlée par des cicatrices pré-existantes, datant du Protérozoïque précoce. Les assemblages métamorphiques de haut degré, représentant la croûte inférieure datant de 2 Ga, ont été surélevés ou charriés; ils forment maintenant les domaines polycycliques des ceintures orogéniques plus récentes mais on n'en trouve que rarement des équivalents dans les cratons eux-mêmes. Les cratons du Congo–Chaillu et de São Francisco sont différents car ils montrent des traces (controversées pour le second) d'une collision d'âge eburnéen–transamazonien non perturbée ultérieurement.

Geoscience Canada, 1990, 17, 297-301.

NORTH RIVER-NUTAK TRANSECT AREA, LABRADOR; PRELIMINARY RESULTS OF U-Pb DATING.

Jean-Michel Bertrand, Martin Van Kranendonk, Simon Hanmer, J. Christopher Roddick, and Ingo Ermanovics

Summary - Preliminary results of precise age determinations aimed to date tectonic and metamorphic events in the Torngat orogen have shown a time-span of 80 Ma (1860 Ma to 1780 Ma) between the oldest synmetamorphic intrusions and the latest uplift of the belt. Two metamorphism/deformation peaks have been determined at 1844 Ma (eastern and central part of the belt) and at 1826 Ma (western part of the belt).

Resumé - Les premiers résultats d'une étude géochronologique de l'orogène de Torngat, axée sur la datation précise d'événements tectoniques et métamorphiques, ont montré qu'une durée de 80 Ma (entre 1860 Ma et 1780 Ma) sépare les premières intrusions synmétamorphes de la surrection finale de la chaîne. Deux "pics" de déformation et de métamorphisme ont été déterminés à 1844 Ma (au centre et à l'est de la chaîne) et à 1826 Ma (à l'ouest).

\*\*\*\*\*

Fluid movements - Element transport and the composition of the deep crust, D. Bridgwater (Ed.), N.A.T.O., A.S.I., Kluwer Academic Press, 1989, pp. 345-360.

DIFFUSION AND/OR PLASTIC DEFORMATION AROUND FLUID INCLUSIONS IN SYNTHETIC QUARTZ: NEW INVESTIGATIONS.

Anne-Marie BOULLIER (\*), Gérard MICHOT (&), Arnaud PECHER (\*S) and Odile BARRES (#).

\* Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques, B.P.20, 54501 VANDOEUVRE LES NANCY CEDEX, FRANCE.

& Laboratoire de Physique du Solide, Ecole Nationale Supérieure des Mines et de la Métallurgie, Parc de Saurupt, 54000 NANCY, FRANCE.

S Laboratoire de Géologie structurale, Ecole Nationale Supérieure des Mines et de la Métallurgie, Parc de Saurupt, 54000 NANCY, FRANCE.

# Laboratoire de Spectrométrie de Vibrations, Université de Nancy I, B.P.239, 54506 VANDOEUVRE LES NANCY CEDEX, FRANCE.

ABSTRACT. Synthetic quartz containing fluid inclusions ( $H_2O + NaOH$ , 0.5N) was annealed at high temperature ( $T=448^\circ C$ ) and under confining pressure ( $P_c=200$  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,  $P_i$ ; the latter tends to equilibrate with the confining pressure  $P_c$  either by decrepitation or by progressive evolution. X-ray topography after treatment reveals contrast around the modified fluid inclusions. T.E.M. investigations show some dislocations around the inclusions after experiment. However, IR microspectroscopy does not show any visible change in the water absorption band in samples before and after annealing.

These results are discussed and some interpretations are proposed. As demonstrated by previous authors (Gratier and Jenatton, 1984) the changes in the shape are due to solution - deposition processes. Plastic deformation around fluid inclusions is probably largely responsible for the changes in density, but diffusion processes (positive and negative exchanges between quartz and fluid inclusion) cannot be entirely excluded. The driving force may be the elastic strain energy due to the difference in pressure between the fluid inclusion and the confining medium (Doukhan and Trépiéd, 1985).

\*\*\*\*\*

CHAMPENOIS M (1990). Quantifier la déformation d'une roche. Courrier du CNRS., n°76, n° spec. 95.

- \*\*\*\*\*
- DEBELMAS J, avec la collaboration de DESMONS J, ELLENBERGER F, GOFFÉ B, FABRE J, JAILLARD E, PACHOUD A (1989). Notice explicative, Carte géologique de France (1/50 000), feuille Modane (775). Bureau de Recherches Géologiques et Minières, 53 p.
- \*\*\*\*\*
- DEBELMAS J, BARFÉTY JC, DABROWSKY H, DESMONS J, ELLENBERGER F, GOFFÉ B, GUILLOT F, JAILLARD E, PACHOUD A, RAOULT JF (1989). Notice explicative, Carte géol. France (1/50 000), feuille Moûtiers (751). Bureau de Recherches Géologiques et Minières, 53 p.
- \*\*\*\*\*
- DESMONS J, In : DEBELMAS J, ANTOINE P, BARBIER R, BARFÉTY JC, BRUDOUX B, DONDEY H, FABRE J, FUDRAL S, GUILLOT F, JAILLARD E, LUCHIA YU, MERIAUX O, PERUCCIO-PARISON MD, RAOULT JF, SCHADE J (1989). Carte géologique France (1/50 000), feuille Moûtiers (751) Bureau de Recherches Géologiques et Minières.
- \*\*\*\*\*
- DESMONS J, RADELLI L (1989). Comment and reply on "Ophiolite generation and emplacement by rapid subduction hinge retreat on a continent-bearing plate" by S.H. Edelman. *Geology*, 17, 480-481.
- \*\*\*\*\*
- Tectonophysics*, 1990, 183, 187-205.

## The geochemistry and tectonic setting of the northern section of the Luzon arc (the Philippines and Taiwan)

Marc J. Defant <sup>a</sup>, René C. Maury <sup>b</sup>, Jean-Louis Joron <sup>c</sup>, Mark D. Feigenson <sup>d</sup>, Jacques Leterrier <sup>e</sup>, Hervé Bellon <sup>b</sup>, Dario Jacques <sup>b</sup> and Maryannick Richard <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Department of Geology, University of South Florida, Tampa, FL 33620 (U.S.A.)

<sup>b</sup> Laboratoire de Pétrologie and URA 1278, Université de Bretagne occidentale 29287 Brest (France)

<sup>c</sup> Groupe des Sciences de la Terre, Laboratoire Pierre Sue, Centre d'Etudes nucléaires de Saclay, B.P. 2. 91191 Gif-sur-Yvette (France)

<sup>d</sup> Department of Geological Sciences, Rutgers, The State University, New Brunswick, NJ 08903 (U.S.A.)

<sup>e</sup> Centre de Recherches, Petrographiques et Géochimiques, B.P. 20. 5450 Vandœuvre-les-Nancy (France)

(Received February 5, 1989; revised version accepted October 6, 1989)

### ABSTRACT

Defant, M.J., Maury, R.C., Joron, J.-L., Feigenson, M.D., Leterrier, J., Bellon, H., Jacques, D. and Richard, M., 1990. The geochemistry and tectonic setting of the northern section of the Luzon arc (the Philippines and Taiwan). In: J. Angelier (Editor), *Geodynamic Evolution of the Eastern Eurovision Margin*. *Tectonophysics*, 183: 187-206.

The Luzon arc consists of a 1200 km chain of stratovolcanoes and volcanic necks stretching from Mindoro (13° N) to the Coastal Range of Taiwan (24° N). This study is concerned with three of the five major segments along the arc: the Northern Luzon, Babuyan, and Taiwan segments. The late Tertiary to Quaternary volcanics of these segments are primarily andesitic but range in composition from basalt to rhyolite and are typical arc volcanics: porphyritic plagioclase textures, primarily calc-alkaline with a few tholeiitic volcanic centers, low TiO<sub>2</sub> concentrations, and low high-field strength element (HFSE) to large-ion lithophile element (LILE) ratios. There is a large range in K<sub>2</sub>O and other LILEs from low-K tholeiites to high-K calc-alkaline suites. Calayan island and Mt. Tabungon (volcanic substratum of Mt. Cagua) volcanics in the Babuyan segment and most rocks from the Taiwan Coastal Range are low-K tholeiites (e.g., nearly flat REE patterns, low LREE and LILE concentrations, and low Th/U ratios). The dominant calc-alkaline series ranges from medium-K to high-K rocks. The high-K calc-alkaline rocks are mainly young and are found on Batan and Lutao islands. When the low-K tholeiitic and medium- and high-K calc-alkaline rocks are associated in the same region, the low-K rocks are usually older. There is a general relationship between K<sub>2</sub>O (and other LILE concentrations) and K-Ar radiometric dates. To some extent, <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr ratios also increase with time throughout the arc.

There is a correlation between latitude and <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr, and a positive correlation between <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr and [La/Sm]<sub>CN</sub>. An increase in both these geochemical parameters has been associated with an increase in the input of continental crustal material in other arc regions. The lowest <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr ratios found along the entire Luzon arc (the samples from Baguio) are equivalent to those found in samples from mid-Tertiary plutons from Northern Luzon and the Bicol arc. Both groups of rocks are associated with westward subduction along the Philippine Trench where presumably deep oceanic sediments with little or no continental crustal component have been subducted. The absence of continental crust below the arc in the Northern Luzon and Babuyan segments has been suggested by several groups of researchers. This, together with the fact that metasomatized ultramafic nodules (probably of mantle origin) in disequilibrium with their Batan host lavas (but with similar <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr and [La/Sm]<sub>CN</sub> ratios to the host rocks), suggests that upper level assimilation (AFC processes) does not appear to be the major influence on the geochemical signatures.

A collision zone between the upper crustal block of Eastern China and Taiwan and the Manila Trench has been recorded in the northern section of the arc (Taiwan). Sediments have also been shown to decrease in thickness along the South China Sea basin nearly parallel to the Manila Trench from north to south. The sediment source region is most probably Taiwan, and perhaps Eastern China. This latitudinal in variation sediment thickness may explain the crustal signature related to both geochemical and age parameters. We suggest that this crustal input has taken place via subduction of sediment rich in a crustal component.

## Different metamorphic evolutions in the Alpine–Apenninic ophiolites (France–Italy–Switzerland–Austria)

JACQUELINE DESMONS

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

(Accepted for publication June 6, 1989)

### Abstract

Desmons, J., 1989. Different metamorphic evolutions in the Alpine–Apenninic ophiolites (France–Italy–Switzerland–Austria). In: L. Beccaluva (Guest-Editor), *Ophiolites and Lithosphere of Marginal Seas*. Chem. Geol., 77: 229–250.

The metamorphic evolution of the Alpine–Apennine ophiolites from Calabria to the Eastern Alps is reviewed, with special emphasis laid on the Western Alpine ophiolites. After the oceanic metamorphic phases, marked differences appeared in the metamorphic evolution:

(1) The units that contain eclogite associations (Zermatt Zone including the Voltri Group, Internal Liguria, lower zone in the Tauern Window) are distinguished from the sediment-rich units, devoid of eclogites, most of which also contain ophiolite olistoliths and/or tectonic slices and interlayered ophiolitoids (e.g., Combin Zone in the Western Alps).

(2) The external units can be further separated into units showing initial Late Cretaceous (Eo-Alpine) associations of either glaucophane–jadeite ± lawsonite, glaucophane–greenschist or prehnite–pumpellyite.

(3) All units shared a more or less common Cainozoic (Meso- and Neo-Alpine) history of a grade roughly controlled by the distance to the Ticino thermal culmination.

Both the development of very high-pressure conditions and the existence of domains with different evolutions are accounted for by the marginal sea setting now envisaged for the Alpine–Apenninic oceanic domains.

\*\*\*\*\*  
Géologie Alpine, 1989, 65, 1-31.

## CHIMISME DU BRIANCONNAIS - GRAND SAINT-BERNARD ANTE-MESOZOÏQUE (ALPES OCCIDENTALES) : UNE VUE SYNOPTIQUE

Jacqueline Desmons\* et Alain Ploquin\*

**RESUME.** Un inventaire a été fait des données chimiques disponibles (éléments majeurs essentiellement) concernant les ensembles anté-mésozoïques de la zone Briançonnaise - Grand Saint-Bernard (Alpes occidentales). Les roches ont été classées en trois catégories d'âges :

1) un socle ancien contenant des traces de faciès métamorphique amphibolite (ordovicien ou plus ancien). On y trouve des granitoïdes sub-alkalins probablement anatectiques, ainsi que des métabasites tholéitiques riches en Ti proches du MORB, certaines sous forme d'amphibolites rubanées alternant avec des gneiss plagioclasiques, l'ensemble représentant peut-être des termes bimodaux extrusifs ;

2) un socle dit récent, dépourvu de restes de métamorphisme anté-alpin de faciès amphibolite ; leur âge est anté-carbonifère supérieur, peut-être compris entre l'Ordovicien supérieur et le Silurien ou le Dévonien ; les roches basiques y sont tholéitiques, les roches acides y sont granophyriques et alcalines et les métasédiments montrent un héritage volcanique ;

3) le Carbonifère supérieur et le Permien, avec des granitoïdes aluminieux et sub-alkalins et quelques termes calco-alkalins, ainsi que des roches effusives qui sont abondantes en Ligurie : rhyolites, puis latites-andésites et de nouveau des rhyolites qui sont potassiques et deviennent alcalines au sommet.

Les transformations métamorphiques (destruction du feldspath, chloritisation, muscovitisation, albitisation) se reconnaissent partout et sont spécialement importantes dans les termes effusifs du Permio-Carbonifère.

Ces séries de socle Briançonnais sont à paralléliser avec celles de l'Austro-Alpin et des Alpes méridionales.

**ABSTRACT.** The available chemical data (mainly major elements) concerning the pre-Mesozoic rocks of the Briançon - Bernhard Zone (Western Alps) have been compiled. These rocks have been classified as :

1) "Ancient basement rocks", where an (Ordovician or older) amphibolite metamorphic facies can be traced ; these rocks contain sub-alkaline, probably anatectic, granitoids as well as Ti-rich tholeiitic, MORB-like, metabasites ; some banded amphibolites interlayered with plagioclase gneisses possibly derive from bimodal effusives ;

2) "Younger basement rocks", devoid of any trace of pre-Alpine amphibolite facies metamorphism ; their age is pre-Upper Carboniferous, possibly comprised between Upper Ordovician and Silurian or Devonian ; they include tholeiitic metabasites, alkaline granophyres and metasediments showing a volcanic inheritance ;

3) Upper Carboniferous-Permian rocks, including aluminous and sub-alkaline granitoids, a few calc-alkaline granitoids, as well as effusives that are abundant in Liguria : rhyolites followed by latites-andesites, then again by rhyolites which are K-rich and become alkaline towards the top.

Metamorphic alteration (feldspar breakdown, muscovitisation, chloritisation, albitisation) is common, particularly in the Upper Carboniferous effusive rocks.

These Briançon basement series can be compared with Austro-Alpine and Southern Alpine series.

## ARCS AND H-P METAMORPHISM OF OPHIOLITES ON THE EXAMPLE OF THE WESTERN ALPS°

J. Desmons\* and L. Radelli\*\*

\* *C.N.R.S.; C.R.P.G., Vandoeuvre-lès-Nancy, France.*

\*\* *Dep.to Geologia Uni-Son, Hermosillo, Sonora, Mexique.*

**Keywords:** *Arcs, H-P metamorphism, ophiolites, Eo-Alpine events, Cretaceous orogenesis. Western Alps.*

### ABSTRACT

The subduction zone and overthrusting models are far from explaining all facts concerning the H-P metamorphism of ophiolites and sialic rocks. Based on: i) the dynamics of arcs, which are considered as unrooted, migrating, arcuate bodies, and ii) the nature of ophiolites, which are generated in back-arc or fore-arc settings, uplifted and then emplaced on the arc or on a continental unit, we make the proposal that eclogitization of the emplaced ophiolites, together with their substratum, occurs under the transient extra-load of a migrating arc. The further migration of the arc results in the unloading of the pile and accounts for the uplift, the preservation and the denudation of the eclogitic assemblages.

These processes are illustrated on the example of the Western Alps where two ophiolite-generating basins can be distinguished: the Zermatt and the Combin marginal seas or back-arc basins. During late Early to Middle Cretaceous time (early Eo-Alpine time), the Zermatt ophiolites were (i) emplaced on a first arc (which included the future Inner Penninic units) and (ii) then eclogitized under the extra-load of a second arc (consisting of the future Briançon-Bernhard and Simplon-Ticino units). Later in the Cretaceous (late Eo-Alpine time), less severe H-P conditions (glaucofane-jadeite-lawsonite) were induced by slicing and piling-up.

\*\*\*\*\*  
Ofioliti, 1989, 14, n°1/2, 13-32.

## A COMPLETE OPHIOLITE SEQUENCE IN RZAV, AREA OF ZLATIBOR AND VARDA ULTRAMAFIC MASSIFS, THE DINARIDE OPHIOLITE ZONE

J. Pamić\* and J. Desmons\*\*

\* *Geološki Zavod, Sachsova 2, Zagreb, Yugoslavia.*

\*\* *C.N.R.S.; C.R.P.G., B.P. 20, Vandoeuvre-lès-Nancy, France.*

**Keywords:** *ophiolite, geochemistry, mineral chemistry. Dinarides, Yugoslavia.*

### ABSTRACT

A complete, almost undisturbed, ophiolite occurrence is described from the Rzav area, between the Zlatibor and Varda ultramafic massifs in the SE Dinaride Ophiolite Zone of Yugoslavia. The sequence comprises: cumulate peridotite and gabbro, a sheeted complex consisting of ophitic gabbro intruded by diabase and basaltic lavas often interlayered with sediments. Alteration, which is considered to be related to ocean-floor metamorphism, is slight except in the lavas. Bulk rock and mineral chemical compositions (major elements) indicate a transitional, low-Ti, tholeiitic character. A marginal basin setting is suggested.

SUR QUELQUES MINÉRAUX DE LA ZONE PIÉMONTAISE  
(ZONE DU COMBIN)  
DANS LES ALPES FRANÇAISES  
par Jacqueline DESMONS \*

**RESUME** - Les principaux minéraux de quelques roches méta-ophiolitiques et méta-sédimentaires de la zone piémontaise du Combin ont été analysés : (1) amphibole brune, bleue et verte et chlorite d'un métagabbro ; (2) glaucophane, pyroxènes sodiques, phengite et lawsonite de metabasites ; (3) amphibole sodique peu ferrifère phengite et chlorite d'un marbre ; (4) grenat andradite, amphibole et pyroxène calciques d'un skarn ; et (5) diopside, chromite, magnésio-riebeckite et mariposite d'un marbre. Ces minéraux caractérisent différentes phases de l'évolution de la zone du Combin, depuis la cristallisation magmatique jusqu'aux métamorphismes alpins.

**ABSTRACT** - Minerals from some meta-ophiolitic and meta-sedimentary rocks of the Combin (Piemonte) zone have been analyzed : (1) brown, blue and green amphiboles and chlorite from a metagabbro ; (2) glaucophane, Na-pyroxenes, phengite and lawsonite from metabasites ; (3) Fe-poor Na-amphibole, phengite and chlorite from a marble ; (4) andradite garnet, Ca-amphibole and pyroxene and chlorite from a skarn ; (5) Mg-riebeckite, diopside, chromite and mariposite from a silicate marble. These minerals characterize various phases of the evolution of the Combin zone, from the magmatic crystallization to the Alpine metamorphic phases.

\*\*\*\*\*

Lithos, 1989, 24, 21-35.

## Importance of melt fraction and source rock composition in crustal genesis — the example of two granitic suites of northern Portugal

FRANÇOIS HOLTZ\*

Centre de Recherches Péetrographiques et Géochimiques, C.N.R.S., B.P. 20, F-54501 Vandoeuvre (France)

LITHOS

Holtz, F., 1989. Importance of melt fraction and source rock composition in crustal granitoid genesis — the example of two granitic suites of northern Portugal. *Lithos*, 24: 21–35.



In the Montalegre area (northern Portugal) two varieties of syn- to late-tectonic Hercynian aluminous granitoids are distinguished:

(1) Muscovite-rich, two-mica granites, forming many successively emplaced bodies with little chemical variation. The chemical characteristics of these units suggest partial melting of various crustal rocks under distinct *P-T* and water saturation conditions. There has been no homogenization between the different melt batches. The rocks contain very few restitic minerals. Segregation processes may have operated either in the source rock or in an early magmatic stage.

(2) A cordierite-, biotite- and muscovite-bearing granitic body. Its mineralogical composition is extremely heterogeneous and it contains many xenoliths. The genesis of this granite results essentially from partial melting of peraluminous orthogneisses. The melt fraction was higher than the rheological critical melt percentage (RCMP). During anatexis, the rigid framework of the source rock broke down, leading to migration of both melt and residual minerals towards upper-crustal levels. The heterogeneity of the resulting granite is mostly related to an incomplete separation of residual crystals and melt. The existence of biotite- and cordierite-rich samples is the result of accumulation of residual minerals during the magma emplacement.

This study emphasizes the role of the source rock composition, which controls the degree of partial melting at given *P-T*, and water saturation conditions during crustal melting. The strong geochemical differences between the two kinds of granitoids are related to the near absence of residual minerals in the muscovite-rich granites and to the presence of residual minerals in the cordierite-bearing granite. It is suggested that the muscovite-rich granites are mostly low-melt-fraction (< RCMP) granites. In contrast, the source rock of the cordierite granite underwent partial melting with a high melt fraction (> RCMP). The presence of many residual crystals (alkali feldspars and plagioclases as well as dark minerals) in the cordierite granite implies a high viscosity of the melts and therefore water-undersaturated melting conditions.

\*\*\*\*\*

Comptes Rendus de l'Académie des Sciences (Paris), 1989, t. 309, série II, 315-318.

## Reliques granulitiques d'âge Protérozoïque inférieur dans la zone mobile panafricaine d'Afrique Centrale au Cameroun ; géochronologie U-Pb sur zircons

Joseph PENAYE, Sadrack Félix TOTOU, Annie MICHARD, Jean-Michel BERTRAND et Danielle DAUTEL

**Résumé** — Des granulites (pyrobolite et pyroclastite) et un gneiss à biotite-amphibole du Nord Cameroun ont été datés par la méthode U-Pb sur zircons. L'ensemble des résultats permet d'identifier un magmatisme et un métamorphisme granulitique d'âge Eburnéen à environ 2100 M.a. (intercept supérieur) avec une reprise au Panafricain (580 M.a.). En plus des granulites archéennes du craton du Congo et de celles d'âge panafricain décrites sur sa bordure Nord au Cameroun et en République Centrafricaine, il existe donc une troisième génération de granulites, d'âge Protérozoïque inférieur.

### Lower Proterozoic granulitic relicts within the Pan-African mobile belt of Central Africa in Cameroon

**Abstract** — Zircons from Northern Cameroon granulites and biotite-hornblende gneisses have been dated. Data are interpreted as representing a plutonic emplacement and a granulitic metamorphic event at ca. 2100 M.a. (upper intercept) with a Pan-African imprint (580 M.a.). A third granulite-forming event of Lower Proterozoic age is thus identified besides the formerly recognized Archaean and Pan-African granulites, occurring in the Congo craton and along its northern edge.



## Alpine thermal evolution in the central and the western Alps

J. C. Hunziker, J. Desmons & G. Martinotti

**SUMMARY:** In the western and central Alps, high-pressure assemblages dated as Eoalpine are distributed in the Pennine, Piemonte and Austro-Alpine units. The starting point of metamorphism must have been at low temperatures as both pre-Alpine metamorphic basement and Mesozoic sediments have been involved. In those parts of the Sesia-Lanzo zone where no later Tertiary high temperature overprint modified or obliterated the early Alpine history, the Eoalpine peak of metamorphic pressure was reached at about 110 Ma, the temperature peak at 85 Ma and a cooling down to 300°C at 60 Ma. The radiometric evidence gives insight into the Cretaceous orogenic events which also include penetrative deformation, nappe thrusting and uplift. The Pennine and Austro-Alpine units are both considered to have been located south of the Jurassic oceanic gap and to have formed parts of the fragmented northern margin of Gondwana.

The Tertiary Mesozoic and Neozoic metamorphic events in the western Alps are separated in time by 32-30 Ma magmatic intrusions. In the central Alps both events are distinguished on the basis of an additional schistosity connected with the second event. The Neozoic ages are considered as resulting from the Mesozoic thermal conditions outlasting the Mesozoic time and, in the Simplon region, as recrystallization ages related to late mylonitization.

The convergence rates during the Cretaceous orogenesis were one order of magnitude greater than during the Tertiary orogenesis. Sedimentation in some Pennine units continued through Eoalpine times until Palaeogene; this is interpreted as resulting from the imbrication of blocks of different evolution in Tertiary times.

## Anais do XXXVI Congresso Brasileiro de Geologia, Natal, 1990, 4, 1640-1655.

### MAGMATIC AND GEODYNAMIC SIGNATURE OF THE BRASILIANO CYCLE PLUTONISM IN THE SERIDÓ BELT, NE BRAZIL

Jacques Leterrier 1 (1) CRPG/CHRS, Nancy  
Emanuel Ferraz Jardim de Sá 2  
Marta Helena de Freitas Macedo 2 (2) Departamento de Geologia - UFRN  
Venerando Eustáquio Amaro 2

A Faixa Seridó faz parte da Província Borborema (NE do Brasil), e compreende uma sequência supracrustal e rochas intrusivas de idade ec- a neoproterozóica, além de um embasamento gnáissico-migmatítico de provável idade arqueana. Recentes debates abordam sua evolução monocíclica ou policíclica durante o Proterozóico, sendo o último estágio, atribuído ao ciclo Brasiliano, caracterizado por deformação dúctil transcorrente ou transpressiva, e metamorfismo de baixa pressão.

O magmatismo Brasiliano é representado por dois grupos principais de plútons: (i) suites diferenciadas de gabro-diorito a tonalito-quartzo monzonito, com feições de intrusões pré a sintectônicas (e idades de 765 a 550 Ma); (ii) intrusões graníticas sintectônicas (com idades de 660 a 515 Ma), que são os tipos mais volumosos. Alguns exemplos de cada um desses grupos foram estudados em termos de sua assinatura geoquímica.

As rochas máficas a intermediárias são bastante heterogêneas em composição e textura, e ocorrem como corpos menores, isolados ou englobados em grandes diábolos graníticos. São comuns as feições de hibridização (xenocristais de K-feldspato, inclusões globulares) com granitos porfiríticos grosseiros, mas os corpos isolados permitem obter uma idéia sobre suas composições originais. As amostras mais primitivas ocorrem no tipo de basaltos transicionais potássicos de afinidade shoshonítica e assinatura orogênica. São característicos os altos teores de elementos LIL e terras raras, e os padrões destas são fracionados, com ou sem uma pequena anomalia de Eu. Essas feições aliadas a isótopos de Sr e Nd apoiam sua gênese a partir de uma fonte mantélica enriquecida em elementos LIL seguida por contaminação crustal, no lado continental e afastado de uma margem ativa, a qual assim permaneceu por um período de tempo da ordem de 150 Ma. Dados gravimétricos regionais são consistentes com a presença de um grande volume desses plútons em níveis crustais profundos.

Nas grandes intrusões graníticas, diferentes suites são reconhecidas, pertencendo a diferentes "trends" magmáticos. Granitos porfiríticos, com megacristais de K-feldspato, são um dos tipos mais comuns. Embora plotando no campo dos granitos de arcos magmáticos, eles são distintos dos tipos clássicos cálcioalcalinos, exibindo afinidades próximas a sienogranítica, novamente com altos teores de elementos LIL e terras raras. Os padrões de TR são mais fracionados, especialmente as TR, com ou sem anomalias negativas moderadas de Eu, e TRP compatíveis com fracionamento de minerais acessórios (ou eventualmente anfíbio). Os isótopos de Sr e Nd mostram forte assinatura crustal, e protólitos ígneos são visualizados como possíveis candidatos para suas fontes e contaminantes. Leucogranitos são reconhecidos entre os produtos magmáticos tardios e foram provavelmente gerados por anatexia do embasamento e rochas metassedimentares, como sugerido pelas elevadas razões isotópicas iniciais de Sr.

A gênese de ambos os grupos plutônicos é relacionada a processos distais a uma margem ativa e zona colisional, com crescente participação de fontes crustais. Suas afinidades subalcalinas a alcalinas potássicas são consistentes com seu posicionamento na placa superior afastados da zona de sutura, e controlados por um regime tectônico predominantemente transcorrente, atingindo profundidades mantélicas. Especula-se que nos níveis profundos, as zonas de cisalhamento constituiram locais e canais preferenciais para metassocratismo do manto e fusão parcial induzida por fluidos. Ascendendo a níveis superiores, os plútons máficos aqueceram e fundiram a crosta, produzindo as associações híbridas tão comuns nesse tipo de terreno.

## Potassic volcanism in Central Java and South Sulawesi, Indonesia

J. LETERRIER,\* Y. S. YUWONO,† R. SOERIA-ATMADJA† and R. C. MAURY‡

\*Centre de Recherches Pétrographiques et Géo-chimiques, B.P 20, 54501 Vandoeuvre les Nancy, France;

†Department of Geology, Institute of Technology, Bandung, Jl. Ganesa 10, Bandung, Indonesia; ‡G.S.

Océanologie et Géodynamique, Laboratoire de Pétrologie, 6 Avenue le Gorgeu, 29279 Brest, France

(Received 11 July 1988; accepted for publication 5 July 1989)

**Abstract**—This study deals with fifteen Neogene and Quaternary K-rich volcanic series from the back-arc area of Central Java and from South Sulawesi. The rock associations have been subdivided into three types: (1) silica-saturated or -oversaturated potassic series (SK) either potassic calc-alkaline (Lasem, Java) or shoshonitic (Patiayam, Java; Parepare, Sopeng 2 and part of Lompobatang, South Sulawesi); (2) weakly silica-saturated ( $ne < 10\%$ ) alkaline potassic series (AK: Muria 1, Genuk in Java; Baturape Formation, Cindako Formation, Camba 2a Formation and part of Lompobatang stratovolcano, South Sulawesi); and finally (3) strongly silica-undersaturated ( $ne + lc > 10\%$ ) ultrapotassic series, usually leucite-bearing (UK: Muria 2, Bawean in Java; Camba 2b Formation, Sopeng 1 Formation in Sulawesi). Comparative geochemistry of the SK, AK and UK associations show that the above distinction is consistent with the behaviour of incompatible elements (increase of K, Rb, Sr, Ba and of La/Yb ratios from SK to UK series). All these rock series show, moreover, "orogenic" chemical characteristics compatible with a subduction-related environment. However, in South Sulawesi, their emplacement clearly post-dates the latest known subduction event; in Central Java they do not fit with any model of increasing  $K_2O$  with depth of the Benioff plane, and the location of the UK series is independent from the latter (the Quaternary UK Series on Bawean is located away from the 600 km isobath). Thus we strongly prefer a genetic model for the studied K-rich volcanic series by melting of mantle sources enriched in incompatible elements during previous subduction events, and possibly involving a contribution of subcontinental mantle (Central Java).

\*\*\*\*\*

Gallia Préhistoire, 1990, 32, 125-149.

### LES ROCHES ALPINES DANS L'OUTILLAGE POLI NÉOLITHIQUE DE LA FRANCE MÉDITERRANÉENNE

#### CLASSIFICATION, ORIGINE, CIRCULATION

par Monique RICQ-DE BOUARD, Roberto COMPAGNONI, Jacqueline DESMONS et Francesco FEDELE<sup>1</sup>

#### RÉSUMÉ

Les seules roches alpines rencontrées dans l'outillage poli néolithique de la zone méditerranéenne de la France et de quelques régions périalpines sont les roches à glaucophane, les écolgites *s.l.* et les jadéitites. Les serpentinites n'ont été employées qu'en Suisse occidentale et dans le Jura. Les zones d'affleurements primaires et secondaires de ces roches ont été déterminées. Un certain nombre d'arguments permet d'affirmer que ce sont essentiellement les gisements secondaires qui ont été exploités au Néolithique. L'analyse de la distribution de ces roches dans l'outillage a permis la mise en évidence de divers modes de circulation des matériaux (roches, ébauches ou objets finis?) : circulation régionale pour les roches à glaucophane, circulation sur de grandes distances pour les écolgites *s.l.* et probablement les jadéitites. Différents courants de circulation ont été envisagés pour ces deux dernières. Des arguments en faveur d'une origine ligurienne des outils en écolgite *s.l.* du Sud de la France sont présentés.

#### ABSTRACT

The only alpine rocks found among the Neolithic polished tools of the French Mediterranean zone and a few perialpine areas are glaucophane rocks, *s.l.* eclogites and jadeitites. Serpentinites were used in western Switzerland and the Jura only. The areas containing primary and secondary outcrops of these rocks have been determined. A serie of arguments allows the authors to assert that essentially secondary deposits were exploited in the Neolithic. An analysis of the way these rocks are represented among the tools has evidenced various methods of circulating materials (raw materials, blanks or end-products?) : a regional circulation for glaucophane rocks, a long-distance circulation for *s.l.* eclogites and probably jadeitites. Different flows of circulation have been considered for the latter two. Some arguments in favour of a Ligurian origin for the *s.l.* eclogite tools in southern France are presented.

In Cameroon : a tectonic keystone in the Pan-African network, Lewry J. (Ed.), Geol. Assoc. Canada, Spec. paper, 1990,37, 483-496.

Toteu, S.F., Bertrand, J.M., Penaye, J., Macaudiere, J., Angoua, S. and Barbey, P., Cameroon: a tectonic keystone in the Pan-African network, in Lewry, J.F. and Stauffer, M.R., eds., The Early Proterozoic Trans-Hudson Orogen of North America: Geological Association of Canada, Special Paper 37, p. 483-496.

### Abstract

The place of Cameroon in the Pan-African network of orogenic belts is examined in terms of a detailed survey of the Poli and Yaoundé regions located in the northern and southern parts of the country respectively. In the Poli region, although the first stage (D1) of the evolution is still poorly understood, the younger D2 and later events involved northeast-southwest movement, resulting in wrench faulting and thrusting. The migmatized gneissic formations of the Poli region, previously interpreted as an old basement, now appear more likely to represent partly high-grade equivalents of the Poli schists (800 Ma). The abundance of younger Pan-African calc-alkaline orthogneisses interleaved both in the schists and in the gneisses (630 Ma) is a salient characteristic of the Poli region. Comparison with the Yaoundé region, where strongly metamorphosed platform sediments are thrust to the south-southwest onto the Congo craton, suggests that the Sanaga-Adamaoua region, situated between the two areas studied, represents a boundary zone between a stable craton-controlled zone to the south and a partly accreted crust to the north. The ubiquity of northeast-southwest directions of tectonic movement in southern and western Africa suggests that the model of continental transform faults controlling Pan-African tectonics in southern Africa can be applied to central and western Africa.

### Résumé

La situation du Cameroun au sein du réseau des chaînes Pan-Africaines est discutée d'après les résultats d'études détaillées menées dans les régions de Poli et de Yaoundé, au nord et au sud du pays. Dans la région de Poli, la première étape (D1) de l'évolution est encore mal comprise; l'évènement D2 et les évènements tardifs correspondent à une direction de mouvement nord-est-sud-ouest responsable de charriages et de décrochements. Les formations gneissiques migmatisées de la région de Poli, interprétées jusqu'à présent comme représentant un vieux socle, sont maintenant considérées en partie, comme des équivalents métamorphiques de haut degré des schistes de Poli datés à 800 Ma. Une autre caractéristique importante de la région de Poli est un important volume d'orthogneiss de composition calco-alcaline, plus jeunes (630 Ma), interstratifiés aussi bien dans les gneiss que dans les schistes. La comparaison avec la région de Yaoundé, au sud, où des sédiments de type plateforme, très métamorphiques ont été charriés vers le sud-sud-ouest, sur le craton du Congo, suggère qu'il existe, dans la région intermédiaire de la Sanaga-Adamaoua située entre les deux régions étudiées, une frontière majeure: au sud, il s'agit d'un domaine influencé par la proximité du craton stable, tandis qu'au nord, une partie importante de la croûte résulte d'une accretion d'âge Protérozoïque supérieur. La similitude des directions de mouvement d'âge Pan-Africain entre les parties méridionales et occidentales de l'Afrique suggère que le modèle impliquant que la tectonique Pan-Africaine de la partie sud de l'Afrique est commandée par une grande zone de cisaillement à caractère transformant, peut aussi s'appliquer aux parties centrales et occidentales du continent.

\*\*\*\*\*  
Geologische Rundschau, 1990,79, n° 3, 777-788

## Metamorphic zircons from North Cameroon; implications for the Pan-African evolution of Central Africa

By S. F. TOTEU, GAROUA, J. MACAUDIERE, J. M. BERTRAND and D. DAUTEL, Nancy\*

### Abstract

Morphoscopic studies of zircons, including of ... microscopic and SEM (backscattered electron mode), from the Rôniers valley (West-Poli, Northern Cameroon) indicate an important crystallization of zircon during a medium-grade garnet-kyanite metamorphic event. This was associated with a deformation (D1) and with the emplacement of a basic and intermediate plutonic suite (BIP). U-Pb dating of these zircon gave almost concordant Pan-African ages (630 Ma) which contribute to a solution of a major regional uncertainty about the age of the regional D1 event, which, in the mobile belt of Central Africa, has been considered previously either as Pan-African or as Lower to Middle Proterozoic. A chronological framework is proposed for the evolution of northern Cameroon.

### Résumé

Une étude morphologique de zircons provenant des micaschistes de la vallée des Rôniers (ouest de Poli, Nord Cameroun) a été menée aussi bien en microscopie optique qu'en microscopie à balayage (électrons rétrodiffusés). Combinée à l'étude de l'environnement structural et métamorphique, elle conduit à l'idée d'une cristallisation massive du zircon pendant un événement tectono-métamorphique de degré moyen dans le faciès à grenat-disthène. Cet épisode s'accompagne d'une phase de déformation (D1) et de la mise en place d'une association basique à intermédiaire (BIP). Une datation U/Pb de ces zircons donne des âges panafricains (630 Ma) pratiquement concordants. Ces résultats permettent de lever une ambiguïté sur l'âge de la foliation métamorphique principale interprétée comme résultant de l'évènement D1: elle est considérée selon les endroits de la zone mobile d'Afrique centrale soit d'âge panafricain soit d'âge protérozoïque inférieur à moyen. Une chronologie de l'évolution du domaine nord camerounais est proposée.

## Thèses

**CHAMPENOIS Michel.** - *Apport de l'analyse interactive d'images à l'étude de l'évolution structurale de zones déformées : application à une zone de cisaillement pan-africaine de l'Adrar des Iforas (Mali) et aux orthogneiss du massif du Grand Paradis (Alpes, Italie).*, Thèse de l'I.N.P.L., Nancy, 210 p., (soutenue le 22 juin 1989).

L'analyse quantitative de la déformation des roches apparaît indispensable si l'on veut pouvoir comprendre et discuter les mécanismes de la déformation à différentes échelles d'observation. Dans ce mémoire, l'étude de la déformation finie à l'échelle microscopique, a été réalisée à partir de la forme et de l'orientation de cristaux constituant les populations de marqueurs.

A cette fin, nous avons développé un outil permettant d'avoir facilement accès, aux paramètres de forme et d'orientation, sur lesquels reposent les différentes méthodes d'estimation du taux de déformation (Lapique 1987, Lapique et al. 1988). Nous avons opté pour une analyse interactive, où le manipulateur choisit et extrait lui même de l'image vidéo, les objets qui l'intéressent. L'analyseur vidéographique interactif permet l'observation et le traitement à partir d'une image couleur, ce qui met le géologue dans les conditions normales d'observation, lui permet la reconnaissance des phases minérales et lui facilite la saisie de la forme des objets (digitalisation de leur contour au moyen d'une tablette à numériser).

Différentes méthodes de quantification de la déformation finie ont été testées (Panozzo 1983, 1984, Shimamoto et Ikeda 1976, Rf/F de Dunnet 1969, Fry 1979, diamètres de Féret) à partir de fabriques naturelles déformées artificiellement. Il ressort que la méthode des diamètres de Féret (Lapique 1987) donne les résultats les plus fiables en rapport axial de l'ellipse de déformation finie et en orientation de son grand axe quelque soit l'état initial, surtout dans le cas de faibles intensités.

L'application des ces méthodes d'estimation du taux de déformation à la zone de cisaillement d'Abeibara-Rahrous (Adrar des Iforas, Mali) a permis de souligner l'importance de l'échelle d'observation. La combinaison de ce type de méthodes et d'autres englobant les phénomènes de rotation des marqueurs (Fernandez 1984, 1987) permet de cerner d'une manière plus précise, même à l'échelle microscopique, l'intensité de la déformation subie par cette zone. En considérant les phénomènes de déformation ductile (étirement des marqueurs tels que les quartz ou les opaques), et la rotation de marqueurs que l'on peut considérer comme essentiellement "rigides" comme les feldspaths, nous obtenons des estimations de l'ordre de  $\gamma = 6$  qui se rapprochent des estimations réalisées à des échelles différentes (Boullier 1982, 1986).

La digitalisation de la forme des marqueurs donne accès également à l'étude de l'orientation des fabriques et des dissymétries traduisant le sens de cisaillement, ainsi qu'à la distribution des rapports axiaux, des tailles et des indices d'ellipticité des populations de marqueurs. Ces paramètres permettent de comparer le comportement de marqueurs de différente nature et de situer les phénomènes de granulation ou de recristallisation en fonction de la quantité de déformation enregistrée par le minéral (dès les valeurs de rapport axial de 3.5 pour le quartz et de 6 pour les opaques). Ils permettent également de tester les hypothèses sur les formes théoriques des marqueurs.

Une deuxième application concerne la détermination du régime de la déformation subie par les orthogneiss du Grand Paradis (Alpes occidentales, Italie). Les techniques et méthodes d'estimation de la déformation finie ont été appliquées, parallèlement à une étude des orientations préférentielles de réseau des quartz. Ces études ont permis de conclure que lors de la phase éocène, le régime de déformation était en cisaillement simple. Cette déformation s'est traduite par le jeu ou le rejeu de zones de cisaillement très localisées, avec des mouvements vers l'Est ou vers l'Ouest, qui limitent des compartiments où l'aplatissement est dominant (fabriques symétriques dans le plan XZ).

**ROMANO Antonio Wilson.** - *Evolution tectonique de la région nord-ouest du quadrilatère ferrifère - Minas Gerais - Brésil (géochronologie du socle - Aspects géochimiques et pétrographiques des supergroupes Rio das Velhas et Minas)*. Thèse de l'Université de Nancy I, 270 p, (soutenue le 12 octobre 1989).

La région étudiée est située au nord-ouest du Quadrilatère Ferrifère, partie méridionale du craton du São Francisco, dans l'état du Minas Gerais, Brésil. Elle présente deux séries supracrustales, désignées respectivement Supergroupe Rio das Velhas et Supergroupe Minas.

La première est d'âge archéen et est constituée par une épaisse séquence de roches vertes, associée à une série détritique.

La deuxième est d'âge protérozoïque inférieur et est constituée par une série détritico-chimique déposée sur une plate-forme continentale stable.

Le socle est de nature gneissique-migmatitique et a été affecté par la mise en place de granitoïdes.

Les travaux de terrain nous ont permis de appliquer la lithostratigraphie du Quadrilatère Ferrifère à toute la région étudiée, ce qui a abouti à une synthèse géologique régionale. Un tableau de corrélation lithostratigraphique est proposé.

La région a subi au moins deux événements de déformation majeurs. Le premier, dénommée  $D_n$  a conduit à des plis de grande amplitude, disposés en éventail, et a affecté exclusivement le supergroupe Rio das Velhas. Le deuxième événement, dénommé  $D_{n+1}$ , déforme les deux séries. Il a produit des plis serrés d'axe NE-SW à NW-SE. A cette phase est associé, plus tardivement, un système de chevauchement vers le Nord-Ouest, c'est-à-dire, dirigé vers le centre du craton et un système de décrochements qui affecte toute la bordure occidentale du socle. Le contact entre les deux systèmes de failles définit une large zone de rampe latérale.

Les données géochronologiques U-Pb sur zircon et Sm-Nd sur roche totale, permettent d'établir qu'une différenciation crustale de matériel d'origine mantéllique, a eu lieu à plus ou moins 2,78 Ga. Les données Rb-Sr sur roche totale et K-Ar sur biotite, permettent de cerner plus précisément l'orogénèse Minas, qui se situe à environ 2,0 Ga. Cette déformation correspond à l'événement  $D_{n+1}$  et est responsable de la fusion partielle du socle et de la mise en place de granitoïdes.

Après la déformation Minas, le socle a subi une distension crustale très importante, avec la mise en place d'un essaim dense de dykes basiques. Cette distension est reliée à l'ouverture des rifts marginaux au craton du São Francisco et a eu lieu entre 1,85 et 1,65 Ga.

Aucune influence du réchauffement du cycle Brasilien est observable. Cependant une influence du cycle Uruacuan-Espinhaço (1,10- 1,35 Ga) est supposée dans le domaine du Quadrilatère Ferrifère.

Un schéma d'évolution tectonique de la partie sud-orientale du craton du São Francisco est proposé.

L'étude pétrographique nous a permis d'identifier un métamorphisme, associé à la dernière déformation, avec une paragenèse à almandin-staurotide-chloritoïde-disthène (dans les roches sédimentaires), de conditions de P et T, respectivement entre 5,5 -6 kbar, et 500°-550° C. (dans le domaine du supergroupe Rio das Velhas). Une rétro-morphose généralisée à chlorite est présente dans toute la région. Le métamorphisme du supergroupe Minas est essentiellement du type faciès schiste-vert.

Une altération métasomatique qui produit des roches peralumineuses à corindon-disthène-muscovite est remarquable dans le domaine des roches du supergroupe Rio das Velhas. Deux hypothèses pour la surconcentration d' $Al_2O_3$  sont envisagées: La première suppose que cette altération s'est développée à partir de la désilicification des précurseurs sédimentaires et/ou volcaniques acides/intermédiaires avec concentration d' $Al_2O_3$  sur place. Elle implique une réduction importante de volume de la roche originelle. La deuxième rend compte de la concentration d'Al par l'activité exhalative post-volcanique, avec formation de sulfate d'Al; il s'agit d'un type d'altération argillique avancée. La roche altérée est retravaillée et participe à la formation d'un dépôt sédimentaire.

Les produits peralumineux sont rétro-morphosés en pyrophyllite-diaspore par une activité hydrothermale tardive. Cette activité est contrôlée par un système de fentes d'extension en échelon, associés aux failles de décrochement, ayant fonctionné comme lieu privilégié de circulation des fluides.

## **Résumés publiés de Communications**

**BERTRAND JM, JARDIM DE SA E, RAHAMAN MA (1989).** Where are the Eburnean collisional belts? *Fifth Meeting of European Union of Geosciences (EUG V), 20-23 mars, 20-23 mars, Strasbourg.* Terra Abstracts, 1, 1, p. 362.

**BERTRAND JM (1990).** A review of Early Proterozoic formations in the Hoggar shield (Algeria, Mali, Niger); correlations with Nigeria and Brazil. *36e Congresso Brasileiro de Geologia, Natal.* Abstracts, p. 303

**BERTRAND JM (1990).** Contrast between Early Proterozoic accretional and collisional behaviour inside and outside of the cratons in NW Africa and South America. *15th Colloque de Géologie Africaine, Nancy : Centre international pour la formation et les échanges géologiques, (CIFEG).* Abstracts, n° 20, p.167.

**BOULLIER AM, PECHER A, FRANCE-LANORD C (1989).** Fluid inclusions in the Main Central Thrust pile in Central Nepal. *Fifth Meeting of European Union of Geosciences (EUG V), 20-23 mars, Strasbourg.* Terra Abstracts, 1, 1, p. 379.

**BOULLIER AM, FRANCE-LANORD C, DUBESSY J (1990).** Annular Fluid Inclusions as Indicators for a Pressure Increase in the High Himalaya Mountains (Nepal). *American Geophysical Union Spring Meeting, May 29-June 1, Baltimore.* EOS, 71, p. 643.

Fluid inclusions were studied in a quartz lens from the structurally highest unit (High Himalaya Sedimentary Series) of the Himalaya mountains in Nepal from a textural, geometrical, chemical and isotopic point of view. Six different types of fluid inclusion are distinguished. One of these types shows annular inclusions; this shape, together with the increasing density correlated with increasing size for fluid inclusions in a single crack, is attributed to a confining pressure increase in a non-isotropic stress field. Two successive stress fields are deduced from the orientation of the inclusion planes relative to the schistosity. The bulk composition of the fluid is dominated by CO<sub>2</sub> (84 mole%) and H<sub>2</sub>O. As shown by Raman analyses, the composition remains constant during the whole history of the sample indicating that it is buffered by the carbonaceous host rock and/or that one single fluid has been reworked in situ. Stable isotopic studies on the fluids and on minerals show (1) that fluids were buffered by surrounding rocks for O and C and (2) that at least two types of water (metamorphic and meteoric) were involved. Finally, a P-T-t- $\epsilon$ - $\sigma$  path is proposed for the sample, taking into account the southward thrusting along the Main Central Thrust, the northward tectonic denudation of the Himalaya mountains inducing tectonic burying below the Annapurna Range, and lastly, the rapid subsequent uplift.

**BOULLIER AM, FRANCE-LANORD C, DUBESSY J (1990).** Linked fluid and tectonic evolution in the High Himalaya mountains (Nepal). *Third biennial Pan-American Conference on Research on Fluid Inclusions, Toronto, Ontario, (PACROFI III), 3, p. 20.*

**BOULLIER AM, ROBERT F (1990).** Fluid circulation in gold-quartz veins in the S.E. Abitibi subprovince, Canada. *Third biennial Pan-American Conference on Research on Fluid Inclusions, Toronto, Ontario, (PACROFI III), 3, p. 21.*

**BOULLIER AM, ROBERT F** (1990). Fluid dynamics in gold-quartz veins in SE Abitibi Subprovince, Canada. *Geological Society of America, Annual Meeting, Dallas, Abstracts with Programs*, A94.

Archean gold-quartz vein deposits in the Val d'Or area (Abitibi, Quebec) consist of networks of quartz-tourmaline veins in horizontal extensional fractures (flat veins) and in high-angle reverse "brittle-ductile" shear zones (steep veins) formed in a regime of horizontal shortening and subvertical elongation. Both types of veins are broadly coeval and reverse slip increments accompanied formation of the steep veins. Slip along high-angle reverse shear zones in such a regime is only possible under conditions of high fluid pressure. Sibson et al. (1988, *Geology*, 16, 551-555) proposed that these shear zones act as pressure-sensitive "fault-valves" and that cyclic pressure fluctuations accompanied vein formation. Vein textures and fluid inclusion planes (mode I cracks) have been studied in order to further document fluid dynamics during vein formation.

In flat veins, crack-seal textures, tourmaline fibres and stretched quartz crystals indicate incremental opening is a subvertical direction. Open-space filling textures are also common. Buckling and kinking of vertical tourmaline fibres show that vertical shortening also occurred intermittently during vein formation. Both vertical opening and shortening are further indicated by the observed two dominant orientations of fluid inclusion planes: planes of CO<sub>2</sub>-rich inclusions parallel to the vein walls record vertical opening, and planes of H<sub>2</sub>O-rich (+/-CO<sub>2</sub>), low to moderate salinity inclusions at high angle to the vein walls record vertical shortening.

In steep veins, fibres are absent, crack-seal textures are scarce, but open-space filling textures are commonly present. Plastic deformation related to further reverse slip increments commonly obliterates primary textures related to vein opening and formation. Normal movements are also locally noted on tourmaline-coated slip surfaces. Fluid inclusion planes are also disturbed by plastic deformation and show a wide range of orientations. However, planes of H<sub>2</sub>O-rich (+/-CO<sub>2</sub>), low to moderate salinity inclusions are preferentially oriented perpendicular to the slip direction along the steep veins.

Textures in flat veins indicate repeated horizontal hydraulic fracturing and supralithostatic fluid pressure, leading to opening of the fractures. Episodic vertical shortening records episodic drops in fluid pressure accompanying seismic rupture and slip along the associated steep veins as postulated by Sibson et al. (1988). Normal movements along these steep veins is tentatively interpreted as due to dynamic overshoots during earthquakes.

**BOULLIER AM, ROBERT F** (1990). Fluid dynamics in gold-quartz veins in SE Abitibi Subprovince, Canada: a combined microstructural and fluid inclusion approach. *8th International Association on the Genesis of Ore Deposits Symposium (IAGOD) Ottawa, Ontario*. Program with Abstracts, A1.

**BOULLIER AM, ROBERT F** (1990). Textures and fluid inclusion planes in gold-quartz veins in SE Abitibi Subprovince, Canada. *Nuna Research Conference on Greenstone gold and crustal evolution, Val d'Or, Québec*, p. 135.

**CHAMPENOIS M, BOULLIER AM** (1989). Use of an interactive image analysis system for the quantification of finite strain applied to the Abeibara-Rarhous shear zone (Iforas, Mali). *Fifth Meeting of European Union of Geosciences (EUG V), 20-23 mars, Strasbourg*. Terra Abstracts, 1, 1, p. 381-382.

**CHAMPENOIS M , ITARD Y (1989).** Interactive image analysis system : contribution to structural analysis, fluid inclusion studies and petrography. *Fifth Meeting of European Union of Geosciences (EUG V), 20-23 mars, Strasbourg.* Terra Abstracts, 1, 1, p. 383-384.

The interactive image analysis system developed at C.R.P.G. (Lapique et al. 1988) is based on an IBM AT or compatible microcomputer, which is used for storage and treatment of video data provided by a high resolution RGB video camera. The images are presented on a high definition 20" screen, a digitizer tablet allows images to be outlined on the display. The output from the tablet is superimposed on the video image by means of an RGB mixing video graphic card. Then the operator himself digitizes the objects and thus extracts from the video image the information he wants to analyse.

This analyser gives good results concerning the solution of 2D geological problems : distribution of linear markers of all kinds from the regional scale (fault fields, dyke swarms...) to the micrometric scale (fission tracks). For determining of the orientation of linear markers in thin sections, such as fluid inclusion trails, cracks, subgrain boundaries, the digitized population can be treated in

several families of markers. For fission tracks, the system allows to evaluate the real length of the fission tracks (and not its projection on the observation plane) by using an automated Z-moving stage driven from the computer. On isotropic rock samples, modal analysis can be performed or the relative proportions of rock-forming minerals can be estimated (thus allowing estimations of ore grade or intensity of potassic alteration...)

This image analyser allows more precise and automated estimations of 3D parameters from digitized thin sections: (1) Characterization of the 3D finite strain ellipsoid, provided that at least the orientation of the foliation plane is known or that the reference finite strain is given; the 3D ellipsoid can also be deduced from the study of 3 perpendicular plane sections (Siddans 1980). (2) Determination of the filling or the absolute volume of fluid inclusions. The outline of an inclusion and of the phases it contains are digitized. For simple shapes of inclusions or phases (spheres, cylinders, cubes or flat inclusions) simple geometrical relations are used. In case of more complex inclusion shapes, the skeleton of the inclusion is determined and volume estimations are made assuming that the inclusion has a rotation symmetry at each point of its skeleton.

Lapique F, Champenois M et Cheilletz A (1988): *Bull. Minéra.*, 111.  
Siddans A.W.B (1980): *Tectonophysics*, 64.

**COTTIN JY, GUIRAUD M, LETERRIER J, LORAND JP (1990).** Nouvelles contraintes géodynamiques tardi Pan-Africaines ( Laouni, Sud du Hoggar Central) : Relations intrusions stratifiées-granites-métamorphisme. *15ème Colloque de Géologie Africaine, Nancy : Centre international pour la formation et les échanges géologiques (CIFEG)*, p. 255.

**DAGALLIER G, MACAUDIERE J, MARINI F, OUGUIR H (1990).** Les contrôles des minéralisations Ag-Hg d'Imiter (Anti-Atlas Maroc). *13ème Réunion des Sciences de la Terre . Grenoble : Société Géologique de France*, p. 36.

Le gisement d'argent et de mercure d'Imiter est formé de corps bréchiques qui recoupent une formation anomalique de shales carbonés. Cette formation, située au sommet d'une série grésopélique du PII, s'est déposée en base de marge et en environnement anoxique. Plissée et fracturée lors de l'orogénèse panafricaine, elle est recouverte par des andésites et des ignimbrites du PIII. L'apport minéralisant principal à sulfures complexes est associé à un remplissage bréchique irrégulier qui jalonne un système de fractures de direction N90°E d'importance régionale. A Imiter, ce système montre un mouvement d'ensemble normal-décrochant sénestre au cours du PIII ; la nature et la morphologie du remplissage ainsi que l'abondance des fragments volcaniques de gros calibre qui suivent le tracé de ces failles, montrent qu'il constitue sans doute l'un des sites émissifs privilégiés pour les volcanites de cette époque. Ainsi, la concentration du stock métal principal apparaît-elle liée à une flexure vulcanisée datée du PIII. La richesse du gisement résulte de reconcentrations supergènes ultérieures.

**DESMONS J,(1990).** Metabasites in the basements units of the Western Alps. Min. Pet. 90 Symp., Neukirchen am Grossvenediger, Mitt. Öster. Miner. Ges., 135, 18-19.

**DESMONS J, RADELLI L (1990).** Essai de corrélation tectonique des Alpes W aux Alpes E: *13e Réunion des Sciences de la Terre, Grenoble*, p. 41.

**ERNEVEIN M, DELALOYE M , DESMONS J (1990).** New constraints on geochemistry and ages of the Peri-Arabian Crescent (from Troodos to Oman). *Symposium on Ophiolite genesis and evolution of oceanic lithosphere, Muscat, Oman.* Abstracts, p. 1.



FREY M, COMPAGNONI R, DAL PIAZ GV, DESMONS J, FRANK W, HUNZIKER JC, MONTRASIO A (1989). New metamorphic map of the Alps. *Fifth Meeting of European Union of Geosciences (EUG V), 20-23 mars, Strasbourg*. Terra Abstracts, 1989, 1, 1, p. 312.

The metamorphic map of the Alps was first published in 1973 as sheet 17 of the metamorphic map of Europe by the sub-commission for the cartography of the metamorphic belts of the world (UNESCO, Paris). The availability of detailed information about the metamorphic map of the Alps made it possible to print it at a scale of 1:1,000,000 instead of the usual 1:2,500,000 scale.

Preliminary results of an ongoing project for a new edition of the metamorphic map of

the Alps were presented orally at EUG IV and will now be presented as a poster. The project is conducted by 40 geologists from all Alpine countries.

The following maps will be prepared: (i) Metamorphic map of the Alps, scale 1:1,000,000 (as for the first edition); (ii) Alpine metamorphic and (iii) Prealpine metamorphic map of the Alps, both at a scale of 1:2,500,000; (iv) Geochronological maps showing K-Ar, Rb-Sr and Sm-Nd whole rock data as well as K-Ar, Rb-Sr and U-Pb mineral data; (v) a combined tectonic-lithologic map of the Alps, scale 1:2,500,000.

GASQUET D, LETERRIER J (1990). Le massif du Tichka, un témoin de l'évolution tardi-Hercynienne de la croûte continentale du Haut Atlas Occidental marocain. *15ème Colloque Géologie Africaine, Nancy : Centre international pour la formation et les échanges géologiques (CIFEG)*, p. 372.

LETERRIER J, SA EF J, MACEDO MHF, AMARO VE (1990). Magmatic and geodynamic signature of the Brasiliano cycle plutonism in the Serido belt, NE Brazil. *36è Congresso Brasileiro de Geologia, Natal. Abstracts*, p.167.

MARINI F, OUGUIR H, DAGALLIER G, MACAUDIERE J, QADROUCI A, LEISTEL J.M (1990). Environnement sédimentaire et contexte géodynamique précambrien du gisement argentifère d'Imiter Anti Atlas oriental, Maroc. *15ème Colloque Géologie Africaine, Nancy : Centre international pour la formation et les échanges géologiques (CIFEG)*, p. 353.

MARTIN H, SA EF J, MEDEIROS H de, MACEDO MHF, LETERRIER J (1990). Transamazonian augen gneisses SE of Açú, Serido belt, NE Brazil. *36è Congresso Brasileiro de Geologia, Natal, Abstracts*, p.180

RADELLI L, DESMONS J (1990). Kinematics of the Western Alps : abstract. *Ofioliti*, 15, p.197.

The Mesozoic to Early Cainozoic reconstruction proposed for the Western Alps has been logically deduced from considerations on arc dynamics, ophiolites and high-pressure metamorphism and from the observation of similarities between the Briançon-Bernhard rock sequences and the Southern Alps. The reconstruction comprises the following points. Two arcs broke away from Gondwana. The first was made up of the future Monte Rosa and Sesia zones; its outward migration created the marginal sea from which the Zermatt ophiolites later derived. While migrating the second arc, Simplon-Ticino + Briançon-Bernhard, successively created the Combin basin at its back, closed the Zermatt marginal sea and overrode the Monte Rosa-Sesia-Zermatt complex before finally reaching the rim of the Tethyan ocean.

O Sistema de Dobramentos Rio Preto é uma unidade de idade brasileira (~650 m.a.) que bordeja o Cráton do São Francisco em sua porção noroeste. Caracteriza-se por apresentar uma estrutura assimétrica, com dupla vergência (estrutura em leque), sendo que o domínio sul é bem mais desenvolvido e mostra uma clara vergência tectônica para o Cráton do São Francisco. A transição da faixa para o cráton dá-se de modo progressivo. O domínio norte, mais curto, está inclinado para norte e cavalga o embasamento policíclico do Estado do Piauí. A transição ocorre, portanto, de maneira abrupta.

Os materiais que constituem o Sistema de Dobramentos Rio Preto representam os equivalentes espessos das coberturas da parte superior do Proterozóico Médio (Grupo Espinhaço Superior ou Grupo Chapada Diamantina) e do Proterozóico Superior (Supergrupo São Francisco) do Cráton do São Francisco. Eles são essencialmente detríticos e possuem uma espessura total da ordem de 5.000 a 7.000 metros, segundo os dados gravimétricos. Desta maneira o preenchimento do *graben* do Rio Preto iniciou-se, como parece ser o caso de muitas faixas brasileiras, ao redor de 1200 m.a..

A Formação Riachão das Neves, topo do Grupo Bambuí na região, correlacionada com a Formação Três Marias, a qual é considerada como um depósito molássico no Estado de Minas Gerais, encontra-se no Sistema Rio Preto afetada pela tectogênese brasileira, que compreende três fases de dobramentos claramente identificáveis.

O metamorfismo é do tipo barroiano e varia de grau fraco a grau médio com registros de retrometamorfismo no embasamento gnáissico. Nenhuma granitização foi observada.

Estas coberturas foram depositadas em bacias, cujo centro de subsidência migrou no decorrer dos tempos provavelmente para sul, em direção ao Cráton do São Francisco, sendo que cada uma destas recobre em discordância cartográfica a borda meridional da precedente. A mais antiga das bacias, o *graben* do Rio Preto, coincide com uma forte anomalia gravimétrica negativa (-100 mgal) indicando uma espessa acumulação de sedimentos.

O modelo geotectônico proposto é aquele de uma bacia instalada sobre uma crosta continental adelgada sem contribuição de material do manto.

No decorrer da tectogênese brasileira (700-500 m.a.) a cobertura é descolada e dobrada, enquanto o embasamento, nesta época, é pouco afetado. Este modelo, de uma maneira geral, é aplicável a muitas faixas brasileiras no Brasil. Sua particularidade é sua dupla vergência com um transporte de material para o Cráton do São Francisco (este é o esquema habitual) e para o embasamento que aflora no Estado do Piauí. As causas desta estrutura em leque são discutíveis, mas podem estar associadas a reativações de grandes falhas do embasamento, em regime direcional (*French fault*) durante o Ciclo Brasileiro, que teriam deformado a cobertura metassedimentar.

**SA JM , LETERRIER J, BERTRAND JM (1990).** Petrologia e evolução geodinâmica da faixa Oros: evidências de uma bacia tardi-Transamazônica. *36º Congresso de Geologia, Natal, RN, Abstracts*, p.300.

O significado geodinâmico dos ortognaisses pre-Brasilianos ao longo da faixa Seridó-Cachoeirinha-Riacho do Pontal (FSCR) tem se revelado um ponto crítico para a caracterização de terrenos mono e policíclicos na Província Borborema. As idades mais confiáveis nessas rochas (U-Pb em zircões e isócronas Rb-Sr) situam-se entre 2,0 e 1,9 Ga, embora subsistam problemas a resolver como o significado de resultados ca. 1,0 Ga (idades mistas ou eventos reais?). Alguns autores consideram-nas como intrusões anorogênicas, sin-sedimentares, muito depois envolvidas na deformação Brasileira. Todavia, sua gnaissificação num evento de deformação tangencial com transporte para S/SE pré-data plútons Brasileiros datados em até 765 Ma, que truncam tais estruturas. Esses granitóides antigos apresentam feições típicas de corpos sinorogênicos, tais como a intrusão em sequências flyschóides, "sheets" dispostos plano-axiais a dobras recumbentes, ausência de fácies vulcânicas associados, deformação sistematicamente em alta temperatura mesmo com encaixantes de fácies xistos verdes, gradientes metamórficos da foliação regional aproximando-se dos contatos, e o concomitante rejuvenescimento isotópico do embasamento.

O estudo geoquímico iniciado em diversos corpos ao longo da FSCR revela que o tipo mais abundante corresponde a augen gnaisses graníticos a monzograníticos, secundariamente granodioríticos. As variações composicionais desses corpos sugerem heterogeneidade das fontes e/ou graus variáveis de fusão e interação crustal. Os elementos maiores indicam "trends" subalcalinos ("monzoníticos") ou transicionais a cálcio-alcalinos (shoshoníticos). Na região do Seridó essas rochas mostram feições de coexistência de magmas com respeito a corpos subordinados de tonalitos e granodioritos com assinatura cálcio-alcalina. Tardamente ocorrem intrusões estratóides de leucogranitos de tendência aluminosa ou subalcalina, e variedades alcalinas e peralcalinas saturadas, mais restritas.

Diagramas discriminantes com elementos maiores e traços mostram que essas suites se distribuem nos campos "sinorogênico" ("arco" e "sin-colisional"), "intraplaca/anorogênico" e "pós-orogênico". Conquanto subsista a possibilidade de diferentes idades e tipos, tal ambiguidade pode ser removida considerando as relações de campo e sua nítida distinção, nos mesmos diagramas e "spidergrams", com respeito a plútons anorogênicos ca. 1,7 Ga de Orós, do Espinhaço baiano e de outras províncias. Como os plútons no campo "intraplaca" intrudem formações flyschóides ou coexistem com tipos cálcio-alcalinos, é preferível interpretá-los como corpos sin a tardi-orogênicos. As características geoquímicas dos plútons, incluindo alguns dados isotópicos de Sr e Nd, sugerem fontes crustais ou do tipo I para esses granitóides. Não é possível conceder importância a processos de subducção contemporâneos, os quais teriam gerado grandes volumes de magmas cálcio-alcalinos. A evolução geodinâmica no ciclo Transamazônico desta região parece ter envolvido apenas limitada criação e consumo de litosfera oceânica, aproximando-se mais a regimes de subducção intracontinental, o que explicaria a predominância das afinidades subalcalinas. Finalmente, os resultados são coerentes com a hipótese de que o evento Brasileiro, além de eventualmente justapor terrenos distintos, teria retrabalhado feições orogênicas prévias caracterizando a natureza policíclica da faixa.

# ÉQUIPE

## GÉOCHIMIE ISOTOPIQUE ET

## GÉOCHRONOLOGIE

F. ALBAREDE	Professeur, ENSG	Co-animateur
A. MICHARD	Directeur de Recherche 2	Co-animatrice
S.M.F. SHEPPARD	Directeur de Recherche 1	Co-animateur
C. ALIBERT	Chargée de Recherche 1	
P. ALLE	Ingénieur de Recherche 2	
M. CHAUSSIDON	Chargé de Recherche 2	
E. DELOULE	Chargé de Recherche 1	
C.FRANCE-LANORD	Chargé de Recherche 2	
J.L. ZIMMERMANN	Chargé de Recherche 1	
P. COGET	Assistant Ingénieur	
D. DAUTEL	Technicien 2	
J.C. DEMANGE	Ingénieur d'Etudes 2	
G. GUYETAND	Ingénieur d'Etudes 2	
S. LEROY	AJT 2	

### Chercheurs associés et post-doc

DERRY L.	Université de Harvard
LARSON P.	Washington State University
SOBOLEV A.	Vernadsky Institute - Moscou
SUVOROVA V.	Institute of Experimental Petrology - Moscou

### Thésards :

ABOUCHAMI W.  
BOHER M.  
GRANDJEAN P.  
HENRY P.  
LAMA C.  
ROUSSET L.  
SIMOS E.  
TAIEB R.

### DEA :

GRASSET O.  
TURPIN V.

### Stagiaires

BOUHLEL S.	Université de Tunis
GALY A.	2ème année ENSG
SCHUMACHER S.	2ème année ENSG

## Liste et Résumés des Publications

Journal of Geophysical Research, 1990, 95, n° B11, 17605-17629.

### A Major 2.1 Ga Event of Mafic Magmatism in West Africa: An Early Stage of Crustal Accretion

Wafa ABOUCHAMI AND MURIEL BOHER

Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques, Vandoeuvre lès Nancy, France  
Université de Nancy I, Nancy, France

ANNIE MICHARD AND FRANCIS ALBAREDE

Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques, Vandoeuvre lès Nancy, France  
Ecole Nationale Supérieure de Géologie, Nancy, France

Birimian terranes from West Africa (Mauritania, Senegal, Ivory Coast, Burkina Faso, Niger) comprise two major units: a dominantly mafic bimodal volcanic unit and a volcano-detrital unit with mostly felsic to intermediate protolith. Stratigraphic relationships of these units are still a matter of debate but current work suggest that they both formed in a short time interval around 2.1 Ga. Widespread basaltic magmas from the bimodal unit have been analyzed for REE distributions and Sr-Nd isotopes. Three Sm-Nd isochrons on tholeiitic lavas were obtained at  $2.229 \pm 0.042$  Ga and initial  $\epsilon_{Nd} = 3.6 \pm 1.0$  for Mauritania,  $2.126 \pm 0.024$  Ga and initial  $\epsilon_{Nd} = 2.9 \pm 0.7$  for Burkina Faso,  $2.063 \pm 0.041$  Ga and initial  $\epsilon_{Nd} = 3.1 \pm 1.0$  for Eastern Senegal, data which compare with the age of  $2.11 \pm 0.09$  Ga and initial  $\epsilon_{Nd} = 2.1 \pm 1.8$  obtained in Guyana by Gruau et al. (1985). Samples from other localities (Ivory Coast, Niger) give generally similar results. Although the variations of Sm/Nd ratios and the scatter of  $\epsilon_{Nd}(T)$  values from +1.2 to +4.3 preclude a single origin for these magmas, initial isotopic heterogeneities are unlikely to bias significantly the ages given by the isochrons which are in good agreement with U-Pb zircon ages (Boher et al., 1989; unpublished data, 1990). Presence of lavas with frequent pillow structures and sediments virtually free of older recycled components suggests that Birimian terranes formed in ocean basins far from continental influence. The isotopic heterogeneities are not consistent with a MORB-like mantle source. Most lavas are slightly depleted in LREE and inversion of the data through a melting model suggests 5-15 percent melting of a slightly depleted lherzolite. Strong depletion (Burkina Faso) and slight enrichment (Senegal) are occasionally observed. With a noticeable trend of Ti enrichment with differentiation intermediate between that of MORB and IAT, the geochemical signature of Birimian basalts does not fit the best known geodynamic environments. Back-arc or low-Ti continental flood basalts provide a marginally good agreement but still face some difficulties. Oceanic flood basalts similar to those which form oceanic plateaus (e.g. in the Nauru basin) and later accreted to continents as allochthonous terranes represent the most acceptable modern analogue of many Proterozoic basalts. It is suggested that deep plumes piercing young lithosphere can generate huge amounts of tholeiites in a short time. Birimian basalts, like many Early Proterozoic basalts, may also be viewed as recent equivalents of the Archean greenstone belts. The modern komatiite of Gorgona Island is suggested to fit this model of intraplate volcanism. Although the 2.1 Ga magmatic event in West Africa has gone virtually unnoticed in the literature, it extends over several thousand kilometers and compares with the distribution of mantle-derived magmatic activity in other major orogenic provinces (e.g. Superior). It shows that the growth rate of continents cannot be extrapolated from the data obtained solely from the best studied continents (North America, Europe, Australia). If such large crustal segments were overlooked, a spurious pattern of episodic activity of the mantle could arise.

\*\*\*\*\*  
Tectonophysics, 1989, 61, 299-305.

### Sm / Nd constraints on the growth rate of continental crust <sup>1</sup> FRANCIS ALBAREDE

Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques et Ecole Nationale Supérieure de Géologie, BP 54501 Vandoeuvre Cedex (France)

#### Abstract

Albarède, F., 1989. Sm/Nd constraints on the growth rate of continental crust. In: L.D. Ashwal (Editor), Growth of the Continental Crust. *Tectonophysics*, 161: 299-305.

The time constants are calculated which rule the evolution of Nd isotopes in a model Earth composed of the continental crust, a depleted upper mantle, and a pristine lower mantle, and in which the upper mantle is not constrained to grow or not to grow at the expense of the lower mantle. The growth rate of the continental crust is calculated to be  $1.8 \pm 0.7$  km<sup>3</sup>/yr, with  $2.5 \pm 0.5$  km<sup>3</sup>/yr of new crust addition from the mantle and  $0.8 \pm 0.5$  km<sup>3</sup>/yr of sediment entrainment at subduction zones. The characteristic times for Nd evolution in the depleted mantle and continental crust imply that the Sm-Nd system evolves far from steady state.

#### 4. ION MICROPROBE ANALYSES OF THE SULFUR ISOTOPIC COMPOSITION OF SULFIDES IN HYDROTHERMALLY ALTERED ROCKS, DSDP/ODP HOLE 504B<sup>1</sup>

Jeffrey C. Alt<sup>2</sup> and Marc Chaussidon<sup>3</sup>

##### ABSTRACT

An ion microprobe was used to perform *in-situ* measurements of the sulfur isotopic compositions of sulfide minerals in seven samples of hydrothermally altered rocks from DSDP/ODP Hole 504B. The sulfides exhibit a wide range in  $\delta^{34}\text{S}$  values, from  $-4.1\text{‰}$  to  $+8.3\text{‰}$ . Heterogeneities exist among different sulfide grains in a given sample as well as within individual grains. A transect across a centimeter-size pyrite crystal reveals  $\delta^{34}\text{S}$  values that span the range of the entire data set, indicating a complex growth history for this crystal. The positive  $\delta^{34}\text{S}$  values are similar to those reported for seafloor sulfide deposits and are interpreted to reflect a combination of sulfur leached from basalts and  $^{34}\text{S}$ -rich sulfide derived from seawater sulfate. Incorporation of seawater-derived sulfur is greatest in a stockworklike sulfide mineralization in the core, where subsurface mixing occurred between hydrothermal fluids and seawater. Variations in  $\delta^{34}\text{S}$  are attributed to (1) incorporation of variable amounts of seawater-derived sulfide, (2) kinetic effects during precipitation, (3) reservoir effects during precipitation, (4) and variations in pH and  $f_{\text{O}_2}$ .

\*\*\*\*\*  
Comptes Rendus de l' Académie des Sciences (Paris), 1989, t. 308, série II, 39-44.

#### Détermination expérimentale du fractionnement isotopique D/H entre tourmaline et eau à 600, 500°C et 3 kbar

Dominique BLAMART, Michel PICHAVANT, SIMON M. F. SHEPPARD

**Résumé** — La calibration expérimentale du fractionnement isotopique de l'hydrogène entre tourmaline naturelle (schorl-dravite,  $X_{\text{Fe}} \sim 0.5$ ) et eau à 600, 500°C et 3 kbar donne un coefficient de fractionnement à l'équilibre de 1,002 et de 0,980 respectivement. Dans cette gamme de température, le facteur de fractionnement ( $\alpha$ ) entre tourmaline et muscovite peut s'exprimer sous la forme :

$$1000 \ln \alpha_{\text{tour.} - \text{musc.}} = -39,3(10^6 T^{-2}) + 63,4.$$

Le couple tourmaline-muscovite est le premier géothermomètre minéral, pour les isotopes de l'hydrogène, qui soit applicable aux systèmes de haute température.

#### Experimental determination of the D/H isotopic fractionation between tourmaline and water at 600, 500°C and 3 kbar

**Abstract** — The experimental calibration of the D/H isotopic fractionation between natural tourmaline (schorl-dravite with  $X_{\text{Fe}} \sim 0.5$ ) and water at 600, 500°C and 3 kbar gives an equilibrium fractionation factor of 1.002 and 0.980 respectively. In this temperature range, the fractionation factor ( $\alpha$ ) between tourmaline and muscovite can be expressed as:

$$1,000 \ln \alpha_{\text{Tourmaline} - \text{Muscovite}} = -39.3(10^6 T^{-2}) + 63.4.$$

The couple tourmaline-muscovite is the first hydrogen isotope mineral geothermometer which can be applied to high temperature systems.

\*\*\*\*\*  
FRANCE-LANORD C, In : Shipboard Scientific Party of Leg 129 (1990). Ocean Drilling Program. Ancient Crust on Pacific Plate. Leg 129 shipboard Scientific Party. Nature, 345, p.112.

\*\*\*\*\*  
FRANCE-LANORD C, In : Shipboard Scientific Party of Leg 129 (1990). Ocean Drilling Program. Jurassic Oceanic Crust and Sediments in the Pacific at last. Geotimes, 35, n° 6, 25-26.

\*\*\*\*\*  
FRANCE-LANORD C, In : Shipboard Scientific Party of Leg 129 (1990). Inorganic Geochemistry. In Y Lancelot, RL Larson et al. , Proc. ODP, Init. Repts., 129: College Station, TX (Ocean Drilling Program).

## 5. SEDIMENTOLOGY AND ISOTOPIC CHEMISTRY OF THE BENGAL FAN SEDIMENTS: THE DENUDATION OF THE HIMALAYA<sup>1,5</sup>

Anne Bouquillon,<sup>2</sup> Christian France-Lanord,<sup>3</sup> Annie Michard,<sup>3</sup> and Jean-Jacques Tiercelin<sup>4</sup>

### ABSTRACT

Mineralogical and H, O, Sr, and Nd isotope compositions have been analyzed on a set of representative samples from the 17-m.y. section in ODP Leg 116 Holes 717C and 718C. Based on the mineralogical composition of the fraction <2  $\mu\text{m}$  together with the lithogenic-biogenic composition of the fraction >63  $\mu\text{m}$ , the whole section can be subdivided into three major periods of sedimentation. Between 17.1 and  $\approx$ 6 m.y., and between  $\approx$ 0.8 m.y. to present, the sediments are characterized by sandy and silty turbiditic inputs with a high proportion of minerals derived from a gneissic source without alteration. In the fraction <2  $\mu\text{m}$ , illite and chlorite are dominant over smectite and kaolinite. The granulometric fraction >63  $\mu\text{m}$  contains quartz, muscovite, biotite, chlorite, and feldspars. The 6-to 0.8-m.y. period is represented by an alternation of sandy/silty horizons, muds, and calcareous muds rich in smectite, and kaolinite (50% to 85% of the fraction <2  $\mu\text{m}$ ) and bioclastic material. The presence of smectite and kaolinite, as well as the  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  and the  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratios of the fraction <2  $\mu\text{m}$ , imply an evolution in a soil environment and exchanges with meteoric ground water.

The ranges of isotopic compositions are limited throughout the section:  $\delta^{18}\text{O}$  quartz = 11.7 to 13.3‰,  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  = 0.733 to 0.760 and  $\epsilon\text{Nd}_0 = -17.4$  to  $-13.8$ . These values are within those of the High Himalaya Crystalline series, and they are considered to reflect this source region. The data imply that, since 17 Ma, this formation has supplied the major part of the eroded material.

\*\*\*\*\*

Geochimica et Cosmochimica Acta, 1990, 54, 781-795.

### Cerium anomalies in lateritic profiles

JEAN-JACQUES BRAUN,<sup>1</sup> MAURICE PAGEI,<sup>2</sup> JEAN-PIERRE MULLER,<sup>3</sup> PAUL BILONG,<sup>4</sup>  
ANNIE MICHARD,<sup>3</sup> and BERNARD GUILLET<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Centre de Pédologie Biologique, CNRS, BP 5, 54501 Vandœuvre-lès-Nancy, Cedex, France

<sup>2</sup>CREGU and GS CNRS-CREGU, BP 23, 54501 Vandœuvre-lès-Nancy, Cedex, France

<sup>3</sup>ORSTOM, Département T.O.A. and Laboratoire de Minéralogie-Cristallographie, UA CNRS 09,  
Universités Paris 6 et 7, 4 place Jussieu, 75252 Paris Cedex 05, France

<sup>4</sup>Département des Sciences de la Terre, Faculté des Sciences de l'Université de Yaoundé, BP 812, Yaoundé, Cameroun

<sup>5</sup>Laboratoire de Géochimie Isotopique, Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques,  
CNRS, 54501 Vandœuvre-lès-Nancy Cedex, France

<sup>6</sup>Laboratoire de Géologie de la Matière Organique, UA CNRS 724, Université d'Orléans, BP 6759, 45067 Orléans Cedex 2, France

(Received May 31, 1989; accepted in revised form December 15, 1989)

Abstract—The REE geochemistry and mineralogy have been studied in four lateritic profiles, one derived from a syenite (Akongo, SW Cameroon), the others being developed on a gneissic basement and located along a soil toposequence (Goyoum, E Cameroon). There is a fractionation between LREE and HREE in the lateritic samples during weathering, the weathered residual products being enriched in LREE (from La to Eu) and depleted in HREE (from Gd to Lu); sampled waters are enriched in HREE in relation to the syenite host-rock. A positive Ce-anomaly has been found systematically at the top of the saprolite, beneath a zone of iron oxide accumulation in the laterite. Up to 2000 ppm Ce may be present. In the Akongo profile, cerianite,  $\text{CeO}_2$ , is present as very fine coatings in non-ferruginous clayey domains. Primary REE-bearing accessory minerals are weathered at the bottom of the profile. Specifically, allanite and apatite are transformed into florencite and rhabdophane but these phases have no Ce-anomaly. All the data are interpreted as the result of the following processes: (1) REE leaching in a reducing environment, (2) oxidation of  $\text{Ce}^{3+}$  to  $\text{Ce}^{4+}$  in an oxidizing environment, and (3) deposition of cerium as cerianite whereas the other REE remain in solution.

Geology, 1989, 17, 273-276.

## Upper Jurassic mafic magmatic rocks of the eastern Klamath Mountains, northern California: Remnant of a volcanic arc built on young continental crust

Marc Brouxel\*

Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques B.P. 20, 54501 Vandœuvre les Nancy, France  
and Laboratoire de Pétrologie, Université de Nancy I, 54506 Vandœuvre les Nancy, France

Henriette Lapiere

Laboratoire de Pétrologie, Université de Nancy I, 54506 Vandœuvre les Nancy, France  
and Laboratoire de Géologie Structurale, Université d'Orléans B.P. 6759, 45067 Orléans, France

Jean-Louis Zimmermann

Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques, B.P. 20, 54501 Vandœuvre les Nancy, France

### ABSTRACT

Diabasic and gabbroic dikes intruding the lower Paleozoic Trinity Ophiolite in the Lovers Leap section, Klamath Mountains, California, display strong calc-alkalic petrological and geochemical features (occurrence of primary amphiboles, zoned plagioclase phenocrysts and biotite, low  $TiO_2$ , high incompatible trace-element contents, and light rare earth element enrichment). These dikes, of Late Jurassic age ( $149 \pm 6$  Ma by K-Ar), are petrographically and geochemically similar to the contemporaneous calc-alkalic ultramafic-mafic magmatism well developed through the Klamath Mountains. They present negative Nb, Zr, and Ti anomalies typical of subduction-related magmatism and probably belong to a volcanic arc on an active continental margin. Their  $\epsilon_{Sr}$  (between  $-9.7$  and  $-12.5$ ) and  $\epsilon_{Nd}$  (between  $5.6$  and  $6.3$ ) values compare with some western U.S. Mesozoic granites. The Nd isotopic values, lower than those of mid-oceanic ridge basalts and intra-oceanic island arcs, suggest that these dikes, deriving from a depleted mantle source, have been slightly contaminated by continental material, probably subducted sediments. Values of  $\epsilon_{Nd}$  suggest, moreover, that no old continental crust underlies the Klamath Mountains.

\*\*\*\*\*  
Earth and Planetary Science Letters, 1989, 92, 144-156.

## Sulphur isotope variations in the mantle from ion microprobe analyses of micro-sulphide inclusions

Marc Chaussidon, Francis Albarède and Simon M.F. Sheppard

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

Received September 29, 1988; revised version accepted January 3, 1989

21 samples of sulphide trapped either as liquid globules or grains in various minerals (olivine, pyroxenes, ilmenite and garnet) or rocks (basalt glasses, peridotites, eclogites and kimberlites) of mantle origin, have been analysed for their sulphur isotope, and their Cu, Ni, Fe compositions by ion microprobe. The results show a wide range of  $\delta^{34}S$  values between  $-4.9 \pm 1$  and  $+8 \pm 1\%$ . Sulphides with high nickel contents (up to 40% pentlandite), corresponding mostly to residual peridotites, have  $\delta^{34}S$  values ranging from  $-3.2\%$  to  $+3.6\%$  with a mode of  $+3 \pm 1\%$ , compared to low Ni content sulphides, mostly contained in pyroxenites, OIB and kimberlites, ranging from  $-3.6\%$  to  $+8\%$  with a mode of  $+1 \pm 1\%$ .

The  $\delta^{34}S$  of sulphides originating from within the mantle are variable. The sulphide globules with high Ni contents and  $\delta^{34}S$  values close to  $+3\%$ , are probably produced by 10–20% partial melting of a mantle source containing 300 ppm sulphur as an upper limit and having a  $\delta^{34}S$  value of  $+0.5 \pm 0.5\%$ . This difference in  $\delta^{34}S$  values suggests a high-temperature S-isotope fractionation of  $\approx +3\%$  between liquid sulphide and the sulphur dissolved in the silicate liquid. The sulphur isotopes balance in the system upper mantle + oceanic crust + continental crust + seawater requires a mean  $\delta^{34}S$  value of the primitive upper mantle of  $+0.5\%$ , slightly but significantly different from that of chondrites ( $+0.2 \pm 0.2\%$ ) [1].



## Sulphur isotope composition of orogenic spinel lherzolite massifs from Ariège (North-Eastern Pyrenees, France): An ion microprobe study

MARC CHAUSSIDON<sup>1</sup> and JEAN-PIERRE LORAND<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques (CRPG-CNRS), 5 rue Notre Dame des Pauvres, B.P. 20, 54501 Vandoeuvre-lès-Nancy Cédex, France

<sup>2</sup>Laboratoire de Minéralogie du Muséum National d'Histoire Naturelle, Unité associée au CNRS URA n°736, 61 Rue Buffon, F-75005 Paris, France

(Received December 29, 1989; accepted in revised form August 3, 1990)

**Abstract**—The orogenic spinel lherzolite massifs from Ariège (Northeastern Pyrenees, France), which represent tectonically emplaced fragments of the sub-continental upper mantle, are composed mainly of variously depleted peridotites. These rocks are crosscut by two generations of pyroxenites. The first is made up of layered pyroxenites, which are interpreted either as crystal segregates from Triassic continental tholeiites or as subducted parts of the oceanic crust re-injected within the upper mantle. The second consists of amphibole-rich dikes separated from Cretaceous alkali basalts.

Forty sulphide grains, occurring either as inclusions within silicates or as interstitial grains, were investigated by ion microprobe for their sulphur isotopic compositions. The  $\delta^{34}\text{S}$  values range between  $-5.7 \pm 1.5$  and  $+4.5 \pm 1.5\text{‰}$  with an average of  $-0.7\text{‰}$ , being very similar to the value of  $0 \pm 2\text{‰}$  commonly assumed for the upper mantle. However, significant differences in  $\delta^{34}\text{S}$  values are observed between the different rock types. Negative  $\delta^{34}\text{S}$  values (average =  $-3.2\text{‰}$  for the massive peridotites) are discovered for the first time in mantle peridotites. In contrast, amphibole pyroxenites have positive  $\delta^{34}\text{S}$  values (mean =  $+3.3\text{‰}$ ), while layered pyroxenites show a wide range of variations from  $-3.1 \pm 1.5$  to  $+4.5 \pm 1.5\text{‰}$ . Peridotites adjacent to layered pyroxenite display  $\delta^{34}\text{S}$  values ranging from  $-5.2 \pm 1.5\text{‰}$  to  $+2.8 \pm 1.5\text{‰}$ , which reflect partial re-equilibration with the tholeiitic melt. Comparison between sulphide inclusions in silicates and interstitial sulphide grains strongly suggests that serpentinization and pyrenean metamorphism had no significant effect on the  $\delta^{34}\text{S}$  values. Likewise, these values are broadly independent of the degree of partial melting. The negative  $\delta^{34}\text{S}$  values of the massive peridotites could represent an ancient depletion event in the upper mantle. By contrast, the positive  $\delta^{34}\text{S}$  values observed in the layered pyroxenites and the amphibole-rich dikes indicate that the two parent magmas had in common a mantle source variously enriched in  $^{34}\text{S}$ . Therefore, the present study reveals two extreme reservoirs characterized by different  $\delta^{34}\text{S}$  values in the upper mantle ( $\approx -3$  and  $\approx +3\text{‰}$ , respectively). This range of variations can explain most  $\delta^{34}\text{S}$  values found in MORB, continental tholeiites, and alkali basalts.

\*\*\*\*\*

Marine Geophysical Research, 1989, 11, 27-50.

## Geology of an Active Hot Spot: Teahitia-Mehetia Region in the South Central Pacific

J. L. CHEMINEE

Observatoires Volcanologiques, IPG, 4 place Jussieu, 75252 Paris, Cedex 05

R. HEKINIAN

Centre de Brest, IFREMER, BP 70, 29263 Plouzané

J. TALANDIER

Laboratoire de Géophysique, CEA, BP 640, Papeete, Tahiti, Polynésie française

F. ALBAREDE, C. W. DEVEY

CRPG-CNRS, BP 20, 54501 Vandoeuvre-lès-Nancy

J. FRANCHETEAU

Laboratoire de Géophysique Marine, IPG, 4 place Jussieu, 75252 Paris Cedex 05

and

Y. LANCELOT

Laboratoire de Géologie Dynamique, Université P. et M. Curie, 4 place Jussieu, 75252 Paris Cedex 05

**Abstract.** The Teahitia-Mehetia hot spot region located in the southeastern extension of the Society Islands chain, near  $18^{\circ}\text{S}$ – $148^{\circ}\text{W}$  consists of several active volcanoes. The distribution of recent volcanic activity correlates with seismic epicenters, and covers an area of more than  $1000\text{ km}^2$ . Intermittent volcanic activity has given rise to large ( $> 1000\text{ m}$  high) and small ( $< 500\text{ m}$  high) edifices composed of various types of flows. Several recent volcanic events have produced a suite of alkalic rocks ranging from ankaramites, through alkali basalts to trachy-phonolites. The presence of altered MORB-like tholeiites on one small seamount suggests that a different mantle source material was involved in forming some of the crust in this hot spot region.

**Metallogenesis of the Abitibi greenstone belt of Canada: a contribution from the analysis of trace lead in sulfide minerals**

ETIENNE DELOULE<sup>1</sup>

*Laboratoire de géochimie et cosmochimie, Institut de physique du globe de Paris, 4, place Jussieu, 75252 Paris CEDEX 05, France*

CLÉMENT GARIÉPY

*GEOTOP and Département des sciences de la terre, Université du Québec à Montréal, C. P. 8888, Succursale A, Montréal (Québec), Canada H3C 3P8*

AND

BERNARD DUPRÉ

*Laboratoire de géochimie et cosmochimie, Institut de physique du globe de Paris, 4, place Jussieu, 75252 Paris CEDEX 05, France*

Received October 22, 1988

Revision accepted June 19, 1989

Pb-isotopic compositions are reported for 12 ore localities within the late Archean Abitibi greenstone belt. The studied samples carry massive or disseminated sulfides hosted in a variety of materials, including mafic-ultramafic igneous rocks, felsic lavas, porphyries, and sedimentary iron formations. Repeated leaching experiments on these sulfides frequently revealed the presence of a radiogenic Pb component, which is attributed to *in situ* decay of U and Th. The leaching experiments make it possible, in some cases, to separate the radiogenic Pb from the initial Pb included in the minerals. Six Pb-Pb isochrons formed by the analyses on leachates and residues show little evidence of secondary perturbations and yield ages that are, within error, similar to those determined for the supracrustal assemblage. This implies that the ores were concentrated synchronously with the main phases of magmatic activity, close to 2.7 Ga.

The initial isotopic compositions of the sulfide specimens point to the existence of two different sources of metals: (i) juvenile, mantle-derived igneous rocks and (ii) older recycled supracrustal series. Ore formation frequently involves mixing of metals from these two sources in variable proportions. The initial isotopic composition of these two reservoirs is best evaluated by examining the composition of sulfides associated with komatiitic lava flows and with sedimentary iron formations, respectively.

La composition isotopique du plomb a été déterminée pour 12 indices métallifères situés dans la ceinture métavolcanique de l'Abitibi. Les échantillons étudiés étaient porteurs de sulfures massifs ou disséminés dans différents types de matériaux comme des roches ignées ultramafiques, des laves felsiques, des porphyres et des formations de fer sédimentaires. L'extraction du plomb contenu dans ces sulfures par des attaques ménagées et répétitives met en évidence la présence de plomb radiogénique provenant de la décroissance radioactive *in situ* d'uranium et de thorium. La pratique des attaques ménagées permet dans un certain nombre de cas de séparer le plomb radiogénique du plomb initial des minéraux. Six isochrones Pb-Pb ont été ainsi obtenues; celles-ci montrent peu d'évidence d'ouverture du système U-Pb et livrent des âges qui sont, aux erreurs près, semblables à ceux obtenus dans leur encaissant. Ceci montre que la formation des concentrations métallifères est voisine de 2,7 Ga et synchrones des principales phases d'activité magmatique.

Les compositions isotopiques initiales obtenues sur ces échantillons mettent en évidence l'existence de deux sources pour les métaux: (i) des roches ignées juvéniles, directement dérivées du manteau, et (ii) des roches issues du recyclage d'une croûte continentale plus âgée. La plupart des minéralisations sulfurées résultent d'un mélange de métaux issus de ces deux sources. La composition isotopique de ces deux réservoirs est bien définie par l'analyse de sulfures associés d'une part aux épanchements komatiitiques et d'autre part aux formations de fer sédimentaires.

\*\*\*\*\*  
Economic Geology, 1989, 84, 2217-2225.

**The Flow of Hot Brines in Cracks and the Formation of Ore Deposits**

ETIENNE DELOULE<sup>2</sup>

*Laboratoire de Géochimie et Cosmochimie, Institut de Physique du Globe, 4 place Jussieu, 75252 Paris Cedex 05, France*

AND DONALD L. TURCOTTE

*Department of Geological Sciences, Cornell University, Ithaca, New York 14853*

**Abstract**

We examined the thermal evolution of solutions transported vertically by turbulent flow in fractures and its implications for Mississippi Valley-type ore deposition. The main parameter governing the flow is fracture width, which determines the flow rate, volume, and thermal evolution of the transported fluid. We assumed local equilibrium and traced the chemical evolution of the transported solutions, the mineral deposits associated with the cooling of these solutions, and the limits of fracture clogging. The volume of fluid expelled and the fracture width determine the location of the deposit and, hence, the deposit type, i.e., carbonate hosted or vein. We show that a network of thin cracks can indeed transport the volume of brines needed for the genesis of large Mississippi Valley-type ore deposits, such as the Southeast Missouri lead district.

## Active Submarine Volcanism on the Society Hotspot Swell (West Pacific): A Geochemical Study

C.W. DEVEY,<sup>1,2</sup> F. ALBAREDE,<sup>1</sup> J.-L. CHEMINÉE,<sup>3</sup> A. MICHARD,<sup>1</sup>  
R. MÜHE,<sup>4</sup> AND P. STOFFERS<sup>4</sup>

The present work deals with the petrography and geochemistry of lavas dredged from five active submarine volcanoes (named Mehetia, Moua Pihaa, Rocard, Teahitia, and Cyana) from the southeast end of the Society Islands hotspot trace. Most samples are basic and alkaline, ranging from 16 to 5 wt % MgO, with about 5% normative nepheline. Fractionation modelling based on major and minor compatible element variations suggests that olivine and minor clinopyroxene were the major fractionating phases and implies a maximum range of fractionation of 30-35%. Rocard and Cyana have yielded more evolved, trachy-phonolitic, glassy samples. These evolved samples are thought to be derived by removal of 70% cumulate from the basalts. Both basaltic and phonolitic samples are incompatible-element enriched, with  $La/Yb/N \approx 15$  in most of the basalts. The trachy-phonolite patterns show middle rare earth element (REE) depletion and negative Eu anomalies. The Moua Pihaa basalts have flatter patterns than the other basalts ( $La/Yb/N = 7.5-12.4$ ). All samples, with the exception of a sample from Moua Pihaa which has elevated  $^{206}Pb/^{204}Pb$ , fall on linear Sr-Nd-Pb isotopic arrays, suggesting two end-member mixing. The most depleted end-member is shown to be a pristine ocean island basalt magma with no detectable contribution from a depleted, mid-ocean ridge basalt (MORB) upper mantle. The flatter REE patterns and higher  $^{206}Pb/^{204}Pb$  of the Moua Pihaa sample are taken to indicate a more depleted, U-enriched (high  $\mu$ ) component in its source. This component may be altered oceanic crust. The Sr isotopic variations in the samples excluding Moua Pihaa correlate positively with Rb/Nb, Pb/Ce, and  $SiO_2$  variations, indicating a component of mantle enriched by injection of material from a subducted oceanic slab. Correlation of  $^{207}Pb/^{204}Pb$  with  $^{87}Sr/^{86}Sr$  suggests that the subducted material is geochemically old. Mapping the geochemical variations shows that the contribution to the lavas from the subduction component is greater over the north of the hotspot than in the south. The absence of a MORB component in the Society magmatism, the small volumes of the Polynesian hotspot volcanoes, and the lack of more intense volcanic activity near the center of the Pacific Superswell, all lead us to conclude that the latter is unlikely to be caused by a large convective plume. The Superswell is more probably located above a region in the asthenospheric mantle which, due to its higher content of recycled continental debris, is anomalously hot.

\*\*\*\*\*  
Comptes Rendus de l'Académie des Sciences (Paris), 1989, t. 309, série II, 1847-1853.

### La limite Archéen/Protérozoïque inférieur d'Afrique de l'Ouest : une zone de chevauchement majeure antérieure à l'accident de Sassandra; l'exemple des régions d'Odienné et de Touba (Côte-d'Ivoire)

Jean-Louis FEYBESSE, Jean-Pierre MILÉSI, Véra JOHAN, Alain DOMMANGET,  
Jean-Yves CALVEZ, Muriel BOHER et Wafa ABAUCHAMI

**Résumé** — Les âges radiométriques montrent que l'orogénèse éburnéenne s'est déroulée sur environ 40 M.a. Il débute par une tectonique tangentielle (D1) responsable, vers 2100 M.a., de la mise en place, sur l'Archéen, de deux nappes. Cet événement est antérieur à l'accident du Sassandra qui est lié, vers 2080 M.a., à la seconde phase tectonique (D2).

**The Archean/Lower Proterozoic boundary of West Africa: a major thrust area pre-dating the Sassandra fault; example of the Odienné and Touba regions (Ivory Coast)**

**Abstract** — Various age determination has shown that the Eburnean orogeny spread over some 40 M.a. It started at about 2,100 M.a. with a thrust faulting (D1) that led to the emplacement of two nappes on the Archean. This event postdates the Sassandra fault, contemporaneous with the second Eburnean phase (D2), of about 2,080 M.a.

## Extreme temporal homogeneity of helium isotopes at Piton de la Fournaise, Réunion Island

David Graham\*, John Lupton\*, Francis Albarède† & Michel Condomines‡

\* Department of Geological Sciences and Marine Science Institute, University of California, Santa Barbara, California 93106, USA

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

‡ Centre de Recherches Volcanologiques, OPGC, Université Blaise Pascal et UA 10 CNRS, 5 rue Kessler, FD-63038, Clermont-Ferrand, France

OCEAN island basalts (OIBs) have strontium, neodymium and lead isotopic compositions that are different from those of mid-ocean-ridge basalts, (MORBs), reflecting long-term differences in the chemical characteristics of the respective mantle source reservoirs. The high  $^3\text{He}/^4\text{He}$  ratios at some islands such as Hawaii and Iceland<sup>1-7</sup> indicate that these basalts come from sources that are less degassed than the source of MORB. Many islands exhibit considerable variability in Sr, Nd and Pb isotopes<sup>8-10</sup>, but detailed studies of temporal variations in helium isotopes have been restricted to Hawaiian volcanoes—at Mauna Loa, for example, significant variations in  $^3\text{He}/^4\text{He}$  have been found for the past 30,000 years<sup>11</sup>. Here we report on  $^3\text{He}/^4\text{He}$  ratios from Piton de la Fournaise volcano on Réunion Island. No variations are found over the long time of 360,000 years, indicating a remarkable uniformity of  $^3\text{He}/^4\text{He}$  for the (large) mantle source region over this timescale. The He–Sr–Pb systematics at this island may reflect the simultaneous contribution of both recycled materials (perhaps subducted crust) and primitive components to the Réunion source.

\*\*\*\*\*  
Journal of Metamorphic Geology, 1989, 7, 57-72.

## The blueschists along the Indus Suture Zone in Ladakh, NW Himalaya

K. HONEGGER\*

Mineralogisch-Petrographisches Institut, ETH-Zürich, Sonneggstrasse 5, CH-8092 Zürich, Switzerland

P. LE FORT†

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

G. MASCLE

Institut Dolomieu, Université de Grenoble, rue Maurice Gignoux, F 38031 Grenoble, France

J.-L. ZIMMERMANN

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

**ABSTRACT** Blueschists occur along the Indus Suture Zone in Ladakh as tectonic thrust slices, as isolated blocks within mélange units and as pebbles within continental detrital series. In the Shergol–Baltikar section high-pressure rocks within the Mélange unit lie between the Dras–Naktul–Nindam nappes in the north and the Lamayuru units in the south. The blueschists are imbricated with mélange formation of probably upper Cretaceous age. They are overlain discordantly by the Shergol conglomerate of post Eocene (Oligo–Miocene ?) age. Blueschist lithologies are dominated by volcanoclastic rock sequences of basic material with subordinate interbedding of cherts and minor carbonates. Mineral assemblages in metabasic rocks are characterized by lawsonite–glaucophane/crossite–Na-pyroxene–chlorite–phengite–titanite  $\pm$  albite  $\pm$  stilpnomelane. In the quartz bearing assemblages garnet is present but omphacite absent. *P–T* estimates indicate temperatures of 350 to 420°C and pressures around 9–11 kbar. Geochemical investigations show the primary alkaline character of the blueschist, which suggests an oceanic island or a transitional MORB type primary geotectonic setting. K/Ar isotopic investigations yield middle Cretaceous ages for both whole rocks and minerals. Subduction related HP-metamorphism affecting the Mesozoic Tethyan oceanic crust developed contemporaneously with magmatism in the Dras volcanic arc and the Ladakh batholith. Subsequent collision of India with Asia obducted relics of subduction zone material which later became involved in nappe emplacement during the Himalayan mountain building.

**Key words:** Blueschist; Himalayan metamorphism; Indus Suture Zone; Ladakh.

## Ion probe measurement of rare earth elements in biogenic phosphates

PATRICIA GRANDJEAN and FRANCIS ALBARÈDE

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

(Received April 20, 1989; accepted in revised form September 20, 1989)

**Abstract**—The rare earth element (REE) distributions in individual fish teeth and conodonts have been measured by ion probe. Concentrations and La/Yb ratios show little variations, except in the enamel, which suggests that REE uptake from the sedimented biogenic debris takes place at the water-sediment interface as an essentially quantitative process without fractionation. Late diagenetic disturbances remained of marginal importance. Hence, REE in phosphatic debris might reflect the input from the overlying water column.

\*\*\*\*\*  
Earth and Planetary Science Letters, 1990, 101, 323-331.

## Water in oceanic basalts: evidence for dehydration of recycled crust

Albert Jambon <sup>a</sup> and Jean Louis Zimmermann <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Laboratoire MAGIE, Université Pierre et Marie Curie, Paris VI, 4 place Jussieu, 75252 Paris Cedex 05, France

<sup>b</sup> C.R.P.G., B.P.20, 54501 Vandoeuvre Lès Nancy, France

Received October 9, 1989; revised version accepted June 19, 1990

### ABSTRACT

Analyses of water in MORB glasses have been performed using mass spectrometry techniques on specimens selected from worldwide localities (Mid Atlantic Ridge, East Pacific Rise, Red Sea, Lau Basin). Specimens belong to both normal and enriched types. Some OIB glasses have also been analyzed. The amounts of water found, comparable to those previously reported, are within the 1700–6000 ppm range. Positive correlations are observed with other trace elements, particularly K<sub>2</sub>O. Samples may be divided into two groups: (1) N-MORB (La/Sm < 1) with a constant K<sub>2</sub>O/H<sub>2</sub>O ratio of 0.25 ± 0.05; (2) enriched glasses (La/Sm > 1) with K<sub>2</sub>O/H<sub>2</sub>O varying from 0.4 up to 1. The correlation found for N-MORB may be explained by variable degrees of partial melting (possibly complicated by fractional crystallization), water and potassium behaving as incompatible elements. The worldwide validity of the correlation demonstrates that K<sub>2</sub>O/H<sub>2</sub>O is constant in the source even though that source may have been depleted to a variable extent. The enriched samples though cannot be derived from the same source as the N-MORB through simple processes such as partial melting and fractional crystallization.

The respective importance of source composition and degree of partial melting may be assessed using additional data available in the literature. For sources with H<sub>2</sub>O contents between 70 and 550 ppm a 5–15% partial melting may be proposed. The positive correlation between (La/Sm)<sub>n</sub> and K<sub>2</sub>O/H<sub>2</sub>O requires the existence of (at least) two mantle components that may be variously depleted or enriched. One is the depleted MORB source with low La/Sm and K<sub>2</sub>O/H<sub>2</sub>O, while the other displays both high La/Sm and K<sub>2</sub>O/H<sub>2</sub>O ratios. The enriched source cannot be a primitive one because addition of an external composition (crust + ocean) with a K<sub>2</sub>O/H<sub>2</sub>O of 0.14 to a depleted MORB source (K<sub>2</sub>O/H<sub>2</sub>O = 0.25) cannot produce a source with an overall ratio close to 1. If a model of oceanic crust recycling is considered, then the recycled crust must be significantly dehydrated before mixing with the mantle source. This serves to explain why water is more abundant than K<sub>2</sub>O in the external reservoir, even though its incompatible behaviour is undistinguishable from that of K upon melting. An estimate of bulk earth water abundance is poorly constrained and strongly model dependent, and the proposed 1300 ppm is speculative. A value in the 550–1900 ppm range is however very plausible.



## Elemental fluxes during hydrothermal alteration of the Trinity ophiolite (California, U.S.A.) by seawater

C. Lécuyer<sup>a</sup>, M. Brouxel<sup>b,c</sup> and F. Albarède<sup>b,c</sup>

<sup>a</sup>Laboratoire de Géochimie, CAESS-CNRS, Université de Rennes, Campus de Beaulieu, F-35042 Rennes, France

<sup>b</sup>Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques, B.P. 20, F-54501 Vandoeuvre-lès-Nancy, France

<sup>c</sup>École Nationale Supérieure de Géologie, F-54501 Vandoeuvre Cedex, France

(Received December 7, 1989; revised and accepted July 10, 1990)

### ABSTRACT

Lécuyer, C., Brouxel, M. and Albarède, F., 1990. Elemental fluxes during hydrothermal alteration of the Trinity ophiolite (California, U.S.A.) by seawater. *Chem. Geol.*, 89: 87-115.

The Trinity ophiolite has undergone hydrothermal alteration in greenschist- to transitional amphibolite-facies conditions. The mineralogical assemblages and Sr isotopic results reveal a widespread seawater circulation which has principally affected the upper part of the oceanic crust. The interface between sheeted dikes and isotropic gabbros has reacted with the largest amount of heated seawater with water/rock ratios ( $W/R$ ) up to 16.

$W/R$  ratios and temperature are the most important parameters in determining the direction and amplitude of chemical changes during seawater-rock interaction. In addition, calculation of elemental fluxes by mass balance on a crustal section reveals the important role of magma chemistry and related variations of primary model compositions. The large chemical fluxes calculated in Trinity rocks agree with their strong degree of alteration. The  $W/R$  of  $\sim 8$  in the Trinity basalts are larger than those from Hole 504B and East Pacific Rise ( $\sim 1.5$ ). This is a possible consequence of a longer life-time convective hydrothermal system in relation with a slow spreading center generating a thin crust. Contrasting with Hole 504B, this hydrothermal pattern is likely able to equilibrate the chemical budget for Mg, Na and partly for K between seawater and oceanic crust.

The strong degree of alteration recorded by ophiolites corresponds to the time-integrated effects of both initial and off-axis hydrothermal activity. Ophiolites certainly represent valuable probes in tracking the chemical budget of the oceanic reservoir.

\*\*\*\*\*  
Comptes Rendus de l'Académie des Sciences (Paris), 1989, t. 308, série II, 225-230.

## Mise en évidence d'un domaine océanique au Paléozoïque dans la Central Belt de la Sierra Nevada. Nord Californie

Christophe LÉCUYER, Olivier ROUER, Henriette LAPIERRE et Jean-Louis ZIMMERMANN

*Résumé* — La « Central Belt » du Nord-Est de la Sierra Nevada comprend une puissante série sédimentaire — la « Chert-Argillite Unit » d'âge permo-triasique. Elle renferme des niveaux volcaniques basaltiques et des écaillés plutoniques ultrabasiques, basiques dont les caractères pétrographiques et les variations géochimiques peuvent être expliqués par un modèle de mélange de magmas de type N-MORB et P-MORB. Ces magmas transitionnels anorogéniques ont pu être émis à l'aplomb d'une ride qui aurait fonctionné dans un bassin marginal au Paléozoïque terminal.

### Remnants of an oceanic domain during Paleozoic times in the Central Belt, northern California

*Abstract* — The Central Belt in northeastern Sierra Nevada comprises a thick sedimentary sequence, the Permo-Triassic "Chert Argillite Unit". It contains pillowed basaltic flows and plutonic slices. The petrographic features and geochemical variations of the basalts and ultrabasic-basic cumulates can be explained by a mixing model between N-MORB and P-MORB magmas. These anorogenic magmas may have been produced in a marginal basin during Late Paleozoic times.

\*\*\*\*\*  
Cosmochimica Acta, 1989, 53, 745-750.

## Rare earth element systematics in hydrothermal fluids

ANNIE MICHARD

Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques & Ecole Nationale Supérieure de Géologie de Nancy, B.P. 20, 54501 Vandoeuvre-lès-Nancy Cedex, France

(Received November 22, 1988; accepted in revised form January 31, 1989)

**Abstract**—Rare earth element concentrations have been measured in hydrothermal solutions from geothermal fields in Italy, Dominica, Valles Caldera, Salton Sea and the Mid-Atlantic Ridge. The measured abundances show that hydrothermal activity is not expected to affect the REE balance of either continental or oceanic rocks. The REE enrichment of the solutions increases when the pH decreases. High-temperature solutions (>230°C) percolating through different rock types may show similar REE patterns.

## Apparente hydrophobie du talc et affinité de l'azote pour ce minéral

Laurent MICHOT, Jacques YVON, Jean Maurice CASES, Jean-Louis ZIMMERMANN  
et Richard BAEZA

*Résumé* - En utilisant des résultats de microcalorimétrie d'immersion dans l'eau, de volumétrie d'adsorption-désorption de l'azote à 77 K, et d'analyse des produits désorbés par spectrométrie de masse, on met en évidence une forte affinité de l'azote pour la surface du talc. On attribue à ce phénomène l'apparente hydrophobie du minéral dont la structure laisserait prévoir un comportement hydrophile.

### Apparent hydrophobicity of talc and affinity of nitrogen for this mineral

*Abstract* - Making use of results from immersion microcalorimetry in water, gas adsorption-desorption volumetry of nitrogen at 77 K, and mass spectrometry of evolved substances, a strong affinity of nitrogen for the talc surface is shown. This phenomenon is considered as the origin of the apparent hydrophobicity of talc, structure which would suggest hydrophilic properties.

\*\*\*\*\*  
Comptes Rendus de l'Académie des Sciences (Paris), 1990, t. 310, série II, 47-51.

## Reconstitution d'un arc insulaire intra-océanique au Mexique central : la séquence volcano-plutonique de Guanajuato (Crétacé inférieur)

Olivier MONOD, Henriette LAPIERRE, Michel CHIODI, Juventino MARTINEZ,  
Philippe CALVET, Enrique ORTIZ et Jean-Louis ZIMMERMANN

*Résumé* - Au Mexique central, l'identification de six unités tectoniques superposées permet de reconstruire la succession des termes magmatiques d'un arc insulaire d'âge Crétacé inférieur. La pétrographie et la géochimie attestent le caractère co-génétique des termes plutoniques et volcaniques, qui s'apparentent aux tholéiites d'arc insulaire. L'arc de Guanajuato est un premier exemple d'arc intra-océanique complet.

### Restoration of an intra-oceanic island arc in central Mexico: the Guanajuato pluto-volcanic series (Early Cretaceous)

*Abstract* - In Central Mexico, the recognition of six superposed tectonic units, defined in the Sierra de Guanajuato, allows the reconstruction of the magmatic succession of an intra-oceanic island arc of Early Cretaceous age. Petrographical and geochemical data show that the pluto-volcanic basic association is co-magmatic and belongs to the island-arc tholeiitic series. The Guanajuato island arc is a first example of a complete intra-oceanic arc.

## Origine des substances dissoutes dans les eaux des sources thermales et des forages de la région Asal-Ghoubbet (République de Djibouti)

BERNARD SANJUAN<sup>a</sup>, GIL MICHARD<sup>b</sup> ET ANNIE MICHARD<sup>c</sup>

<sup>a</sup> ISERST, B.P. 486, Djibouti

<sup>b</sup> Laboratoire de Géochimie des Eaux, Université Paris 7, Paris, France

<sup>c</sup> Laboratoire de Géochimie, C.R.P.G., Vandoeuvre les Nancy, Paris, France

(Received le 19 decembre, 1988; révisé et accepté le 26 fevrier, 1990)

### Abstract

Sanjuan, B., Michard, G. and Michard, A., 1990. Origine des substances dissoutes dans les eaux des sources thermales et des forages de la région Asal-Ghoubbet (République de Djibouti). [The origin of dissolved substances in geothermal springs and boreholes from the Asal-Ghoubbet area, Republic of Djibouti.] *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 43: 333-352.

From a chemical and Sr isotopic study of hot fluids from the Asal area, Republic of Djibouti, we conclude that the fluids result from basalt-seawater interaction, associated with variable evaporation. Some spring waters result from a mixing between geothermal water and seawater or Asal lake water. In contrast with previous studies, dissolution from evaporitic rocks appears unimportant. The negative boron anomaly in the fluids from the boreholes suggests the presence of a vapour-dominated subsystem in the Asal geothermal field.

### Résumé

Les résultats d'une étude chimique et des isotopes du strontium sur un ensemble de fluides provenant la zone géothermale du Lac Asal (République de Djibouti) indiquent que la composition de ces fluides peut être expliquée par un interaction de l'eau de mer avec le basalte, combinée avec une évaporation plus ou moins intense. L'eau de certaines sources résulte d'un mélange entre eau géothermale et eau de mer ou eau du lac Asal. Aucune dissolution de roches évaporitiques n'a pu être mise en évidence. Le net déficit en bore dans les fluides prélevés dans les forages pourrait indiquer l'existence d'une zone à vapeur dominante dans le champ géothermique d'Asal.

\*\*\*\*\*

Earth and Planetary Science Letters, 1990, 101, 196-205.

## Zircon syenite pegmatites in the Finero peridotite (Ivrea zone): evidence for a syenite from a mantle source

V. Stähle <sup>a</sup>, G. Frenzel <sup>a</sup>, B. Kober <sup>b</sup>, A. Michard <sup>c</sup>, H. Puchelt <sup>d</sup> and W. Schneider <sup>e</sup>

<sup>a</sup> Mineralogisch-Petrographisches Institut, Universität Heidelberg, 6900 Heidelberg, FRG

<sup>b</sup> Laboratorium für Geochronologie, Universität Heidelberg, 6900 Heidelberg, FRG

<sup>c</sup> Centre de Recherches Péetrographiques et Géochimiques, 54501 Vandoeuvre, France

<sup>d</sup> Institut für Petrographie und Geochemie, Universität Karlsruhe, 7500 Karlsruhe, FRG

<sup>e</sup> Institut für Geologie und Paläontologie, Technische Universität Braunschweig, 3300 Braunschweig, FRG

Received October 2, 1989; revised version accepted June 19, 1990

### ABSTRACT

Zircon syenite pegmatite dikes in the phlogopite peridotite of Finero are rich in volatiles, incompatible elements and in rare earths with (La/Yb)<sub>N</sub> ratios in the range of 14-15. The main mineral constituents in the alkaline dikes (Na > K) are albite and magnesium-rich biotites whereas nepheline, cancrinite, sodalite, zircon and apatite are minor or accessory.

With their initial <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr ratio of 0.70371 the non-contaminated syenite pegmatites originate from partial melts of the upper mantle. The magma is derived from a depleted mantle source with isotopic signatures (εNd(T) = 5.7 and 5.1) of ocean island basalts (OIB).

The ascent of the syenite pegmatites and the marginal uplift of the granulitic crust in the northern Ivrea zone may be correlated with the intrusion of alkaline melts at depth.

The Triassic zircon age of 225 ± 13 Ma is interpreted as the time of the dikes' emplacement. From geochemistry and setting it is concluded, that the syenites are related to a rift magmatic stage at the early Mesozoic in the southern Alps.



# Isotopic systematics (O, H, C, Sr, Nd) of superimposed barren and U-bearing hydrothermal systems in a Hercynian granite, Massif Central, France

Laurent Turpin<sup>a,α</sup>, Jacques L. Leroy<sup>b</sup> and Simon M.F. Sheppard<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Commissariat à l'Énergie Atomique, SEAIN Bât. 391, CEN Saclay, F-91191 Gif-sur-Yvette Cedex (France)

<sup>b</sup>Laboratoire d'Étude des Systèmes Hydrothermaux, Université de Nancy I, B.P. 239, F-54506 Vandoeuvre Cedex (France)

<sup>c</sup>CRPG-CNRS, B.P.20, F-54501 Vandoeuvre Cedex (France)

(Received May 11, 1988; revised and accepted April 11, 1990)

## ABSTRACT

Turpin, L., Leroy, J.L. and Sheppard, S.M.F., 1990. Isotopic systematics (O, H, C, Sr, Nd) of superimposed barren and U-bearing hydrothermal systems in a Hercynian granite, Massif Central, France. *Chem. Geol.*, 88: 85-98.

The Hercynian (325 Ma) granitic complex of Saint-Sylvestre experienced two hydrothermal episodes: the first one leading to the formation of a typical alteration facies called "episyenite", mainly characterized by the dissolution of granitic quartz; the second one leading to the deposition (at ~280 Ma) of a major U deposit. The present study documents the isotopic characteristics of these hydrothermal events. <sup>18</sup>O/<sup>16</sup>O, D/H and <sup>13</sup>C/<sup>12</sup>C systematics demonstrate that barren episyenites were generated during hydrothermal interaction of large amounts of mainly meteoric water with the granite; the ore-depositing fluid equilibrated in a sedimentary formation before entering the granite. Episyenitization was dated at 301 ± 2 Ma, which is 25 Ma later than the granite emplacement. The Rb-Sr isochron relationship implies isotopic equilibrium within the fluid phase and between the fluid and the host rocks, which confirms the high water/rock ratio inferred from O-H isotope systematics. A coupled Nd and Sr isotope investigation demonstrates that at least Nd was reworked from the granite in the episyenite genesis, but Sr and possibly Nd had an exotic origin consistent with the inferred sedimentary origin during the ore-forming stage. The present study emphasizes the fact that spatially superimposed hydrothermal events in a granitic environment can be: (1) disconnected from the magmatic history of the granite itself; and (2) mutually disconnected from chronological and chemical points of view.

\*\*\*\*\*  
In : Fluid Movements, Element Transport, and the Composition of the Deep Crust, D Bridgewater (Ed.) NATO ASI Series, Reidel Publ. Co., 1989, 245-263.

## THE ISOTOPIC CHARACTERIZATION OF AQUEOUS AND LEUCOGRANITIC CRUSTAL FLUIDS

Simon M.F. Sheppard  
Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques  
B.P. 20, 54501 Vandoeuvre-lès-Nancy, FRANCE

**ABSTRACT.** The H- and O-isotope characteristics of the principal water types - sea, meteoric, formation, organic, metamorphic, magmatic and hydrothermal - are outlined. Sea and meteoric surface waters can be involved with deep crustal processes following their downward penetration, or by their upward infiltration after oceanic or continental subduction processes. Examples illustrate the identification of such water sources in deep crustal rocks.

The typically cold (< 30°C) Na-Ca-Cl brines ± CH<sub>4</sub> etc. encountered at deep levels (> 300 m) in Shields often plot to the left of the meteoric water line. Many of these brines are mixtures of recent meteoric waters with ancient brines. The most saline and therefore least contaminated brines may sometimes be modified Precambrian hydrothermal fluids. They underwent low temperature retrograde isotopic exchange with their host rocks and water/rock ratios were very small.

The importance of the release of hydrous fluids from sedimentary formations into overthrust and hot crustal or mantle slabs is emphasized. Such fluids can become involved in fluid mixing processes and aid partial melting reactions. Coupled O-, Sr- and Nd- isotope variations in a High Himalaya leucogranite are shown to be related to comparable variations in the Tibetan Slab paragneisses which are considered to be equivalent to the underlying source rocks. These variations imply that (1) isotopic homogenization was ineffective on a submetric scale during diagenesis and metamorphism, (2) major convective circulation of fluids did not occur, and (3) the granite massif is composed of a large number of essentially independent batches of magma. They are a result of the differences in the mineralogical constitution of the sediments and the aging effects between sedimentation and anatexis.

In : Mobilité et Concentration des Métaux de Base dans les Couvertures Sédimentaires: Manifestations, Mécanismes, Prospection, H Pelissonnier, (Ed.) JP Sureau (Ed.) Document du BRGM, n° 183, 1990, 59-69.

## ISOTOPIC STUDIES (H, C, O, S, Pb) ON CARBONATE-SHALE HOSTED Pb-Zn DEPOSITS

Simon M.F. SHEPPARD(1) and Abdelkrim CHAREF (2)

### RESUME

Durant la dernière décennie, la combinaison de techniques géochimiques et géologiques sur les mêmes matériaux a, en particulier, développé notre compréhension des gisements Pb-Zn associés à des formations carbonatées et à des shales. Les études isotopiques multiples (H, C, O, S, Pb) et microthermométriques sur le gisement des Malines (France), dans les formations cambriennes et sur le gisement de Fedj-el-Adoum (Tunisie), dans les formations crétacées, sont présentées en exemples. Le gisement de Fedj-el-Adoum (Tunisie) est associé avec un diapir salifère,

Un gisement est généralement composé de plusieurs étapes de minéralisation, soit sédimentaires soit hydrothermales, avec des variations majeures du rapport Pb/Zn et de la source des métaux et du soufre parmi les générations différentes. La source du plomb n'est pas nécessairement directement liée à celle du soufre. Les inclusions fluides ne sont pas systématiquement préservées à chaque étape de minéralisation ; dans certains cas des températures isotopiques modèles peuvent être proposées. Pour le dépôt des sulfures sédimentaires, la caractérisation de la nature du fluide minéralisateur est extrêmement difficile à cause de l'absence fréquente de témoins directs et de l'effet des processus de diagenèse, métamorphisme, etc.

Au niveau des étapes hydrothermales ( $T > 60^{\circ}\text{C}$ ) les fluides chauds sont les saumures dérivées d'eaux de formation et très rarement les eaux connées. Un bassin sédimentaire peut refouler les fluides minéralisateurs plusieurs fois au cours de son évolution, peut-être comme une série de pulsations. Pour certaines minéralisations (e.g. minéralisation plombifère en amas à Fedj-el-Adoum), la matière organique ou les hydrocarbures sont impliqués durant la réduction des sulfates diapiriques. Ces réactions peuvent être biogéniques ou thermogéniques. Le rapport isotopique D/H des hydrocarbures et du  $\text{SH}_2$  associé peut influencer celui du fluide minéralisateur par des réactions telles que : déshydratation, déshydrogénation, oxydation, échange (eau organique). Pour d'autres étapes, le soufre sulfuré peut être transporté par les eaux de formation à l'endroit du dépôt.

### ABSTRACT

During the last decade, combined geochemical and geological techniques on the same materials have, in particular, advanced our understanding of carbonate-shale hosted Pb-Zn deposits. Multi-isotopic (H, C, O, S, Pb) and fluid inclusion studies on the Cambrian hosted deposits of Malines, France, and the Cretaceous hosted deposits of Fedj-el-Adoum, Tunisia are used as examples. A deposit may be composed of a number of stages of mineralization with major variations in the Pb-Zn ratio and source of metals and sulphur among the different generations. Sulphur and lead are not necessarily coupled. Fluid inclusions may not be preserved in all stages; model isotopic temperatures can sometimes be proposed. Geochemical characterization of the fluids depositing sedimentary sulphides is often extremely difficult because of diagenetic and metamorphic processes. The hydrothermal waters ( $> 60^{\circ}\text{C}$ ) are of formation water type and rarely of connate origin. A given basin may expel, possibly as a number of pulsations, potential mineralizing fluids at different times during its evolution. Organic matter including petroleum or gas are involved during sulphate reduction processes, which may be thermogenic, and in the production of some mineralizing fluids (organic water). In other stages sulphur as sulphide may be transported by the formation brines to the site of ore deposition.

Canadian Journal of Earth Sciences (1989), 26, 2465-2478.

## New petrological and geochemical data on mid-Paleozoic island-arc volcanics of northern Sierra Nevada, California: evidence for a continent-based island arc

O. ROUER

*Laboratoire de géologie structurale, Unité de recherche associée n° 1366 du Centre national de la recherche scientifique, Département des sciences de la Terre, Université d'Orléans, B. P. 6759, 45067 Orléans CEDEX 02, France*

H. LAPIERRE

*Laboratoire de géologie structurale, Unité de recherche associée n° 1366 du Centre national de la recherche scientifique, Département des sciences de la Terre, Université d'Orléans, B. P. 6759, 45067 Orléans CEDEX 02, France*

C. COULON

*Laboratoire de pétrologie magmatique, Unité de recherche associée n° 1277 du Centre national de la recherche scientifique, Faculté des sciences de St Jérôme, Université d'Aix-Marseille III, B. P. 441, 13397 Marseille, France*

AND

A. MICHARD

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

Received December 17, 1988

Revision accepted June 9, 1989

The mid-Paleozoic volcanics of northern Sierra Nevada consist of the Sierra Buttes rhyolites, the Taylor basalts and andesites, and the Keddie Ridge basalt-latite-rhyolite suite. The Sierra Buttes calc-alkaline rhyolites display strong light rare-earth element enrichment and negative  $\epsilon_{Nd}$  values. The Taylor basalts and andesites in the northern Hough and Genesee blocks exhibit calc-alkaline affinities (REE rare-earth element patterns highly enriched in LREE), whereas in the southern Hough block they are tholeiitic (flat rare-earth element patterns). The abundance of silicic lavas, the low  $\epsilon_{Nd}$  values of both the Sierra Buttes and Taylor volcanics and the  $\delta^{18}O$  values of the Sierra Buttes rhyolite and Bowman Lake trondjemite provide evidence that the northern Sierra Nevada island arc was continent based. The Keddie Ridge differentiated volcanics, characterized by high Zr, Y, Nb, K, and light rare-earth elements, are geochemically similar to a shoshonite suite. Their eruption at the end of the mid-Paleozoic volcanic episode suggests a reversal of subduction, uplift, and block faulting in the island arc.

The mid-Paleozoic volcanics of the northern Sierra Nevada are thought to represent the remnant of a mature island arc because calc-alkaline rocks predominate over tholeiitic ones, the lavas display a K enrichment with time, and the volcanics are evolved in their isotopes, compared with rocks erupted in young or primitive island arcs.

\*\*\*\*\*  
Compte Rendus de l'Académie des Sciences (Paris), 1989, t. 309, série II, 707-712.

## Analyses des gaz inclus des quartz aurifères du Châtelet (Creuse, France); comparaison avec le gîte d'or de l'Aurières (Haute-Vienne, France)

Xin WU, Claire BENY, Jean-Louis ZIMMERMANN et Jean-Claude TOURY

*Résumé* — L'analyse comparée des inclusions gazeuses des quartz aurifères du Châtelet et de l'Aurières a été effectuée par microthermométrie, analyse à la microsonde Raman et analyse par spectrométrie de masse des fluides extraits par chauffage progressif ou broyage sous vide. L'ensemble des résultats montre des valeurs plus élevées du rapport  $CO_2/CH_4$  à l'Aurières. Au Châtelet, où l'or est piégé dans le réseau du mispickel, des relations inverses de la fraction molaire d' $H_2$  et du rapport  $CO_2/CH_4$  sont mises en évidence. On suggère que la réduction de l'arsenic, au moment du dépôt, a été provoquée par des élévations locales de  $fH_2$ .

Analyses of inclusion gases in gold-bearing lode quartz from Le Châtelet (Creuse, France): comparison with the l'Aurières (Haute-Vienne, France) gold deposit

*Abstract* — A comparative study of gas-rich inclusions in auriferous quartz from Le Châtelet and l'Aurières has been performed using microthermometry, Raman microprobe analysis and Mass spectroscopic analysis of volatiles extracted after heating and/or crushing. Higher  $CO_2/CH_4$  ratios are noticed at l'Aurières. At Le Châtelet, where gold is incorporated into arsenopyrite lattice, an inverse correlation between  $H_2$  molar fraction and the  $CO_2/CH_4$  ratio has been revealed. One suggests that arsenic reduction, at the time of ore deposition, has been enhanced by local increase of  $fH_2$ , under non equilibrium conditions.

# Thèses

**ABOUCAMI Wafa, Un événement volcanique majeur vers 2.1 Ga en Afrique de l'Ouest : Un stade précoce d'accrétion crustale.** Thèse de l'Université de Nancy I (soutenue en mars 1990)

Les formations Birrimiennes d'Afrique de l'Ouest s'étendent de la Mauritanie (Tsalabya), au Sénégal (Mako), Côte d'Ivoire (Ziémougoula, Yaouré, Haute-Comoé et Toumodi), Burkina Faso (Bouroum) et Niger (Liptako)... Elles sont représentées par deux grands ensembles géologiques, un ensemble volcanique bimodal à dominante basique, un ensemble volcano-sédimentaire, constitué essentiellement de formations acides à intermédiaires. La difficulté d'établir les relations stratigraphiques entre ces deux ensembles est à l'origine de divers débats; néanmoins, les travaux en cours suggèrent qu'ils se sont formés durant un court laps de temps, vers 2.1 Ga.

La distribution des Terres Rares et la détermination des compositions isotopiques du Sr et Nd des basaltes de l'ensemble bimodal à l'échelle du craton Ouest-Africain sont présentées et discutées en référence aux environnements géodynamiques modernes.

Trois isochrones Sm-Nd ont été obtenues en Mauritanie, au Burkina Faso et au Sénégal avec des âges et des valeurs initiales de  $\epsilon_{Nd}$  de  $2.229 \pm 0.042$  Ga et  $3.6 \pm 1.0$  (Mauritanie),  $2.126 \pm 0.024$  Ga et  $2.9 \pm 0.7$  (Burkina Faso) et  $2.063 \pm 0.041$  Ga et  $3.1 \pm 1.0$  (Sénégal). Ces résultats sont comparables à ceux obtenus en Guyane ( $T = 2.11 \pm 0.09$  Ga;  $\epsilon_{Nd}(T) = 2.1 \pm 1.8$ ) par Gruau *et al.* (1985) et s'accordent avec l'hypothèse d'un craton unique au Protérozoïque que suggèrent les données paléomagnétiques d'Onstott et Hargraves (1981). Les échantillons provenant de la Côte d'Ivoire et du Niger donnent en général des résultats similaires.

Les hétérogénéités isotopiques ( $\epsilon_{Nd}(T) = 0.3 - 4.9$ ) ne correspondent pas à une source mantellique de type lithosphère océanique. La majorité des laves basaltiques Birrimiennes est légèrement appauvrie en Terres Rares légères et l'inversion des données de concentrations par un modèle de fusion partielle suggère qu'elles dérivent de 5 à 15% de fusion d'une source lherzolitique légèrement appauvrie. Un taux d'appauvrissement plus accentué (Burkina Faso) et plus modéré (Sénégal) sont occasionnellement observés. La tendance d'enrichissement du titane au cours de la différenciation des magmas Birrimiens, intermédiaire entre celle des magmas des rides médio-océaniques et celle des environnements d'arcs ne permet pas de leur faire correspondre avec certitude un environnement géodynamique moderne. La comparaison des caractéristiques géochimiques des basaltes Birrimiens avec celles des laves des bassins d'arrière-arc ou des tholéites continentales pauvres en Ti est intéressante mais se heurte néanmoins à certaines difficultés. Par contre, les basaltes océaniques qui forment les plateaux océaniques, structures ultérieurement accolées aux continents sous forme de terrains allochtones, représentent un bon équivalent moderne des basaltes Protérozoïques.

Nous suggérons donc que la remontée de panaches mantelliques profonds à travers une croûte et une lithosphère immatures peut générer des volumes très importants de tholéites en un court laps de temps. Les basaltes Birrimiens et Protérozoïques en général peuvent être considérés comme les équivalents plus récents des greenstone-belts Archéens. Ceci s'accorde avec la position de la komatiite actuelle de Gorgone en un site géodynamique intra-plaque.

Bien qu'elle ait été quasiment ignorée dans la littérature, l'extension spatiale de l'évènement magmatique à 2.1 Ga en Afrique de l'Ouest dépasse quelques milliers de kilomètres et peut être comparée à celle de l'activité mantellique des autres provinces orogéniques Archéennes et Protérozoïques majeures. Il est vraisemblable que le caractère régional des études géochimiques est à l'origine du modèle épisodique de l'activité mantellique et de la croissance continentale.

**GRANDGEAN Patricia, Les terres rares et la composition isotopique du néodyme dans les phosphates biogènes : traceurs des processus paléo-océanographiques et sédimentaires. Thèse de l'I.N.P.L., Nancy, (soutenue en septembre 1989).**

Les concentrations en terres rares et les compositions isotopiques du Sr et du Nd ont été déterminées dans des phosphates biogènes (dents de poissons et conodontes) provenant de différents gisements dévoniens à actuels par dilution isotopique et in situ par micro-analyse ionique.

Dans les phosphates biogènes créacés à actuels, le piégeage des terres rares à partir des porteurs initiaux (oxydes hydroxydes de fer et manganèse et pelotes fécales zooplanctoniques) pré-enrichis par l'activité biologique de surface est quantitatif. Il se produit à l'interface eau-sédiment durant la diagénèse précoce. Les terres rares acquièrent la signature de l'eau de fond sus-jacente au dépôt. Celle-ci est oblitérée par le contrôle régional (flux diagénétique, suspensions des rivières) dans les environnements côtiers. Les spectres de terres rares et l'anomalie de Ce caractérisent semi-quantitativement l'environnement de dépôt (ex: plate-forme ouest-africaine).

La courbe d'évolution séculaire d'épsilon Nd pour les océans phanérozoïques établie par Shaw et Wasserburg (1985) est complétée pour la période Jurassique-Eocène. L'Atlantique s'individualise par rapport au Pacifique lorsque la communication est ouest que constitue la Téthys se ferme à l'Eocène. La circulation méridionale profonde dans l'Atlantique n'existe pas avant l'Eocène. Des bassins isolés ou en communication avec la mer ouverte avec retrait ou mise en place d'upwelling sont identifiés (plate-forme ouest-africaine, Egypte-Israël).

Avant le Crétacé, les terres rares marines sont contrôlées par des processus inorganiques à cause de la faible biomasse de surface. Ceci leur confère une allure enrichie en terres rares intermédiaires (conodontes et débris de poissons anté Crétacé). Lors de l'événement global Kellwasser (Frasnien-Faménien) les extinctions sont attribuées à des causes locales.

**SIMOS Eugène, Géologie et géochimie des indices aurifères de la région de Stanos. Grèce septentrionale.** Thèse de l' I.N.P.L., Nancy, (soutenue en mai 1990).

Le massif *Serbomacédonien* (Nord de la Grèce) est constitué essentiellement par des formations métamorphiques d'âge *Paléozoïque* ou plus anciennes. Il est caractérisé par la présence de nombreux indices aurifères dont la plupart consistent en des filons quartzitiques souvent discordants par rapport à la schistosité régionale des formations encaissantes. Certains de ces indices localisés dans la région de Stanos (partie occidentale de l'unité de Vertiskos) ont été étudiés dans ce mémoire.

Les formations lithologiques sont constituées par des orthogneiss, micaschistes et amphibolites. Les formations orthogneissiques témoignent de l'action d'un *hydrothermalisme anté-métamorphique* très important. L'ensemble des formations lithologiques de cette région a subi au moins *trois phases de déformation* successives ( $D_n$ ,  $D_{n+1}$ ,  $D_{n+2}$ ), associées avec deux phases de métamorphisme. La phase de déformation anté- $D_n$  est associée au *faciès amphibolite* dont les conditions de pression et température sont de l'ordre de 4-5 kbars et 550 °C. Les phases de déformation  $D_n/D_{n+1}$  sont liées au *faciès schiste vert* dont les conditions de température varient entre 480°C et 290°C.

Les indices minéralisés de Stanos se mettent en place dans un contexte structural complexe. Dans les cas des filons quartzitiques minéralisés de Vathilakkos et Xalkoma deux stades principaux de minéralisation sont mis en évidence:

1- Un *stade précoce* associé à la formation de filons quartzitiques concordants à la schistosité régionale  $S_n/S_{n+1}$  des gneiss encaissants (quartz de type 1) et caractérisé par l'association pyrite/arsénoopyrite  $\pm$  chalcopyrite.

2- Un *stade tardif* représenté par des filons quartzitiques recoupant les formations gneissiques encaissantes (quartz de type 2) et caractérisé par l'association pyrite  $\pm$  chalcopyrite  $\pm$  sulfures-sulfosels-tellures de bismuth  $\pm$  or.

L'étude des inclusions fluides montre une évolution continue des paramètres physico-chimiques des *fluides aqueux* associés aux indices minéralisés de Vathilakkos et Xalkoma. Ainsi on assiste à une évolution de ces fluides depuis un pôle caractérisé par des températures d'homogénéisation et des salinités basses (210 °C, <3% eq.wt NaCl) associé aux quartz de type 1, vers un pôle présentant des températures d'homogénéisation et des salinités plus élevées (240°C, 4-8% eq.wt. NaCl) associé aux quartz aurifères (quartz de type 2). L'étude isotopique montre que les orthogneiss non minéralisés présentent des signatures isotopiques anté-métamorphiques. Les formations amphibolitiques non-minéralisées de Stanos sont caractérisées par des valeurs "primaires". L'étude isotopique montre que les processus de minéralisation se déroulent avec des rapports eau/roche relativement faibles. L'origine des fluides associés aux différents stades de minéralisation reste encore inconnue. Selon le modèle de mise en place du quartz de type 1 (anté-métamorphique ou syn-métamorphique) on pourrait envisager soit un composant magmatique soit métamorphique et/ou météorique. Les fluides associés aux quartz de type 2 pourraient être caractérisés par une forte contribution d'un composant métamorphique.

L'origine des filons quartzitiques précoces est difficile à résoudre à la lumière des données disponibles. L'hypothèse la plus vraisemblable est la formation pendant le métamorphisme schiste vert. Une autre hypothèse anté-métamorphique associe leur mise en place avec les modifications hydrothermales anté-métamorphiques des orthogneiss encaissants. Les filons quartzitiques tardifs aurifères peuvent être formés en partie à partir des filons quartzitiques précoces. L'or est concentré pendant les derniers stades de déformation dans des sulfures tectonisés contenus dans les filons de quartz de type 2.

**TAIEB Raouf, Les isotopes de l'hydrogène, du carbone et de l'oxygène dans les sédiments argileux et les eaux de formation. Thèse de l'I.N.P.L., Nancy, (soutenue en septembre 1990).**

Ce mémoire présente quelques exemples d'application de la géochimie des isotopes stables (H,C,O) à l'étude des bassins sédimentaires.

Pour le delta tertiaire de la Mahakam (Indonésie), l'étude combinée des isotopes stables (H, O) et radiogéniques (Sr) ainsi que des éléments majeurs des eaux de formation des champs d'Handil, Tambora et Békapaï montrent que ces eaux ont une signature météorique très nette. Leur composition isotopique ( $\delta D = -43$  à  $-18\text{‰}$ ,  $\delta^{18}O = -7$  à  $-3.4\text{‰}$ ) et leur faible concentration chimique (TDS = 0.8 à 16 g/l) montrent que ces eaux ne sont pas en équilibre isotopique et chimique avec les minéraux encaissants aux températures actuelles des réservoirs. La combinaison des rapports  $^{87}Sr/^{86}Sr$  aux teneurs en chlorures excluent un mélange significatif entre l'eau de mer et les eaux météoriques.

D'autre part, la composition isotopique ( $\delta^{18}O$ ,  $\delta^{13}C$ ) des ciments carbonatés montre que le champ d'Handil a été pendant une grande partie de son histoire sous influence météorique. La présence de ces eaux à des profondeurs allant jusqu'à 3000 m implique que les champs d'Handil et de Tambora ont subi et peut être subissent encore un important lessivage des hydrocarbures.

La différence entre les caractères chimiques et isotopiques des eaux d'Handil et de Békapaï est expliquée soit comme la conséquence d'une mise en place à des âges différents soit comme le résultat d'une infiltration à partir de zones de recharge différentes.

La géochimie isotopique des sédiments argileux a été abordée à travers trois études:

1- Un protocole expérimental a été élaboré afin de permettre de mesurer la composition isotopique de l'hydrogène et du carbone des sédiments argileux riches en matière organique et de déterminer la composition isotopique de la matière organique totale associée au sédiment. L'extraction de l'hydrogène et du carbone de la roche totale est faite par une oxydation au CuO dans un système ouvert à une température de 1000°C. Ensuite la fraction minérale est analysée après élimination quasi totale de la matière organique par un plasma d'oxygène à des températures inférieures à 80°C. Ainsi, plus de 95% de la matière organique ont été éliminés sur des échantillons ayant des teneurs en carbone organique de l'ordre de 10%. Les rapports isotopiques du carbone et de l'oxygène sont ensuite déterminés par bilan de masse.

2- L'étude de la composition isotopique d'échantillons de bentonites du sud d'Angleterre, et de la Méditerranée (Grèce, Algérie, Maroc) analysés dans ce travail ainsi que de quelques bentonites océaniques et du Wyoming analysées par Savin et Epstein (1970 b) et par Lawrence, (1970) a permis de soulever le problème du fractionnement de l'hydrogène entre les montmorillonites et l'eau. Une nouvelle équation de fractionnement de l'hydrogène entre la montmorillonite et l'eau est proposée:

$$1000\text{Ln}\alpha^{\text{hy}}_{\text{montmorillonite-eau}} = -19.4 \times 10^3 T^{-1} + 37.$$

D'autre part, la droite des kaolinites de Savin et Epstein (1970b) est reconsidérée comme droite des kaolinites et montmorillonites continentales (KML1). Une nouvelle droite est proposée (KML2:  $\delta D = 12.2 \delta^{18}O - 335$ ) pour tenir compte de la variation de la composition isotopique des eaux météoriques en fonction des températures moyennes annuelles de de l'air.

La variation de la composition isotopique de l'hydrogène des bentonites du Wyoming est expliquée comme le résultat d'un échange isotopique différentiel après leur formation avec les eaux météoriques régionales. Ces bentonites qui proviennent de formations décrites comme marines ne montrent pourtant pas de signature isotopique marine et peuvent être soit formées dans un milieu non marin soit avoir échangé de l'hydrogène et de l'oxygène avec des eaux météoriques. La différence des fractionnements isotopiques de l'hydrogène entre les bentonites océaniques et les bentonites continentales peut être due à une contamination par des oxy-hydroxydes de fer ou une composition chimique plus ferrifère de bentonites océaniques.

3- Une trentaine de mesures de  $\delta^{18}O$  faites sur des roches argileuses totales tenant compte des carbonates associés donnent une gamme de variation des  $\delta^{18}O$  de ces sédiments entre 16 et 20‰ et montrent que la composition isotopique globale de l'oxygène des sédiments argileux reste peu variable lors de la diagénèse gardant ainsi leur signature détritique. Les carbonates associés peuvent être marins ou diagénétiques et ne montrent pas d'évidence pour un échange isotopique avec la fraction silicatée. Une approche combinée minéralogique et isotopique ( $\delta^{18}O = f(\% Qz)$ ) a été proposée pour déterminer si les sources d'apport détritique des formations argileuses sont les mêmes pour une séquence donnée et pour mesurer le degré d'échange isotopique entre le quartz et les minéraux argileux.

## Résumés publiés de Communications

**ABOUCAMI W, BOHER M, ALBAREDE F, BARBEY P, MICHARD A** (1990). 2.1 Ga mafic magmatism in West Africa : an early stage of crustal accretion. *7th International Conference on Geochronology, Cosmochronology and Isotope Geology (ICOG 7), Canberra : Geological Society of Australia*. Abstracts, n° 27, p. 1.

**ABOUCAMI W, BOHER M, ALBAREDE F, BARBEY P, MICHARD A** (1990). Birrimian geodynamics. *15ème Colloque Géologie Africaine, Nancy : Centre international pour la formation et les échanges géologiques (CIFEG)*, n° 20, p.9.

**ABOUCAMI W, BOHER M, MICHARD A, ALBAREDE F, MILÉSI JP, DIA A, FABRE R, ROSSI M, ROCCI G** (1989). Crustal growth in West Africa at 2.1 Ga: preliminary results. *Spring Meeting of American Geophysical Union and Mineralogical Society of America, (AGU), Baltimore, May 7-12*. EOS, 70, 15, p.485.

**ABOUCAMI W, MICHARD A, ALBAREDE F, ROCCI G, FABRE R, DIA A** (1989). The contribution of mafic magmas to crustal growth in early Proterozoic West Africa. *Fifth Meeting of European Union of Geosciences (EUG V), 20-23 mars, Strasbourg*. Terra Abstracts, 1, 1, p. 363.

**ALBAREDE F, ABOUCAMI W, BOHER M, MICHARD A, MILESI J.P, ARNDT NT, LOWE D** (1990). Crustal growth in West Africa at 2.1 Ga. *Western Pacific Geophysics Meeting*. EOS, 71, 28, p. 969.

**ALBAREDE F, MICHARD A, ABOUCAMI W, BOHER M** (1989). Localization of Proterozoic and Archean crustal accretion: a challenge for crustal growth models. *Spring Meeting of American Geophysical Union and Mineralogical Society of America, (AGU), Baltimore, May 7-12*. EOS, 70, 15, p. 1389.

**ALIBERT C, McCULLOCH MT** (1990). The Hamersley Basin revisited : The Sm-Nd isotopic systematics of banded iron-formations and associated shales and implications for the composition of early Proterozoic seawater. *Third International Archean Symposium , Perth, Extended Abstracts*, p. 327-328.

Nd isotopic compositions and REE have been measured in composite drill core iron formations (IF), individual magnetite and chert bands and interlayered shaley macrobands from the Jeerinah, Marra Mamba, Dales Gorge and Joffre formations, deposited in the Hamersley Basin in the interval 2.7-2.5 Ga. The Dales Gorge and Joffre IF give  $\epsilon_{Nd} = 0.4 \pm 0.8$  at 2.5 Ga. The shaley lithologies (S-bands, Trendall & Blockley, 1970) are an important contributor to the Nd budget of the BIF, owing to their high Fe and Nd contents, and proportion (up to 1/5 of Dales Gorge). Their average  $\epsilon_{Nd} = -0.6 \pm 0.9$  is distinct from that of associated IF. A few S-bands show a clear volcanic component and stand out by their higher  $\epsilon_{Nd}$  (+1 - +2). By contrast, the black shales from Jeerinah, the IF from Marra Mamba and the shaley bands in the overlying Wittenoom Dolomite, are not distinguishable in terms of their Nd isotopic signature:  $\epsilon_{Nd} = -0.5 \pm 0.9$  at 2.6 Ga. REE patterns of IF show the typical heavy REE enrichment of seawater but lack any clear Ce or Eu anomaly, which is consistent with the expected lower  $pO_2$  compared to modern marine environment. The low Nd content (0.4 to 4 ppm) suggests a rapid removal from seawater and sedimentation rate. The REE in the S-bands show an enhanced enrichment (~20 ppm Nd) and patterns intermediate between those of IF and those of typical shales such as the McRae Shale. These features, as well as Nd isotopic compositions overlapping with those of Marra Mamba IF, suggest that these deposits could represent hydrothermal precipitates formed under reducing conditions, in accord with the ubiquitous presence of sulfides, siderite and carbon. Such conditions could be found in deep waters of a partially closed basin whose Nd isotopic composition is likely to be controlled by the basement formed by the Fortescue volcanics. Conversely, the more positive  $\epsilon_{Nd}$  (0 to +1) and more oxidized character of the Dales Gorge and Joffre IF could be related to an evolution towards an open ocean environment. Finally, a metamorphic age of  $2,130 \pm 30$  Ma is defined by the riebeckite-rich IF. Highly positive  $\epsilon_{Nd}$  at 2.5 Ga in such samples previously led to overrate the hydrothermal contribution to the REE budget of the early Proterozoic seawater, at Hamersley.



**ALIBERT C, McCULLOCH MT (1990).** REE and Nd isotope data in BIF from Hamersley, Western Australia : implications for the composition of early Proterozoic seawater. *7th International Conference on Geochronology, Cosmochronology and Isotope Geology (ICOG 7), Canberra : Geological Society of Australia. Abstracts, n° 27, p. 2.*

**ALLE P (1990).** Micro-variations de polarisation spontanée sur l'Etna. Colloque *Comité Belge de Géologie de l'Ingénieur : application des méthodes de prospection géophysique à la géologie de l'ingénieur, Liège, p. IV-1, IV-12.*

#### RESUME

Afin de tester la faisabilité technologique et méthodologique de la surveillance des courants telluriques et de Polarisation Spontanée (PS) sur les édifices volcaniques, j'ai conçu et réalisé un équipement de mesures automatiques de ces courants. Des mesures réalisées sur l'Etna ont permis d'observer des gradients de PS très importants : de l'ordre de 400mV/25m pour l'anomalie principale et même jusqu'à 40mV/0.6m pour des petites anomalies secondaires. La surveillance de l'anomalie PS au dessus d'une fissure éruptive a mis en évidence l'existence de nouveaux signaux PS de 2mV à 10mV d'amplitude et de 1/2h à 2h de durée. Les anomalies PS sont interprétées comme résultant de la superposition de plusieurs anomalies de longueur d'onde différentes.

#### ABSTRACT

In order to test the technological and methodological feasibility of Self Potential (SP) and telluric currents surveillance, I have realized an original automatic equipment for measuring these currents. Measurements made on mount Etna have provided observations of very important SP gradients, from 400mV/25m on the main anomaly up to 40mV/0.6m on some secondary anomalies. SP anomaly surveillance at the top of an eruptive fissure shows new SP signal which have an amplitude of 2mV to 10mV and a duration of 1/2h to 2h. The SP anomalies are interpreted in terms of superposition of several anomalies having different wave length.

**BLAMART D, SHEPPARD SMF (1989).** Isotopic studies (H, O) of the hydrothermal tungsten ore deposits of Walmes, central Morocco. *Fifth Meeting of European Union of Geosciences (EUG V), 20-23 mars. Strasbourg. Terra Abstracts, 1, 1, p. 332.*

**BOHER M, ABOUCHAMI W, ALBAREDE F, BARBEY P, MICHARD A (1990).** Systématique Sm-Nd et Rb-Sr des granitoïdes et des sédiments birrimiens au contact du craton archéen de Man en Guinée. *15ème Colloque de Géologie Africaine, Nancy : Centre international pour la formation et les échanges géologiques (CIFEG), n° 20, p. 11.*

**BOHER M, ALBAREDE F, BARBEY P, MICHARD A (1990).** Croissance crustale à 2.1 Ga: les granitoïdes du Liptako (Niger). *13ème Réunion des Sciences de la Terre, Grenoble : Société Géologique de France, p. 19.*

**BOHER M, DESCHAMPS M, ROCCI G, ABOUCHAMI W, ALBAREDE F, MICHARD A (1990).** Croissance crustale au Protérozoïque inférieur dans la Dorsale Reguibat (Mauritanie): données géologiques et isotopiques. *15ème Colloque de Géologie Africaine, Nancy : Centre international pour la formation et les échanges géologiques (CIFEG), p. 12.*

**BOHER M, MICHARD A, ALBAREDE F, ROSSI M, MILÉSI JP (1989).** The crustal growth in West Africa at ca. 2.1 Ga. *Fifth Meeting of European Union of Geosciences (EUG V), 20-23 mars, Strasbourg. Terra Abstracts, 1, 1, p. 362.*

**BOHER M, ABOUCHAMI W, ALBAREDE F, BARBEY P, MICHARD A, MILESI JP** (1990). Crustal growth at 2.1 Ga. *7th International Conference on Geochronology, Cosmochronology and Isotope Geology (ICOG 7), Canberra : Geological Society of Australia. Abstracts, n° 27, p. 11.*

Early Proterozoic terranes (Birimian) extend over large areas in West Africa. Four types of Birimian formations have been distinguished: (1) Highly deformed and metamorphosed formations (amphibolite facies), (2) Volcanosedimentary formations with tholeiitic (basalts) then calcalkaline (andesites to rhyodacites) series and also polymetallic nodules and black shales, (3) Important volumes of clastic turbiditic sediments (schistes and greywackes). (4) Successive generations of calcalkaline to alkaline granites often related to transcurrent tectonic (Ledru *et al.*, 1989; Dupuis *et al.*, 1989).

Thermobarometric estimations in granites and in surrounding rocks give similar T and P respectively of 500-550°C and 5-6 kbar.

Rb-Sr, Sm-Nd and U-Pb ages of the highly metamorphic terranes (2.20-2.17 Ga) are slightly older than Sm-Nd ages of basalts, zircons U-Pb ages of clastic sediments (2.15 to 2.08 Ga) and granites (ca 2.10 Ga). The duration of the entire orogenic process is less than 100 Ma.

Sm-Nd isotopic results show same average  $\epsilon_{Nd}(2.10 \text{ Ga})$  and  $T_{DM}$  values respectively of +2 and 2.25 Ga independent of the type of formations. Only granitic or detrital Birimian formations from the Archean area have  $\epsilon_{Nd}(2.10 \text{ Ga})$  and  $T_{DM}$  values respectively of -3 and 2.60 Ga intermediate between Birimian (2, 2.25 Ga) and Archean (-10, 3.00 Ga) values.

The short residence age of the crustal protolith (ca 100 Ma) suggest, that important volumes of juvenile crust were created in West Africa at ca 2.1 Ga. Oceanic characteristics of volcanosedimentary formations, lack of Archean participation in sediments and granites, thermobarometric and structural studies suggest that crustal growth occurred in an oceanic environment in a 15-20 km minimum thick protolith and is followed by accretion of this new crust against the Archean craton with local thrusting (Feybesse *et al.*, 1989).

The Birimian terranes bridge a major gap in the crustal evolution and mantle activity for a period, 2.10 Ga, assumed to be almost quiescent in other continents.

**CHAUSSIDON M, ALBAREDE F** (1990). An ion microprobe study of secular boron isotope variations in tourmalines. *7th International Conference on Geochronology, Cosmochronology and Isotope Geology (ICOG 7), Canberra : Geological Society of Australia. Abstracts, n° 27, p. 18.*

Recent measurements (1,2) of  $^{11}\text{B}/^{10}\text{B}$  ratios in tourmalines from massive sulphide deposits and tourmalinites by thermal ionization mass spectrometry of cesium metaborate have shown large variations ( $\approx -23\text{‰} < \delta^{11}\text{B} < \approx +22\text{‰}$ ) which are interpreted as resulting mainly from the relative contribution of marine and non-marine evaporites in the source of these rocks. In the present study we have calibrated an IMS3f ion probe for the determination of in situ  $\delta^{11}\text{B}$  values in tourmalines.

The analyses are obtained with a 2-5  $\mu\text{m}$  in diameter  $\text{O}^-$  primary beam, secondary ions being analyzed at mass resolution of 2000 so that  $^{10}\text{BH}$  interference on the  $^{11}\text{B}$  peak is resolved. For given analytical conditions, instrumental mass discrimination varies linearly with the product Mass/Charge ratio by ion emissivity of the octahedral cations (Fe+Mg+Mn+Ti+Li) from values of  $\approx -65\text{‰}$  for Li-rich tourmalines up to values of  $\approx -60\text{‰}$  for Mg-Fe rich tourmalines. Reproducibility of the  $\delta^{11}\text{B}$  measurements on tourmaline standards is currently better than  $\pm 1\text{‰}$ .

Results obtained on single crystals in various magmatic and sedimentary rocks (from 3.8 Gy to present, e. g. Isua West-Greenland, Swaziland South Africa, Tanco Canada, Birimian rocks from Africa, Himalayan leucogranites) range between -30‰ and +17‰. No  $\delta^{11}\text{B}$  variation in excess 2-3‰ has been found in chemically zoned tourmalines suggesting low magnitude (<5‰) isotope fractionations between tourmaline and hydrothermal fluids. There is no simple correlation between the age and the  $\delta^{11}\text{B}$  values though the most negative  $\delta^{11}\text{B}$  values are found in some  $\approx 3.1$  Gy old rocks from Swaziland. On the contrary the large  $\delta^{11}\text{B}$  variations found between rocks of different origins seem to be related in part to the bulk chemistry of the tourmaline grains, which suggests either a large-scale isotope fractionation and/or mixing processes.

<sup>1</sup> Palmer and Siack (1989) *Contrib. Mineral. Petrol.* 103, 434-451.

<sup>2</sup> Swihart and Moore (1989) *G.C.A.* 53, 911-916.

**CHAUSSIDON M, ALBAREDE F, SHEPPARD SMF (1989).** Sulphur isotope geochemistry of the mantle : ion probe studies of mantle microsulphides. *Fifth Meeting of European Union of Geosciences (EUG V), 20-23 mars, Strasbourg.* Terra Abstracts, 1, 1, p. 318.

**CHAUSSIDON M. and LORAND J. P.(1990)** Sulphur isotope composition of orogenic spinel lherzolite massifs from Ariège, North Eastern Pyrenees, France : an ion microprobe study. Terra abstracts, 2, 128-129.

**CHAUSSIDON M (1990).** Analyse in situ d'isotopes stables légers (D/H,  $^{11}\text{B}/^{10}\text{B}$ ,  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ,  $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$ ) par sonde ionique : exemples du soufre et du bore. *Journées de Minéralogie et de Cristallographie, Rennes, 4-8 septembre.* Bulletin de la Société Française de Minéralogie et de Cristallographie, 2/3, p. 127.

**DELOULE E, ALBAREDE F, FRANCE-LANORD C (1989).** Assesment of the analytical fractionation factors in ion-probe measurements of amphibole and micas D/H ratios. *Spring Meeting of American Geophysical Union and Mineralogical Society of America, (AGU), Baltimore, May 7-12.* EOS, 70, 15, p. 489-490.

D/H ratios of amphiboles and micas have been determined using a CAMECA IMS 3f ion probe using 17 minerals of known  $\delta\text{D}$  and widely different major element compositions. The isotope fractionation associated with the ion bombardment process is large and depends upon both instrumental and sample effects. For our routine working conditions (primary  $\text{O}^+$  ions, 10 kV, and 3.5 nA beam intensity), the fractionation factor  $\alpha$  between the measured ions and the mineral varies from 0.58 to 0.70 depending on the chemical composition of the mineral. A relationship has been established between  $\alpha$  and the atomic weight/charge ratio for the octahedrally coordinated cations, which is similar to that of Suzuoki and Epstein (*Geochim. Cosmochim. Acta*, 40, 1976, 1229) on OH-bearing minerals-water fractionation.

This chemical effect implies that fractionation of hydrogen ions in SIMS analysis occurs before the destruction of the crystal structure. Therefore, the ions are liberated from depths equal to or greater than the crystal unit cell.

To perform D/H analyses with an ion probe, the knowledge of the mineral composition is essential. The actual fractionation factor for a given mineral is also dependent on the nature, the intensity and the energy of the primary beam. The present calibration allows us to determine  $\delta\text{D}$  on amphiboles (hornblende, kaersutite, richterite, ...) and micas to within  $\pm 10\%$  with a 40  $\mu\text{m}$  width analyzed area.

Applications of the present technique to the identification of successive fluid generations in ultramafic rocks is currently under way.

**DELOULE E., ALBAREDE F, SHEPPARD SMF (1990).** D/H analysis of amphiboles from mantle lherzolite xenoliths by ion probe. *Geol. Soc. Austral . 7th International Conference on Geochronology, Cosmochronology and Isotope Geology (ICOG 7), Canberra : Geological Society of Australia.* Abstracts, n° 27, p. 26.

An analytical procedure has been established to measure in situ D/H ratios in hydroxylated minerals on a few tens  $\mu\text{m}$  scale by ion probe, with a precision of  $\pm 10\%$  (Deloule et al, 1989, EOS, 70, 489). This technique has been applied to determine the D/H ratio of amphiboles occurring as rare disseminated minerals in peridotites. These amphiboles include pargasite from the Lherz peridotite, Pyrénées (France), and kaersutite and pargasite in ultramafic xenoliths and megacrysts from the Massif Central (France), Nunivak Island (Alaska) and Salt Lake Crater (Hawaii).

For the Massif Central and Salt Lake Crater,  $\delta\text{D}_{\text{SMOW}}$  variations up to 50‰ were measured both on the scale of single crystals ( $\approx 1\text{mm}$ ) and among crystals of the same sample. Chemical variations are minor and not correlated with  $\delta\text{D}$ . Combining the diffusion data for hydrogen in amphiboles with these results implies that (1) the  $\delta\text{D}$  of the infiltrating fluid was heterogeneous, and (2) the time interval between exchange and volcanism was very short (< few months).

The  $\delta\text{D}$  measured in Lherz (-92‰ and -65‰) and Nunivak Island (-93‰ to -69‰) are in the accepted range for uncontaminated upper mantle minerals. The higher  $\delta\text{D}$  (-59‰ to -28‰) from the Massif Central xenoliths may involve contamination of the oceanic lithosphere by subduction of seawater altered oceanic crust. The very light  $\delta\text{D}$  (-120‰ and -100‰) observed for hawaiian xenoliths could reflect the influence of deep chemical plume. The  $\delta\text{D}$  heterogeneity observed for the latter two localities probably results from different mixing processes, rather than from a fractionation process.

**DELOULE E** (1990). L'analyse isotopique de l'hydrogène a la sonde ionique : mesure d'amphiboles de xenolithes mantelliques. *Journées de Minéralogie et de Cristallographie, Rennes, 4-8 septembre*. Bulletin de Liaison de la Société Française de Minéralogie et Cristallographie, 2/3, p. 130.

**DIA A, ALBAREDE F, ROCCI G, BASSOT JP, DIA O, DIOH E** (1990). Pétrologie et géochimie du volcanisme du Protérozoïque précoce de la série de Mako (Est du Sénégal): caractéristiques d'un arc intraocéanique; un stade de l'accrétion crustale. *15ème Colloque de Géologie Africaine, Nancy : Centre international pour la formation et les échanges géologiques (CIFEG), n° 20, p. 17.*

**FODEN J, TURNER S, MICHARD A** (1990). Proterozoic lithospheric enrichment and its profound influence on the isotopic composition of Phanerozoic magmas. *7th International Conference on Geochronology, Cosmochronology and Isotope Geology (ICOG 7), Canberra : Geological Society of Australia. Abstracts, p. 34.*

**FRANCE-LANORD C, MICHARD A** (1990). Isotopic Chemistry and Sedimentology of distal Bengal Fan sediments. *7th International Conference on Geochronology, Cosmochronology and Isotope Geology, (ICOG 7), Canberra : Geological Society of Australia. Abstracts, n° 27, p. 35.*

**FRANCE-LANORD C, In Shipboard Scientific Party of Leg 129** (1990). Inorganic Geochemistry. In Y Lancelot, RL Larson et al., Proc. ODP, Init. Repts., 129: College Station, TX (Ocean Drilling Program).

**FRANCE-LANORD C, PICHAVANT M, SHEPPARD SMF** (1990)  $\delta D$  et teneur en eau des verres de Macusani (SE Pérou) : dégazage et fractionnement eau-magma. *Journées de Minéralogie et de Cristallographie, Rennes, 4-8 septembre*. Bulletin de liaison de la Société Française de Minéralogie et de Cristallographie, 2-3, p. 132.

Les verres et les tufs Mio-Pliocènes de Macusani (SE Pérou) sont un des rares exemples de roches felsiques peralumineuses volcaniques. Les modèles génétiques récents (1) font intervenir la fusion partielle de matériel métapélitique avec un contrôle interne de  $a_{H_2O}$ . La grande mobilité verticale de ces magmas est expliquée par des rapports (F+Li+B)/H<sub>2</sub>O élevés et de hautes températures de fusion.

Quelques verres de Macusani ont été analysés pour leur teneur en eau et leur composition isotopique d'hydrogène. Pour un échantillon, les parties limpides ont une teneur en eau légèrement plus élevée (0,19 %  $\pm$ 0,01) que les parties opacifiées par des oxydes de fer (0,16 %  $\pm$ 0,01). Leurs valeurs de  $\delta D$  sont similaires aux erreurs analytiques près, -185 ‰  $\pm$ 5 et -190 ‰  $\pm$ 5 respectivement. La différence de teneur en eau est expliquée par un processus de dégazage final au cours de la trempe, le fluide libéré contenant environ 15 mol% d'H<sub>2</sub> produit par réduction d'eau sur le fer II du magma.

Les valeurs de  $\delta D$  de -190 ‰ sont parmi les plus basses connues pour des roches magmatiques non altérées. Classiquement les valeurs très négatives de  $\delta D$  des roches volcaniques sont interprétées en terme de dégazage d'eau enrichie en D par rapport au magma. Le fractionnement isotopique de l'hydrogène entre eau et magma est mal connu mais l'analyse de systèmes rhyolitiques métalumineux de l'ouest des États-Unis et quelques études expérimentales impliquent des fractionnements eau-magma compris entre +25 et +5 ‰ ou, dans certains cas, négatifs. Dans le cas de Macusani on peut modéliser les effets isotopiques du dégazage en jouant sur les paramètres suivants : composition du fluide, teneur initiale en eau et  $\delta D$  du magma, fractionnement eau-magma et dégazage par paliers ou en système ouvert. Le fractionnement isotopique eau-magma serait de 35 ‰ en prenant les paramètres les plus favorables à un appauvrissement en D du magma au cours du dégazage: H<sub>2</sub>O pure dégazée (pas d'H<sub>2</sub> ou d'HF), dégazage en système ouvert (distillation de Rayleigh), H<sub>2</sub>O<sub>initial</sub> de 5% (maximum pour respecter la mobilité du magma) représentant un dégazage de 97%,  $\delta D_{initial}$  du magma = -80 ‰ (limite inférieure des eaux magmatiques primaires ou des eaux métamorphiques classiques). Compte tenu des paramètres extrêmes, cette estimation représenterait une valeur minimum. L'augmentation du fractionnement eau-magma entre les magmas de Macusani ( $\Delta > 35$  ‰) et les systèmes rhyolitiques ( $5 < \Delta < 25$  ‰ (2)) s'explique par une température de dégazage plus faible pour les magmas peralumineux (=650°C) et probablement par des différences de structure des magmas.

**FRANCE-LANORD C, SCAILLET B** (1989). Emplacement of the Gangotri High Himalaya Leucogranite : stable isotope constraints. *Fifth Meeting of European Union of Geosciences (EUG V), 20-23 mars, Strasbourg*. Terra Abstracts, 1, 1, p. 174.

**FRANCE-LANORD C**, in **Shipboard Scientific Party of Leg 129** (1990). Ocean Drilling Program, Leg 129. Jurassic Oceanic Crust and Sediments in the Pacific at last. *Geotimes*, 35, n° 6, 25-26.

**FRANCE-LANORD C**, in **Shipboard Scientific Party of Leg 129** (1990). Ocean Drilling Program. Ancient Crust on Pacific Plate. Leg 129 shipboard Scientific Party. *Nature*, 345, p.112.

**FRANCE-LANORD C, KARPOFF AM, MICHARD A, AND THE LEG 129 SHIPBOARD SCIENTIFIC PARTY** (1990). Diagenetic control on Interstitial water chemistry in volcanoclastic sediments of NW Pacific: ODP LEG 129. *European Union of Geosciences (EUG VI)*. Terra Abstracts, 3, p. 466.

**FRANCE-LANORD C, MICHARD A, BOUQUILLON A, TIERCELIN J-J** (1990). Isotopic chemistry and sedimentology of distal Bengal Fan sediments. *7th International Conference on Geochronology, Cosmochronology and Isotope Geology, (ICOG 7), Canberra : Geological Society of Australia*. Abstracts, p. 35 .

**GRAHAM D, LUPTON J, ALBAREDE F** (1989). The isotopes in historical lavas from Piton de la Fournaise, Reunion Island. *American Geophysical Union Fall Meeting, San Francisco, Dec 4-8*. EOS, 70, 43, p. 1388.

**GRANDJEAN P, ALBAREDE F, FEIST R** (1989). REE variations across the Frasnian-Famenian Boundary. *Spring Meeting of American Geophysical Union and Mineralogical Society of America, (AGU), Baltimore, May 7-12*. EOS, 70, 15, p. 356.

**HENRY C, CHOPIN C, MICHARD A** (1989). Petrological, structural and chronological constraints for the uplift of coesite-bearing rocks, southern doramaira, Western Alps. *Fifth Meeting of European Union of Geosciences (EUG V), 20-23 mars, Strasbourg*. Terra Abstracts, 1, 1, p. 263.

**JAMBON A, ZIMMERMANN JL** (1989). Water in oceanic glasses : are two sources necessary? *Fifth Meeting of European Union of Geosciences (EUG V), 20-23 mars, Strasbourg*. Terra Abstracts, 1, 1, p. 321.

**JAMBON A, ZIMMERMANN JL** (1990). Water in oceanic basalt glasses: evidence for dehydration of recycled crust? *Goldschmidt conference, 2-4/5*, p. 56.

**LAPIERRE H, MONOD O, ORTIZ E, CHIODI M, MARTINEZ-REYES J, ZIMMERMANN JL** (1989). New evidence for the ensimatic origin of Guanajuato Island Arc (Lower Cretaceous) in Central Mexico. *Fifth Meeting of European Union of Geosciences (EUG V), 20-23 mars, Strasbourg*. Terra Abstracts, 1, 1, p. 165.

**LAPIERRE H, ORTIZ E, ABOUCHAMI W, COULON C, MONOD O** (1990). Une coupe complète dans un arc intraocéanique: la séquence magmatique Crétacé inférieur de Guanajato (Mexique Central) (1990). *13ème Réunion des Sciences de la Terre, Grenoble : Société Géologique de France*, p. 75.

**LE FORT P, FRANCE-LANORD C, PECHER A** (1989). Granites of the himalayan collision: 1 petrological constraints. *Fifth Meeting of European Union of Geosciences (EUG V), 20-23 mars, Strasbourg*. Terra Abstracts, 1, 1, p. 173.

**MICHARD A, MICHARD G, JAVOY M, CHEMINÉE JL, BINARD N** (1989). Chemistry of submarine springs from the Teahitia seamount. *Spring Meeting of American Geophysical Union and Mineralogical Society of America, (AGU), Baltimore, May 7-12*. EOS, 70, 15, p. 495.

**MICHOT L, YVON J, CASES JM, ZIMMERMANN JL, BAEZA R** (1990). Affinity of nitrogen for the surface of talc, relation to the natural hydrophobicity of this mineral. *21st annual meeting of Fine Particles Society, San Diego*.

MICHOT L, YVON J, CASES JM, ZIMMERMANN JL, BAEZA R (1990). Apparente hydrophobie du talc et affinité de l'azote pour ce minéral. *Journées de Minéralogie et de Cristallographie, Rennes, septembre 1990*, Bulletin de liaison de la Société Française de Minéralogie et de Cristallographie, 2-3, p. 142.

MÜHE R, DEVEY CW, ALBAREDE F, HEKINIAN R, STOFFERS P (1989). Phonolite glasses from the active society seamounts : mineral chemistry and petrogenesis. *Fifth Meeting of European Union of Geosciences (EUG V), 20-23 mars, Strasbourg*. Terra Abstracts, 1, 1, p. 322.

PFLUMIO C, MICHARD A, KARPOFF AM, WHITECHURCH H, JUTEAU T (1990). Petrology and geochemistry of the extrusive sequence (Salahi block, northern Oman) : implication for the origin and evolution of the Semail ophiolite. *Unesco, Oman, 1990*.

SOBA D, MICHARD A, NORMAN DI, TOTEU SF, PENAYE J, NGAKO V, NZENTI JP, DAUTEL D (1990). Données géochronologique nouvelles (Rb-Sr, U-Pb, Sm-Nd) sur la zone mobile panafricaine de l'Est Cameroun : âge Protérozoïque supérieur de la série de LoM. *15e Colloque de Géologie Africaine, Nancy, Centre international pour la formation et les échanges géologiques (CIFEG)*, p. 288.

STEIN G, CHAVET J, LAPIERRE H, FABBRI O, MICHARD A, FOUILLAC AM (1989). Diversity of the miocene magmatism of southwest Japan : evidence for an island-arc-island-arc collision. *Fifth Meeting of European Union of Geosciences (EUG V), 20-23 mars, Strasbourg*. Terra Abstracts, 1, 1, p. 273.

SHEPPARD SMF, TAIEB R (1990). Unscrambling shales: the oxygen isotope mineralogical approach. *7th International Conference on Geochronology, Cosmochronology and Isotope Geology (ICOG 7), Canberra : Geological Society of Australia*. Abstracts, n° 27, p. 91

Shales and other clay minerals rich rocks, constituting more than 60 % of the world's sediments, are actually represented by 9 whole rock O-isotope values ! This situation reflects in part analytical problems related to the presence of organic matter, carbonates (calcite, dolomite, siderite), etc., often in more than trace quantities. Whole rock  $\delta^{18}\text{O}$  values are needed for mass balance calculations.

Thirty whole rock non-metamorphosed Mesozoic shales (Paris basin, Tunisia, Columbia) have  $\delta^{18}\text{O}$  SMOW values of 13 to 24 ‰, derived from the analysis of the calcite ( $\delta^{18}\text{O} = 23$  to 30 ‰,  $\delta^{13}\text{C} = -8$  to +3 ‰ PDB) and calcite - free organic matter - free shale ( $\delta^{18}\text{O} = 13$  to 22 ‰). Calcite is systematically  $^{18}\text{O}$ -enriched compared to the bulk silicate fraction.

For a series of samples from a given sedimentary formation,  $\delta^{18}\text{O}$  bulk silicate values combined with X-ray and/or chemical analyses can be applied to (1) determine the scale of homogenization, and (2) if the individual samples behaved as closed systems, estimate the  $\delta^{18}\text{O}$  values of the two principal mineral constituents - clays and quartz (not necessarily a single population). For the Jurassic Paris and Cretaceous Tunisian basins  $\delta^{18}\text{O}$  bulk silicate values tend to decrease with increase in quartz content. This implies that (1)  $\delta^{18}\text{O}$  detrital quartz was lower than  $\delta^{18}\text{O}$  detrital clay minerals, and (2) isotopic homogenization has not been closely approached on the scale of our sampling (metric to hectometric) for temperatures of diagenesis up to 180°C. For low degrees of diagenesis ( $T < 80-100^\circ\text{C}$ ), isotopic exchange among coexisting silicates is generally minor. From the  $\delta^{18}\text{O}$  bulk silicate-% quartz relations, the  $\delta^{18}\text{O}$  values of the detrital quartz and clay minerals can be estimated and used to characterize the provenance of these minerals.

TAIEB R, SHEPPARD SMF (1989). Evidence for recent mobility of formation waters associated with oil from Mahakam Delta, Bornéo, Indonesia. *Fifth Meeting of European Union of Geosciences (EUG V), 20-23 mars, Strasbourg*. Terra Abstracts, 1, 1, p. 405.

ZIMMERMANN JL, GIULIANI G (1990). Comparaison des âges K-Ar des granites et des métasomatites de Campo Formoso et de Carnaíba (Bahia, Brésil). *13ème Réunion des sciences de la Terre, Grenoble : Société Géologique de France*, p. 127.

**ZIMMERMANN JL, SAUPÉ F, ONGEN S, ANIL M (1989).** Oligocene-Miocene K-Ar ages of the quartz-monzonite stocks from Nevruz-Cakiroba (Yenice, Canakkale, N.W. Turkey). *Fifth Meeting of European Union of Geosciences (EUG V), 20-23 mars, Strasbourg.* Terra Abstracts, 1, 1, 354-355.

**ZIMMERMANN JL, STEIN G., LAPIERRE H., VIDAL R., CAMPA MF, MONOD O.** - Données géochronologiques nouvelles sur les granites Laramiens du Centre et de l'Ouest du Mexique (Guerrero et Guanajuato). *13ème Réunion des Sciences de la Terre, Grenoble : Société Géologique de France*, p. 127.

# ÉQUIPE INFORMATIQUE GÉOLOGIQUE

J.L. MALLET  
J.J. ROYER  
P. JACQUEMIN

Professeur, E.N.S.G.  
Ingénieur de Recherche 1  
Ingénieur de Recherche 2

Co-animateur  
Co-animateur

## Thésards :

ALECRIM DUARTE J.  
COGNOT R.  
FLORES-MARQUEZ L.  
HUANG Y.  
NOUMBIBOU P.  
SHTUKA A.

## DEA :

COBO SAINZ DE LA MAZA Y.  
COGNOT R.  
JOUSSET P.

## Stagiaires

DEVOITINE H.  
DIVIES R.  
MA Y.  
VIALATON V.  
YOUNFA I.

LIAD - ENSG  
2ème année ENSG

CESEV



## Liste et Résumés des Publications

Computer and Geosciences, 1989, 17, 6, 1019-1023.

### A Local Grid Updating Scheme For Interpolation

F. Alabert

AES Department, Stanford University

J. L. Mallet

CRIN, Ecole Nationale Supérieure de Géologie de Nancy

August 17, 1988

#### Abstract

The common approach to mapping an attribute irregularly sampled in space usually involves two steps: starting from the set of original data, a gridding procedure first attempts to estimate the attribute at the nodes of a large mesh (generally uniform); an interpolation between grid nodes is then performed using a fast, smooth interpolation technique to produce the final display of the spatial attribute. If additional data become available, the estimated grid values have to be modified to account for this new information. Similarly, if the original data have been relocated to their closest grid node prior to gridding for computation and/or storage optimization, these grid values have to be corrected to ensure exactitude of the final display. This paper presents a simple, local algorithm for updating gridded estimates of a spatial function in the vicinity of additional data. It allows avoiding a new run of the full gridding process while ensuring that the final map honors the original as well as the new data.

\*\*\*\*\*  
21st APCOM symposium, 1989, Proceedings, Las Vegas, 13p.

GEOCAD : AN ALTERNATIVE CAD AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE TOOL THAT HELPS MOVING FROM GEOLOGICAL RESOURCES TO MINEABLE RESERVES

N. M. CHEIMANOFF(\*), E.P. DELIAC(\*\*) and J-L. MALLÉT(\*\*)

\* Centre de Géotechnique et d'Exploitation du Sous-sol / Paris School of Mines  
\*\* Laboratoire d'Informatique et d'Analyse des données / Nancy School of Geology

#### ABSTRACT

GEOCAD is an ambitious research program aimed at the development of a computer based system assisting the geologist and the production or planning engineer. BONANZA, its mining part, is a computer production scheduling tool (short to medium term) of particular relevance to complex orebodies. The principle is to simultaneously use a powerful information management system (CAD potentialities) and small expert modules integrating the exploitation context and the engineer's knowledge (Artificial Intelligence techniques). As an illustration, a module of mineable block determination for underground exploitation is discussed.

Présentation du programme de recherche **gOcad**  
et premiers résultats.

CHIPOT Y.    HUANG Y.    JACQUEMIN P.    MALLET J.L.

Novembre 1989

*Le programme de recherche gOcad a débuté en 1988 avec le support des compagnies pétrolières ELF-AQUITAINE et CFP-TOTAL.*

*Son objectif est de développer un logiciel de modélisation d'objets géologiques qui prenne mieux en compte la complexité de ces objets et des données associées que ne le font les méthodes de CAO classiques.*

.....  
Geophysical Journal, 1989, 96, 343-351.

## **Three-dimensional numerical modelling of thermal transfer through the Vittel aquifer (Vosges, France), including approximated topographical effects**

Michel Danis\*, ‡ and Michel Quintard†

\* Centre de Recherches Péetrographiques et Géochimiques, BP20, 54501 Vandoeuvre-les-Nancy cedex, France and † Laboratoire Energétique et Phénomènes de Transferts, E.N.S.A.M., 33405 Talence cedex, France

Accepted 1988 August 10. Received 1988 May 12; in original form 1987 March 25

### **SUMMARY**

A geothermal and hydrochemical anomaly was observed in the Lower Triassic sandstone aquifer in the Vittel region (Vosges, France). This anomaly was attributed to a hydrothermal spring under sedimentary cover. In order to localize the hot spring and to quantify more precisely its flow rate and temperature, it is necessary to consider the 3-D thermal problem by taking into account the complex geometry of the domain and the flow rate in the aquifer. A 3-D numerical model of thermal conductive and forced convective transfer, developed for hydrological problems including approximate geometrical and topographical effects, is used which (i) can be directly applied to geologic strata (aquifers) with varying thickness and top and base slope; and (ii) allows calculation of heat flux anomalies associated with fluid flow in such geologically realistic aquifers.

The heat transfer equation is formulated in an orthogonal curvilinear coordinate system. As most geometries dealing with geothermal phenomena in sedimentary basins are nearly horizontal, this formulation can be simplified, leading readily to numerical solution with a finite difference method. The application of the 3-D model to the Vittel aquifer gives temperature results in agreement with measurements. These results provide evidence for the importance of associated forced convection and topographical effects for ground temperature distribution, and show clearly that heat flow in many basins is interpretable only if careful hydrological and thermal studies are made.

**Key words:** finite difference method, forced convection, geothermal evaluation, numerical modelling, Vittel (Vosges, France)

## Discrete Smooth Interpolation

JEAN-LAURENT MALLET

Centre de Recherche en Informatique de Nancy and  
Ecole Nationale Supérieure de Géologie

Interpolation of a function  $f(\cdot)$  known at some data points of  $R^p$  is a common problem. Many computer applications (e.g., automatic contouring) need to perform interpolation only at the nodes of a given grid. Whereas most classical methods solve the problem by finding a function defined everywhere, the proposed method avoids explicitly computing such a function and instead produces values only at the grid points. For two-dimensional regular grids, a special case of this method is identical to the Briggs method (see "Machine Contouring Using Minimum Curvature," *Geophysics* 17, 1 (1974)), while another special case is equivalent to a discrete version of thin plate splines (see J. Duchon, *Fonctions Splines du type Plaque Mince en Dimension 2*, Séminaire d'analyse numérique, n 231, U.S.M.G., Grenoble, 1975; and J. Enriquez, J. Thomann, and M. Goupillot, Application of bidimensional spline functions to geophysics, *Geophysics* 48, 9 (1983)).

Categories and Subject Descriptors: G.1.1 [Numerical Analysis]: Interpolation—*interpolation formulas; smoothing*; G.1.2 [Numerical Analysis]: Approximation—*least square approximation*; I.2.1 [Artificial Intelligence]: Applications and Expert Systems—*cartography*; I.3.5 [Computer Graphics]: Computational Geometry and Object Modeling—*curve, surface, solid, and object representations*

Additional Key Words and Phrases: Interpolation, grid, smooth, splines

\*\*\*\*\*  
MALLET JL (1989). Geometric modelling and geostatistics. Third International Geostatistical Congress. Kluwer Academic Publishers, 2, 737-747.

\*\*\*\*\*  
Mathematical Geology, 1989, 20, 977-990.

## Three-Dimensional Graphic Display of Disconnected Bodies<sup>1</sup>

J. L. Mallet<sup>2</sup>

*Let  $t = \varphi(x, y, z)$  be an ore grade function sampled at the nodes of a three dimensional regular grid. If  $t_0$  is a given cut-off, the ore deposit may be considered to be constituted by all the points  $(x, y, z)$  such that  $\varphi(x, y, z) > t_0$ . In fact, the ore deposit may be constituted by one or several disconnected bodies and two algorithms to display these bodies may be considered. The first consists in drawing intersections of the bodies with a series of equidistant parallel planes. The second consists in covering their surface with "painted" triangles. In both cases, how to remove hidden parts of the drawing is shown. An interactive approach of the problem also is considered.*

In : Geostatistics, M. Armstrong (Ed.), Kluwer Academic Publ. , 1989, 2, 823-836.

### MULTIVARIATE GEOSTATISTICS AND SAMPLING PROBLEMS

J.J. ROYER  
Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques  
B.P. n° 20, 15 rue ND des Pauvres  
54501 Vandoeuvre -Les - Nancy  
France.

ABSTRACT. This paper addresses a multivariate sampling problem. Assuming that the sampling procedure can be modelled as a multivariate random walk in  $R^p$  with absorbing barriers, the ergodic limit of the error-covariance matrix is found using Wald's equality. It is shown that false correlation or non independent errors could be induced in the data by the sampling procedure. Theoretical expressions of the error covariance matrices for different granulometric distributions have been obtained from a Monte Carlo simulation and a case study. The advantages of these theoretical equations are (i) the possibility of calculating the *a priori* sampling error; (ii) the evaluation of the error covariance matrix (nugget effect); (iii) the optimization of sampling procedures.



# NUMERICAL CARTOGRAPHY IN EARTH SCIENCES

J. J. ROYER

C.R.P.G., Vandoeuvre-Lès-Nancy, France

## Abstract

*This paper discusses the microcomputer impact in numerical cartography. Recently, workstations specializing in data retrieving, image processing, and mapping are available for geoscientists. They provide fast and integrated facilities for mapping application. However, some specific problems such as 3D modelling require faster procedures and mass storage devices of great capacity. Parallel computing is presently used to speed image processing tasks. It is believed that a similar task such as interpolation or 3D drawing could be optimized using similar procedures. Some chosen case studies in 3D mapping are presented.*

.....  
Journal of Geochemical Exploration, 1989, 32, 453-466.

## **Prise en compte de la surface spécifique des prélèvements en prospection géochimique: exemple de l'uranium dans les sédiments de ruisseau**

J.C. SAMAMA<sup>1</sup>, J.J. ROYER<sup>2</sup> et C. N'GANZI<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ENS Géologie, B.P. 452, 54000 Nancy, France

<sup>2</sup>CRPG, Rue Notre-Dame-des-Pauvres, 54500 Vandoeuvre-lès-Nancy, France

(Revised and accepted September 23, 1988)

### ABSTRACT

Samama, J.C., Royer, J.J. et N'Ganzi, C., 1989. *Prise en compte de la surface spécifique des prélèvements en prospection géochimique: exemple de l'uranium dans les sédiments de ruisseau* [Use of the surface area of samples in geochemical exploration: case of uranium in stream sediments]. In: S.E. Jenness et al. (Editors), *Geochemical Exploration 1987. J. Geochem. Explor.*, 32: 453-466.

## **Résumés publiés de Communications**

**HUANG Y, MALLET JL (1990).** Conversion of grid 3D into T-surfaces. *Freiburger Geowissenschaftliche Beiträge. Three dimensional Computer Graphics in Modeling Geologic Structures and simulating Geologic Processes, Freiburg, October 7-11, S.41.*

**MALLET JL, JACQUEMIN P, CHEIMANOFF N (1989).** GOCAD Project: Geometric modeling of complex geological surfaces. *Proceedings of 59th annual SEG meeting, Dallas, Texas, USA, 1, 126-128.*

**ROYER JJ, SAMAMA JC (1990).** Seminar and Training Course on Geochemical Data Processing. *Manuel de Cours, 160p.*

# Thèses

**ALECRIM DUARTE**, *Analyse multivariante et cartographie automatique en prospection géochimique stratégique : sédiments de ruisseau de Cristiano Otoni, MG (Brésil)*. Thèse de l'I.N.P.L., Nancy, (soutenue en juin 1990)

Ce mémoire est consacré à l'analyse et à la cartographie automatique des données géochimiques multi-élémentaires de sédiment de ruisseau, utilisant les résultats d'une campagne géochimique stratégique réalisée dans la région de Cristiano Otoni, Minas Gerais — Brésil.

Une méthode de traitement des données aussi sophistiquée soit-elle, peut se révéler inefficace si les mesures initiales sont contaminées par des erreurs instrumentales ou de prélèvements. Afin de résoudre cet important problème, en ce qui concerne au traitement et l'interprétation des données géochimiques; une technique d'analyse de la qualité des teneurs, —détection et élimination des outliers—, basée sur les valeurs écartées dans les distributions monovariées et sur la structure de la corrélation dans les distributions multidimensionnelles, est présentée.

Les teneurs de chaque prélèvement de sédiment de ruisseau intègre localement plusieurs causes de variabilité, dont une des plus importantes est la surface du bassin amont. Une solution statistique, utilisant la variance de dispersion et la taille du bassin, pour faire la correction des teneurs, est présentée pour résoudre ce problème.

La cartographie a été réalisée à l'aide d'algorithmes et logiciel permettant des solutions automatiques pour le calcul des surfaces amonts, des contours et hachurage des bassins. C'est-à-dire, que chaque prélèvement retenu pour cartographier représente tout le bassin amont.

-La classification monovariée réalisée essentiellement suivant le principe de la méthode de Sinclair, à l'aide d'algorithmes et logiciel permettant des solutions automatiques et un gain de temps considérable. A partir des résultats de la classification monovariée utilisant soit toutes les observations, soit après l'élimination des outliers furent calculés le DTA et TAS. Des cartes d'anomalies ont été établies.

Une nouvelle approche a été adaptée à l'analyse en composantes principales. Elle consiste en l'élimination des teneurs qui sont considérées non conformes avec la structure de corrélation des données (outliers). Cette nouvelle approche s'est avérée meilleur en ce qui concerne les variances expliquées et les associations géochimiques établies. Les cartes ont été tracées en utilisant les facteurs score de la première composante principale.

Le filtrage et affinage des anomalies a été utilisé à partir du codage des anomalies évaluées, en ce qui concerne aux données mono et multivariées

L'application de ces méthodes de traitement des données à la région de Cristiano Otoni a permis de déterminer d'autres anomalies de dispersions secondaires en plus de celles déjà connues, en ce qui concerne aux indices stannifères (Sn—Y—Li—Be—F), ainsi que nouvelles associations pour le Cu—Zn et As—Ni ont été mise en évidence.

**FOURNIER Frédérique**, *Application de l'analyse des données à l'exploitation pétrolière. Caractérisation des faciès sismiques par analyses statistiques multivariées*. Thèse I.N.P.L., Nancy (soutenue le 6 juillet 1990).

Ce mémoire présente une méthodologie de reconnaissance automatique des faciès sismiques en liaison avec l'information géologique disponible aux puits et basée sur des méthodes statistiques multivariées. Les traces sismiques analysées après sommation sont caractérisées au moyen de paramètres évalués sur le module du signal analytique, l'autocorrélation de la trace et son spectre. L'intérêt de ces paramètres pour la caractérisation géologique du faciès sismique est démontré dans le cadre d'un modèle markovien de séquence sédimentaire, puis sur des traces sismiques correspondant aux divers paléo-environnements du delta du Niger. La méthodologie statistique utilise conjointement des techniques d'analyse factorielle discriminante et de classification automatique pour réaliser l'analyse automatique du faciès. Deux études de cas illustrent les avantages de la méthodologie : rapidité, objectivité de l'analyse, quantification des différences morphologiques des traces sismiques, intégration plus systématique de l'information géologique. Une extension de la méthode est proposée pour des applications "gisement" (fenêtre temporelle courte). Les possibilités de caractériser la trace sismique par sa représentation conjointe temps- fréquence de Wigner-Ville, par les coefficients d'un modèle autorégressif ou par les facteurs d'une analyse en composantes principales sur les amplitudes sont analysées. C'est cette dernière méthode de caractérisation qui est retenue ; une application "réservoir" en est présentée.

En CAO classique, on suppose que les surfaces admettent une représentation paramétrique  $B(u, v)$  et sont interpolées par des interpolations du type *Bezier*, *B\_spline*,  $\beta$ -*spline* ou *NURBS*. Ces méthodes ne permettent pas de traiter valablement des surfaces géologiques complexes. C'est la raison pour laquelle le projet *GOCAD* a été développé au Laboratoire Informatique et Analyse des données de l'Ecole Nationale Supérieure de Géologie de Nancy. Dans ce projet, les surfaces sont modélisées par des facettes triangulaires (T-surfaces); car cette sorte de caractérisation est un bon compromis entre la précision d'approximation et la simplicité de manipulation de la surface. Les travaux décrits font partie du projet *GOCAD* et ont pour but de modéliser et manipuler les T-surfaces.

Nous développons d'abord une méthode qui convertit une surface isovaleur définie par une grille régulière 3D en T-surface. Les données d'entrée de cette méthode sont une liste de valeurs correspondant à la valeur en chaque noeud de la grille. Dans le cas où il existe des discontinuités, il est possible de modéliser la T-surface de façon interactive.

La mise en oeuvre des opérations booléennes sur des solides définis par leur bord a toujours été un problème délicat. Dans cette thèse, nous proposons une méthode générale permettant de résoudre le problème posé dans le cas où les objets sont des T-solides. L'algorithme exploite pleinement la base de données du projet *GOCAD*, il tient compte de tous les cas particuliers qui peuvent se présenter en pratique. Ensuite, ces résultats sont étendus aux solides quelconques.

En s'appuyant sur les études précédentes, nous développons une méthode de découpage de T-surfaces complexes. En utilisant cette méthode, nous effectuons des opérations "chirurgicales" correspondant aux applications géologiques sur les T-surfaces.

Les résultats obtenus à l'issue de ce travail constitue une contribution originale dans le domaine de l'informatique appliquée aux sciences de la terre.

## **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.

### **Contrats Industriels:**

Synthèse pétrographique, géochimique et cartographique du Massif du Millevaches (MCF).  
en coll avec CEA & CREGU

**1988-89 - Contrat CREGU-CNRS**

Etude géostatistique du gisement de kaolin de Lann-Vrian (Bretagne).

**1989 - Contrat S.N.E.K.D.M. Société des Kaolins du Morbihan.**

"Méthodes multivariées appliquée à l'étude des traces sismiques post-stack".

**1989-90- Contrat I.F.P. SNEAP.**

Projet CADOIL: Simulation et modélisation de réservoirs.

**Partenaires: SNEAP, CFP, Université de Stanford**

Etude géostatistique de la porosité et de la perméabilité du réservoir de Chaunoy (France).

**1990 - Contrat ESSO-REP.**

Etude géostatistique de la répartition des matériaux dans un barrage en terre en cours de construction.

**1990 - Contrat Compagnie d'aménagement des Coteaux de Gascogne.**

**Consortium International (U.S.A., Europe).**

Projet GOCAD: modélisation géométrique des surfaces naturelles complexes

**Partenaires:**

**U.S.A.**

**Université de Stanford, Amoco, Chevron Oil, Phillips Petroleum, Hewlett Packard.**

**Europe**

**SNEAP, CFP, CGG, IFP, IPG, B.R.G.M., GDF, Geologisches Institut. Freiburg, TNO Hollande**

**Brevet GOCAD (N° 89-12341) sur un procédé de codage des surfaces complexes.**

### **Actions thématiques programmées**

Modélisation géothermique du forage de Soultz - Haguenau.

**1989-90 - PIRSEM**



# ÉQUIPE MINÉRALOGIE ET PÉTROLOGIE EXPÉRIMENTALE

W.L. BROWN  
M. PICHAVANT  
P. BARBEY  
J.M. STUSSI  
A. ROULLIER

Directeur de Recherche 2  
Chargé de Recherche 1  
Maître de Conférence, Univ. Nancy I  
Chargé de Recherche 1  
Ingénieur d'Etudes 2

Co-animateur  
Co-animateur

## Chercheurs associés et post-doc

ASHANO E.C.  
DALL'AGNOL R.

University of Jos - Nigéria  
Université de Belem - Brésil

## Thésards:

BROUAND M.  
GOGHROD H.  
MORTAJI A.  
MOTTET B.  
OHNENSTETTER D.  
PAILLAT O.  
SCAILLET B.

## DEA

JABBORI J.

## Stagiaires

FARGES F.  
IKENNE M.

Paris VI  
Université d'Agadir - Maroc

## Liste et Résumés des Publications

In: Granulites and crustal differentiation, D Vielzeuf (Ed.), P Vidal (Ed.), Klüwer Academic Publ., NATO - ASI series, 1990, 111-132.

### THE GRANULITE BELT OF LAPLAND

P. BARBEY<sup>1</sup> and M. RAITH<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire de Pétrologie, Université de Nancy I, BP 239,  
54506 Vandoeuvre les Nancy cedex, France and  
CRPG-CNRS, BP 20,  
54501 Vandoeuvre les Nancy Cedex, France

<sup>2</sup>Mineralogisch-Petrologisches Institut,  
Universität Bonn, Poppelsdorfer Schloss,  
D-5300 Bonn, FRG

**ABSTRACT.** The granulite belt of Lapland is an intensely deformed and metamorphosed upthrust sequence of early Proterozoic pelitic to psammitic sediments and predominantly synmetamorphic basic to intermediate igneous rocks mainly of calc-alkaline character. Compressional deformation and metamorphism culminated 1.95 Ga ago in a synkinematic granulite-facies event (<850°C, 8kb,  $X_{\text{CO}_2}$ >0.8). The hot granulite belt together with the Inari craton were thrust westward over the cooler, amphibolite-grade, Tana belt and South Lapland craton. Decompression and cooling resulted in widespread anatexis of the metasediments and were accompanied by gravity tectonics. The existence of regional P-T- $X_{\text{H}_2\text{O}}$  gradients suggests progression of retrograde equilibration from the lower part of the belt (830°C, 7.2 kb,  $X_{\text{CO}_2}$  ~ 0.7) toward its intensely migmatized upper part (760°C, 6.2kb,  $X_{\text{CO}_2}$  ~ 0.7). The granulites of Lapland are likely to be the result of a full Wilson cycle (protoliths deposited during plate divergence, granulite-facies metamorphism and related nappe tectonics developed through subduction and collision).

\*\*\*\*\*  
Contributions to Mineralogy and Petrology, 1989, 101, 207-219.

### Petrology and U/Pb geochronology of the Telohat migmatites, Aleksod, Central Hoggar, Algeria \*

Pierre Barbey<sup>1,2</sup>, Jean-Michel Bertrand<sup>2</sup>, Serge Angoua<sup>1,2</sup>, and Danielle Dautel<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire de Pétrologie, Université de Nancy I, B.P.239, F-54506 Vandoeuvre-lès-Nancy cedex, France

<sup>2</sup> Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques, B.P.20, F-54501 Vandoeuvre-lès-Nancy cedex, France

**Abstract.** The Aleksod region is composed of metasedimentary rocks and large areas of biotite and hornblende-bearing migmatites. Anatexis associated with the main deformation stages, occurred under high pressure and temperature conditions estimated at  $13 \pm 2$  Kbar and  $750 \pm 50^\circ$  C. The bulk mineralogical composition of the Telohat migmatites shows that their protolith was granodioritic. Internal structures of zircons and U-Pb data suggest a polyphased evolution, with a  $2131 \pm 12$  Ma age for the protolith and a  $609 \pm 17$  Ma age for the Pan-African tectono-metamorphic evolution, thus precluding any Kibaran event in the Aleksod area. Leucosomes are richer in Sr and display lower Rb, Zr, Nb, Y, Th, U and REE contents than melanosomes wherein accessory phases are stored. Eu contents are also lower in the leucosomes but in lesser proportion than the other rare earth's, leading to a significant positive anomaly. Petrogenetic modelling accounting for accessory mineral phases clearly shows that the trace element contents of leucosomes and melanosomes follow a distribution law consistent neither with equilibrium nor fractional melting. Their trace element patterns are best explained by the model of disequilibrium melting, with mixing of a few residual phases. The present results and previous Sr isotopic data as well raise the question of disequilibrium melting in anatexis of crustal material

age of the migmatitic unit through zircon U/Pb chronology, as recent data preclude a Kibaran imprint in the neighbouring regions (Bertrand et al. 1986), and (2) determination of the petrogenesis of the migmatites by use of combined petrographical observations and major and trace element data.

## High-Pressure Dehydration Melting of Metapelites: Evidence from the Migmatites of Yaoundé (Cameroon)\*

by P. BARBEY,<sup>1</sup> J. MACAUDIERE<sup>2,3</sup> AND J. P. NZENTI<sup>4</sup>

<sup>1</sup> *Laboratoire de Pétrologie, Université de Nancy I, BP 239, 54506 Vandoeuvre-les-Nancy Cedex, France*

<sup>2</sup> *Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques, BP 20, 54501 Vandoeuvre-les-Nancy Cedex, France*

<sup>3</sup> *Ecole Nationale Supérieure de Géologie, BP 452, 54001 Nancy Cedex, France*

<sup>4</sup> *Centre de Recherche Géologique et Minière, BP 333, Garoua, Cameroun*

(Received 26 January 1989; revised typescript accepted 21 August 1989)

### ABSTRACT

The migmatites of Yaoundé consist essentially of anatectic metapelitic kyanite-garnet gneisses characterized by granulite-facies mineral assemblages. Several types of migmatitic rocks have been recognized: (1) leucosomes associated with garnet-rich melanosomes, conformable with the regional metamorphic layering; some leucosomes are granitic in composition whereas some others are granodioritic and characterized by low K and Rb and by the lack of HREE fractionation; (2) quartzofeldspathic differentiations without the related melanosomes, occurring as veins conformable with or cross-cutting the regional metamorphic layering or along shear-zones, and corresponding mineralogically to granitic or quartz-rich veins; (3) garnet-rocks mainly composed of garnet with abundant accessories, occurring as intrusive bodies within the migmatitic series.

Structural and petrographic data suggest that the migmatites are not derived from the surrounding granulite-facies gneisses but that both types of rock result from a single dehydration melting event. The formation of migmatites or gneisses, interpreted in terms either of absence of melt extraction or of shear-induced melt segregation, is ascribed to variations in strain distribution within the metamorphic pile.

The chemical characteristics of the rocks and petrogenetic modelling suggest that the migmatites of Yaoundé arose from the superimposition of the following events: (1) subsolidus differentiation of biotite-gneisses; (2) dehydration melting of biotite-gneisses at temperatures around 800°C ( $P=10-12$  kb), leading to low amounts of melt ( $F<0.2$ ), which was either tectonically segregated (migmatites) or not (granulite-facies gneisses); (3) injection of anatectic material comprising both partial melts and garnet-rich residues, corresponding to high melt fractions ( $F>0.5$ ) and probably formed at higher temperatures (850°C) and at deeper structural levels. The REE signature of equilibrium partial melts ( $9.3 < Ce_N/Yb_N < 78$ ;  $1.2 < Yb_N < 5.4$ ) indicates that granitic magmas cannot be derived from dehydration melting of biotite-bearing metapelites only. Several other possibilities are discussed.

\*\*\*\*\*

Journal of Volcanology and Geothermal Research, 1990, 44, 143-161.

## Zircon behaviour during crustal anatexis. Evidence from the Tibetan Slab migmatites (Nepal)\*

Marc Brouand<sup>a</sup>, Gilles Banzet<sup>a,b</sup> and Pierre Barbey<sup>a,c</sup>

<sup>a</sup> *Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques, BP 20, 54501 Vandoeuvre les Nancy Cedex, France*

<sup>b</sup> *Laboratoire de Géologie Alpine, Institut Dolomieu, 38031 Grenoble Cedex, France*

<sup>c</sup> *Laboratoire de Pétrologie, Université de Nancy I, BP 239, 54506 Vandoeuvre les Nancy Cedex, France*

(Received August 20, 1989; revised and accepted December 9, 1989)

## ABSTRACT

Brouand, M., Banzet, G. and Barbey, P., 1990. Zircon behaviour during crustal anatexis. Evidence from the Tibetan Slab migmatites (Nepal). In: P. Le Fort, J.A. Pearce and A. Pêcher (Editors), *Collision Magmatism. J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 44:143–161.

The morphology and internal structures of zircon populations from three distinct types of migmatites from Central Nepal (low-Zr and high-Zr in situ migmatites and injection migmatite) were studied to examine the behaviour of zircon during anatexis.

The zircons from mesosomes and melanosomes were all residual zircons characterized by rounded morphologies with little overgrowth and a small elongation ratio, suggestive of a detrital or metamorphic origin.

Zircons from the leucosomes showed distinctive features. The low-Zr tonalitic leucosomes were characterized by zircon populations with the same features as those from mesosomes and melanosomes, indicative of no or very few transformations during migmatization. The high-Zr leucosome contained euhedral crystals with morphological features typical of magmatic zircons found in crustal peraluminous magmas; internal zoning patterns suggested a complex evolution involving dissolution and growth. The injected granitic leucosome contained well-developed magmatic zircons. The role of subsolidus differentiation, partial melting, and melt composition on the contrasted behaviour of zircons during anatexis is discussed.

The zircon populations from the Tibetan Slab migmatites are distinct from those of the Manaslu granite, therefore suggesting that the migmatite leucosomes are not the unsegregated equivalents to the melts which gave rise to the Manaslu-type granites.

\*\*\*\*\*  
Journal of Petrology, 1989, 30, 1501-1540.

## An Anorthosite Suite in a Ring-Complex: Crystallization and Emplacement of an Anorogenic Type from Abontorok, Air, Niger

by WILLIAM L. BROWN<sup>1</sup>, CHRISTIAN MOREAU<sup>2</sup> AND DANIEL  
DEMAIFFE<sup>3</sup>

<sup>1</sup>CRPG, BP 20, 54501 Vandoeuvre-lès-Nancy Cedex, France

<sup>2</sup>Département de Géologie, Faculté des Sciences, Dakar-Fann, Sénégal\*

<sup>3</sup>Laboratoires associés Géologie-Pétrologie-Géochronologie (CP 160), Université Libre de Bruxelles, 1050 Bruxelles, Belgium

(Received 6 October 1988; revised typescript accepted 31 March 1989)

### ABSTRACT

Laminated anorthosite grading outwards into leucogabbro, gabbro, and monzogabbro occurs in a 2.6-km-diameter funnel-shaped intrusion, cut by a quartz alkali syenite plug and concentric syenite and granite ring-dykes. The anorthosite-gabbro series is laminated but not modally or otherwise texturally layered. The lamination, defined by large tabular plagioclase crystals, forms a set of inward-dipping cones, the dips of which decrease from 60–45° in the central anorthosite to <25° in the outer gabbros. Rocks close to the outer contact are medium-grained isotropic gabbros. Plagioclase, forming >80% of the series, generally has homogeneous labradorite cores (An<sub>62-58</sub> in the whole series) and thin strongly zoned rims, which follow progressively longer solidus paths from the anorthosites to the gabbros. All rocks contain a late-magmatic alkali feldspar. Plagioclase is the main or only cumulus phase, the anorthosites being ad- to mesocumulates and the gabbros orthocumulates. Olivine (Fo<sub>49-41</sub>) is more abundant than clinopyroxene in most of the series. Depending on quartz content, the syenites and granites are hypersolvus or subsolvus and the depth of crystallization was calculated to be 5 ± 2 km.

A Rb/Sr isochron for the syenites and granites gave an age of 399 ± 10 Ma with an initial strontium isotopic ratio of 0.7084 ± 0.0005. Ten samples from the anorthosite-gabbro series have an average calculated initial ratio of 0.70582 ± 0.00004 at -400 Ma, showing that the two series are not comagmatic. The anorthosite-gabbro series has parallel REE trends (La<sub>N</sub>/Yb<sub>N</sub> ~ 7–10) with decreasing positive Eu anomalies and increasing total REE contents from anorthosite to gabbro; two monzogabbros have almost no Eu anomaly. The liquid calculated to be in equilibrium with the lowest anorthosite has almost no Eu anomaly and its normalized REE pattern lies just above those for the monzogabbros. The syenites and granites have complementary REE patterns with negative Eu anomalies.

The inferred parental magma was alkalic and leucotroctolitic with high TiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Sr and K/Rb and with low MgO, very similar to parental magmas in the Gardar province, South Greenland. It was probably produced at depth by settling of olivine and clinopyroxene but not of plagioclase, which accumulated by flotation. It is suggested that plagioclase crystals from this lower chamber were progressively entrained (from 0% in the gabbros to 30–40% in the anorthosites), giving rise to the flow lamination in the upper chamber. The magma in the lower chamber may have been layered, because the plagioclase cores in the anorthosite are considerably richer in Or than those in the leucogabbros or gabbros. Overall convection did not occur in the upper chamber, whereas compositional convection occurred in the more slowly cooled central anorthositic accumulates.

## Glide twinning and pseudotwinning in peristerite: twin morphology and propagation\*

William L. Brown

Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques, BP 20, F-54501 Vandoeuvre-lès-Nancy Cédex, France

**Abstract.** Optically visible Albite glide "twins" in a peristerite ( $\sim \text{An}_9\text{Or}_{1.6}$ ), identified from their tapering shape and relationship to grain boundaries, were studied by transmission electron microscopy. Near the tips in sections  $\perp a$ , the microstructure consists of small ( $\sim 400$  nm long) lens-shaped Albite twins centred exclusively on the oligoclase lamellae. The lenses extend partly outwards into the two adjacent low albite lamellae and induce strong inhomogeneous strain. Where the lenses are closer together, they form, depending on the sense of shear, nearly linear left or right-stepping en échelon arrays, with overlap of the strain fields. Slightly farther in from the tip, the twin domains coalesce to form continuous pinch-and-swell lamellae, being always thicker in the oligoclase. Because of Si,Al order, only elastic glide pseudotwins are possible in low albite. In oligoclase glide pseudotwins may be mechanically stable (metastable relative to Si,Al order) and may deviate only slightly from true twins. Pseudotwins develop first in the oligoclase, propagate dynamically by jumping across the intervening albite lamellae, extend lengthways and thicken sideways and finally coalesce. They are stabilized by diffusion-controlled inversion of Si,Al order giving rise to true twins described in a companion paper.

\*\*\*\*\*  
Contributions to Mineralogy and Petrology, 1989, 102, 313-320

## Glide twinning and pseudotwinning in peristerite: Si,Al diffusional stabilization and implications for the peristerite solvus\*

William L. Brown

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

**Abstract.** Albite glide pseudotwins related to grain-boundary stresses have been observed in an exsolved peristerite (Brown 1989). The glide operation transposes the pre-existing periodic oligoclase/albite lamellae and interfaces into a position rotated by only  $\sim 0.5^\circ$  in the pseudotwins, but transforms the indices from  $(0\bar{8}1)$  outside to  $(0\bar{8}1)$  inside the pseudotwin. The pseudotwin is anti-ordered with respect to Al and Si and both it and the transposed interface are unstable. They should revert to the initial state on stress removal. If however the stresses are maintained for a sufficiently long time, the pseudotwins are stabilized by inversion of Si,Al order and re-orientation of the interface by an angle of about  $30^\circ$  into a position close to  $(0\bar{8}1)$ . The continuous lamellae break up into a series of discs by diffusion of NaSi and CaAl, the minimum diffusion path being about the same as the thickness of the lamellae. On extrapolating available interdiffusion data in Ab-rich plagioclases to low temperatures, possible diffusion times may be calculated. The calculated times are long so that either the peristerite miscibility gap must be at a higher temperature than previously supposed or the low-temperature interdiffusion coefficients must be higher than the extrapolated experimental ones, or both. From recent data on ordering in albite, the crest of the gap is estimated to lie close to  $650\text{--}625^\circ\text{C}$  at low pressure and it is possible that interdiffusion under natural conditions is facilitated by hydrogen (protons) in feldspars.

## Alkali feldspars: ordering rates, phase transformations and behaviour diagrams for igneous rocks\*

WILLIAM L. BROWN

Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques, BP 20 54501 Vandoeuvre-lès-Nancy Cedex, France

AND

IAN PARSONS†

Department of Geology and Mineralogy, Marischal College, University of Aberdeen, Aberdeen AB9 1AS, Scotland

### Abstract

Homogeneous and heterogeneous phase relationships in the alkali feldspars are reviewed, and behaviour diagrams developed. Al,Si ordering is almost certainly continuous and higher order in both albite and potassium feldspar and has been established reversibly or nearly so down to below 500 °C in albite and possibly to ~ 200 °C in potassium feldspar. The degree of order in intermediate albite changes strongly over a range of ~ 75-150 °C depending on pressure, low albite being stable up to about 620-650 °C and high albite above about 725 °C at low pressure. Symmetry is broken at ~ 980 °C mainly by a cooperative shearing of the whole framework and not by Al,Si ordering alone; there is a thermal crossover near 700 °C, shearing being dominant above (high albite) and ordering dominant below (intermediate albite).

In potassium feldspar symmetry is broken by Al,Si ordering at a temperature of about 500 °C. The change in degree of order with respect to temperature has been followed easily and reversibly in sanidine from ~ 1075 to ~ 550 °C and to a lesser extent in microcline from 450 to 200 °C. Ordering rates in sanidine down to 500 °C and ordering rates in microcline between 450 and 200 °C are almost *as fast as in albite*. Ordering in sanidine at 500 °C and below slows and then stops with the development of the tweed orthoclase domain texture. The tweed texture acts as a barrier to further order because the strain energy associated with the (incipient) twin domain texture balances or nearly balances the free energy decrease resulting from ordering. Ordering stops not because of the kinetics of Al,Si diffusion, but because the total *driving force* is very small or nil. Ordering can readily proceed to completion, with the formation of low microcline, only if the domain-texture barrier is overcome by processes involving fluids or strong external stresses. There is no barrier in albite.

The symmetry-breaking process in alkali feldspar changes with composition from mainly shearing in albite to ordering in potassium feldspar. Symmetry is broken equally at a compositional crossover (metastable with respect to exsolution) near  $Ab_{80-75}$  at low pressure and progressively displaced towards Or at higher pressures. Ordering in pure albite occurs by a (nearly) one-step path which progressively becomes two-step with substitution of Or. Diagrams showing the near-equilibrium variation of the order parameters at low pressure with composition and *T* are given, as well as two extreme phase and *behaviour* diagrams for complete coherent and complete incoherent (strain-free) relationships. These diagrams can be used to understand feldspar relationships and microtextures in hypersolvus and subsolvus rocks, the occurrence of orthoclase, and of intermediate and low microcline

\*\*\*\*\*  
Journal of African Earth Sciences, 1989, 8, n° 1, 1-9.

### The Ntumbaw Complex, NW Cameroon : an atypical anorogenic ring complex of intermediate composition

R. GHOGOMU\*, C. MOREAU\*\*, W. L. BROWN\* and G. ROCCI††

\*Département des Sciences de la Terre, Faculté des Sciences, Yaoundé, Cameroun

\*\*Département de Géologie, Faculté des Sciences, Dakar-Fann, Sénégal

†CRPG-CNRS B.P.20, 54501 Vandoeuvre-lès-Nancy Cedex, France

††Laboratoire de Pétrologie, Faculté des Sciences B.P. 239

54506 Vandoeuvre-lès-Nancy Cedex, France

**Abstract-** The Ntumbaw anorogenic ring complex, NW Cameroon, is composed of two intersecting centres intruded into the Precambrian metamorphic basement and partly hidden by basalt flows. It covers an area of about 12 km<sup>2</sup> and, despite lack of radiometric dating, is similar to the other anorogenic complexes of Tertiary age along the Cameroon Line. The rocks range from monzodiorite, monzonite and quartz monzonite for centre 1 to quartz syenite, syenogranite and granophyre for centre 2. The two centres are inversely zoned petrographically with the most acid rocks towards the periphery of both. The chemistry of major, trace and rare-earth elements shows that the rocks of both centres are subalkaline to alkaline, cogenetic, and that their variation was governed by fractional crystallization. More than 90% of this complex is of intermediate composition with silica values between 52 and 65%. Such rocks are often absent from anorogenic complexes, their compositions falling in the Daly Gap.

IJAALI M, MALAMAN M, GLEITZER C, PICHAVANT M (1989).  $\text{Fe}_4(\text{PO}_4)_3(\text{OH})_3$ . A ferric hydroxyphosphate with an ordered iron-deficient  $\text{Fe}_2(\text{PO}_4)\text{O}$  structure. *European Journal Solid State Inorganic Chem.*, 26, 73-89.

Journal of Volcanology and Geothermal Research, 1990, 44, 163-188.

## Badrinath-Gangotri plutons (Garhwal, India): petrological and geochemical evidence for fractionation processes in a high Himalayan leucogranite

Bruno Scaillet<sup>a,1</sup>, Christian France-Lanord<sup>a</sup> and Patrick Le Fort<sup>b</sup>

<sup>a</sup> CRPG-CNRS, 15 rue ND des Pauvres, BP 20, Vandoeuvre, France

<sup>b</sup> CNRS-Institut Dolomieu, 15 rue Maurice Gignoux, Grenoble, France

(Received November 23, 1989; revised and accepted March 5, 1990)

### ABSTRACT

Scaillet, B., France-Lanord, C. and Le Fort, P., 1990. Badrinath-Gangotri plutons (Garhwal, India): petrological and geochemical evidence for fractionation processes in a high Himalayan leucogranite. In: P. Le Fort, J.A. Pearce and A. Pêcher (Editors), *Collision Magmatism. J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 44: 163 – 188.

The Gangotri leucogranite is the western end of the Badrinath granite, one of the largest bodies of the High Himalayan Leucogranite belt (HHL). It is a typical fine grained tourmaline + muscovite ± biotite leucogranite. The petrography shows a lack of restitic phases. The inferred crystallization sequence is characterized by the early appearance of plagioclase, quartz and biotite and by the late crystallization of the K-feldspar. This suggests that, in spite of being of near minimum melt composition, the granite probably had long crystallization or melting interval, in agreement with previous experimental studies. Tourmaline and muscovite have a mainly magmatic origin. Even though the major element composition is homogeneous, there are several geochemical trends (when CaO decreases there is an increase in  $\text{Na}_2\text{O}$ , Rb, Sn, U, B, F and a decrease in  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ , Sr, Ba, Zr, REE, Th) which are best explained by a fractionation process with early crystallizing phases. Experimental solubility models for zircon and monazite in felsic melt support a magmatic origin for these two accessory phases as well.

Rb/Sr isotope data show this granite to have, like other HHL, heterogeneous isotopic values for Sr (initial  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratios, calculated at 20 Ma, range between 0.765 and 0.785). Therefore no mixing (i.e. no convection) occurred between the different batches of magma. In contrast  $^{18}\text{O}$  data show little variation ( $13.04\text{‰} \pm 0.25$ ), implying a source with homogeneous  $^{18}\text{O}$  values. Differences in timing between fluid infiltration and the onset of melting, related to differences in temperature of the source, could explain why source homogenization occurred for the Gangotri and not for the Manaslu granite.

The use of experimental results for solubility and the position of the accessory minerals during melting, predict a low viscosity for the melt during its extraction. This in turn explains the lack of restitic phases (major and accessory) in the granite as well as some field features (lensoid shape, pronounced magmatic layering). Based on the petrographic and isotopic studies, it is suggested that the mechanism of ascent was not diapiric but rather that the melt ascended along several fractures and the level of emplacement was partially controlled by the density contrast between the melt and host rocks.

## Granitoid Chemistry and Associated Mineralization in the French Variscan<sup>o</sup>

JEAN-MARC STUSSI

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

### Abstract

The orogenic granitoids of the French Variscan are classified into three principal associations: aluminopotassic, subalkaline, and calc-alkaline. Each of these associations is characterized by the petrographical and geochemical composition of the members and the nature of the related mineralization.

Aluminopotassic granitoids contain most of the observed Sn, W, and U mineralization and all the Be, Nb-Ta, and Li mineralization. They are associated with two-mica leucogranites, with a separate occurrence of Sn, W, Li, Be, Nb-Ta mineralization related to evolved sodic leucogranites and U mineralization related to potassic leucogranites.

The Cu and Mo potential of the subalkaline granitoids is assessed by the occurrence of genetically related mineralized pegmatites and K feldspar veins and of postmagmatic veins and stockworks. Complex Sn-Cu and W-Mo mineralization occurs in areas and bodies characterized by the emplacement of both subalkaline and aluminopotassic granitoids. Evolved subalkaline granites and leucogranites contain U mineralization (occurrences, deposits) which can be enhanced by late aluminopotassic two-mica leucogranite intrusions.

The calc-alkaline granitoids are conspicuously barren, except for some W skarn occurrences, a type of mineralization which is also observed around subalkaline and aluminopotassic intrusions. No Cu-Mo porphyry mineralization is observed in either calc-alkaline or subalkaline granitoids.

The regional pattern of distribution of the granitoids and their related mineralization leads to the definition of three principal regions which differ by the volumic development of the various granitoid associations and the related mineralization. No clear magmatic or metalliferous polarity can be observed across the French Variscan. The observed pattern of distribution results from the ensialic evolution of the French Variscan orogeny and from the mainly crustal origin of the granitoids emplaced between 280 and 360 Ma in response to the postcollisional thrusting and shearing tectonics.

Similar relationships between the mineralization and granitoid varieties are observed in the adjacent European segments of the French Variscan. Other classification schemes suffer some limitations, including being less discriminating, so that comparisons are not always useful.

\*\*\*\*\*

Notes et Mémoires Ser Géol. Maroc, Rabat, 1989, n° 335, 161-174.

## Chronologie et typologie du plutonisme calédono-varisque en France

Contribution du groupe de travail français coordonnée par

Jean-Marc STUSSI\*, Alain PLOQUIN\*, Albert AUTRAN\*\* et Jean-Baptiste ORSINI\*\*\* avec la collaboration de Jean-Claude BAUBRON, Serge BOGDANOFF, Jean-Louis DUTHOU, Jean-Pierre FLOC'H, Michel PIBOULE, Jean-Michel QUENARDEL, Jurgen von RAUMER, Danielle SANTALLIER et Gérard VIVIER.

Contribution française n° 35 au PICG 27 « Caledonide Orogen »

Mots-clés : Plutonisme - Géochimie - Typologie - Granitoïdes - Chronologie - Calédonien - Varisque - Hercynien - Paléozoïque - France.

Résumé : Les événements calédono-hercyniens de la chaîne varisque française ont été accompagnés par la mise en place d'un important magmatisme de nature calcoalcaline, subalcaline, aluminopotassique et trondhjémitique. Environ 6000 analyses ont été traitées. La cartographie de ce magmatisme met en évidence des aires et linéaments à caractères spécifiques et montre un large décalage entre la répartition chronologique et typologique des différents types de granitoïdes.

Key Words : Plutonism - Geochemistry - Typology - Chronology - Granitoids - Caledonian - Variscan - Hercynian - Palaeozoic - France.

Abstract : The Caledono-Hercynian events of the French Variscan chain are accompanied by the emplacement of an important granitic magmatism of calcoalcaline, subalkaline, aluminopotassic or « trondhjémitic » chemistry. About 6000 analyses were computed. The mapping, following this typology, displays areas and lineaments of specific characters, and shows a large discrepancy between chronological and typological distribution of the various types of granitoids.



## Development of microporosity, diffusion channels and deuteric coarsening in perthitic alkali feldspars

Richard H. Worden\*<sup>1</sup>, F. David L. Walker<sup>1</sup>, Ian Parsons<sup>1</sup>, and William L. Brown<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Grant Institute of Geology, University of Edinburgh, West Mains Road, Edinburgh EH9 3JW, Scotland

<sup>2</sup> CNRS-CRPG, BP 20, F-54501 Vandoeuvre-lès-Nancy cedex, France

Received August 22, 1989 / Accepted November 27, 1989

**Abstract.** Turbidity is an almost universal feature of alkali feldspars in plutonic rocks and has been investigated by us in alkali feldspars from the Klokken syenite using SEM and TEM. It is caused by the presence of myriads of tubular micro-inclusions, either fluid-filled micropores or sites of previous fluid inclusions, and is associated with coarsening of microperthite and development of sub-grains. Micropores are abundant in coarsened areas, in which porosities may reach 4.5%, but are almost absent from uncoarsened, pristine braid-microperthite areas. The coarsening is patchy, and involves a scale increase of up to  $10^3$  without change in the composition of the phases, low albite and low microcline, or in the bulk composition of the crystal. It occurs abruptly along an irregular front within individual crystals, which retain their original shapes. The coherent braid microperthite gives way across the front to an irregular semi-coherent film perthite over a few  $\mu\text{m}$  and then to a highly coarsened irregular patch perthite containing numerous small sub-grains on scales of a few hundred nm, in both phases. The coarsening and micropore formation occurred at a  $T \leq 400^\circ\text{--}450^\circ\text{C}$  and it is inferred to have been driven by the release of coherent strain energy, low-angle grain-boundary migration being favoured by a fluid. The patchy nature of the coarsening and the absence of a relationship with initial grain boundaries suggest that the fluid was of local origin, possibly arising in part through exsolution of water from the feldspar. The sub-grain texture and microporosity modify profoundly the permeability of the rock, and greatly enhance the subsequent reactivity of the feldspars.

## Thèses

**BROUAND Marc.** - *Pétrogenèse des migmatites de la Dalle du Tibet (Himalaya du Népal)*. Thèse de l'I.N.P.L., Nancy, 224 p. (soutenue en juin 1989).

### RESUME

La chaîne de collision continentale himalayenne offre le rare privilège, par l'intermédiaire de grande vallées transversales, d'étudier à la fois les leucogranites cénozoïques, mis en place au Nord du cristallin du Haut Himalaya et leur région source: la Formation I de la Dalle du Tibet. La compréhension des mécanismes de genèse et de mise en place des granites justifie l'étude des migmatites de la Dalle du Tibet.

Au Népal Central, la Dalle du Tibet est migmatisée sur toute son épaisseur, mais le degré de fusion reste modéré (métatexites), ce qui permet de saisir les premiers mécanismes anatectiques. Une étude pétrographique et chimique montre la grande diversité des facteurs contrôlant la migmatisation : variations de composition lithologique originelle des roches soumises à la migmatisation, tectonique, rôle des fluides et des injections granitiques. Deux types principaux de mobilisats ont été observés : essentiellement tonalitiques dans la partie inférieure de la Dalle, granitiques dans sa partie supérieure. Le comportement des terres rares au cours de la migmatisation est principalement contrôlé par les minéraux accessoires : monazite, apatite et zircon. Une étude détaillée des zircons permet de mettre en évidence des comportements contrastés de ces minéraux au cours de la fusion partielle. La plupart des leucosomes "in situ" contiennent des zircons résiduels, cependant, certains leucosomes, plus riches notamment en Li, F, Sn et W, sont caractérisés par la présence de zircons à caractères magmatiques. Enfin, les leucosomes injectés présentent des zircons magmatiques.

Les terres rares, régies par les accessoires, servent de support à l'élaboration d'un modèle de fusion. Partant des compositions minéralogiques et chimiques des méosomes et des liquides, les modalités de formation des leucosomes sont précisées. Une approche des mécanismes intervenant lors de la genèse des granites est envisagée.

**OHNSTETTER Daniel,** Minéralisations associées aux complexes mafiques-ultramafiques en domaine océanique et continental. Thèse de l'université Nancy I (soutenue le 26 avril 1990)

Ce mémoire de thèse comporte deux parties: l'une sur les ophiolites et l'autre sur la minéralisation de divers complexes basiques - ultrabasiques, dont les ophiolites, les komatiites et les sills archéens et protérozoïques.

Les travaux réalisés lors de la thèse de 3<sup>ème</sup> cycle sur les ophiolites ont abouti à deux résultats majeurs: 1) la reconstitution du puzzle ophiolitique corse; 2) la diversité des ophiolites avec une classification en deux grands types, dont le magmatisme de l'un (ophiolites de Méditerranée occidentale) s'apparente à celui des rides médio-océaniques, tandis que le magmatisme de l'autre (ophiolites de Méditerranée orientale) ressemble à celui des arcs insulaires immatures. Les études ultérieures ont conforté cette classification par la quantification des processus magmatiques et en ont montré l'intérêt d'un point de vue métallogénique.

Les minéralisations magmatiques de nickel sulfuré associées aux laves basiques et ultrabasiques archéennes et protérozoïques ont été étudiées dans le cadre de l'action concertée DGRST "Facteurs contrôlant les minéralisations sulfurées de nickel". Des guides permettant de comprendre la répartition des gisements ont été recherchés. Les ophiolites, réputées stériles en gîtes de nickel sulfuré, ont été également étudiées comme contre-type par opposition aux associations basiques et ultrabasiques archéennes et protérozoïques porteuses de gisements de nickel.

L'intérêt économique évoluant du nickel vers les métaux de la mine du platine m'a conduit à travailler sur les platinoïdes, et principalement sur la cristallogénie de quelques minéraux du groupe du platine dans des sills archéens (Bird River Sill, Fosse du Labrador) et protérozoïques (Coldwell complex). Des travaux en collaboration portant sur la géochimie et la pétrologie des complexes ont souvent été menés en parallèle, afin de mieux comprendre la gîtologie des PGE et des métaux de base associés ou non.

De toutes ces études sur la minéralisation des corps basiques - ultrabasiques, il ressort que la nature du magma parental est importante pour juger de leur potentiel métallogénique (Cr, Ni, PGE). Cette hypothèse a été émise dès les premières études sur la métallogénie des ophiolites (Ohnenstetter et al., 1979) et s'est confortée par les études successives sur les concentrations de Ni sulfuré ainsi que sur les PGE.

Le caractère saturé à sursaturé des magmas basiques a été noté dans les ophiolites porteuses de gisement de chrome, dans les lopolites stratifiés enrichis en Cr, PGE et autres métaux de base (Stillwater, Bushveld) ainsi que dans d'autres complexes mafiques - ultramafiques (Sudbury, Fosse du Labrador). Des magmas de type boninitique seraient à l'origine de certains de ces complexes mis en place dans des domaines différents: continental à océanique.

Ce constat nous a conduit à étudier en détail, tant du point de vue pétrologique que géochimique, les boninites récentes de Nouvelle Calédonie dont les premiers résultats sont présentés. D'autres études portant sur la potentialité métallogénique de ce type de magmatisme seront engagées à l'avenir.

En conclusion de la thèse est présentée une classification des complexes basiques-ultrabasiques basée sur l'ordre de cristallisation des minéraux qui permet de discuter de l'origine des gisements de PGE par rapport à celle des autres minéralisations (chromite, concentration sulfurées).

**GOGHROD Hassan, *Le "Méga Ring Dyke" du Meugueur-Meugeur (Aïr, Niger) : implications sur la genèse et l'évolution des complexes annulaires à suites anorthositiques.* Thèse de l'université de Nancy I (soutenue le 9 juillet 1990)**

Ce mémoire de thèse comporte deux parties: l'une sur les ophiolites et l'autre sur la minéralisation de divers complexes basiques - ultrabasiques, dont les ophiolites, les komatiites et les sills archéens et protérozoïques.

Les travaux réalisés lors de la thèse de 3<sup>ème</sup> cycle sur les ophiolites ont abouti à deux résultats majeurs: 1) la reconstitution du puzzle ophiolitique corse; 2) la diversité des ophiolites avec une classification en deux grands types, dont le magmatisme de l'un (ophiolites de Méditerranée occidentale) s'apparente à celui des rides médio-océaniques, tandis que le magmatisme de l'autre (ophiolites de Méditerranée orientale) ressemble à celui des arcs insulaires immatures. Les études ultérieures ont conforté cette classification par la quantification des processus magmatiques et en ont montré l'intérêt d'un point de vue métallogénique.

Les minéralisations magmatiques de nickel sulfuré associées aux laves basiques et ultrabasiques archéennes et protérozoïques ont été étudiées dans le cadre de l'action concertée DGRST "Facteurs contrôlant les minéralisations sulfurées de nickel". Des guides permettant de comprendre la répartition des gisements ont été recherchés. Les ophiolites, réputées stériles en gîtes de nickel sulfuré, ont été également étudiées comme contre-type par opposition aux associations basiques et ultrabasiques archéennes et protérozoïques porteuses de gisements de nickel.

L'intérêt économique évoluant du nickel vers les métaux de la mine du platine m'a conduit à travailler sur les platinoïdes, et principalement sur la cristallogénie de quelques minéraux du groupe du platine dans des sills archéens (Bird River Sill, Fosse du Labrador) et protérozoïques (Coldwell complex). Des travaux en collaboration portant sur la géochimie et la pétrologie des complexes ont souvent été menés en parallèle, afin de mieux comprendre la gîtologie des PGE et des métaux de base associés ou non.

De toutes ces études sur la minéralisation des corps basiques - ultrabasiques, il ressort que la nature du magma parental est importante pour juger de leur potentiel métallogénique (Cr, Ni, PGE). Cette hypothèse a été émise dès les premières études sur la métallogénie des ophiolites (Ohnenstetter et al., 1979) et s'est confortée par les études successives sur les concentrations de Ni sulfuré ainsi que sur les PGE.

Le caractère saturé à sursaturé des magmas basiques a été noté dans les ophiolites porteuses de gisement de chrome, dans les lopolites stratifiés enrichis en Cr, PGE et autres métaux de base (Stillwater, Bushveld) ainsi que dans d'autres complexes mafiques - ultramafiques (Sudbury, Fosse du Labrador). Des magmas de type boninitique seraient à l'origine de certains de ces complexes mis en place dans des domaines différents: continental à océanique.

Ce constat nous a conduit à étudier en détail, tant du point de vue pétrologique que géochimique, les boninites récentes de Nouvelle Calédonie dont les premiers résultats sont présentés. D'autres études portant sur la potentialité métallogénique de ce type de magmatisme seront engagées à l'avenir.

En conclusion de la thèse est présentée une classification des complexes basiques-ultrabasiques basée sur l'ordre de cristallisation des minéraux qui permet de discuter de l'origine des gisements de PGE par rapport à celle des autres minéralisations (chromite, concentration sulfurées).

**MORTAJI Abdelaziz.** - *La boutonnière précambrienne de Tagragra d'Akka (Anti-Atlas occidental, Maroc). Pétrologie et géochimie des granitoïdes, filons basiques et métamorphites associées.* Thèse de l'Université de Nancy I, 210 p., soutenue en décembre 1989.

La moitié orientale de la boutonnière précambrienne de Tagragra d'Akka (Anti-Atlas occidental, Maroc) est constituée de trois grands ensembles lithostructuraux : les granitoïdes, les métamorphites et les filons basiques.

**Les granitoïdes:** les relations de terrain entre les différents faciès et leurs caractéristiques chimico-minéralogiques montrent que les granitoïdes de Tagragra d'Akka. sont de mise en place polyphasée et redevables de deux types de magmatismes. L'un est *aluminopotassique* et représenté par des *leucogranites à deux micas ou à muscovite seule*, porphyroïdes ou équi-granulaires occupant la moitié N du massif. L'autre est *calco-alcalin* et représenté par des *granites à biotite seule ou biotite et muscovite secondaire* formant l'essentiel de la moitié S du massif. Des *granites à biotite et épidote magmatique*, d'extension volumique plus limitée mais unique dans le NW du craton Ouest Africain, ont été mis en évidence. Les leucogranites à deux micas aluminopotassiques dont l'origine est considérée comme crustale, sont formés sous pressions < 5 Kb et en conditions de saturation d'H<sub>2</sub>O. Ils s'opposent au magmatisme calco-alcalin plus profond mais non nécessairement d'origine mantellique, des granites à biotite et granites à biotite et épidote (5 < P < 7 Kb; fO<sub>2</sub> élevée; conditions de sous-saturation en H<sub>2</sub>O). Ces derniers sont intrusifs dans des leucogranites à deux micas et sont à leur tour recoupés par des leucogranites à muscovite ultimes, indiquant que les deux types de magmatismes se sont développés au cours d'un même orogène. L'ensemble des granitoïdes a subi une empreinte rétro-morphique épizonale au cours des orogènes ultérieurs.

Ces granitoïdes, dont l'âge radiométrique n'est pas encore établi, se sont mis en place dans une *série schisto-subgrauwackeuse et grésopélitique* rapportée au Précambrien I. Localement une *unité quartzitique*, présentant les caractéristiques des quartzites PII d'autres boutonnières précambriennes de l'Anti-Atlas, a été individualisée (*série des quartzites d'Agadir Ozrou*). Les séries métamorphiques sont structurées en climat épizonal (séricite, chlorite) par un système de plis isoclinaux à axes subhorizontaux et schistosité de plan axial subvertical d'orientation N70E. Autour des leucogranites septentrionaux, elles sont affectées par un métamorphisme de contact à biotite et probablement à cordiérite et/ou staurotide (rétromorphosées par les événements métamorphiques plus récents).

**Les filons basiques:** deux réseaux de dolérites recoupent les granitoïdes et les métasédiments de la boutonnière: un réseau N60-110E et un réseau N20-160E recoupant localement le réseau précédent. Ces dolérites sont fortement marquées par les rétro-morphoses tardi- à post-filoniennes. Deux faciès sont mis en évidence:

- *un faciès à chlorite* représenté par le réseau subméridien et quelques filons N70E. Il présente les caractères chimiques d'un magmatisme alcalin à teneurs élevées en P, Ti, V, Zr et Nb avec des rapports Ti/V de 50 à 100 et Y/Nb < 2;

- *un faciès à amphibole*, constituant les filons N60-110E; il présente les caractéristiques des magmas tholéitiques: enrichissement en Fe, Ti et V au cours de la différenciation, teneurs relativement faibles en éléments incompatibles, rapports  $20 < Ti/V < 50$  et  $Y/Nb > 2$ .

Les filons N60-110E sont mis en place à la faveur d'une distension intracontinentale d'âge encore indéterminé. Les filons subméridiens peuvent être attribués à la distension fini-P-III du domaine de l'Anti-Atlas.

**SCAILLET Bruno**, *Structure et géochimie d'un leucogranite en régime de collision continentale : l'exemple du massif de Gangotri-Badrinath (Himalaya du Garhwal)*. Thèse de l'I.N.P.L., Nancy (soutenue en février 1990)

### Résumé

Le granite de Gangotri-Badrinath, localisé au Garhwal (Indes) appartient à la ceinture des granites du Haut Himalaya. C'est un granite à tourmaline-muscovite fait de plusieurs lentilles d'épaisseur km séparées par des zones de pincement. Sa structure se caractérise par une fluidalité plus ou moins marquée et par une linéation à tourmaline, toutes deux d'origine magmatique. Les mesures d'anisotropie de susceptibilité magnétique (ASM) donnent des linéations magnétiques orientées globalement E-W, portées par la tourmaline et la biotite. L'ellipsoïde magnétique est de type aplati. Les mesures de déformation finie effectuées sur le quartz ne donnent pas de direction privilégiée d'étirement. L'ellipsoïde est également de type aplati. Ces résultats suggèrent un mécanisme de déformation non rotationnel, pouvant être responsable des zones de pincements et vont à l'encontre d'une structuration syn-MCT du granite. Cet événement est peut être relié aux structures collapses du sommet de la Dalle du Tibet. L'étude pétrographique montre l'absence de restites et l'origine magmatique de la tourmaline et de la muscovite. L'étude géochimique (majeurs, traces et REE) montre l'existence de trends, interprétés comme le résultat d'un processus de cristallisation fractionnée. L'hétérogénéité en Rb/Sr implique l'existence de plusieurs unités accolées de magma. Par contre l'homogénéité en  $^{18}\text{O}$  suggère une source homogène avant la fusion. Ces données vont dans le sens d'une remontée par fracture et d'une faible viscosité du magma au moment de son extraction (absence de restites et hétérogénéité Rb/Sr).

### Abstract

The Gangotri-Badrinath granite belongs to the High Himalayan Leucogranitic belt in Garhwal Himalaya (India). It is a typical tourmaline-muscovite bearing leucogranite made up of several lenses separated by pinching zones. Its actual structure is dominated by a more or less pronounced magmatic layering as well as by a tourmaline lineation. AMS measurements (Anisotropy of Magnetic Susceptibility) show a rough E-W orientation for the magnetic lineation, carried by the tourmaline or by the biotite. The magnetic ellipsoid is mainly of prolate shape. Finite strain measurements on quartz give a stretching lineation with no definite orientation as well as a strain ellipsoid of prolate shape. These results suggest a mainly coaxial strain regime which could be responsible for the individualisation of the pinching zones, and contradict a syn-MCT granitic fabric. This flattening mechanism was perhaps coupled with gravitational event of the upper Tibetan Slab. The petrography shows this granite to be devoid of restitic material and support a magmatic origin for tourmaline and muscovite. The geochemistry study (major and trace elements, REE) suggests a crystal fractionation process as the main mechanism for the trends displayed by the granite. Rb/Sr data are extremely heterogeneous whereas  $^{18}\text{O}$  data are homogeneous and are ascribed to an homogeneization process of the source before the melting start. These data suggest an ascent by fracture zone and a low viscosity magma, to avoid restite material and to preserve Rb/Sr heterogeneity. .

## Résumés publiés de Communications

BARBEY P, BREARLEY AJ, BROWN WL, PICHAVANT M (1989). Synthesis, characterization and stability of large fluor-phlogopite crystals. *Fifth Meeting of European Union of Geosciences (EUG V), 20-23 mars, Strasbourg*. Terra Abstracts, 1, 1, 139-140.

Fluor-phlogopite crystals have been synthesized from oxide-fluoride mixes at 1 atm., between 1450 and 1300°C following a method adapted from Hatch and coworkers. Some experiments also produced forsterite in addition to fluor-phlogopite.

The fluor-phlogopite crystals occur as euhedral, optically clear flakes, either isolated or forming mica books. Crystals as long as 1 cm have been grown in about three days. BSEM examination reveals the presence of inclusions in some experimental products. Preliminary investigation suggests that these could represent residual melt pockets. Forsterite is never found included in the fluor-phlogopite crystals but occurs at the surface of the batch.

Electron microprobe analyses show that the synthetic crystals are close to end-member fluor-phlogopite. However, the structural formulae (calculated on the basis of 20 O + 4 F :  $K_{1.96}Mg_{6.04}Al_{1.98}Si_{6.00}O_{20}F_{3.82}$ ) indicate some F deficiency attributed to calibration problems for F. X-ray powder-diffraction patterns yield cell parameters ( $a_0 = 5.2867 + 0.0146$  Å,  $b_0 = 9.1884 + 0.0299$  Å,  $c_0 = 10.1533 + 0.0150$  Å,  $\beta = 99.905 + 0.181^\circ$ ) consistent with a dominantly 1M polytype. This is confirmed by TEM investigations, which also revealed the presence of twins.

Seven melting experiments were carried out at 1 atm. by the quenching technique in a vertical electric furnace and under a controlled heating rate of 50°C/hour. Temperatures were measured by a Pt-Rh thermocouple calibrated against Au and Ni (under controlled atmosphere). Complete melting of fluor-phlogopite was observed at 1403°C. No crystalline breakdown phase is present suggesting congruent behaviour. Melting is only partial at 1393°C and the textures observed below that temperature are attributed to reaction between fluor-phlogopite and the trapped melt inclusions.

BROUAND M, BANZET G, BARBEY P, LE FORT P (1989). Zircon behaviour in crustal anatexis: evidence from the Tibetan Slab migmatites (Nepal). *Fifth Meeting of European Union of Geosciences (EUG V), 20-23 mars, Strasbourg*. Terra Abstracts, 1, 1, p. 173.

BROWN WL (1990). Cristallisation fractionnée des roches éruptives et zonation desfeldspaths. *Journées de Minéralogie et de Cristallographie, Rennes, 4-8 septembre*. Bulletin de la Société Française de Minéralogie et de Cristallographie, p.125

BROWN WL, MOREAU C, DEMAIFFE D (1989). Crystallization and emplacement conditions of an anorogenic anorthositic complex Abontorok, Niger. *Fifth Meeting of European Union of Geosciences (EUG V), 20-23 mars, Strasbourg*. Terra Abstracts 1, 1, p. 170-171.

BROWN WL, OHNENSTETTER D (1990). Textures de croissance et de surcroissance et variations des compositions des minéraux dans différentes boninites. *Journées de Minéralogie et de Cristallographie, Rennes, 4-8 septembre*. Bulletin de la Société Française de Minéralogie et de Cristallographie, p. 125

DALL'AGNOL R, PICHAVANT M, CHAMPENOIS M (1990). Les oxydes de Fe et de Ti et l'évolution magmatique : l'exemple des granites anorogéniques d'Amazonie orientale. *Journées de Minéralogie et de Cristallographie, Rennes, 4-8 septembre*. Bulletin de liaison de la Société Française de Minéralogie et de Cristallographie, 2/3, p.129.

DALL'AGNOL R, PICHAVANT M, CHAMPENOIS M (1990). Minerais opacos e evolução magmatica : o exemplo dos granitos anorogénicos da amazona oriental.(1990). *36e Congresso Brasileiro de Geologia : Sociedade Brasileira de Geologia Nucleo Nordeste*. Boletim de resumos, p. 166.

DEMAIFFE D, MOREAU C, **BROWN WL**, WEIS D (1989). Isotopic (Sr, Nd, Pb) evidence for the origin of the anorthosite-bearing anorogenic suite of Air Province (Niger). *American Geophysical Union Fall Meeting, San Francisco, Dec 4-8*. EOS 70, 43, p. 1390.

DEMAIFFE D, MOREAU C, **BROWN WL**, WEIS D (1989). The anorthosite-bearing anorogenic suite of Air Province (Niger) : geochemical and isotopic (Sr, Nd, Pb) data. *Fifth Meeting of European Union of Geosciences (EUG V), 20-23 mars, Strasbourg*. Terra Abstracts 1,1, p. 339.

DUPUIS D, **BARBEY P**, PONS J, PROST A (1990). Relations plutonisme/méta-morphisme dans les formations birrimiennes (2.1 Ga) de l'Afrique de l'Ouest: l'exemple du Liptako (Niger). *15ème Colloque de Géologie Africaine, Nancy : Centre international pour la formation et les échanges géologiques (CIFEG), n°20*, p. 20.

HOLTZ F, BARBEY P, JOHANNES W , **PICHAVANT M** (1989). Composition and temperature at the minimum point in the Qz-Ab-Or system for H<sub>2</sub>O undersaturated conditions: experimental investigation. *Fifth Meeting of European Union of Geosciences (EUG V), 20-23 mars, Strasbourg*. Terra Abstracts, 1, 1, p. 271-272.

HOLTZ F, **BARBEY P**. (1990). Compositions des liquides silicatés peralumineux : approche géochimique et expérimentale: implications pétrogénétiques. *Journées de Minéralogie et de Cristallographie, Rennes*. Bulletin de Liaison de la Société Française de Minéralogie et de Cristallographie, 2/3, p. 136

HOLTZ F, JOHANNES W, **PICHAVANT M** (1990). Phase relations in the Qz-Ab-Or system-the individual effect of pressure H<sub>2</sub>O, and excess Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Terra Abstracts, 2, p. 16.

IKENNE M , **STUSSI J.M** (1990). Les filons basiques précambriens du Bas Draa (Anti-Atlas occidental, Maroc). *15° Colloque Géologie Africaine, Nancy, Centre international pour la formation et les échanges géologiques (CIFEG)*, p. 265.

**MORTAJI A, STUSSI JM** (1989). Les filons basiques précambriens de Tagragra d'Akka (Anti-Atlas occidental, Maroc). *Colloque Géologie Franco-Marocain, Strasbourg, 1989*, p. 152.

**MORTAJI A, STUSSI JM** (1989). Les granitoïdes précambriens de Tagragra d'Akka (Anti-Atlas occidental, Maroc). *Colloque Géologie Franco-Marocain, Strasbourg, 1989*, p. 153.

OHNENSTETTER D, **BROWN WL** (1989). Overgrowth textures and disequilibrium zoning in a glassy four-pyroxene boninite. *Fifth Meeting of European Union of Geosciences (EUG V), 20-23 mars, Strasbourg*. Terra Abstracts, 1, 1, p. 276.

OHNENSTETTER D, **BROWN WL** (1990). Variations des compositions des verres inter Réunion des Sciences de la Terre et inclus dans les minéraux des boninites. *Journées de Minéralogie et de Cristallographie, Rennes, septembre 1990*. Bulletin de liaison de la Société Française de Minéralogie et de Cristallographie, 2-3, 144-145

**PICHAVANT M** (1989). Are two micas leucogranite magmas always products of continental collision ? *Fifth Meeting of European Union of Geosciences (EUG V), 20-23 mars, Strasbourg*. Terra Abstracts, 1, 1, p. 175.

**PICHAVANT M** (1990). Phase equilibria in granitic systems : implications for H<sub>2</sub>O speciation in aluminosilicate melts. Terra Abstracts, 2, p. 28.

**PICHAVANT M, HOLTZ F, SCAILLET B** (1990). Fluids in leucogranitic melts. *Goldschmidt Conference, Baltimore. Abstracts*, p. 74.

**PAILLAT O, ELPHICK SC, DELOULE E, FRANCE-LANORD C, BROWN WL (1990).** Solubilité de l'eau dans les liquides silicatés de composition  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8\text{-CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$  à 1200°C et à 1, 2 et 5 kb. *Journées de Minéralogie et de Cristallographie, Rennes, septembre 1990.* Bulletin de liaison de la Société Française de Minéralogie et de Cristallographie, 2-3,145

La teneur en eau modifie considérablement les propriétés d'un liquide silicaté. La connaissance de la solubilité et de la spéciation de l'eau fut l'objet de nombreuses études ces dernières années, notamment pour les compositions feldspathiques. Si les données sont nombreuses pour le pôle albite, seule l'étude de Oxtoby et Hamilton (1) nous fournit des données ou des extrapolations (au delà de 50% An) sur la solubilité de l'eau dans le système  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8\text{-CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$  (Ab-An). Nous présentons les premiers résultats de notre étude consistant notamment à compléter ces données pour le domaine riche en An.

Des expériences ont été réalisées à des températures de 1200 à 1400°C et à des pressions de 1, 2 et 5 kb pour des compositions allant de  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$  à  $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$  en utilisant des autoclaves à chauffage interne à Edimbourg. Des verres de départ, fabriqués à partir de gels par fusion puis trempés à la pression atmosphérique, ont été scellés avec de l'eau dans des capsules en platine en vue d'obtenir des verres saturés en eau après les expériences en autoclave.

La détermination des teneurs en eau des verres hydratés obtenus a été réalisée (1) par mesure manométrique de l'hydrogène produite par réduction de l'eau dégagée et (2) par analyse de  $^1\text{H}$  à la microsonde ionique à Nancy.

Les variations de la solubilité de l'eau du pôle Ab au pôle An sont interprétées en prenant en compte la composition et la structure des liquides, en liaison avec les modèles structuraux et thermodynamiques existants.

(1) S. Oxtoby, D. L. Hamilton - Progress in Experimental Petrology, (1978), NERC Publ. D 11, 36-7.

**SCAILLET B, PECHER A, ROCHETTE P, LE FORT P (1989).** The Gangotri plutons (High Himalaya leucogranite, Western India) : an example of a crustal scale "tablette de chocolat" structure. *Fifth Meeting of European Union of Geosciences (EUG V), 20-23 mars, Strasbourg.* Terra Abstracts, 1,1 , p. 174.

The Gangotri plutons are the western end of the Badrinath granite. The detailed mapping have evidenced several lenses intrusives either in a huge two mica porphyritic granite or in the Tibetan Sedimentaries series. In this last formation the lenses have a 3D shape extremely well constrain, with a flat basal contact while the summital one present undulations of large scale. In the most extreme cases, these undulations form pinching zones which separates the different lenses, and are oriented along two directions (E-W and N-S). On the field the mineral lineation, when present, is oriented E-W

AMS measurements on 43 samples of leucogranite have shown a magnetic lineation (K1 for biotite samples, K3 for tourmaline samples) relatively dispersed, with a E-W dominant trend. The magnetic ellipsoid is of prolate shape ( $F > L$ ,  $T < 1$ ) especially for the samples located near the border of the bodies.

The use of the shape of the quartz as a passive marker, show that there is no dominant stretching direction in the late magmatic strain. The finite strain ellipsoid is also of prolate shape. The maximum values of X/Z ratio never exceed 2.

The study of the preferred orientation of the biotite, muscovite and tourmaline shows that the maximum density of each sub-fabrics are coaxial, implying a strain regime dominated by pure shear.

These results together with the structural studies of the host rocks (two trends of boudinage E-W and N-S) allow us to propose the pinching zones as a consequence of a "boudinage" mechanism at crustal scale, occurring during a viscous state, probably during or after the emplacement of the magma.



**STUSSI JM** (1989). Granite magma chemistry and related mineralizations in the European Variscan. *Fifth Meeting of European Union of Geosciences (EUG V), 20-23 mars, Strasbourg.* Terra Abstracts , 1, 1, p.127.

WORDEN RH, WALKER FDL, PARSONS I, **BROWN WL** (1989). Micropores and perthite coarsening. *Fifth Meeting of European Union of Geosciences (EUG V), 20-23 mars, Strasbourg.* Terra Abstracts 1, 1, 290-291

WORDEN RH, WALKER FDL, PARSONS I, ELPHICK SC, **BROWN WL** (1989). Micropores, perthite coarsening and oxygen exchange in alkali feldspars. *American Geophysical Union Fall Meeting, San Francisco, Dec 4-8.* EOS 70, 43, 1406.

# ÉQUIPE

## PHYSICO-CHEMIE DES FLUIDES

C. RAMBOZ	Chargée de Recherche 1	Animatrice
M. ARNOLD	Chargé de Recherche 1	
B. CHAROY	Maître de Conférence, ENSG	
A. CHEILLETZ	Maître de Conférence, ENSG	
G. GIULIANI	Chercheur ORSTOM	
C. MARIGNAC	Maître de Conférence, ENSMIN	
F. SAUPÉ	Chargé de Recherche 1	
A. WEISBROD	Professeur, ENSG	
M. CHAMPENOIS	Ingénieur d'Etudes 2 (<07/89)	
B. JACQUIER	Technicien 1	

### Thésards:

AISSA D.J.  
ALIKOUSS S.  
DUBOIS M.  
MARTINEZ SERRANO R.  
MEZGACHE H.  
RABENANDRASANA S.  
ONGEN S.  
ZOUHAIR M.

### DEA:

MOREAU V.  
YAN Y.

### Stagiaires

DUMONDELLE H. 2ème année ENSG  
EUVERTE C. Nancy I

## Liste et Résumés des Publications

Economic Geology, 1989, 84, 1850-1874.

### Albite-Rich, Silica-Depleted Metasomatic Rocks at Emuford, Northeast Queensland: Mineralogical, Geochemical, and Fluid Inclusion Constraints on Hydrothermal Evolution and Tin Mineralization

B. CHAROY

*Equipe Physicochimie des Fluides, Centre de Recherches Petrographiques et Geochimiques, B.P. 20, 54501 Vandoeuvre-les-Nancy, France*

AND P. J. POLLARD

*Department of Geology, James Cook University, Townsville, Queensland 4811, Australia*

#### Abstract

Late Paleozoic fluorine-rich granites and their host metasediments in the Emuford district of the Herberton tin field contain small zones of intense albitization that host cassiterite mineralization. Sodium metasomatism was accompanied by hydrothermal leaching of granite quartz to form vuggy albite rocks (episyenites). Vugs created by quartz dissolution were filled in by hydrothermal minerals, including albite, K feldspar, and/or muscovite and cassiterite; late phases are dominated by quartz and fluorite. Swarms of parallel veinlets crosscut the albitized zones. These veinlets were formed by repeated fracturing in response to local fluid overpressures. They contain infill mineralogy similar to the vugs and probably formed at least partly contemporaneously with vug infill.

Due to the overprinting at various scales of alteration, vug infill, and vein formation stages, chemical changes associated with episyenite formation are only qualitatively constrained. However, the mineralogical and textural features of the alteration zones suggest that most major and trace elements had substantial mobility during their formation. Major chemical changes associated with episyenite formation include leaching of  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ , Rb, and Ba, with introduction of  $\text{Na}_2\text{O}$  and minor Sr. During vug- and vein-filling stages there was an introduction of  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ , CaO, F, and Sn. The erratic behavior of REE is probably related to the growth of fluorite and minor accessory phases (zircon, monazite, xenotime), with preferential enrichment of heavy REE in rocks with the highest fluorine concentrations.

Fluid inclusion study indicates that vug- and vein-filling stages of the hydrothermal evolution involved two types of fluids. A high-salinity fluid (30–50 equiv wt % NaCl) of probable magmatic origin and homogenization temperatures up to 428°C was associated with vug filling in the granite-hosted deposits. A lower salinity fluid (5–15 equiv wt % NaCl), containing variable amounts of  $\text{CO}_2$  and having homogenization temperatures between 160° and 420°C, was associated with veinlet formation in the granite-hosted deposits and with vein and cavity filling in the metasediment-hosted deposit. This lower salinity fluid may represent a condensed vapor phase derived from boiling of the magmatic fluid or may be a mixture of magmatic and meteoric components.

The close association of albitization and quartz dissolution suggests a genetic link between the two processes. It is proposed that exchange of Na for K in the fluorine-rich hydrothermal fluids caused a substantial increase in quartz solubility and led to quartz dissolution in the albitized rocks.

\*\*\*\*\*  
European Journal of Mineralogy, 1989, 1, 517-534.

### Advances in C-O-H-N-S fluid geochemistry based on micro-Raman spectrometric analysis of fluid inclusions

JEAN DUBESSY\*, BERNARD POTY\* and CLAIRE RAMBOZ\*\*

\*CREGU. GS-CNRS-CREGU. B.P. 23. F-54501 Vandoeuvre Cedex. France

\*\*CRPG. B.P. 20. F-54501 Vandoeuvre Cedex. France

**Abstract:** The first part of this paper focuses on the analysis of fluid inclusions by micro-Raman spectrometry.  $\text{SO}_4^{2-}$  and  $\text{HS}^-$  are the only polyatomic anions identified by this technique.  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$  cations can be identified by the Raman spectrum of the corresponding salt hydrate which nucleates on cooling. Gas analysis is the most fruitful field of application of micro-Raman spectrometry. Errors in the reconstruction of the bulk V-X properties of gas-bearing fluid inclusions, arising either from Raman analysis or from the quantitative interpretation of phase equilibria, are discussed.

Geochemical constraints inferred from these analyses are considered in the second part. The V-X properties of fluids in the C-O-H-N-S system are deduced mainly from room-temperature measurements. They are shown to be representative of the fluid V-X properties in the P-T conditions of trapping, and thus, to yield representative  $\text{fO}_2$  and  $\text{fS}_2$ . The paleo-redox state of fluids associated with U, Sn, W, and Au deposits is shown partly to account for the contrasted behaviour of these metals at the hydrothermal stage. Gas concentration is a key parameter for controlling metal transport and deposition properties of fluids. This is because it controls the static dielectric constant of the fluid, which in turn constrains the ion-pair stability. It is shown that some  $\text{N}_2$ -bearing fluids may be the end product of major redox reactions. Finally, the  $\text{H}_2$ - and  $\text{O}_2$ -bearing fluid inclusions found in three uranium deposits provide evidence for water radiolysis by alpha particles.

## The emplacement, geochemistry and petrogenesis of two central Morocco Hercynian granites. Geotectonic implications

<sup>1,2</sup>G. GIULIANI, <sup>1</sup>A. CHEILLETZ and <sup>1</sup>J. L. ZIMMERMANN

<sup>1</sup>Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques, CRPG-CNRS,  
BP 20, 54501 Vandoeuvre-lès-Nancy, France  
<sup>1</sup>ORSTOM, Universidade de Brasilia, Brazil

**Abstract**—New field, petrographic and geochemical data including REE, Rb-Sr, and K-Ar, are presented concerning the emplacement and petrogenesis of two calc-alkaline Moroccan Hercynian granites: the Zaër pluton and the Djebel Aouam stocks. Zonation in the Zaër pluton does not appear to result from simple fractional crystallization nor from hydrothermal alteration but is rather the diapiric intrusion of two interlocked bodies. REE geochemistry supports the interpretation that the biotite-granodiorite magma ( $301 \pm 8.2$  M.a.) and the Djebel Aouam stocks appear to have been derived by fusion of crustal materials with possible mantle contamination (Initial  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratio = 0.70514). The second two-mica granitic magma ( $283.4 \pm 6.2$  M.a.) corresponds to a peraluminous granite ( $1.22 < A/\text{CNK} < 1.33$ ) generated by fusion of continental crust including mature sedimentary materials (Initial  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratio = 0.70836). These granites are compared to the Acadian granites of north Appalachian and classified in the «post-collision, uplift environment» type. An illustrative four step model presenting the generation and emplacement of these two granites together with the associated W-Sn-Pb-Zn-Ag mineralizations is proposed: (1) first magma generation, (2) first melt emplacement, (3) second melt emplacement, (4) late convective flow.

\*\*\*\*\*

Mineralium Deposita, 1990, 25, 105-111.

## Les gisements d'émeraude de la Cordillère Orientale de la Colombie: Nouvelles données métallogéniques

G. Giuliani <sup>1,2</sup>, C. T. Rodriguez <sup>3</sup> and F. Rueda <sup>3</sup>

<sup>1</sup> ORSTOM, Universidade de Brasilia, Instituto de Geociências, 70140 Brasilia, Brasil

<sup>2</sup> Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques, 15 Rue N.D. des Pauvres, BP 20, 54501 Vandoeuvre, France

<sup>3</sup> Empresa Colombiana de Minas, calle 32, n° 1307, Bogotá, Colombia

**Abstract.** Emerald deposits of Colombia are confined to lower Cretaceous shales of the Eastern Cordillera. The tectonic pattern of the deposits is related to deep reverse and large regional fault systems. Hydrofracturing is the main factor controlling emerald mineralization. It permitted to the hydrothermal solutions to permeate through fractures but also along stratification planes forming in this case stratabound mineralizations. Emerald occurs in calcite veins, veinlets, pockets and brecciated zones associated mainly with pyrite, quartz, parisite, codazzite and fluorite. Emerald mineralization belongs to an epigenetic hydrothermal process. The alternance of arenite-shale formations in the Cretaceous probably played an important role in the accumulation of solutions and in the propagation of the hydrothermal channels. The origin of emerald involves chemical elements mobilized by the fluids in the Cr-V-Fe-Al-Si-bearing black shales. The source of beryllium remains a problem and is discussed in the paper.

solides micacées permet de les discriminer des émeraudes associées aux schistes à biotite (Sinkankas et Read, 1986).

La Colombie est le plus grand producteur mondial d'émeraude, et depuis la création en 1968 de l'ECOMINAS (Empresa Colombiana de Minas), organisme fiscalisateur, la quantité d'émeraude enregistrée et exportée légalement n'a cessé d'augmenter ces dernières années (Tableau 1). Ces gisements d'émeraude ont fait l'objet de nombreuses publications en Colombie (Forero, 1987) où la question sur l'origine des fluides minéralisateurs ainsi que celle du béryllium restent posées, les théories syngénétiques se confrontant aux théories épigénétiques.

Le but du présent travail est d'apporter une nouvelle contribution à la compréhension de ces gisements tant du point de vue géologique que métallogénique, par l'apport de nouvelles observations et données qui nous permettront de débattre sur l'origine possible des fluides minéralisateurs et du béryllium.

## Sphalerite stars in chalcopyrite: Are they always the result of an unmixing process?

Ch. Marignac

Ecole des Mines de Nancy, Parc de Saurupt, 54042 Nancy Cédex, France; and C.R.P.G., Rue N.D. des Pauvres, BP20, 54501 Vandoeuvre-les-Nancy, France

**Abstract.** Sphalerite skeletal crystals in inclusions in chalcopyrite (so-called sphalerite stars) are widely thought to be the result of high-temperature unmixing processes. Detailed observations in the chalcopyrite ores at Aïn Barbar (Algeria) demonstrate that the unmixing theory cannot work in this case. It is here proposed that skeletal crystals are the result of a local supersaturation in sphalerite at the growing fronts of chalcopyrite. This implies a high precipitation rate, estimated to be ca.  $10^{-6}$  m sec<sup>-1</sup>, remaining compatible, however, with a recharge in ore-forming components by the flowing mineralizing solutions. In addition to Aïn Barbar, this explanation is probably of more general significance since the kind of relationships described here is by no means restricted to this particular deposit.

**MARIGNAC C.** (1990) Reply to the discussion by A. Sugaki et al., *Mineralium Deposita*, 25, 84-87.

\*\*\*\*\*  
*Economic Geology*, 1990, 85, 482-510.

### Geology of the Almadén Mercury Deposit, Province of Ciudad Real, Spain<sup>o</sup>

FRANCIS SAUPÉ

*Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques (CRPG), CNRS, BP 20, 54501 Vandoeuvre-lès-Nancy, France*

#### Abstract

Almadén is the largest known mercury deposit in the world. It is formed by three lenticular strata-bound cinnabar impregnations in the two quartzite members of the Criadero quartzite formation of Lower Silurian age, adjacent to a lens of a phreatomagmatic explosion breccia (Frailesca) filling a crater piercing this quartzite. Cinnabar is the dominant ore mineral, with some native mercury, pyrite, and subordinate, late metacinnabar. The underlying, the intercalated, and the overlying shales (positioned with respect to the quartzites) are not hydrothermally altered. Spilitization of the mafic volcanic rocks is a regional process and thus is unrelated to ore deposition, whereas the mafic volcanic rocks overlying the ore deposit are sericitized and strongly carbonatized. The C isotope data do not indicate whether the carbonate CO<sub>2</sub> was derived from the mantle or from hydrolysis of organic matter. The most probable source of mercury is the Ordovician black shales rather than a positive mercury anomaly in the mantle. The source of sulfur could not be determined by means of the S isotopes. These data suggest that mercury may have been transported as a sulfide complex and/or as Hg<sub>(aq)</sub><sup>0</sup>. The deposit and its host rocks were folded vertically and faulted during the Hercynian orogenesis. The regional metamorphism is of very low grade (210°–270°C, 1 kbar).

The following sequence of events accounts best for the various field observations and laboratory work: (1) lying abruptly on top of clays, sands were deposited near a submarine delta on a shallow epicontinental platform (shelf) periodically subjected to incipient rifting; (2) these sands (the lower quartzite member) were impregnated by cinnabar and (3) underwent diagenesis, possibly accelerated by hydrothermal fluids; (4) the detrital (sand and clays) sedimentation resumed, subsequently leading to barren quartzite, shales, and the quartzite of the upper quartzite member; (5) the upper quartzite member was laterally impregnated by cinnabar and two conformable ore lenses formed—the impregnation followed zones of greater permeability parallel to paleocurrent directions and was possibly controlled by hydraulic fracturing; (6) a phreatomagmatic breccia, the Frailesca, formed in shallow volcanic explosion centers situated in the footwall shales without visible roots and intersected the two quartzite members; and (7) this sequence ended by volcano-sedimentary alternations including mafic intrusions and flows. During events (2) and/or (5) muddy cinnabar was deposited at a sediment-water interface and impregnated porous quartzites.

Other mines and occurrences in the Almadén district have similar features, although much smaller tonnages. Altogether, five morphologic types of mercury mineralization exist in the district. Outside of the district no other mine is similar to Almadén.

## Origin of emerald deposits of Brazil

G. Giuliani<sup>1,2</sup>, L. J. H. D. Silva<sup>3</sup> and P. Couto<sup>4</sup>

<sup>1</sup> ORSTOM, Universidade de Brasília, Brazil

<sup>2</sup> C.R.P.G., 15 Rue N.D. des Pauvres, BP 20, 54501 Vandoeuvre-les Nancy France

<sup>3</sup> Mineração Caraiba Metais Ltda, Bahia, Brazil

<sup>4</sup> Secretaria das Minas e Energia, C.P.R.M./SGM, Bahia, Brazil

**Abstract.** Precambrian emerald deposits of Brazil are found in a typical geologic setting with Archean basement and supracrustal, ultramafic, granitoid and rocks. Volcano-sedimentary series occur as imbricated structures or as bodies affected by complex folding and deformation. Emerald mineralization belongs to the classic biotite-schist deposit, which formed by the reaction of pegmatitic veins within ultrabasic rocks. At the same time, pegmatite-free emerald deposits linked to ductile shear zones are also known. Emerald formation is attributed to infiltrational metasomatic processes provoking a K-metasomatism of the ultrabasic rocks and also a desilication of the pegmatites. A new classification based on the geological setting, structural features, and ore paragenesis is proposed.

Itaberai prospects (Fig. 1), where pegmatite veins are absent. The pegmatites are directly linked to intrusive granitic bodies with limited local extension, or are related to important and extended pegmatite provinces as in Minas Gerais and Ceará (Giuliani and Couto 1988a).

The aim of this paper is to present an overview of the geological setting, structural features, and ore paragenesis.

\*\*\*\*\*  
Earth and Planetary Science Letters, 1990, 97, 190-210.

## Superheating in the Red Sea? The heat-mass balance of the Atlantis II Deep revisited

C. Ramboz and M. Danis \*

*Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques, B.P. 20, 54501 Vandoeuvre-lès-Nancy (France)*

Received August 3, 1989; revised version accepted November 9, 1989

Atlantis II is the only hydrothermally active of the five Central Red Sea deeps, hot new brine being supplied by a geyser spring. It is filled with two stratified anoxic brine layers, namely, the Lower Conductive Layer (LCL) at the bottom and the Upper Conductive Layer (UCL) above it. The other deeps were filled by brine overspill. Hydrological and geochemical data on the Atlantis II Deep show that, between 1965 and 1977, only negligible amounts of lower brine have spilled over towards Chain A Deep and that, in contrast, the lower brine component of the UCL has increased significantly. The heat-mass balance of the Atlantis II Deep lower brine between 1966 to 1977 is considered. Mass balance calculations are based on the published bathymetry of the Deep and on the measured rising rate of the interface between the UCL and the LCL, including a possible loss of mass out of the system. Heat balance equations involve (1) the conductive flow of heat at the bottom of the Deep, (2) the heat lost by conduction through the lower interface, (3) the flow of heat due to hot brine advection and (4) the heat lost by lower brine advection out of the LCL.

The equation of Pitzer et al. (1984) [57], extrapolated above 300 °C, is first used to calculate the  $c_p$ 's of the hydrothermal brine: it predicts moderately increasing  $c_p$ 's with temperature. Heat-mass balance equations, solved with this  $c_p$  model, yield a spring temperature of 461 °C for the time interval 1966-1977. This temperature is unrealistic as it is  $\approx 70$  °C higher than 390 °C, the boiling temperature of the lower brine at 220 bar. Besides, it is shown that none of the parameters in the calculation, other than  $c_p$ , can attain values as to decrease  $T_s$  below 390 °C.

The modified equation of Born predicts a near exponential increase of the hydrothermal brine  $c_p$ 's above 300 °C. Spring temperatures of 342 °C or 353 °C are calculated with this  $c_p$  model, depending whether the mass lost towards the UCL is taken into account or not. These temperatures compare favorably with the mean temperature of 330 °C obtained for the trapping of fluid inclusions in epigenetic anhydrites from the discharge zone sediments [21].

Hence it is concluded that (1) the changes in the mass and temperature of the Atlantis II Deep lower brine between 1965 and 1977 cannot be interpreted in terms of a realistic spring temperature, unless the hydrothermal fluid has presented very high heat transport properties above 300 °C; (2) this can be either in the stable region below the boiling point, as predicted by the equation of Born, or in the metastable region above 390 °C: superheated liquids indeed present heat capacities which increase exponentially with temperature.

Two periods in the recent hydrothermal activity of the Atlantis II Deep are distinguished: (1) From 1965 to 1976, the Deep has received an excess heat supply, e.g., compatible with the influx of superheated liquids. The spring flow rate, including the mass of lower brine expelled towards the UCL [29], was around 367 kg s<sup>-1</sup>. (2) The hydrothermal activity then decreased from 1976 to 1979. The influx of fluids with abnormal heat transport properties was greatly reduced and the mean spring flow rate probably dropped to  $\approx 280$  kg s<sup>-1</sup>.

Lanthanides, Tantalum and Niobium : Mineralogy, Geochemistry, Characteristics of Primary Ore Deposits, Prospecting, Processing and Applications. Society for Geology Applied to Mineral Deposits, Spec. Publ., 1989, 7, 482-510.

## Special Publication of the Society for Geology Applied to Mineral Deposits

Vol. 7

### Lanthanides, Tantalum and Niobium

Mineralogy, Geochemistry, Characteristics of Primary Ore Deposits, Prospecting, Processing and Applications

Eds.: P. Möller, Hahn-Meitner-Institut, Berlin, Germany; P. Cerny, University of Manitoba, Winnipeg, Manitoba, Canada; F. Saupé, CNRS, Vandoeuvre-les-Nancy, France

1989. Approx. 137 figs. Approx. 385 pp. Hard cover DM 98,-.  
ISBN 3-540-50089-8

**Contents:** Mineralogy – Geochemistry – Characterization of Ore Deposits – Prospecting – Processing of Ores – Applications.

Rare Earth Elements (REE) as well as tantalum and niobium are of tremendous importance because of their specific high-technology applications. The contributions gathered in this volume give an up-to-date survey on the mineralogy, primary ore deposits, prospecting, processing and applications of REE, Ta, and Nb, making this volume a useful handbook for practitioners and students.

Finally, the comprehensive coverage of the fundamental aspects, especially as regards REE as tracers of geological phenomena, will prove extremely helpful.

Seltene Erden finden vor allem in der „High-Tec“ große Anwendung. Dieses Handbuch behandelt umfassend alle Aspekte von der Mineralogie über die Lagerstätten bis zu praktischen Anwendungen.

**Publication date: March 1989**

**Springer-Verlag**

ES 2 89

\*\*\*\*\*  
**SAUPÉ F, TOLLON F (1990). Gold '89 in Europe. Mineralium Deposita, 25, suppl., 140 p.**  
\*\*\*\*\*

SANTOS MM, DARDENNE MA, GIULIANI G, GUILHAUMOU N, TOURAY JC, BENY C (1990). Características do veio de quartzo aurífero do depósito Pontal, Tocantins. XXXVI Congresso Brasileiro de Geologia, Natal, 1144-1157.

#### ABSTRACT

The Pontal deposit is located in the Tocantins state, in Brejinho de Nazaré district. The mineralization consists of auriferous quartz vein with 10.000 tons and average grade of about 17.5 ppm Au. The host rocks are biotitic gneisses (Tonalitic orthogneisses) deformed by ductile shear and metamorphosed in the amphibolite facies. Auriferous quartz vein is generally concordant with the mylonitic foliation of surrounding gneisses, presenting tabular aspect and boudinaged structures. Its mineral assemblage consists of oligoclase, actinolite, biotite and less than 2% sulfides (pyrrhotite, pyrite, sphalerite, chalcopyrite and galena). Native gold occurs as disseminated particles in the quartz crystal interstices or sometimes filling fractures.

Primary inclusions are geometrically related to gold particles and contain a  $H_2O-CH_4$  fluid, often associated to solids (graphite, siderite, dolomite, calcite, biotite, actinolite, plagioclase and rutile). Trapping temperature ranges from 300 to 420°C. Other later inclusions are secondary and contain low salinity aqueous solutions with variable  $CO_2$ ,  $CH_4$  and  $N_2$  amounts.

The presence of graphite and carbonates lead to the supposition that gold deposition has occurred in a reducing system at elevated temperature compatible with boundary conditions between greenschist and amphibolite facies, related to decreases of oxygen fugacity and pH.

## Thèses

**MEZGHACHE Hamid.** - *Cartographie automatique et interprétation géostatistique d'une campagne de prospection géochimique sur sol. Application à la zone mercurielle nord numidique (Algérie nord-est)*. Thèse de l'I.N.P.L., Nancy, 230p., (soutenue le 8 septembre 1989)

**RESUME** - L'optimisation d'une campagne de prospection géochimique nécessite la connaissance du contrôle géologique des minéralisations et l'utilisation des méthodes de traitement de données appropriées. Six méthodes de traitement mono- et multivariées ont été appliquées aux données de prospection géochimique sur sol de deux secteurs (Chergui-Bir et Ferfour) de la zone mercurielle Nord-numidique (Algérie Nord-Est). Dans le premier secteur, la minéralisation est typiquement mercurielle et dans le secteur de Ferfour il y a deux types de minéralisations : l'une polymétallique et l'autre mercuro-polymétallique. Le contrôle de la minéralisation par des failles de direction bien précise a été déterminé. Les méthodes de traitement de données utilisées sont : 1) l'analyse en composantes principales utilisée avec une nouvelle approche, 2) la classification monovariée selon la méthode Sinclair, mais à l'aide de nouveaux algorithmes permettant des solutions automatiques, 3) l'ACP sur les fonctions indicatrices, 4) la classification multivariée par la méthode du potentiel et qui a confirmé la présence des deux types de minéralisations, 5) la recherche des sources de dispersion par la méthode de la fonction Cosinus et 6) le krigeage universel en utilisant uniquement les valeurs prises comme teneurs de fond géochimique selon la méthode de Lepeltier. Des cartes d'isoprobabilités ont été établies. Ces méthodes ont permis de mettre en évidence d'autres anomalies mercurielles en plus de celles déjà connues.



**RABENANDRASANA Samuel.** - *Minéralisations filoniennes à cuivre-bismuth-gangue de sidérite-anhydrite silicifiée et "karstiques" à plomb-zinc-gangue de fluorine-barytine, en bordure du fossé rhénan (région de Colmar-Ribeauvillé).* Thèse de l'I.N.P.L., Nancy, (soutenue en février 1989).

Les études menées sur les inclusions fluides du quartz, de la barytine et de la fluorine ont permis d'établir:

1°) la coexistence d'inclusions en grande partie monophasées liquides et d'inclusions biphasées (liquide/vapeur) dans le quartz et dans la barytine: TH= 120°C en moyenne dans le quartz et 150°C à 300°C dans la barytine;

2°) l'existence d'inclusions toutes biphasées avec un coefficient de remplissage relativement homogène dans la fluorine: TH= 160°C en moyenne;

3°) la forte teneur en ions divalents ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) dans les inclusions: la température de la fusion de l'eutectique  $T_E$  varie de - 58 à - 50°C dans le quartz et est inférieure à - 35 ou - 22°C dans la fluorine et dans la barytine;

4°) une forte salinité des fluides dans le quartz (TFg= - 24 à - 20°C), une salinité faible dans la fluorine et la barytine (TFg= - 5°C en moyenne);

5°) des possibilités de fuite dans les inclusions du quartz et de la barytine.

Sans nier l'hypothèse d'un réchauffement post-dépositionnel de ces minéralisations en marges d'un rift actif, la prédominance des inclusions monophasées liquides, stables, signifient pour nous que les solutions qui ont permis dépôts et pseudomorphoses montraient une température de dépôt proche de l'ambiante.

Cette première conclusion corrobore avec les résultats obtenus par d'autres méthodes d'approche:

- l'étude des Terres Rares dans la fluorine et dans la barytine montre l'influence de milieux fortement oxydants, liés à une altération exogène poussée des différentes formations de la région;

- de même, la comparaison de la composition isotopique du soufre des sulfates et du soufre des sulfures montre leur origine commune, par réduction bactérienne des premiers. Ceux-ci sont d'origine évaporitique, oligocènes à permo-triasiques.

La nature et la texture d'une partie de la gangue (anhydrite, sidérite, quartz fibreux) et la signature quasi permanente des phénomènes superficiels (quartzification, silicification fibreuse, hématitisation, goethitisation), témoignent d'un contexte paléogéographique particulier. Il s'agit du domaine de passage entre les hauteurs continentales et le graben occupé par un bassin salin évaporitique, là où s'affrontent et fluctuent les différentes nappes d'eaux continentales et de saumures sous l'effet des alternances climatiques.

Au niveau d'un tel site, les failles bordières du rift jouent le rôle:

1°) de guide des phénomènes de karstification lorsque l'encaissant s'y prête;

2°) de drains des eaux douces chargées d'éléments (Si, Cu-Pb-Bi-Zn, Ba, F,...) issus du domaine continental;

3°) de barrière géochimique sursalée, sulfurée, sulfatée et calcique, là se rencontrent les eaux douces et les saumures lagunaires;

4°) de réceptacles des produits de précipitation issus de cet affrontement: silice, sulfures de métaux lourds, barytine et fluorine...

Ce modèle de genèse des minéralisations tient donc aussi bien compte de l'ensemble des données de laboratoire que de celles de terrain.

Mots clés: Rift rhénan, karstiques, pseudomorphose, quartz fibreux, séquence diagénétique, séquence détritique, monophasées, stables, réduction bactérienne, évaporitique,

Les marges du Rift rhénan sont jalonnées par des minéralisations encaissées dans des formations de nature et d'âge variés (granite, granito-gneiss, et schisto-grauwackes viséens, grés et sédiments marno-argileux oligocènes). Ces indices se situent dans des fractures d'âge varié, fini-hercynien à tertiaire. Les concentrations étudiées forment deux groupes:

1°) le premier est composé de minéralisations filoniennes typiques. On les rencontre dans la région de Colmar, où elles se localisent dans le faisceau de failles de Soultzbach-les-Bains (filons d'Aspach et de Zimmerbach).

2°) le second est formé de dépôts où les formes karstiques prédominent. Ils se situent dans la Faille vosgienne ("filon" d'Orschwiller/Saint Hippolyte) et dans une faille transverse N 130°E du champ de fractures de Ribeauvillé (indice de Bergheim).

Dans les filons d'Aspach et de Zimmerbach, une grande partie de la gangue initiale d'anhydrite et de sidérite a été précocement pseudomorphosée par du quartz. Ce dernier présente une ultramicrostructure fibreuse caractéristique des silicifications en environnement évaporitique. De la tennantite très riche en bismuth (anivite), de la chalcopyrite, de la goéthite et de l'hématite s'associent étroitement aux figures de pseudomorphose.

A Bergheim, la silicification en quartz fibreux affecte l'encaissant calcaire et le ciment carbonaté. Ce dernier contient des micronodules d'anhydrite; on y trouve encore de la galène en petite quantité, de la fluorine et de la barytine. A Orschwiller/Saint Hippolyte, les éléments marno-argilo-gréseux du remplissage bréchiqne sont cimentés par de la galène, accompagnée d'un peu de sphalérite, de fluorine et de barytine en gros cristaux. Cette même association se trouve aussi bien en remplissage des veinules subverticales, que dans des poches karstiques remplies de sédiments détritiques terrigènes finement varvés. Ceux-ci sont organisés en séquences, où la barytine et la fluorine participent en tant que termes syndiagénétiques et détritiques. Dans ces séquences, la silicification consiste en une quartzification sous forme d'aurole de nourrissage ou en comblement des bâillements des feuillets des micas.

## **Résumés publiés de Communications**

**AISSA D.E, CHEILLETZ A, MARIGNAC C (1990).** Principaux caractères métamorphiques des gneiss et des skarns associés dans la partie centrale du massif de l'Edough (NE Constantinois). *7ème Séminaire des Sciences de la Terre, Constantine*, p. 51.

**ARNOLD M (1989).** Evidences for a superlattice in optical quartz crystals: an interferential approach to this problem. *Fifth Meeting of European Union of Geosciences (EUG V), 20-23 mars, Strasbourg*. Terra Abstracts, 1, 1, p. 289.

**ARNOLD M (1989).** Stable versus metastable fluid inclusions? An answer by photoelasticity. *European Current Research on Fluid Inclusions (ECROFI X), 6-8 avril, London*. Abstracts, p. 5.

**ARNOLD M (1989).** Fibrous structure in natural and synthetic quartz crystals revealed by an interferential method. *European Current Research on Fluid Inclusions (ECROFI X), 6-8 avril, London*. Abstracts, p. 4.

Optically anisotropic crystals under the conoscopic yield interference figures whose geometrical parameters have given historically a first picture of matter organization in crystals. The crystalline structures are well known today. Nevertheless, the conoscopic studies give some indirect information on the ultramicrostructure of crystals if the change in isochromatic patterns related to wave length variations (the so called dispersion phenomena) can be interpreted. The ultramicrostructure of natural and synthetic quartz crystals is depicted in this manner. Thin (0.5mm) optical plates of quartz (// or  $\perp$  to the basal plane) are observed in the 450-1200 n.m. under a classical conoscopic apparatus. In blue light quartz crystals exhibit uniaxial isochromatic curves. In contrast, biaxial figures are observed in the same crystals in the red and infrared wave lengths investigated. This phenomenon is analogous to the strong dispersion of the rotatory power of quartz. The appearance of a markedly biaxial behaviour in the low part of the investigated spectrum can be explained if some predominantly ionic charge carriers are present in a pseudohexagonal superlattice in the quartz crystal. Thus, the quartz crystal acts as uniaxial medium when the high frequency light permits only electronic vibrations and as a biaxial medium when the lower frequency light causes vibration of ionic charge carriers in the superlattice. Quartz superlattice is proven by additional observation of its mean S.E.M.. Natural and synthetic quartz crystals are close packed assemblages of quartz fibers. These are parallel to the C axis. Fiber sections are elliptical. The mean diameter is close to 100 n.m.. Length of fibers is related to the crystal quality. So, fibers as long as 300  $\mu$ m are found in the nearly perfect "diamond quartz". The low symmetry (2) of the superlattice is in good accordance both with biaxial figures and with diffraction patterns developed in basal sections of quartz by acoustical shortwaves by Schaefer and Bergman.

**ARNOLD M, ALIBERT C, JACQUIER B (1990).**  $d^{34}\text{S}$  in Hamersley BIF W. Australia; the role of bacterial activity and thiosulfates as an alternative to the hydrothermal model. *7th International Conference on Geochronology, Cosmochronology and Isotope Geology (ICOG 7), Canberra : Geological Society of Australia*. Abstracts, n° 27, p. 4.

**BENNANI M., BOUTALEB M, MARIGNAC C. and WEISBROD A. (1989)** Evolution of metamorphic and redox conditions in Sn-W quartz-vein type deposits. *Fifth Meeting of European Union of Geosciences (EUG V°), 20-23 mars, Strasbourg*. Terra Abstracts, 1, 1, p120-121.

**ARNOLD M, MOREAU V, MORIN G (1990).** Synthèse de calcédoine à température ambiante. *13ème Réunion des Sciences de la Terre, Grenoble : Société Géologique de France*, p. 4.

**BOUTALEB M, BENNANI M, MARIGNAC C, WEISBROD A (1989).** P-T evolution of hydrothermal circulation around the Walmes batholith (Central Morocco) : contribution of fluid inclusion data. In : *Résumés du "X Symposium on fluid inclusions" (London, 1989)*.

CATHELINEAU M, DUBESSY J, MARIGNAC C, VALAURI A, GIANELLI G, PUXEDDU M (1989). P-T-X changes from magmatic to present day stages in the Larderello geothermal field (Italy). *Proc. 6th Symp. Water-Rock Interactions, Malvern, Aug. 1989, Miles (Ed.), Balkema, Rotterdam*, p. 137-140.

CATHELINEAU M, MARIGNAC C, DUBESSY J, POTY B, WEISBROD A, RAMBOZ C, LEROY J (1989). Fluids in granitic environments. *Rendi Conti della Soc. Ital. Min. e Petrol.*, 23, 263-272.

CHAROY B, BERTRAND JM, MOULAHOU M, BOUABSA L, CHEILLETZ A., BOULLIER AM (1989). Autopsy of an orogeny through magmatic evolution: the Pan-African Belt in the Tamanrasset area, Central Hoggar, Algeria. *28th Geol. Congress. Abstracts*, 1, p. 264-265.

CHAROY B, MONTEL JM, PICHAVANT M (1990). La part du magmatisme et du "restitisme" sur l'exemple du batholite peralumineux de Darongshan (Chine S). *Journées de Minéralogie et Cristallographie, Rennes, 4-8 septembre*. Bulletin de la Société Française de Minéralogie et de Cristallographie, p.127.

CHAROY B, NORONHA F, PAIVA-BASTOS C, RIBEIRO ML (1990). A cupola granítica da Argemela. Exemplo de un granito sub-volcânico rico em metais raros. *XIème Reuniao de Geologia do Oeste Peninsular, Lisbonne, Portugal*.

CHEILLETZ A (1990). Stratigraphie  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  et géochimie pixepige des coulées ignimbriques de Macusani. *Journées de Minéralogie et de Cristallographie, Rennes, 4-8 septembre*. Bulletin de Liaison de la Société Française de Minéralogie et de Cristallographie, 2/3, 127-128.

Les tufs rhyolitiques du bassin de Macusani (SE Pérou) peuvent être considérés comme de remarquables exemples de magmas trempés, peralumineux, enrichis en métaux (Li, U, Sn, W) et volatiles (F, B, Cl), analogues aux magmas initiaux des leucogranites à deux micas (1). La présente étude vise d'une part à améliorer la connaissance de la dynamique de mise en place des émissions ignimbriques au moyen de l'étude lithostratigraphique des séquences volcaniques par géochronologie  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ , d'autre part à vérifier l'homogénéité géochimique apparente de l'ensemble éruptif (1) au moyen de mesures sur fragments de verres ou de ponces effectuées à la microsonde protonique (2) PIXE (Proton induced X-ray Emission) et PIGE (Proton Induced Gamma ray Emission).

Les coulées pyroclastiques de Macusani remplissent un bassin asymétrique de 250 Km<sup>2</sup> de surface minimale appartenant à l'ensemble "Cordillère de Carabaya" de la Cordillère Orientale du Pérou (3). Les datations  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  des séquences pyroclastiques ont été réalisées sur minéraux séparés (sanidine, biotite et muscovite) ou sur roches totales pour les obsidiennes. Les coulées sont subdivisées en 6 cycles datés à (1) 10.0 +/- 0.5, (2) 7.8-8.0 +/- 0.1, (3) 7.5 +/- 0.1, (4) 7.3 +/- 0.1, (5) 6.8-7.0 +/- 0.1, (6) 6.7 +/- 0.1. Les 6 cycles éruptifs peuvent être regroupés en deux brefs épisodes volcaniques majeurs, l'un à 10 +/- 1 Ma, le suivant, le plus important en volume, à 7 +/- 1 Ma. Un dôme rhyolitique qui appartiendrait au système d'événements des coulées pyroclastiques est daté à 7.5 +/- 0.1 Ma.

Les résultats des mesures effectuées à la microsonde protonique confirment les données obtenues sur roches totales (1). Les résultats nouveaux concernent l'évaluation des concentrations en éléments légers qui montrent l'absence de fractionnement pour Bore et Fluor entre les tufs et les obsidiennes. Le Chlore apparaît enrichi dans les tufs par rapports aux verres.

Les deux épisodes principaux d'éruptions ignimbriques peuvent être corrélés avec deux phases tectoniques compressives caractérisant les Andes Centrales (4), la phase Miocène moyen (10 Ma) et la phase Miocène supérieur (7 Ma). Les conséquences de cette stricte relation entre magmatisme peralumineux et phases tectoniques compressives sont examinées dans le cadre de la structure générale de la croûte à l'axe de la Cordillère Orientale des Andes centrales.

#### Références:

- (1) Pichavant M. et al., *Contr. Mineral. Petrol.*, (1988), 100, p. 325-338
- (2) Anderson A.J. et al., *Econ. Geol.*, (1989), Vol. 84, N°4, 924-939.
- (3) Clark, A.H., et al., In: *Proc. 6th. Quad. IAGOD Symposium*, (1984), E Schweizerbart'sche Verlags., p. 269-279.
- (4) Sébrier M. et al., *Géodynamique*, (1988), 3 (1-2), 85-106.

CHEILLETZ A (1989). A review and classification of stratiform tungsten deposits. *28th Int. Geol. Congr., Washington, USA Abstracts*, 1, p. 270.

**CHEILLETZ A, CLARK AH, FARRAR E, ARROYO G, PAUCA, PICHAVANT M (1990).** Stratigraphy and  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  Geochronology of the Maçusani ignimbrite field : chronometer of the miocene geodynamic evolution of the Andes of se Peru. *International Symposium on Andean Geodynamics, Grenoble, France (15-17 May 1990)*. Abstracts, p. 341-344.

**CUNEY M, MARIGNAC C, AUTRAN A (1989).** The Beauvoir topaz-lepidolite albitic granite (Massif Central, France) a highly specialized granite with disseminated Sn-Ta-Nb-Li-Be mineralization. *First IGCP Meeting 282, Rare Metal Granitoids, Nanjing, 9-13/11/1989*.

**DORIA A, CHAROY B, NORONHA F (1989).** Fluid inclusion studies in spodumene aplite-pegmatite dykes of Covas de Barroso, Northern Portugal. *European Current Research on Fluid Inclusions (ECROFI X), 6-8 avril, London*. Abstracts, p. 25.

In the Covas de Barroso area, numerous dykes of aplite-pegmatite crosscut the metasedimentary micaschists of Silurian age. They are spatially and presumably genetically related to synorogenic Hercynian two-mica granites. Metamorphic conditions were: P 3 to 4 kbar and T = 600°C. The strike of the dykes corresponds to the main regional structural trends. Many of these dykes support a discrete cassiterite mineralization.

Petrographic and geochemical studies have shown that some of these aplite-pegmatite bodies support a Li-rich mineral expression as spodumene and amblygonite, essentially present in the pegmatitic fraction, more rarely in the aplite. Time relationships are different: early in aplite, more vuggy in pegmatite. However, both are primary and associated with a Li-poor muscovite.

Fluid inclusion studies were carried out on quartz and spodumene in pegmatite. Primary and pseudosecondary inclusions in spodumene are abundant. They are essentially H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> bearing or crystal-rich inclusions, both intimately mixed. T<sub>mCO<sub>2</sub></sub> lies between -58.2 and -57.8°C. T<sub>hCO<sub>2</sub></sub> always homogenizes into the vapour phase, ranges between 16.2 and 20.3°C and suggests a low density. The average bulk homogenization in the liquid phase is about 290°C.

Fluid inclusions in the apparently contemporaneous quartz show different characteristics: the fluids are essentially H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> (type L) or CO<sub>2</sub> (type V) bearing. Type L inclusions exhibit T<sub>mCO<sub>2</sub></sub> between -61.2 and -57.6°C, T<sub>mIce</sub> from -9 to -7°C, T<sub>mClath</sub> 5 to 8°C, and T<sub>hCO<sub>2</sub></sub> from 14.2 to 18.3°C into the vapour or liquid state, or by meniscus fading. In type V inclusions, T<sub>mCO<sub>2</sub></sub> varies between -59.7 to -59.3°C, T<sub>hCO<sub>2</sub></sub> around 16.4°C in liquid, sometimes by meniscus fading.

Preliminary Raman investigation on type L inclusions reveals the following bulk composition: X<sub>H<sub>2</sub>O</sub>=80 mole%, X<sub>NaCl</sub>=1 mole%, X<sub>CO<sub>2</sub></sub>=16 mole%, X<sub>CH<sub>4</sub></sub>=2 mole%, X<sub>N<sub>2</sub></sub>=1 mole%. The bulk density of the fluid is 0.68 g/cm<sup>3</sup>.

Similar fluids with such discrepancies between the primary fluids trapped in apparently contemporaneous minerals have already been evidenced in spodumene-rich cores of Li-pegmatites. Immiscibility phenomena during a continuous decrease in temperature are invoked, but mixing of fluids from different origins is also possible.

**GIULIANI G (1990)** Classification of emerald deposits of Brazil. 8th *International Association on the Genesis of Ore Deposits Symposium (IAGOD), Ottawa*. Abstracts, A120.

**GIULIANI G, ARAUJO OF (1990).** Padrão de terras raras dos granitoides de Arturlândia e Quebra Rabicho (região de Pirenópolis-Goianésia, Goiás). Relações com a Provincia estanífera de Goiás. *36e Congresso Brasileiro de Geologia, Natal*, p.115.

**GIULIANI G, CHEILLETZ A, RODRIGUEZ CT (1990).** Gênese das Jazidas de Esmeralda da Colombia e do Brasil. *36e Congresso Brasileiro de Geologia, Natal*. Abstracts, p. 130.



**GIULIANI G, CHEILLETZ A, RODRIGUEZ CT (1990).** New metalogenetic data on the emerald deposits of Colombia. *8th International Association on the Genesis of Ore Deposits Symposium (IAGOD), Ottawa. Abstracts, A185-186.*

**GIULIANI G, CHEILLETZ A, RODRIGUEZ CT (1990).** Emerald deposits from Colombia : chemical composition of fluid inclusions and origin. *8th International Association on the Genesis of Ore Deposits Symposium (IAGOD), Ottawa. Abstracts, A48.*

Emerald deposits from the eastern Colombian Cordillera are classified into two emerald belts. The eastern belt which consists of the districts of Gachalá (mines of Vega San Juan, Las Cruces, El Diamante, El Toro) and Chivor. The western belt is typified by the districts of Cosquez, Muzo (mines of Quipama, Tequendama and Solis-Pavas) and La Palma-Yacopi. In all districts, emerald occurs in calcite-dolomite veins, pockets and brecciated zones. They are associated with pyrite, quartz, REE-carbonates, fluorite and barytine.

Fluid inclusions in the emeralds are either three-phases (1) or multiphase solid inclusions (2). Class (1) are the characteristic Colombian emerald fluid inclusions with a cubic crystal of halite (H), a saline solution (L) and a gas phase (G). In class (2) several types can be defined: (2a): H, L, CO<sub>2</sub> liquid; (2b) H, GCO<sub>2</sub>, LCO<sub>2</sub>, Sn daughter minerals; (2c): H, L, Sn. Daughter minerals (Sn) of fluid inclusions from emerald of all cited mines were investigated by Scanning Electron Microscopy (SEM). Different complex composite salt mixtures and minerals were identified. The salts include: KCl (sylvite); Cl, (Ca, Fe) salts; Cl (Fe, K, Ca); Cl (Fe, Mn, Ca, K); Cl (K, Fe, Mn); Cl (K, Fe); Cl (Ca, K, Fe, Cr); Cl (K, Ca). The minerals are carbonates: Zn, Ca, Fe, or Ca, Fe, Mg (dolomite); Ca, La, Ce, (parisite); Fe (siderite); sulfides: Fe, S (pyrite); Zn, S (sphalerite); silicates: Si, Ca, Ti, Fe, (titanite); Si, Al (emerald); Si, K, Al (K-mica); Si (quartz); iron oxydes

(Fe) and apatite (Ca, P).

The common association in type (2b) inclusions are the presence of H, KCl and a Cl (Ca, Fe) daughter mineral phase. The presence of CaCl<sub>2</sub>-NaCl brines was shown by SEM analysis and confirmed by microthermometric data. The fluid inclusion studies discussed are confined to the Vega San Juan emerald deposit. Here, they are characterized by fluids of type (1) and (2c) where CO<sub>2</sub> is totally insignificant. As eutectic temperatures ranged from -56.1 to -52°C and final melting of ice from -35.3 to -31.6°C, significant amount of cations like Ca<sup>2+</sup> in inclusions were present. These results are confirmed by SEM data which show the frequent presence of Cl, Ca, Fe salt daughter minerals in the inclusions. On heating, decrepitation and stretching are characteristic for these emeralds. The halite dissolved at temperatures ranging from 284° to 306.8°C but most remain undissolved at the temperature of decrepitation. The homogenization temperatures range between 215° to 330°C. Pressure corrections (lithostatic pressure = 1.3-1.5 Kb) assumes fluid entrapment at 500°C. The origin of emerald involves chemical elements mobilized by this fluid in the Cr-V-Fe-Al-Si-bearing black shales. The source of beryllium and the origin of such a hypersaline fluid are discussed.

**GIULIANI G, FERNANDÉS PCA (1990).** Fluid inclusions associated with the Proterozoic molybdenite-bearing hyperéunion des Sciences de la Terre hene Pedra d'Água granite (Bahia State, Brazil). *8th International Association on the Genesis of Ore Deposits Symposium (IAGOD), Ottawa. Abstracts, A48.*

**LAGHBIDI A, SAUPÉ F (1989).** Geochemistry of the magnesite from occurrences in the internal Rif (Northern Morocco). *Fifth Meeting of European Union of Geosciences (EUG V), 20-23 mars, Strasbourg. Terra Abstracts, 1, 1, p. 401.*

**MARIGNAC C, AISSA DE, BOUZENOUNE A (1989).** Transition from "mesothermal" to "epithermal" conditions : the example of the Edough Massif (N Algeria). *Fifth Meeting of European Union of Geosciences (EUG V), 20-23 mars, Strasbourg. Terra Abstracts, 1, 1, p. 128.*

**MARIGNAC C, BENNANI M, BOUTALEB M, WEISBROD A (1989).** Geochemical evolution of the hydrothermal fluids associated with the Walmes Sn-W deposit (Central Morocco), from fluid inclusion data. *European Current Research on Fluid Inclusions (ECROFI X)*, 6-8 avril, London. Abstracts, p. 64

In Central Morocco, the Walmes granitic pluton intrudes very low grade Cambro-Ordovician schists and quartzites. It is a multi-stage intrusion : 1) El Karit biotite granite ( $\gamma_{EK}$ ), 2) main two-mica granite ( $\gamma_p$ ), 3) two-mica granite porphyry ( $\gamma_{\pi}$ ), and 4) muscovite granites and aplites.

**Several stages of hydrothermal circulation** are responsible for hydrothermal alteration of the metamorphites and granites, and mineral deposition in and around the pluton :

1- Very early boron-rich fluids, associated with  $\gamma_{EK}$  (tourmaline  $\pm$  quartz).

2- Early fluids associated with  $\gamma_p$  (main quartz veins, in the schists).

3- Sn-mineralizing fluids, associated with late  $\gamma_p$  to late  $\gamma_{\pi}$  emplacement (muscovite, cassiterite  $\pm$  beryl  $\pm$  apatite; alternance of quartz deposition and dissolution).

4- W-mineralizing fluids (muscovite, wolframite-ferberite  $\pm$  quartz) followed by sulfide depositing fluids (arsenopyrite, quartz).

5- Late "cold" postmagmatic fluids.

**The major results**, mainly obtained from microthermometry and Raman spectroscopy, are presented hereunder :

1- Fluid salinities are very low from the beginning ( $< 2$  wt% eq. NaCl) : there is no indication of a magmatic contribution.

2- All the fluids involved have significant contents of volatiles ( $CO_2$ ,  $CH_4$ ,  $N_2$ ). In the early fluids, the composition of these volatiles is very scattered and almost all the combinations between the three end-members have been observed.

3- Dilution and cooling of the COHN fluids occurred at least three times and was followed, everytime, by a re-increase of the volatile content.

4- The fluids responsible for Sn-Be-Al transportation were quartz under-saturated.

5- The  $f_{O_2}$  during the hydrothermal evolution is controlled by the graphite-fluid equilibrium, and decreases from  $10^{-20}$  at  $600^{\circ}$ - $650^{\circ}C$  to  $10^{-32}$  at  $300^{\circ}C$ . However, the  $f_{O_2}$  during the ferberite deposition is significantly lower ( $10^{-33}$  to  $10^{-34}$ ).

**Conclusion.** Most of the COHN fluids involved in the Walmes hydrothermal system are of metamorphic derivation. Their dilution and cooling, as well as the increase of the redox conditions, are responsible for the mineral deposition.

MEZGHACHE H, ROYER JJ, SAUPÉ F (1989). Estimation of the regional heat flow in the North Numidic mercury zone (Azzaba, Skikda, Algeria). *Fifth Meeting of European Union of Geosciences (EUG V), 20-23 mars, Strasbourg*. Terra Abstracts, 1, 1, p. 408.

MONTEL J, CHEILLETZ A (1989). Nature and composition of restites in the Velay granite (France). *Fifth Meeting of European Union of Geosciences (EUG V), 20-23 mars, Strasbourg*. Terra Abstracts, 1, 1, p. 282.

LOUDIN E, PASCAL ML, RAMBOZ C (1989). Boiling and precious metal deposition in Atlantis II deep, Red Sea. *Fifth Meeting of European Union of Geosciences (EUG V), 20-23 mars, Strasbourg*. Terra Abstracts, 1, 1, p. 26.

Precious metal deposition (gold and silver) related to boiling hydrothermal solutions has been observed for the first time in Atlantis II Deep sediments. Samples studied are from core 268 which has been collected in the hydrothermally active Atlantis II deep SW basin. Sediments are formed of fine-grained hematite and are partly transformed by the circulation of hot fluids which has also deposited sulfides, sulfates and silicates coating a network of fine fissures. Several zones can be identified: an upper unit where the sediment is still fresh and the sulfide association encountered in the veins is highly reduced (abundant pyrrhotite, magnetite, chalcopyrite, iron-rich sphalerite); and a lower unit where hematite from the sediment is more abundantly recrystallized and the veinlet minerals more oxidized including abundant sulfates (barite and anhydrite), pyrite and iron-poor sphalerite. Gold (up to 23 ppm) and silver (2000 ppm) concentrate at the transition zone between the upper and lower unit where barite is abundant. Microthermometric studies of fluids trapped in sulfates show that barite and anhydrite are precipitated by brines (19 % eq. NaCl) mainly between 400°C (where boiling occurs) and 250°C. The reduced brines precipitate sulfides in the upper units and sulfates associated with other sulfides in the lower units through oxidation due to local interaction with the oxidized sediment and loss of hydrogen during boiling. Gold probably forms chloride complexes in the high temperature, acid and highly saline solutions. The gold-barite association suggests that they are present in fluids having a specific chemical composition. Gold precipitation may occur during cooling and may be enhanced by the mechanical effect of the boiling process.

RAMBOZ C. (1989) Conditions of fluids circulation in rifts : comparison between the subalpine basin and central red sea. *Fifth Meeting of European Union of Geosciences (EUG V), 20-23 mars, Strasbourg*. Terra Abstracts, 1, 1, p. 202.

RAMBOZ C, DANIS M (1990). Superheating in the red Sea ? The heat-mass balance of the Atlantis II deep revisited. *Earth and Planetary Science Letters*, 97, 190-210.

SANTOS MM, DARDENNE MA, GUILHAUMOU N, GIULIANI G, BENY C, TOURAY JC (1989). The metamorphogenic Pontal gold deposit, Goiás, Brazil : fluid evolution from mineralogical and fluid inclusion studies. *Gold 89 in Europe. Intern. Symposium in Europe on gold metallogeny, exploration and beneficiation,, Toulouse, 23-25 mai*. Abstracts, p. 27.

WEISBROD A, LAGACHE M (1989). Report on Symposium 17, International Congress of Geochemistry and Cosmochemistry, Paris. *Episodes*, 1, 52-53.

WEISBROD A, ZHANG YI GANG (1989) One and two phase equilibria in alkali chloride aqueous solutions, using synthetic fluid inclusions. *10th international meeting of European Current Research on fluid inclusion. European Current Research on Fluid Inclusions (ECROFI X), 6-8 avril, London*. Abstracts, p. 91.



**WEISBROD A. (1989).** Fluid immiscibility in chloride solutions buffered by Ca and Mn tungstates; comparison with alkali chloride solutions. *Fifth Meeting of European Union of Geosciences (EUG V), 20-23 mars, Strasbourg.* Terra Abstracts, 1.1, p. 315-316.

**WEISBROD A (1990).** A new method of determination of equilibrium constants in aqueous solutions offered by mineral associations, in complex systems. *3rd International Symposium on experimental Mineralogy, Petrology and Geochemistry, Edinburgh, UK.* Terra Abstracts, 2, 102.

In some particular systems, experimental determination of equilibrium constants in aqueous phase cannot be obtained by classical techniques. Amongst the various encountered problems, the following must be mentioned : 1/ The fluid/solid ratio and the volume of the fluid must be as low as possible, and the amount of solution pipetted from the capsule must be extremely small; with these constraints, analysis problems might be difficult to solve. 2/ Some systems involve aqueous species which are quite soluble at high T and P, and get oversaturated, with precipitation of solid(s) during the quench ; in that case, analyzing the solution has no meaning. 3/ Participation of water in equilibrium reaction makes the derivation of the equilibrium constant more difficult.

In order to solve these problems, a new procedure has been set up. The basic principle consists in using the whole encapsulated solution. This can be easily done by cutting open the previously cleaned capsule under a thoroughly weighted amount of solvent (usually water). After the diluted solution has been stirred for homogenization, the solution (5 to 10 g final solution) is separated from the solids by centrifugation, and finally analyzed. It must be noticed that most of the solids precipitated during the quench are redissolved during the dilution.

Calculations of the equilibrium constant must take into account all the measurable parameters, such as : mass and initial concentration of all the solutes of the initial solution (some of these solutes are used as tracers), mass of the dilution water, analyzes of all the solutes in the diluted solution and stoichiometry of the solid-solution mineral buffers. Two examples of such calculations are presented and the uncertainties analyzed. They both concern the boron content in aqueous solutions buffered by convenient mineral associations :  
 $\text{anorthite} + \text{quartz} + \text{B}_2\text{O}_3\text{aq} = \text{danburite} + \text{corundum/andalusite}$   
 $\text{cordierite} + \text{albite} + \text{andalusite} + \text{quartz} + \text{B}_2\text{O}_3\text{aq} = \text{tourmaline}$ .

**ZOUHAIR M, MARIIGNAC C (1990).** Evolution des systèmes hydrothermaux stériles du Ment (Maroc Central). *13ème Réunion des Sciences de la Terre, Grenoble : Société Géologique de France*, p. 128.

Des granites tardihercyniens du Maroc Central (Zaër, Walmes, Aouam, Ment) seul celui du Ment (qui ne s'en distingue par aucun critère pétrographique ou géochimique) est dépourvu de minéralisations importantes en Sn-W. Pourtant, la bordure NW du massif (Ez Zrari) présente une succession d'altérations hydrothermales (épisynéites, greisens, tourmalinites, dans cet ordre) qui seraient a priori favorables à la concentration des métaux rares.

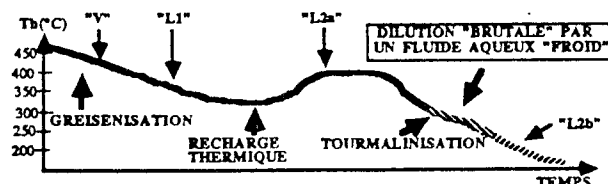
L'étude des inclusions fluides (i.f.) du quartz des greisens, des tourmalinites et des granites sains a été entreprise en vue de comparer les fluides du Ment avec ceux des complexes minéralisés en Sn-W. Trois types d'i.f. ont été observés :

- i.f. sursaturées à cubes de halite, omniprésentes dans les granites sains, plus rares et dispersées dans les greisens et tourmalinites. Celles des granites sains correspondent à l'ébullition de fluides d'origine magmatique probable entre 400°C, 200 bars et 250°C, 50 bars.

- i.f. biphasées de types V et L1, du système C-H-O-N-(S). Dans les diagrammes appropriés, ces i.f. dessinent une faible tendance de dilution, avec des températures d'homogénéisation comprises entre 350 et 450°C.

- i.f. biphasées de type L2 aqueuses, de salinité variable (1 à 8wt% NaCl) avec des températures d'homogénéisation entre 160 et 380°C. Elles sont plus tardives que les précédentes et sont seules présentes autour des tourmalinites qui poussent sur les greisens en faisant recristalliser le quartz autour d'elles. Elles dessinent une évolution de dilution à température décroissante d'un fluide aqueux modérément salé (L2a) par un fluide aqueux très peu salé (L2b).

Une évolution T-t semi-quantitative en est déduite (fig). La nature des fluides présents, les gammes de température observées, les dilutions mises en évidence, sont autant de facteurs favorables à l'expression de minéralisations de Sn-W, par comparaison avec les autres granites mésotiens, le Massif Central français et la Cornouailles. Il faut donc en conclure que la "stérilité" du Ment résulte de l'absence de métaux rares mobilisables dans les zones sources des fluides.



encore de publications

# LISTE GÉNÉRALE DES

## PUBLICATIONS DU C.R.P.G.

	Année	Rang	Page
Tableau récapitulatif			144
Publications de Rang A	1989		145
Publications de Rang A	1990		147
Publications de Rang B	1989		149
Publications de Rang B	1990		150
Publications de Rang C	1989		151
Publications de Rang C	1990		151
Résumés publiés de communications	1989		152
Résumés publiés de communications	1990		155
Thèses	1989		160
DEA	1989		160
Thèses	1990		161
DEA	1990		161

Tableau récapitulatif par équipe du nombre de publications:

Equipe	Nombre chercheurs	Rang A		Rang B		Rang C		Résumés		Thèses	
		89	90	89	90	89	90	89	90	89	90
Caractérisation matériaux	2	1	2	2	2	0	0	1	1	0	0
Déformation Métamorphisme	5	4	3	5	6	3	1	5	20	2	0
Géochimie Isotopique	9	16	14	1	3	0	0	19	33	1	3
Informatique géologique	3	5	1	4	0	0	1	1	1	0	3
Minéralogie Pétrologie	4	7	4	2	1	0	0	14	12	2	3
Physico-Chimie des Fluides	8	3	6	1	1	1	0	22	16	2	0
<b>Total</b>	<b>31</b>	<b>36</b>	<b>30</b>	<b>15</b>	<b>13</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>62</b>	<b>83</b>	<b>7</b>	<b>9</b>

Remarque: de manière à ne pas faire apparaître deux fois la même publication dans ce tableau, nous avons attribué l'article à l'équipe du premier signataire, dans le cas des travaux inter-équipes. Cela ne représente que 4 ou 5 articles.

## *Publications de Rang A 1989*

- ALABERT F., MALLET J. L.** (1989) A local grid updating scheme for interpolation. *Computer and Geosciences*, 17, 6, 1019-1023.
- ALBAREDE F** (1989). Sm/Nd constraints on the growth of continental crust. *Tectonophysics*, 161, 299-305.
- ALT JC, CHAUSSIDON M** (1989). Ion microprobe analyses of the sulphur isotopic composition of sulfides in hydrothermally altered rocks, DSDP/ODP hole 504B. *ODP Proceedings, Sci. Res.*, 111, 41-45.
- BARBEY P, BERTRAND JM, ANGOUA S, DAUTEL D.** (1989). Petrology and U/Pb geochronology of the Telohat migmatites, Aleksod, Central Hoggar, Algeria. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 101, 207-219.
- BERTRAND JM, DIA A, DIOH E, BASSOT JP** (1989). Réflexions sur la structure interne du craton Ouest-Africain au Sénégal oriental et confins guinéo-maliens. *C. R. Acad. Sci.*, t. 309, série II, 751-756.
- BLAMART D, PICHAVANT D, SHEPPARD SMF** (1989). Détermination expérimentale du fractionnement isotopique D/H entre tourmaline et eau à 600, 500°C et 3kbar. *C.R. Acad. Sci.*, t. 308, série II, 39-44.
- BROUXEL M, LAPIERRE H, ZIMMERMANN JL.** (1989). Upper Jurassic mafic magmatic rocks of the eastern Klamath Mountains, northern California : Remnant of a volcanic arc built on young continental crust. *Geology*, 17, 273-276.
- BROWN WL** (1989). Glide twinning and pseudotwinning in peristerite: twin morphology and propagation. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 102, 306-312.
- BROWN WL** (1989). Glide twinning and pseudotwinning in peristerite: Si, Al diffusional stabilization and implications for the peristerite solvus. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 102, 313-320.
- BROWN WL, PARSONS I** (1989). Alkali feldspars: ordering rates, phase transformations and behaviour diagrams for igneous rocks. *Mineral Mag.*, 53, 25-42.
- BROWN WL, MOREAU C, DEMAIFFE D** (1989). An anorthosite suite in a ring-complex: crystallization and emplacement of an anorogenic type from Abontorok, Niger. *J Petrol*, 30, 1501-1540.
- CHAROY B, POLLARD PJ.** (1989). Albite-rich, silica-depleted metasomatic rocks at Emuford, Northeast Queensland: mineralogical, geochemical, and fluid inclusion constraints on hydrothermal evolution and tin mineralization. *Econ. Geol.*, 84, 1850-1874.
- CHAUSSIDON M, ALBAREDE F, SHEPPARD SMF** (1989). Sulphur isotope variations in the mantle from ion microprobe analyses of micro-sulphide inclusions. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 92, 144-156.
- CHEMINÉE JL, HÉKINIAN R, TALANDIER J, ALBAREDE F, DEVEY CW, FRANCHTEAU J, LANCELOT Y** (1989). Geology of an active hot-spot: Teahitia-Mehetia region of the south central Pacific. *Marine Geophys. Res.*, 11, 27-50.
- DANIS M, QUINTARD M** (1989). Three dimensional numerical modelling of thermal transfer through the Vittel aquifer (Vosges, France), including approximated topographical effects. *Geophysical J.*, 96, 343-351.
- DELOULE E, TURCOTTE DL** (1989). The flow of hot brines in cracks and the formation of ore deposits. *Econ. Geol.*, 84, 2217-2225.

- DELOULE E, GARIEPY C, DUPRÉ B** (1989). Metallogenesis of the Abitibi greenstone belt of Canada : a contribution from the analysis of trace lead in sulfide minerals. *Can. J. Earth Sci.*, 26, 2529-2540.
- DESMONS J, RADELLI L** (1989). Comment and reply on "Ophiolite generation and emplacement by rapid subduction hinge retreat on a continent-bearing plate" by S.H. Edelman. *Geology*, 17, 480-481.
- DESMONS J** (1989). Different metamorphic evolutions in the Alpine-Apenninic ophiolites (France - Italy - Switzerland - Austria). *Chem. Geol.*, 77, 229-250.
- DUBESSY J, POTY B, RAMBOZ C** (1989). Advances in C\_O\_H\_N\_S fluid geochemistry based on micro-Raman spectrometric analysis of fluid inclusions. *Eur. J. Mineral.*, 1, 517-534.
- FEYBESSE JL, MILESI JP, JOHAN V, DOMMANGET A, CALVEZ JY, BOHER M, ABOUCHAMI W** (1989). La limite Archéen-Protérozoïque en Afrique de l'Ouest: une zone de chevauchement majeure antérieure à l'accident du Sassandra; l'exemple des régions d'Odienné et de Touba (Côte d'Ivoire) . *C. R. Acad. Sci.*, t. 309, série II, 1847-1853.
- GOVINDARAJU K , ROELANDTS I**(1989). 1988 compilation report on trace elements in six ANRT rock reference samples: Diorite DR-N, Serpentine UB-N, Bauxite BX-N, Disthene DT-N, Granite GS-N and Potash Feldspar FK-N . *Geostandards Newsletter*, 13, 5-67.
- GOVINDARAJU K** (1989). 1989 compilation of working values and sample description for 272 geostandards. *Geostandards Newsletter*, 13, Spec. Issue,1-113.
- GRANDJEAN P, ALBAREDE F** (1989). Ion probe measurement of rare earth elements in biogenic phosphates. *Geochim. Cosmochim. Acta* ., 53, 3179-3183.
- HOLTZ F** (1989). Importance of melt fraction and source rock composition in crustal genesis - the example of two granitic suites of northern Portugal. *Lithos*, 24, 21-35.
- HONEGGER K, LE FORT P, MASCLE G, ZIMMERMANN JL** (1989). The blueschists along the Indus suture zone in Lakakh, NW Himalaya. *J. Metamorphic Geol.*, 7, 57-72.
- IJAALI M, MALAMAN M, GLEITZER C, PICHAVANT M** (1989).  $Fe_4(PO_4)_3(OH)_3$ . A ferric hydroxyphosphate with an ordered iron-deficient  $bFe_2(PO_4)O$  structure. *Eur. J. Solid state Inorg. Chem.*, 26, 73-89.
- LECUYER C, ROUER O, LAPIERRE H, ZIMMERMANN JL** (1989). Mise en évidence d'un domaine océanique au Paléozoïque dans la Central Belt de la Sierra Nevada, Nord Californie. *C. R. Acad. Sci.*, t. 308, série II, 225-230.
- LEDRU P, PLOQUIN A** (1989). Où sont les nappes dans le Massif Central français ? *Bull. Soc. Géol. Fr.*, série 8, tome V, n° 3, 605-618.
- MALLET JL** (1989). DSI : Discrete Smooth Interpolation. *Assoc. for Comp. Machinery, Transactions on graphics*, 8, 2, 121-144.
- MALLET JL** (1989). Three dimensional graphic display of disconnected bodies. *Mathematical Geol.*, 20, 977-990.
- MARIGNAC C** (1989). Sphalerite stars in chalcopyrite : are they always the result of an unmixing process ? *Miner. Deposita*, 24, 176-182.
- MICHARD A** (1989). Rare earth element systematics in hydrothermal fluids. *Geochim. Cosmochim. Acta* , 53, 745-750.
- MONTEL JM , LHOTE F, CLAUDE JM** (1989). Monazite end members and solid solutions : synthesis, unit-cell characteristics, and utilization as microprobe standards. *Min. Mag.*, 53, 120-123.

PENAYE J, TOTEU SF, **MICHARD A**, **BERTRAND JM**, **DAUTEL D** (1989). Reliques granulitiques d'âge Protérozoïque inférieur dans la zone mobile panafricaine d'Afrique Centrale au Cameroun; géochronologie U/Pb. sur zircons. C. R. Acad. Sci., t. 309, série II, 315-318.

ROUER O, LAPIERRE H, COULON C, **MICHARD A** (1989). New petrological and geochemical data on mid-Paleozoic island-arc volcanics of northern Sierra Nevada, California: evidence for a continent-based island arc. Can. J. Earth Sci., 26, 2465-2478.

**STUSSI J.M.** (1989). Granitoid chemistry and associated mineralization in the French Variscan. Econ. Geol., 84, 1363-1381.

WU XIN, BENY C, **ZIMMERMANN JL**, TOURAY JC (1989). Analyses des gaz inclus des quartz aurifères du Châtelet (Creuse, France); comparaison avec le gîte d'or de l'Aurières (Haute Vienne, France). C. R. Acad. Sci., t. 309, série II, 707-712.

## *Publications de Rang A 1990*

**ABOUCAMI W**, **BOHER M**, **MICHARD A**, **ALBAREDE F** (1990). A major 2.1 Ga event of mafic magmatism in West Africa: an early stage of crustal accretion. J. Geophys. Res., 95, n° B11, 17605-17629.

**BARBEY P**, **MACAUDIERE J**, **NZENTI JP** (1990). High-pressure dehydration melting of metapelites : Evidence from the migmatites. of Yaoundé (Cameroon). J. Petrol., 31, 2, 401-427.

**BERTRAND JM**, **JARDIM DE SA EF** (1990). Where are the Eburnian-Transamazonian collisional belts? Can. J. Earth Sci., 27, 1382-1393.

**BOUQUILLON A**, **FRANCE-LANORD C**, **MICHARD A**, **TIERCELIN JJ** (1990). Sedimentology and isotopic chemistry of the Bengal fan sediments: the denudation of the Himalaya. ODP Proceedings, Sci. Res., 116, 43-58.

**BRAUN JJ**, **PAGEL M**, **MULLER JP**, **BILONG P.**, **MICHARD A**, **GUILLET B** (1990). Cerium anomalies in lateritique profiles. Geochim. Cosmochim. Acta , 54, 781-795.

**BROUAND M**, **BANZET G**, **BARBEY P** (1990). Zircon behaviour during crustal anatexis. Evidence from the Tibetan Slab migmatites (Nepal). J. Volc. Geotherm. Research, 44, 143-161.

**CHAUSSIDON M**, **LORAND JP** (1990). Sulphur isotope composition of orogenic spinel ilherzolite massifs from Ariège (North-Eastern Pyrenees, France): an ion microprobe study. Geochim. Cosmochim. Acta, 54, 2835-2846.

**DEFANT MJ**, **MAURY RC**, **JORON JL**, **FEIGENSON MD**, **LETERRIER J**, **BELLON H**, **JACQUES D**, **RICHARD M** (1990). The geochemistry and tectonic setting of the northern section of the Luzon arc (the Philippines and Taiwan). Tectonophysics, 183, 187-205.

**DEVEY CW**, **ALBAREDE F**, **CHEMINEE JL**, **MICHARD A**, **MUHE R**, **STOFFERS P** (1990). Active submarine volcanism on the Society hotspot swell (West Pacific) : A geochemical study. J. Geophys. Res., 95, n° B4, 5049-5066.

**FRANCE-LANORD C**, In : Shipboard Scientific Party of Leg 129 (1990). Ocean Drilling Program. Ancient Crust on Pacific Plate. Leg 129 shipboard Scientific Party. Nature, 345, p.112.

**GIULIANI G**, **SILVA LJHD**, **COUTO P** (1990). Origin of emerald deposits of Brazil. Miner. Deposita, 25, 57-64.

- GIULIANI G, RODRIGUEZ CT, RUEDA F** (1990). Les gisements d'émeraude de la Cordillère orientale de la Colombie : nouvelles données métallogéniques. *Miner. Deposita*, 25, 105-111.
- GRAHAM D, LUPTON J, ALBAREDE F, CONDOMINES M** (1990). Extreme temporal homogeneity of helium isotopes at piton de la Fournaise, Réunion Island. *Nature*, 347, 545-548.
- JAMBON A, ZIMMERMANN JL** (1990). Water in oceanic basalts : evidence for dehydration of recycled crust. *Earth Planet. Sci. Lett.* , 101, 323-331.
- LECUYER C, BROUXEL M, ALBAREDE F** (1990). Elemental fluxes during hydrothermal alteration of the Trinity ophiolite (California, U.S.A.) by seawater. *Chem. Geol.*, 89, 87-115.
- LEROY M., FORRIERES C, PLOQUIN A** (1990). Un site de production sidérurgique du haut Moyen Age en Lorraine. *Archéologie Médiévale*, XX, 141-179.
- MARIGNAC C** (1990). Reply to the discussion by A. Sugaki et al. *Miner. Deposita*, 25, 84-87.
- MICHOT L, YVON J, CASES JM, ZIMMERMANN JL, BAEZA R** (1990). Apparente hydrophobie du talc et affinité de l'azote pour ce minéral. *C. R. Acad. Sci.*, t. 310, série II, 1063-1068.
- MONOD O, LAPIERRE H, CHIODI M, MARTINEZ J, CALVET P, ORTI E, ZIMMERMANN JL** (1990). Reconstitution d'un arc insulaire intra-océanique au Mexique Central: la séquence volcano-plutonique de Guanajuato (Crétacé inférieur). *C. R. Acad. Sci.*, t. 310, série II, 45-51
- PLOQUIN A, BAILLY-MAITRE MC** (1990). Un exemple d'expérimentation cistercienne à propos de la métallurgie du fer au XIII<sup>e</sup> siècle. In : *Bâtiments d'accueil et métallurgie aux abbayes de Silvacane et du Thoronet*, M Fixot (Ed.), JP Pelletier (Ed.). *Archéologie médiévale* , tome XX, 217-252.
- RAMBOZ C, DANIS M** (1990). Superheating in the red Sea ? The heat-mass balance of the Atlantis II deep revisited. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 97, 190-210.
- ROYER J. J.** (1990) Numerical cartography in Earth Sciences. *Codata Bulletin* 22, 4, 97-106.
- SANJUAN B, MICHARD G, MICHARD A** (1990). Origine des substances dissoutes dans les eaux des sources thermales et des forages de la région Asal-Ghoubbet (République de Djibouti) *J. Volc. Geotherm. Res.*, 43, 333-352.
- SAUPÉ F** (1990). Geology of the Almadén mercury deposit, Province of Ciudad Real, Spain. *Econ. Geol.*, 85, 482-510.
- SAUPÉ F, TOLLON F** (1990). Gold '89 in Europe. *Miner. Deposita*, 25, suppl., 140 p.
- SCAILLET B, FRANCE-LANORD C, LE FORT P** (1990). Badrinath-Gangotri plutons (Garhwal, India) : Petrological and geochemical evidence for fractionation processes in a High Himalayan Leucogranite. *J. Volc. Geother. Res.* , 44, 163-188.
- STAHLÉ, FRENZEL G, KOBER B, MICHARD A, PUCHELT H, SCHNEIDER W** (1990). Zircon syenite pegmatites in the Finero peridotite (Ivrea zone): evidence for a syenite from a mantle source. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 101, 196-205.
- TOTÉU SF, MACAUDIERE J, BERTRAND JM, DAUTEL D** (1990). Metamorphic zircons from North Cameroon. Implications for the Pan-African evolution of Central Africa. *Geologische Rundschau*, 79, n° 3, 777-788.
- TURPIN L, LEROY J, SHEPPARD SMF** (1990). Isotopic systematics (O, H, C, Sr, Nd) of superimposed barren and U-bearing hydrothermal systems in a Hercynian granite, Massif Central(France). *Chem. Geol.*, 88, 85-98.

WORDEN RH, WALKER FDL, PARSONS I, **BROWN WL** (1990). Development of microporosity, diffusion channels and deuteric coarsening in perthitic alkali feldspars. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 104, 507-515

## *Publications de Rang B 1989*

**BOULLIER AM**, MICHOT G, PECHER A, BARRES O (1989). Diffusion and / or plastic deformation around fluid inclusions in synthetic quartz: new investigations. In: *Fluid movements - Element transport and the composition of the deep crust*, D. Bridgwater (Ed.), N.A.T.O. A.S.I., Klüwer Academic Press, 345-360.

CATHELINEAU M, **MARIGNAC C**, DUBESSY J, POTY B, **WEISBROD A**, **RAMBOZ C**, LEROY J (1989). Fluids in granitic environments. *Rendi Conti della Soc. Ital. Min. e Petrol.*, 23, 263-272.

CHEIMANOFF N. M. , DELIAC E. P. , **MALLET J.-L.** (1989) Geocad : an alternative cad and artificial intelligence tool that helps moving from geological resources to mineable reserves. 21st APCOM symposium proceedings, Las Vegas, 13p.

CHIPOT Y, **HUANG Y.**, **JACQUEMIN P.**, **MALLET J. L.** (1989) Présentation du programme de recherche Gocad et premiers résultats. *BIGRE informatique Géométrie et Graphique*, 67, 75-85.

**DESMONS J**, **PLOQUIN A** (1989). Chimisme du Briançonnais - Grand Saint-Bernard anté-mésozoïque (Alpes occidentales) : une vue synoptique. *Géol. Alp.*, 65, 1-31.

**DESMONS J**, **RADELLI L** (1989). Arcs and H-P metamorphism of ophiolites on the example of the Western Alps. *Ofioliti*, 14, n° 3, 101-118.

FORRIERES C, LEROY M, **PLOQUIN A** (1989). La métallurgie du fer à Ludres en Lorraine : données archéométriques des conditions de réduction d'un bas-fourneau. *Int. Symp. "Comité pour la sidérurgie ancienne de l'UISPP"*, Liblice , 5-7 oct. 1987, R. Pleiner (Ed.), 253-277.

**GIULIANI G**, **CHEILLETZ A**, **ZIMMERMANN JL** (1989). The emplacement, geochemistry and petrogenesis of two central Morocco hercynian granites. Geotectonic implications. *J. Afr. Earth Sci.*, 9, n° 3/4, 617-629

GHOGLUMU R, MOREAU C, **BROWN WL**, **ROCCI G** (1989). The Ntumbaw complex, NW Cameroon: an atypical anorogenic ring complex of intermediate composition. *J. Afr. Earth Sci.*, 8, n° 1, 1-9.

HUNZIKER JC, **DESMONS J**, MARTINOTTI G (1989). Alpine thermal evolution on the Central and Western Alps. In : *Alpine tectonics* , MP Coward (Ed.), D Dietrich (Ed.), RG Park (Ed.), *Geol. Soc. London, Spec. Publ. n°45*, 353-367.

LAGADEC JP, DUVAL P, EVEILLARD J, LEROY M, **PLOQUIN A** (1989). Bilan de sept campagnes de fouilles à la cité d'Affrique de Messein (1981-1987). *Revue Archéol. de l'Est et du Centre-Est*, t.40, fasc.2.

PAMIC J, **DESMONS J** (1989). A complete ophiolite sequence in Rzav, area of Zlatibor and Varda ultramafic massifs, the Dinaride Ophiolite Zone. *Ofioliti*, 14, n° 1/2, 13-32.

**ROYER J.-J.** (1989) Multivariate geostatistics and sampling problems, in *Geostatistics*, M. Armstrong (Ed.); Klüwer Academic publisher, 2, 823-836.

**MALLET J. L.** (1989) Geometry modelling and geostatistics. Third international geostatistical congress. klüwer Academic publisher, 2, 737-747.

SAMAMA JC, **ROYER JJ**, N'GANZI C(1989). Prise en compte de la surface spécifique des prélèvements en prospection géochimique : exemple de l'uranium dans les sédiments de ruisseau., *J. Geochem. Explor.*, 32, 453-466.



- STUSSI JM, PLOQUIN A, AUTRAN A, ORSINI JB**(1989). Chronologie et typologie du plutonisme calédonno-varisque en France. Notes et Mém. Ser Géol. Maroc, Rabat, n°. 335, 161-174.
- ROYER JJ** (1989). Multivariate Geostatistics and Sampling Problems. In : Geostatistics, M. Armstrong (Ed.), Klüwer Academic Publ. , 2, 823-836.
- SHEPPARD SMF** (1989).The isotopic characterization of aqueous and leucogranitic crustal fluids. In : Fluid Movements, Element Transport, and the Composition of the Deep Crust, D Bridgewater(Ed.) NATO ASI Series, Reidel Publ. Co., 245-263.

## *Publications de Rang B 1990*

- BARBEY P , RAIITH M** (1990).The granulite belt of Lapland. In: Granulites and crustal differentiation, D Vielzeuf (Ed.), P Vidal (Ed.), Klüwer Academic Publ., NATO - ASI series, 111-132.
- BERTRAND JM, VAN KRANENDONK M, HANMER S, RODDICK JC, ERMANOVICS I** (1990). Structural and metamorphic geochronology of the Torngat orogen in the North River-Nutak transect area, Labrador; preliminary results of U-Pb dating. Geoscience Canada, 17, 297-301.
- BOUKEZZOULA M, LAURENT H, MANGIN M, RAISSOUNI B, PLOQUIN A** (1990). Le fer en Franche-Comté aux époques romaine et médiévale : état des recherches archéologiques 1983-1987. In: De la mine à la forge en Franche-Comté. Des origines au XIXe, JP Jacob (Ed.), M Mangin (Ed.), Ann. Litt. Univ. Besançon, 410, 51-86.
- DESMONS J** (1990).Sur quelques minéraux de la zone piémontaise (zone du Combin) dans les Alpes françaises. Géol. Alp., 66, 23-38.
- FRANCE-LANORD C**, In : Shipboard Scientific Party of Leg 129 (1990). Ocean Drilling Program. Jurassic Oceanic Crust and Sediments in the Pacific at last. Geotimes, 35, n° 6, 25-26.
- FRANCE-LANORD C**, In : Shipboard Scientific Party of Leg 129 (1990). Inorganic Geochemistry. In Y Lancelot, RL Larson et al. , Proc. ODP, Init. Repts., 129: College Station, TX (Ocean Drilling Program).
- LEROY M, FORRIERES C, GIRARD G, PLOQUIN A** (1990). Contribution à l'étude de la sidérurgie antique: un atelier en milieu urbain à Metz (Arsenal Ney). Revue Archéol. de l'Est, 41, 281-300.
- LETERRIER J, JARDIM DE SA EF, MACEDO MH DE F, AMARO E** (1990). Magmatic and geodynamic signature of the Brasiliano cycle plutonism in the Serido belt, NE Brazil. Anais do XXXVI Congresso Brasileiro de Geologia, Natal, 4, 1640-1655.
- LETERRIER J, YUWONO YS, SOERIA-ATMADJA R, MAURY RC** (1990). Potassic volcanism in Central Java and South Sulawesi, Indonesia. J. Southeast Asian Earth Sci., 4, 3, 171-187.
- RICQ-DE BOUARD M, COMPAGNONI R, DESMONS J, FEDELE F** (1990). Les roches alpines dans l'outillage poli néolithique de la France méditerranéenne. Classification, origine, circulation. Gallia Préhistoire, 32, 125-149.
- ROYER JJ** (1990). Numerical Cartography in Earth Sciences. In : New Perspectives in Scientific Complex Data Management. CODATA Bull., 22, 4, 97-106.
- SANTOS MM, DARDENNE MA, GIULIANI G, GUILHAUMOU N, TOURAY JC, BENY C** (1990). Características do veio de quartzo aurífero do depósito Pontal, Tocantins. XXXVI Congresso Brasileiro de Geologia, Natal, 1144-1157.

**SHEPPARD SMF, CHAREF A** (1990). Isotopic studies (H, C, O, S, Pb) on carbonate-shale hosted Pb-Zn deposits. In : *Mobilité et Concentration des Métaux de Base dans les Couvertures Sédimentaires: Manifestations, Mécanismes, Prospection*, H Pelissonnier, (Ed.) JP Sureau (Ed.) Document du BRGM n° 183, 59-69.

**TOTEU SF, BERTRAND JM, PENAYE J, MACAUDIERE J, ANGOUA S, BARBEY P**(1990). Cameroon : a tectonic keystone in the Pan-African network, Lewry J. (Ed.), Geol. Assoc. Canada, Spec. paper, 37, 483-496.

## *Publications de Rang C 1989*

**ALABERT F , MALLET JL** ( 1989). A local grid updating scheme for interpolation. *Computer and Geosciences*, DF Merriam (Ed.) Pegamon Press, v.15,n°6.

**CHEIMANOFF N, DELIAC E, MALLET JL** ( 1989). GOCAD : an alternative CAD and artificial intelligence tool that helps moving from geological resources to mineable reserves. 21st APCOM symposium :Proceedings, Las Vegas, 13p.

**DEBELMAS J**, avec la collaboration de **DESMONS J, ELLENBERGER F, GOFFÉ B, FABRE J, JAILLARD E, PACHOUD A** (1989). Notice explicative, Carte géologique de France (1/50 000), feuille Modane (775). *Bur. Rech. Géol. Min.*, , 53 p.

**DEBELMAS J, BARFÉTY JC, DABROWSKY H, DESMONS J, ELLENBERGER F, GOFFÉ B, GUILLOT F, JAILLARD E, PACHOUD A, RAOULT JF** (1989). Notice explicative, Carte géol. France (1/50 000), feuille Moûtiers (751). *Bur. Rech. Géol. Min.* , 53 p.

**DESMONS J**, In : **DEBELMAS J, ANTOINE P, BARBIER R, BARFÉTY JC, BRUDOUX B, DONDEY H, FABRE J, FUDRAL S, GUILLOT F, JAILLARD E, LUCHIA YU, MERIAUX O, PERUCCIO-PARISON MD, RAOULT JF , SCHADE J** (1989). Carte géologique France (1/50 000), feuille Moûtiers (751). *Bur. Rech. Géol. Min.*

**MALLET JL, JACQUEMIN P, CHEIMANOFF N** (1989). GOCAD Project: Geometric modeling of complex geological surfaces. *Proceedings of 59th annual SEG meeting, Dallas, Texas, USA, 1, 126-128.*

**MÖLLER P, CERNY P, SAUPÉ, F** (1989). Lanthanides, Tantalum and Niobium : Mineralogy, Geochemistry, Characteristics of Primary Ore Deposits, Prospecting, Processing and Applications. *Society for Geology Applied to Mineral Deposits, Spec. Publ., 7, 482-510.*

**WEISBROD A, LAGACHE M** (1989). Report on Symposium 17, Int. Congress of Geochemistry and Cosmochemistry, Paris. *Episodes, 1 , 52-53.*

## *Publications de Rang C 1990*

**CHAMPENOIS M** (1990). Quantifier la déformation d'une roche. *Courrier du CNRS.*, n°76, n° spec. 95.

**CHIPOT Y, HUANG Y, JACQUEMIN P, MALLET JL** (1990). Présentation du programme de recherche GOCAD et premiers résultats. *Journées AFCET Groplan, Strasbourg, 1989, BIGRE Informatique Géométrique et Graphique, 67, 75-85.*

**DESMONS J** (1990). Palaeozoic in the Briançon zone. *Cours 3e cycle Fribourg, 17 p.*

**ROYER JJ, SAMAMA JC** (1990). Seminar and Training Course on Geochemical Data Processing. *Manuel de Cours, 160p.*

## Résumés publiés de communications 1989

- ABOUCAMI W, BOHER M, MICHARD A, ALBAREDE F, MILÉSI JP, DIA A, FABRE R, ROSSI M, ROCCI G** (1989). Crustal growth in West Africa at 2.1 Ga: preliminary results. *Spring Meeting of American Geophysical Union and Mineralogical Society of America, (AGU), Baltimore, May 7-12*. EOS, 70, 15, p.485.
- ABOUCAMI W, MICHARD A, ALBAREDE F, ROCCI G, FABRE R, DIA A** (1989). The contribution of mafic magmas to crustal growth in early Proterozoic West Africa. *Fifth Meeting of European Union of Geosciences (EUG V), 20-23 mars, Strasbourg*. Terra Abstracts, 1, 1, p. 363.
- ALBAREDE F, MICHARD A, ABOUCAMI W, BOHER M** (1989). Localization of Proterozoic and Archean crustal accretion: a challenge for crustal growth models. *Spring Meeting of American Geophysical Union and Mineralogical Society of America, (AGU), Baltimore, May 7-12*. EOS, 70, 15, p. 1389.
- ALLE P** (1990). Micro-variations de polarisation spontanée sur l'Etna. *Colloque Comité Belge de Géologie de l'Ingénieur : application des méthodes de prospection géophysique à la géologie de l'ingénieur, Liège, p. IV-1,IV-12*.
- ARNOLD M** (1989). Evidences for a superlattice in optical quartz crystals: an interferential approach to this problem. *Fifth Meeting of European Union of Geosciences (EUG V), 20-23 mars, Strasbourg*. Terra Abstracts, 1, 1, p. 289.
- ARNOLD M** (1989). Fibrous structure in natural and synthetic quartz crystals revealed by an interferential method. *European Current Research on Fluid Inclusions (ECROFI X), 6-8 avril, London*. Abstracts, p. 4.
- ARNOLD M** (1989). Stable versus metastable fluid inclusions? An answer by photoelasticity. *European Current Research on Fluid Inclusions (ECROFI X), 6-8 avril, London*. Abstracts, p. 5.
- BARBEY P, BREARLEY AJ, BROWN WL, PICHAVANT M** (1989). Synthesis, characterization and stability of large fluor-phlogopite crystals. *Fifth Meeting of European Union of Geosciences (EUG V), 20-23 mars, Strasbourg*. Terra Abstracts, 1, 1, 139-140.
- BENNANI M., BOUTALEB M, MARIGNAC C, WEISBROD A** (1989). Evolution of metamorphic and redox conditions in Sn-W quartz-vein type deposits. *Fifth Meeting of European Union of Geosciences (EUG V), 20-23 mars, Strasbourg*. Terra Abstracts, 1, 1, p.120-121.
- BERTRAND JM, JARDIM DE SA E, RAHAMAN MA** (1989). Where are the Eburnean collisional belts? *Fifth Meeting of European Union of Geosciences (EUG V), 20-23 mars, 20-23 mars, Strasbourg*. Terra Abstracts, 1, 1, p. 362.
- BLAMART D, SHEPPARD SMF** (1989). Isotopic studies (H, O) of the hydrothermal tungsten ore deposits of Walmes, central Morocco. *Fifth Meeting of European Union of Geosciences (EUG V), 20-23 mars, Strasbourg*. Terra Abstracts, 1, 1, p. 332.
- BOHER M, MICHARD A, ALBAREDE F, ROSSI M, MILÉSI JP** (1989). The crustal growth in West Africa at ca. 2.1 Ga. *Fifth Meeting of European Union of Geosciences (EUG V), 20-23 mars, Strasbourg*. Terra Abstracts, 1, 1, p. 362.
- BOULLIER AM, PECHER A, FRANCE-LANORD C** (1989). Fluid inclusions in the Main Central Thrust pile in Central Nepal. *Fifth Meeting of European Union of Geosciences (EUG V), 20-23 mars, Strasbourg*. Terra Abstracts, 1, 1, p. 379.
- BOUTALEB M, BENNANI M, MARIGNAC C, WEISBROD A** (1989). P-T evolution of hydrothermal circulation around the Walmes batholith (Central Morocco) : contribution of fluid inclusion data. In : *Résumés du "X Symposium on fluid inclusions" (London, 1989)*.
- BRIQUEU L, PICHAVANT M, CARLIER G, VALENCIA-HERRERA J** (1989). Sr, Nd, Pb, isotope geochemistry and origin of the felsic peraluminous Macusani and Crusero volcanics. *Fifth Meeting of European Union of Geosciences (EUG V), 20-23 mars, Strasbourg*. Terra Abstracts, 1, 1, p. 345.
- BROUAND M, BANZET G, BARBEY P, LE FORT P** (1989). Zircon behaviour in crustal anatexis: evidence from the Tibetan Slab migmatites (Nepal). *Fifth Meeting of European Union of Geosciences (EUG V), 20-23 mars, Strasbourg*. Terra Abstracts, 1, 1, p. 173.
- BROWN WL, MOREAU C, DEMAÏFFE D** (1989). Crystallization and emplacement conditions of an anorogenic anorthositic complex Abontorok, Niger. *Fifth Meeting of European Union of Geosciences (EUG V), 20-23 mars, Strasbourg*. Terra Abstracts 1, 1, p. 170-171.

- CATHELINÉAU M, DUBESSY J, MARIGNAC C, VALAURI A, GIANELLI G, PUXEDDU M (1989). P-T-X changes from magmatic to present day stages in the Larderello geothermal field (Italy). *Proc. 6th Symp. Water-Rock Interactions, Malvern, Aug. 1989, Miles (Ed.), Balkema, Rotterdam*, p. 137-140.
- CHAMPENOIS M, ITARD Y (1989). Interactive image analysis system : contribution to structural analysis, fluid inclusion studies and petrography. *Fifth Meeting of European Union of Geosciences (EUG V), 20-23 mars, Strasbourg*. Terra Abstracts, 1, 1, p. 383-384.
- CHAMPENOIS M, BOULLIER AM (1989). Use of an interactive image analysis system for the quantification of finite strain applied to the Abeibara-Rarhous shear zone (Iforas, Mali). *Fifth Meeting of European Union of Geosciences (EUG V), 20-23 mars, Strasbourg*. Terra Abstracts, 1, 1, p. 381-382.
- CHAROY B, BERTRAND JM, MOULAHOU M, BOUABSA L, CHEILLETZ A., BOULLIER AM (1989). Autopsy of an orogeny through magmatic evolution: the Pan-African Belt in the Tamanrasset area, Central Hoggar, Algeria. *28th Geol. Congress. Abstracts*, 1, p. 264-265.
- CHAUSSIDON M, ALBAREDE F, SHEPPARD SMF (1989). Sulphur isotope geochemistry of the mantle : ion probe studies of mantle microsulphides. *Fifth Meeting of European Union of Geosciences (EUG V), 20-23 mars, Strasbourg*. Terra Abstracts, 1, 1, p. 318.
- CHEILLETZ A (1989). A review and classification of stratiform tungsten deposits. *28th Int. Geol. Congr., Washington, USA. Abstracts*, 1, p. 270.
- CUNÉY M, MARIGNAC C, AUTRAN A (1989). The Beauvoir topaz-lepidolite albitic granite (Massif Central, France) a highly specialized granite with disseminated Sn-Ta-Nb-Li-Be mineralization. *First IGCP Meeting 282, Rare Metal Granitoids, Nanjing, 9-13/11/1989*.
- DELOULE E, ALBAREDE F, FRANCE-LANORD C (1989). Assessment of the analytical fractionation factors in ion-probe measurements of amphibole and micas D/H ratios. *Spring Meeting of American Geophysical Union and Mineralogical Society of America, (AGU), Baltimore, May 7-12. EOS*, 70, 15, p. 489-490.
- DEMAIFFE D, MOREAU C, BROWN WL, WEIS D (1989). Isotopic (Sr, Nd, Pb) evidence for the origin of the anorthosite-bearing anorogenic suite of Air Province (Niger). *American Geophysical Union Fall Meeting, San Francisco, Dec 4-8. EOS* 70, 43, p. 1390.
- DEMAIFFE D, MOREAU C, BROWN WL, WEIS D (1989). The anorthosite-bearing anorogenic suite of Air Province (Niger) : geochemical and isotopic (Sr, Nd, Pb) data. *Fifth Meeting of European Union of Geosciences (EUG V), 20-23 mars, Strasbourg*. Terra Abstracts 1,1, p. 339.
- DORIA A, CHAROY B, NORONHA F (1989). Fluid inclusion studies in spodumene aplite-pegmatite dykes of Covas de Barroso, Northern Portugal. *European Current Research on Fluid Inclusions (ECROFI X)*, 6-8 avril, London. Abstracts, p. 25.
- FRANCE-LANORD C, SCAILLET B (1989). Emplacement of the Gangotri High Himalaya Leucogranite : stable isotope constraints. *Fifth Meeting of European Union of Geosciences (EUG V), 20-23 mars, Strasbourg*. Terra Abstracts, 1, 1, p. 174.
- FREY M, COMPAGNONI R, DAL PIAZ GV, DESMONS J, FRANK W, HUNZIKER JC, MONTRASIO A (1989). New metamorphic map of the Alps. *Fifth Meeting of European Union of Geosciences (EUG V), 20-23 mars, Strasbourg*. Terra Abstracts, 1989, 1, 1, p. 312.
- GRAHAM D, LUPTON J, ALBAREDE F (1989). The isotopes in historical lavas from Piton de la Fournaise, Reunion Island. *American Geophysical Union Fall Meeting, San Francisco, Dec 4-8. EOS*, 70, 43, p. 1388.
- GRANDJEAN P, ALBAREDE F, FEIST R (1989). REE variations across the Frasnian-Famenian Boundary. *Spring Meeting of American Geophysical Union and Mineralogical Society of America, (AGU), Baltimore, May 7-12. EOS*, 70, 15, p. 356.
- HENRY C, CHOPIN C, MICHARD A (1989). Petrological, structural and chronological constraints for the uplift of coesite-bearing rocks, southern doramaira, Western Alps. *Fifth Meeting of European Union of Geosciences (EUG V), 20-23 mars, Strasbourg*. Terra Abstracts, 1, 1, p. 263.
- HOLTZ F, BARBEY P, JOHANNES W, PICHAVANT M (1989). Composition and temperature at the minimum point in the Qz-Ab-Or system for H<sub>2</sub>O undersaturated conditions: experimental investigation. *Fifth Meeting of European Union of Geosciences (EUG V), 20-23 mars, Strasbourg*. Terra Abstracts, 1, 1, p. 271-272.
- ITARD Y, CHAMPENOIS M, CHEILLETZ A, RAMBOZ C (1989). Volume estimation of fluid inclusions using an interactive image analyser. *European Current Research on Fluid Inclusions (ECROFI X), 6-8 avril, London*. Abstracts, p. 54.

- JAMBON A, ZIMMERMANN JL (1989). Water in oceanic glasses : are two sources necessary? *Fifth Meeting of European Union of Geosciences (EUG V), 20-23 mars, Strasbourg*. Terra Abstracts, 1, 1, p. 321.
- LAGHBIDI A, SAUPÉ F (1989). Geochemistry of the magnesite from occurrences in the internal Rif (Northern Morocco). *Fifth Meeting of European Union of Geosciences (EUG V), 20-23 mars, Strasbourg*. Terra Abstracts, 1, 1, p. 401.
- LAPIERRE H, MONOD O, ORTIZ E, CHIODI M, MARTINEZ-REYES J, ZIMMERMANN JL (1989). New evidence for the ensimatic origin of Guanajuato Island Arc (Lower Cretaceous) in Central Mexico. *Fifth Meeting of European Union of Geosciences (EUG V), 20-23 mars, Strasbourg*. Terra Abstracts, 1, 1, p. 165.
- LE FORT P, FRANCE-LANORD C, PECHER A (1989). Granites of the himalayan collision: 1 petrological constraints. *Fifth Meeting of European Union of Geosciences (EUG V), 20-23 mars, Strasbourg*. Terra Abstracts, 1, 1, p. 173.
- MARIGNAC C, AISSA DE, BOUZENOUNE A (1989). Transition from "mesothermal" to "epithermal" conditions : the example of the Edough Massif (N Algeria). *Fifth Meeting of European Union of Geosciences (EUG V), 20-23 mars, Strasbourg*. Terra Abstracts, 1, 1, p. 128.
- MARIGNAC C, BENNANI M, BOUTALEB M, WEISBROD A (1989). Geochemical evolution of the hydrothermal fluids associated with the Walmes Sn-W deposit (Central Morocco), from fluid inclusion data. *European Current Research on Fluid Inclusions (ECROFI X), 6-8 avril, London*. Abstracts, p. 64
- MEZGHACHE H, ROYER JJ, SAUPÉ F (1989). Estimation of the regional heat flow in the North Numidic mercury zone (Azzaba, Skikda, Algeria). *Fifth Meeting of European Union of Geosciences (EUG V), 20-23 mars, Strasbourg*. Terra Abstracts, 1, 1, p. 408.
- MICHARD A, MICHARD G, JAVOY M, CHEMINÉE JL, BINARD N (1989). Chemistry of submarine springs from the Teahitia seamount. *Spring Meeting of American Geophysical Union and Mineralogical Society of America, (AGU), Baltimore, May 7-12*. EOS, 70, 15, p. 495.
- MONTEL J, CHEILLETZ A (1989). Nature and composition of restites in the Velay granite (France). *Fifth Meeting of European Union of Geosciences (EUG V), 20-23 mars, Strasbourg*. Terra Abstracts, 1, 1, p. 282.
- MORTAJI A, STUSSI JM (1989). Les filons basiques précambriens de Tagragra d'Akka (Anti-Atlas occidental, Maroc). *Colloque Géologie Franco-Marocain, Strasbourg, 1989*, 24-26.5.
- MORTAJI A, STUSSI JM (1989). Les granitoïdes précambriens de Tagragra d'Akka (Anti-Atlas occidental, Maroc). *Colloque Géologie Franco-Marocain, Strasbourg, 1989*, 24-26.5.
- MÜHE R, DEVEY CW, ALBAREDE F, HEKINIAN R, STOFFERS P (1989). Phonolite glasses from the active society seamounts : mineral chemistry and petrogenesis. *Fifth Meeting of European Union of Geosciences (EUG V), 20-23 mars, Strasbourg*. Terra Abstracts, 1, 1, p. 322.
- OHNENSTETTER D, BROWN WL (1989). Overgrowth textures and disequilibrium zoning in a glassy four-pyroxene boninite. *Fifth Meeting of European Union of Geosciences (EUG V), 20-23 mars, Strasbourg*. Terra Abstracts, 1, 1, p. 276.
- ODIN E, PASCAL ML, RAMBOZ C (1989). Boiling and precious metal deposition in Atlantis II deep, Red Sea. *Fifth Meeting of European Union of Geosciences (EUG V), 20-23 mars, Strasbourg*. Terra Abstracts, 1, 1, p. 26.
- PICHAVANT M (1989). Are two micas leucogranite magmas always products of continental collision ? *Fifth Meeting of European Union of Geosciences (EUG V), 20-23 mars, Strasbourg*. Terra Abstracts, 1, 1, p. 175.
- PLOQUIN A, MEYER R, NION S (1989). Towards an international Data Base in sedimentary petrology. *Fifth Meeting of European Union of Geosciences (EUG V), 20-23 mars, Strasbourg*. Terra Abstracts, 1, 1, p. 411.
- RAMBOZ C (1989). Conditions of fluid circulation in rifts : comparison between the subalpine basin and central red sea. *Fifth Meeting of European Union of Geosciences (EUG V), 20-23 mars, Strasbourg*. Terra Abstracts, 1, 1, p. 202.
- SANTOS MM, DARDENNE MA, GUILHAUMOU N, GIULIANI G, BENY C, TOURAY JC (1989). The metamorphogenic Pontal gold deposit, Goias, Brazil : fluid evolution from mineralogical and fluid inclusion studies. *Gold 89 in Europe. Intern. Symposium in Europe on gold metallogeny, exploration and beneficiation,, Toulouse, 23-25 mai*. Abstracts, p. 27.
- SCAILLET B, PECHER A, ROCHETT P, LE FORT P (1989). The Gangotri plutons (High himalaya leucogranite, Western India) : an example of a crustal scale "tablette de chocolat" structure. *Fifth Meeting of European Union of Geosciences (EUG V), 20-23 mars, Strasbourg*. Terra Abstracts, 1, 1, p. 174.

- STEIN G, CHAVET J, LAPIERRE H, FABBRI O, **MICHARD A**, FOUILLAC AM (1989). Diversity of the miocene magmatism of southwest Japan : evidence for an island-arc-island-arc collision. *Fifth Meeting of European Union of Geosciences (EUG V), 20-23 mars, Strasbourg*. Terra Abstracts, 1, 1, p. 273.
- STUSSI JM** (1989). Granite magma chemistry and related mineralizations in the European Variscan. *Fifth Meeting of European Union of Geosciences (EUG V), 20-23 mars, Strasbourg*. Terra Abstracts, 1, 1, p.127.
- TAIEB R, SHEPPARD SMF** (1989). Evidence for recent mobility of formation waters associated with oil from Mahakam Delta, Bornéo, Indonesia. *Fifth Meeting of European Union of Geosciences (EUG V), 20-23 mars, Strasbourg*. Terra Abstracts, 1, 1, p. 405.
- WEISBROD A.** (1989). Fluid immiscibility in chloride solutions buffered by Ca and Mn tungstates; comparison with alkali chloride solutions. *Fifth Meeting of European Union of Geosciences (EUG V), 20-23 mars, Strasbourg*. Terra Abstracts, 1.1, p. 315-316.
- WEISBROD A, ZHANG YI GANG** One and two phase equilibria in alkali chloride aqueous solutions, using synthetic fluid inclusions. *10th international meeting of European Current Research on fluid inclusion. European Current Research on Fluid Inclusions (ECROFI X), 6-8 avril, London*. Abstracts, p. 91.
- WORDEN RH, WALKER FDL, PARSONS I, BROWN WL** (1989). Micropores and perthite coarsening. *Fifth Meeting of European Union of Geosciences (EUG V), 20-23 mars, Strasbourg*. Terra Abstracts 1, 1, 290-291
- WORDEN RH, WALKER FDL, PARSONS I, ELPHICK SC, BROWN WL** (1989). Micropores, perthite coarsening and oxygen exchange in alkali feldspars. *American Geophysical Union Fall Meeting, San Francisco, Dec 4-8*. EOS 70, 43, 1406.
- ZIMMERMANN JL, SAUPÉ F, ONGEN S, ANIL M** (1989). Oligocene-Miocene K-Ar ages of the quartz-monzonite stocks from Nevruz-Cakiroba (Yenice, Canakkale, N.W. Turkey). *Fifth Meeting of European Union of Geosciences (EUG V), 20-23 mars, Strasbourg*. Terra Abstracts, 1, 1, 354-355.

## *Résumés publiés de communications 1990*

- ABOUCAMI W, BOHER M, ALBAREDE F, BARBEY P, MICHARD A** (1990). Birrimian geodynamics. *15ème Colloque Géologie Africaine, Nancy : Centre international pour la formation et les échanges géologiques (CIFEG), n° 20*, p.9.
- ABOUCAMI W, BOHER M, ALBAREDE F, BARBEY P, MICHARD A** (1990). 2.1 Ga mafic magmatism in West Africa : an early stage of crustal accretion. *7th International Conference on Geochronology, Cosmochronology and Isotope Geology (ICOG 7), Canberra : Geological Society of Australia*. Abstracts, n° 27, p. 1.
- AISSA D.E, CHEILLETZ A, MARIGNAC C** (1990). Principaux caractères métamorphiques des gneiss et des skarns associés dans la partie centrale du massif de l'Edough (NE Constantinois). *7ème Séminaire des Sciences de la Terre, Constantine*, p. 51.
- ALBAREDE F, ABOUCAMI W, BOHER M, MICHARD A, MILESI J.P, ARNDT NT, LOWE D** (1990). Crustal growth in West Africa at 2.1 Ga. *Western Pacific Geophysics Meeting*. EOS, 71, 28, p. 969.
- ALIBERT C, McCULLOCH MT** (1990). REE and Nd isotope data in BIF from Hamersley, Western Australia : implications for the composition of early Proterozoic seawater. *7th International Conference on Geochronology, Cosmochronology and Isotope Geology (ICOG 7), Canberra : Geological Society of Australia*. Abstracts, n° 27, p. 2.
- ALIBERT C, McCULLOCH MT** (1990). The Hamersley Basin revisited : The Sm-Nd isotopic systematics of banded iron-formations and associated shales and implications for the composition of early Proterozoic seawater. *Third International Archean Symposium, Perth*, Extended Abstracts, p. 327-328.
- ARNOLD M, MOREAU V, MORIN G** (1990). Synthèse de calcédoine à température ambiante. *13ème Réunion des Sciences de la Terre, Grenoble : Société Géologique de France*, p. 4.
- ARNOLD M, ALIBERT C, JACQUIER B** (1990).  $d^{34}S$  in Hamersley BIF W. Australia; the role of bacterial activity and thiosulfates as an alternative to the hydrothermal model. *7th International Conference on Geochronology, Cosmochronology and Isotope Geology (ICOG 7), Canberra : Geological Society of Australia*. Abstracts, n° 27, p. 4.
- BERTRAND JM** (1990). Contrast between Early Proterozoic accretional and collisional behaviour inside and outside of the cratons in NW Africa and South America. *15th Colloque de Géologie Africaine, Nancy : Centre international pour la formation et les échanges géologiques, (CIFEG)*. Abstracts, n° 20, p.167.

- BERTRAND JM** (1990). A review of Early Proterozoic formations in the Hoggar shield (Algeria, Mali, Niger); correlations with Nigeria and Brazil. *36e Congresso Brasileiro de Geologia, Natal*. Abstracts, p. 303
- BOHER M, ABOUCHAMI W, ALBAREDE F, BARBEY P, MICHARD A, MILESI JP** (1990). Crustal growth at 2.1 Ga. *7th International Conference on Geochronology, Cosmochronology and Isotope Geology (ICOG 7), Canberra : Geological Society of Australia*. Abstracts, n° 27, p. 11.
- BOHER M, ABOUCHAMI W, ALBAREDE F, BARBEY P, MICHARD A** (1990). Systématique Sm-Nd et Rb-Sr des granitoïdes et des sédiments birrimiens au contact du craton archéen de Man en Guinée. *15ème Colloque de Géologie Africaine, Nancy : Centre international pour la formation et les échanges géologiques (CIFEG)*, n° 20, p. 11.
- BOHER M, ALBAREDE F, BARBEY P, MICHARD A** (1990). Croissance crustale à 2.1 Ga: les granitoïdes du Liptako (Niger). *13ème Réunion des Sciences de la Terre, Grenoble : Société Géologique de France*, p. 19.
- BOHER M, DESCHAMPS M, ROCCI G, ABOUCHAMI W, ALBAREDE F, MICHARD A** (1990). Croissance crustale au Protérozoïque inférieur dans la Dorsale Reguibat (Mauritanie): données géologiques et isotopiques. *15ème Colloque de Géologie Africaine, Nancy : Centre international pour la formation et les échanges géologiques (CIFEG)*, p. 12.
- BOULLIER AM, FRANCE-LANORD C, DUBESSY J** (1990). Linked fluid and tectonic evolution in the High Himalaya mountains (Nepal). *Third biennial Pan-American Conference on Research on Fluid Inclusions, Toronto, Ontario, (PACROFI III)*, 3, p. 20.
- BOULLIER AM, FRANCE-LANORD C, DUBESSY J** (1990). Annular Fluid Inclusions as Indicators for a Pressure Increase in the High Himalaya Mountains (Nepal). *American Geophysical Union Spring Meeting, May 29-June 1, Baltimore*. EOS, 71, p. 643.
- BOULLIER AM, ROBERT F** (1990). Fluid dynamics in gold-quartz veins in SE Abitibi Subprovince, Canada. *Geological Society of America, Annual Meeting, Dallas*, Abstracts with Programs, A94.
- BOULLIER AM, ROBERT F** (1990). Fluid circulation in gold-quartz veins in the S.E. Abitibi subprovince, Canada. *Third biennial Pan-American Conference on Research on Fluid Inclusions, Toronto, Ontario, (PACROFI III)*, 3, p. 21.
- BOULLIER AM, ROBERT F** (1990). Fluid dynamics in gold-quartz veins in SE Abitibi Subprovince, Canada: a combined microstructural and fluid inclusion approach. *8th International Association on the Genesis of Ore Deposits Symposium (IAGOD) Ottawa, Ontario*. Program with Abstracts, A1.
- BOULLIER AM, ROBERT F** (1990). Textures and fluid inclusion planes in gold-quartz veins in SE Abitibi Subprovince, Canada. *Nuna Research Conference on Greenstone gold and crustal evolution, Val d'Or, Québec*, p. 135.
- BROWN WL** (1990). Cristallisation fractionnée des roches éruptives et zonation desfeldspaths. *Journées de Minéralogie et de Cristallographie, Rennes, 4-8 septembre*. Bulletin de la Société Française de Minéralogie et de Cristallographie, p.125
- BROWN WL, OHNENSTETTER D** (1990). Textures de croissance et de surcroissance et variations des compositions des minéraux dans différentes boninites. *Journées de Minéralogie et de Cristallographie, Rennes, 4-8 septembre*. Bulletin de la Société Française de Minéralogie et de Cristallographie, p. 125
- CHAROY B, MONTEL JM, PICHAVANT M** (1990). La part du magmatisme et du "restitisme" sur l' exemple du batholite peralumineux de Darongshan (Chine S). *Journées de Minéralogie et Cristallographie, Rennes, 4-8 septembre*. Bulletin de la Société Française de Minéralogie et de Cristallographie, p.127.
- CHAROY B, NORONHA F, PAIVA-BASTOS C, RIBEIRO ML** (1990). A cupola granítica da Argemela. Exemplo de un granito sub-volcanico rico em metais raros. *XIème Reuniao de Geologia do Oeste Peninsular, Lisbonne, Portugal*.
- CHAUSSIDON M, ALBAREDE F** (1990). An ion microprobe study of secular boron isotope variations in tourmalines. *7th International Conference on Geochronology, Cosmochronology and Isotope Geology (ICOG 7), Canberra : Geological Society of Australia*. Abstracts, n° 27, p. 18.
- CHAUSSIDON M, LORAND JP** (1990). Sulphur isotope composition of orogenic spinel lherzolite massifs from Ariège, North-Eastern Pyrenees, France : an ion microprobe study. *Terra Abstracts*, 2, 128-129.
- CHAUSSIDON M** (1990). Analyse in situ d'isotopes stables légers (D/H,  $^{11}\text{B}/^{10}\text{B}$ ,  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ,  $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$ ) par sonde ionique : exemples du soufre et du bore. *Journées de Minéralogie et de Cristallographie, Rennes, 4-8 septembre*. Bulletin de la Société Française de Minéralogie et de Cristallographie, 2/3, p. 127.

- CHEILLETZ A** (1990). Stratigraphie  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  et géochimie pixepige des coulées ignimbritiques de Macusani. *Journées de Minéralogie et de Cristallographie, Rennes, 4-8 septembre*. Bulletin de Liaison de la Société Française de Minéralogie et de Cristallographie, 2/3, 127-128.
- CHEILLETZ A**, CLARK AH, FARRAR E, ARROYO G, PAUCA, **PICHAVANT M** (1990). Stratigraphy and  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  Geochronology of the Macusani ignimbrite field : chronometer of the miocene geodynamic evolution of the Andes of se Peru. *International Symposium on Andean Geodynamics, Grenoble, France (15-17 May 1990)*. Abstracts, p. 341-344.
- COTTIN JY**, GUIRAUD M, **LETERRIER J**, LORAND JP (1990). Nouvelles contraintes géodynamiques tardi Pan-Africaines ( Laoui, Sud du Hoggar Central) : Relations intrusions stratifiées-granites-métamorphisme. *15ème Colloque de Géologie Africaine, Nancy : Centre international pour la formation et les échanges géologiques (CIFEG)*, p. 255.
- DAGALLIER G**, **MACAUDIERE J**, MARINI F, OUGUIR H (1990). Les contrôles des minéralisations Ag-Hg d'lmiter (Anti-Atlas Maroc). *13ème Réunion des Sciences de la Terre , Grenoble : Société Géologique de France*, p. 36.
- DALL'AGNOL R**, **PICHAVANT M** , **CHAMPENOIS M** (1990). Les oxydes de Fe et de Ti et l'évolution magmatique : l'exemple des granites anorogéniques d'Amazonie orientale. *Journées de Minéralogie et de Cristallographie, Rennes, 4-8 septembre*. Bulletin de liaison de la Société Française de Minéralogie et de Cristallographie, 2/3, p.129.
- DALL'AGNOL R**, **PICHAVANT M**, **CHAMPENOIS M** (1990). Minerais opacos e evolução magmatica : o exemplo dos granitos anarogenicos da amazona oriental.(1990). *36e Congresso Brasileiro de Geologia : Sociedade Brasileira de Geologia Nucleo Nordeste*. Boletim de resumos, p. 166.
- DELOULE E.**, **ALBAREDE F**, **SHEPPARD SMF** (1990). D/H analysis of amphiboles from mantle lherzolite xenoliths by ion probe. *Geol. Soc. Austral . 7th International Conference on Geochronology, Cosmochronology and Isotope Geology (ICOG 7), Canberra : Geological Society of Australia*. Abstracts, n° 27, p. 26.
- DELOULE E** (1990). L'analyse isotopique de l'hydrogène a la sond ionique : mesure d'amphiboles de xenolithes mantelliques. *Journées de Minéralogie et de Cristallographie, Rennes, 4-8 septembre*. Bulletin de Liaison de la Société Française de Minéralogie et de Cristallographie, 2/3, p. 130.
- DESMONS J**, RADELLI L (1990). Essai de corrélation tectonique des Alpes W aux Alpes : résumé. *13e Réunion des Sciences de la Terre, Grenoble*, p. 41.
- DESMONS J** (1990). Metabasites in the basement units of the Western Alps. *Min. Pet. 90 Symp., Neukirchen am Grossvenediger, Mitt. Öster. Miner. Ges., 135, 18-19* .
- DESMONS J** (1990). Report on the Subcommission for metamorphic maps. *Comm. Geol. Map World Bull. , 40, 144-145*.
- DIA A**, **ALBAREDE F**, **ROCCI G**, **BASSOT JP**, **DIA O**, **DIOH E** (1990). Pétrologie et géochimie du volcanisme du Protérozoïque précoce de la série de Mako (Est du Sénégal): caractéristiques d'un arc intraocéanique; un stade de l'accrétion crustale. *15ème Colloque de Géologie Africaine, Nancy : Centre international pour la formation et les échanges géologiques (CIFEG)*, n° 20, p. 17.
- DUPUIS D**, **BARBEY P**, **PONS J**, **PROST A** (1990). Relations plutonisme/méta-morphisme dans les formations birrimiennes (2.1 Ga) de l'Afrique de l'Ouest: l'exemple du Liptako (Niger). *15ème Colloque de Géologie Africaine, Nancy : Centre international pour la formation et les échanges géologiques (CIFEG)*, n°20, p. 20.
- ERNEVEIN M**, **DELALOYE M** , **DESMONS J** (1990). New constraints on geochemistry and ages of the Peri-Arabian Crescent (from Troodos to Oman). *Symposium on Ophiolite genesis and evolution of oceanic lithosphere, Muscat, Oman*. Abstracts, p. 1.
- FODEN J**, **TURNER S**, **MICHARD A** (1990). Proterozoic lithospheric enrichment and its profond influence on the isotopic composition of Phanerozoic magmas. *7th International Conference on Geochronology, Cosmochronology and Isotope Geology (ICOG 7), Canberra : Geological Society of Australia*. Abstracts, p. 34.
- FRANCE-LANORD C**, **MICHARD A** , **BOUQUILLON A** , **TIERCELIN J-J** (1990). Isotopic chemistry and sedimentology of distal Bengal Fan sediments. *7th International Conference on Geochronology, Cosmochronology and Isotope Geology, (ICOG 7), Canberra : Geological Society of Australia*. Abstracts, p. 35 .
- FRANCE-LANORD C**, **PICHAVANT M** , **SHEPPARD SMF** (1990)  $\delta\text{D}$  et teneur en eau des verres de Macusani (SE Pérou) : dégazage et fractionnement eau-magma. *Journées de Minéralogie et de Cristallographie, Rennes, 4-8 septembre*. Bulletin de liaison de la Société Française de Minéralogie et de Cristallographie, 2-3, p. 132.



- FRANCE-LANORD C, KARPOFF AM, MICHARD A, AND THE LEG 129 SHIPBOARD SCIENTIFIC PARTY** (1990). Diagenetic control on Interstitial water chemistry in volcanoclastic sediments of NW Pacific: ODP LEG 129. *European Union of Geosciences (EUG VI)*. Terra Abstracts, 3, p. 466.
- FRANCE-LANORD C, MICHARD A** (1990). Isotopic Chemistry and Sedimentology of distal Bengal Fan sediments. *7th International Conference on Geochronology, Cosmochronology and Isotope Geology, (ICOG 7), Canberra : Geological Society of Australia*. Abstracts, n° 27, p. 35.
- GASQUET D, LETERRIER J** (1990). Le massif du Tichka, un témoin de l'évolution tardi-Hercynienne de la croûte continentale du Haut Atlas Occidental marocain. *15ème Colloque Géologie Africaine, Nancy : Centre international pour la formation et les échanges géologiques (CIFEG)*, p. 372.
- GIULIANI G, FERNANDES PCA** (1990). Fluid inclusions associated with the Proterozoic molybdenite-bearing hyperferruginous Pedra d'Água granite (Bahia State, Brazil). *8th International Association on the Genesis of Ore Deposits Symposium (IAGOD), Ottawa*. Abstracts, A48.
- GIULIANI G, CHEILLETZ A, RODRIGUEZ CT** (1990). New metallogenetic data on the emerald deposits of Colombia. *8th International Association on the Genesis of Ore Deposits Symposium (IAGOD), Ottawa*. Abstracts, A185-186.
- GIULIANI G, CHEILLETZ A, RODRIGUEZ CT** (1990). Emerald deposits from Colombia : chemical composition of fluid inclusions and origin. *8th International Association on the Genesis of Ore Deposits Symposium (IAGOD), Ottawa*. Abstracts, A48.
- GIULIANI G, CHEILLETZ A, RODRIGUEZ CT** (1990). Gênese das Jazidas de Esmeralda da Colombia e do Brasil. *36º Congresso Brasileiro de Geologia, Natal*. Abstracts, p. 130.
- GIULIANI G** (1990) Classification of emerald deposits of Brazil. *8th International Association on the Genesis of Ore Deposits Symposium (IAGOD), Ottawa*. Abstracts, A120.
- GIULIANI G, ARAUJO OF** (1990). Padrão de terras raras dos granitoides de Arturlândia e Quebra Rabicho (região de Pirenópolis-Goianésia, Goiás). Relações com a Província estanífera de Goiás. *36º Congresso Brasileiro de Geologia, Natal*, p.115.
- HOLTZ F, BARBEY P.** (1990). Compositions des liquides silicatés peralumineux : approche géochimique et expérimentale: implications pétrogénétiques. *Journées de Minéralogie et de Cristallographie, Rennes*. Bulletin de Liaison de la Société Française de Minéralogie et de Cristallographie, 2/3, p. 136
- HOLTZ F, JOHANNES W, PICHAVANT M** (1990). Phase relations in the Qz-Ab-Or system-the individual effect of pressure H<sub>2</sub>O, and excess Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Terra Abstracts, 2, p. 16.
- HUANG Y, MALLET JL** (1990). Conversion of grid 3D into T-surfaces. *Freiburger Geowissenschaftliche Beiträge. Three dimensional Computer Graphics in Modeling Geologic Structures and simulating Geologic Processes, Freiburg, October 7-11, S.41*.
- IKENNE M, STUSSI J.M** (1990). Les filons basiques précambriens du Bas Draa (Anti-Atlas occidental, Maroc). *15º Colloque Géologie Africaine, Nancy, Centre international pour la formation et les échanges géologiques (CIFEG)*, p. 265.
- JAMBON A, ZIMMERMANN JL** (1990). Water in oceanic basalt glasses: evidence for dehydration of recycled crust? *Goldschmidt conference, 2-4/5*, p. 56.
- LAPIERRE H, ORTIZ E, ABOUCHAMI W, COULON C, MONOD O** (1990). Une coupe complète dans un arc intraocéanique: la séquence magmatique Crétacé inférieur de Guanajato (Mexique Central) (1990). *13ème Réunion des Sciences de la Terre, Grenoble : Société Géologique de France*, p. 75.
- LETERRIER J, SA EF J, MACEDO MHF, AMARO VE** (1990). Magmatic and geodynamic signature of the Brasiliano cycle plutonism in the Serido belt, NE Brazil. *36º Congresso Brasileiro de Geologia, Natal*. Abstracts, p.167.
- LIBOUREL G, SEBALD A, MERVIN L** (1990). Etude spectroscopique (27Al et 29Si MAS NMR) de verres aluminosilicatés le long de la courbe univariante  $l=fo+an+di$  dans le système CMAS à 1 at. Implications sur la structure des liquides et conséquences pétrologiques. *13º Réunion des Sciences de la Terre, Grenoble*, p. 81.
- MARINI F, OUGUIR H, DAGALLIER G, MACAUDIERE J, QADROUCI A, LEISTEL J.M** (1990). Environnement sédimentaire et contexte géodynamique précambrien du gisement argentifère d'Imiter Anti Atlas oriental, Maroc. *15ème Colloque Géologie Africaine, Nancy : Centre international pour la formation et les échanges géologiques (CIFEG)*, p. 353.
- MARTIN H, SA EF J, MEDEIROS H de, MACEDO MHF, LETERRIER J** (1990). Transamazonian augen gneisses SE of Açu, Serido belt, NE Brazil. *36º Congresso Brasileiro de Geologia, Natal, Abstracts*, p.180

- MICHOT L, YVON J, CASES JM, **ZIMMERMANN JL**, BAEZA R (1990). Apparente hydrophobie du talc et affinité de l'azote pour ce minéral. *Journées de Minéralogie et de Cristallographie, Rennes, septembre 1990*, Bulletin de liaison de la Société Française de Minéralogie et de Cristallographie, 2-3, p. 142.
- MICHOT L, YVON J, CASES JM, **ZIMMERMANN JL**, BAEZA R (1990). Affinity of nitrogen for the surface of talc, relation to the natural hydrophobicity of this mineral. *21st annual meeting of Fine Particles Society, San Diego*.
- OHNENSTETTER D, **BROWN WL** (1990). Variations des compositions des verres inter Réunion des Sciences de la Terre et inclus dans les minéraux des boninites. *Journées de Minéralogie et de Cristallographie, Rennes, septembre 1990*. Bulletin de liaison de la Société Française de Minéralogie et de Cristallographie, 2-3, 144-145
- PAILLAT O**, ELPHICK SC, **DELOULE E**, **FRANCE-LANORD C**, **BROWN WL** (1990). Solubilité de l'eau dans les liquides silicatés de composition  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8\text{-CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$  à 1200°C et à 1, 2 et 5 kb. *Journées de Minéralogie et de Cristallographie, Rennes, septembre 1990*. Bulletin de liaison de la Société Française de Minéralogie et de Cristallographie, 2-3, 145
- PICHAVANT M** (1990). Phase equilibria in granitic systems : implications for  $\text{H}_2\text{O}$  speciation in aluminosilicate melts. *Terra Abstracts*, 2, p. 28.
- PICHAVANT M**, HOLTZ F, **SCAILLET B** (1990). Fluids in leucogranitic melts. *Goldschmidt Conference, Baltimore. Abstracts*, p. 74.
- PLOQUIN A**, NIONS S (1990). Sedba, un projet de base de données internationale dévolue aux sédiments. *13è Réunion des sciences de la Terre, Grenoble*, p. 103.
- PFLUMIO C, **MICHARD A**, KARPOFF AM, WHITECHURCH H, JUTEAU T (1990). Petrology and geochemistry of the extrusive sequence (Salahi block, northern Oman) : implication for the origin and evolution of the Semail ophiolite. *Unesco, Oman, 1990*.
- RADELLI L, **DESMONS J** (1990). Kinematics of the Western Alps : abstract. *Ophioliti*, 15, p. 197.
- SA EF J.**, **LETERRIER J** (1990). Significado geodinamico do plutonismo Pre-Brasiliiano na Provincia Borborema. *36è Congresso Brasileiro de Geologia, Natal, Abstracts*, p. 299.
- SA JM**, **LETERRIER J**, **BERTRAND JM** (1990). Petrologia e evoluçao geodinamica do faixa Oros: evidencias de una bacia tardi-Transamazonica. *36e Congresso de Geologia, Natal, RN, Abstracts*, p. 300.
- SHEPPARD SMF**, **TAIEB R** (1990). Unscrambling shales: the oxygen isotope mineralogical approach. *7th International Conference on Geochronology, Cosmochronology and Isotope Geology (ICOG 7), Canberra : Geological Society of Australia. Abstracts*, n° 27, p. 91
- SOBA D**, **MICHARD A**, **NORMAN DI**, **TOTEU SF**, **PENAYE J**, **NGAKO V**, **NZENTI JP**, **DAUTEL D** (1990). Données géochronologique nouvelles (Rb-Sr, U-Pb, Sm-Nd) sur la zone mobile panafricaine de l'Est Cameroun : âge Protérozoïque supérieur de la série de LoM. *15e Colloque de Géologie Africaine, Nancy, Centre international pour la formation et les échanges géologiques (CIFEG)*, p. 288.
- WEISBROD A** (1990). A new method of determination of equilibrium constants in aqueous solutions offered by mineral associations, in complex systems. *3rd International Symposium on experimental Mineralogy, Petrology and Geochemistry, Edinburgh, UK. Terra Abstracts*, 2, 102.
- ZIMMERMANN JL**, **GIULIANI G** (1990). Comparaison des âges K-Ar des granites et des métasomatites de Campo Formoso et de Carnaíba (Bahia, Brésil). *13ème Réunion des sciences de la Terre, Grenoble : Société Géologique de France*, p. 127.
- ZIMMERMANN JL**, **STEIN G.**, **LAPIERRE H.**, **VIDAL R.**, **CAMPA MF**, **MONOD O.** - Données géochronologiques nouvelles sur les granites Laramiens du Centre et de l'Ouest du Mexique (Guerrero et Guanajuato). *13ème Réunion des Sciences de la Terre, Grenoble : Société Géologique de France*, p. 127.
- ZOUHAIR M**, **MARIGNAC C** (1990). Evolution des systèmes hydrothermaux stériles du Ment (Maroc Central). *13ème Réunion des Sciences de la Terre, Grenoble : Société Géologique de France*, p. 128.

## Thèses 1989

**BROUAND M.** - *Pétrogenèse des migmatites de la Dalle du Tibet (Himalaya du Népal)*. Thèse de l'I.N.P.L., Nancy, 224 p. (soutenue en juin 1989).

- Géosciences et Matières premières; Dir. : P. Barbey

**CHAMPENOIS Michel.** - *Apport de l'analyse interactive d'images à l'étude de l'évolution structurale de zones déformées : application à une zone de cisaillement pan-africaine de l'Adrar des Iforas (Mali) et aux orthogneiss du massif du Grand Paradis (Alpes, Italie)*. Thèse de l'I.N.P.L., Nancy, 210 p., (soutenue le 22 juin 1989).

- Géosciences et Matières premières; Dir. : J.M.Bertrand

**GRANDJEAN Patricia.** - *Les terres rares et la composition isotopique du néodyme dans les phosphates biogènes : traceurs des processus paléo-océanographiques et sédimentaires*. Thèse de l'I.N.P.L., Nancy, 318 p., (soutenue le 26 septembre 1989).

- Géosciences et Matières premières; Dir. F.Albarède

**MEZGHACHE Hamid.** - *Cartographie automatique et interprétation géostatistique d'une campagne de prospection géochimique sur sol. Application à la zone mercurielle nord numidique (Algérie nord-est)*. Thèse de l'I.N.P.L., Nancy, 230p., (soutenue le 8 septembre 1989).

- Géosciences et Matières premières; Dir. F.Saupé

**MORTAJI Abdelaziz.** - *La boutonnière précambrienne de Tagragra d'Akka (Anti-Atlas occidental, Maroc). Pétrologie et géochimie des granitoïdes, filons basiques et métamorphites associées*. Thèse de l'Université de Nancy I, 210 p., soutenue en décembre 1989.

- Géochimie; Dir. : J.M. Stussi

**RABENANDRASANA Samuel.** - *Minéralisations filoniennes à cuivre-bismuth-gangue de sidérite-anhydrite silicifiée et "karstiques" à plomb-zinc-gangue de fluorine-barytine, en bordure du fossé rhénan (région de Colmar-Ribeauvillé)*. Thèse de l'I.N.P.L., Nancy, (soutenue en février 1989).

- Métallogénie; Dir. : M.Arnold

**ROMANO Antonio Wilson.** - *Evolution tectonique de la région nord-ouest du quadrilatère ferrière - Minas Gerais - Brésil (géochronologie du socle - Aspects géochimiques et pétrographiques des supergroupes Rio das Velhas et Minas)*. Thèse de l'Université de Nancy I, 270 p., (soutenue le 12 octobre 1989).

- Dir. J.M.Bertrand

## DEA 1989

**DUBOIS Michel.** - Détermination expérimentale des solvus liquide-vapeur dans les systèmes H<sub>2</sub>O-LiCl, H<sub>2</sub>O-KCl, H<sub>2</sub>O-CsCl et des isochores dans le système H<sub>2</sub>O-RbCl par la méthode des inclusions fluides synthétiques. 50 p., 21 juillet 1989.

- Matières premières, Pétrologie, Géochimie; Dir. : A.Weisbrod

**PAILLAT Olivier.** - Etude des variations de teneurs en Terres Rares dans les sites coronitiques des méta-anorthosites de South-Harris (Ecosse) : par analyse à la sonde ionique Cameca I.M.S. 3F., 35 p., octobre 1989.

- Géochimie; Dir. : J. Macaudière

**ZOUHAIR Mohamed.** - Caractérisation microthermométrique des fluides hydrothermaux de la Colline d'Ez-Zrari (massif du Ment, Maroc central), 93 p., 7 septembre 1989.

- Matières premières, Pétrologie, Géochimie; Dir. : A.Weisbrod

## Thèses 1990

**ABOUCAMI (Wafa)**, *Un événement volcanique majeur vers 2.1 Ga en Afrique de l'Ouest : Un stade précoce d'accrétion crustale*. Thèse de l'Université de Nancy I (soutenue en mars 1990).

- Géochimie, Pétrologie. Dir. : A. Michard.

**ALECRIM DUARTE**, *Analyse multivariable et cartographie automatique en prospection géochimique stratégique : sédiments de ruisseau de cristiano otoni, MG (Brésil)*. Thèse de l'I.N.P.L., Nancy, (soutenue en juin 1990)

- Géosciences et Matières Premières. Dir. : J.C.Samana.

**FOURNIER (Frédérique)**, *Application de l'analyse des données à l'exploitation pétrolière. Caractérisation des faciès sismiques par analyses statistiques multivariées*. Thèse I.N.P.L., Nancy (soutenue le 6 juillet 1990).

- Informatique. Dir. : J.J.Royer.

**GOGHROD (Hassan)**, *Le "Méga Ring Dyke" du Meugueur-Meugeur (Aïr, Niger) : implications sur la genèse et l'évolution des complexes annulaires à suites anorthositiques*. Thèse de l'université de Nancy I (soutenue le 9 juillet 1990)

- Pétrologie, Géochimie. Dir. : W.L.Brown.

**HUANG (Yungao)**, *Modélisation et manipulation des surfaces triangulées*. Thèse de l'I.N.P.L., Nancy (soutenue en octobre 1990) - Informatique. Dir. : J.L.Mallet.

**OHENSTETTER (Daniel)**, *Minéralisations associées aux complexes mafiques-ultramafiques en domaine océanique et continental*. Thèse de l'université Nancy I (soutenue le 26 avril 1990)

- Géosciences et Matières Premières;

**SCAILLET (Bruno)**, *Structure et géochimie d'un leucogranite en régime de collision continentale : l'exemple du massif de Gangotri-Badrinath (Himalaya du Garhwal)*. Thèse de l'I.N.P.L., Nancy (soutenue en février 1990)

- Pétrologie, Géochimie. Dir. : P.Lefort.

**SIMOS (Eugène)**, *Géologie et géochimie des indices aurifères de la région de Stanos.Grèce septentrionale*. Thèse de l'I.N.P.L., Nancy, (soutenue en mai 1990).

- Métallogénie. Dir. : S.M.F. Sheppard, A.M.Boullier.

**TAIEB (Raouf)**, *Les isotopes de l'hydrogène, du carbone et de l'oxygène dans les sédiments argileux et les eaux de formation*. Thèse de l'I.N.P.L., Nancy, (soutenue en septembre 1990).

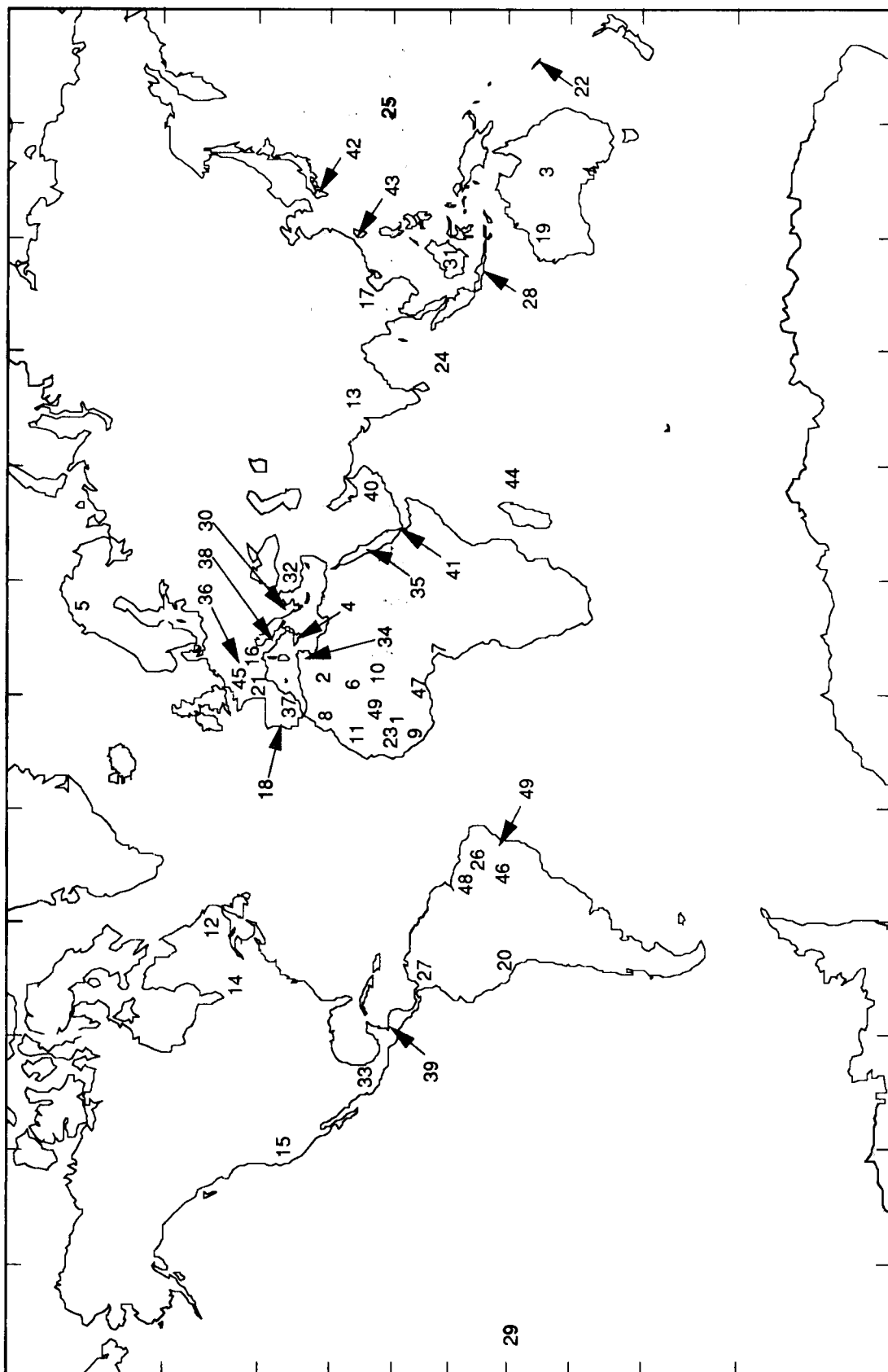
- Géosciences et Matières Premières. Dir. : S.M.F.Sheppard.

## DEA 1990

**ALIKOUS (Saïda)**, *Reconstruction de l'évolution P.T.X des fluides impliqués dans la formation des filons de quartz à schalite du gisement de Bannecopardo (Province de Salamanque, Espagne) à partir de l'étude des inclusions fluides*. (soutenu le 20 octobre 1990).

- Matières Premières, pétrologie, géochimie; F.Albarede.

# CARTE DE LOCALISATION DES TRAVAUX DE RECHERCHES PUBLIÉS



ABOUCHAMI W.	1-9-11-39-47
AISSA M.	2-34
ALBAREDE F.	1-9-10-11-15-23-29-44
ALECRIM-DUARTE	46
ALLE P.	4
ALIBERT C.	3
ARNOLD M.	3
BARBEY P.	5-6-7-9-10-13
BERTRAND J.M.	6-7-9-10-12-26-49
BLAMART D.	8
BOHER M.	1-9-10-11-47
BOULLIER A.M.	6-13-14-49
BROUAND M.	13
BROUXEL M.	15
BROWN W.L.	7-10
CHAMPENOIS M.	26-49
CHAROY B.	6-17-18-19
CHAUSSIDON M.	21
CHEILLETZ A.	2-6-8-16-20-27-46
DALL'AGNOL R.	26
DANIS M.	35-45
DAUTEL D.	6-7
DELOULE E.	14
DESMONS J.	16-40
FRANCE-LANORD C.	13-20-24-25
GIULIANI G.	8-27-46-48-49
GOGHROD A.	10
HOLTZ F.	18
JARDIM DE SA E.F.	26
LE FORT P.	13
LETERRIER J.	6-8-26-28-43-46
MACAUDIERE J.	7-8
MARIGNAC C.	2-8-21-34-38
MEZGACHE H.	34
MICHARD A.	1-7-9-10-11-16-24-29-40-41-42
MORTAJI A.	8
PICHAVANT M.	17-26
PLOQUIN A.	21-45
RABENDRANASANA S.	36
RAMBOZ C.	35
ROBERT F.	14
ROMANO A.W.	46
ROYER J.J.	34
SAUPE. F.	8-34-36
SCAILLET B.	13
SHEPPARD S.M.F.	8-20-31
SIMOS E.	30
STUSSI J.M.	8
TAIEB R.	31
WEISBROD A.	8
ZIMMERMANN J.L.	8-13-15-32-33-39-49
ZOUHAIR M.	8

# ANNEXE

	page
- Brevets	165
- Titres des résumés non publiés présentés à des réunions nationales et internationales	167
- Participation à des Congrès, Stages et Conférences	169
- Missions majeures de terrain	172
- Séminaires de Géologie du CRPG	173
- Visiteurs	176

## *Brevets d'invention*

Les logiciels développés par l'Equipe Informatique sont la propriété du CNRS et 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).

A la date du 1er Janvier 1988, l'ANVAR nous a informé d'un bénéfice cumulé de 1.9MF ce qui permet de considérer comme un succès la valorisation de cette recherche.

Ces Logiciels sont également diffusés à titre gracieux (sur demande) à de nombreux organismes de recherche (CNRS, INRA) ou universitaires ce qui, du point de vue budgétaire, correspond à une économie importante pour les finances publiques.

Parmi les logiciels diffusés, on peut citer :

CARTOLAB (depuis 1976) (15000 lignes de programmes)

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.)  
- I.N.R.A. Institut National de Recherches en Agronomie

Universités : - Nancy  
- Montpellier  
- Marseille  
- Toulouse  
- Bordeaux  
- Grenoble  
- Strasbourg  
- Rennes

Ecoles : - Ecole de Géologie de Nancy  
- Ecole des Mines de Paris  
- Ecole Polytechnique

GEOL (depuis 1986) ( 50000 lignes de programmes)

Logiciel de cartographie automatique et d'analyse des données utilisé par :



- Industries :
- C.I.S.I.
  - PETROSYSTEME            logiciels basés sur Geol
  - SNEAP                    logiciels basés sur Geol
  - CFP                        logiciels basés sur Geol
  - E.D.F.
  - Mines de Potasses d'Alsace
  - Charbonnage du Bassin d'Aquitaine
  - SIROMINES (Australie)
  - GEOVARIANCE
  - IFREMER
  - Power Nuclear Plan Corp (Japon)
  - BOSKALIS (Pays Bas)
- Université :
- Stanford (Californie)
  - Institut Polytechnique de Zurich
- Ecoles :
- Ecole de Géologie de Nancy
  - Ecole des Mines de Paris
  - Ecole des Mines de Nancy
  - Ecole des Mines d'Alès

*Titres des résumés non publiés présentés à des  
réunions nationales et internationales*

1989

- BOHER M, ALBAREDE F, BARBEY P, MICHARD A** (1989). Croissance crustale à 2.1 Ga en Afrique de l'Ouest: les granitoïdes du Niger occidental., Géotraverse Guinée, UNESCO-PICG 215, Conakry.
- BOHER M, ALBAREDE F, BARBEY P, MICHARD A** (1989). Croissance crustale à 2.1 Ga en Afrique de l'Ouest: les granitoïdes du Niger occidental. Géotraverse Guinée, UNESCO-PICG 215, Conakry
- BOULLIER AM, PECHER A, FRANCE-LANORD C** (1989). Fluid inclusions in the M.C.T. pile in Central Nepal. Rheology Meeting, Leeds (U.K.).
- CHAMPENOIS M, ITARD Y, BOULLIER AM, CHEILLETZ A, RAMBOZ C** (1989). Interactive image analysis system : contribution to structural analysis, fluid inclusion studies and petrography. Ninth annual meeting London. University of Western Ontario
- CHAROY B, BERTRAND JM, MOULAHOU M, BOUABSA L, CHEILLETZ A, BOULLIER AM** (1989). Autopsy of an orogeny through magmatic evolution: the Pan-African belt in the Tamanrasset area, Central Hoggar, Algeria. International Congress, Washington.
- CHEILLETZ A** (1989). Bilan de l'étude métallogénique du district polymétallique (W-Pb-Zn-Ag) du Djebel Aouam, Maroc central, durant la période 1982-1988. Résumé, Colloq. de Géol. franco-marocain, Strasbourg (Mai 1989)
- CHAMPENOIS M, ITARD Y, BOULLIER AM, CHEILLETZ A, RAMBOZ C** (1989). Interactive image analysis system : contribution to structural analysis, fluid inclusion studies and petrography. Abstr. Canad. Tectonic Stud. Group, 9th Ann. Meet. London Univ. of Western Ontario (Nov. 1989).
- COELHO CES, TOURAY JC, BENY C, GIULIANI G** (1989). Quartz fabrics and fluid inclusions volatiles at Fazenda Brasileiro gold mine : a petrographical and Raman microprobe study. Georaman Congress, Toulouse. Ip.
- CUNEY M, MARIGNAC C, AUTRAN A** (1989). The Beauvoir topaz-lepidolite albitic granite (Massif Central, France) a highly specialized granite with disseminated Sn-Ta-Nb-Li-Be mineralization. First IGCP Meeting 282, Rare Metal Granitoids, Nanjing, 9-13/11/1989.
- MACAUDIERE J, PENAYE J, BARBEY P, NZENTI JP, BERTRAND JM** (1989). Evolution comparée des domaines granulitiques dans l'orogène panafricain du Nord et du Sud Cameroun. Intern. Meeting on Proterozoic Geology and Tectonics of High-grade Terrains (sous presse).
- PLOQUIN A** (1989). Du minerai au fer .... : apports des analyses chimiques des scories et autres déchets paléosidérurgiques. XIII<sup>e</sup> Colloque international AFEAF (Guéret, 4-8 mai 1989)
- ROYER JJ** (1989). Fuzzy indicator functions an approach to multivariate anomaly definition. XIII International Geochemical exploration symposium, Rio de Janeiro, Brazil, oct. 1-6.
- WEISBROD A** (1989). Boron metasomatism in silicoaluminous and basic rocks : an experimental study at moderate to high temperature(300 to 750°C) and pressure (1 to 4 kbar). 3rd International Symposium on Hydrothermal Reactions (ISHR 89) 1989, Frunze, USSR.
- WEISBROD A, ZHANG YI GANG** (1989). Experimental investigation in homogeneous and heterogeneous (liquid+vapour) fluid domain in the system : alkali chloride-H<sub>2</sub>O. Application to the Beauvoir granit, French Massif Central. International Symposium on Problems of Physico-chemical Petrology ("Korzhinsky Symposium"), Moscow.
- WEISBROD A** (1989). Effect of lithium content on temperature and fluid pressure estimates in the Echassieres-Beauvoir district, French Massif Central. International conference (Korzhinsky Symposium) on : Physical-chemical petrology and metasomatic processes. Moscow, USSR, sept 17-19.

# 1990

- ALLE P** (1990). Ion probe analysis of the REE in zircons. Edimbourg, avril 1990, Réunion européenne des utilisateurs de sonde ionique
- BERTRAND JM, VAN KRANENDONK M, HANMER S, RODDICK JC, ERMANOVICS I** (1990). Structural and metamorphic geochronology of the Torngat orogen in the North River-Nutak transect area, Labrador; preliminary results of U-Pb dating. *Workshop: "Recent advances in the geology of the eastern Churchill province (New Quebec and Torngat orogens)"*, Wakefield, Quebec.
- CAMBON R, CUNNEY M, MOLINA P, STUSSI JM, VIRLOGEUX D.** Notice explicative des cartes géologique et géochimique des granitoïdes du Millevaches (Massif Central français). C.E.A.-D.A.M.N., 1990, Rapport interne, 97p., deux cartes couleurs H.T.
- CHAUSSIDON M. and SOBOLEV A. V.** (1990) Sulphide immiscibility during the evolution of basaltic melts : an ion microprobe study. International Field Seminar on deep-seated magmatism and evolution of the lithosphere of the Siberian platform. Novosibirsk.
- CHAUSSIDON M., SHEPPARD S. M. F. and MICHARD A.** (1990) Hydrogen, sulphur and neodymium isotope variations in the mantle beneath the EPR at 12°50'N. Samuel Epstein 70th Birthday Conference, Caltech.
- DEBON F** (1990). Le plutonisme hercynien des Pyrénées. Institut Dolomieu, Grenoble,
- DEBON F** (1990). Chimico-minéralogie comparée des enclaves microgrenues et de leurs matrices granitiques. Implications génétiques. CRPG, Vandoeuvre.
- DELOULE E, FRANCE-LANORD C. ALBAREDE F** (1990). Isotopic Fractionation in S.I.M.S. Measurement of Amphibole D/H. Samuel Epstein 70th Birthday Conference, Caltech.
- ROYER JJ** (1990). Numerical cartography in earth sciences. CODATA Xorkshom on parallel computing. Septembre 1989.
- ROYER JJ** (1989). Improving algorithm for the solution of Kriging equations in a global neighbourhood. Recursive solution of a kriging system : application to the optimization of a moving neighbourhood. CODATA Conference on Geomathematics and Geostatistics, University of Leeds, U.K., 10-14 sept.
- ROYER JJ, FLORES L** (1990). Modélisation des transferts de chaleur à Soultzs-sous-Forêt. Séminaire PIRSEM sur la Géothermie, 27 nov. 1990.
- SHI P., LIBOUREL G.** (1990) New experiments in the sytem CMAS+FeO and implications on basalt evolution. Third international symposium of experimental mineralogy, petrology and geochemistry, Edinburgh, avril 1990.
- SHI P., LIBOUREL G.** (1990) The effects of FeO on the system CMAS at low pressure and implications for basalt crystallization processes. AGU, San Francisco.

## *Participation à des Congrès, Stages et Conférences*

- AGU Fall Meeting, 4-8 décembre 1989, San Francisco (USA)  
ALBAREDE F., BROWN W.L., SHEPPARD S.M.F.
- American Association of Petroleum Geologists, Annual Convention, 3-6 juin 1990, San Francisco, (USA)  
JACQUEMIN P., MALLET J.L.
- American Geophysical Union, mai-juin 1990, Baltimore (USA)  
BOULLIER A.M.
- Annual General Meeting "Mineral Deposits Study group", Geological Society of London, 10-11 décembre 1989, Cardiff (Grande Bretagne)  
STUSSI J.M.
- Annual Meeting "Mineral Deposits Study Goup" (Geological Society), 11-12 décembre 1989, Cardiff (Grande Bretagne)  
STUSSI J.M.
- Association Française pour l'Etude de l'Age du Fer, 3-7 mai 1989, Guéret  
PLOQUIN A.
- 115e Congrès National des Sociétés Savantes, 9-15 avril 1990, Avignon  
CHEILLETZ A.
- Colloque de Géologie franco-marocain, 24-26 mai 1989, Strasbourg  
STUSSI J.M.
- Colloque à Berne (Suisse), 10-14 février 1989  
DESMONS J.
- Colloque "Sol, Roche, Industrie", 26-28 avril 1989, Vire  
GRANDJEAN P.
- Conférence à l'Université de Chicago (USA), 14 novembre 1989  
FRANCE-LANORD C.
- Conférence à l'Université de Grenoble, 7 juin 1990  
FRANCE-LANORD C.
- Conférence internationale "Fluids in Subduction Zones", 5-6 novembre 1990, Paris  
SHEPPARD S.M.F.
- Congrès Edinbourgh, 5-9 janvier 1989, Edinbourgh (Grande Bretagne)  
CHAUSSIDON M.
- Discussion Meeting "The behaviour and influence of fluids in subduction zones" à la Royal Society, 8-9 novembre 1990, Londres (Grande Bretagne)  
FRANCE-LANORD C., SHEPPARD S.M.F.
- Ecole d'été du Centre de Morphologie Mathématique de Fontainebleau, 12-16 septembre 1989  
CHAMPENOIS M.
- 8th International Association on the Genesis of Ore Deposits Symposium, 13-18 août 1990, Ottawa (Canada)  
BOULLIER A.M.
- 8e Symposium de l'AGOD, 12-18 août 1990, Ottawa (Canada)  
GIULIANI G.
- EMPG III (3rd Experimental Mineralogy, Petrology and Geochemistry), 5-7 avril 1990, Edinbourgh  
A. WEISBROD
- Etats Généraux de la Culture Scientifique, Technique et Industrielle en Lorraine, 4-5 octobre 1989, Pont-à-Mousson  
PLOQUIN A.
- European Current Research on Fluid Inclusions (E.C.R.O.F.I.), 6-8 avril 1989, Londres (Grande Bretagne)  
ARNOLD M., BOULLIER A.M., CHEILLETZ A., MARIGNAC C., RAMBOZ C., WEISBROD A.
- European Union of Geosciences, 20-23 mars 1989, Strasbourg  
ABOUCAMI W., ARNOLD M., BARBEY P., BENNANI M., BERTRAND J.M., BLAMART D., BOHER M., BOULLIER A.M., BROUAND M., BROWN W.L., CHAMPENOIS M., CHAUSSIDON M., DELOULE E., FRANCE-LANORD C., GRANDJEAN P., LETERRIER J., MEZGHACHE H., PICHAVANT M., PLOQUIN A., RAMBOZ C., SAUPE F., SCAILLET B., SHEPPARD S.M.F., STUSSI J.M., TAIEB R., WEISBROD A., ZIMMERMANN J.L.
- Géotraverse Guinée, UNESCO-PICG 215, 4-17 décembre 1990, Conakry (Guinée)  
ABOUCAMI W., BARBEY P.
- Gold 89 in Europe, 17-27 mai 1989, Toulouse  
RAMBOZ C., SAUPE F.

- Grands Colloques de Prospective "Terre, notre Planète", 3-5 juillet 1990, Strasbourg  
ALBAREDE F., CHAUSSIDON M., SHEPPARD S.M.F.
- IGBA Meeting 239 Project, 29 mai-4 juin, Budapest (Hongrie) et 16-21 juin 1990, Salamanca (Espagne)  
PLOQUIN A.
- International Field Seminar on Deep-seated Magmatism and Evolution of the Lithosphere of the Siberian Platform, juillet-août 1990, Moscou, Novosibirsk, Mirny, Udachny (URSS).  
SHEPPARD S. M. F. , CHAUSSIDON M.
- International Workshop on Orogenic Lherzolites and Mantle Processes, 12-15 septembre 1990, Montpellier, Lherz.  
CHAUSSIDON M.
- ISHR III (3rd International Symposium on Hydrothermal Reactions, 11-15 septembre 1989.  
Frunze (USSR)  
WEISBROD,
- Journées de la Société Française de Minéralogie et de Cristallographie, 5-7 septembre 1990, Rennes  
BARBEY P., W.L. BROWN, CHAROY B., CHAUSSIDON M., CHEILLETZ A., DALL'AGNOL R., DELOUE E., FRANCE-LANORD C., PAILLAT O., SHEPPARD S.M.F.
- Kolloquium "Frühe Erzgewinnung und Verhüttung in Europa", 3-8 octobre 1990, Freiberg i. Br (Allemagne)  
PLOQUIN A.
- Mines et Métallurgie de l'Antiquité à l'Epoque Moderne, Programme H27-H3, 24-25 novembre 1990, Bourges  
PLOQUIN A.
- MinPet., Epidotsymposium, septembre 1990, Neukirchen-am-Grossvenediger (Autriche)  
DESMONS J.
- Nancy Points Forts, 5-7 octobre 1990, Nancy  
ALBAREDE F., ALLE P., BERTRAND J.M , CHAMPENOIS M., CHEILLETZ A., DEBON F.
- NERC, 25 février-3 mars 1990, Londres (Grande Bretagne)  
SHEPPARD S.M.F.
- 9th Annual meeting, Structural geology and tectonic division, G.A.C., 10-12 novembre 1989, London (Canada)  
BOULLIER A.M.
- 1990 Annual Convention of American Association of Petroleum Geologists (AAPG), 30 mai-12 juin 1990, San francisco (USA)  
JACQUEMIN P.
- Nuna Research Conference on "Greestone gold and crustal evolution", Val d'Or, 24-27 mai 1990, Québec (Canada)  
BOULLIER A.M.
- Organisation du cours "Processing of Geochemical Exploration Data", 7-12 novembre 1990, Lusaka (Zambie). Séminaire organisé sous l'égide du Ministère de la Coopération française  
ROYER J.J. (invited speaker)
- 15e Colloque de Géologie Africaine, 10-13 septembre 1990, Nancy  
ABOUCHAMI W., ALBAREDE F., BARBEY P., BERTRAND J.M., BOHER M., BRIEDJ M., BROWN W.L., LETERRIER J., MACAUDIERE J., SA J.
- Recent advances in the Geology of the eastern Churchill Province (New Quebec and Torngat orogens). Workshop, 9-10 mars 1990, Wakefield, Québec (Canada)  
BERTRAND J.M.
- Réunion annuelle de la Société suisse de Minéralogie et Pétrographie, octobre 1989 et octobre 1990,, Genève (Suisse)  
DESMONS J.
- Réunion sur la cinétique, 15-18 janvier 1989, Bad-Honnef (RFA)  
BROWN W.L.
- Réunion du Comité CODATA FRANCE, Paris (3 à 4 par an)  
ROYER J.J. (trésorier)
- Réunion européenne des utilisateurs IMS 3F-4F, 31 mars-4 avril 1990, Edinburg (Grande Bretagne) et 3-8 juin 1990, Niva del Goenda (Italie)  
ALLE P.
- Réunion internationale du PICG-269 "SEDBA", 14-18 octobre 1990, Nancy  
PLOQUIN A.
- Rheology Meeting, 23 mars-1er avril 1989, Leeds (grande Bretagne)  
BOULLIER A.M.

- Second CODATA Conference on Geomathematics and Geostatistics, 10-14 septembre 1990, Leeds (Grande Bretagne)**  
 ROYER J.J.
- 2nd International Symposium Geochemistry of the Earth's Surface and of Mineral Formation, 2-8 juillet 1990, Aix-en-Provence**  
 DELOULE E., FRANCE-LANORD C., MICHARD A.
- Seconde Réunion internationale du PICG-269 "SEDBA", 8-16 octobre 1989, Nancy**  
 PLOQUIN A.
- Seminar on Geostatistics for petroleum Reservoir Characterization : New concepts, New Tools, FSS Intern., 12-16 novembre 1990, Genève (Suisse)**  
 ROYER J.J.
- Séminaire franco-allemand - Granites, 1er novembre 1990, Martimpré, Vosges**  
 BARBEY P., BROWN W.L.
- Séminaire PIRSEM sur la Géothermie, 27 novembre 1990, Paris**  
 ROYER J.J., FLORES L.
- Seventh International Conference on Geochronology, Cosmochronology and Isotope Geology, 24-29 septembre 1990, Canberra (Australie)**  
 ABOUCHAMI W., ARNOLD M., BOHER M., CHAUSSIDON M., DELOULE E., MICHARD A., SHEPPARD S.M.F.
- Society of Exploration Geophysicists, 59th International Meeting, 27 octobre-2 novembre 1989, Dallas (USA)**  
 JACQUEMIN P., MALLET J.L.
- Society of Exploration Geophysicists, 60th International Meeting, 23-27 septembre 1990, San Francisco (USA)**  
 JACQUEMIN P., MALLET J.L.
- Summer School on Geological and Petrological Analysis of Plutonic Complexes, 23 septembre-7 octobre 1990, Sienne (italie)**  
 BROWN W.L.
- Symposium International du Comité pour la sidérurgie ancienne "Paléoméallurgie du fer et cultures", 1-3 novembre 1990, Belfort**  
 PLOQUIN A.
- Table Ronde de la Société Française de Minéralogie et Cristallographie "Propriétés thermochimiques des solutions hydrothermales", 15-16 février 1989, Orléans**  
 RAMBOZ C.
- Third biennial Pan-American Conference on research on Fluid Inclusions, 20-22 mai 1990, Toronto (Canada)**  
 BOULLIER A.M.
- Third International Meeting on IGCP Project 269 (SEDBA), 2-9 mai 1990, Beijing (Chine)**  
 PLOQUIN A.
- Three-Dimensional Computer Graphics in Modeling Geologic Structures and Simulating Geologic Processes, 7-11 octobre 1990, Freiburg (Allemagne)**  
 JACQUEMIN P.
- 13e Réunion des Sciences de la Terre, 2-4 avril 1990, Grenoble**  
 BOHER M., DESMONS J., PLOQUIN A., MACAUDIERE J., ZIMMERMANN J.L., ZOUHAIR M.
- 36e Congresso Brasileiro de Geologia, 28 octobre-1er novembre 1990, Natal (Brésil)**  
 BERTRAND J.M., LETERRIER J.
- 12th International CODATA Conference "Data for discovery", 15-19 juillet 1990, Columbus (USA)**  
 ROYER J.J.
- XIIIe International geochemical exploration symposium, 1-6 octobre 1989, Rio de Janeiro (Brésil)**  
 ROYER J.J.
- 26e Congrès Géologique International, 2-17 juillet Washington (USA)**  
 PICHAVANT M.
- Workshop sur les phénomènes océaniques, 11 mai, IPG, Paris**  
 MICHARD A.

## *Missions majeures de terrain*

ABOUCHAMI W.	Guinée	décembre 1989
ALBAREDE F.	Guinée	février-mars 1990
BARBEY P.	Guinée Niger Niger	décembre 1989 février 1989 décembre 1990
BERTRAND J.M.	Sénégal Brésil	janvier 1989 octobre 1990
BOULLIER A.M.	Albanie	septembre 1990
BROWN W.L.	Ile de Rhum, Ecosse	mai-juin 1989
DEBON F.	Turquie	juillet 1990
FRANCE-LANORD C.	Ile de Guam, USA	novembre-janvier 1990
LETERRIER J.	Brésil Portugal	mars-avril 1989 mai-juin 1990
PLOQUIN A.	Gröenland RDA	juillet 1989 septembre 1990

# Séminaires de Géologie

1989

- ABOUCAMI W. et BOHER M., C.R.P.G.  
*"Croissance crustale au protérozoïque inférieur en Afrique de l'ouest ; apports de la géochimie isotopique"*
- BERTRAND J.M., C.R.P.G.  
*"Structure et métamorphisme du Karakorum"*
- BOULLIER A.M., C.R.P.G.  
*"Circulation des fluides dans la zone de cisaillement du MCT (Himalaya du Népal Central)"*
- CHEILLETZ A., E.N.S.G.-C.R.P.G.  
*"Datation  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  du volcanisme peralumineux de Macusani (Pérou). Introduction à la mesure des éléments en trace par analyseur protonique (PIXE-PIGE)"*
- COULON C., Université de Marseille  
*"Mélanges magmatiques et hybridation dans les granites calco-alcalins de Sardaigne"*
- DOUKHAN J.C., Université des Sciences et Techniques, Lille  
*"Sur quelques mécanismes d'exsolution dans les pyroxènes (spinelle, amphibole, ...). Une étude par microscopie électronique"*
- GRAHAM C., Grant Institute of Geology, Edinburgh, Grande Bretagne  
*"The role of hydrogen in the modification of oxygen diffusion in minerals - an experimental and ion microprobe study"*
- HINTON R., Grant Institute of Geology, Edinburgh, Grande Bretagne  
*"Systematics of secondary ion yields-progress towards standardless ion probe analysis of trace elements in silicates"*
- HUBBARD M., E.T.H., Zurich, Suisse  
*" $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  chronology of the Himalayan metamorphism"*
- LANGMUIR C.H., Lamont Doherty Geological Observatory, New York, USA  
*"Contraintes apportées par les éléments majeurs sur la genèse des basaltes des rides, des îles océaniques et de convergence des plaques"*
- LECUYER C., Laboratoire de Géochimie et de Géochronologie, Rennes  
*"Hydrothermalisme fossile dans une paléocroûte océanique associée à un centre d'expansion lent : le complexe ophiolitique de Trinity (N. Californie, USA)"*
- LONDON D., School of Geology and Geophysics, University of Oklahoma, USA  
*"Experimental studies bearing on pegmatite genesis"*
- MARIGNAC C., Ecole des Mines, Nancy  
*"Gisements péribatholithiques de Sn et de W : discussion de leur origine"*
- MOREAU C., Laboratoire de Géologie, Faculté des Sciences de Dakar, Sénégal  
*"Crystallization and emplacement conditions of an anorogenic anorthositic complex Abontorok, Niger"*
- RICHET P., Institut de Physique du Globe, Paris  
*"Rhéologie et thermodynamique des silicates fondus"*
- ROYER J.J., C.R.P.G.  
*"Modélisation des transferts de chaleur et de masse : Fossé rhénan, Echassières, Vittel."*
- SCHÄRER U., Institut de Physique du Globe, Paris  
*"Evolution de la croûte protérozoïque au Labrador"*
- SOBOLEV A., Vernadskiy Institute of Geochemistry, Moscou, URSS  
*"Petrology of mantle magmatism : data on the magmatic inclusions in minerals"*
- SULLIVAN G.E., University of Tulsa, Oklahoma, USA - CREGU  
*"Petrogenetic significance of melt inclusions and phenocrysts composition in phyrlic basalts from the vicinity of the Kane fracture zone (Mid Atlant§ic Ridge)"*
- TAIT S., Institut de Physique du Globe, Paris  
*"Effets de la cristallisation fractionnée sur le comportement physique d'une chambre magmatique"*
- VASSEUR G., C.G.G., USTL, Montpellier  
*"Régime thermique des bassins sédimentaires. Interprétation d'une anomalie thermique au Sahara"*
- WEBSTER J.D., Grant Institute of Geology, Edinburgh, Grande Bretagne  
*"Granites, fluids and ore deposits"*



WONDRATSCHEK H., Institut für Kristallographie, Karlsruhe, RFA  
*Sanidine megacrysts from the Eifel (Germany). The ideal feldspar ?*

## 1990

- ALIBERT C., C.R.P.G.  
*"Where is the BIF ? Ou ce que disent les Formations Ferrières d'Hamersley (Australie de l'Ouest) sur la composition de l'eau de mer au début du Protérozoïque"*
- ARNOLD M., C.R.P.G.  
*"Les isotopes du soufre à Hamersley (Australie de l'Ouest), processus bio- ou abiogéniques à 2.5 Ga ?"*
- BOULLIER A.M., C.R.P.G.  
*"Paléosismicité dans une faille inverse archéenne"*
- BOURQUIN S., Laboratoire de Géologie, Université de Nancy I  
*"Analyse faciologique par diagraphies des roches réservoirs du Trias du Bassin de Paris"*
- CHARVET J., Université d'Orléans  
*"La chaîne tertiaire du sud-ouest du Japon et les problèmes de son interprétation géodynamique"*
- CHEILLETZ A., C.R.P.G. - E.N.S.G.  
*"Principes généraux et applications des techniques de géochronologie  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  et de microsonde protonique PIXE-PIGE. Exemples d'environnements géologiques divers (Protérozoïque à Mio-Pliocène) dont les volcanites peralumineuses de Macusani"*
- COLEMAN M.L., British Petroleum et Université de Redding, Grande - Bretagne  
*"Diagenesis of sandstone reservoirs"*
- DEBON F., C.R.P.G.  
*"Chimico-minéralogie comparée des enclaves microgrenues et de leurs matrices granitiques"*
- DERCOURT J., Université Pierre et Marie Curie, Paris VI  
*"Reconstitutions de la Tethys au Mésozoïque et au Cénozoïque"*
- GAILLARD J.F., Laboratoire de Géochimie, Institut de Physique du Globe, Paris  
*"Le rôle de la diagenèse dans le cycle du CO<sub>2</sub>"*
- GIULIANI G., ORSTOM - C.R.P.G.  
*"Genèse des gisements d'émeraude du Brésil et de la Colombie"*
- GUIRAUD M., Laboratoire de Minéralogie, Muséum d'Histoire Naturelle, Paris  
*"Analyse et régression des données expérimentales en pétrologie : le problème de la thermodynamique des grenats"*
- HARBAUGH J., Department of Applied Earth Sciences, Stanford, USA  
*"3-D simulation of geologic processes that create sedimentary basins"*
- HEMOND C., Max - Planck - Institut für Chemie, Mayence, Allemagne  
*"Les isotopes du Thorium edans les "hot spots" du Pacifique"*
- IONOV D., Max - Planck - Institut für Chemie, Mayence, Allemagne  
*"Sulfur contents and isotopic compositions in the upper mantle from studies of xenoliths"*
- JOURNEL A., Professeur de Géostatistique Université de Stanford, USA  
*"Technique de visualisation stochastique de réservoirs pétroliers et de phénomènes spatiaux"*
- KARPOFF A.N., Centre de Sédimentologie et de Géochimie de Surface, Strasbourg  
*"Les séries pélagiques condensées du Cénozoïque des océans Pacifique et Atlantique"*
- KHODAKOVSKY I., Institut Vernadsky, Moscou, URSS  
*"Recent results in thermodynamic investigations at the Vernadsky Institut"*
- LARDEAUX J.M., E.N.S., Lyon  
*"Transition granulite-éclogite dans la zone Sezia (Alpes occidentales intérieures) : témoin de l'ouverture et de la fermeture de l'océan téthycien"*
- LARSON P.B., Université d'Etat de Washington, Pulman, USA, C.R.P.G.  
*"Effects of water-rock interactions in the Rico, Colorado, hydrothermal system"*
- LARSON R.L., University of Rhode Island, USA  
*"The latest pulse of the Earth ; evidence for a mid-Cretaceous superplume"*

- LIBOUREL G., Université de Nancy I - C.R.P.G.  
*"Enrichissement en fer et en silice dans les systèmes basaltiques à basse pression  
(Fenner and Bowen trends) : une étude expérimentale"*
- PHILIPPOT P., E.N.S., Lyon  
*Les fluides associées au métamorphisme de haute Pression et basse Température :  
rôles mécanique et "métasomatique" dans des zones de subduction"*
- ROBERT F., Service Géologique du Canada, Ottawa - C.R.P.G.  
*"Evolution structurale des minéralisations aurifères du sud est de l'Abitibi"*
- SCHIOTTE L., Musée Géologique, Copenhague, Danemark  
*"Crustal evolution in the Archaean Nain province, Labrador :  
evidence from single grain U-Pb mineral ages"*
- SINCLAIR A.J., Université de British Columbia, Canada  
*"Anomaly recognition in applied geochemistry using a micro-computer"*
- VALLEY J. W., Department of Geology and Geophysics, Madison, USA  
*"The role of fluids and melts in granulite facies metamorphism -  
Adirondack Mountains N.Y."*
- VIGNERESSE J.L., E.N.S.G.- C.R.E.G.U.  
*"Le granite de Flamanville : vie et mort d'un diapir"*

## Visiteurs

AHMAD R., Australie  
ALARY J.P., Centre de Recherches de Voreppe (Péchiney)  
ALEXANDRA M., Department of Geology, Oneonta, USA  
ANDREEV A., Bulgarie  
BARBIER J., BRGM  
BERKOVITS A.L., Applied Physics Institute Irkutsk, URSS  
BONJOUR J.L., Université de Rennes  
BOZTNG D., Department of Geological, Sivos, Turquie  
BRIAND B., Université de Lyon  
CALAS G., Université de Paris VII  
CASTROVIEDO M., Ecole des Mines, Madrid, Espagne  
CHAUVEL J.J., Université de Rennes  
DIEUDONNE N., Université de Paris I  
DUNISKOVSKI K., Société Autoroutes Paris Rhin-Rhône  
ECONOMU G., IGME Grèce  
EFFENTRIP A., Badan Tenaga Atom Nasional Pusat Pengembangan  
ESELLER G., Turquie  
FABBRI A.G., Intern. Inst. for Aerospace Surv. Earth Sciences (ITC), Enschede, Pays-Bas  
FAIVRE A., Université de Besançon  
FORRIERES C., LAM  
FAUVRE A., Université de Besançon  
FANG GUO QING, Chine  
FOSTER J., Université Nationale Australienne, Australie  
FRIEDMAN G., USA  
GATZWEILER R., Université Technique d'Aix la Chapelle, RFA  
GILG A., ETH, Zurich, Suisse  
GREENWOOD P., NERC Isotope, Geology Centre, Londres, Grande Bretagne  
HARBAUGH J., Stanford College, Californie, USA  
HUNZIKER J.C., Université de Lausanne, Suisse  
JARRIER C., Université de Toulouse  
JOHANNES M., Jobin-Yvon, Longjumeau  
JOURNAL A., Applied Earth Sciencs Dept., Stanford University, Stanford, USA  
JUNYA NAN, Chine  
KEESMANN I., Université de Mayence (Allemagne)  
KHOLIEF M., Egypte  
KOCH P., Jobin-Yvon, Longjumeau  
LARCHERTS G., Decines-Charpieu Cedex  
LE BRETON N., Institut Kristallographie, Bochum, RFA.  
LEROY M., LAM  
MAJUMDER T., Ecole des mines, Inde  
MANGIN M., Université de Besançon  
MEDEIROS H., Natal, Brésil  
MEYER R., Rouen  
NION S., Nancy  
NISHIWAKI-NAKAJIMA N., Université de Nava, Japon  
PALIWAL B.S., Inde  
PILOTTE M., Laboratoire inter-régional de la Police Scientifique, Toulouse  
POIROT J.P., Chambre de Commerce de Paris  
RADELLI L., Departamento de Geologia, Hermosillo, Mexique  
RAISSOUNI M., Université de Besançon  
SANTALLIER D., Université de Lyon  
SANTARELLI N., Université de Paris VII  
SAVARY M., Jobin-Yvon, Longjumeau  
SCHMULOVITCH K., Institut Vernadsky, Moscou, URSS

SEGUEDI S., Université de Bucarest, Roumanie  
SHARP Z., Université de Lausanne, Suisse  
SINCLAIR A , Department of Geological Sciences, Vancouver, Canada  
SPEVAK M.T., University of Missouri, Geological Engineering Dept, Rolla, USA  
STEINGROBE B., RFA  
TANGUY D , Decines-Charpieu Cedex  
TOUFFAIT Y., Ecole des Mines de Paris, Fontainebleau  
VIGNERON M , MIAC Chartres  
VAKALIS G., IGME Grèce  
WANG M., Chine

