



HAL
open science

Centre de recherches pétrographiques et géochimiques : rapport annuel 1988

- Centre de Recherches Pétrographiques Et Géochimiques

► **To cite this version:**

- Centre de Recherches Pétrographiques Et Géochimiques. Centre de recherches pétrographiques et géochimiques : rapport annuel 1988. [Rapport de recherche] CNRS. 1989, 139 p. hal-01358133

HAL Id: hal-01358133

<https://hal-lara.archives-ouvertes.fr/hal-01358133v1>

Submitted on 31 Aug 2016

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

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

**Centre de Recherches
Pétrographiques et Géochimiques
Rapport annuel 1988**



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

Page 1 de couverture

Echantillon de verre naturel (obsidienne) de Macusani, Pérou

La photo montre une face polie d'un galet d'obsidienne de Macusani, Pérou. Sa largeur est d'environ 5 cm. Il s'agit de la variété rouge, partiellement oxydée. Quelques baguettes d'andalousite sont visibles. Sur le plan minéralogique et chimique, ces verres naturels sont d'une importance exceptionnelle. Il s'agit des seuls témoins directs de l'existence de magmas granitiques très différenciés ou pegmatitiques. Les données expérimentales et analytiques obtenues sur les verres modifient profondément les conceptions existantes sur les mécanismes de fractionnement dans les magmas peralumineux, la structure des liquides silicatés et les conditions thermodynamiques qui contrôlent l'évolution des magmas.

Page 4 de couverture

Photos d'écran de l'analyseur vidéographique interactif - Photos Michel Champenois

Le principe de l'analyseur développé au C.R.P.G. est le suivant : une unité purement vidéographique et une unité purement informatique sont connectées au moyen d'une tablette à digitaliser, d'une carte vidéographique et d'un module d'incrustation grâce auxquels l'utilisateur sélectionne les objets sur l'image vidéo et les caractérise par les paramètres (orientation, taille, forme, position...) nécessaires aux traitements ultérieurs.

En haut : application à la quantification de déformation sur une lame mince d'un orthogneiss du massif du Grand Paradis (massif cristallin interne des Alpes italiennes). Les porphyroclastes de feldspaths sont considérés comme des marqueurs de l'état déformé. Le manipulateur a donc sélectionné ces objets et les a caractérisés par leur contour dans le but d'appliquer une méthode de quantification de la déformation finie basée sur l'orientation des diamètres de Féret des particules.

En bas : détermination de l'orientation de marqueurs linéaires. Application à l'orientation des différentes familles de traînées d'inclusions fluides dans des lentilles de quartz provenant de formations calcaires des Annapurnas. Le manipulateur souligne les marqueurs linéaires et les affecte à une famille au moyen d'un code, les couleurs des incrustations sur le cliché symbolisent les différentes familles.

CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

CENTRE DE RECHERCHES PETROGRAPHIQUES ET GEOCHIMIQUES

RAPPORT ANNUEL 1988

Sommaire Général

Organigramme 1988	II
Avant-Propos.....	VI
Cartes d'implantation	VIII
Index des auteurs CRPG figurant dans les résumés	X
Service d'Analyses des Roches et des Minéraux. Service Etudes	
Documentaires et Traitement Automatique (E.D.T.A.).....	XIII
- Laboratoire de Spectrochimie et de Géostandards.....	XV
- Laboratoire de Chimie	XXIII
- Laboratoire de Diffractométrie X.....	XXVI
- Service Etudes Documentaires et Traitement Automatique (E.D.T.A.).....	XXVII
Résumés publiés des travaux des Equipes de Janvier 1988 à Décembre 1988	1
- Déformation et Métamorphisme	3
- Fluides.....	11
- Géochimie des Traces et Isotopes, Géochronologie	19
- Géothermie.....	35
- Hydrothermalisme, Métallogénie, Minéralisation	39
- Informatique Appliquée	67
- Instrumentation.....	73
- Magmatisme	77
- Minéralogie	95
- Pétrologie Expérimentale.....	99
- Géostandards	105
Présentation Informatique des sujets	109
Annexe I.....	111
- Titres des résumés non publiés présentés à des réunions nationales et internationales	113
- Participation à des Congrès, Stages et Conférences	115
- Missions.....	118
- Séminaires de Géologie - Séminaires de Recherche	119
- Visiteurs.....	120
- Brevet.....	121
- Thèses et Rapports de D.E.A.....	123
- Liste des Publications 1988.....	125
Annexe II.....	131
- Publications en collaboration avec l'E.D.T.A.	133
- Assistance en Informatique et Mathématiques Appliquées	135
Annexe III.....	137
- Données sur la production des Laboratoires d'analyses et des ateliers.....	139

ORGANIGRAMME

1 9 8 8

Directeur : S.M.F. SHEPPARD

EQUIPES DE RECHERCHE ou SECTIONS

- Caractérisation des matériaux et des processus. Banques de données Géochimiques

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

- Déformation et Métamorphisme

J.M. BERTRAND	Directeur de Recherche	Animateur de l'Equipe
A.M. BOULLIER	Chargée de Recherche (CR1)	
J.DESMONS	Chargée de Recherche (CR1) entrée au CRPG : 01.01.1989	
J. LETERRIER	Chargé de Recherche (CR1)	
J. MACAUDIERE	Maître de Conférence, ENSG	

- Géochimie Isotopique et Géochronologie

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

- Informatique Géologique

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

- Minéralogie et Pétrologie Expérimentale

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

- Physico-Chimie des Fluides

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

- Service d'Analyses de Roches et des Minéraux

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

- Service Etudes Documentaires et Traitement Automatique de l'Information

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

- Thésards

ABOUCHAMY W.
ANGOUA S.
BANZET G.
BENNANI M.
BLAMART D.
BOHER M.
BOUTALEB M.
BROUAND M.
CHAMPENOIS M.
CHAUSSIDON M.
DE GROOT P.
DENOUN A.
DIA A.
DJAMA L.M.
GRANDJEAN P.
HAIMEUR J.

HUANG Y.
LECUYER C.
MEZGHACHE H.
MOULAHOU M.
NGOYANADJI N.
NOUMBIBOU P.
ONGEN S.
OUGUIR H.
RABENANDRASANA S.
ROMANO A.
SA J.M.
SCAILLET B.
SIMOS E.
TAIEB R.
ZHANG Y.G.

- D.E.A.

ADAMY J.
BERGEY P.
BOUZENOUNE A.
DUBOIS M.

HOXHA M.
ITARD Y.
PAILLAT O.
ROLLAND O.

- Stagiaires

BAROUDI Z.
BHAT M.I.
BOUHLEL S.
BREARLEY A.
CASARI L.
COGNOT R.
DE FREITAS MACEDO M.H.
DEVEY C.
FODEN J.

HADDAD M.
HEMLEY J.J.
ICHOKU C.
KUKA N.
McNEILL G.
POTHIN K.
RAKOTOARISON A.
RIBEIRO M.D.A.
SAGLIO P.

- Secrétariat, Comptabilité, Ateliers, Bibliothèque

Mme Ch. LEHMANN, Secrétaire de Direction

Mme M. NOEL, Comptabilité

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

Mme G. PROTAS, Bibliothécaire, Service Editions

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

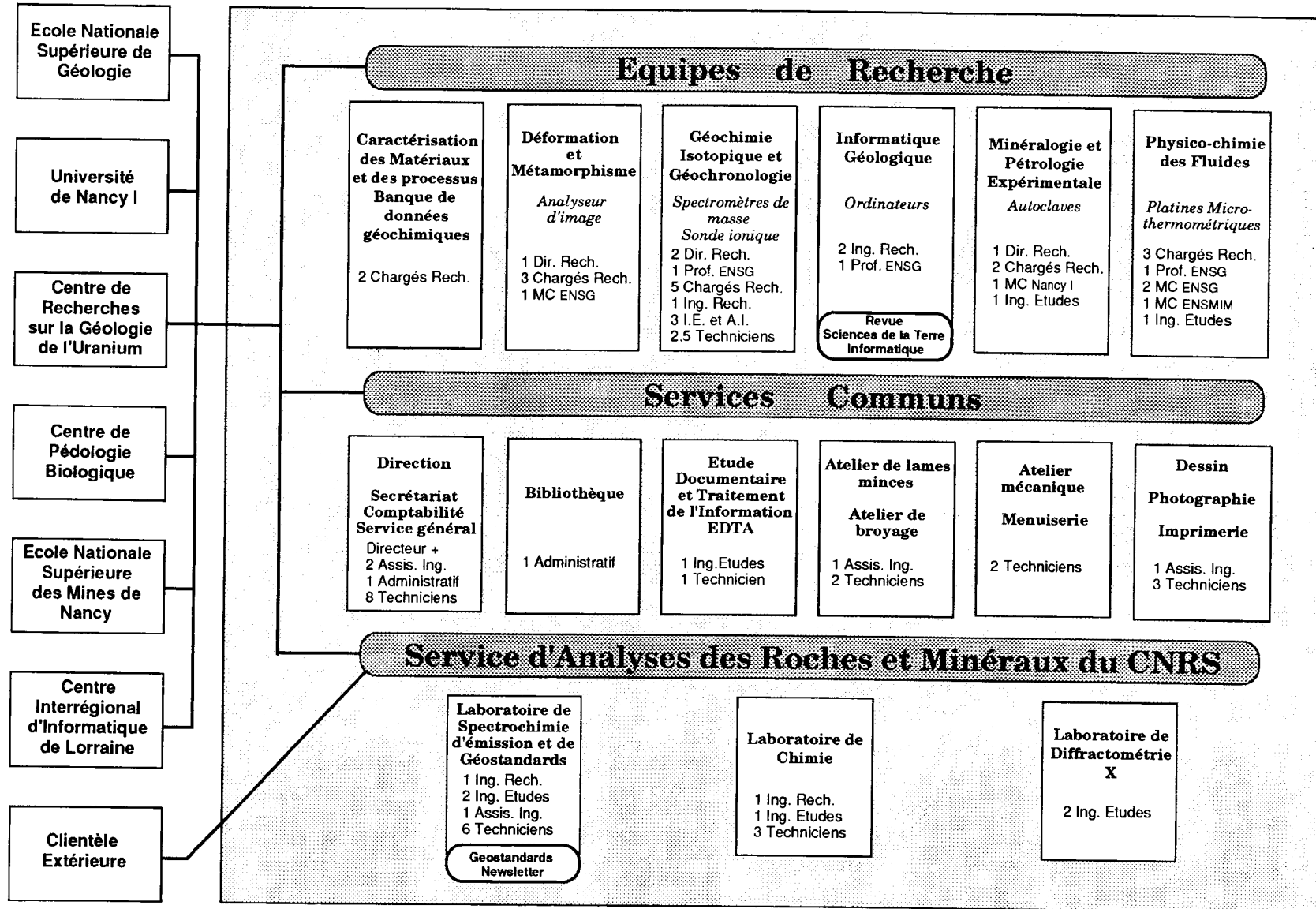
S.M.F. SHEPPARD, K. GOVINDARAJU, M. VERNET, P. MARCHAL,

J. LETERRIER, F. LHOTE

- Service Etudes Documentaires et Traitement Automatique de l'Information

A. PLOQUIN, M. MARCHAL

Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques



Avant Propos

Comme les années précédentes, ce Rapport Annuel 1988 réunit, par thème, tous les résumés de nos publications de l'année 1988. Plus particulièrement dans les annexes, sont présentés les aspects divers de la vie scientifique d'un centre de recherches - séminaires, visiteurs reçus, brevets, etc. En cette année 1989, le CRPG, ses Equipes et le Service d'Analyses sont en renouvellement. C'est donc l'occasion de voir la contribution scientifique du CRPG sur une échelle de quatre ans plutôt que d'un an et d'examiner l'évolution du Centre et ses perspectives. Pour ces dernières, un rapport à part a été préparé où les animateurs des six Equipes et les responsables des trois laboratoires qui constituent le Service d'Analyses présentent leurs activités scientifiques, leurs collaborations, leurs activités de formation ainsi que leurs listes de publications pour la période 1985-1989 (mai). Ce dernier rapport a servi également pour l'Audit des Géosciences à Nancy qui a eu lieu en juin 1989. Pour le Comité Scientifique du CRPG, ces deux rapports sont des documents de base.

En 1988, à la suite des délibérations du Conseil Scientifique, le CRPG s'est organisé en six Equipes. Les préoccupations de recherche de ces Equipes portent principalement sur les quatre axes de recherche nancéiens suivants :

- évolution des domaines continentaux et océaniques,
- mathématiques et informatique géologique,
- matières premières minérales et énergétiques, substances utiles,
- physique et chimie des fluides et des minéraux.

Certains axes de recherche sont à l'interface entre deux Equipes ou plus du CRPG et les collaborations entre les chercheurs d'équipes différentes sont nombreuses comme le témoignent plusieurs de nos résumés dans ce Rapport.

Les principaux objectifs des Equipes sont :

"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, développement de la banque de données géochimiques. Les études de cas se situent en Afghanistan, Karakorum-Himalaya, Norvège, Pyrénées, Massif Central, etc. Un volet sur la paléo-sidérurgie est en train d'être développé.

"Déformation et Métamorphisme" - Approche régionale de l'évolution de la croûte continentale par l'étude de domaines migmatitiques, de magmatisme orogénique et de la géochronologie de la déformation. Mécanismes de déformation y compris le rôle des fluides, et la quantification et simulation de systèmes microtectoniques au moyen d'une installation interactive d'analyse d'images. Les terrains se situent en Afrique de l'Ouest, Karakorum-Himalaya, Brésil, Canada, Portugal, Alpes, Massif Central.

"Géochimie Isotopique et Géochronologie" - La géochimie des isotopes stables et radiogéniques et les éléments en trace ainsi que la géochronologie par spectrométrie de masse et sonde ionique, sont appliquées à l'identification des sources du magma et fluides, aux problèmes de l'évolution mantellique, crustale et océanique et à la genèse des gisements. Les cibles englobent les océans, Afrique du Nord et de l'Ouest, Amérique du Nord, Centrale et du Sud, Himalaya-Karakorum, France et La Réunion.

"Informatique et Analyse des Données" - Le développement de méthodes et de logiciels nouveaux pour la représentation, l'exploitation et le traitement des données (CAO, cartographie automatique, reconnaissance des formes, traitement d'images, Infographie, modélisation des transferts).

"Minéralogie et Pétrologie Expérimentale" - Etudes des microtextures, microstructures et physique des minéraux et verres par microscopie électronique, spectroscopie et voie expérimentale pour comprendre certains des mécanismes géologiques. Production expérimentale de magma et interaction minéral-fluide dans les conditions de fusion crustale. Cible de terrain : Afrique de l'Ouest, Amérique du Sud, Groënland, Pérou, Himalaya, France.

"Physico-Chimie des Fluides" - Caractérisation quantitative des processus d'interaction entre fluides et minéraux à différents niveaux de la croûte par microthermométrie, microspectrométrie, analyseur vidéographique interactif et voie expérimentale ; métallogénie. Les études de cas se situent en Chine, Maroc, Mexique, Mer Rouge, Algérie, France.

Le Service d'Analyses et le Service EDTA (banques de données géochimique) continuent de fournir données analytiques et traitement informatique aux chercheurs tout en améliorant leurs techniques. De plus, ils développent vigoureusement leur rayonnement national et international.

Plusieurs chercheurs et ingénieurs du CNRS participent aux programmes d'enseignement (DEA, DESS, etc.) à l'ENSG, à l'ENSMIM et à l'Université de Nancy.

En 1988, l'Institut Lorrain des Géosciences était créé par les six organismes nancéiens en Sciences de la Terre pour améliorer l'efficacité des Géosciences en Lorraine. Par exemple, l'ILG a une fonction d'interface avec les instances locales et régionales qui reçoivent nos demandes de financement en équipement mi-lourd.

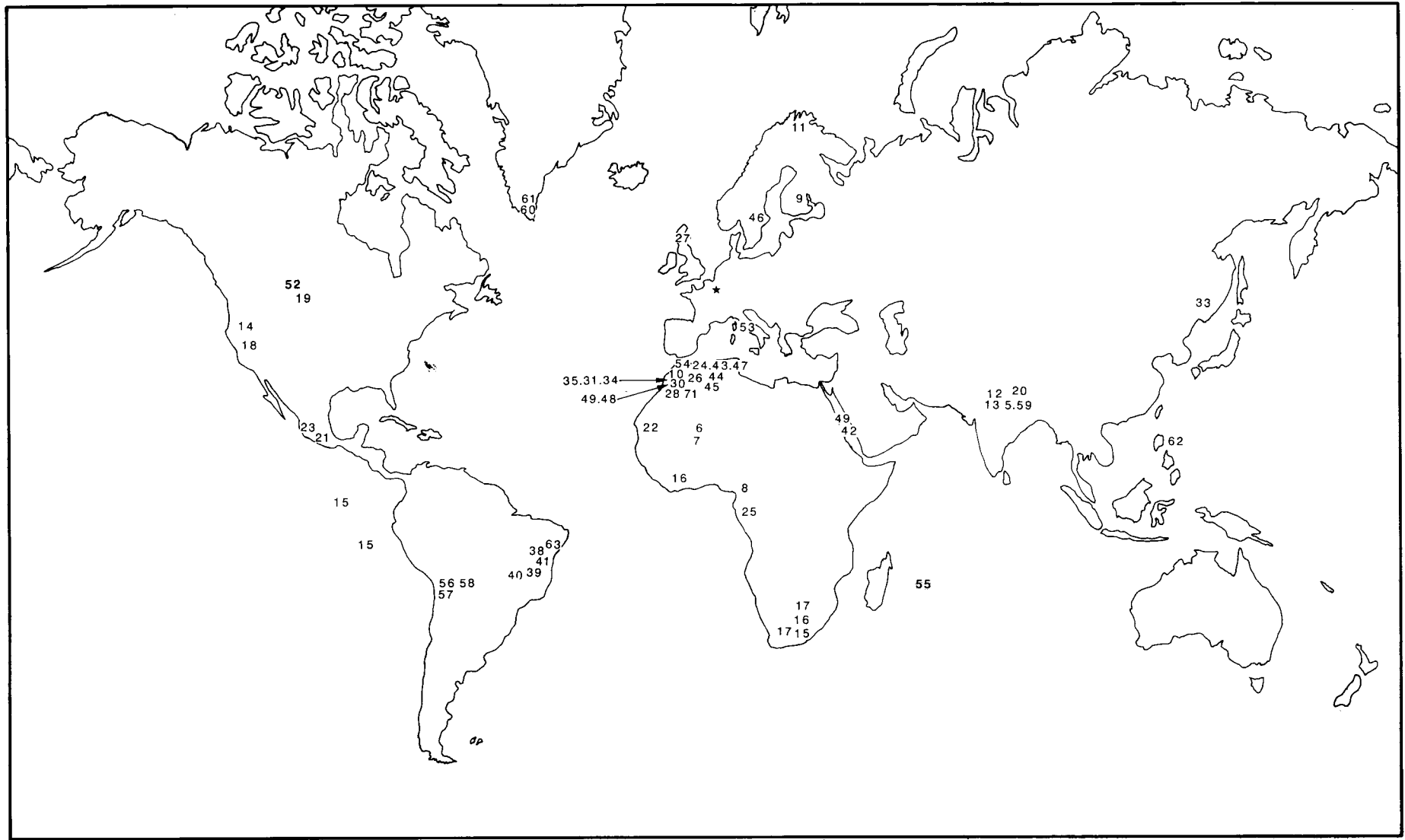
Sur le plan des personnels, le CRPG a subi un certain bouleversement. En 1988-1989, deux chercheurs (C. France-Lanord et M. Chaussidon) et un ingénieur (P. Allé) ont été recrutés et deux chercheurs (E. Deloule et J. Desmons) ont été mutés au CRPG. En revanche, deux animateurs (M. Pichavant et C. Ramboz) partiront pour Orléans fin 1989 ; le CRPG espère vivement continuer à développer l'expérimentation. Quelques recrutements sont fortement souhaités afin de redresser l'équilibre entre les Equipes. Depuis 1985, le bilan pour les ITA est extrêmement défavorable avec une perte de 14,5 agents dont 6, dans le cadre de la mobilité, au profit de notre voisin l'INIST. Néanmoins, depuis quelques semaines, nous avons augmenté nos effectifs de 2,5 personnes (M. Champenois, IE2 ; J. Degeorge, AGT2 ; D. Mangin, 1/2 poste 7B). Le recrutement d'un Ingénieur de Recherche en physique de la géologie (transferts d'énergie et matière) pour l'Equipe Informatique Géologique reste encore notre priorité.

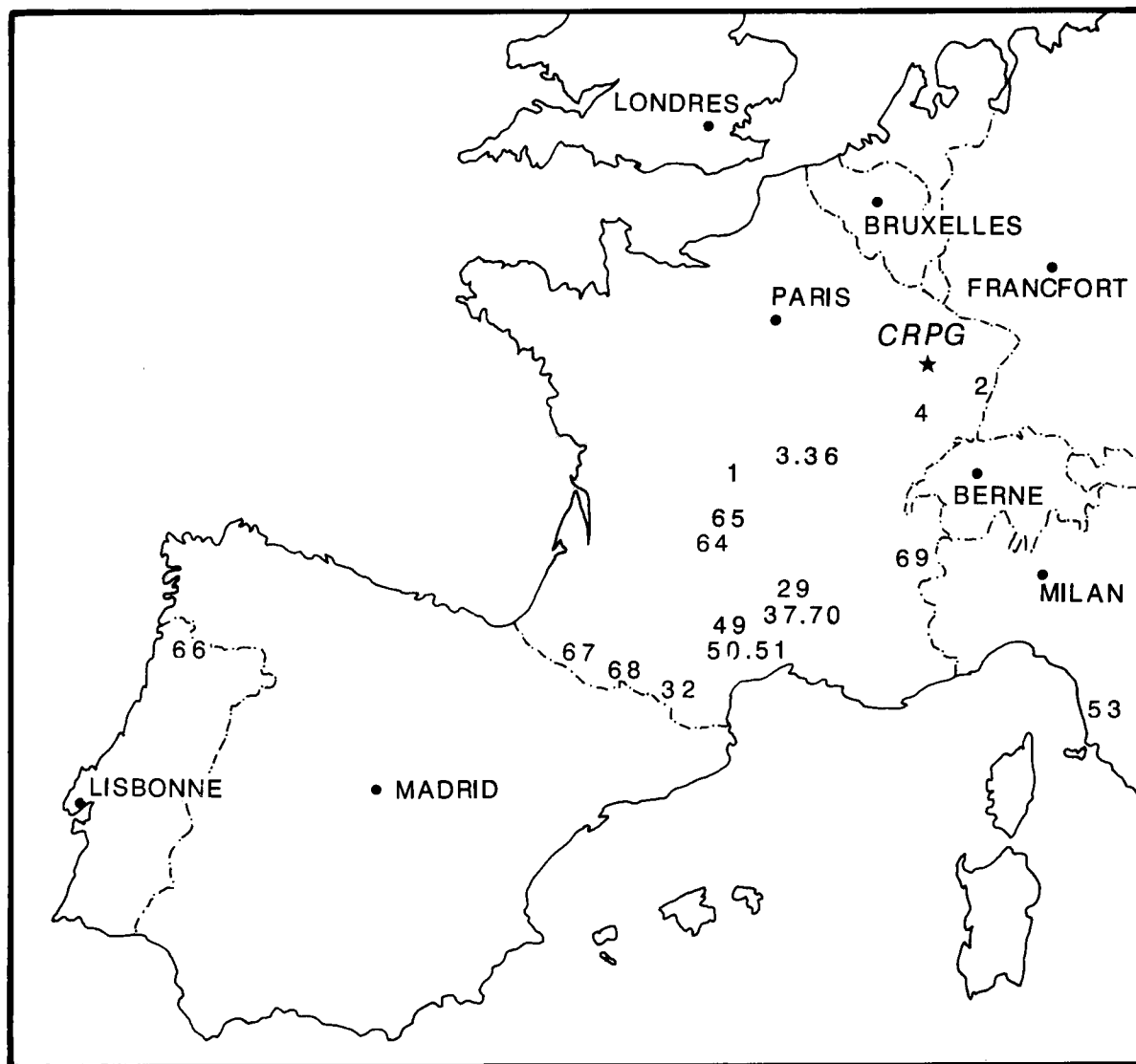
Il est impossible dans un tel Rapport de ne pas souligner le rôle de notre personnel ITA. Grâce à sa compréhension et à sa faculté d'adaptation, la maison a continué de fonctionner malgré la diminution des effectifs et certaines sections jouent encore un rôle de prestataires de services pour nos voisins en Sciences de la Terre (CPB, CREGU, UA 235, ENSG, Université de Nancy). En effet, ce Rapport représente l'expression de l'activité de toutes les personnes du CRPG.



Novembre 1989

Simon M.F. SHEPPARD





ALBAREDE F.	14,16,17,18,19,22,24,55	GUYETAND G.	*
ALIBERT C.	14,68	HAIMEUR J.	4
ARNOLD M.	*,21,23,53	LAPIQUE F.	*
BANZET G.	69	LE FORT P.	*,12,59,69
BARBEY P.	*,6,7,8,9,11	LETERRIER J.	62,66,71
BENNANI M.	35	MA Y.Z.	*
BERTRAND J.M.	5	MACAUDIERE J.	8,10,27,29
BLAMART D.	*	MARIGNAC C.	*,1,29,36,43,44,45,70
BOULLIER A.M.	6,7	MEZGHACHE H.	26
BOUTALEB M.	10,34	MICHARD A.	18,19
BROWN W.	*,27,6	MONTEL J.M.	*,29,58,70
CHAMPENOIS M.	*	PICHAVANT M.	*,56,57,58
CHAUSSIDON M.	*,15,16,17	PLOQUIN A.	64
CHEILLETZ A.	*,30,31,39	RAMBOZ C.	*,42,49,50
DANIS M.	*,2,3,4	ROYER J.J.	*,2,3,25,26
DEBON F.	*,67,68,69	SAUPE F.	*,26,53,54
DE GROOT	46	SHEPPARD S.M.F.	*,12,13,16,17,20,32,46,51,52
DEMANGE J.C.	*	STUSSI J.M.	23,28,64,65
DENOUN A.	47	WEISBROD A.	*,29,37,70
FRANCE-LANORD C.	12,13,20,59	ZHANG Y.G.	*
GIULIANI G.	30,31,33,38,39,40,41,63	ZIMMERMANN J.L.	*,67
GRANDJEAN P.	22		

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

Analyse de Roches

GOVINDARAJU K. 107

Caractérisation des matériaux et des processus. Banques de données géochimiques

DEBON F. 87,88,91,92
PLOQUIN A. 89

Déformation et Métamorphisme

BANZET G. 92
BERTRAND J.M. 6
BOULLIER A.M. 7
CHAMPENOIS M. 75
LETERRIER J. 87,90
MACAUDIERE J. 5,8,10,98

Géochimie Isotopique et Géochronologie

ALBAREDE F. 24,26,27,28,29,32,34,81
ALIBERT C. 24,91
BLAMART D. 30,31,32
CHAUSSIDON M. 25,26,27,28
DEMANGE J.C. 28
FRANCE-LANORD C. 23,29,85
GRANDJEAN P. 32
GUYETAND G. 13
MICHARD MA. 28,29
SHEPPARD S.M.F. 23,26,27,29,30,31,32,46,57,62
ZIMMERMANN J.L. 13,24,34,91

Informatique Géologique

MA Y.Z. 69
MEZGACHE H. 38
ROYER J.J. 37,38,69,70,71

Minéralogie et Pétrologie Expérimentale

BARBEY P. 7,8,9,101,102
BROWN W.L. 85,86,97,98
MORTAJI A. 91
MOUCHEL R. 103
PICHAVANT M. 30,31,32,43,82,83,84,101,102,103
STUSSI J.M. 34,89,91

Physico-Chimie des Fluides

ARNOLD M.	30,33,34,63
BENNANI M.	49
BOUTALEB M.	48
CHEILLETZ A.	44,45,52,75
DENOUN A.	58
GIULIANI G.	47,51,52,53,88
HAIMEUR J.	59
MARIGNAC C.	46,50,55,56,57,93
RAMBOZ C.	46,55,59,61
SAUPE F.	33,38,63,64
WEISBROD A.	10,13,16,46,51,54,93
ZHANG Y.G.	14,15,16,17
(MEZGACHE H., cf. équipe Informatique Géologique)	

SERVICE D'ANALYSE DES ROCHES

ET DES MINERAUX

SERVICE ETUDES DOCUMENTAIRES

ET TRAITEMENT AUTOMATIQUE

Sommaire

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

LABORATOIRE DE SPECTROCHIMIE ET DE GEOSTANDARDS

Kuppusami GOVINDARAJU

Le nouveau spectromètre, installé en septembre 1987, a atteint son régime de croisière dès le début de l'année 1988. Deux nouveaux géostandards, deux chromites, l'un riche en métaux nobles et l'autre pauvre ont été préparés. Le journal Geostandards Newsletter se place de nouveau au dixième rang parmi les revues géoscientifiques internationales.

SPECTROCHIMIE

Tous les travaux analytiques dans le laboratoire sont basés uniquement sur la spectrométrie d'émission-plasma. Trois spectromètres, tous équipés de sources à plasma inductif (ICP), constituent notre arsenal de travail :

- Spectromètre JY38P (Type I) mono-élémentaire (1977)
- Spectromètre JY48P multi-élémentaire (1981)
- Spectromètre JY70P (Type II) qui est, en fait, composé de deux spectromètres l'un JY32P pour l'analyse multi-élémentaire et l'autre JY38P (Type II) pour l'analyse séquentielle (1987).

La préparation des échantillons pour tous les travaux analytiques repose sur la fusion de l'échantillon avec du métaborate de lithium.

Dosage de 27 éléments majeurs, mineurs et en traces, de dix éléments de terres rares + Y et de Sn, W et Mo

Le spectromètre JY70P, installé en septembre 1987, est utilisé pour le dosage simultané de 27 éléments :

Éléments majeurs et mineurs : SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃T, MnO, MgO, CaO, TiO₂, Na₂O, K₂O, P₂O₅ + perte au feu.

Éléments en traces : Ba, Be, Co, Cr, Cu, Ga, Nb, Ni, Rb, Sc, Sr, Th, V, Y, Zn, Zr.

Le spectromètre JY48P est utilisé pour le dosage simultané de dix éléments de terres rares (La, Ce, Nd, Sm, Eu, Gd, Dy, Er, Yb, Lu) + Y et Sn, W et Mo.

Préparation

Jusqu'en 1987, le dosage de ces trois groupes d'éléments a nécessité quatre mises en solution différentes. L'installation du nouveau spectromètre JY70 nous a offert une excellente occasion pour simplifier les différentes étapes de la préparation et revoir leur automatisation. En effet, il a été possible de réduire les quatre mises en solution en une seule mise en solution grâce à une complexation globale au niveau de la dissolution acide.

Brièvement la préparation actuelle comporte les quatre étapes suivantes :

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

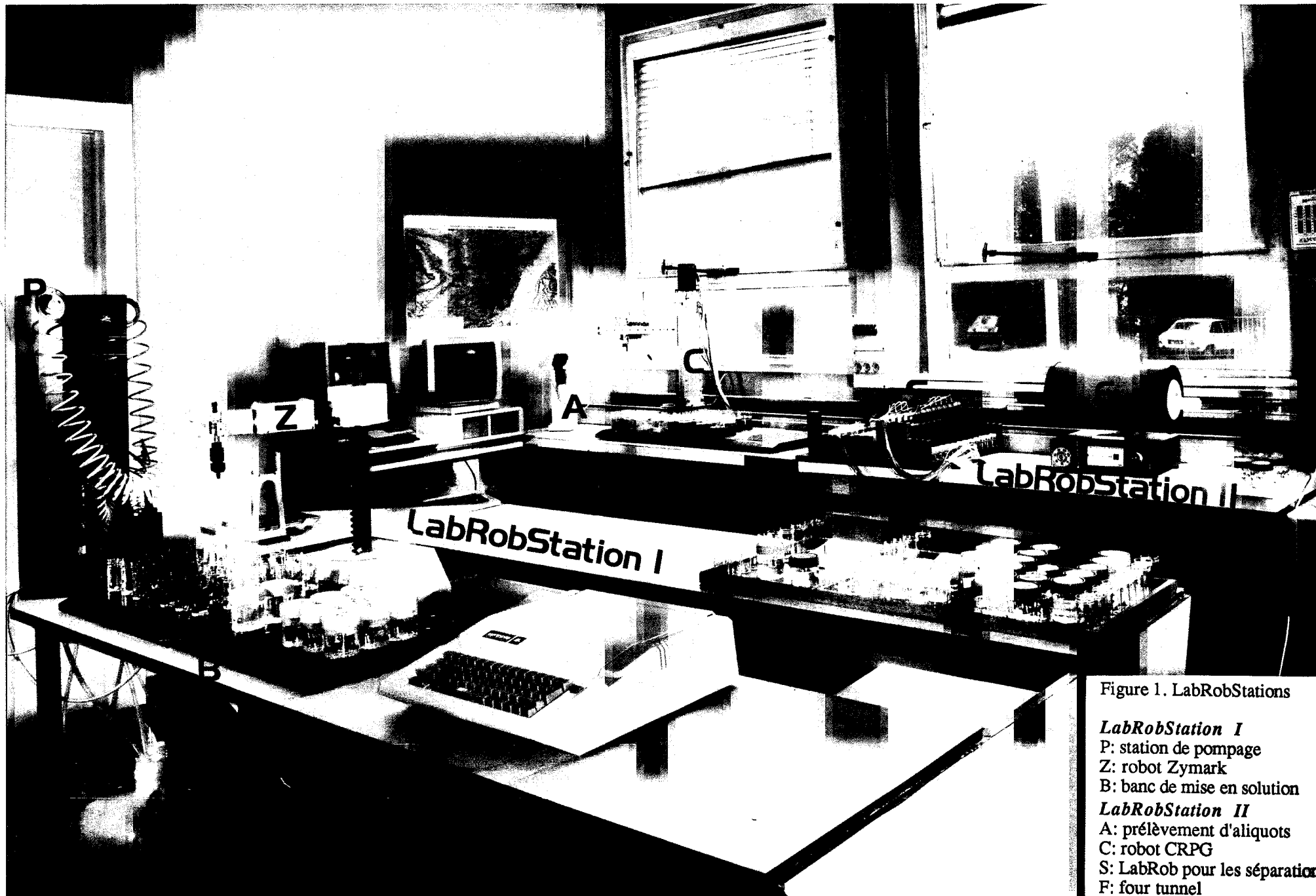


Figure 1. LabRobStations

LabRobStation I

- P: station de pompage
- Z: robot Zymark
- B: banc de mise en solution

LabRobStation II

- A: prélèvement d'aliqouts
- C: robot CRPG
- S: LabRob pour les séparations
- F: four tunnel

robot mobile (voir Fig. 1, banc de mise en solution, LabRobStation I*). La solution ainsi obtenue est utilisée pour le dosage simultané de 27 éléments majeurs et en traces.

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 (Fig. 1) est utilisée pour la séparation de Sr, W et Mo. Les méthodes de séparation sont originales et ont été développées dans le laboratoire.

Analyse spectrochimique

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 (Fig. 2). 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 calibration 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.

LabRobStations

Progressivement nous tentons de rassembler dans une station de travail ("workstation") les différents modules de la préparation. Notre première tentative a été le montage d'une station, appelée LabRobStation I (Fig. 1), avec un robot Zymark qui est mobile sur rail. Erigé au milieu de la table de

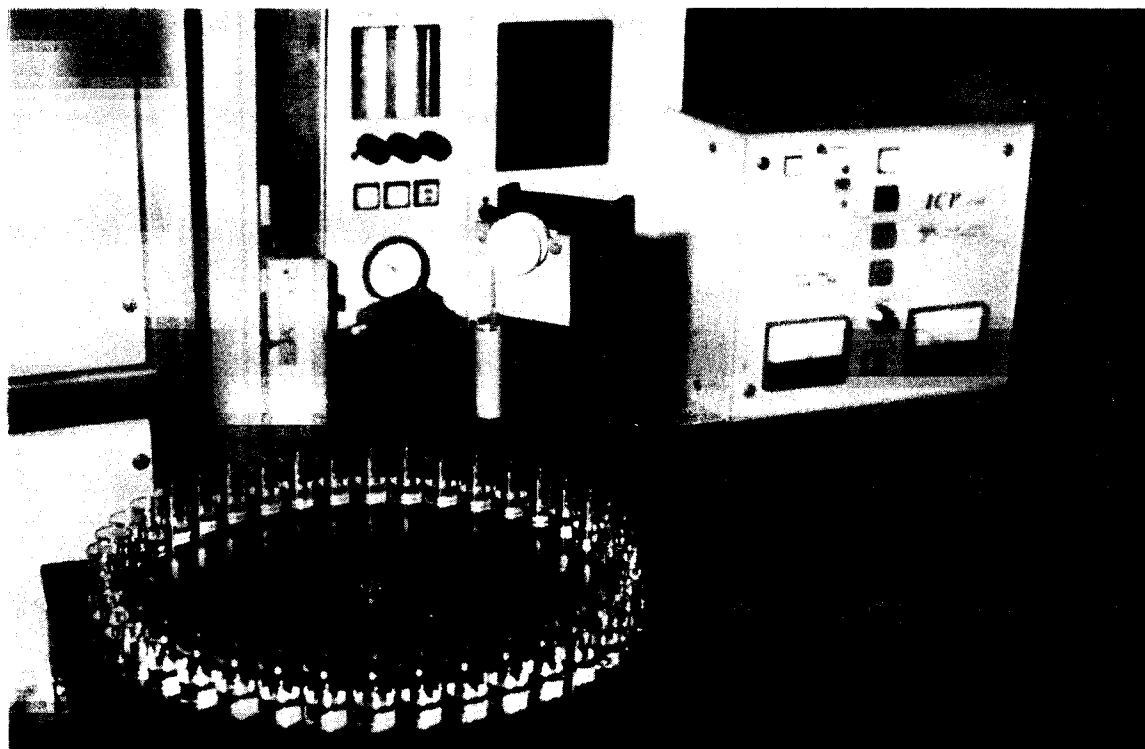


Figure 2. Passeur automatique d'échantillons

* LabRob et LabRobStation sont des marques déposées par la Société Jobin Yvon, Longjumeau

Laboratoire de Diffractométrie X

François LHOTE

Activité scientifique

Le laboratoire permet l'identification des phases par la diffractométrie X, une méthode indispensable pour la compréhension des échantillons de compositions minéralogiques complexes. De plus il y a une demande importante pour des mesures fines portant sur le domaine cohérent ou sur le contenu de la maille cristalline ainsi que les études de texture par goniométrie.

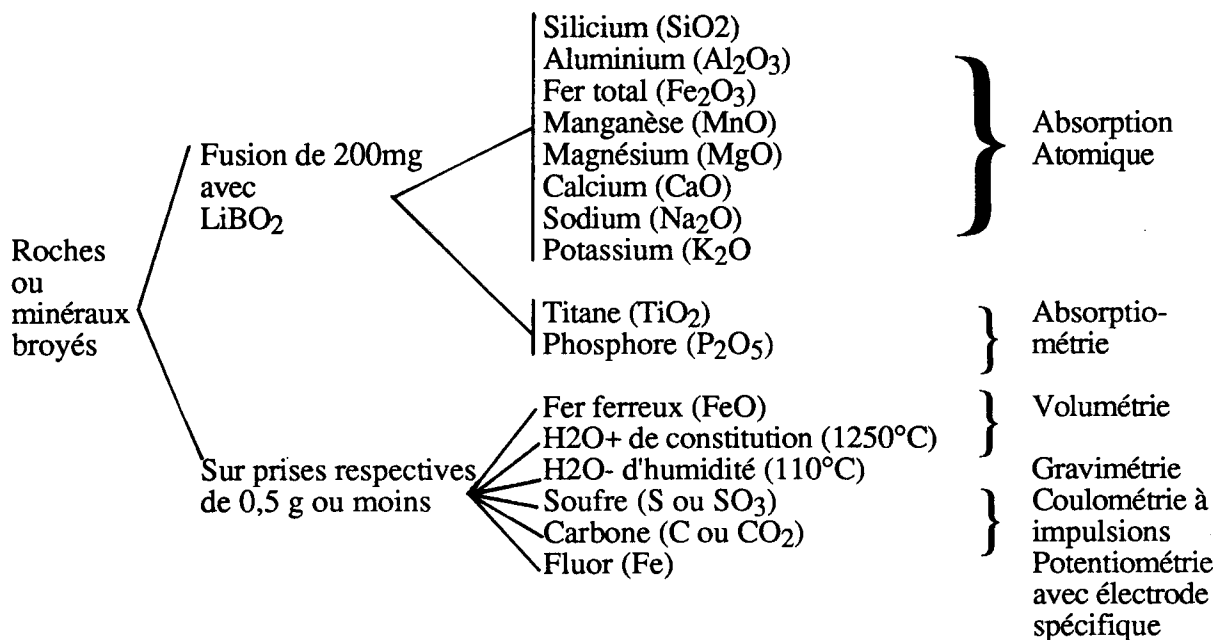
Une expérience intéressante a été acquise dans le domaine de la caractérisation des matériaux argileux. Ses possibilités analytiques vont de l'identification précise des différents constituants, à partir de traitements spécifiques, jusqu'à l'examen de leur cristallinité, fonction de la résolution des pics de diffraction.

Cette compétence vient d'être complétée par l'adaptation d'une chambre haute température sur l'un de nos diffractomètres. Cette enceinte est pourvue d'un ensemble de pompes à vide avec possibilité de saturation contrôlée de l'échantillon en vapeur d'eau. Un tel dispositif nous permet de suivre par exemple l'hydratation ou la désydratation d'une montmorillonite et de relier les variations des distances interréticulaires des plans (001) avec la pression de vapeur d'eau introduite dans la chambre de diffraction.

Nous suivons cette cinétique grâce à un détecteur courbe qui permet une prise de signal en moins de 10 minutes pour un domaine angulaire de 60° en θ à partir d'une préparation fixe. Le volume irradié est donc constant pendant toute l'étude. L'ordinateur assure l'exploitation automatique des spectres.

Cet ensemble analytique de haute résolution, dont une large partie du financement a été prise en compte par J. Cases (U.A. 235, ENSG), nous donne la possibilité de préciser les liaisons et de prévoir les comportements des édifices structuraux notamment en ce qui concerne les phyllosilicates.

Analyse complète de roches ou minéraux silicatés par les méthodes de la Chimie analytique classique



L'intégration des différentes sections de la base (ARTEMISE sensu-stricto, GUF, Petros, Clair, Ophra, fichiers sauvages, ...) est améliorée au niveau des processus d'interrogation. Grâce aux crédits "Archéométrie" nous avons pu changer de disque (300 Mo) et ainsi recevoir IGBA, 3ème édition.

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

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

Non compris les bandes archivant la production analytique du CRPG, nous gérons environ 90 000 analyses (il est difficile d'estimer les doublons entre les diverses banques d'origine bibliographique: Pétrou et Clair, IGBA, OPHRA, fichiers "sauvages"). L'hétérogénéité des divers chapitres exige la présence d'une personne à bonne culture géologique permettant de formuler et d'orienter la recherche des données ad hoc.

Le Service, en tant que tel, participe à plusieurs projets, au-delà du "simple dossier", cf. notamment le chapitre Equipe "Caractérisation des Matériaux et des Processus..."; citons :

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

Le point essentiel de ce rapport sera d'attirer l'attention sur une incidence du développement de l'INIST sur le site de Nancy: il est proposé à Mme Marchal à compter du 1er janvier 1989 un poste de responsable d'un service dans le Département bases et banques de données avec la possibilité, par concours interne, de bénéficier d'une promotion. Mme Sarre a également demandé et obtenu cette mobilité, date non connue. Cette reconnaissance du travail effectué dans le cadre du Service EDTA et des banques de données géochimiques leur permettra d'exercer de nouvelles activités, dans un nouveau milieu, tout en utilisant l'expérience développée. *La direction de l'INIST est tout à fait consciente des difficultés engendrées "qui ne peuvent être réduites que par des mesures d'accompagnement appropriées de la part de la Direction du CNRS".*

Afin de mieux mesurer l'impact de ces mutations, rappelons les *rôles du Service* :

- **Activité d'archivage** des demandes de travaux et des résultats analytiques du CRPG avec notamment saisies des données soit manuellement, soit par transfert via disquettes, avec recollationnement des numéros d'échantillons, gestion et conservation des données et des bandes magnétiques.

- **Activité de Base de données géochimiques**

Artémise bien sûr mais aussi Ophra, Petros, Clair, IGBA ainsi que de nombreux fichiers essentiellement d'origine bibliographique et/ou de travaux en cours. La densité des

Le Service "Etudes Documentaires et Traitement Automatique de l'Information en Géochimie" (EDTA)

Alain PLOQUIN

I - Organisation

Responsable scientifique depuis début 1985: A. Ploquin (temps partiel)

Personnel attaché au Service EDTA, répartition des tâches, situation courant 1988

- Mme Marchal M., IE2 (ex 3A) : responsabilité quotidienne, relation avec les usagers, analyse des problèmes, (re)programmation, travaux "à façon" et incidents, directives pour la définition des travaux "menus ou à la carte"; géologue pétrographe de formation initiale; DEA; thèse 3^e cycle (création d'OPHRA: ophiolites et roches associées).
- M. Dreux G., IE2 (ex 1Bbis) : programmation, gestion et traitement; dessinateur de formation initiale; formation CUCES.
- Mme Sarre M., T3 : gestion des demandes de travaux et des "archives" papier et informatique, confection et traitements des fichiers de travail; secrétaire de formation initiale; stages.
- M. Boymond E., T3 : formalisation et saisie des bordereaux de données factuelles, contrôles (coordonnées notamment), assemblage des données factuelles et analytiques, sorties graphiques.
- X... TUC épisodique, saisie de données (analyses, ...).
- J.L. Remy, vacataire, temps partiel, suivant convention DBMIST/Paléosidéurgie. DEA.
- DEA en cours, S. Nion, sujet relatif au projet SEDBA.

Mais Mme Marchal est partie fin 1988 et Mme Sarre nous quittera début 1989 pour rejoindre l'INIST.

Les départs de Mmes Marchal et Sarre sans mesure d'accompagnement entraîneront l'adoption d'un "profil bas" quant aux services rendus à façon et aux progrès de l'outil, avec tous les risques de grippages. La réorganisation est en cours.

II - Activité scientifique et prospective

La nécessité de la constitution du Service EDTA et la définition de ses missions spécifiques se sont imposées dès les premières années qui ont suivi la création du CRPG. En effet, le Centre a été conçu et équipé sur les plans technologiques et personnels de façon à offrir aux Equipes de Recherche des Sciences de la Terre, locales et extérieures, de très abondantes données chimiques (éléments majeurs progressivement complétés par une large gamme d'éléments en trace, plus récemment de Terres Rares).

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

Dans les précédents rapports annuels nous avons souligné que nous étions en phase d'adaptation au nouveau matériel informatique (HP 9000) ; on peut considérer que l'essentiel était fait fin 1986. Cependant il s'est révélé que certains champs devaient être revus : un travail fastidieux et long qui doit être mené sans perturber l'utilisation. Pour des raisons de capacité (130 Mo), il a fallu partager les champs entre disque et bandes en fonction des taux d'utilisation.

informatique) c'est-à-dire de faire admettre le petit effort de discipline nécessaire, de mettre en place une procédure de validation des données au-delà de la "chasse aux erreurs".

Nous avons dépassé le seuil critique en masse de données analytiques et les taux de réponses sont devenus satisfaisants, sauf en ce qui concerne les analyses "récentes" (traces récemment développées...) et les sédiments non métamorphisés. Insistons sur le truisme "une B. de D. ne peut restituer, et c'est son rôle premier, que ce qui lui a été fourni correctement".

Pour entretenir et développer cet outil, *la fonction "relations extérieures"* doit être prise en compte complètement.

Il serait abusif de dire qu'il n'y a pas eu, ou peu, d'exploitations scientifiques, les listes de publications auxquelles nous avons contribué, jointes aux derniers rapports d'activités en témoignent; remarquons que ces listes sont très incomplètes: mauvais retour de l'information, notamment en ce qui concerne les publications issues des thèses que nous avons aidées, les publications tardives (par rapport aux travaux effectifs et/ou par rapport à la date de la référence bibliographique). Cependant il faut bien reconnaître que nous n'avons pas eu de véritable politique spécifique d'exploitations à publier et nous devons faire un effort en ce sens.

C'est dans cette optique qu'un recentrage sur l'axe de recherche, "Caractérisations des matériaux et processus - Banque de données géochimiques" a été préconisé par le Conseil Scientifique du CRPG. Pour ce faire le Service doit pouvoir fonctionner et évoluer.

III - Contrats

- **A. Ploquin**, avec la DBMIST. Deux contrats successifs (fin 86-87, fin 88-89) relatifs à la mise en route du programme d'archéométrie avec B.D. sur les scories et produits associés à la paléosidéurgie (et fichier bibliographique à Besançon) en coresponsabilité, cf. III et IV.

Rapport du 1er contrat remis (2d en cours de rédaction) :

Remy J.L. (1988) Développement d'une base de données d'archéométrie métallurgique et minière "Artémise-Scories". Convention DBMIST 86.69 du 1er décembre 1986, Univ. Besançon, CRPG Nancy, Labo. Archéol. des Métaux de Nancy, 50 p.

- **A. Ploquin**, coopération franco-hellénique. Conseil pour la création de la BD géochimique de l'IGME (Service Géologique de Grèce).

- **A. Ploquin**, pour mémoire, remise début 1985 du rapport final de l'Action Concertée (DGRST-VRSS) Amas sulfuré de Chizeuil, S. et L., commun à plusieurs contrats en parallèle: J. Delfour (BRGM-SGN), M. Piboule (Univ. Lyon) et A. Ploquin.

IV - Collaboration

Les collaborations scientifiques sont, par nature, évolutives dans le temps; nous ne citerons ici que les actuelles et/ou les plus constantes hors CRPG (cf. III).

- Groupe Français pour l'Etude des Formations Paléozoïques, c'est le nouvel intitulé de l'association issue de l'ex-PICG 27; notamment avec J.M. Quenardel, D. Santallier, A. Piqué.

- Groupe de travail français pour SEDBA, co-animé avec R. Meyer; groupe international SEDBA, PICG 269.

- Groupe international IGBA, PICG 239.

- Institut Dolomieu (G. Vivier, M. Piboule).

renseignements adjoints aux analyses contenues dans ces différents chapitres est très variable; meilleure dans Artémise, IGBA et Ophra, réduite dans la plupart des autres. Quoi qu'il en soit cet ensemble est, à ma connaissance, le plus important hormis les pétroliers. L'hétérogénéité de la qualité de ces renseignements adjoints et leur collecte sont les sources des principales difficultés que nous avons à résoudre et c'était là un des rôles importants de Mme Marchal. Nous avons mis au point les programmes nous permettant de tenir le *rôle de relais* entre Artémise et IGBA, la banque de données internationale pour les roches ignées, reste maintenant à le faire savoir et fonctionner. De même nous sommes partie prenante dans le projet PICG d'étude puis de création d'une base de données internationale sur les sédiments, SEDBA, qui ne sera pas seulement géochimique, et A. Ploquin est chargé d'en organiser la seconde réunion internationale et le groupe de travail d'Europe occidentale.

Après l'IGME, service géologique de Grèce, ce sont *les* services marocains qui nous sollicitent pour créer leur propre banque géochimique *commune*.

La convention avec le BRGM et le GIS d'Orléans est à citer ici.

La fonction "relations extérieures, promotions, coopérations, animation de groupes de travail, etc." était tenue par Ph. Grandclaude et n'a jamais pu être reprise réellement depuis son décès, par l'un ou l'autre des responsables successifs.

Activité de services

C'est le rôle d'interface entre les divers chapitres de la base de données et les usagers par la création, à la demande, de "fichiers de travail". Ce sont ces fichiers de travail qui seront livrés à l'utilisateur, sur papier ou disquettes ou bandes, accompagnés ou non de traitements. Ces traitements peuvent être "au menu", "à la carte" ou "à façon" et consistent essentiellement en calculs de paramètres, en dessins, diagrammes ponctiformes ou en isodensités, normes, formules structurales, géothermo-baromètres (beaucoup de variantes à façon), statistiques.

Ce "service" est bien souvent le rendu de la fourniture de données.

De fait il existe tous les intermédiaires entre le simple "service" et la participation à la définition du fichier, de son traitement, *voire même à l'interprétation*; c'est une *fonction "bureau d'études"*.

Perspectives

Cette crise qu'engendre le départ de Mmes Marchal et Sarre peut être l'occasion de repenser l'organisation et certaines fonctions du Service. Il ne faut pas oublier non plus que l'HP 9000 vieillit et devra être changé à moyen terme, donc également le SGBD avec refonte de logiciels. Il ne faut pas se leurrer, le fonctionnement *et* l'évolution d'une base de données, et surtout de la taille de celle-ci ! nécessite *le rôle actif d'une personne de niveau ingénieur ou DEA*, sinon thèse, à *double formation géologique et informatique*.

Au plan informatique une meilleure intégration des procédures de recherche des données dans les divers chapitres de la base est nécessaire. La récupération des informations, puis leur formalisation, complétant les fichiers "sauvages" est à poursuivre afin de les incorporer à l'une des banques.

Le développement de la micro informatique devrait entraîner la réduction des "petits travaux" qui peuvent être faits à partir des fichiers de travail livrés sur disquettes... mais risque aussi de réduire l'apport de données fraîches (analyses *et* renseignements adjoints permettant leur emploi par d'autres que le collecteur). La fonction "relais" nous impose d'améliorer encore le stock de données disponibles, tant en nombre qu'en qualité. Cette amélioration demande le développement d'un réseau de collecte et diffusion de données (support papier ou mieux

- Archéométrie: groupe "mines et métallurgie" de l'Université de Paris I (P. Benoit et al.), laboratoire de métallurgie antique (Pr. M. Mangin et al.), URA 6 (M.C. Bailly-Maitre) et l'URA 34, section fer, laboratoire d'archéologie des métaux (C. Forrière); tous se retrouvent maintenant dans le programme H 27-2. Université de Toulouse (C. Domergues), de Mayence (Pr. I. Kessman) et de Lausanne (H.R. Pfeiffer et V. Sernels).

- BRGM et IGME espagnol, dans le cadre de la Synthèse géologique des Pyrénées.

- IGME grecque, activité de conseil pour la création de sa banque de données.

A ces collaborations "scientifiques" ajoutons les collaborations plus "de service":

Liste des demandeurs de travaux à l'EDTA (un ou plusieurs dossiers chacun, certains travaux "CRPG" sont en collaboration avec "l'extérieur").

demandeurs CRPG, Nancy I, BRGM, CREGU, Musée du Fer, GIS-Orléans, Etrangers :

année 1988 : Aid Saadi, Albarède, Angoua, Banzet, Barbey, Baroz, Bertrand, Boutaleb, Breheret, BRGM, Brouand, Brown, Bureau, Cheillets, Cuney, Debon, Desmons, Dia, Djama, Fougnot, Friedrich, Haimeur, Ikenne, Johan, Kahoui, Laurent, Lesquer, Leterrier, Lo, Marini, Moulahoum, Nedelec, Ngom, Njel, Ngom, Ohnenstetter, Okitaudji, Ongen, Ouazzani, Ouguir, Pichavant, Ploquin, Pothin, Quenardel, Reyno, Ribeiro, Rizki, Romano, Rosa, Saupé, Scheepers, Stussi.

116 dossiers traités

V - Activités de formation

Lors de l'assistance fournie à l'occasion de thèses, ou autres travaux il est fréquent que nous soyons amenés à expliquer les fondements de la diagrammatique, y compris en remontant aux notions de populations et d'échantillonnage.

Quatre TUC sont passés dans notre Service, deux ont trouvé du travail, un est au Service National et le quatrième... a disparu un jour. Nous nous sommes efforcés de ne pas les cantonner à la "saisie brute" mais de leur montrer plusieurs aspects:

- saisie rapide, à partir de données formalisées
- saisie "sans faute", à partir de données à remettre en ordre
- pratique de logiciels

Un vacataire, ou stagiaire, archéologue (J.L. Remy) a été incorporé épisodiquement au Service pour la mise en place (bibliographie, formalisation, saisie, contrôle, transferts) du volet "scories".

Travaux en collaboration technique avec l'EDTA

publiés et dont les auteurs nous ont communiqué les références avant le 3 février 1989. Les données chimiques correspondantes sont stockées dans la Base de Données.

Cette liste est incomplète: il manque la plupart des publications exploitant les thèses pour lesquelles nous avons oeuvré.

Sommaire

Déformation et Métamorphisme	3
Fuides.....	11
Géochimie des Traces et Isotopes, Géochronologie	19
Géothermie	35
Hydrothermalisme, Métallogénie, Minéralisation.....	39
Informatique Appliquée.....	67
Instrumentation.....	73
Magmatisme	77
Minéralogie.....	95
Pétrologie Expérimentale.....	99
Geostandards.....	105

**RESUMES PUBLIES
DES TRAVAUX DES EQUIPES**

Sommaire

DIOT H., BOUCHEZ J.L., BOUTALEB M. et MACAUDIERE J. Le granite d'Oulmès (Maroc central) : structure de l'état magmatique à l'état solide et modèle de mise en place.....	5
FRIEDRICH M., MARIGNAC C. et FLOCH J.P. Sur l'existence de trois chevauchements ductiles "himalayens" successifs à vergence NW en Limousin.....	5
BERTRAND J.M., KIENAST J.R. and PINARDON J.L. Structure and metamorphism of the Karakorum gneisses in the Braldu-Baltoro Valley (North Pakistan)	6
BOULLIER A.M. and BARBEY P. A polycyclic two-stage corona growth in the iforas granulitic unit (Mali)	7
BOULLIER A.M. and BARBEY P. Precambrian granulites in northern Africa	7
NZENTI J.P., BARBEY P., MACAUDIERE J. and SOBA D. Origin and evolution of the late precambrian high-grade yaounde gneisses (Cameroon).....	8
MARTIN H. and BARBEY P. Zircon U-Pb versus Rb-Sr whole-rock age data from eastern Finland.....	9
BARBEY P. and RAITH M. The granulite belt of Lapland	9
MARIGNAC C., MONTEL J.M., MACAUDIERE J. et WEISBROD A. Caractère polyphasé de la migmatisation vellave.....	10

DEFORMATION ET METAMORPHISME

Structure and metamorphism of the Karakorum gneisses in the Braldu-Baltoro Valley (North Pakistan)

*Structure et métamorphisme des gneiss du Karakorum
dans la vallée de la rivière Braldu et du glacier du Baltoro
(Nord Pakistan)*

by Jean-Michel BERTRAND*, Jean-Robert KIENAST** and Jean-Luc PINARDON**

ABSTRACT. — The Karakorum gneisses outcrop north of the complex suture separating the Indian-Pakistan plate from the Europe-Asia block; they grade to deformed earlier members of the Karakorum batholith ranging in age from Cretaceous to Miocene and are cross-cut by its later members. The main interest of the region lies in the fact that very young high-grade gneisses (Miocene), outline the southern edge of the Europe-Asia Plate. The tectonic and metamorphic evolution of the Braldu-Baltoro region is interpreted here as resulting from a polyphased history. The following structural sequence has been defined: - (1) A D1 isoclinal folding was accompanied by subparallel healed shear zones and by intense boudinage, and cross-cut by a dense net of post-D1 heterogeneous leucogranitic veins and stocks; - (2) a major phase of EW trending recumbent folds (D2), is followed by (3) large open D3 folds generating EW trending domal structures (Dassu and Panmah domes); and (4) a late set of brittle to locally more ductile structures such as the southern thrust contact of the Karakorum gneisses with the Shyok suture zone. The sequence proposed here differs from other interpretations (Rex et al. 1988). We consider that the D1 event only may be attributed to the main India-Asia collision and that the D2-D3 events, interpreted as having occurred in a continuum, correspond to a late reactivation of the major thrusts and sutures related to continuing continental subduction.

A D1-related intermediate pressure assemblage is preserved (Grt-St-Ky) in the upper levels of the tectonic pile; the estimated PT conditions determined are 10-4 Kb and 700-525°C. In the core of the large D3 domes, late granoblastic recrystallization is widespread together with almost complete S1-S2 transposition, incipient melting and development of a low-pressure sillimanite-bearing assemblage where relicts of

higher pressure minerals are locally preserved. Corresponding PT conditions are 650-550°C and a lower pressure (5.5 to 2.5 Kb). As most of the observed structures at the lower levels (mineral lineations, boudinage) are clearly associated with (or reworked by) D2 and accentuated by D3 which was accompanied by partial melting, D2 and D3 are interpreted as representing a continuum developed in the same PT field. It can be assumed also that the Baltoro granite was emplaced by the end of this combined D2-D3 event. From the Miocene ages published for the Baltoro granite (20 Ma to 8 Ma), the low-pressure evolution of the Karakorum gneisses may represent a very young high-grade assemblage. The age of D1 is less defined but at least older than 36 Ma old leucogranites.

The sharp contact along the Shyok Suture zone, interpreted as a large thrust (Main Karakorum Thrust = MKT) of this young high-grade metamorphic terrane against the older (older than 30-45 Ma from late undeformed intrusives) Kohistan-Ladakh island-arc domain, is interpreted, following Mattauer (1985), as resulting from the interaction between the still-ongoing northward movement of the Indo-Pakistan plate and an opposite southward continental subduction, seismically active, operating in Pamir.

Key-Words: Himalayan belt. Miocene metamorphism. Polyphase metamorphism. Collision tectonics.

RÉSUMÉ. — Le Karakorum forme l'extrême sud de la plaque Eurasiatique au niveau de la grande virgation de l'Himalaya occidentale. Il est constitué de matériel d'origine Gondwanienne accreté à l'Eurasie au cours du Mésozoïque. Lors de la collision avec la plaque Indo-Pakistanaise, le Karakorum occupe une situation du même type que celle du sud du Tibet à ceci près qu'ici, entre les deux plaques, un grand domaine d'arc insulaire (Kohistan et Ladakh), a été impliqué dans une évolution géodynamique et tectonique complexe. Du fait de l'existence de cet arc, la collision s'est produite en deux temps, entraînant la formation de deux sutures distinctes, celle du nord- suture de Shyok -fermée entre 90 et 75 Ma et celle du sud- Main Mantle Thrust -fermée entre 54 et 45 Ma.

* Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques (CRPG-CNRS), BP 20, 54501 Vandœuvre-les-Nancy Cedex, France.

** Laboratoire de Pétrologie du Métamorphisme, Universités Paris VI et Paris VII, 4 place Jussieu, Tour 6, 3^e étage, 75252 Paris Cedex 05, France.

Le granite d'Oulmès (Maroc central) : structure de l'état magmatique à l'état solide et modèle de mise en place

par HERVÉ DIOT *, JEAN-LUC BOUCHEZ **, MOHAMED BOUTALEB *** et JEAN MACAUDIÈRE ****

Mots clés. — Granite, Structure, Cinématique, Cisaillement, Hercynien, Maroc, Oulmès.

Résumé. — Une étude des orientations des structures d'écoulement du granite d'Oulmès, enregistrées de l'état magmatique ou visqueux à l'état solide, jointe à une étude structurale plus classique de l'encaissant immédiat et des filons de granite et de quartz, met en évidence la généralité d'une direction d'extension NNE-SSW subhorizontale, qui précède probablement, accompagne et post-date la mise en place du massif.

La disposition subverticale et de direction NNE des plans de l'écoulement à l'état magmatique suggère que le massif granitique d'Oulmès constitue l'émergence, à la faveur d'un dôme diapirique local, d'une crête granitique jalonnant une zone de cisaillement du socle mésétien, de direction N010°E. Dans l'état intermédiaire entre visqueux et solide, ce dôme poinçonne sa couverture (aplatissement et étirement NNE) qu'il métamorphose (andalousite, biotite, et localement grenat, staurolite et cordiérite). Au toit de ce dôme les structures de déformation à l'état solide sont identiques dans le granite et dans la couverture : elles expriment toutes un étirement selon NNE.

On note un écart angulaire systématique de 10° à 20° et plus, entre, d'une part la direction de l'écoulement à l'état visqueux du granite (N010°E) et, d'autre part 1) la direction de l'extension dans la couverture immédiate (N020°E) ; 2) l'axe de zone de la schistosité principale (N030°E), parallèle au grand axe du massif assimilé à une ellipse, et 3) les axes des plis régionaux (N030° à 060°E). Ces données angulaires, exprimant une rotation anti-horaire, de NE (et même ENE) vers NNE en direction du granite où la déformation est maximum, s'intègrent bien dans un modèle de cisaillement socle-couverture de la Méséta ; elles indiquent, outre un taux de cisaillement élevé, un fonctionnement senestre de cet accident crustal mésétien, de direction submérienne.

The Oulmes pluton (central Morocco) : structures from magmatic state to solid state and model of emplacement

Abstract. — The emplacement kinematics of the Oulmes granite has been studied by recording the orientation of its internal flow structures and dikes. The flow structures reveal a transition from magmatic or viscous to solid state deformation with a persistent subhorizontal extension axis trending NNE. The almost vertical and NNE trending magmatic flow planes within the granite point to an origin in a deep seated shear zone. During shear, a local accumulation of magma tends to rise with, at a state intermediate between viscous and solid, a subsequent punching and metamorphism of the cover rocks (flattening and NNE extension ; andalousite, biotite and locally garnet, staurolite and cordierite aureoles). Along its cooling roof, the granite and the cover rocks display solid state structures denoting the same kinematics : horizontal extension parallel to NNE.

A systematic angle of 10° to 20° and more is observed between the shear zone, considered as parallel to the magmatic flow planes and axes (N010°E) and 1) the extension direction within the cover rocks (N020°E) ; 2) the zone axis of the foliation planes, parallel to the long axis of the massif, and 3) the regional fold axes (N030° to N060°E). This anticlockwise angular variation toward the granite where linear deformation is maximum is consistent with a model of folded cover rocks over a sinistral transcurrent shearing mesetian basement.

C. R. Acad. Sci. Paris, t. 306, Série II, p. 663-669, 1988

663

Géologie/Geology

Sur l'existence de trois chevauchements ductiles « himalayens » successifs à vergence NW en Limousin

Marc FRIEDRICH, Christian MARIGNAC et Jean-Pierre FLOCH

Résumé — La réinterprétation des données publiées sur le Limousin permet la mise en évidence de trois chevauchements ductiles à vergence NW, ayant toutes les caractéristiques des chevauchements himalayens, et relayés dans l'espace et dans le temps. Le premier serait éo-hercynien ; le deuxième marque la phase bretonne ; le troisième serait Viséen supérieur.

Evidence for three successive Himalayan NW trending thrusts in the Limousin region (NW of the French Massif Central)

Abstract — From the data published on the Limousin area, it is concluded that there are three NW trending thrusts displaying all the characteristics of Himalayan thrusts successively emplaced in time and space: the first at eo-Hercynian times, the second during the Bretonne phase, the third in the late Viséan.

Various lithologies have been described but platform metasediments (metapelites, marbles, quartzites) are quite frequent. Low-pressure assemblages systematically followed high-pressure ones, indicating near-adiabatic uplift. Illustrative examples come from the Transaharan belt (In Ouzzal, Central Hoggar, Iforas) or Northern Cameroon.

3) Several types of Pan-African granulites were recognized : granulite-facies rocks of various origins and ages resulting from crustal thickening during the Pan-African continental collision, such as charnockites in the Central Africa Republic or shallow water metasediments in southern Cameroon (Yaounde gneisses); mafic or ultramafic bodies emplaced in the lower crust such as the Amalaoulaou (Mali) and Djabatore (Togo) complexes; low-pressure Pan-African granulites (Egatalis in Algeria and Aguel'hoc in Mali) interpreted as rapidly uplifted terrains or as a thermal anomaly parallel to the suture zone.

ORIGIN AND EVOLUTION OF THE LATE PRECAMBRIAN HIGH-GRADE YAOUNDE GNEISSES (CAMEROON)

J.P. NZENTI¹, P. BARBEY^{1,2}, J. MACAUDIERE^{2,3} and D. SOBA⁴

¹Laboratoire de Pétrologie, Université de Nancy I, BP 239, 54506 Vandoeuvre les Nancy Cedex (France)

²Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques, BP 20, 54501 Vandoeuvre les Nancy Cedex (France)

³Laboratoire de Pétrologie, E.N.S.G., BP 452, 54001 Nancy Cedex (France)

⁴Institut de Recherche Géologique et Minière, BP 4110, Yaoundé (Cameroon)

(Received March 17, 1987; revision accepted September 7, 1987)

Abstract

Nzenti, J.P., Barbey, P., Macaudiere, J. and Soba, D., 1988. Origin and evolution of the late Precambrian high-grade Yaoundé gneisses (Cameroon). *Precambrian Res.*, 38: 91-109.

The Yaoundé series is composed of low to high-grade garnet-bearing schists and gneisses belonging to the Pan-African North-equatorial fold belt.

The high-grade rocks consist of kyanite-garnet gneisses and garnet-plagioclase gneisses containing layers of calc-silicate rocks, marbles, quartzites and magnetite-rich orthopyroxenites. The chemical patterns of these rocks are those of a sedimentary sequence of shales and greywackes and minor dolomite-rocks, dolomitic marls, evaporitic beds, quartzites and iron-rich sediments. Some volcanogenic greywackes may have been of alkaline affinity. This sequence was probably deposited in shallow-water, near-shore, semi-barred conditions which can be related either to an intra-continental distensive environment or to a passive margin at the northern edge of the Congo craton.

The Yaoundé gneisses were deformed during two main tectonic phases: the first phase (D_1) is marked by a layering (S_0 - S_1) resulting from tectonic transposition; the second one (D_2) corresponds to tangential tectonics with isoclinal folds and flat-lying shear zones associated with a S_2 schistosity and a L_2 lineation; a third phase (late- D_2) is marked by the development of low temperature mylonitic shears. Scarce wrench faults indicate later E-W compression. The D_1 - D_2 transition is characterized by the emplacement of mafic and ultramafic rocks and by the development of high-pressure granulite facies conditions ($T=750$ - 800°C , $P=10$ - 12 kbar). These peak metamorphic conditions triggered a widespread migmatization dated at 565 ± 22 Ma and coeval with the D_2 event. The gradual decrease of the metamorphic conditions toward the south and the existence of a syn- D_2 , retrograde, inverse metamorphic gradient, suggest that the overall structure of the Yaoundé series is a large tectonic nappe thrust onto the Congo craton. A geotectonic scheme for the North-equatorial fold belt is discussed.

A polycyclic two-stage corona growth in the Iforas Granulitic Unit (Mali)

A.-M. BOULLIER, *Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques, B.P.20, F 54501 Vandoeuvre-les-Nancy Cedex, France*
P. BARBEY, *Université de Nancy I, Laboratoire de Pétrologie, B.P. 239, F 54506 Vandoeuvre-les-Nancy Cedex, France and CRPG, B.P. 20, F54501 Vandoeuvre-les-Nancy Cedex, France*

Abstract. Retrograde and prograde mineral assemblages from metapelitic and metabasic rocks of the Iforas Granulitic Unit (Mali) were generated by the superimposition of two granulite facies metamorphic events. They clearly result from a polycyclic evolution and can be related to a late Eburnean unroofing followed by a Pan-African burial.

Thermobarometry on Pan-African garnet-bearing assemblages yields (P, T) estimates of $620 \pm 50^\circ\text{C}$ and $5 \pm 1\text{ kbar}$. The nearly anhydrous conditions produced in the Eburnean appear to be the direct cause of the unusually low-temperature granulite-facies metamorphism in the Pan-African. These P, T estimates are compared with those obtained on the underlying unit (Kidal Assemblage) upon which the Iforas Granulitic Unit was thrust. A $P-T-t$ path, during the Pan-African orogeny, is proposed and discussed for both the Iforas Granulites and Kidal Assemblage.

Key-words: Eburnean orogeny; geothermobarometry; Pan-African orogeny; polymetamorphism; $P-T-t$ path.

Terra Cognita, 8, 246, 1988

A4

PRECAMBRIAN GRANULITES IN NORTHERN AFRICA

A.M. BOULLIER¹ & P. BARBEY^{1,2}

¹CRPG, Vandoeuvre-lès-Nancy, France

²University Nancy I, Vandoeuvre-lès-Nancy, France)

Information available on the age, areal extension, lithologies and metamorphic conditions allow the Precambrian granulite-charnockite occurrences in Northern Africa to be subdivided into three main types:

(1) Archaean granulites (2.6-3.2 Ga) which occur as extensive terrains (locally reworked in younger orogens) in the West African (Mauritania, Sierra Leone, Liberia, Ivory Coast), Congo (Cameroon, Gabon, Uganda) and Nile (Uweinat) cratons. As in many Archaean granite-greenstone terrains, lithologies are twofold: large areas of enderbites to charnockites (partly equivalent to the TTG suites but also corresponding to syngranulitic intrusions) containing remnants of supracrustal successions (with abundant iron formations) locally recognized as greenstone belts. A horizontal tectonic regime predated the high-temperature, medium-pressure metamorphism (overall stability of sillimanite), occasionally associated with diapirism (Tiris area, Mauritania).

(2) Lower Proterozoic granulites (2.1-1.9 Ga) which occur as smaller (locally polycyclic) terrains within the Pan-African orogen.

occurred about 1.9-2.0 Ga ago and culminated in a synkinematic granulite-facies event giving rise to strongly foliated rocks with hypersthene-granulite facies assemblages ($< 850^{\circ}\text{C}$, 8 kb, $\text{XCO}_2 > 0.8$). At the climax of collisional tectonics, the hot granulite belt together with the Inari craton were thrust westward over the cooler, amphibolite-grade, Tana belt and South Lapland craton. The narrow thrust zone at the base of the granulite belt is characterized by flat-lying foliation and a strong inverse metamorphic gradient. Decompression and cooling of the thickened crust during the subsequent isostatic uplift resulted in widespread anatexis of the metasediments (cordierite-bearing metatexites and diatexites) and in partial rehydration of the meta-igneous rocks (hornblende-granulite facies) and were accompanied by gravity tectonics (normal ductile faults, collapse structures). The existence of regional P-T- X_{fluid} gradients during the thorough postkinematic equilibration of the granulite belt, suggests progression of retrograde equilibration from the lower part of the belt (830°C , 7.2 kb, $\text{XCO}_2 \sim 0.9$) towards its intensely migmatized upper part (760°C , 6.2 kb, $\text{XCO}_2 \sim 0.7$). The granulites of Lapland are likely to be the result of a full Wilson cycle (protoliths deposited during plate divergence, granulites-facies metamorphism and related nappe tectonics developed through subduction and collision).

12ème Réunion des Sciences de la Terre, Lille, 1988 - Soc. Géol. Fr. édit. Paris, 93

CHARACTERE POLYPHASE DE LA MIGMATISATION VELLAVE

C. MARIGNAC³, J.M. MONTEL¹, J. MACAUDIERE^{1,2}, A. WEISBROD^{1,2}
 (1) CRPG; Vandoeuvre lès Nancy ; (2) ENSG, Nancy; (3) EMN, Nancy

Sur la bordure méridionale du dôme du Velay, les relations chronologiques déduites de l'analyse structurale sont combinées avec des évaluations thermobarométriques fondées sur les assemblages grenat-plagioclase-cordiérite-biotite-(hercynite), en présence de silicates d'alumine et de quartz. Cette approche permet de préciser l'évolution de la migmatitisation vellave au sens large.

(1) La formation du granite du Velay et de ses migmatites périphériques (migmatisation vellave s.s.) est statique, postérieure à la déformation 3 régionale. Elle a lieu entre 700°C -2,7 kbar (vallée de la Beaume) et 820°C -4 kbar (vallée de la Beaume) et 820°C -4 kbar (vallée de la haute Bourges).

(2) a. Au Sud, la première migmatitisation des schistes des Cévennes est contemporaine de la tectonique 3. Elle implique la cordiérite, selon la réaction $\text{Bi} + \text{Sill} + \text{Q} = \text{Cd} + \text{Fk} + \text{H}_2\text{O}(1)$.

(2) b. Plus au Nord, la formation de nodules à cordiérite et auréole leucocrate, est postérieure à la tectonique 3. Elle oblitère des migmatites syntectoniques sans cordiérite, et met en jeu la réaction (1). Dans des enclaves à Bi-Sill-Gt des migmatites vellaves de la haute Bourges, une cordiéritisation statique a lieu autour de 800°C -5kbar.

(3) La migmatitisation vellave s.s. reprend ces migmatites à nodules de cordiérite. La différence de pression (≈ 1 kbar en un moind donné) implique une faible remontée.

Ces données montrent depuis le début de la phase 3: 1° une baisse de pression corrélée à une augmentation de la température, qui culmine avec la migmatitisation vellave s.s., pour laquelle un gradient local de $\approx 60^{\circ}\text{C km}^{-1}$ est estimé; 2° une évolution complexe de la quantité d'eau présente dans le bâti.

Reply

ZIRCON U–Pb VERSUS Rb–Sr WHOLE-ROCK AGE DATA FROM EASTERN FINLAND

H. MARTIN

*Centre Armoricaïn d'Etude Structurale des Socles - CNRS, Université de Rennes I, Institut de Géologie, F-35042 Rennes
Cedex (France)*

P. BARBEY

*Laboratoire de Pétrologie, Université de Nancy I, BP 239, F-54506 Vandoeuvre-les-Nancy Cedex (France) and CRPG -
CNRS, BP 20, F-54501 Vandoeuvre-les-Nancy Cedex (France)*

(Received October 30, 1987; accepted December 31, 1987)

Introduction

What is the best method to measure the true age of a rock? Unfortunately the answer is not yet available! Each rock, each group of rocks, has to be considered as an individual special case, so that the best way to determine its probable age of formation is to use several independent geochronological methods. The constraints given by each individual isotopic system must be discussed together and furthermore, confronted with the relative field chronology in an attempt to reconstruct the history of the rock. The radiometric study of the Archaean basement of eastern Finland (Martin, 1985) was made and discussed on the basis of results obtained by several methods (Rb–Sr, Sm–Nd, Pb–Pb, U–Pb and Lu–Hf).

Terra Cognita, 8, 245, 1988

A1

THE GRANULITE BELT OF LAPLAND

P. BARBEY¹ & M. RAITH²

¹Université & CRPG, Vandoeuvre-lès-Nancy, France

²Mineralogisches Institut, Universität Bonn, FRG)

The granulite belt of Lapland is an intensely deformed and metamorphosed upthrust sequence of early Proterozoic pelitic to psammitic sediments and basic to intermediate igneous rocks mainly of calc-alkaline character. Based on lithological and chemical patterns, the metasediments are interpreted as a turbidite sequence deposited on a passive margin, whereas the generation of the calc-alkaline magmas and their emplacement into the metasediments are thought to be related to plate convergence (subduction). Compressional deformation and metamorphism of the sequence

Sommaire

ZIMMERMANN J.L., JAMBON A. and GUYETAND G. Manometric and mass spectrometric analysis of fluids in geological materials.....	13
WEISBROD A. Chemical composition of hydrothermal fluids buffered by vein- and pegmatite- forming mineral assemblages : an experimental calibration at high temperatures and pressures.....	13
ZHANG Y.G. and FRANTZ J.D. Experimental study of fluid unmixing in the system $\text{CaCl}_2\text{-H}_2\text{O-CO}_2$, using synthetic fluid inclusions.....	14
ZHANG Y.G. and FRANTZ J.D. Experimental studies of fluid immiscibility in the system $\text{CaCl}_2\text{-HCL-H}_2\text{O-CO}_2$ under hydrothermal conditions using synthetic fluid inclusions.....	15
ZHANG Y.G. and Weisbrod A. Experimental investigations of PVTX and immiscibility in the system $\text{H}_2\text{O - LiCl}$, using the synthetic fluid inclusion technique	16
ZHANG Y.G. Détermination expérimentale des propriétés PVTX de systèmes fluides géochimiquement réalistes par la méthode des inclusions synthétiques : domaines homogènes et immiscibilités.....	17

FLUIDES

SiO₂-H₂O-HCl, for the following assemblages (excess fluid) :

350°C : Q-Tc, K=5.9 ; Tc-Chrys, K=7.1 ; Chrys-Brucite, K=8.0

600°C : Q-Tc, K=0.6 ; Tc-Biopyribole, K=1.0 ; Biopyr.-Fo, K=2.0

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

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

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

Tourmaline is considered as a very "refractory" mineral. The boron content of aqueous fluid equilibrated with tourmaline+cordierite or clinocllore+andalusite or pyrophyllite+albite+quartz has been determined at 1 kbar, from 350 to 730°C. For the pure Mg end-member, the mass fraction of B₂O₃ in solution increases from $.5 \times 10^{-3}$ (350°C) to 22×10^{-3} at 720°C ; melting occurs at about 730-740°C. For the pure Fe end-member, the B₂O₃ content of the fluid is slightly below that obtained with the Mg end-member ; melting occurs at about 100°C below that measured for Mg. The pressure effect is negligible between 1 and 4 kbar. During the course of these experiments, the presence of a Cl-B complex has been recognized. These results are used to model the transfer of boron in aqueous fluids and tourmalinization processes at high temperatures and pressures.

Chem. Geol., 1988, 70, 1/2, 161.

**EXPERIMENTAL STUDY OF FLUID UNMIXING
IN THE SYSTEM CaCl₂-H₂O-CO₂, USING
SYNTHETIC FLUID INCLUSIONS.**

ZHANG YI GANG (1-2), J.D. FRANTZ (2)

(1) ENSG-CRPG, B.P. 452, 54001 Nancy cedex, France. (2) Geophysical Laboratory, 2801 Upton Street, NW, Washington DC, 20008, USA.

Although skarns have been intensively studied from a mineralogical point of view, the actual mechanisms of the interactions between minerals and fluids are poorly understood. In particular, the possible effects of immiscibility during the formation of skarns has not been seriously examined yet. Still, immiscibility in hydrothermal fluids is a common phenomenon, responsible for many spectacular geochemical processes in igneous and metamorphic environments.

Manometric and mass spectrometric analysis of fluids in geological materials

JEAN-LOUIS ZIMMERMANN¹, ALBERT JAMBON² and GILBERT GUYETAND¹

Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques,
CNRS, 15 rue Notre Dame des Pauvres, BP 20,
54501 Vandoeuvre lès nancy Cedex¹ and
Université Pierre et Marie Curie, Laboratoire de Magmatologie
et Géochimie Inorganique et Expérimentale,
Tour 26, 4 Place Jussieu, 75252 Paris Cedex 05, France²

(Received December 23, 1987; Accepted March 18, 1988)

A procedure of volatile analysis in rocks which permits quantitative estimation of all the volatile species of any geological interest is presented and illustrated by several examples. Gas extraction is performed either by vacuum crushing or heating. A separation line using cold traps, oxidation (CO to CO₂) and reduction (H₂O to H₂) furnaces permits to separate several fractions. At the end of each separation phase the pressure in the line is measured with a capacitance manometer before analysis of the gas mixture with a mass spectrometer. Calibration is done periodically using standard gases stored in gauged bottles. The detection limits are 0.5 to 1. × 10⁻⁷ mol H₂O, 0.3 × 10⁻⁷ mol CO₂ and about 0.2 × 10⁻⁷ mol for H₂, N₂, CO, CH₄ and Ar. Further species like organic compounds, SO₂ and H₂S are detected but not determined. In the case of H₂O and CO₂ the reproducibility is better than 4%. The conjunction of vacuum crushing, stepwise heating and size fraction analysis permits to separate components like: dissolved, adsorbed and vesicle trapped. In particular, effects of adsorption have been evaluated: it is a serious problem for species like CO₂ and H₂O with finely crushed material. H₂ and CO detected after thermal extraction when organic compounds are present in the sample reflect organic decomposition rather than any thermodynamic equilibrium attained upon rock formation.

Chem. Geol., 1988, 70, 1/2, 166.

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

A. WEISBROD

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

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

Modelling the metasomatic changes in ultramafic rocks during their alterations requires reliable equilibrium constants. These constants have been determined at 350 and 600°C, 1 kbar, in the system MgO,

function of temperature and pressure occurs at the following CO₂ compositions:

	<u>500°C</u>	<u>600°C</u>
1000 bars	6%	2%
2000 bars	23%	19%
3000 bars	35%	41%

The results indicate that the solvus is strongly pressure dependent but only slightly dependent on temperature in this region. The location of the tie lines within the two-phase fluid region is critical to our understanding of the partitioning of compounds between the two phases. Measurements were made on the relative volumes of the vapor and liquid in the vapor-rich inclusion type, of the homogenization temperature of liquid-gaseous CO₂, and mass spectrometry. All three methods show steeply-dipping tie lines with respect to the H₂O-CO₂ base of the CaCl₂-H₂O-CO₂ ternary diagram indicating extensive partitioning of CaCl₂ in favor of the liquid-rich phase. Attempts are being made to use a quadrupole mass spectrometer to analyze the bimodal distribution of the gases (in AMU) in the two inclusion types and to calibrate this method.

Chem. Geol., 1988, 70, 1/2, 167.

EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF PVTX AND IMMISCIBILITY IN THE SYSTEM H₂O - LiCl, USING THE SYNTHETIC FLUID INCLUSION TECHNIQUE.

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

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

In the Echassières District (French Massif Central), evidence of significant contents of lithium in aqueous phases is attested by very low eutectic temperatures (T_e < 60°C) measured in early fluid inclusions from the Beauvoir granite (Aissa et al, 1987). In order to estimate the effect of lithium in such systems, the poorly known H₂O - LiCl system has been investigated, using the synthetic fluid inclusion technique.

1. Isochores . Lines of constant homogenization temperature (LC Th) have been determined at 500°C, 1.0, 1.5 and 2 kbar , for 2 and 4.5 mol LiCl. The experimental results show that the slopes of the LCTh are similar to those obtained on the H₂O - NaCl and H₂O - KCl systems (Zhang and Frantz, 1987), at the same molalities. This means that, for a given molality and homogenization temperature (Th), the

In skarns, the fluid systems $H_2O-CaCl_2$ and $H_2O-CO_2-CaCl_2$ are of particular interest. Using the synthetic fluid inclusion technique, the compositional boundaries of the immiscibility field have been determined at 600 and 700°C, 1 and 2 kbar (binary $H_2O-CaCl_2$). The simple presence of two types of inclusions indicates the occurrence of unmixing. The compositional boundaries are inferred from ice (binary) or clathrate (ternary) melting temperatures.

The results indicate that the immiscibility domain in the binary system extends to much higher pressures than that of the $H_2O-NaCl$ system with similar salt contents. Adding CO_2 further expands the immiscibility field. The data hereunder provide an example of the location of the ternary solvus (21 wt% $CaCl_2$ in the aqueous phase) :

	1 kbar	2 kbar	3 kbar
500°C	6	23	31
600°C	0	15	23

(numbers indicate the wt% CO_2 at the boundary).

The location of the tie-lines within the two phase region has been estimated from the homogenization temperature of the liquid-vapor CO_2 rich phase, and from the volumic ratio V_{gas}/V_{liq} in the vapor-rich inclusions. The obtained data indicate strong partitioning of $CaCl_2$ toward the aqueous (liquid) phase.

The major result of this work is that, unless high pressures and moderate temperatures are concerned, fluid unmixing must be a common process during skarn formation, with all the consequences concerning the partition of the aqueous components between the liquid, the vapor and the solids.

Terra Cognita, 1988, 8/1, 82.

EXPERIMENTAL STUDIES OF FLUID IMMISCIBILITY IN THE SYSTEM $CaCl_2-HCl-H_2O-CO_2$ UNDER HYDROTHERMAL CONDITIONS USING SYNTHETIC FLUID INCLUSIONS

Y.G. ZHANG^{1,2} & J.D. FRANTZ¹

¹ Geophysical Laboratory, 2801 Upton Street, N.W., Washington DC 20008, USA

² Centre de Recherches Petrographiques et Geochimiques, 15 N. - D. des Pauvres, 54501 Vandoeuvre lès Nancy, France

Immiscibility in hydrothermal fluids is responsible for many spectacular petrological and geochemical phenomena in metamorphic and igneous environments. Of special interest is the immiscible behavior of $CaCl_2-HCl-H_2O-CO_2$ fluids due to their possible role in the of skarn deposits and acid metasomatism. Using standard synthetic fluid inclusion techniques the compositional limits of immiscibility were determined by the presence of either one or two different types of inclusions. Using 18.2 wt% $CaCl_2-H_2O$ solutions, the location of the solvus as a

Immiscibility in the $\text{CaCl}_2\text{-H}_2\text{O- CO}_2$

The appearance of fluid immiscibility in hydrothermal fluids with subsequent separation of the two fluid phases had profound petrologic importance as this process provides a mechanism by which fluids can be substantially enriched or depleted in important rock-forming components. Little, however, is known concerning the temperature-pressure-compositional limits of immiscible fluids. The $\text{CaCl}_2\text{-H}_2\text{O-CO}_2$ system has been experimentally investigated and the results indicate that immiscibility in fluids in this system extends to higher pressures and lower temperatures than previously considered. The CaCl_2 was highly partitioned in favor of the denser phase, but unlike lower immiscible fluids existing at lower pressures, significant concentrations of H_2O occur in the CO_2 -rich fluid. Metamorphic petrologists, in light of these data, must now take immiscibility into consideration when developing theoretical mass transport models for rocks in the Earth's crust.

H₂O - LiCl, isochores are identical to those of the H₂O - NaCl and H₂O - KCl, although the real densities are different indeed.

2. Immiscibility . The immiscibility domain in the H₂O - LiCl system has been investigated at 500 and 600°C, 400 to 500 bar. The results indicate that, for a given molality, the boundary of the liquid + vapor immiscibility domain is close to that obtained in the system H₂O - NaCl, at least at 500°C (Rosenhauer and Bischoff, 1987) and 600°C (Sourirajan and Kennedy, 1962).

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

MEMOIRE DE THESE DE DOCTORAT INPL, 211 pp.
PRESENTE PAR Monsieur ZHANG YI GANG

Détermination expérimentale des propriétés PVTX de systèmes fluides géochimiquement réalistes par la méthode des inclusions synthétiques : domaines homogènes et immiscibilités.

RESUME

General direction of research

Fluid inclusions, small cavities in minerals which contain minutes quantities of aqueous fluids and gases, constitute a very important tool by which geologists and geochemists can reconstruct the history of the minerals containing them. For decades, Earth scientists have used fluid inclusions to interpret the temperature, pressure, and fluid compositions present during the formation and subsequent evolution of crustal rocks. These studies, however, require experimental data concerning the properties of supercritical fluids if the measurements made on natural fluid inclusions are to be interpreted. Such experimental research is the focus of the work. The technique uses synthetic fluid inclusions that are formed in fractured quartz prisms equilibrated with fluids of various composition at elevated temperatures and pressures. In particular, the PVT properties of fluids in the NaCl-KCl-CaCl₂-H₂O and LiCl-H₂O systems and immiscibility in the CaCl₂-H₂O-CO₂ system were investigated.

PVT properties of NaCl-KCl-CaCl₂-LiCl-H₂O fluids

The use of natural fluid inclusions to in determining the temperature-pressure conditions of mineral formation requires experimental PVT data. These data are lacking under hydrothermal conditions for even many of the simple binary systems such as KCl-H₂O, CaCl₂-H₂O and LiCl-H₂O. The data resulting from different investigations of the most thoroughly-studied system, NaCl-H₂O, are inconsistent. Homogenization temperatures for synthetic fluid inclusions formed at hydrothermal temperatures and pressures for the systems NaCl-H₂O, KCl-H₂O, CaCl₂-H₂O, LiCl-H₂O and H₂O have been systematically determined. These experiments formed the data base for the development of a general equation by which homogenization temperatures can be described as a function of temperature, pressure, solute concentration, and solute type. This function can also be utilized to compute homogenization temperatures of mixtures of these solutes. These data were then used to compute the PVT properties of the fluids and agreement with existing data on the H₂O and NaCl-H₂O systems of Burnham et al. (1969) and Hilbert (1979) were excellent. These result provide for the first time a firm foundation on which geologists studying natural fluid inclusions can make accurate temperature-pressure determinations of fluid entrapment.

Sommaire

FRANCE-LANORD C., SHEPPARD S.M.F. and LE FORT P. Hydrogen and oxygen isotope variations in the High Himalaya peraluminous Manaslu leucogranite: Evidence for heterogeneous sedimentary source	23
FRANCE-LANORD C. et SHEPPARD S.M.F. Relations isotopiques O-Sr-Nd dans le leucogranite du Manaslu et héritage sédimentaire	23
ALIBERT C. and ALBAREDE F. Relationships between mineralogical, chemical and isotopic properties of some north american kimberlites.....	24
JAMBON A., MARTY B. and ZIMMERMANN J.L. Comparative Geodynamics of noble gases and H ₂ O.....	24
CHAUSSIDON M. Géochimie du soufre dans le manteau et la croûte océanique : apports de l'analyse isotopique in situ par sonde ionique	25
CHAUSSIDON M., ALBAREDE F. and SHEPPARD S.M.F. Sulphur isotope variations in the mantle from ion microprobe analyses of micro-sulphide inclusions	26
CHAUSSIDON M., ALBAREDE F. et SHEPPARD S.M.F. Hétérogénéité de $\delta^{34}\text{S}$ dans le manteau révèle par les inclusions de sulfures dans les diamants, les roches basiques et ultrabasiques	27
CHAUSSIDON M. and DEMANGE J.C. Instrumental mass fractionation in ion microprobe studies of sulphur isotopic ratios	28
BROUXEL M., LAPIERRE H., MICHARD A. and ALBAREDE F. Geochemical study of an early paleozoic island-arc--back-arc basin system. Part 2: Eastern Klamath, early to middle paleozoic island-arc volcanic rocks (northern California)	28
JUTEAU M., PAGEL M., MICHARD A. and ALBAREDE F. Assimilation of continental crust by komatiites in the Precambrian basement of the Carswell structure (Saskatchewan, Canada).....	29
FRANCE-LANORD C. and SHEPPARD S.M.F. Large scale infiltration of fluids during regional metamorphism. H and C isotope evidence from Central Nepal	29
ARNOLD M. e GONZALEZ-PARTIDA E. Equilibrio químico e isotópico entre sulfatos y sulfuros de los fluidos hidrotermales del campo geotérmico los azufres, michoacan; implicaciones sobre el origen del azufre.....	30
BLAMART D., PICHAVANT M. and SHEPPARD S.M.F. D/H isotopic fractionation between tourmaline and water: experimental results.....	30
BLAMART D., PICHAVANT M. and SHEPPARD S.M.F.	

GEOCHIMIE DES TRACES ET ISOTOPES,

GEOCHRONOLOGIE

D/H isotopic fractionation between tourmaline and water: The experimental calibration of tourmaline-mineral geothermometers at 500°C to 700°C.....	31
BLAMART D., PICHAVANT M. et SHEPPARD S.M.F Fractionnement isotopique D/H entre tourmaline et eau : résultats expérimentaux.....	32
GRANDJEAN P., CAPPETTA H. and ALBAREDE F. The REE and εNd of 40-70 Ma old fish debris from the west-african platform.....	32
ARNOLD M. et SAUPE F. A propos de la réduction bactérienne	33
ZIMMERMANN J.L., STUSSI J.M., GONZALEZ PARTIDA E. and ARNOLD M. K-Ar evidence for age and compositional zoning in the Puerto Vallarta-Rio Santiago Batholith (Jalisco, Mexico).....	34
MEGHRAOUI M., PHILIP H., ALBAREDE F. and CISTERNAS A. Trench investigations through the trace of the 1980 El asnam thrust fault: evidence for paleoseismicity	34

RELATIONSHIPS BETWEEN MINERALOGICAL, CHEMICAL, AND ISOTOPIC PROPERTIES
OF SOME NORTH AMERICAN KIMBERLITES

Chantal Alibert¹ and Francis Albarede¹

Centre de Recherches Petrographiques et Geochimiques, Vandoeuvre-les-Nancy, France

Abstract. Late Precambrian to Cretaceous kimberlites from North America have initial Sr and Nd isotopic compositions ($\epsilon Sr_0 = -4$ to 37, $\epsilon Nd_0 = -4$ to 6) which form a trend falling roughly within the mantle array. Two groups can be defined on the basis of mineralogical and geochemical characteristics: group A encompasses most of the northeast American kimberlites whose rare earth element (REE) concentrations are moderately fractionated, relative to chondrites. Nd isotopic ratios ($\epsilon Nd_0 = 3$ to 6) fall within the field of common ocean island basalts. They are also distinctive by the presence of phlogopite phenocrysts and high-temperature garnet peridotite xenocrysts. Group B includes kimberlites from the Colorado-Wyoming, Kansas and British Columbia areas and one sample from Pennsylvania. They lack the above quoted peridotite suite and abundant phlogopite. Their light REE concentrations show a strong enrichment, relative to chondrites, correlated with relatively unradiogenic Nd ($\epsilon Nd_0 = -4$ to 2). Kimberlites of both groups have radiogenic Pb ($^{206}Pb/^{204}Pb = 18.17-19.41$) and a wide range in $^{207}Pb/^{204}Pb$. In both cases, melts were probably generated in the sublithospheric mantle, but group B melts interacted with an enriched component, resulting mainly from magmatic processes, and probably located within the deep lithosphere. By contrast, the Prairie Creek lamproite (Arkansas), as other ultrapotassic rocks, received its distinctive geochemical properties from a crustal component present in the mantle source.

Chemical Geology, 70, 38, 1988

COMPARATIVE GEODYNAMICS OF NOBLE GASES AND H₂O.

A. JAMBON, B. MARTY (U.P.M.C., Lab. MAGIE, 4 place Jussieu - 75252 PARIS cedex 05). J.L. ZIMMERMANN.

The analyses of isotopes of He, Ar and Xe in the atmosphere and the mantle shows that transfer of these species from the mantle to the atmosphere has been extensive (1), (2). This is further confirmed by mass balance calculation in the case of Ar. It seems very interesting to check whether other volatile species like CO₂ and H₂O behave similarly. This can be done by normalizing volatiles to a rare gas isotope, such as ³He. In the case of CO₂, it has already been shown that this species has been only partly degassed at a slow rate, similar to the present one (3). The H₂O/³He ratio in present day flux from the mantle can be estimated following two lines: (i) average H₂O content in normal MORB; (ii) the measured H₂O/³He ratio in MORB (4) or the H/C, CO₂/³He estimates for MORB. These approaches lead to a similar H₂O/³He ratio of 1.2 [0.8-1.6] x 10¹⁰ mol/mol, which gives a H₂O flux at ridges of 1 x 10¹³ mol/yr. If this flux has remained constant, a model duration of 15 Gyr would be required in order to produce the present day abundance of water at the surface. This clearly implies that the flux has decreased with time, following a behaviour very similar to that of incompatible elements now

Hydrogen and oxygen isotope variations in the High Himalaya peraluminous Manaslu leucogranite: Evidence for heterogeneous sedimentary source*

CHRISTIAN FRANCE-LANORD, SIMON M. F. SHEPPARD and PATRICK LE FORT

Centre de Recherches Pétrographiques et Géo-chimiques, C.N.R.S. Nancy, B.P. 20, F-54501 Vandœuvre, France

(Received May 27, 1987; accepted in revised form November 23, 1987)

Abstract—The Manaslu granite belongs to the High Himalaya leucogranitic belt which was produced by melting of the crust during postcollisional thrusting. δD and $\delta^{18}O$ values have been determined for whole rock and coexisting minerals from the ~ 8 km thick Manaslu massif and its 50 km long dyke sheet, its country rocks and the Formation I (F1) paragneisses which are the source of the granite. For the granite, δD_{musc} range from -70 to -85% and $\delta^{18}O$ W.R. from 10.9 to 12.8‰. H and O-isotope fractionations among minerals are consistent with high temperature equilibrium and, for oxygen, closed system evolution. A few samples, coming mainly from the dyke swarm, have very low δD values (down to -188%) and biotite-muscovite H-isotope fractionations indicative of disequilibrium; the D/H ratios of associated magmatic tourmaline are essentially unmodified. From the distribution of δD values in the granite and its country rocks, circulation of very low deuterium meteoric hydrothermal waters was extremely localized. Because these waters are depleted in deuterium by up to 50‰ relative to modern meteoric waters, the Manaslu area was either at an altitude substantially higher than that of today (2500–6000 m for the analyzed samples) or a mountain chain once existed to the south.

The F1 gneisses have $\delta^{18}O_{\text{quartz}}$ between 12 and 14.3‰ which confirms that the granite was generated from F1, but δD values are $\approx 20\%$ higher than in the granite. Such a difference can be a result of degassing of the magma and/or introduction of fluid in the melting zone. Infiltration of low δD fluid ($\approx -90\%$) into the hot but dry F1 probably triggered partial melting; these fluids could have come from the dehydration of the Midlands sediments which are separated from the overlying F1 by the Main Central Thrust.

The correlations among $\delta^{18}O$, $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_{20 \text{ Ma}}$ and ϵNd values in both F1 and the granite indicate that the variations of these isotopic ratios in the Manaslu are inherited from those in F1 at the time of melting. In turn, these ratios in F1 are related to the proportion of quartz and phyllosilicates for the isotopic ratios of Nd and O, and to the quantity of radiogenic Sr generated within the sediment, which is a function of age and Rb content (amount of phyllosilicate). Some other Himalayan leucogranites require either other crustal source rocks or the $\delta^{18}O$ and $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios of F1 vary along the Himalaya.

12ème Réunion des Sciences de la Terre, Lille, 1988 - Soc. Géol. Fr. édit. Paris, 57

Relations isotopiques O-Sr-Nd dans le leucogranite du Manaslu et héritage sédimentaire.

CHRISTIAN FRANCE-LANORD et SIMON M.F. SHEPPARD
C.R.P.G.-C.N.R.S., BP 20, 54501 VANDŒUVRE

Le leucogranite du Manaslu (Haut Himalaya) est hétérogène pour $\delta^{18}O$, $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$ et ϵNd et ces compositions sont corrélées entre elles de façon positive (*). Ces covariations isotopiques ne résultent pas de processus magmatiques d'assimilation-cristallisation fractionnée mais sont directement héritées des mêmes covariations dans la source du granite. Celle-ci, la Formation I de la Dalle du Tibet, est une alternance grés-péliclique. Dans cette formation, les valeurs de $\delta^{18}O$, $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_{20 \text{ Ma}}$ et de ϵNd augmentent avec la teneur en phyllosilicates calculée au stade sédimentaire de la formation. Ces relations entre compositions isotopiques et proportions de quartz et de minéraux phylliteux résultent :

- pour ϵNd , d'un mélange lors de la sédimentation de deux sources crustales d'âge et de nature minéralogique différentes ;

- pour $\delta^{18}O$, du mélange entre du quartz détritique (8-12 ‰) et des minéraux phylliteux enrichis en ^{18}O (15-19 ‰) par l'altération à basse température du sédiment ;

- pour $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_{20 \text{ Ma}}$, de l'enrichissement préférentiel, sur quelques certaines de Ma, en Sr radiogénique des niveaux les plus riches en minéraux phylliteux qui sont aussi les plus riches en Rb.

(*) : Vidal et al. 1982 G.C.A. 46 2279-92 ; Deniel et al. 1987 C.M.P. 96 78-92; France-Lanord et al. 1988 G.C.A. 52.

$\delta^{34}\text{S}$ de plusieurs ‰ autour de 0. Le $\delta^{34}\text{S}$ moyen des premiers km de croûte océanique altérée peut être estimé à $+3 \pm 1$ ‰.

Enfin l'analyse isotopique in situ de micro-inclusions sulfurées, contenues dans divers minéraux ayant cristallisé dans le manteau et ayant ensuite protégé l'inclusion de toute altération secondaire, révèle des hétérogénéités entre -3 ± 1 et $+9 \pm 1$ ‰ dans le manteau. Les globules sulfurés à haute teneur en Ni, contenus dans les péridotites résiduelles (Type I) ont des $\delta^{34}\text{S}$ variables entre -3 ± 1 et $+3,6 \pm 1$ ‰, avec un mode à $+3$ ‰. Les globules avec peu de Ni ($<10\%$ pds) sont contenus dans les péridotites correspondant à des liquides et cumulats plus ou moins différenciés (Type II), et ont des $\delta^{34}\text{S}$ variant entre -4 et $+9 \pm 1$ ‰, avec un mode de $+1$ ‰. Deux mécanismes fondamentaux semblent pouvoir expliquer ces données : d'une part la subduction dans le manteau de croûte océanique altérée et de sédiments, et d'autre part des fractionnements isotopiques se produisant lors de la fusion partielle du manteau. En admettant, comme semblent le montrer nos données, un fractionnement de $+2 \pm 1$ ‰ entre les liquides sulfurés et le soufre dissous dans les liquides basaltiques, une teneur initiale maximum de 300 ppm de soufre est calculée pour le manteau avant fusion partielle, de manière à créer des liquides silicatés saturés en soufre et avec des $\delta^{34}\text{S}$ de $0 \pm 0,5$ ‰ après 20 % de fusion partielle.

Chem. Geology, 70, 47, 1988

SULPHUR ISOTOPE VARIATIONS IN THE MANTLE FROM ION MICROPROBE ANALYSES OF MICRO-SULPHIDE INCLUSIONS.

M. CHAUSSIDON, F. ALBAREDE and S.M.F. SHEPPARD
(Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques and
ENS Géologie, Vandoeuvre, France)

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

These results show a large heterogeneity of the sulphur isotope compositions of the sulphide originating from the mantle. In spite of the high temperature of melting, a significant sulphur isotope fractionation ($+2 \pm 1$ ‰) between immiscible sulphide melts and sulphur dissolved in the silicate melt is suggested by the present data. The sulphide globules with high Ni-contents and $\delta^{34}\text{S}$ 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 $\delta^{34}\text{S}$ value of $+0.5 \pm 0.5$ ‰. The mass balance of sulphur isotope in the system upper mantle+oceanic

stored in the continental crust. On the other hand, noble gases have been more extensively degassed with a model duration of ~ 200 Gyr. It results that H_2O has not been subject to the catastrophic episode of outgassing postulated for the noble gases, or that water has been preferentially lost into space during early accretional events, or that volatiles species have been massively reincorporated to the mantle on a short time scale before being slowly degassed as is observed today.

(1) OZIMA H., GCA 39, 1127 (1975).- (2) ALLEGRE C. J. et al., EPSL 81, 127 (1986).- MARTY B. & JAMBON A., EPSL 83, 16 (1987).- (4) JAMBON A. & ZIMMERMANN J.L., Chem. Geol. 62, 177 (1987).

GEOCHIMIE DU SOUFRE DANS LE MANTEAU ET LA CROÛTE OcéANIQUE : APPORTS DE L'ANALYSE ISOTOPIQUE IN SITU PAR SONDE IONIQUE

Marc CHAUSSIDON

Thèse de L'I.N.P.L., 1988, Nancy, 139

Résumé

Des données nouvelles de composition isotopique du soufre dans des roches d'origine mantellique, montrent une forte hétérogénéité des $\delta^{34}S$ dans le manteau et remettent en question un $\delta^{34}S$ moyen du manteau semblable à celui des météorites.

Des échantillons de verres basaltiques et de cheminées hydrothermales provenant de la ride Est Pacifique à $13^\circ N$ et $21^\circ N$ et de la croûte océanique sur 1200 m de profondeur (sondage DSDP-ODP 504B), ainsi que des sulfures de quelques dizaines de microns, en inclusion dans des verres basaltiques, des péridotites, éclogites et kimberlites (diamants, olivines, grenat, pyroxènes, ilménite), ont été étudiés pour leur composition isotopique du soufre. Pour cela deux techniques d'analyse ont été développées :

- l'analyse isotopique du soufre en traces (quelques centaines de ppm) par la méthode de Kiba ;
- l'analyse isotopique in situ par sonde ionique d'inclusions sulfures de quelques 10 μm de diamètre.

Dans un premier temps les $\delta^{34}S$ des verres basaltiques de la ride EPR à $13^\circ N$ ont été mesurés ainsi que leurs δD et $\delta^{18}O$, et que les $\delta^{13}C$ et $\delta^{18}O$ des "carbonates" inclus dans les verres. La combinaison de l'ensemble de ces données permet de faire la distinction entre les problèmes de dégazage, d'interaction avec la croûte océanique ou d'interaction avec l'eau de mer. Les résultats peuvent s'interpréter comme un mélange entre deux pôles mantelliques ayant des $\delta^{34}S$ et des δD différents (un pôle avec $\delta D = -80 \pm 10\text{‰}$ et $\delta^{34}S = +0,3\text{‰}$ et un autre avec $\delta D = -45\text{‰} \pm 10\text{‰}$ et $\delta^{34}S = +2 \pm 1\text{‰}$).

Dans un second temps l'effet des circulations hydrothermales au niveau des rides et hors axe, sur le $\delta^{34}S$ de la croûte océanique et des dépôts hydrothermaux qui y sont associés, a été estimée. Les profils isotopiques obtenus sur la cheminée ALV982R15 montrent de fortes variations de $\delta^{34}S$ entre $-0,6 \pm 1$ et $-7 \pm 1 \text{‰}$. Ces variations sont interprétées comme résultant du mélange sur place de sulfures précipités à partir des fluides hydrothermaux et de sulfates marins réduits en sulfures. Les $\delta^{34}S$ des sulfures contenus dans les basaltes altérés du sondage DSDP-ODP 504B, sont variables entre -4 et $+9 \text{‰}$. Une tendance à la diminution des $\delta^{34}S$ des basaltes avec l'augmentation de la profondeur existe. Cependant les échantillons prélevés à -1200 m présentent toujours des variations de

in: Secondary Ion Mass Spectrometry VI A. Benninghoven, A.M. Huber, H.W. Werner eds pp 937-940, Wiley and Sons, New York, 1988

INSTRUMENTAL MASS FRACTIONATION IN ION MICROPROBE STUDIES OF SULPHUR ISOTOPIC RATIOS.

M. Chaussidon* and J.-C. Demange

CRPG-CNRS, BP 20, 54501 Vandœuvre-lès-Nancy Cedex, France.

The ion microprobe offers the exciting possibility of studying the sulphur isotopes geochemistry of minute magmatic sulphide inclusions in, for example, MORB glasses, diamonds in kimberlites, garnets or clinopyroxenes in eclogites or peridotites. These very small sulphide globules (<100 μm) have high temperature parageneses, generally pyrrhotite (FeS) with exsolutions of pentlandite ((FeNi)₉S₈) and chalcopyrite (CuFeS₂). The abundances of these different phases in the inclusions are highly variable and depend mainly on the composition of the parent melts and on the history of the inclusions. Instrumental mass fractionation factors for sulphur isotopic measurements determined on various standard sulphide minerals are very different from one sulphide mineral to another (up to 15‰). These values and their implications for the $\delta^{34}\text{S}$ measurements of sulphides of magmatic origin are briefly discussed.

Geological Society of America Bulletin, 100, 1120-1130, 10 figs., 2 tables, July 1988

Geochemical study of an early Paleozoic island-arc-back-arc basin system.

Part 2: Eastern Klamath, early to middle Paleozoic island-arc volcanic rocks (northern California)

-
- MARC BROUXEL* *Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques, BP 20, 54501 Vandœuvre-les-Nancy cedex, France and Laboratoire de Pétrologie, U.A. 735, Université de Nancy 1, BP 239, 54506 Vandœuvre-les-Nancy cedex, France*
- HENRIETTE LAPIERRE *Laboratoire de Pétrologie, U.A. 735, Université de Nancy 1, BP 239, 54506 Vandœuvre-les-Nancy cedex, France and Département des Sciences de la Terre, Université d'Orléans, 45046 Orléans cedex, France*
- ANNIE MICHARD *Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques, BP 20, 54501 Vandœuvre-les-Nancy cedex, France*
- FRANCIS ALBARÈDE *Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques, BP 20, 54501 Vandœuvre-les-Nancy cedex, France and Ecole Nationale Supérieure de Géologie, 94 Avenue de-Lattre-de-Tassigny, BP 452, 54001 Nancy cedex, France*

A systematic mineralogical, REE and Sr-Nd isotopic study of the eastern Klamath Mountains pre- to Early Devonian volcanism (Copley tholeiites, Lovers Leap volcanic rocks, Trinity ophiolitic basalts) show that all of the rocks belong to a low-K, island-arc, tholeiitic suite, with the exception of the Late Ordovician Lovers Leap Butte calc-alkalic volcanic rocks. All of the latter have low ϵ_{Nd} values ($\epsilon_{\text{Nd(T)}} = 3.9$), suggesting that they suffered crustal contamination.

The Copley and Lovers Leap low-K tholeiites exhibit variable LREE enrichment or depletion and variable ϵ_{Nd} values ($\epsilon_{\text{Nd(T)}}$ range mostly between 5 and 8), suggesting that variable partial melting degree and/or contamination by sediments occur(s). The isotopic features of the Copley high-Mg andesites (boninitic affinities, $\epsilon_{\text{Nd(T)}}$ range between 6.2 and 7.9) show that they were derived from the same source as the low-K tholeiites. The Trinity ophiolitic basalts, along with the LREE-depleted Copley and Lovers Leap tholeiites, show similar geochemical and isotopic features ($\epsilon_{\text{Nd(T)}} = 7.3$ and 7.4), suggesting that they belong to the same island-arc-back-arc basin system.

crust+continental crust+seawater requires a mean $\delta^{34}\text{S}$ value of the depleted upper mantle of $+0.5\text{‰}$ significantly different from the $\delta^{34}\text{S}$ value of ordinary chondrites ($+0.2\pm 0.2\text{‰}$, Thode et al., 1961) but towards that of lunar basalts (1.2‰ , Kaplan et al., 1970).

12ème Réunion des Sciences de la Terre, Lille, 1988 - Soc. Géol. Fr. édit. Paris, 31

HETEROGENEITE DE $\delta^{34}\text{S}$ DANS LE MANTEAU REVELE PAR LES INCLUSIONS DE SULFURES DANS LES DIAMANTS, LES ROCHES BASIQUES ET ULTRABASIQUES.

M. Chaussidon, F. Albarède et S. M. F. Sheppard.
Centre de Recherches Petrographiques et Geochimiques et
E.N.S. Geologie. BP 20. 54501 Vandoeuvre Cédex.

Différents échantillons de sulfures d'origine magmatique, globules et inclusions de très petite taille ($50\mu\text{m}$) dans des diamants, des mégacrysts (pyroxènes, clinopyroxènes, grenats, ilménite) de kimberlite, des péridotites, des éclogites et des verres basaltiques (MORB, basaltes d'arc), ont été mesurés pour leur $\delta^{34}\text{S}$ ($\pm 1\text{‰}$) à l'aide d'une sonde ionique CAMECA IMS3F. Tous ces grains appartiennent généralement à la solution solide de haute température pyrrhotite+pentlandite+chalcopyrite, ont été protégés dans les minéraux ou roches hôtes de toute altération secondaire, et sont donc les meilleurs échantillons du liquide sulfuré immiscible en équilibre avec le manteau en profondeur.

Les $\delta^{34}\text{S}$ mesurés varient de $+1.1$ à $+9.5\text{‰}$ pour les inclusions dans les diamants et de -5 à $+5\text{‰}$ pour les autres types d'échantillons. Ces valeurs montrent clairement que de grandes variations de la composition isotopique du soufre existent dans le manteau dont le $\delta^{34}\text{S}$ a toujours été supposé voisin de celui de la troilite des météorites ferreuses, c'est à dire $0\pm 2\text{‰}$. Ces variations peuvent être expliquées (1) par des fractionnements de plusieurs ‰ se produisant dans le manteau supérieur entre des formes oxydées et réduites du soufre, ce qui pourrait rendre compte d'écart de $\delta^{34}\text{S}$ de $\pm 5\text{‰}$ autour de 0‰ , (2) et par le recyclage dans le manteau à l'aide des zones de subduction, de croûte océanique altérée pouvant avoir des valeurs de $\delta^{34}\text{S}$ de $+10\text{‰}$.

trace graphite increases towards the MCT from $\approx -30\%$ in the chlorite & biotite zones to $\approx -20\%$ in the garnet and kyanite zones.

Calculated isotopic compositions of fluids in equilibrium with the rocks, taking into account metamorphic temperatures and modal compositions are rather uniform over the profiles. δD of water ranges from -55 to -25% and $\delta^{13}C$ of CO_2 varies between -15 & -10% . In the high grade zones these values are similar to those of water and CO_2 from fluid inclusions of quartz pods. Combined with H_2O and C mass balance, modal compositions of rocks and fluid composition, stable isotope data imply that primary values of the Midlands were ≈ -45 to -70% for δD and $\approx -30\%$ for $\delta^{13}C$ of graphite. In situ volatilization tend to decrease δD values of rock ($\approx 15\%$ for 50% dehydration). Migration of these fluids into the lower grade zone tend to decrease δD of these zones through exchange. Migrating CO_2 with $\delta^{13}C \approx -10\%$, probably produced in deeper zones, buffers all the graphite poor rocks.

Univ. Nat. Aut6n. M6xico, Inst. Geologia,
Revista, vol. 7, n6m. 1, 1988, p. 97-105

EQUILIBRIO QUIMICO E ISOTOPICO ENTRE SULFATOS Y SULFUROS DE LOS FLUIDOS HIDROTERMALES DEL CAMPO GEOTERMICO LOS AZUFRES, MICHOACAN; IMPLICACIONES SOBRE EL ORIGEN DEL AZUFRE

Michel Arnold y
Eduardo Gonz6lez-Partida

RESUME

L'6quilibre entre sulfates et sulfures est-il atteint 6 300°C dans le syst6me g6othermique actuel de Los Azufres (Michoac6n, Mexique)? Afin de r6pondre 6 cette question deux approches sont utilis6es. La premi6re, purement chimique, montre que le rapport $m^{+}_{SH_2}/m^{+}_{SO_4}$ des fluides actuels est conforme aux associations min6rales (pyrite-pyrrhotite-calcite) et au pH du r6servoir profond. La seconde, isotopique $\delta^{34}S$, prouve que les compositions isotopiques $\delta^{34}S_{SO_4}$ et $\delta^{34}S_{SH_2}$ sont en accord avec les fractions molaires X_{SO_4} et X_{SH_2} des compos6s sulfur6s du r6servoir profond 6 la temp6rature r6gnante. Ce r6sultat, tr6s important au plan g6ochimique, permet de discuter de l'origine du soufre de la pyrite diss6min6e dans le r6servoir profond. G6n6ralement compris entre 0 et 3‰, le $\delta^{34}S$ de la pyrite est conforme avec l'hypoth6se d'une source actuelle de soufre principalement magmatique. Toutefois, l'existence de valeurs isotopiques plus n6gatives ($-8‰$) n'apparaît explicable, pour les conditions r6ductrices r6gnantes, que si du soufre tr6s appauvri en ^{34}S est remobilis6 du basement compos6 sistant par les m6tap6lites.

Terra Cognita, 8, 58, 1988

6

D/H ISOTOPIC FRACTIONATION BETWEEN TOURMALINE AND WATER: EXPERIMENTAL RESULTS

D. BLAMART, M. PICHAVANT & S.M.F. SHEPPARD
CRPG, BP 20, Vandoeuvre l6s Nancy, France

Tourmaline in natural systems appears to be very resistant to retrograde H-isotope exchange, but the lack of experimental calibration limits its use. The H-isotope fractionation between tourmaline and water at elevated T

Assimilation of continental crust by komatiites in the Precambrian basement of the Carswell structure (Saskatchewan, Canada)

Martine Juteau^{1,2}, Maurice Pagel¹, Annie Michard², and Francis Albarede²

¹ Centre de Recherches sur la Géologie de l'Uranium and GS CNRS-CREGU, B.P. 23, F-54501 Vandoeuvre lès Nancy Cédex, France

² Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques and Ecole Nationale Supérieure de Géologie, B.P. 20, F-54501 Vandoeuvre lès Nancy Cédex, France

Abstract. The isotope geochemistry (Sm-Nd, Pb-Pb and Rb-Sr) of mafic gneisses from the basement of the Carswell structure (Saskatchewan, Canada), rich both in Mg and incompatible elements (K, Rb, REE) has been investigated. A good Sm-Nd alignment gives a slope corresponding to an age of 3.7 Ga. However, comparison with major elements data strongly suggests that this alignment is a mixing line between Mg-rich, high CaO/Al₂O₃ magmas and the local felsic crust older than 2.9 Ga. The mafic magmas were probably of komatiitic affinity (MgO > 20 percent) but, nevertheless, were extracted from a source with nearly chondritic to slightly enriched light REE distribution. The age of the komatiite emplacement (1.9–2.9 Ga) is only loosely constrained by the oldest crustal residence age in the series and the subsequent metamorphic events. The granulite facies climax is dated at ca. 1.9 Ga by concordant whole rock Pb-Pb and Sm-Nd garnet-whole rock isochrons. The Rb-Sr systematics have been disturbed by later event(s) younger than 1.5–1.7 Ga, but do not permit a more precise assessment of the perturbation age.

Chem. Geol., 70, 160, 1988

Large scale infiltration of fluids during regional metamorphism. H and C isotope evidence from Central Nepal.

Christian France-Lanord & Simon M.F. Sheppard
CRPG-CNRS Nancy, BP-20, 54501 Vandoeuvre.

Thrusting of the hot High Himalayan Crystalline Formations over unmetamorphosed Lesser Himalaya Formations (Midlands) induce a prograde and inverted metamorphism in the Midlands (Le Fort, 1975). δD and $\delta^{13}C$ have been measured in various sandstones and schists of the Midland from chlorite zone ($\approx 400^\circ C$) to kyanite zone ($\approx 620^\circ C$) 20 km to the north and close to the MCT thrust. Whole rock δD values tend to increase with metamorphic grade from -104 / -66 ‰ in chlorite & biotite zones to -84 / -45 ‰ in the garnet and kyanite zones. However in the garnet & kyanite zones δD decreases with the fraction of the rock water contained in the biotite. This trend is consistent with distillation of H during dehydration and biotite in/chlorite out reactions. $\delta^{13}C$ of

**FRACTIONNEMENT ISOTOPIQUE D/H ENTRE
TOURMALINE ET EAU : RESULTATS
EXPERIMENTAUX.**

D. BLAMART, M. PICHAVANT & S.M.F SHEPPARD
CRPG, BP 20, Vandoeuvre lès Nancy.

Dans les systèmes naturels, la tourmaline est très résistante aux rééquilibrages isotopiques de l'hydrogène, mais l'absence de données expérimentales limite son utilisation. Le fractionnement isotopique D/H, entre tourmaline et eau, à température et pression élevée, a été déterminé en équilibrant de la tourmaline de composition chimique et de valeur isotopique connue, avec des eaux de compositions isotopiques différentes. Les expériences ont été menées dans un autoclave à chauffage interne, avec un rapport tourmaline/eau de 1/50 (mole) pour l'hydrogène. Dans ces conditions, la phase fluide est un réservoir infini de composition isotopique constant où les problèmes de diffusion D-H, à travers les capsules, sont circonvenus. Deux tourmalines, différentes pour leur composition chimique et leur granulométrie (1-3µm, 10-40µm) sont utilisées : une tourmaline naturelle de la série schörlite-dravite, une tourmaline synthétique proche de la composition d'une dravite. Cette dernière est obtenue par cristallisation d'un verre de dravite (préparé par fusion d'un gel de composition correspondante) à 750°C, 0.75 kbar, et 15 jours. Comparé à une pure dravite, la dravite synthétique a un léger excès d'Al dans les sites tétraédriques et octaédriques. A 700°C, 3 kbars, et pour 7 jours d'expériences une transformation partielle de tourmaline en cordiérite est observée. Des fractionnements initiaux entre eau et tourmaline, respectivement de -54 et -11‰ donnent des fractionnements finaux de +6‰ et +9‰, à 700°C et 7 jours, indiquant un système proche de l'équilibre, et des échanges rapides dans ces conditions.

GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, VOL. 15, NO. 4, PAGES 389-392, APRIL 1988

THE REE AND ϵ_{Nd} OF 40-70 Ma OLD FISH DEBRIS FROM THE WEST-AFRICAN PLATFORM

Patricia Grandjean*, Henri Cappetta** and Francis Albarède*

* Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques & Ecole Nationale Supérieure de Géologie de Nancy

** Laboratoire de Paléontologie, Université de Montpellier

Abstract. REE concentrations and Nd isotopic compositions have been determined in Late Cretaceous-Early Cenozoic fish debris from West African and Israeli platform sediments and show a strong regional control independent of time, except for those from the Northern Morocco. It is suggested that, although diagenetic fluids do not contribute REE's directly to the phosphatic debris, they may significantly change the Ce anomaly and the $\epsilon_{Nd}(T)$ value of the epicontinental seas, which, in turn, control the REE in marine phosphates. It is shown that, over the investigated period, the North Moroccan shelf seawater was progressively flushed by deep North-Atlantic water.

and P has been determined by equilibrating tourmaline of known chemistry and δD value with waters of different δD values. The experiments were carried out in a large volume internally-heated vessel with mass fraction of tourmaline/water corresponding to 1/50 (mole) for hydrogen. The fluid phase is thus an infinite reservoir of constant D/H composition and this has been confirmed. With this technique, the problems of H and D diffusion through the capsule are circumvented. Two different starting tourmalines with grain sizes of 1-3 μm and 10-40 μm , were used : a natural tourmaline in the schörl-dravite series and a synthetic tourmaline close to the pure dravite. The latter was obtained by crystallizing a glass of dravite composition (prepared by 1 atm melting of corresponding gel) at 750°C, 0.75 kbar in rapid quench vessels for 15 days. Compared to dravite, the synthetic tourmaline has a slight Al excess in both tetrahedral and octahedral sites. At 700°C and 3 kbar and for run durations of 7 days, partial breakdown of the tourmaline to cordierite is observed.

Chem. Geol., 70, 182, 1988

**D/H ISOTOPIC FRACTIONATION
BETWEEN TOURMALINE AND WATER:
THE EXPERIMENTAL CALIBRATION
OF TOURMALINE-MINERAL
GEOTHERMOMETERS AT 500° TO 700°C**

D. BLAMART M. PICHAVANT & S. M. F. SHEPPARD.
CNRS-CRPG, BP 20, Vandoeuvre lès Nancy, France.

Tourmaline in natural systems seems to be resistant to retrograde H-isotope exchange. The H-isotope fractionation between tourmaline (schörl-dravite, X_{Fe} ~ 0.5) and water has been determined at elevated T and P by equilibrating a natural tourmaline of known chemistry with waters of different δD values. The experiments were carried out in internally-heated and cold sealed vessels with molar fraction of tourmaline/water corresponding to 1/50 for hydrogen. Total amount of water is sufficiently large to prevent any isotopic effect of H diffusion through the capsules. 1.5wt% B₂O₃ was added to water and in order to remain in the stability field of tourmaline and prevent the formation of cordierite. At 600°C, 3 Kbar after 2 and 4 days hydration of tourmaline by amorphisation of the surfaces is detected for grain size of ~ 3 μm , but after 19 days the final water content is closed to the initial one.

The calculated fractionation factor (α_{e_c}) is 1.002 for 600°C (92% exchange) and 0.980 for 500°C (72% exchange). At 700°C preliminary runs give $\alpha_e = 1.007$. Mineral pairs such as muscovite-tourmaline can give temperatures to $\pm 25^\circ\text{C}$.

K-Ar evidence for age and compositional zoning in the Puerto Vallarta-Río Santiago Batholith (Jalisco, Mexico)

J.-L. ZIMMERMANN,¹ J.-M. STUSSI,¹ E. GONZALEZ PARTIDA,² and M. ARNOLD¹

¹Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques, BP 20, 54501 Vandoeuvre Cedex, France;

²Instituto de Investigaciones Eléctricas, Departamento de Geotermia, Apartado Postal 475, 62000 Cuernavaca Morelos, Mexico

(Received for publication February 1988)

Abstract—K/Ar age dating on plutonic rocks (whole rocks, biotites) of the Puerto Vallarta-Río Santiago Batholith show a southwest to northeast chronological zonation defined by three age alignments of, respectively, 85 ± 5 , 65 ± 5 , and 55 ± 5 Ma isochrons. This zonation coincides with a magmatic zonation in three belts of calc-alkaline granodiorites + granites, quartz diorites + tonalites, and tonalites + granodiorites. Cooling and emplacement ages are usually very close, their difference never exceeding 15 Ma.

Resumen—En dataciones K/Ar de rocas plutónicas (en roca total y biotitas) del Batolito Puerto Vallarta-Río Santiago, se puso en evidencia una zonalidad cronológica de SW a NE. Esta zonación fue definida por tres alineamientos de edades correspondientes a 85 ± 5 , 65 ± 5 , and 55 ± 5 Ma. Esta zonación coincide con una zonación magmática definida por tres bandas calco-alcálicas de granodioritas-granitos, cuarzo-dioritas + tonalitas y tonalitas + granodioritas. Las edades de emplazamiento y de enfriamiento son a menudo parecidas; las diferencias de edades entre ellas no sobrepasan los 15 Ma.

Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 78, No. 2, pp. 979-999, April 1988

TRENCH INVESTIGATIONS THROUGH THE TRACE OF THE 1980 EL ASNAM THRUST FAULT: EVIDENCE FOR PALEOSEISMICITY

BY M. MEGHRAOUI*, H. PHILIP, F. ALBAREDE, AND A. CISTERNA†

ABSTRACT

During the El Asnam earthquake of 10 October 1980 ($M_s = 7.3$), a clear active thrust fault with left-lateral offset was observed. Three trenches have been excavated across this fault in order to determine slip rate and recurrence intervals between large earthquakes, and thus reconstruct its past activity.

Exposure I was excavated in the flood area created in 1980 by a pressure ridge across the Chelif and Fodda Rivers. Six flood deposits (silty-sandy and muddy horizons) alternating with paleosoils appear in this exposure; they are affected by normal faults associated with the main thrust fault. Assuming that every flood deposit results from a tectonic event of magnitude greater than 7, we can correlate previous flood deposits with these events. Exposures II and III display thrust faults displacing different paleosoils. We propose a sequence of reconstructions based on the thickness of the various deposits and the dip-slip of each tectonic event.

The Late Holocene slip rate is 0.65 mm/yr for the dip-slip and 0.46 mm/yr for each of the horizontal and the vertical movements. Radiocarbon dates of co-seismic movements indicate a rather irregular seismic activity during the past 7000 yr. Two sequences of large earthquakes around 4000 yr B.P. and around the modern age are separated with a period of quiescence. The average Late Holocene recurrence interval of large earthquakes is 1061 yr; however, during the active faulting episodes, the recurrence time varies from approximately 300 to 500 yr.

A PROPOS DE LA REDUCTION BACTERIENNE

M. Arnold et F. Saupé

CRPG - BP 20 - 54501 Vandoeuvre

La réduction bactérienne des sulfates en sulfures est un maillon important du cycle géochimique du S. Les sulfures produits (ΣSH_2) sont enrichis en ^{32}S . Le coefficient de fractionnement $\bar{\alpha}$ de cette réaction est souvent assimilé à $\Delta = \delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4^{2-}} - \delta^{34}\text{S}_{\text{sulfures métalliques}}$. Comme cette différence peut varier largement, on en déduit classiquement que $\bar{\alpha}$ est éminemment variable. *Cette conclusion doit être révisée.* A partir d'une série de couples "concentration / composition isotopique" de sulfates (C et δ) mesurés à différentes profondeurs dans les sédiments marins actuels et des caractéristiques de l'eau de mer (C_0, δ_0) on peut calculer $\bar{\alpha}$ s'il existe une bonne corrélation linéaire entre $\log C/C_0$ et $\log [1 - 10^{-3} (\delta - \delta_0)]$. Cette condition est remplie. Le coefficient de fractionnement γ est subconstant ($10^3 \text{Ln } \bar{\alpha} = 22 \pm 3 \text{‰}$) bien que Δ soit très variable et supérieur à $22 \pm 3 \text{‰}$. Δ doit être donc considéré comme la somme de deux fractionnements. Le premier est de $22 \pm 3 \text{‰}$, le second, extrabactérien, est variable et résulte de l'oxydation d'une partie du soufre réduit bactériogène. En effet, dans les milieux marins réducteurs actuels, l'apport métallifère (principalement FeOOH sulfurable) est généralement bien inférieur au soufre réduit bactériogène disponible. Compte tenu du Eh régnant, jusqu'à 90 % du soufre réduit est reoxydé en $1/8 \text{S}_8$ et en $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ notamment. Par cette oxydation, qui croît en raison inverse de l'apport métallifère, le soufre réduit résiduel est enrichi en ^{32}S , comme cela peut être calculé ou déterminé empiriquement en partant des données sur les systèmes actuels. Si l'on admet que le Fe réactif est le principal élément chalcophile introduit dans un bassin, Δ doit croître à mesure que l'on s'éloigne de la zone d'apport et suivre la relation bilan idéale, dans laquelle Φ_{SH_2} et Φ_{Fe} caractérisent une station donnée :

$$\Delta = \delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4^{2-}} - 22 - 10^3 (1 - [(\Phi_{\text{SH}_2} - 2 \Phi_{\text{Fe}}) / \Phi_{\text{SH}_2}]^{0.07}) \pm 3 \text{‰}$$

C'est ce que l'on observe effectivement en Mer Baltique.

Sommaire

ROYER J.J. and DANIS M. Steady state geothermal model of the crust and the problem of the boundary conditions: application to a rift system, the southern Rhinegraben	37
ROYER J.J. et DANIS M. Mise en évidence de phénomènes de réfraction thermique entre le granite de Beauvoir et son encaissant: mesures et modélisation.....	37
DANIS M. Hydrogéologie et transferts thermiques pour un aquifère en bassin sédimentaire : approche numérique	38
MEZGHACHE H., ROYER J.J. et SAUPE F. Estimation du flux géothermique dans la zone mercurifère nord-numidique (Azzaba, Wilaya de Skikda, Algérie)	38

GEOHERMIE

THESE DE L'INPL.

présentée à l'Institut National Polytechnique de Lorraine, Nancy, 90p
Soutenue publiquement le 20 décembre 1988 devant la Commission d'examen

HYDROGEOLOGIE ET TRANSFERTS THERMIQUES POUR UN AQUIFERE EN BASSIN SEDIMENTAIRE : APPROCHE NUMERIQUE Michel DANIS

RESUME

La simulation numérique des phénomènes de transferts de chaleur et de masse en bassin sédimentaire nécessitent des méthodes de traitement spécifiques à cause du faible nombre de données et de la mauvaise connaissance des conditions initiales et des conditions aux limites.

Dans ce travail, des méthodes originales sont présentées pour aborder concrètement la simulation numérique de l'hydrogéologie et des transferts thermiques dans le cas d'un aquifère en bassin sédimentaire.

En ce qui concerne l'hydrogéologie, on aborde :

- la caractérisation des hétérogénéités majeures que sont les failles;
- le problème de la mauvaise connaissance des conditions initiales et de l'évolution des conditions aux limites ;

et en thermique, on développe :

- une méthode simplifiée de mesures du flux géothermique ;
- une méthode de résolution tridimensionnelle aux différences finies prenant en compte la géométrie complexe du domaine.

Toutes ces méthodes sont mises au point sur une étude de cas concernant une anomalie géothermique observée dans la région de Vittel (Vosges). Les résultats numériques permettent de confirmer l'hypothèse d'une venue d'eau thermale sous couverture d'eau sédimentaire comme explication de l'anomalie observée.

C. R. Acad. Sci. Paris, t. 307, Série II, p. 1647-1650, 1988

1647

Géothermie/Geothermics

Estimation du flux géothermique dans la zone mercurifère nord-numidique (Azzaba, wilaya de Skikda, Algérie)

Hamid MEZGHACHE, Jean-Jacques ROYER et Francis SAUPÉ

Résumé — Des écoulements d'eaux tièdes ont été observés sur des forages de prospection effectués sur le flanc Nord du gisement de mercure d'Ismail dans la zone mercurifère nord-numidique (Algérie). La température de ces eaux à l'émergence pouvait laisser suspecter une anomalie géothermique profonde. Cependant le flux géothermique régional, estimé par une méthode simplifiée, a une valeur de $80 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$, voisine des flux mesurés sur le pourtour du bassin méditerranéen et démontre que le système géothermique à l'origine du gisement d'Ismail n'est plus actif.

Steady state geothermal model of the crust and the problem of the boundary conditions: application to a rift system, the southern Rhinegraben *

J.J. ROYER and M. DANIS

Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques, 15 rue Nd des Pauvres, B.P. 20, 54501 Vandoeuvre-lès-Nancy Cedex (France)

(Received February 1, 1988; revised version accepted April 19, 1988)

Abstract

Royer, J.J. and Danis, M., 1988. Steady state geothermal model of the crust and the problem of the boundary conditions: application to a rift system, the southern Rhinegraben. *tectonophysics*, 156: ●●●.

Seismic, gravity and magnetotelluric data are used to model the two-dimensional heat transfer beneath an E-W vertical cross section ranging from the Black Forest, Rhinegraben to the southern Vosges. The temperature field at the present time has been calculated taking into account the effect of temperature on thermal conductivity and the radiogenic heat sources. Heat flow density conditions at depth, computed by solving iteratively the heat equation and comparing the heat flow measured at the surface with the calculated one, have been used. As the resulting heat flow condition at depth is very sensitive to the interpolation method used to estimate the heat flow values at the surface, a confidence interval of the thermal field is then proposed by varying the possible mantle heat flow conditions using a Monte Carlo method. Arguments based on petrological considerations suggest that a temperature condition could be used at the Moho. The resulting model involves regional surface heat flow densities ranging from a normal crustal value of 70 mW m^{-2} to a highest value of 105 mW m^{-2} , in agreement with actual measurements.

The results are compatible with those obtained by the German KTB Program on the Black Forest (Gehlen et al., 1986) and on the Swiss traverse (Rybach, 1979). They suggest that the regional high heat flow (105 mW m^{-2}) measured in the southern Vosges is caused by the high radiogenic elements content (especially thorium) of the Crêtes sub-alkaline granite and by an asymmetry in the lithospheric heating. High heat flow density values observed along the Rhinegraben give evidence of heat refraction phenomena around high conductivity rocks.

Dans Cuney M. et Autran eds. "Le forage scientifique d'Ehassières (Allier)".
Doc. BRGM 124, 305-310.

Mise en évidence de phénomènes de réfraction thermique entre le granite de Beauvoir et son encaissant: mesures et modélisation.

Evidence of heat refraction in and around Beauvoir granite:
Measurements and modelling.

Royer J.J.(1-2) et Danis M.(1)

Resumé: Après une présentation du principe du conductivimètre utilisé, on donne les résultats des mesures de conductivités thermiques, du flux géothermique, ainsi que des valeurs de production de chaleur calculées à partir des teneurs en éléments radiogéniques.

Sommaire

MANNING D.A.C. and PICHAVANT M. Volatiles and their bearing on the behaviour of metals in granitic systems.....	43
CHEILLETZ A. Stratiform tungsten deposits: a review	44
CHEILLETZ A. and GIULIANI G. Epigenesis versus syngensis: a contribution to the debate based on the stratiform tungsten skarn mineralizations of Djebel Aouam, central Morocco.....	45
CHEILLETZ A. et GIULIANI G. Les skarns tungstifères stratiformes du Djebel Aouam (Maroc Central) : modèle de développement métasomatique en deux étapes	45
GUY B., SHEPPARD S.M.F., FOUILLAC A.M.D., TOULHOAT P., FONTEILLES M. and LE GUYADER R. Geochemical and isotope (H,C,O,S) studies of barren and tungsten-bearing skarns of the french Pyrenees.....	46
CATHELINEAU M., MARIGNAC C., DUBESSY J., POTY B., WEISBROD A., RAMBOZ C. and LEROY J. Fluids in granitic environment.....	46
GIULIANI G., LI Y.D. and SHENG T.F. Fluid inclusion study of Xihuashan tungsten deposit in the southern Jiangxi province, China	47
BOUTALEB M. Evolution tectonométamorphique, magmatique et hydrothermale du District stannowolframifère de Walmès (Maroc Central). Implications métallogéniques.....	48
BENNANI M. Reconstitution des paléocirculations hydrothermales de la partie sud (Tarmilat-Zguit) du District stannowolframifère de Walmès (Maroc Central). Conséquences métallogéniques	49
CUNEY M. et MARIGNAC C. Le granite albitique à topaze-lépidolite de Beauvoir : un cas d'hyperspécialisation en Sn sans minéralisations filoniennes associées.....	50
NOYE F. et WEISBROD A. Les indices stannowolframifères de Saint-Mélany (Cévennes Médiannes, Ardèche, Massif Central Français).....	51
GIULIANI G. e D'AVILA FERNANDES P.C. The Archean and Proterozoic molybdenum mineralizations of the Bahia State, Brazil: metallogenetic implication.....	51
CASTELO BRANCO R.M.G., GIULIANI G., CHEILLETZ A. e CLEMENTELLE L. Os berilos verdes da regio de coqui, municipio de quixeramobim novas ocorrencias de esmeraldas no estado doceara.....	52
D'EL-REY SILVA L.J. e GIULIANI G.	

**HYDROTHERMALISME, METALLOGENIE,
MINERALISATION**

Les gisements de barytine, pyrite et oxydes de fer des Alpes Apuanes méridionales (Toscane, Italie) (Contribution à la connaissance des gisements de Toscane - IV)	63
LAGHBIDI A. et SAUPE F. Les magnésites du Rif interne (Maroc).....	64

Controle estrutural da jazida de esmeraldas de santa terezinha de goias: implicacoes na genese, tectonica regional e no planejamento da lavra.....	53
GIULIANI G. e COUTO P. O metassomatismo de infiltracao e sua importancia nos depositos de esmeralda do brasil.....	53
GIULIANI G. and WEISBROD A. Scanning electron microscopy (SEM) and its applications: determination of solid and daughter minerals in fluid inclusions from some brazilian emerald deposits	54
RAMBOZ C., OUDIN E. and THISSE Y. Geyser-type discharge in atlantis II deep, Red Sea: evidence of boiling from fluid inclusions in epigenetic anhydrite.....	55
MARIGNAC C. P-T-X evolution of ore veins associated with paleogeothermal activity at Aïn Barbar (NE Constantine, Algeria): reconstruction from fluid inclusion data	55
MARIGNAC C. A case of ore deposition associated with paleogeothermal activity : the polymetallic ore veins of Aïn Barbar (NE Constantinois, Algeria).....	56
MARIGNAC C. Composition des minéraux et évolution des phases fluides : le cas des filons polymétalliques d'Aïn Barbar (Algérie).....	57
DE GROOT P.A. and SHEPPARD S.M.F. Carbonate rocks from W. Bergslagen, Central Sweden: isotopic (C,O,H) evidence for marine deposition and alteration by hydrothermal processes	57
DENOUN A. Le gisement d'Ismail (Azzaba et l'indice de Bou Ghezlane (Cap de Fer) : deux concentrations mercurifères encaissées dans l'orogène alpin du nord-est algérien.....	58
HAIMEUR J. Contribution à l'étude de l'environnement volcano-sédimentaire et du minerai de l'amas sulfure Massif de Douar Lahjar (Guemassa, Maroc).....	59
RAMBOZ C. Métamorphisme hydrothermal et réactions d'oxydo-réduction en contexte de marge passive et de zone de cisaillement ductile : genèse des concentrations Zn-Pb et graphite associées	59
RAMBOZ C. and CHAREF A. Temperature, pressure, burial history and paleohydrology of the Les Malines Pb-Zn deposit: reconstruction from aqueous inclusions in Barite.....	61
CHAREF A. and SHEPPARD S.M.F. The Malines Cambrian carbonate-shale-hosted Pb-Zn deposit, France: thermometric and isotopic (H,O) evidence for pulsating hydrothermal mineralization	62
HALTER G., PAGEL M., SHEPPARD S.M.F., WEBER F. et CLAUER N. Rétromorphose, paléaltération, diagenèse et hydrothermalisme de l'encaissant des gisements uranifères dans la structure de Carswell (Saskatchewan - Canada)	62
SAUPE F., ORBERGER B. et ARNOLD M.	

metal complexes into F-rich melts is favoured by their depolymerized nature.

The anion content of aqueous fluids greatly influences sub-solidus alteration reactions, particularly those involving alkali feldspars; for a given set of P-T-X conditions, the K/Na ratio of an aqueous fluid in equilibrium with alkali feldspar decreases (in order) for Cl, B and F-bearing solutions. Thus the percolation of B and F-bearing solutions will, in comparison to Cl-bearing solutions, enhance potassic alteration of the wall rock.

Granite-Related Mineral Deposits

Geologie en Mijnbouw 67: 293-311 (1988)

© Kluwer Academic Publishers. Dordrecht - Printed in the Netherlands

Stratiform Tungsten deposits: a review

With implications for the Yxsjöberg – Sandudden deposits of Sweden

Alain Cheilletz

Centre de Recherches Péetrographiques et Géochimiques, Ecole Nationale Supérieure de Géologie, BP 20, 54501 Vandoeuvre-lès-Nancy, Cedex, France.

Received 8 October, 1987; accepted in revised form 14 February, 1988

Key words: Tungsten deposits, classification, syngenetic, epigenetic, exhalative, volcanogenic, calc-silicate bands, Sweden

Abstract

Based mostly on a review of the existing literature and on the experience of the author, a new classification and diagrammatic representation of stratiform tungsten deposits is proposed. It includes three classes of deposits: 1) continental weathering deposits essentially of exogenic origin; 2) Exhalative-volcanogenic deposits divided into proximal, distal and metamorphic-amphibolite types; 3) Concordant replacement deposits divided into calc-silicate band and hornfels band types. An epigenetic two stage model is proposed for the formation of stratiform tungsten mineralizations associated with calc-silicate bands; this model can be applied to the genesis of Central Sweden tungsten deposits.



Volatiles and their bearing on the behaviour of metals in granitic systems

D.A.C. MANNING

Department of Geology, The University
Newcastle upon Tyne, Great Britain

and

M. PICHAVANT

CRPG-CNRS

Vandoeuvre-lès-Nancy, France

ABSTRACT

Volatile components, such as H₂O, CO₂, F, B, Li and Cl, are both directly and indirectly involved in processes of metal (e.g. Sn, W, U, Cu, Mo) incorporation, concentration and transport in granitic melts, and in the extraction of these metals from magmas into a coexisting aqueous phase prior to mineralization. Recent experimental studies of the behaviour of F, B and (to a lesser extent) Li in granitic systems have shown that the presence of volatiles leads to depolymerization of granitic melts, acting as fluxes and affecting both their physical and chemical properties. Volatile-rich melts are able to persist to late stages of magmatic differentiation and so are able to concentrate incompatible elements, including metals, in residual granitic magmas. Paradoxically, the presence of F-rich phases (e.g. micas, amphiboles) increases the thermal stability or rocks undergoing dry anatectic melting; if excess water is present anatectic melting takes place at lower temperatures for F-rich materials. Borosilicates including tourmaline are also very stable at high T and P, and so in general anatectic melting will initially result in concentration of F and B in residual phases, which may subsequently be remobilized to form late anatectic, volatile-rich, magmas.

Reaction between F and B and the aluminosilicate components of granitic melts at constant pH₂O (1 kbar) results in changes in the field boundary and minimum positions in Qz-Ab-Or, which are displaced toward Ab. F-rich granitic rocks in particular have distinctive normative compositions plotting toward the Ab apex. Li appears to have simply a fluxing effect, although with high Li₂O contents (>2 wt.%) petalite is a stable liquidus phase at 1 kbar. Under water-undersaturated conditions the minima are shifted toward the Qz-Or join for the system Qz-Ab-Or with water alone, or added boron, indicating that composite pressure/melt H₂O content effects are important.

On development of an exsolved fluid, Sn, W and Mo partition markedly in favour of the aqueous phase particularly if this is Cl-rich. W is strongly partitioned in favour of the melt for F-bearing compositions. Over-all, the presence of F in solution is currently thought to have little effect on metal partitioning data, except (perhaps) for tin. There is a tendency for the behaviour of metals to reflect that of F or Cl alone; Cl (and metals) partition strongly in favour of the fluid, whereas F prefers the melt. However, the incorporation of various possible

Geochemical and Isotope (H, C, O, S) Studies of Barren and Tungsten-Bearing Skarns of the French Pyrenees*

B. GUY¹, S.M.F. SHEPPARD², A.M. FOUILLAC³, R. LE GUYADER^{1,4},
P. TOULHOAT¹, and M. FONTEILLES¹

Abstract

Both scheelite-bearing and barren skarns occur in Lower Palaeozoic carbonate formations in contact zones of Hercynian granites in the Pyrenees. Chemical analyses of the mineralized Costabonne skarns which developed in marbles show that W, U, Fe, Mn, Zn, S and less clearly Ta and Nb were introduced and elements such as Ti, Al, Zr, Hf and the REE were typically immobile.

D/H and ¹⁸O/¹⁶O analyses of minerals and fluid inclusions from the early Stage I (garnet, pyroxene, ±scheelite) indicate the dominance of metamorphic waters in barren skarns and either metamorphic or magmatic waters in mineralized skarns. Comparable minerals are typically 1‰ or more enriched in ¹⁸O in barren skarns relative to mineralized ones. Fluids responsible for Stage II hydrosilicate-sulphide alteration (amphibole, chlorite, calcite, quartz, sulphides ± scheelite) were dominantly of meteoric origin whose δD value may have evolved during skarn development. ¹³C/¹²C and ¹⁸O/¹⁶O systematics of calcite are interpreted in terms of a hydrothermal decarbonation model, although a magmatic carbon contribution cannot be excluded for some calcites. ³⁴S/³²S analyses of minerals, with δ³⁴S_{ΣS} ~ +2 ± 1‰ for the mineralizing fluids, do not discriminate between a magmatic or country rock source for the sulphur. In mineralized skarns, tungsten concentrations increase with increase in the importance of Stage II development.

The difference in O-isotope composition of comparable minerals from mineralized and barren skarns is a potential prospecting tool. More data are required to test this possibility and its applicability to non-Pyrenean skarns.

Proceedings of the SIMP meeting, Verbania, Itali, "Granites and their surroundings", Rendi Conti della Sic. Ital. de Min. e Petrol., 1988, sous presse.

FLUIDS IN GRANITIC ENVIRONMENT

M. Cathelineau, C. Marignac, J. Dubessy, B. Poty, A. Weisbrod ,
C. Ramboz, J. Leroy

ABSTRACT : Fluids play an essential role for mass and heat transfer in granitic bodies, and their surroundings, any time after their emplacement. Recent combined stable isotope and fluid inclusion studies have largely improved the knowledge on the characteristics of such fluids, and on the processes controlling the fluid production and circulation. Thus, different fluids can be identified, and roughly described as follows : 1) magmatic water, unmixed from the late stage melt; 2) early(metamorphic) fluids, generated in the surrounding rocks during the early stage of the granite emplacement; 3) late external fluids(of any origin, but mainly of meteoric derivation), circulating as a consequence of either pluton cooling, or any reheating (HHP granites, new magmatic intrusion, ...).

The long-duration and multi-stage fluid circulations after the granite cooling explain that are largely overprinted of the earliest fluids. This late hydrothermal activity causes also a significant disturbance of the mineralogical and geochemical features of the granite, and are responsible for a great part of the element (especially those of metallogenic interest) transfers.

KEY WORDS : fluids, hydrothermal activity, fluid inclusion, subsolidus alteration, granite

Epigenesis versus syngensis: a contribution to the debate based on the stratiform tungsten skarn mineralizations of Djebel Aouam, central Morocco¹

Alain Cheilletz and Gaston Giuliani*

Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques, C.R.P.G., B.P. 20, F-54501 Vandœuvre-lès-Nancy cedex, France

* Presently ORSTOM, Embaixada da França, CP 665, 70404, Brasília DF, Brasil

With 6 figures

Abstract. Stratiform scheelite-biotite banded mineralizations in the polymetallic W-Pb-Zn-Ag district of Djebel Aouam, central Morocco, are interpreted as skarn bodies resulting from a two-stage process: (1) Metamorphic reactions in interbedded pelitic and impure limestone layers produce a characteristic zonation by cation exchange; (2) Later infiltration of hydrothermal fluids causes the replacement of the previously constituted calc-silicate layers and the formation of the stratiform tungsten mineralization. This stratiform skarn development occurs away from the granitic contact.

Doc. BRGM N°158, Johan Z. et Ohnestetter D. eds, 151-173.

LES SKARNS TUNGSTIFERES STRATIFORMES DU DJEBEL AOUAM (MAROC CENTRAL) : MODELE DE DEVELOPPEMENT METASOMATIQUE EN DEUX ETAPES

A. CHEILLETZ¹⁻² et G. GIULIANI¹⁻³

Résumé

Les minéralisations rubanées stratiformes à scheelite-biotite du district polymétallique du Djebel Aouam (Maroc Central) sont interprétées comme le résultat de la formation de skarns par un mécanisme à deux étapes : 1/ réactions métamorphiques dans des niveaux pélitiques et carbonatés impurs interstratifiés produisant par échange de cations une zonation métasomatique caractéristique ; 2/ infiltration ultérieure de fluides hydrothermaux au début du fonctionnement d'un système géothermique causant le remplacement des niveaux calco-silicatés précédemment constitués et la formation de la minéralisation stratiforme de tungstène. Le modèle génétique présenté a permis la mise au point d'un schéma de prospection tactique de la minéralisation de tungstène.

1. Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques, BP 20, 54501 VANDOEUVRE LES NANCY. -
2. Ecole Nationale Supérieure de Géologie, BP 452, 54001 NANCY Cedex. - 3. Mission ORSTOM, CP 4021, Alameda da barra, 40000 SALVADOR DA BAHIA, Brésil. - avec la collaboration de H. AGOUGIL, H. BOUNAJMA, J.M. FRANCOIS, M. HAFID, A. LACOMME, M. MECHICHE et S. SUBRA, Société Minière du Djebel Aouam, SMA, Services Géologiques.

MEMOIRE DE THESE DE DOCTORAT D'ETAT, 269 pp.
PRESENTE PAR Monsieur Mohamed BOUTALEB

Evolution tectonométamorphique, magmatique et hydrothermale du District stanno-wolframifère de Walmès (Maroc Central).
Implications métallogéniques.

RESUME

I - Reconstitution de l'évolution tectono-métamorphique

Le pluton de Walmès, syntectonique, se met en place à la faveur d'un cisaillement senestre profond. Il induit une structuration métamorphique synschisteuse dans un continuum de déformation qui atteint l'isograde andalousite + muscovite + Fk dans des conditions paroxismales de l'ordre de $Pt = 2,5 \text{ Kb}$ et $T = 600^\circ$ à 650°C .

Pendant cette évolution, des filons quartzeux se mettent en place dans les schistes et enregistrent à différents degrés les différentes déformations (mise en place en forme de fentes, boudinage, kinkage). Ces filons sont les hôtes de la minéralisation en Sn-Be-W.

L'évolution prograde-rétrograde du métamorphisme a entraîné à plusieurs reprises de grandes circulations fluides dans les schistes et le massif granitique.

II - Reconstitution de l'évolution magmatique

Le petit stock granodioritique d'El Karit est considéré comme le plus ancien granite de Walmès et il est de nature crustale. Le granite principal et le granite porphyrique, d'âge moyen de 298 Ma, dérivent du même magma peralumineux et évoluent dans une suite alumino-potassique ; leur origine crustale ne fait aucun doute. La plupart des granites à muscovite appartiennent à ces deux familles ; leur muscovite n'est que le produit d'altération de la biotite, cette transformation se fait le long de chenaux de dimensions très variables. Le granite principal s'est mis en place sous $Pt = 2,5 \text{ Kb}$ et $T = 650^\circ\text{C}$, alors que le granite porphyrique a cristallisé aux environs de $P = 2 \text{ Kb}$ et $T = 670^\circ\text{C}$. Ces intrusions, qui se sont faites au moins en quatre temps dans des conditions (P, T) légèrement différentes, résultent d'un magmatisme polyphasé dont les conséquences thermiques jouent un rôle essentiel lors des circulations fluides.

III - Reconstitution de l'évolution hydrothermale

Le magmatisme polyphasé de Walmès a induit des flux de chaleurs successifs dans le granite et dans son enveloppe métamorphique. Des phénomènes de déshydratation se succèdent dans le temps et libèrent des quantités de fluides, en grande partie, d'origine métamorphique. Les circulations fluides ont fonctionné au moins dans trois grands géothermes.

Le premier géotherme est lié à la mise en place du granite principal et du granite porphyrique. Il est responsable de la formation du béryl (El Karit, Assouel) et de la cassitérite (El Karit, Assouel, Tarmilat). Le fluide minéralisateur est du type aqueux-carboazoté ; son évolution se fait en condition quasi-isobare ($Pf = 1300 \text{ bars}$) avec un lent refroidissement ($550-420^\circ\text{C}$). Il est caractérisé par un pH basique et une oxydation progressive : la fugacité d'oxygène, tamponnée par le système graphite-fluide, évolue vers un fO_2 proche de Ni-NiO.

Le deuxième géotherme plus développé dans le Nord et le Sud du massif (Assouel, Tarmilat, Zguit) est lié à la thermie des dernières manifestations magmatiques de la famille des granites porphyriques et granites tardifs. Il est responsable de la formation de la cassitérite tardive, wolframite et sulfures associés. Le fluide aqueux-carboazoté a des signatures isotopiques d'eaux métamorphiques, mais devient de plus en plus mélangé à des eaux météoriques. Son évolution se fait en conditions quasi-isobare ($Pf = 1000 \text{ bars}$) avec un refroidissement lent ($420-320^\circ\text{C}$) et devient de plus en plus saturé en silice ; le stade à wolframite correspond à des conditions légèrement réductrices avec un pH plus acide.

Enfin, un troisième géotherme, indépendant des précédents, est lié à des phases tardives marquées par la précipitation de galène, fluorine, barytine ...

Fluid inclusion study of Xihuashan tungsten deposit in the southern Jiangxi province, China

G. Giuliani¹, Y. D. Li², and T. F. Sheng³

¹ ORSTOM, Embaixada da França, CP 665, 70404 Brasília DF, Brazil

² Jiangxi Bureau of Geology, Nanchang, Jiangxi, China

³ Chinese Academy of Geological Sciences, Institute of Mineral Deposits, 26 Baiwanzhuang Road, Beijing, China

Abstract. The Xihuashan tungsten deposit is closely related to a small highly evolved granitic intrusion. The fluid phases associated with the wolframite-bearing quartz veins have been investigated using microthermometry and the Raman microprobe; they are highly variable in density and composition. The earlier fluids are low-density and low-salinity CO₂-bearing aqueous solutions circulating at temperatures up to 420 °C, and low-salinity (2–3 equiv. wt% NaCl) aqueous solutions without traces of CO₂ circulating at high temperatures 280°–400 °C) involved in a specific hydrothermal fracturing event; limited unmixing occurs at 380 °C and 200–100 bar in response to a sudden pressure drop. The second types of fluids related to deposition of idiomorphic drusy quartz are typical CO₂-bearing aqueous solutions with low salinity (2.5 equiv. wt% NaCl) homogenizing at low to moderate temperatures (180°–340 °C). The late fluids characterize the sulfide deposition stage; they are aqueous fluids with variable salinities homogenizing in the liquid phase between 100° and 275 °C. The Xihuashan hydrothermal evolution resulted from a discontinuous sequence of specific events occurring between 420° and 150 °C and during a continuous hydrothermal evolution of the system during cooling. The role played by the CO₂-rich fluids in the transport and deposition of tungsten in the hydrothermal environment is discussed.

différentes. L'évolution de cette phase 3 se fait par dilution progressive et condensation des fluides, comme dans le cas de la phase 2. Les conditions redox des fluides semblent évoluer vers une plus grande réduction vers la fin (dépôt de la ferberite).

Analyses of fluid inclusions by X-ray fluorescence

Knowledge of the solute composition of fluid inclusions is critical in determining the temperature-pressure conditions of fluid entrapment and the presence of immiscibility. Techniques for the measurement of solute composition for individual inclusions, however, have been inadequate. Zhang and co-workers have developed a method by which concentrations of solutes such as Cl, Ca, K, Zn, etc. can be measured by x-ray fluorescence using synchrotron radiation. Initial experiments performed at the Brookhaven National Laboratory (USA) have shown that the method can be used to determine concentrations down to below 1 ppm in inclusions as small as 10 micrometers.

12ème Réunion des Sciences de la Terre, Lille, 1988 - Soc. Géol. Fr. édit. Paris, 39

LE GRANITE ALBITIQUE A TOPAZE-LEPIDOLITE DE BEAUVOIR : UN CAS D'HYPERSPECIALISATION EN Sn SANS MINERALISATIONS FILONIENNES ASSOCIEES

M. CUNEY(1), Ch. MARIGNAC 2

(1) CREGU et GS CNRS-CREGU, BP 23, 54501 Vandoeuvre lès Nancy

(2) Ecole des Mines, Parc de Saurupt, 54042 Nancy Cedex

Les études pluridisciplinaires* réalisées à l'occasion du sondage G.P.F.E. CHASSIERES ont montré le caractère essentiellement magmatique de l'enrichissement en Sn, Li, F, Ta, Nb, W... des leucogranites albitiques à topaze-lépidolite de BEAUVOIR. Par rapport à leurs homologues volcaniques : Ongonites et Maousanites ces granites présentent des teneurs équivalentes en F, U, W, mais sont nettement plus riches en Sn, Ta, Nb... Cet enrichissement qui s'effectue de manière discontinue sur plus de 700 m du mur au toit de la lame de granite du faciès B3 à B1 pose problème. Les données géochimiques montrent que cette évolution ne correspond pas à un modèle de genèse par simple fusion ou cristallisation fractionnée. L'origine de cet enrichissement peut être recherché dans une anomalie au niveau de la source. Une amplification par effet thermogravitationnel est probable pour expliquer les forts enrichissements en Ta, W existant au sommet de B1.

Le contraste entre l'hyperspecialisation du granite de Beauvoir et la rareté des filons à Sn-W qui lui sont associées est remarquable. Il est montré que les fluides libérés par le magma n'ont pas transporté Sn, W. L'extrême richesse en fluor de ces fluides explique en partie ce comportement. La croissance de F(O₂) observée dans la lame rend compte également de la cristallisation précoce de SnO₂ et du faible fractionnement de Sn dans les fluides démixés. Cette augmentation de F(O₂) peut résulter d'une interaction précoce magma/fluides externes mise en évidence par les isotopes de l'oxygène*. Les circulations fluides ultérieures de haute température ont par contre mobilisé Sn, mais à ce stade la suppression nécessaire à l'ouverture des drains n'existait plus. Ils sont responsables de l'enrichissement diffus en Sn de l'encaissant.

*GEOLOGIE DE LA FRANCE, 1987, N°2-3, MEMOIRE GPF, N°2

L'utilisation de plusieurs méthodes (analyse structurale, analyse minérale, traceurs géochimiques et études d'inclusions fluides) a permis, sans doute pour la première fois, de reconstituer l'ensemble des paramètres physiques et chimiques qui ont permis le transport, puis le dépôt, des minéraux hydrothermaux dans un gisement Sn-W lié à un pluton granitique.

MEMOIRE DE THESE DE DOCTORAT INPL, 290 pp.
PRESENTE PAR Monsieur Mustapha BENNANI

Reconstitution des paléocirculations hydrothermales de la partie sud (Tarmilat-Zguit) du District stanno-wolframifère de Walmès (Maroc Central). Conséquences métallogéniques.

RESUME

Cette thèse complète le mémoire de Mohamed BOUTALEB sur les conditions de formation des minéralisations stanno-wolframifères du Sud du District de Walmès (Tarmilat-Zguit). Après une brève introduction géologique, le cadre tectonique des minéralisations est discuté à la lumière des études des directions de fracturation et de leur chronologie relative. Quatre réseaux filoniens quartzeux sont trouvés, qui sont postérieurs à la mise en place du granite principal. La modification de l'axe des contraintes, ainsi mis en évidence, traduit une activité tectonique et tardimagmatique qui va bien au-delà de la mise en place du granite. L'étude pétrographique des paragenèses filoniennes a permis d'établir une chronologie des minéralisations en se servant des relations entre les divers épisodes de fracturation. Trois générations de cassitérite, deux de wolfram et la formation de minéraux de gangue (micas et quartz) complètent le remplissage des filons. Il est intéressant de constater que, si la cassitérite 1 des filons Q1 et Q2 est synchrone des derniers événements liés à la mise en place du granite, les minéralisations de cassitérite 2 et 3 et leurs minéralisations à wolframite et sulfures sont clairement postérieures à l'activité post-magmatique. Des relations de dissolution entre cassitérites sont un élément très important pour suivre les caractères géochimiques de ces minéraux.

L'étude géochimique et cristallochimique des phases les plus importantes, cassitérite, ilméno-rutile, wolframite et micas blancs constitue une partie importante du mémoire. Les données obtenues grâce à des analyses à la microsonde sont complétées par des études en RPE. Cette partie de l'étude a permis de confirmer l'existence de trois générations de cassitérites. Cependant les variations observées dans les rapport Fe^{2+}/Fe^{3+} entre les générations 1, 1bis et 2 ne correspondent pas à l'évolution des intensités de spectres RPE. Il serait d'ailleurs intéressant de pouvoir disposer des spectres RPE de cassitérites 3 qui devraient permettre de contraindre le modèle de substitution adopté (l'absence de fer trivalent dans ces dernières devrait donner des spectres sans résonance visible). L'observation de zonations chimiques qui correspondent aux zonations optiques est pour la première fois interprétée sur une base géochimique : les zones sombres montrent en effet un pléochroïsme inverse qui est lié à des transferts de charge entre ions de charge différente impliquant le fer trivalent associé à des impuretés de charge élevée.

L'analyse géochimique est conduite clairement dans un but génétique et les résultats sont de ce point de vue particulièrement intéressants : en plus de la confirmation des trois générations de cassitérite, les deux générations de wolfram sont précisées. Alors que les trois générations de cassitérite s'accompagnent de muscovite, celle-ci est à rattacher à une génération contemporaine de la cassitérite 3. La composition de ce mica a ainsi permis de donner des indications sur les conditions P-T de mise en place. Une deuxième génération de micas à caractère plus phengitique accompagne la formation de ferbérite, soit directement soit à partir de hubnérite. Enfin, cette étude géochimique a permis de montrer la contemporanéité des minéralisations en tungstène de Tarmilat et de Zguit.

Finalement, l'étude des fluides qui constitue une part essentielle de l'étude, a permis de distinguer quatre phases distinctes de circulation de fluides grâce à l'examen des cassitérites et des quartz. La phase 2 en particulier est intéressante car elle correspond au dépôt des différentes générations de cassitérites. Les fluides se refroidissent depuis 500°C à 330-370°C. Le caractère redox de ces fluides, en équilibre avec le graphite est mis en évidence. Les fluides accompagnant les minéralisations wolframifères sont de composition et de température/pression nettement

diferenciação. Enquanto as ocorrências são relacionadas a granitóides, apresentam diferenças maiores: - a molibdenita de Itaberaba encontra-se tanto em forma de manchas ou disseminações no granito como em veio de quartzo ou em zonas de silicificação difusa, sem concentração significativa; - em Campo Formoso - Carnaíba, a molibdenita localiza-se em veios pegmatíticos intragraníticos, ou em concentrações mais importantes, na zona que bordeja o granito, em veios pegmatóides esmeraldíferos intrudindo serpentinitos. No caso dos pegmatóides esmeraldíferos, é evidente que o fluor, boró e berílio estavam presentes na fase fluida associada. Estes componentes (F,B) produzem magmas residuais ricos em albita normativa mas também uma depolimerização e criação de complexos capazes de carregar elementos litófilos como o molibdênio. Nos granitos pobres em F e B, como no caso de Itaberaba, o volume e a força mecânica da fase vapor foi pequeno, e em consequência as mineralizações são fracas e disseminadas. Por outro lado, as intensas mineralizações de Carnaíba relacionam-se a presença de um líquido residual silicatado, hidratado e alcalino, que gerou um importante volume de fase vapor, onde o F, B, Be e Mo se particionaram, responsável provavelmente por a importante fraturação do granito e do seu encaixante, a redor dos quais se desenvolveu um consequente sistema hidrotermal responsável pela deposição das mineralizações. Enriquecimentos molibdeníferos em leucossomas graníticos associados a migmatitos Arqueanos da região de Queimadas permitem discutir a origem do molibdênio.

Anais do XXXV Congresso Brasileiro de Geologia, Belém, Pará, 1988, V.1

OS BERILOS VERDES DA REGIÃO DE COQUI, MUNICÍPIO DE QUIXERAMOBIM NOVAS OCORRÊNCIAS DE ESMERALDAS NO ESTADO DO CEARÁ

*R. Mariano G. Castelo Branco
Gaston Giuliani
Allain Cheilletz
Laurent Clementelle*

ABSTRACT

This paper deals with the geology and preliminary chemical studies of three new emerald occurrences in the central region of Ceará State, Northeastern Brazil. The occurrence site is known as Coqui and is situated in the Quixeramobim Municipality. The emeralds are related to pegmatite bodies of restricted expression within biotite-schists and tremolite bands, by their turn, intercalated with two-mica-gneisses. The intrusion of these veins generated metassomatism of the rocks. Chemical analysis with electronic micro-probe were done in several minerals. The results obtained with the green beryls show chemical characteristics comparable to those from Itabira (Minas Gerais). This fact allowed the identification of two petrogenetic groups of emeralds related to pegmatites rich in aqua-marines and other minerals, like columbite, tantalite, and beryl, in the Brazilian Orogenic environment. These occurrences are the expression of hydrothermal metassomatism in metamorphic basic rocks of the amphibolite facies.

LES INDICES STANNO-WOLFRAMIFERES DE SAINT MELANY (Cévennes Médiannes, Ardèche, Massif Central Français)

F. NOYE et A. WEISBROD

Résumé

Les indices filoniens à cassitérite essentielle et wolframite accessoire de Saint Mélanly sont localisés au sein de micaschistes mésozonaux de la Série Cévenole. Les affleurements granitiques les plus proches (Rocles à l'Est, La Borne à l'Ouest) sont situés à environ 3 kilomètres de l'indice. Les minéralisations sont surtout portées par un réseau filonien quartzeux mais se manifestent aussi par de rares veinules intraschisteuses à cassitérite, muscovite, apatite, béryl... Ces veinules représentent l'expression la plus "pure" des fluides minéralisateurs et leurs paragenèses (pauvres en quartz) indiquent une sous-saturation en silice. Le réseau filonien quartzeux, antérieur à la minéralisation, a joué un rôle essentiellement mécanique lors du transport, puis du dépôt des minerais. La précipitation de la cassitérite résulte du mélange de deux fluides :

- fluide aquo-carbonique (H_2O et CO_2 dominants, CH_4 accessoire, N_2 peu représenté) réduit, plus ou moins tamponné par les schistes encaissants, d'origines métamorphique et/ou magmatique probables.
- fluide aqueux, à faible salinité, plus froid, d'origine météorique probable. A Saint Mélanly, l'apport d'énergie (chaleur), les fluides et les métaux ont des origines différentes.

Anais do VII Congresso Latino-Americano de Geologia, Belém, Pará, 1988, V.1

THE ARCHEAN AND PROTEROZOIC MOLYBDENUM MINERALIZATIONS OF THE BAHIA STATE, BRAZIL: METALLOGENETIC IMPLICATIONS

Gaston Giuliani – UnB/DG; ORSTOM, Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en coopération, France; Centre de Recherches Petrographiques et Géochimiques de Nancy, France

Paulo Cesar D'Avila Fernandes – UFBA/Instituto de Geociências/DG/CPRM

RESUMO

As ocorrências molibdeníferas de Campo Formoso-Carnaíba e Itaberaba são relacionadas a granitos peraluminosos transamazônicos e intrusivos em formações Arqueanas e/ou do Proterozóico inferior. Estas ocorrências constituem as maiores concentrações de molibdênio conhecidas no estado da Bahia. O plúton de Campo Formoso representa uma intrusão multifásica, homogênea em composição, com um facies equivalente no maciço de Carnaíba. Intensas alterações deutéricas - hidrotermais associadas a um importante enxame pegmatítico, testemunham as condições de saturação em fluido do magma parental. Ao contrário, o leucogranito de Itaberaba (maciço de Pedra d'Água) apresenta uma composição heterogênea com contatos difusos e muitos enclaves de granulitos; as alterações pós-magmáticas limitam-se a uma silicificação difusa. Estas características mostram que o granito de Pedra d'Água foi gerado por um magma pobre em água, possuindo uma fraca mobilidade e uma leve

in phlogopitites resulting from metasomatic transformation developed in serpentinites, talc-schists or tremolitites, and is related to an infiltrational process. The metasomatic rocks show a regular zoning, each zone being of different mineral composition and separated by sharp and clear limits. This infiltrational metasomatism is evidently controlled by tectonic and lithologic factors; in Carnaíba, the subvertical fracture veins (frinchas) are well developed near the granite and form the channel of the ascending fluids while the contact veins (esteiras) are developed along the lithological contact quartzite-ultrabasic rocks. A tectonic control can be also advanced for Santa Terezinha de Goiás and Itabira. This metasomatism involves acid-base interactions i.e acid-magmatic solutions penetrating in basic rocks producing an increase of bases, specially the activity of the alkali-oxides as potassium and sodium. The different diffusion rates between these components will play also an important role in the formation of the desilicated pegmatites (Na rich pegmatoids), generally encountered in these deposits. The main process involved in the formation of the observed metasomatic columns is the infiltration of a fluid along opened fractures. The resulting rock assemblage could be referred to as an infiltrational metasomatic process, or considering that the ultrabasic rocks play the same basic role as carbonate formations, to as an "infiltrational metasomatic basic skarn".

Anais do VII Congresso Latino-Americano de Geologia, Belém, Pará, 1988, V.1

SCANNING ELECTRON MICROSCOPY (SEM) AND ITS APPLICATIONS: DETERMINATION
OF SOLID AND DAUGHTER MINERALS IN FLUID INCLUSIONS FROM SOME
BRAZILIAN EMERALD DEPOSITS

Gaston Giuliani – Departamento de Geociências, ORSTOM, Institut Français de Recherche Scientifique pour le développement en Coopération, France, CRPG, Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques de Nancy, France

Alain Weisbrod – ENSG, Ecole Nationale Supérieure de Géologie de Nancy, France, CRPG, Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimique de Nancy, France.

RESUMO

Informações químicas e morfológicas, obtidas ao microscópio eletrônico de varredura (MEV), com prévias observações ópticas, permitiram não só obter novos dados gemológicos a respeito das esmeraldas brasileiras, mas sobretudo identificar os minerais de saturação - MS - de suas inclusões fluidas - IF -. Dois tipos de jazida foram estudadas: aquelas cuja relação genética com granitóides é evidente, exemplos de Carnaíba e Socotó (Bahia), outras cujas relações com veios pegmatíticos são duvidosas, como em Santa Terezinha e Itaberaí (Goiás). Nestas jazidas, a esmeralda é associada a zonas de flogopititos cujo zoneamento metassomático resulta da percolação de uma solução em rochas por um sistema de poros finos. Reações químicas na rocha permitiram alterações na composição da solução e assim uma mudança nas inclusões sólidas e minerais de saturação aprisionados pela esmeralda. Estas reações metassomáticas entre fluidos ricos em Be e formações básicas ricas em Cr, Mg, Fe, produzem em todas as jazidas estudadas a formação de flogopita, anfibólio (tremolita e/ou actinolita), esmeralda e sulfetos (pirita, calcopirita e pentlandita). As diferenças entre as várias jazidas estudadas são: 1º/ nos tipos de inclusões fluidas associadas: esmeraldas de Carnaíba e Socotó mostram geralmente, inclusões tubulares com várias formas (agulhas, tubos, canais hexagonais ou sob a forma de "concha de belemnite", enquanto que em Santa Terezinha e Itaberaí, as cavidades de IF são raras e desenvolvidas a partir de inclusões sólidas; 2º/ nos sólidos e MS: a/os xistos carbonatados ricos em Cr de Santa Terezinha, permitiram a formação e o aprisionamento de dolomita, ankerita, anfibólio magnésiano e magnésiocromita. b) Socotó e Carnaíba mostram que as esmeraldas relacionadas aos veios pegmatíticos são ricas em MS sob a forma de sais complexos. O exemplo de Socotó é bem claro, podendo-se observar a evolução do fluido desde o veio pegmatítico (I) até a sua zona de flogopitito (II) adjacente: - Em I, o quartzo da matriz mostrou

CONTROLE ESTRUTURAL DA JAZIDA DE ESMERALDAS DE SANTA TEREZINHA DE GOIAS: IMPLICACOES NA GENESE, TECTONICA REGIONAL E NO PLANEJAMENTO DA LAVRA

Luiz José D'El-Rey Silva
Gaston Giuliani

ABSTRACT

Detailed geological mapping (1:50 scale) carried out in the emerald underground mine TN-167, in Santa Terezinha de Goias - Goias, Brazil, has shown strong lithological and structural controls of the mineralizations. The emeralds are hosted by biotitites (phlogopitites) which were derived from metasomatism of ultramafic lavas belonging to the volcanic-sedimentary sequence of Mara Rosa, which encloses acid volcanic rocks represented by quartz-sericite schists (QSS). All the rock units are strongly deformed and metamorphosed to greenschist facies. The deformation pattern can be described as the result of a single and progressive tectonic event, the main structural feature being centimetre-to metre scale sheath folds. The fold axes are statistically parallel to the strong stretching lineation which is regionally widespread. The sheath folds also affect the mineralized biotitites layers, which were injected parallel to the S_1 regional foliation, therefore the mineralization is clearly stratiform and early-to syn-tectonic. The development of the sheath folds in a regular and geometric pattern has been facilitated by lubricant lithologies like carbonate-talc shists (CTS) and talc shists (TS) which also host emerald mineralizations.

The structural control constrains the genesis of Santa Terezinha emerald deposits, eliminating hypothesis of derivation from late granitic bodies. The genetic process comprises two stages: the first is related to regional metamorphism, and the second to infiltration metasomatism plus the percolation of hydrothermal fluids, the source of which is still to be defined.

Moreover, the structures in Santa Terezinha de Goias, and those observed regionally bring important contribution for the building of the tectonic evolution of that central part of Goias state.

Anais do VII Congresso Latino-Americano de Geologia, Belém, Pará, 1988, V.1

O METASSOMATISMO DE INFILTRAÇÃO E SUA IMPORTÂNCIA NOS DEPÓSITOS DE ESMERALDA DO BRASIL

Gaston Giuliani – Departamento de Geociências-UNB/ORSTOM-Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération, França, CRPG-Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques, Nancy, França

Pedro Couto – Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais/SGMA

ABSTRACT- Emeralds of Brazil forms an original Precambrian mineralization type. The main deposits are in the Bahia State (Carnaíba and Socotô prospecting pits, Minas Gerais State (Itabira - Belmont Mine) and Goiás State (Santa Terezinha de Goiás prospecting pits). The deposits are always located in a characteristic geological environment composed of : - a granitic-gneissic basement, - a volcanosedimentary serie with always basic to ultrabasic horizons, occurring as imbricated structures (Socotô) or affected by complex folding (Carnaíba) and deformations, - intrusives granitoids with their magmatic to tardi-magmatic equivalents. In all the cases, we can notice the evident association of emerald with pegmatites intruding basic and ultrabasic rocks. In Santa Terezinha, the lack of pegmatites at the level of observation, allow to open a real debate on syngensis versus epigenesis origin. The emerald mineralization is contained

Pressure was essentially hydrostatic in nature, corresponding to a depth of about one kilometre at the beginning and reduced to no more than 0.5 km towards the end due to erosional unroofing.

Chalcopyrite deposition resulted from a break in fluid circulation, allowing the mixing of two kinds of fluid inside the veins : according to a preferred interpretation, these are :

— hot (330° - 340 °C), "saline" (≥ 6 wt. % eq. NaCl) aqueous fluids (A) equilibrated with pyrrhotite, coming from the deeper parts of the aquifer, and drained along the ore veins :

— cooler (300° - 320 °C) less saline (~ 1.5 wt. % eq. NaCl) fluids (B') equilibrated with pyrite, coming from the upper and external parts of the aquifer.

These diluted B' fluids became progressively more abundant, and cooled down to about 250 °C : they were responsible for the intense pyritization of earlier pyrrhotite in the veins.

Further cooling, associated with a renewed increase of salinity (3-4 wt. % eq. NaCl) is recorded in late-stage quartz. Then, a new cycle of fluid circulation is characterized by :

— a transient reheating of the system (in response to a recurrence of magmatic activity) up to 300° - 310 °C, the salinity being unchanged :

— a new inflow of diluted fluids (~ 1 wt. % eq. NaCl), associated with a renewal of sulphide deposition.

Finally, the system cooled down to 150° - 100 °C, and eventually died away.

Mineralogy and Petrology, 1988, 37, 107-127.

A case of ore deposition associated with paleogeothermal activity : the polymetallic ore veins of Aïn Barbar (NE Constantinois, Algeria)

by Christian MARGNAC Ecole des Mines 54042 Nancy Cedex France

Summary. The Aïn Barbar area was at Langhian times the site of a terrestrial high energy geothermal field related to acid Langhian magmatic activity. A granite body probably occurs at depth, as evidenced by microgranite and rhyolite dikes. The reservoir is made up of Upper Cretaceous "massylian" flyschs, overlain by an impermeable cover of Oligo-Miocene "Numidian" flysch. Due to erosional unroofing, its thickness, initially on the order of one kilometer, was reduced by maybe a half towards the end of the field's existence. The geothermal field was of the liquid-dominated type.

Geothermal activity, which lasted about 1 My, developed in two stages:

- in a first stage, hot waters evolved from the heated gneissic basement and invaded deep parts of the Cretaceous aquifer where they caused a strong Na-metasomatism. It led to transformation of flysch rocks into plagioclasic amphibole and clinopyroxene hornfelses. Temperatures of 340°-350°C and more were attained during this stage.

- A second stage was caused by the development of N160°E trending fracture zones, which were active during the remainder of the field's hydrothermal activity. Channeled along the fault zones, hot water was forced from the deep seated aquifer into an upper aquifer, where it was responsible for decarbonation reactions taking place at lower temperatures (about 270-300°C). A correlated temperature decrease in the lower aquifer was marked by retrograde metamorphism. Elements which were liberated from the rocks in the lower aquifer during hydrothermal metamorphism migrated into the upper aquifer where they caused mineralogical and chemical changes. Most significant is the leaching of base metals from the hornfelses, and the resulting formation of the economic polymetallic ore veins of the Aïn Barbar district. Ore deposition depends however not only on these leaching phenomena, but also on tectonic activity, allowing changes of the patterns of fluid circulation, and causing fluid mixing responsible for metal precipitation within the fault zones.

minerais de saturação tipo K, Cl identificados como silvita e também sais tipo Ca, Cl, Fe, todos associados com inclusões fluidas do tipo S (i.é. IF polifásicas com sólido). - A esmeralda desenvolvida no I, apresenta também misturas de sais complexos com várias composições: Fe, Cl; Ca, Cl, Mn, Fe; Fe, Cl, Mn; Ca, Cl, Fe, Ba, K. - Na esmeralda situada no flogopitito (II), os MS são: Ca, Cl, Fe, Mn, K; Cl, Mg, Fe; Cl, Na, Mg; eles mostram também a presença quase constante de Mg, elemento móvel, fornecido pelos serpentinitos durante a percolação do fluido. No caso de Santa Terezinha de Goiás e Itaberai, os MS são quase ausentes mostrando que as soluções eram diluídas.

Canadian Mineralogist
Vol. 26, pp. 765-786 (1988)

GEYSER-TYPE DISCHARGE IN ATLANTIS II DEEP, RED SEA: EVIDENCE OF BOILING FROM FLUID INCLUSIONS IN EPIGENETIC ANHYDRITE*

CLAIRE RAMBOZ

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

ELISABETH OUDIN AND YVES THISSE**

B.R.G.M., avenue de Concyr, BP 6009, 45060-Orléans Cedex, France

ABSTRACT

Anhydrite crystals in veins at the base of a drill core from SW Basin sediment, Atlantis II Deep, Red Sea, contain in their core tubular primary two-phase aqueous inclusions which are either liquid- or vapor-dominant (type *L* and *V*, respectively). Type-*L* inclusions yield melting points of ice (T_m) of between -20.4 and -4.4°C , and homogenization temperatures to liquid [$T_h L-V(L)$] in the range 55 to 420°C . Type-*V* inclusions show T_m values between -12 and -5°C , and $T_h LV(V)$ values between 324 and 430°C . Some crystal overgrowths contain more isometric NaCl-saturated primary inclusions. These are characterized by melting points of halite and $T_h LV(L)$ values ranging from 50 to 283°C and 185 to 405°C , respectively; some supersaturated inclusions are characterized by $T_h LV(L)$ values between 84 and 404°C . Type-*L* inclusions from crystal cores, with salinities <19 wt.% equiv. NaCl, show a decreasing salt content with increasing molar volume. Such \bar{V} - X properties are characteristic of inclusions containing heterogeneous mixtures of liquids and vapors generated by boiling; these inclusions were slightly cooled before trapping. Type-*L* inclusions with salinities in the range 19 - 23 wt.% equiv. NaCl result from homogeneous trapping. They consist of four populations with lognormal distributions of the T_m values, and define four vertical trends in a \bar{V} - X plot which are parallel to those defined by saturated and supersaturated inclusions. Two inclusions from

these trends, with maximum T_h values of 388 and 403°C and salinities of 21.3 and 32.6 wt.% equiv. NaCl, respectively, yield an internal pressure at $T = T_h$ which is within 10 bars of the *in situ* hydrostatic pressure on the seafloor (i.e., 223 ± 2 bars); this indicates that boiling took place. The fluid-inclusion data are consistent with an initial brine of ≈ 19 wt.% equiv. NaCl, and with an enthalpy around 1950 J/g, which became enriched in salt to ≈ 33 wt.% equiv. NaCl through loss of vapor. Near-isothermal long-duration boiling of solutions implies a deep fluid reservoir with a limited volume, and heated by a magma. The salt-enriched liquids were injected intermittently on the seafloor, then cooled without mixing. These data and mineralogical observations suggest that epigenetic anhydrite is the product of interaction of the fluid and the hematitic sediment, i.e., of redox reactions involving $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ and $\Sigma\text{S}^{2-}/\Sigma\text{SO}_4^{2-}$.

Keywords: fluid inclusions, epigenetic anhydrite, boiling, hydrothermal metamorphism, Atlantis II Deep, Red Sea.

* Contribution C.R.P.G. N°749.

** Present address: La Touche, Sambin, 41120-Les Montils, France

Bull. Minéral.
(1988), 111, 359-381

P-T-X evolution of ore veins associated with palaeogeothermal activity at Ain Barbar (NE Konstantine, Algeria) : reconstruction from fluid inclusion data

by CHRISTIAN MARIGNAC

Ecole des Mines de Nancy, Parc de Saurupt, 54042 Nancy Cedex, France.

Abstract. — Polymetallic (Fe-Zn-Cu-Pb) ore veins at Ain Barbar are the result of the activity of a high energy liquid-dominated terrestrial palaeogeothermal field between 16 and 15 Ma ago (Langhian). Fluid inclusion studies yield data on both the conditions of ore deposition and the characteristics of fluid circulation within the field.

central Sweden, are presented. Stratabound carbonate carbon isotopes ($\delta^{13}\text{C} \sim 0\%$) imply a marine milieu of deposition.

The $\delta^{18}\text{O}$ values of stratabound carbonates can be divided into two groups: one associated with stratiform iron-oxide deposits (RSC) and the other unrelated (NRSC). Stratabound dolomites of the NRSC are depleted in ^{18}O compared to the 'most Proterozoic dolomite' field. NRSC calcites have a range of $\delta^{18}\text{O}$ values (+12 to +19‰) similar to the lower half of the 'most Proterozoic calcites' field. Whether the RSC $\delta^{18}\text{O}$ values (+6 to +11‰) are primary values or values formed by exchange of the RSC with a hydrothermal fluid during the skarn alteration of associated stratiform iron-oxide deposits, is not clear. Calcites and dolomites, from skarn altered iron-oxide deposits, W-(Mo-)skarns, and a sulphide skarn, as late phase veins and clots, have distinguishable $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ values, placing the respective skarns into separate fields. They have, in general, low $\delta^{13}\text{C}$ (-2 to -8‰) and low $\delta^{18}\text{O}$ (+6 to +12‰) values, except for the calcite veins in the sulphide skarn. The ^{18}O -depletion of the carbonates most probably occurred during exchange with sea water at temperatures of $300 \pm 50^\circ\text{C}$, or meteoric waters if the temperatures were lower. The types of $\delta^{18}\text{O}$ values and their range are comparable to well documented sea water hydrothermal systems of younger age from ocean floor ophiolites and many relatively low altitude meteoric-hydrothermal systems.

The low carbon and oxygen isotope values of the carbonate veins and clots in W-(Mo)- and Fe-skarns are typical for such skarns. They indicate the influx of CO_2 -bearing hydrothermal fluids where the CO_2 is either of magmatic origin or derived from sedimentary carbonate formations after major loss of CO_2 through decarbonation reactions.

Slate hosted calcite from a Ca-Mn-skarn, is isotopically similar to both the skarn associated carbonates and a concretionary carbonate. Diagenetic modifications of organic matter-bearing sediments, exchange of a sedimentary carbonate with hydrothermal fluids, or, more probable, a combination of these two events, were responsible for the isotopic composition of the calcite in this skarn.

Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene (USTHB) Alger, Institut des Sciences de la Terre

Thèse présentée pour l'obtention du grade de Magister en Géologie, spécialité Métallogénie (5 juin 1988), 130 pp.

A. DENOUN

Le gisement d'Ismail (Azzaba) et l'indice de Bou Ghezlane (Cap de Fer) : deux concentrations mercurifères encaissées dans l'orogène alpin du nord-est algérien.

Résumé

Le gisement d'Ismail et l'indice de Bou Ghezlane sont deux exemples de concentrations de mercure associées à une tectonique cassante récente affectant l'édifice alpin d'Algérie orientale. Ils sont distants d'une quarantaine de kilomètres et sont encaissés dans des roches d'âge éocène (Ismail) et oligocène probable (Bou Ghezlane).

- Ismail représente un des gisements de la zone mercurielle nord-numidique. Le corps minéralisé est étroitement lié à deux accidents décrochants ($\text{N}110^\circ$ et $\text{N}40^\circ$) dont le mouvement conjugué a créé une zone de faiblesse à leur intersection. Le minerai, formé essentiellement de cinabre, est enrichi dans cette dernière. Les niveaux porteurs de la minéralisation sont d'âge paléocène (?), yprésien et lutétien et appartiennent à la Dorsale externe. Ils sont très poreux (grès à ciment carbonaté, calcaires bréchiques...) et surmontés par une série argilogréseuse priabonienne à olistolites jouant un rôle d'écran. Une tectonique tangentielle post-minérale, analysable dans la carrière d'exploitation, suggère un âge anté-tortonien du gisement. Des témoins de volcanisme récent, shoshonitique (Koudiet El Anzazza) et une source chaude (Oued Hamimine) sont connus au Sud et à l'Est du gisement, mais leurs rapports avec ce dernier ne sont pas établis.

- La minéralisation de l'indice de Bou Ghezlane se présente en disséminations et en veinules à proximité d'une faille NW-SE postérieure à la mise en place de la nappe numidienne. La roche

Composition des minéraux et évolution des phases fluides : le cas des filons polymétalliques d'Aïn Barbar (Algérie)

par CHRISTIAN MARIGNAC

E.M.N., Parc de Saurupt, 54042 Nancy Cedex et C.R.P.G., Rue N.D. des Pauvres, B.P. 20,
54501 Vandœuvre, France.

Résumé. — Les filons d'Aïn Barbar résultent du fonctionnement d'un système géothermique d'âge langhien. Ils montrent une succession de stades et d'épisodes de minéralisation rythmés par les fracturations : stade précoce à chlorite-épidote ; stade principal à sulfures (épisodes à sphalérite, de silicification, à chalcopryrite 1 et 2) ; stades tardifs à carbonates-pyrite, quartz-arsénopyrite, etc. L'étude des inclusions fluides indique une évolution à basse pression (130 à 80 bars), avec des températures comprises entre 320 °C (dépôt de la chalcopryrite) et 180 °C (fin des stades tardifs).

Les variations de la composition des phases minérales enregistrent celles de nombreux paramètres caractéristiques des phases fluides à différentes échelles d'espace et de temps :

— à long terme, les chlorites montrent la décroissance de la température (variations des teneurs en Al^{IV} et en lacunes) et une diminution du pH (augmentation de X_{Fe}) ; sphalérites et arsénopyrites indiquent des changements de f_{S_2} correspondant à une transition entre des fluides en équilibre avec la pyrrhotite et des fluides en équilibre avec la pyrite. Il s'agit là de l'évolution générale du système géothermique.

— des phénomènes oxydants transitoires sont attestés par la minéralogie (paragenèses à hématite ou à magnétite) et par l'apparition d'épidotes ferrifères ($X_{Fe} = 0,33$) ; ils reflètent probablement l'existence de phénomènes d'ébullition dans les réservoirs profonds.

— à court terme, la zonation des épidotes, des chlorites, des arsénopyrites, et des adulaires, montre l'existence de fluctuations parfois importantes de paramètres comme la température (sur 10° à 20 °C), le pH, f_{S_2} (sur 1 à 2 unités log) ou f_{O_2} (sur 2 à 3 unités log), et qui prennent souvent la forme d'oscillations ; ces phénomènes traduisent la micro-évolution des remplissages filoniens, marquée par des alternances d'ouverture avec influx de fluide "frais" portant l'empreinte de la zone source ; et de colmatage avec stagnation des fluides et rééquilibrage avec l'encaissant.

Geologie en Mijnbouw 67: 177-188 (1988)

© Kluwer Academic Publishers, Dordrecht - Printed in the Netherlands

Carbonate rocks from W. Bergslagen, Central Sweden: isotopic (C, O, H) evidence for marine deposition and alteration by hydrothermal processes

P.A. De Groot^{1,2} & S.M.F. Sheppard¹

¹ Centre de Recherches Péetrographiques et Géo-chimiques, B.P. 20, 54501 Vandœuvre-lès-Nancy, France and ² Geologisch Instituut, Universiteit van Amsterdam, Nieuwe Prinsengracht 130, 1018 VZ Amsterdam, The Netherlands

Received 22 September 1987; accepted in revised form 4 January 1988

Key words: Carbonate rock, stable isotopes, Proterozoic, Bergslagen, Sweden

Abstract

Carbon and oxygen isotope ratios for calcite and dolomite from stratabound carbonates, carbonate veins and clots in W-(Mo-) and Zn-Pb sulphide skarns, and for a calcite from a Mn-skarn from the Bergslagen region,



Les grenats de type R se sont formés dans un environnement hydrostatique et de haute énergie, dans des niveaux où la richesse en fer rendait possible la volatilisation intense du graphite en méthane. Les grenats de type C au contraire caractérisent des niveaux plus calciques où les réactions de volatilisation du graphite et de nucléation des pyroxènes étaient limitées, se produisant principalement le long des arêtes des porphyroblastes. L'évolution des grenats vers des compositions titangranditiques ($Si < 3.00$ et $Si+Ti=3.00$) est synchrone de l'ouverture des veines à grenat-pyroxène; elle est probablement induite par une remontée brutale de la fO_2 liée à l'entrée de l'eau dans le système. Les pyroxènes à l'équilibre avec les grenats hyposiliceux sont systématiquement déficitaires en cations. Par analogie avec les pyroxènes alumineux supersiliciques connus dans des environnements de haute pression, on propose que c'est la présence en quantité importante d'un composé $Ca(Fe^{3+})_2 Si O_6$ qui a permis, à basse pression, de dissoudre de la silice en excès dans le réseau des pyroxènes. Un algorithme permettant, à partir d'analyses microsonde, d'estimer les teneurs en Fe^{3+} minimales dans les pyroxènes à déficit de cations, est proposé. Les grenats hyposiliceux ne se sont formés que lorsque, localement, l'activité de la silice se trouvait abaissée du fait de la croissance simultanée de pyroxènes supersiliciques. Dans les niveaux carbonatés massifs riches en matière organique en dehors des mines, les réactions d'oxydo-réduction ont été moins complètes; l'activité de l'eau, de la silice et du CO_2 sont restées élevées, comme le montrent la présence d'idocrase et de quartz en veines.

On a étudié les fluides inclus dans une génération de **barytine postérieure à la minéralisation fissurale dans le gisement des Malines** (Ramboz et Charef, Econ. Geol. 1988, 83, 784). Les cristaux ont enregistré un épisode de haute température ($T > 300^\circ C$), marqué par le piégeage simultané de vapeurs carboniques et d'huiles en cours de dégradation thermique. Une immiscibilité transitoire s'est produite du fait de l'addition de CO_2 à des fluides de pore déjà chauds ($T \approx 150^\circ C$). Les conditions de l'immiscibilité ($T \approx 175^\circ C$, $P = 285 \pm 45$ bars) prouvent que le socle cambrien aux Malines était en surpression sous les marnes triasiques. Les pressions fluides, interprétées en terme de pression lithostatique, impliquent que la couverture sédimentaire sur le socle atteignait environ 1200 ± 200 m, à comparer avec la valeur de 1600 ± 200 m fixée par les inclusions carboniques secondaires dans une barytine synchrone du stade fissural.

On en déduit que la barytine tardive s'est formée pendant le Jurassique Supérieur, alors que la remontée de la marge cévenole, accompagnée d'un volcanisme discret, était déjà amorcée. Les températures élevées des fluides de pore témoignent qu'un flux hydrodynamique d'eaux de formation et d'huiles se produisait vers la marge le long de la faille est-ouest des Malines.

Les cristaux d'anhydrite épigénétique de la carotte 268KS prélevée dans les sédiments du bassin SW de la fosse d'Atlantis II sont riches en inclusions fluides (Oudin, et al., 1984; Ramboz et al., Canad. Mineral. 1988, 26, 765). Les propriétés T-V-X des fluides occlus témoignent que les cristaux ont poussé à partir de solutions en ébullition, dont la salinité a cru progressivement de 19 à 32% poids. éq. NaCl par perte de vapeur. Le fait que les températures maximales de décharge au cours du temps soient restées celles fixées par la position du domaine à deux phases à 220 bar, c'est-à-dire comprises entre 390° et $400^\circ C$, implique une recharge thermique importante, liée à l'interaction en profondeur entre un fluide de volume limité et un magma. Les inclusions fluides témoignent, par leurs formes et leurs contenus, des mécanismes de la croissance des cristaux d'anhydrite. Les solutions les moins salées, initialement riches en H_2S , ont atteint brutalement la saturation en anhydrite parce qu'elles se sont oxydées au contact du sédiment hématitique fin. Les solutions résiduelles, enrichies en sel et déjà oxydées du fait d'une ébullition prolongée, n'ont induit que de minces surcroissances sur les cristaux déjà formés.

On a évalué la **température moyenne de l'alimentation hydrothermale de la fosse d'Atlantis II** à partir du bilan de masse et de chaleur de la saumure inférieure, en utilisant les données hydrologiques disponibles pour la période 1966-1977 (Ramboz et Danis, soumis à E.P.S.L.). Le bilan fait intervenir un flux de chaleur constant à la base, des pertes de chaleur par conduction à l'interface entre saumure inférieure et saumure supérieure, le flux de masse et de chaleur lié à la source thermique et prend en compte les éventuelles pertes de chaleur et de masse liées à l'advection de saumure hors de la fosse vers les dépressions voisines. On montre que le bilan de masse et de chaleur ne peut être interprété en terme d'une température de source réaliste que si les C_p de la saumure hydrothermale augmentent fortement au-dessus de $300^\circ C$. En utilisant l'équation de Born modifiée (Wood et al., 1981) qui prédit des valeurs de C_p croissant exponentiellement au-dessus de $300^\circ C$ (calculs non publiés de Grolier et coll.), on obtient une température de source moyenne sur 15 ans de $354^\circ C$, comparable avec la température moyenne de $330^\circ C$ obtenue pour le piégeage des fluides dans l'anhydrite. Les pertes de saumures survenues entre 1972 et 1977 vers la fosse de Chain sont trop faibles pour abaisser significativement la température calculée. En revanche, des pertes de saumure inférieure vers la saumure supérieure se sont produites entre 1965 et 1971 (Hartmann, 1985), mais leur effet sur le bilan thermique ne peut être quantifié du fait que leur volume pas connu précisément.

encaissante est un grès micacé à ciment siliceux attribué à l'Oligocène et appartenant à la série de la Marsa (Maurétanien).

Un volcanisme miocène de type calco-alcalin est connu dans le Cap de Fer à proximité immédiate de l'indice et a dû favoriser la mise en place de la minéralisation sous un écran formé par les argiles de base de la nappe numidienne.

Des considérations d'ordre structural et de faciès permettent de voir dans l'indice de Bou Ghezlane le prolongement probable, décalé par l'accident sénestre de la plaine des Senhadja, des minéralisations d'Azzaba.

Jamila HAIMEUR

Thèse de Doctorat INPL soutenue le 17 novembre 1988

**CONTRIBUTION A L'ETUDE DE L'ENVIRONNEMENT
VOLCANO-SEDIMENTAIRE
ET DU MINERAI DE L'AMAS SULFURE MASSIF DE DOUAR LAHJAR
(GUEMASSA, MAROC) , 151 pp.**

(Laboratoire de Typologie des Gisements

Responsable : G. DAGALLIER, Maître de Conférences)

L'amas sulfuré massif à pyrrhotite-sphalérite de Douar Lahjar, à 35 km au S.-W. de Marrakech, s'inscrit dans une série volcano-sédimentaire viséenne épimétamorphique recoupée par sondages. La série volcanique acide renferme des tufs distaux puis proximaux et des coulées de laves. L'ensemble est traversé par une masse protrusive visqueuse s'émiettant en arrivant sur le fond marin. Le dépôt des sulfures massifs glisse sur un flanc de cette protrusion ; il s'accompagne d'une altération hydrothermale très poussée de l'encaissant (altérite) et du dépôt de sédiments exhalatifs (chloritites et séricitites).

La paragenèse sulfurée inhabituelle renferme de la pyrrhotite presque pure et de la sphalérite pauvre en fer. La chalcopyrite et la galène sont subordonnées. Dans les zones minéralisées, la présence de graphite indique que la minéralisation primaire est déposée par des fluides très réducteurs. Les isotopes de soufre montrent que cet élément et les métaux de base sont originaires du substratum.

METAMORPHISME HYDROTHERMAL ET REACTIONS D'OXYDO- REDUCTION EN CONTEXTE DE MARGE PASSIVE ET DE ZONE DE CISAILLEMENT DUCTILE :

GENESE DES CONCENTRATIONS ZN-PB ET GRAPHITE ASSOCIEES

Claire RAMBOZ

Thèse de Doctorat Es Sciences I.N.P.L., 1988, Nancy, 321

La série des schistes noirs des Jebilet (Meseta Occidentale, Maroc) a subi dans son ensemble une oxydation du fer pendant le métamorphisme (Ramboz et Bastoul, 1985; Ramboz, ce travail). Les faciès où le fer est le plus oxydé sont les skarns à concentrations économiques de graphite, du fait de la croissance de grenats et de pyroxènes ferriques syncinématiques dans les conditions d'un métamorphisme prograde de bas degré ($T \leq 550^\circ\text{C}$, $P \leq 4\text{kb}$). Les mines de graphite sont localisées dans les faciès pauvres en carbonates. Les grenats associés contiennent des inclusions de pyroxènes présentant une distribution qui est soit de type chiastolite (type C) dans les niveaux riches en graphite, soit isotrope (type R) dans les niveaux appauvris. Grenats de type R et C présentent un zonage chimique caractérisé par des compositions mélanitiques au coeur, puis titangranditiques et granditiques vers la périphérie. Les coeurs mélanitiques ($\text{Si} < 3.00$ et $\text{Si}+\text{Ti} > 3.00$) se sont formés dans des conditions de $f\text{O}_2$ au plus égales à celles du tampon fer-wustite ($f\text{O}_2 \approx 10^{-28}$ bar, $T=500^\circ\text{C}$, $P=2\text{kb}$), imposées par le dégazage important d'hydrogène contenu dans la matière organique et les micas ammoniés. Les données minéralogiques et l'étude des inclusions fluides (Bastoul, 1983) montrent que l'équilibre entre le fluide et le graphite a été atteint, la réduction de l'eau et du CO_2 étant presque totale du fait que l'oxygène produit était fixé instantanément par les silicates.

The Malines Cambrian carbonate-shale-hosted Pb-Zn deposit, France: Thermometric and Isotopic (H, O) evidence for pulsating hydrothermal mineralization

A. Charef and S. M. F. Sheppard

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

Abstract. Microthermometric, stable isotope (D/H, $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$), and Raman spectroscopic data are given for four different mineralization events located beneath a Triassic unconformity. These events include the Pb-Zn-bearing K_{II} mineralization which fills geodes and fractures in the main karstic mineralization K_I and the F mineralization which fills fractures in the Cambrian carbonates and shales. Post- K_I , pre- K_{II} , and F mineralization fluids were hot ($\sim 150^\circ\text{C}$), moderately saline (~ 10 equiv. wt% NaCl), and precipitated red dolomite. Subsequently, equally hot but more saline (~ 20 equiv. wt% NaCl) fluids deposited white dolomite and then sphalerite of the F mineralization; they were followed by another generation of dolomite at about 70°C from fluids with about 15 equiv. wt% NaCl and, even later, barites ($\sim 165^\circ\text{C}$, 10 equiv. wt% NaCl). Variation in the homogenization temperature with salinity for the different dolomite generations suggests that the hot saline fluids were repeatedly diluted by a cooler, less-saline fluid. The fluids are interpreted to be of formation-water origin having possibly developed in the deep levels of the Rhone basins to the southeast, which was at least 3 km thick at the time of mineralization (post-Hetangian). The inferred metal-bearing hot brines were probably episodically expelled during the dewatering of the basin, depositing their mineralization in the more permeable fault and karstic zones associated with the uplift of the St. Bresson horst. Cold surface waters probably invaded the mineralized zones between the pulses of hydrothermal solutions. This hydrothermal model with the introduction of sulfides can account for the precipitation and dissolution textures associated with the hydrothermal mineralizations.

JOHAN, Z. et OHNENSTETTER, D. (édrs.)
Gisements métallifères dans leurs contexte géologique
Doc. BRGM, 158, 365-388

RETROMORPHOSE, PALEOALTERATION, DIAGENESE ET HYDROTHERMALISME DE L'ENCAISSANT DES GISEMENTS URANIFERES DANS LA STRUCTURE DE CARSWELL (SASKATCHEWAN - CANADA)

Ghislaine HALTER¹, Maurice PAGEL¹, Simon M.F. SHEPPARD²,
Francis WEBER³ et Norbert CLAUER³

Résumé

Dans la partie septentrionale de la province de Saskatchewan (Canada), des gisements d'uranium sont localisés à proximité d'une discordance protérozoïque entre un socle métamorphique

Temperature, Pressure, Burial History, and Paleohydrology of the Les Malines Pb-Zn Deposit: Reconstruction from Aqueous Inclusions in Barite*

CLAIRE RAMBOZ AND ABDELKRIM CHAREF**

Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques, B.P. 20, 54 501-Vandoeuvre-lès-Nancy, France.

Abstract

Aqueous inclusions in oil-bearing vug-filling barite which postdates the karstic and fissural ore stages at Les Malines, one of the largest Mississippi Valley-type Zn-Pb deposits in Europe, have been studied by microthermometry and Raman spectrometry. The correlative variations of the melting points of ice ($T_{m_{ice}}$) and of the homogenization temperatures (T_h) define three main stages: (1) stage I, gas-rich inclusions characterized by $T_{m_{ice}} = -7^\circ \pm 1^\circ\text{C}$ and $T_{h_{L-V(V)}}$ = 180° to 380°C, (2) stage II, liquid-rich and gas-rich inclusions homogenized in the temperature range of 160° to 175°C, with $T_{m_{ice}} = -8.2^\circ$ to -4.1°C —stage I and stage II inclusions contain CO_2 and no CH_4 , N_2 , or H_2S detectable by Raman spectrometry, and (3) stage III, liquid-rich inclusions, characterized by $T_{m_{ice}}$ which increased from -8° to -1.7°C as their $T_{h_{L-V(L)}}$ decreased from 160° to 130°C. They are essentially aqueous.

The $\text{H}_2\text{O-CO}_2\text{-NaCl}$ vapor-dominant stage I inclusions in barite cannot have leaked because their gas content is distinct from air. They are interpreted to have trapped a hot ($T \sim 300^\circ\text{C}$), CO_2 -bearing vapor which was cooling. Oil was thermally degraded during trapping in barite. The source of heat and CO_2 is considered to be volcanism contemporaneous with the major uplift of the horst during the Upper Jurassic. Dissolution of the carbonated wall rock is related to stage I. Stage II inclusions are interpreted to represent the end-product of the mixing of pore fluid with the hot vapor. The temperature of the pore fluid exceeded 150°C prior to the addition of magma-heated fluids. Such anomalous pore fluid temperatures are tentatively related to the steady dewatering of the Terres Noires shales from below, with the fluids moving up along the east-west fault of Les Malines near adiabatic conditions. The formation waters were probably responsible for the migration of the oil and for the recrystallization of the basement. Gas-rich and liquid-rich stage II inclusions are compatible with minor unmixing of the $\text{H}_2\text{O-CO}_2\text{-NaCl}$ liquid with precipitation of calcite. The \bar{V} -X properties calculated for a stage II liquid-rich inclusion (96.1 mole percent H_2O , 1.85 mole percent NaCl, and 2 ± 0.2 mole percent CO_2 ; $\bar{V} = 21.5 \pm 1.3 \text{ cm}^3 \text{ mole}^{-1}$) fix the pressure of unmixing at 175°C in the range 285 ± 45 bars. The T_h - \bar{V} -X properties of secondary CO_2 -bearing inclusions in barite from the earlier fissural stage (Charef and Sheppard, 1988) point to higher fluid pressures in the horst, in the range of 365 ± 45 bars minimum. CO_2 -rich inclusions in the two barite generations imply that the metamorphosed Cambrian basement at Les Malines has been transiently geopressed below the Triassic shales. The addition of a small amount of magma-derived CO_2 to the pore fluid probably accounts for the rapid increase of pressure. The fluid pressure in the horst reached near-lithostatic values repetitively, first at the end of the Middle Jurassic subsidence, when the burial depth was around $1,600 \pm 200$ m, then at a later stage, probably during the Upper Jurassic, when the sedimentary cover was partly eroded to around $1,200 \pm 200$ m. The overpressuring, with a possible structural deformation resulting from the rising magma, probably caused the opening of the vertical, late barite-filled veins by hydraulic fracturing. Stage III inclusions are interpreted to indicate the influx of colder diluted fluid to the horst under hydrostatic pressure conditions, i.e., after decompression.

proposait de déterminer l'origine de ces concentrations minérales et d'étudier la possibilité d'un rééquilibrage isotopique par le métamorphisme de sulfures et de sulfates associés.

L'âge du substratum (et encaissant pro parte des minéralisations), formé de séricito- et chloritoschistes quartzeux, a été diversément interprété jusqu'à présent. Il forme la base de la Série Toscane Métamorphique. La comparaison de sa composition chimique (éléments majeurs) avec celles de nombreuses autres formations de Toscane en fait le plus probablement du Silurien - Dévonien. Ces roches dérivent de shales. Les minéralisations et leur encaissant ont subi trois phases de déformations ductiles, suivies de fracturations. L'étude des équilibres minéraux donne les caractéristiques maximales suivantes pour le métamorphisme régional : pression de 2 à 3 kb et températures de l'ordre de 425°C.

Plusieurs faciès morphologiques de minéralisation ont été reconnus, mais ne se rencontrent pas dans toutes les mines : lentilles hectométriques, lentilles métriques, amas et filons. Deux associations minérales économiques ont été observées (en dehors de traces de sulfosels rares) :

- Pollone : barytine + pyrite + (sphalérite + galène)
- Monte Arsiccio et Buca della Vena : barytine + pyrite ou hématite + (magnétite)

Cinquante six nouvelles mesures de $\delta^{34}\text{S}$ ont été réalisées sur des minéraux provenant des mines de Pollone, Monte Arsiccio et de Buca della Vena (36 de barytine, 16 de pyrite, 4 de galène; barytine et pyrite ont pu être analysées à la fois dans 11 échantillons). Le $\delta^{34}\text{S}$ de la barytine varie de 11 à 26 ‰ et la moyenne est de 20 ‰. Pour les sulfures l'intervalle de variation est un peu plus large : - 1 à - 18 ‰. La moyenne des $\delta^{34}\text{S}$ est de - 10 ‰ pour Pollone et de - 1 ‰ pour Monte Arsiccio. Les différences des $\delta^{34}\text{S}$ des barytines et pyrites coexistantes varient de 20.7 à 36.5 ‰.

Ces données isotopiques sur le soufre sont compatibles avec un âge siluro-dévonien des minéralisations et avec une précipitation dans un environnement euxinique, proche d'une côte. Les rapports $87\text{Sr} / 86\text{Sr}$ ont été déterminés pour trois barytines ($x = .7079$) ainsi que les rapports isotopiques du Pb pour une galène ($^{206}\text{Pb} / ^{204}\text{Pb} = 18.31$; $^{207}\text{Pb} / ^{204}\text{Pb} = 15.67$; $^{208}\text{Pb} / ^{204}\text{Pb} = 38.43$). Ces rapports indiquent une origine principalement crustale pour le Sr et le Pb de ces gisements, conclusion qui peut être étendue au Ba. Aucun argument en faveur d'un rééquilibrage isotopique, même partiel, du soufre des sulfures et sulfates n'a été trouvé.

12ème Réunion des Sciences de la Terre, Lille, 1988 - Soc. Géol. Fr. édit. Paris, 82

LES MAGNÉSITES DU RIF INTERNE (MAROC)

A. Laghbi (1, 2) et F. Saupé (1)

(1) CRPG - BP 20 - 54501 Vandoeuvre

(2) Direction de la Géologie - Minist. de l'Energie et des Mines - Rabat

Les concentrations de magnésite du Rif interne sont encaissées dans la Formation de Boured-Bani-M'zala, carbonatée et triasique, qui entoure en couronne le massif ultrabasique des Beni-Bou-Izra (mis en place il y a 22 M.a.). Ces magnésites sont elles d'origine métasomatique et liées à la mise en place des ultrabasites ou sédimentaires ? La question est d'autant plus justifiée que des altérations hydrothermales filoniennes ont produit des magnésites à l'intérieur des ultrabasites.

Les levés de terrain ont montré le caractère stratoïde de ces magnésites et leur liaison constante avec un horizon de dolomies, faisant partie de la Formation de Boured-Bani-M'zala. Elles sont accompagnées de gypse. Ces roches présentent les caractères de dépôts épicontinentaux à tendance confinée. Une intense tectonique tangentielle empêche une

et granitique d'âge protérozoïque inférieur (Aphézien) à archéen et une couverture sédimentaire non métamorphique, le groupe Athabasca, d'âge protérozoïque moyen (Hélikien). Dans les modèles génétiques proposés pour ces gisements, le rôle métallogénique attribué à la discordance et à l'altération superficielle développée au niveau de la paléosurface du socle reste très controversé. Afin de comprendre le comportement géochimique des éléments lors des différents épisodes d'altération, la nature et l'extension de ces altérations sont examinées dans le cadre d'une étude pétrographique, minéralogique et isotopique (δD et $\delta^{18}O$) dans le contexte de la structure de Carswell. La rétro-morphose tardi-hudsonienne du socle se marque par des assemblages caractéristiques du faciès schistes verts à albite, adulaire, pistachite, calcite, chlorite ferrifère à ferromagnésienne (brunsvigite/pycnoclorite), illite alumineuse, anatase et pyrite. Sous les grès Athabasca, le socle présente un profil d'altération caractérisé par une zone supérieure à kaolinite 1T, quartz, hématite, illite alumineuse 1M, crandallite/goyazite et une zone inférieure à illite alumineuse 1M, chlorite aluminomagnésienne (sudoite) et chlorite magnésienne (clinocllore). Cette zonation résulte de la superposition de deux événements, une altération météorique suivie de transformations diagénétiques. La zone hématisée représente la base d'un profil superficiel rubéfiant dont la paragenèse originelle a été transformée en un assemblage à illite et chlorite sous l'influence des eaux de formation issues des grès susjacentes. La diagenèse des grès Athabasca se caractérise par la néoformation de quartz, de dickite, d'illite alumineuse 2M, d'hématite, d'antase et accessoirement de crandallite/goyazite et d'apatite. Le halo d'altération autour des gisements contient de la ferrimuscovite 3T, de l'illite alumineuse 1M et de la chlorite aluminomagnésienne (sudoite), tandis que la gangue des minéralisations se marque par l'abondance de chlorite magnésienne (clinocllore). Une tourmaline magnésienne déficitaire en alcalins (dravite) est présente dans le halo comme dans la gangue de certaines minéralisations.

Le fluide minéralisateur a été caractérisé par les isotopes stables (δD et $\delta^{18}O$). Les faciès situés à plus de 3 mètres de la minéralisation et présentant des teneurs en uranium sur roche totale entre 10 et 260 ppm, se marquent par des minéraux argileux dont les âges K/Ar sont de l'ordre de 1250 Ma. Dans ces échantillons du halo, les couples δD - $\delta^{18}O$ des phyllites permettent de déterminer pour le fluide des δD de -69 à 41‰ à 200°C. Le fluide du halo présente des caractéristiques isotopiques similaires à celles des eaux de formation des grès Athabasca ; $\delta D = -61$ à -35 ‰ et $\delta^{18}O = +2$ à $+7$ ‰. Dans le faciès minéralisés qui contiennent plus de 1000 ppm d'uranium, les minéraux argileux présentent des caractéristiques isotopiques très différentes de celles des minéraux équivalents dans les halos ; les datations K/Ar fournissent des valeurs anormalement faibles (moins de 750 Ma) et les δD sont très légers (jusqu'à -168‰ pour les illites, jusqu'à -161‰ pour les chlorites). Les δD anormaux sont interprétés comme le résultat d'un échange isotopique rétrograde d'hydrogène, entre les argiles des corps minéralisés et les eaux météoriques post-Crétacé, facilité par les dommages causés par les radiations élevées, dans les minéraux. La mise en évidence, en contexte uranifère, de ce phénomène pourrait constituer un complément important à l'étude des minéraux argileux pour la définition de critères de prospection précis. Il faut noter que si sa mise en évidence par les isotopes stables est limitée à certains contextes particuliers, son approche par les données K/Ar et les teneurs en eau des argiles est envisageable dans la plupart des cas.

JOHAN, Z. et OHNENSTETTER, D. (édrs.)
 Gisements métallifères dans leur contexte géologique
 Doc. BRGM, 158, 325-343.

**LES GISEMENTS DE BARYTINE, PYRITE ET OXYDES DE FER DES
 ALPES APUANES MÉRIDIIONALES (TOSCANE, ITALIE)
 (Contribution à la connaissance des gisements de Toscane - IV)**

F. Saupé (1), B. Orberger (1, 2) et M. Arnold (1)

Résumé

Trois gisements de barytine à minéraux de fer(Pb) associés sont situés dans l'extrême Sud-Est des Alpes Apuanes : Pollone, Monte Arsiccio et Buca della Vena. Ils se rencontrent à proximité du contact chevauchant du "Calcare cavernoso" sur son substratum et lui sont en partie parallèles. Ce contact a été considéré comme un métallotecte régional contrôlant la majorité des minéralisations de fer de Toscane, avant que des travaux récents aient démontré qu'il n'en était rien, mais son éventuel rôle dans les Apuanes restait à examiner. Par ailleurs ce travail se

reconstitution paléogéographique à grande échelle. Postérieurement à leur dépôt, ces magnésites ont subi des reconcentrations et des recristallisations sous l'influence de deux phénomènes dont les parts respectives sont encore mal établies : (1) des karstifications précoces, et (2) les métamorphismes concomitants de la mise en place des ultrabasites.

Les rapports isotopiques du S de ces gypses et du Sr des magnésites et des carbonates sédimentaires qui les accompagnent sont en accord avec un âge triasique. Le spectre des terres rares des magnésites a une pente opposée à celui que présentent les pyroxénites des Beni-Bou-Izra. Le diagramme $87\text{Sr} / 86\text{Sr} = f(1/\text{Sr})$ montre que les teneurs et les rapports isotopiques du Sr des magnésites stratoides ne peuvent résulter d'un mélange du Sr des dolomies et calcaires triasiques et d'un Sr qui proviendrait des ultrabasites.

Les observations de terrain et les études géochimiques aboutissent donc toutes les deux à la conclusion d'une origine sédimentaire de ces magnésites et excluent une métasomatose du Mg en provenance des ultrabasites.

A. Laghbi : Thèse de Dr. Ingénieur - Université de Nancy I
(11.12.1987)

Sommaire

ROYER J.J. Comparaison de quelques méthodes de déconvolution. Apport de la géostatistique.....	69
MA Y.Z. et ROYER J.J. Le comportement des pondérateurs en analyse krigéante. Comparaison avec les filtres classiques utilisés en traitement d'images.....	69
ROYER J.J. New approaches to the recognition of anomalies in exploration geochemistry.....	70
SAMAMA J.C., ROYER J.J. and N'GANZI C. Prise en compte de la surface spécifique des prélèvements en prospection géochimique : exemple de l'uranium dans les sédiments de ruisseau	70
ROYER J.J. Analyse multivariable et filtrage des données régionalisées.....	71

INFORMATIQUE APPLIQUEE

NEW APPROACHES TO THE RECOGNITION OF ANOMALIES IN EXPLORATION GEOCHEMISTRY.

J.J. Royer
Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques
B.P. n°20, 15 rue ND des Pauvres
54501 Vandoeuvre -Les - Nancy
France.

Abstract. Data analysis procedures employed in exploration geochemistry are briefly reviewed. Elementary statistical methods such as histograms or cumulative frequency curves are used to code the data into two characteristic functions related to the *Beginning of Anomalous Grade* (BAG), and to the *Significant Anomalous Grade* (SAG). Methods for accurately estimating the BAG and the SAG under varying conditions, the limitations of the methods, and interpretation of the data are presented. External data are used to identify the relevant sources of dispersion.

Multivariate *factor proximity analysis* (FPA) is discussed in the framework of spatial analysis. Theoretical results are compared to those obtained using *factor kriging analysis* (FKA). The method is applied to several different geochemical mineral surveys and to exploration for an oil-bearing formation.

Journal of Geochemical Exploration, 32 (1989)

Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam — Printed in The Netherlands

Prise en compte de la surface spécifique des prélèvements en prospection géochimique: exemple de l'uranium dans les sédiments de ruisseau

J.C. SAMAMA¹, J.J. ROYER² et C. N'GANZI¹

¹ENS Géologie, B.P. 452, 54000 Nancy, France

²CRPG, Rue Notre-Dame-des-Pauvres, 54500 Vandoeuvre-Lès-Nancy, France

(Revised and accepted September 23, 1989)

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: E. Wilhelm, H. Zeegers et al. (Editors), *Geochemical Exploration 1987. J. Geochem. EExplor.*, 32: 000-000.

An experimental geochemical exploration program for uranium was conducted in the rainforest environment of Gabon, where occur Precambrian sandstone-type uranium deposits. The results obtained by mapping the total uranium contents are compared with data from multivariate statistics (Principal Component Analysis) and with results obtained by using the surface area of stream sediment samples as a correcting factor of the raw geochemical data. The selection of significant uranium geochemical anomalies appears to be easier and more reliable if achieved by using such a correction factor than when based only upon raw data.

COMPARAISON DE QUELQUES METHODES DE DECONVOLUTION. APPORT DE LA GEOSTATISTIQUE.

ROYER J.J.

Une méthode de déconvolution basée sur l'analyse structurale est présentée. La technique étudiée peut être utilisée indifféremment pour estimer la fonction de transfert du système disposant d'un échantillonnage du signal d'entrée et du signal de sortie ou pour identifier le signal de sortie connaissant la fonction de transfert. Le principe de la méthode repose sur le calcul et la modélisation au préalable des fonctions de covariance du signal d'entrée et du signal de sortie, puis sur la résolution de l'équation de régularisation qui relie ces deux covariances. La résolution peut se faire numériquement par transformation de Fourier (FFT) ou par méthodes quadratiques sous contraintes linéaires. Cette dernière technique a l'avantage de respecter un certain nombre de contraintes imposées par la physique du phénomène, *a contrario* cette simplicité est perdue du point de vue des calculs numériques car cette technique nécessite (i) l'inversion d'un système linéaire sur-déterminé parfois de taille importante, (ii) le calcul au préalable des fonctions de covariance. Lorsque le modèle de covariance peut être exprimé à l'aide de fonctions de covariance du type exponentiel ou gaussien, il est possible de calculer directement la fonction de transfert sous forme analytique. Dans certains cas, lorsqu'il existe un effet de pépite, la fonction de transfert n'est pas une fonction analytique mais une distribution.

Contribution CRPG n° 740.

LE COMPORTEMENT DES PONDERATEURS EN ANALYSE KRIGEANTE. COMPARAISON AVEC LES FILTRES CLASSIQUES UTILISES EN TRAITEMENT D'IMAGES.

MA Y.Z. et ROYER J.J.

Le comportement des pondérateurs de l'analyse krigéante est discuté. Cette théorie établie en 1982 par Matheron G., a été appliquée dans les Sciences de la Terre à de nombreux domaines. Sandjivy L.(1983,1984) et Wackernagel H.(1985,1986) l'ont utilisé pour séparer les anomalies du fond régional en prospection géochimique, tandis que Galli A. et al. (1984), Chilès J.P. et Guillen A. (1984) ont traité par cette méthode les anomalies locales d'un champ magnétique ou gravimétrique. Récemment, Ma Y.Z. et Royer J.J. (1987) ont appliqué cette technique au filtrage des données de télédétection.

Il existe une équivalence entre l'analyse krigéante et l'analyse spectrale pour un phénomène stationnaire d'ordre 2; en effet l'une concerne le domaine spatial (ou temporel), l'autre le domaine fréquentiel. Par contre, l'analyse krigéante est plus générale car elle peut s'adapter à des phénomènes non stationnaires en utilisant le formalisme des fonctions aléatoires intrinsèques d'ordre k . En traitement d'images, il est classique d'utiliser des filtres locaux de convolution définis dans le domaine spatial, par exemple, moyenne mobile, filtre gaussien, filtre Laplacien, filtre gradient, ... Quelle relation existe-t-il entre ces filtres classiques et la méthode d'analyse krigéante?

On montre que les pondérateurs de l'analyse krigéante coïncident souvent avec ces différents filtres classiques pour un choix particulier de la fonction de covariance ou du variogramme.

Une amélioration sensible des techniques de filtrage peut être obtenue en calculant les pondérateurs du masque de convolution par analyse krigéante. Suivant la forme du variogramme, il est possible de bâtir des filtres à des échelles différentes (structure gigogne). L'analyse krigéante apparaît ainsi comme une généralisation des méthodes de filtrage.

A titre d'exemple, on compare ces différentes méthodes de filtrage sur une étude de cas.

Contribution CRPG n° 763.

de la marche aléatoire en fonction de la condition d'arrêt, la *limite ergodique des matrices de variance covariance des erreurs d'échantillonnage* est trouvée. On montre que le processus d'échantillonnage introduit des erreurs fortement corrélées entre elles (*fausses corrélations*). Une relation théorique reliant la matrice de covariance des erreurs à la *granulométrie* du milieu étudié est proposée, puis vérifiée par simulation numérique. L'avantage de disposer d'une relation théorique est de pouvoir calculer a priori (i) l'erreur d'échantillonnage connaissant la granulométrie du milieu; (ii) la matrice de corrélation des erreurs; (iii) d'optimiser les procédures d'échantillonnage.

Mots Clés: analyse des proximités, géostatistique, analyse spectrale, fonction de transfert, équation de convolution, covariance, méthodes quadratiques, problèmes inverses, transformée de Fourier, diagraphies, formations salifères, évaporites, hydrogéologie, géochimie, pétrole.

THESE DE DOCTEUR ES SCIENCES.

présentée à l'Institut National Polytechnique de Lorraine, Nancy, 240p
Soutenue publiquement le 14 Octobre 1988 devant la Commission d'Examen

ANALYSE MULTIVARIABLE ET FILTRAGE DES DONNEES REGIONALISEES

Jean - Jacques ROYER

RESUME

Ce mémoire est consacré à l'analyse multivariable au filtrage des données régionalisées, c'est à dire aux fonctions aléatoires multidimensionnelles définies sur un support de 1D, 2D ou 3D. Trois groupes de méthodes ont particulièrement été étudiées: l'analyse des proximités, la déconvolution géostatistique et les problèmes d'échantillonnage multivariable.

L'*analyse des proximités* est une généralisation de l'analyse canonique appliquée aux fonctions aléatoires. Cette technique définit un indice de proximité entre échantillons puis optimise le rapport de la variance locale sur la variance totale calculée sur l'ensemble des variables disponibles. Des combinaisons linéaires de variables appelées *facteurs de proximité* sont ainsi calculées: les premiers facteurs décrivent les composantes régionales lentement variables tandis que les derniers décrivent les variations spatiales à petite échelle (faible rapport entre signal et bruit). Plusieurs études de cas choisies en géochimie de prospection sur roches, sols ou sédiments de ruisseau, ainsi qu'en exploration pétrolière illustrent les potentialités de cette méthode comparées aux approches traditionnelles.

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. En théorie, l'analyse des proximités permet de séparer les composantes purement erratiques (effet de pépite) du signal utile; mais cette méthode sera certainement plus efficace si ces perturbations externes sont filtrées au préalable.

Afin de résoudre cet important problème, une technique de filtrage basée sur l'analyse structurale, la *déconvolution géostatistique*, est présentée. C'est une généralisation du filtre de Wiener, d'une part parce qu'elle peut s'adapter aux processus non-stationnaires (F.A.I.k), d'autre part parce qu'elle représente un filtrage multi-composante. Cette méthode permet de séparer le bruit du signal utile lorsque les matrices de variance covariance du bruit sont connues. La technique étudiée peut aussi être utilisée indifféremment pour estimer la fonction de transfert d'un système disposant d'un échantillonnage du signal d'entrée et du signal de sortie ou pour identifier le signal de sortie connaissant la fonction de transfert. Le principe de la méthode repose sur le calcul et la modélisation au préalable des fonctions de covariance du signal d'entrée et du signal de sortie, puis sur la résolution de l'équation de régularisation qui relie ces deux covariances. La résolution peut se faire numériquement par transformée de Fourier (FFT) ou par méthodes quadratiques sous contraintes linéaires. Cette dernière technique a l'avantage de respecter un certain nombre de contraintes imposées par la physique du phénomène, *a contrario* cette simplicité est perdue du point de vue des calculs numériques car cette technique nécessite (i) l'inversion d'un système linéaire sur-déterminé parfois de taille importante, (ii) le calcul au préalable des fonctions de covariance.

Les propriétés spectrales de l'opérateur de déconvolution géostatistique ont été trouvées dans le cas monodimensionnel; elles montrent que dans le cas des fonctions aléatoires stationnaires, la déconvolution géostatistique est équivalente aux filtres avant-arrière des méthodes AR ou ARIMA.

La dernière partie de ce travail est consacrée à l'étude des problèmes d'échantillonnage multivariable. Le but est de trouver une méthode permettant d'évaluer *a priori* les matrices de variance covariance des erreurs instrumentales ou de prise de mesure. On suppose que le processus d'échantillonnage peut être modélisé par une marche aléatoire dans \mathbf{R}^p avec comme condition d'arrêt une barrière absorbante. Après avoir établi à l'aide de la relation de Wald, la loi

Sommaire

LAPIQUE F., CHAMPENOIS M. et CHEILLETZ A. Un analyseur vidéographique interactif : description et applications.....	75
--	----

INSTRUMENTATION

Un analyseur vidéographique interactif : description et applications

par FRÉDÉRIC LAPIQUE, MICHEL CHAMPENOIS et ALAIN CHEILLETZ

Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques, 15, rue N.D. des Pauvres,
B.P. 20, 54501 Vandœuvre Cedex, France

Résumé. — L'analyseur d'images présenté ici est un système vidéographique interactif qui permet à l'utilisateur de dessiner en surimposition sur une image vidéo couleur. Ce système est basé sur un micro-ordinateur IBM-PC, utilisé pour le stockage et le traitement des données extraites de l'image provenant d'un ensemble vidéo couleur haute définition (caméra + moniteur). Les programmes associés ont été développés pour des applications en minéralogie, pétrologie ou géologie structurale et permettent d'obtenir des paramètres tels que surface, périmètre, facteur de forme, orientation, ainsi que la détermination de l'ellipsoïde de déformation finie.

Mots-clés : analyse d'images, système vidéographique, déformation finie, analyse modale, analyse morphologique.

An interactive videographic analyser : description and applications

Abstract. — The image analyser presented here is an interactive videographic system which allows the operator to draw by superimposition on the colour video image. This system is based on an IBM-PC microcomputer which is used for storage and treatment of the video data provided by a high resolution colour video camera. Associated programs have been developed for mineralogical, petrological or structural applications which perform the calculation of parameters such as surface, perimeter, shape factor, orientation or finite strain ellipsoid determination.

Key-words : image analysis, videographic system, finite strain, modal analysis, morphological analysis.

Sommaire

ALBAREDE F. and TAMAGNAN V. Modelling the recent geochemical evolution of the Piton de la Fournaise volcano, réunion Island, 1931-1986	81
PICHAVANT M., KONTAK D.J., VALENCIA HERRERA J. and CLARK A.H. The miocene-pliocene macusani volcanics, SE Peru I. Mineralogy and magmatic evolution of a two-mica aluminosilicate-bearing ignimbrite suite	82
PICHAVANT M., KONTAK D.J., BRIQUEU L., VALENCIA HERRERA J. and CLARK A.H. The miocene-pliocene macusani volcanics, SE Peru II. Geochemistry and origin of a felsic peraluminous magma	83
PICHAVANT M. and MONTEL J.M. Petrogenesis of a two-mica ignimbrite suite: the macusani volcanics, SE Peru	84
PICHAVANT M. Sur l'équivalence entre termes plutoniques et volcaniques dans les séries leucogranitiques	84
FRANCE-LANORD C. and LE FORT P. Crustal melting and granite genesis during the Himalayan collision orogenesis	85
PARSONS I. and BROWN W.L. Sidewall crystallization in the Klokken intrusion: zoned ternary feldspars and coexisting minerals	85
BROWN W.L. and PARSONS I. Zoned ternary feldspars in the Klokken intrusion: exsolution microtextures and mechanism	86
MAURY R.C., LETERRIER J. et JACQUES D. Critères de distinction des magmas tholéiitiques et calco-alkalins d'arc insulaire : exemple de l'arc de Luzon, Philippines	87
DEBON F. and LE FORT P. A cationic classification of common plutonic rocks and their magmatic associations : principles, method, applications	87
DEBON F. and LE FORT P. e SABATE P. Uma classificacao quimico-mineralogica das rochas plutonicas comuns e suas associacoes, metodo e aplicacoes	88
GIULIANI G. Geoquimica de alguns granitoïdes da faixa de dobramentos sergipana.....	88
STUSSI J.M. and PLOQUIN A. French palaeozoic granitoïd mapping: chronological, typological and metallogenetical pattern	89
FRIEDRICH M., RAZAFIMAEFA N., CUNEY M. et STUSSI J.M. Les granites peralumineux du NW Massif Central. Signatures et hétérogénéités des sources	89

MAGMATISME

HOLTZ F. et LETERRIER J. Typologie des granitoïdes hercyniens du nord-Portugal. Exemple des complexes de granite à 2 micas du domaine de Montalègre	90
DEBON F. et ZIMMERMANN J.L. Le pluton hercynien de Bassiès (Pyrénées, zone axiale) : typologie chimique, âge et remaniements isotopiques.....	91
ALIBERT C., DEBON F. et TERNET Y. Le pluton à structure concentrique du Néouvielle (Hautes-Pyrénées) : typologie chimique, âge et genèse	91
STUSSI J.M. et MORTAJI A. Granites à épidote précambriens de Tagragra d'Akka, anti-Atlas occidental, Maroc	91
BANZET G., LE FORT P., DEBON F. et PECHER A. Vaugnérites, durbachites et granitoïdes magnésio-potassiques : interactions croûte-manteau dans le haut-Dauphiné occidental (Alpes externes).....	92
MONTEL J.M., MARIGNAC C. et WEISBROD A. Géochimie des vaugnérites des Cévennes médianes.....	93

The Miocene-Pliocene Macusani Volcanics, SE Peru

I. Mineralogy and magmatic evolution of a two-mica aluminosilicate-bearing ignimbrite suite

Michel Pichavant¹, Daniel J. Kontak^{2*}, Jacinto Valencia Herrera³ and Alan H. Clark²

¹ Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques BP 20, F-54501 Vandoeuvre les Nancy, France

² Department of Geological Sciences, Queen's University Kingston, Ontario K7L 3N6, Canada

³ Instituto Peruano de Energía Nuclear Av. Canada. 1470. Lima 13, Peru

Abstract. The Miocene-Pliocene Macusani volcanics, SE Peru, outcrop in three separate tectonic intermontane basins developed on a Paleozoic-Mesozoic volcano-sedimentary sequence. Several ignimbrite sheets are recognized and K – Ar dates record at least semi-continuous volcanic activity from 10 to 4 Ma in the Macusani field. The volcanics in the Macusani basin comprise crystal-rich (45% crystals) ash-flow tuffs and rare obsidians glasses, both with unusual mineralogy, similar to two-mica peraluminous leucogranites. The mineralogical assemblage (quartz, sanidine Or_{69-75} , plagioclase, biotite, muscovite and andalusite (both coexisting in the entire volcanic field), sillimanite, schörl-rich tourmaline, cordierite-type phases, hercynitic spinel, fluor-apatite, ilmenite, monazite, zircon, niobian-rutile) is essentially constant throughout the entire Macusani field. Two distinct generations of plagioclase are recognized, *viz.* group I (An_{10-20}) and group II (An_{30-45}). Sillimanite forms abundant inclusions in nearly all phases and is earlier than andalusite which occurs as isolated phenocrysts. Biotite (Al-, Ti-, Fe- and F-rich) shows pronounced deficiencies in octahedral cations. Muscovite is also F-rich and displays limited biotitic and celadonitic substitutions. There is no systematic variation in mineral chemistry with stratigraphic position. The mineralogical data provide a basis for distinction between an early magmatic and a main magmatic stage. The early stage corresponds to the magmatic evolution at or near the source region and includes both restites and early phenocrysts. Some biotites (with textures of disequilibrium melting to Fe – Zn spinel), part of the sillimanite, apatite and monazite, possibly some tourmaline and cordierite-type phases are restites. However, the restite content of the magma was low (5 vol. % maximum). The group II plagioclase are interpreted as early phenocrysts. During this stage, temperatures were as high as 800° C, pressure was no more than 5–7.5 kbar, f_{O_2} was intermediate between WM and QFM and a_{H_2O} was low. The biotite melting textures and the coexistence of restites and early phenocrysts imply fast heating rates in the source region. The transition between the early and the main magmatic stage was abrupt (andalusite crystallization in place of sillimanite, group I vs. group II plagioclases) and suggests rapid ascent of the magma from its source region. During the main crystallization stage, temperature was 650° C or lower at a pressure of 1.5–2 kbar. a_{H_2O} (calculated from equilibrium between muscovite, quartz, sanidine and andalusite) are around 1, suggesting conditions close to H_2O -saturation. f_{HF} is around 1 bar but the f_{H_2O}/f_{HF} ratios are significantly different between samples. f_{H_2} ranges between 138 and 225 bar. This study shows that felsic, strongly peraluminous, leucogranitic magmas having andalusite and muscovite phenocrysts may be generated under H_2O -undersaturated conditions.

* Present address: Nova Scotia Department of Mines and Energy
PO Box 1087, Halifax, Nova Scotia A1B 2X1, Canada

CRPG Contribution n° 769

Offprint requests to: M. Pichavant

Modelling the Recent Geochemical Evolution of the Piton de la Fournaise Volcano, Réunion Island, 1931–1986*

by FRANCIS ALBAREDE AND VIRGINIE TAMAGNAN

*Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques & Ecole Nationale Supérieure de
Géologie 54501 Vandoeuvre Cedex, France*

(Received 30 October 1987; revised typescript accepted 3 May 1988)

ABSTRACT

The Piton de la Fournaise is the only active volcano on the island of Réunion. Samples of the 1931–1986 eruptions have been analysed for their major and trace element contents with emphasis on high accuracy measurement of REE, Th, and Zr by isotope dilution.

The lavas include transitional basalts and picrites with 40–50% olivine. Examination of the dislocation structures in the picritic olivines indicates a xenocrystic origin which is confirmed by some mineral-melt Fe/Mg disequilibria and anomalous incompatible element ratios. The picrites are therefore interpreted as due to pulses of basalt magmas which disrupted preexisting, genetically unrelated, olivine-rich cumulates.

The combination of whole rock, mineral and groundmass analyses enabled precise calculation of the modal proportions. The phenocryst assemblages obtained thereby are consistent with the chemical evolution of the lava series suggested by the mass balance equations, which is interpreted as reflecting little mineral sorting during fractionation. The whole range of basaltic compositions can be generated by up to 15% fractional crystallization of clinopyroxene-rich (20 Ol–80 Cpx) to plagioclase-bearing (20 Ol–50 Cpx–30 Plag) cumulates. By comparison with experimental liquid lines of descent, the order of crystallization (olivine–clinopyroxene–plagioclase) suggests a pressure of crystallization in excess of 500 MPa, i.e. much deeper than the c. 2 km deep magma chamber inferred from magnetic measurements and seismic activity. The Ni–MgO system indicates that the Fe-rich primitive magma (9% MgO, 225 ppm Ni) crystallized 12 ± 5% cumulate to yield the least differentiated basalt of the series. The historic basalts erupted prior to 1931 and analyzed in this work were extracted from a more Mg-rich source.

The inversion of batch melting equations for incompatible elements is improved relative to previous attempts and a complete error handling is incorporated. It is suggested that the Fournaise lavas were derived by melting of a source enriched in compatible elements leaving a harzburgitic residue without significant fractionation of the incompatible elements.

Coupled variations of Ce/Yb and major element ratios over c. 17-y cycles suggest that lower degrees of melting produce smaller batches of magma which, upon ascent and cooling, undergo more severe fractionation.

Petrogenesis of a two-mica ignimbrite suite: the Macusani Volcanics, SE Peru

Michel Pichavant and Jean-Marc Montel

ABSTRACT: The Miocene-Pliocene Macusani ash-flow tuffs and glasses from SE Peru are a rare example of two-mica felsic peraluminous volcanic rocks. They outcrop in three separate tectonic basins of the *Cordillera Oriental* in the Central Andes. In the Macusani field, the rocks are characterised by andalusite and muscovite phenocrysts. Compositions are both very felsic and peraluminous, similar to two-mica granites. Field relations, age differences and isotopic heterogeneities suggest that several distinct magma batches were involved. Two separate magmatic stages are recognised: (1) partial melting and evolution at or near the source region, and (2) shallow-level crystallisation and eruption. Magma genesis involved partial melting of metapelitic materials, with $a_{\text{H}_2\text{O}}$ internally controlled. High heat flux, rapid heating, elevated temperatures and F-rich compositions were essential for the production of these mobile, H_2O -undersaturated magmas. Chemical variations between the erupted products can be attributed to different degrees either of partial melting in somewhat variable source materials and (or) of fractional crystallisation at shallow levels. We discuss some important differences between the magmatic evolution of the Macusani Volcanics and of Hercynian and Himalayan two-mica granites.

KEY WORDS: ash-flow tuffs, fractionation, glasses, partial melting, plutonism, two-mica, volcanism.

12ème Réunion des Sciences de la Terre, Lille, 1988 - Soc. Géol. Fr. édit. Paris, 109

sur l'équivalence entre termes plutoniques et volcaniques dans les séries leucogranitiques

M. PICHAVANT

CRPG, BP 20, 54501, Vandoeuvre les Nancy

La découverte d'équivalents volcaniques des leucogranites (séries ignimbritiques Mio-Pliocène de Macusani, Pérou) démontre que les magmas leucogranitiques sont primaires, apporte des informations sur leur évolution magmatique et pose le problème des relations entre termes plutoniques et volcaniques dans ce type de série. À partir des données minéralogiques, expérimentales, des calculs thermodynamiques et de la signature chimique des ignimbrites et verres de Macusani, on distingue dans l'évolution des magmas leucogranitiques deux stades disjoints, respectivement (1) fusion partielle et évolution à proximité des zones source et (2) cristallisation des magmas formés. Les facteurs contrôlant la dynamique de chaque stade et les différences entre termes plutoniques et volcaniques sont discutés. $a_{\text{H}_2\text{O}}$ est le paramètre déterminant dans le mécanisme de fusion partielle. Pour les termes volcaniques (Macusani), le contrôle de $a_{\text{H}_2\text{O}}$ dans la zone source est local et notamment influence par (1) les gradients thermiques (forts à Macusani), (2) la cinétique des réactions de libération de H_2O et (3) les propriétés mécaniques (porosité, perméabilité) de la roche source. En revanche, pour les termes plutoniques (Himalayas), le contrôle de $a_{\text{H}_2\text{O}}$ semble être externe. Le mode et le niveau d'emplacement des magmas (volcanique, sub-volcanique, plutonique) est réglé par l'effet conjugué de la concentration initiale en H_2O au liquide et du rapport $(F+L+B) / \text{H}_2\text{O}$ pendant la cristallisation.

The Miocene-Pliocene Macusani Volcanics, SE Peru

II. Geochemistry and origin of a felsic peraluminous magma

Michel Pichavant¹, Daniel J. Kontak², Louis Briquet³, Jacinto Valencia Herrera⁴, and Alan H. Clark²

¹ Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques BP 20, F-54501 Vandœuvre les Nancy, France

² Department of Geological Sciences, Queen's University Kingston, Ontario K7L 3N6, Canada

³ Laboratoire de Géochimie Isotopique, Université des Sciences et Techniques du Languedoc, F-34060 Montpellier, France

⁴ Instituto Peruano de Energía Nuclear Av. Canada, 1470, Lima 13, Peru

Abstract. The Miocene-Pliocene Macusani ash-flow tuffs from SE Peru, containing magmatic andalusite and muscovite, have homogeneous major element compositions, with a narrow range of SiO₂ (71–74 wt%), high Al₂O₃ (normative corundum >2%; A/CNK >1.2) and alkalis, and low FeO_T, MgO, CaO, TiO₂, P₂O₅, F, Li₂O, and B₂O₃ are also high. The associated obsidian glasses are more felsic and peraluminous and extremely enriched in F, P, Li and B compared to the ash-flow tuffs. These are compositionally similar to Himalayan or Hercynian two-mica granites and the obsidian glasses to some rare fractionated members of the two-mica granite series. Both ash-flow tuffs and obsidian glasses show enrichments in lithophile trace elements (Be, Zn, As, Rb, Nb, Sn, Sb, Cs, Ta, W, U) and depletions in Cl, S, Sc, V, Cr, Co, Ni, Cu, Y, Mo, Hf. REE patterns for the ash-flow tuffs are fractionated (La/Lu_n = 13–26) with a moderate Eu anomaly and they contrast with patterns for the obsidian glasses characterized by lower total REE, lower La/Lu_n and Eu/Eu*. Sr (⁸⁷Sr/⁸⁶Sr initial ratio = 0.721–0.726), Pb (²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb = 18.74–19.45; ²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb = 15.66–15.72) and Nd isotopic compositions (*e*_{Nd} = –8.96 to –9.35) are typically crustal. Oxygen isotopic compositions are high in ¹⁸O (glasses: δ¹⁸O = +12‰; quartz: δ¹⁸O = +11.5 to +12.7‰). Batch melting of isotopically heterogeneous source rocks is suggested by the Sr and Pb data. In contrast to major elements, trace elements demonstrate compositional differences between erupted magmas. The last erupted magmas are less fractionated relative to the first erupted.

The Macusani magmas are direct products of crustal melting. There is no evidence for mixing or assimilation by a foreign, meta- to sub-aluminous magma, although mafic magmas are considered to be likely sources of heat for melting. Source rocks dominantly consisted of metapelites. Models of magma generation based on external control of *a*_{H₂O} (H₂O for melting being supplied by aqueous fluids percolating in the source region) fail to account for a number of features of the Macusani magmas. *a*_{H₂O} was internally controlled and magma generation resulted essentially from fluid-absent melting of F-muscovite combined with incipient biotite dehydration. Fluid-absent melting of F-rich muscovite occurs at higher temperatures than for pure OH-muscovite and generates a H₂O-undersaturated melt. Incipient melting of biotite resulted from high heat flux and elevated temperatures (up to 800° C) in the source region. The Macusani magmas are generated as low melt fraction batches (15 vol%).

* Present address: Nova Scotia Department of Mines and Energy PO Box 1087, Halifax, Nova Scotia A1B 2X1, Canada

CRPG Contribution n° 770

Offprint requests to: M. Pichavant

ross the syenodiorite-unlaminated syenite zones. Feldspars change rapidly across the syenodiorite zone from rocks dominated by plagioclase, in some cases together with two alkali feldspars, one a mesoperthite or cryptomesoperthite, the other a cryptoperthite, to rocks in which plagioclase is seen only rarely as cores to cryptomesoperthitic alkali feldspar crystals. Plagioclase is absent from the layered series.

Alkali feldspars occurring in pairs have bulk compositions on solvus isotherms in the Or–Ab–An ternary system, estimated at 950° C in a syenogabbro and 910° C in a syenodiorite, at ~1 kbar. The more calcic liquids from which they crystallized fractionated on paths that intersected the two-feldspar surface, whereas the more syenitic members crystallized from liquids which terminated crystallization in the one-feldspar field at $\lesssim 900^\circ$ C. Plagioclases evolve from calcic andesine in syenodiorites, to very rare sodic oligoclase in the most evolved unlaminated syenites. The boundaries between plagioclase cores and alkali feldspar rims, which are usually optically abrupt, involve complex mixed zones on the μm -scale, consistent with arrested reaction between plagioclase primocrysts and crystallizing syenitic liquid. Ternary liquidus-solidus relationships are in qualitative agreement with this interpretation. The syenodiorites are cumulates produced during sidewall crystallization of a trachytic magma against a gabbroic chamberlining. This magma changed little in bulk composition as it evolved, giving rise to the unlaminated syenites by further sidewall crystallization. Water build-up in this liquid probably caused a change in style of chamber filling, giving rise to the layered series by bottom accumulation. Microtextures in the zoned feldspars are described in an accompanying paper.

Zoned ternary feldspars in the Klokken intrusion: exsolution microtextures and mechanisms*

William L. Brown¹ and Ian Parsons²

¹ Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques, BP 20, F-54501 Vandoeuvre-lès-Nancy Cedex, France

² Department of Geology and Mineralogy, Marischal College, University of Aberdeen, Aberdeen AB9 1AS, Scotland

Abstract. The microtextures developed during relatively slow cooling as a function of bulk composition in zoned ternary feldspars from syenodiorites and syenites in the Klokken intrusion, described in the preceding paper, were determined by TEM and their origin and evolution deduced. The feldspars normally have a plagioclase core and an alkali feldspar rim; cores become smaller and rims larger and the An content of both decrease with distance from the contact of the intrusion. The following microtextural sequence was observed. The inner plagioclase cores are homogeneous oligoclase-andesine with Albite growth twins only, but are *crypto-antiperthitic* towards the outer core. At first small platelets of low sanidine a few nanometres thick and up to ~10 nm long occur sporadically only on Albite-twin composition planes. With further increase in bulk Or they are homogeneously distributed in the plagioclase. Thicker, through-going plates in platelet-free areas are found, which induce Albite twins in the surrounding plagioclase. The microtextures in the rims are regular cryptomesoperthitic, with (801) lenses or lamellae, depending on the bulk Or-content, of low sanidine in Albite-twinned low oligoclase-andesine. Albite and Pericline twins in plagioclase in an M-twin relationship, together with lenticular low sanidine, were found in only one small area. The overall diffraction symmetry of the mesoperthites is monoclinic, showing that exsolution started in a monoclinic feldspar, whereas that of the antiperthites is triclinic. The intermediate zone between the core and rim is more complex and microtextures vary over distances of a few micrometres.

The cryptomesoperthites are very regular where Or-rich and probably arose by spinodal decomposition. The plate-

Crustal melting and granite genesis during the Himalayan collision orogenesis

Christian France-Lanord and Patrick Le Fort

ABSTRACT: This paper reviews the petrogenesis of Himalayan leucogranites (HH γ) on the basis of field, petrological and geochemical data collected over the last fifteen years. HH γ are intruded at the top of the 2 to 8 km-thick High Himalayan Crystallines (HHC). These are metamorphosed (Ky to Sill) and present much evidence of partial melting. During the MCT thrusting, the already metamorphosed HHC were thrust on top of the weakly metamorphosed Midland Formations, inducing the main phase of Himalayan metamorphism. The genesis of HH γ and North Himalaya leucogranites (NH γ) associates thrusting along the MCT, propagation of inverted metamorphism, liberation of large quantities of fluid in the Midlands, and partial melting of the HHC.

The restricted compositions of the granites are close to minimum melt compositions; variations in the alkali ratio probably relate to the variable amount of B, F and H₂O. The HH γ were issued from the migmatitic zone around 700°C and 800 MPa., and still emplaced some 10 to 15 km below the surface. This syn- to late-tectonic emplacement of the leucogranites lasted for more than 10 Ma according to isotopic ages (25 to 14 Ma).

O, Rb–Sr, Nd–Sm and Pb isotope studies corroborate the unambiguous filiation between the HHC and the leucogranites in central Nepal. They also imply that the plutons are generated as numerous poorly mixed batches of magma produced preferentially in specific zones of the source rock. δD values may be explained by infiltration of water from the Midlands in the melting zone, and/or by water degassing during crystallisation. The positive covariations between Sr-, Nd- and O-isotope ratios relate to the variations in the original sediment composition of the source gneisses. Whereas trace element characteristics often date back to the anatexis process, limited magmatic differentiation is recorded by the biotite. These granites are typical crustal products, keeping track of some of the pre-Himalayan evolution together with that of their own origin.

KEY WORDS: leucogranite, magma batches, migmatites, O, Sr, Nd isotope heterogeneity, partial melting, thrusting, water infiltration.

Sidewall crystallization in the Klokken intrusion: zoned ternary feldspars and coexisting minerals*

Ian Parsons¹ and William L. Brown²

¹ Department of Geology and Mineralogy, Marischal College, University of Aberdeen, Aberdeen, AB9 1AS, Scotland

² Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques, B.P. 20, F-54501 Vandœuvre-lès-Nancy Cedex, France

Abstract. The syenitic layered series in the Klokken intrusion is surrounded by a zone (~500 m thick) of nearly structureless unlaminated syenite followed outwards by a zone of vertically banded gabbro (≤ 200 m thick) at the outer rim. The unlaminated syenite is intrusive into the gabbro and develops a thin (~2 m) transition zone of syenodiorite at the contact. A traverse across the vertical transition zone and inwards towards the layered series was sampled with a portable drill. Mafic silicates (olivine, clinopyroxene, biotite) show inward evolution in Fe/(Fe + Mg) ac-

UMA CLASSIFICAÇÃO QUÍMICO-MINERALÓGICA DAS ROCHAS PLUTÔNICAS COMUNS E SUAS ASSOCIAÇÕES, MÉTODO E APLICAÇÕES

FRANÇOIS DEBON*, PATRICK LE FORT* e PIERRE SABATÉ**

ABSTRACT A CHEMICAL-MINERALOGICAL CLASSIFICATION OF COMMON PLUTONIC ROCKS AND THEIR MAGMATIC ASSOCIATIONS: METHODS AND APPLICATIONS. A classification has been proposed (Debon & Le Fort 1983), based mainly on major element analytical data plotted in a coherent set of three simple chemical-mineralogical diagrams: $Q = Si/3 - (K + Na + 2Ca/3)$ vs. $P = K - (Na + Ca)$ ("nomenclature" diagram, adapted from La Roche 1964, 1966; parameters as gram-atoms $\times 10^3$ or millications in 100 g of rock); $A = Al - (K + Na + 2Ca)$ vs. $B = Fe + Mg + Ti$ ("characteristic minerals" diagram; parameters of Shand 1927, and La Roche 1964, again expressed as gram-atoms $\times 10^3$ in 100 g of rock); quartz-dark minerals-feldspars+muscovite ("Q-B-F" triangular diagram; parameters in weight percent, directly calculated from chemical analyses; La Roche 1964, Moine 1974). The procedure follows two complementary steps at two different levels, each using the three diagrams. The first is concerned with the individual sample; the sample is given a name (e.g. granite, granodiorite, gabbro,...) and its chemical and mineralogical characteristics are determined (e.g. its more or less aluminous character). The second one, more important, aims at defining the type of magmatic association to which the studied sample or group of sample belongs. Three main types of associations are distinguished: cafemic (approximately equivalent to the I-type of Chappell & White 1974), aluminous (similar to the S-type), and alumino-cafemic (intermediate between the other two types). Subtypes are then distinguished among the cafemic and alumino-cafemic associations: tholeiitic (or gabbroic-trondhjemitic), calc-alkaline (or granodioritic), subalkaline (or monzonitic), alkaline (and peralkaline), etc. In the same way, numerous subtypes and variants are also distinguished among the aluminous associations using a set of complementary criteria such as quartz content, colour index, alkali ratio, quartz-dark minerals-alkalies relationships and alumina index. Although involving a new approach using partly new criteria, this classification is consistent with most of the divisions used in previous typologies. It has been put to use and tested on numerous examples and has shown to be easy to implement, coherent, comprehensive, and very discriminant. Based on chemical data, it may also be used in the typology of the volcanic rocks. As an example, the typology is applied to three plutonic belts of the Himalaya, South Tibet.

Anais do XXXV Congresso Brasileiro de Geologia, Belém, Pará, 1988, V.3

GEOQUÍMICA DE ALGUNS GRANITÓIDES DA FAIXA DE DOBRAMENTOS SERGIPANA

Gaston Giuliani ORSTOM/UnB, Reginaldo Alves dos Santos CPRM/SUREG-SA.

ABSTRACT This study presents and discusses geochemical data of some granitoids of the Sergipana Folded Belt, from northeast Bahia and northwest Sergipe. These granitoids comprise several intrusive bodies variously shaped and sized, with late to post-tectonic character in relation to the main regional deformation, whose more representative facies were analysed for major and minor elements with special emphasis to REE. The interpretation of the major elements allows the conclusion that the granitoids compose continuous series from diorite to monzonite to granodiorite (Coronel João Sá granitoids) and from granodiorite to granite (Poço Redondo granitoids) with typical characteristics of the calc-alkali series. The setting depth of the bodies was estimated in nine kilometers. The analysis of the REE elements shows that all the facies studied are cogenetic as evidenced by the remarkably parallel shapes of the spectra, with Eu anomalies absent or negligible, but always indicating an important fractionation from La to Lu. These spectra were compared with the Djebel-Aouam granite spectra (Central Morocco) typically calc-alkaline. The original material of the granitoids was interpreted as of mantle origin with strong contribution from the upper crust rich in garnet, pyroxene and/or amphibole. The effect of sphene and of other accessory minerals on the fractionation of the REE during the last processes of magmatic differentiation is also discussed.

Critères de distinction des magmas tholéiitiques et calco-alcalins d'arc insulaire : exemple de l'arc de Luzon, Philippines

René C. MAURY, Jacques LETERRIER et Dario JACQUES

Résumé — Les volcans récents du Nord de l'arc de Luzon présentent une gamme de variations pétrologiques allant de séries faiblement potassiques à spectres de terres rares plats (île de Calayan) jusqu'à des séries fortement potassiques très enrichies en terres rares légères (Mont Iraya, île de Batan). La série de Calayan présente, en outre, des particularités minéralogiques (présence de pigeonite, absence de phénocristaux de minéraux hydroxylés et de titanomagnétite) et géologiques (position avant-arc, âge relativement ancien) souvent considérées comme caractéristiques de séries « tholéiitiques d'arc », alors que les autres volcans sont typiquement calco-alcalins. On montre que l'utilisation de critères géochimiques basés sur le comportement du fer total pour la distinction des séries « tholéiitiques d'arc » et calco-alcalines conduit à des résultats aberrants. Il est suggéré de ne plus les utiliser pour la caractérisation des séries volcaniques d'arc insulaire.

Distinction between island arc tholeiitic and calc-alkaline series: an example from the Luzon arc, the Philippines

Abstract — The young volcanoes in the northern part of the Luzon arc range in composition from low-K series with flat REE spectra (Calayan Island) to strongly LREE-enriched high-K calc-alkaline series (Mount Iraya, Batan Island). Most of the volcanoes are typically calc-alkaline, but the Calayan series shows characteristics usually considered as typical of island-arc tholeiites, i. e. the occurrence of pigeonite, lack of amphibole, mica or titanomagnetite phenocrysts, front arc position, older age. It is demonstrated that the use of chemical parameters based on total iron behaviour to distinguish between "island-arc tholeiitic" and calc-alkaline series leads to aberrant results. It is thus suggested that we discontinue the use of total iron contents for the classification of island arc volcanic series.

Bull. Minéral.
(1988), 111, 493-510

A cationic classification of common plutonic rocks and their magmatic associations : principles, method, applications

by FRANÇOIS DEBON* and PATRICK LE FORT**

* Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques (C.R.P.G., C.N.R.S.),
B.P. 20, 54501 Vandœuvre-lès-Nancy, France

** Géologie alpine (U.A. 69, C.N.R.S.), Institut Dolomieu, 15 rue Maurice Gignoux, 38031 Grenoble, France

Abstract. — This classification is based on cationic calculations from major element data and then applied to simple chemical-mineralogical diagrams. The method follows two sequential steps. The first step is concerned with characterising the individual sample. From the cationic values, the sample is identified by name and its chemical and mineralogical characteristics are determined. The second and most important aim of the chemical-mineralogical diagrams is to define the magmatic association to which the sample or group of samples belong. Based on chemical data, this method can also be used to classify common volcanic rocks. Several applications are presented.

Key-words : chemical-mineralogical diagrams, nomenclature, classification, igneous rocks, magmatic associations.

Une classification cationique des roches plutoniques communes et de leurs associations magmatiques : principes, méthode, applications.

Résumé. — Cette classification repose sur le traitement cationique des éléments majeurs dans un ensemble de diagrammes chimico-minéralogiques faciles à mettre en œuvre. La démarche suivie comporte deux étapes complémentaires situées à deux niveaux différents. La première traite de l'échantillon : sa nomenclature et ses particularités chimico-minéralogiques sont définies. La seconde, la plus importante, consiste à déterminer le type d'association magmatique dont relève l'échantillon ou le groupe d'échantillons étudié. Basée sur des données chimiques, cette méthode est également utilisable pour classer les roches volcaniques communes. Plusieurs applications sont présentées.

Mots-clés : diagrammes chimico-minéralogiques, nomenclature, classification, roches ignées, associations magmatiques.

nombreux auteurs relève d'un contexte de type himalayen, suivant deux phases de structuration tangentielle relayées dans l'espace et le temps.

La pétrogénèse du groupe "Guéret" a été étudiée sur l'exemple du granite porphyrique à biotite du Nord Millevaches. Les compositions normatives et les fractionnements géochimiques s'accordent sur un processus de fusion partielle, proche des conditions du système granitique simplifié saturé à 5 KB. La nature et les modes de fractionnement des phases résiduelles en trois lignées parallèles suggèrent la conservation au niveau de mise en place des hétérogénéités d'une source acide à intermédiaire et à dominante plagio-biotitique. Celle-ci s'apparenterait aux termes les plus quartzo-feldspathiques des gneiss grauwackeux au sommet de l'"unité inférieure des gneiss".

Sur l'exemple des facies grossiers porphyroïde de St Sylvestre, les fractionnements élémentaires (méthode inverse) et les compositions normatives démontrent un processus de fusion partielle de type incrémenté, dans des conditions proches du système granitique simplifié à 1 KB H₂O. Les caractéristiques des phases résiduelles démontrent le caractère leucocrate et potassique de la source. Les facies infrastructuraux les moins évolués présentent des litages continus de compositions contrastées, interprétés comme la conservation de rubanements métamorphiques. L'arc leptynique de la Dronne, à la base de l'"unité inférieure des gneiss" est un bon analogue de la source.

Ces deux massifs ont en commun l'absence de différenciation, "in situ", ils ne seraient pas ainsi de véritables chambres magmatiques mais des lieux structuraux de collectage, faiblement déracinés de leurs migmatites sources. Les zonations chimiques sont pour l'essentiel liées à la conservation des hétérogénéités de la source et/ou à des fractionnements anatectiques.

F. Holtz et J. Leterrier (1987)

in Geologia de los Granitoides y rocas asociadas del Macizo Hesperico.

F. Bea et al. Eds. - Editorial Rueda - Madrid - pp. 271-280.

TYPOLOGIE DES GRANITOIDES HERCINIENS DU NORD-PORTUGAL. EXEMPLE DES COMPLEXES DE GRANITE A 2 MICAS DU DOMAINE DE MONTALEGRE.

F. Holtz & J. Leterrier

B.P. 20; 54501 Vandoeuvre les Nancy; France.

RESUMEN

El estudio de algunos plutones graníticos del Norte de Portugal, en la zona Centro-Ibérica, evidencia la siguiente evolución temporal del magmatismo:

- 1) aluminico-potásica para las facies sin a tarditectónicas.
- 2) granodiorítica a monzonítica para las facies posttectónicas.

Proponemos que tal evolución resulta de una descompresión acompañada de una subida del zócalo al fin de la orogenia hercínica. Estos dos fenómenos provocaron una migración de las zonas de fusión hacia niveles de la corteza cada vez más próximos del manto superior, así como una aceleración de los procesos erosivos globales. La erosión rápida del zócalo justifica la existencia, a un mismo nivel de afloramiento, de unidades graníticas susceptibles de cristalizar, cada una, a profundidades diferentes.

La migración de los niveles de producción de los granitoides aparece en algunos de los macizos compuestos estudiados.

ABSTRACT

Chemical studies of some granitic plutons in Northern Portugal, in the Central Iberian Zone, evidence a time-course of the magmatism as follows:

- 1) syn or latekinematic aluminous-potassic rich granites,
- 2) postkinematic granodioritic to monzonitic plutons.

Such an evolution could be due to a pressure release with basement uplift during late hercynian deformations. These two phenomena promoted a progressive downwards migration of melting zones towards the upper mantle regions, combined with a progressive overall erosion at the surface. This explains why several granitic units, which normally crystallize at different crustal levels, occur side by side at the same level of erosion.

Evidence for the migration of the granitoid production levels is reflected in some composed massifs studied.

FRENCH PALAEOZOIC GRANITOID MAPPING:

CHRONOLOGICAL, TYPOLOGICAL AND METALLOGENETICAL PATTERN

J.M. STUSSI° and A. PLOQUIN°

Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques
B.P. 20, F-54501 Vandœuvre Cedex

According to a granite chemical typology and using more than 8000 computerized analyses, the granitoids emplaced during the geodynamical evolution of the French Variscan are referred to five magmatic associations.

Siluro - ordovician to Devonian tholeiitic - trondjemitic granites and permian alkaline - peralkaline granites respectively predate and postdate aluminopotassic, calc-alkaline and subalkaline granitoids emplaced from the Lower - middle Devonian collisional stage up to the Stephanian.

The pattern presented by the aluminopotassic, subalkaline and calc-alkaline granitoids leads to the individualization of three principle domains among which the geodynamical relationships are not yet ascertained with certainty. Presenting a conspicuous lineamentary organization, aluminopotassic granites and leucogranites and some rare calc-alkaline granites characterize the Central Domain (South Massif Armoricaïn, Southwest towards Southeast Massif Central) which corresponds to the highly mobile tectono - metamorphic zone of the French Variscan. The Northern Domain (Northwest Massif Armoricaïn, Northeast Massif Central, Vosges, Alps external Massifs cristallins) is marked by the superimposed occurrence of aluminopotassic and subalkaline granites and leucogranites indebted to their alternating emplacement between 345 Ma. (Bretonian events) and 290 Ma. The Southern Domain (Pyrénées, Montagne Noire, Maures, Corsica) is characterized by a mainly calc-alkaline magmatism, subsidiarily by coeval or heterochronous aluminopotassic and subalkaline granites and leucogranites.

The granite pattern observed in the Central and Northern Domains which extend Northeasterly the Siluro - Ordovician subduction zone, does not show a clear magmatic nor chronological and isotope polarity.

The specific metalliferous potentialities linked to the three principle granite associations control the Sn, W, Li, Be, Nb-Ta, U, Cu and Mo mineralization pattern. Magmatic and metalliferous provinces and districts can be inferred from it.

12ème Réunion des Sciences de la Terre, Lille, 1988 - Soc. Géol. Fr. édit. Paris , p.57.

**LES GRANITES PERALUMINEUX DU NW MASSIF CENTRAL
SIGNATURES ET HETEROGENEITES DES SOURCES**

M.FRIEDRICH(1), N.RAZAFIMAFA(2), M.CUNEY(1) ,JM. STUSSI(2)

(1) CREGU et G.S. CNRS-CREGU, BP 23, 54501 Vandœuvre-lès-Nancy

(2) CRPG (CNRS), 15 rue Notre-Dame-des-Pauvres, 54500 Vandœuvre

Les principaux massifs granitiques peralumineux appartenant à l'orogène hercynien du NW Massif central se classent par leurs caractéristiques pétrogéochimiques et chronologiques en deux groupes bien distincts. L'un, d'affinité alumino-cafémique et d'âge Viséen inférieur se réfère à l'exemple du massif de Guéret, l'autre, d'affinité alumineuse admettrait comme exemple type le massif de St Sylvestre, d'âge fini-viséen. La genèse de ces granites, comme suggéré par de

inclus dans la biotite, clivage franc, faible pléochroïsme jaune pâle à incolore, angle d'extinction 8-30°, Ps=27-30). Une paragenèse hydrothermale se forme au détriment de la biotite (muscovite, séricite, chlorite, magnétite, leucoxène) et du plagioclase (séricite, chlorite, épidote II). La cristallisation magmatique d'épidote implique des pressions élevées (8kb) (Naney, 1983) très supérieures à celles déduites (3-4Kb; 500°) des conditions de mise en place, avec métamorphisme de contact à andalousite, des leucogranites à deux micas dans les séries schisto-grauwackeuses épimétamorphiques (Précambrien I?). On considère une cristallisation précoce et profonde de l'épidote, anté à synchrone de celle de la biotite et sous fO₂ élevée, suivie de l'ascension du magma (L+cristaux), celui-ci cristallisant dans les conditions d'affleurements observées.

De nature calco-alkaline peu modifiée par les processus métamorphiques et hydrothermaux ultérieurs, ces granites à épidote ne sont pas comagmatiques des leucogranites à deux micas aluminopotassiques auxquels ils sont spatialement associés. Leur appartenance probable au même cycle orogénique (Eburnéen ?) caractériserait un domaine d'arrière-arc magmatique.

12ème Réunion des Sciences de la Terre, Lille, 1988 - Soc. Géol. Fr. édit. Paris, 9

VAUGNERITES, DURBACHITES ET GRANITOÏDES
MAGNESIO-POTASSIQUES : INTERACTIONS CROUTE-
MANTEAU DANS LE HAUT-DAUPHINE OCCIDENTAL
(ALPES EXTERNES).

G. Banzet *, P. Le Fort **, F. Debon *, A. Pêcher **

* C.R.P.G.-C.N.R.S., BP20, 54501 Vandoeuvre

** Institut Dolomieu, 38031 Grenoble

Bien que des rééquilibrages avec la croûte continentale aient pu intervenir à divers stades de leur évolution, les vaugnérites et les durbachites de la ceinture plutonique hercynienne du Haut-Dauphiné occidental s'apparentent étroitement aux lamproïtes de type méditerranéen (e.g. Foley et al., 1987). Cette parenté, très marquée au niveau des profils de terres rares, rend compte de leurs affinités à la fois mantelliques (richesse en Mg, Cr, Ni) et crustales (richesse en K, Rb, Ba, P, U, Th, terres rares légères; rapports ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr initiaux généralement élevés et variables). De tels caractères traduiraient principalement une hétérogénéité originelle de leur source mantellique métagénétisée sous l'influence d'un composant crustal (1).

Ces plutonites sont systématiquement associées à des granitoïdes acides (adamellites et granites s.s.) présentant eux-mêmes des affinités vaugnéritiques (richesse en Mg, K, Ba, Sr, Th, U; relation MgO>CaO). Cette consanguinité, acquise secondairement, résulterait d'interactions prononcées à des niveaux profonds entre les magmas lamproïtiques et le magma originel, alumineux et crustal, des faciès acides. Les interactions en question seraient prépondérantes dans la genèse des termes de composition intermédiaire.

(1) Banzet G., Géologie Alpine, n°63, sous presse.

Pétrologie/Petrology

Le pluton hercynien de Bassiès (Pyrénées, Zone axiale) : typologie chimique, âge et remaniements isotopiques

François DEBON et Jean Louis ZIMMERMANN

Résumé — Le pluton de Bassiès (276 ± 16 M.a., $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_i = 0,7115 \pm 3$) est composé de granitoïdes clairs, à biotite. Il s'agit d'une intrusion calcoalcaline monophasée, à zonation progressive et centripète, affectée par un cryptométamorphisme liassique (ca. 190 M.a.), contemporain du magmatisme tholéïtique (ophitique) péri-Atlantique précoce.

The Hercynian Bassiès pluton (Pyrenees, Axial Zone): chemical typology, age and isotopic resettings

Abstract — The Bassiès pluton (276 ± 16 M.a., $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_i = 0.7115 \pm 3$) is composed of light-coloured biotite granitoids. It is a monostage and calc-alkaline intrusion, gradually differentiated from the margins inwards, affected by a cryptometamorphism, Liassic in age (approx. 190 M.a.) and coeval with the early tholeiitic (ophitic) peri-Atlantic magmatism.

Pétrologie/Petrology

Le pluton à structure concentrique du Néouvielle (Hautes-Pyrénées) : typologie chimique, âge et genèse

Chantal ALIBERT, François DEBON et Yves TERNET

Résumé — Le pluton calcoalcalin du Néouvielle, d'âge hercynien (300 ± 20 M.a.), comprend deux zones concentriques dérivant de la différenciation centripète d'une double intrusion.

The concentrically-zoned Néouvielle pluton (Western Pyrenees, France): chemical typology, age and genesis

Abstract — The calc-alkaline Néouvielle pluton, Hercynian in age (300 ± 20 M.a.), is composed of two concentric zones both of which differentiated from the margins inwards.

12ème Réunion des Sciences de la Terre, Lille, 1988 - Soc. Géol. Fr. édit. Paris, 122

GRANITES A EPIDOTE PRECAMBRIENS DE TAGRAGRA
D'AKKA, ANTI-ATLAS OCCIDENTAL, MAROC.
STUSSI JEAN-MARC ET MORTAJI ABDELAZIZ
CENTRE DE RECHERCHES PÉTROGRAPHIQUES ET GÉOCHIMIQUES
B.P. 20, 54501 VANDOEUVRE CEDEX, ET
FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ D'AGADIR (MAROC)

La paragenèse magmatique des granites à biotite intrusifs dans les granites et leucogranites à deux micas précambriens de Tagragra d'Akka est définie par: biotite ($\text{Al}_2\text{O}_3=17\%$; $\text{MgO}=8,5\%$), plagioclase An15 ou zoné An20-30, Fk, quartz, allanite, magnétite, zircon, apatite, épidote (grands cristaux subautomorphes au contact ou

GEOCHIMIE DES VAUGNERITES DES CEVENNES MEDIANES

J.M. MONTEL¹, C. MARIGNAC², A. WEISBROD³

(1) CRPG, Vandoeuvre lès Nancy ; (2) Ecole des Mines de Nancy ; (3) ENSG, Nancy

Dans les Cévennes médianes le stade ultime de l'orogène hercynien (300 M.A.) est marqué par un magmatisme basique, de nature vaugneritique. Un ensemble de faciès de vaugnerites (à plagioclase, amphibole calcique, diorite, quartz mineur + pyroxène) couvrant une large gamme de composition (48-61% SiO₂) à fait l'objet d'une étude géochimique. Tous ces faciès sont basiques ou intermédiaires, magnésiens et modérément potassiques. Les faciès les plus basiques (MgO 10-14%, CaO 4-11%, Fe₂O₃T : 8-10%, K₂O: 1.7-4.5% possèdent une composition en éléments en traces très particuliers. Les teneurs en Cr (450-1000 ppm), Ni (140-400 ppm) sont élevées mais les teneurs en Ba (1000-2000 ppm), Sr (200-600 ppm) et Rb (80-200 ppm) le sont également. L'un des faciès les plus basiques (a OPx) est également riche en U (5 ppm) et Th (22 ppm). Le spectre de terres rares est enrichi en terres rares légères (50-150 ppm Ce), fortement fractionné et comporte une anomalie négative en Eu. Au vu des teneurs en Mg, Ni, Cr, une origine mantellique du magma vaugneritique est probable. Le spectre d'éléments en trace est similaire à celui des minettes du Colorado. Nous suggérons un mécanisme de genèse similaires : les liquides vaugneritiques se forment par fusion partielle d'un manteau enrichi en élément incompatibles par "digestion" de matériel crustal lors d'un évènement géodynamique antérieur. Cette hypothèse permet d'expliquer : (1) leur composition chimique, en particulier l'enrichissement à la fois en éléments compatibles et incompatibles, (2) l'existence d'une anomalie en Eu, héritée de la composante crustale, (3) leur composition isotopique (Sr₁ = 0.710, Nd₁ = 0.51195, Albarède et Weisbrod, 1982).

Sommaire

BROWN W.L. and PARSONS I.....	97
Intra- and intercrystalline exchange and geothermometry in granulite-facies feldspars	
MACAUDIERE J. and BROWN W.L.	
Retromorphic coronas in a garnet meta-northosite: a chemical and tem study.....	98

MINERALOGIE

G5

RETROMORPHIC CORONAS IN A GARNET META-ANORTHOSITE: A CHEMICAL AND TEM STUDY

J. MACAUDIERE^{1,2} & W.L. BROWN²

¹ENSG, BP 452, Nancy, France

²CNRS-CRPG, BP 20, Vandoeuvre, France)

A study of the spatial and morphological relationships between the reactant and product minerals in simple coronas can give valuable information on reaction paths and mechanisms. The coronas studied come from a garnet meta-anorthosite s.l. and consist of a single often incomplete shell around garnet composed of a regular symplectic intergrowth of amphibole and basic plagioclase. The meta-anorthosite from Harris, Scotland forms part of a layered intrusion varying locally from melagabbro to anorthosite and metamorphosed in the high-pressure granulite facies during a Laxfordian event and subsequently partly retromorphosed. The granulite-facies mineralogy is very simple and consists mainly of plagioclase, which increases and clinopyroxene and garnet which decrease in amount from the metagabbros to the meta-anorthosites. The plagioclase is labradorite, the clinopyroxene is Al-rich and the garnet rich in pyrope. The distribution of the garnet and clinopyroxene varies with the relic layering.

The coronas occur only around garnet but their morphology depends directly on the localization of clinopyroxene. Where garnet and clinopyroxene were in contact, the coronas consist of a columnar symplectic intergrowth of amphibole (magnesiohornblende to tschermakitic hornblende) and basic plagioclase (bytownite-anorthite) in the ratio of about 4 to 6. The clinopyroxene persists only as a relic in the centre of amphibole (actinolitic hornblende to magnesiohornblende) in an epitaxial relationship. The columnar intergrowth is perpendicular to the outer limit of the corona and the crystallographic orientation of the amphibole, but not that of the column, is determined by the amphibole replacing clinopyroxene. The columns of amphibole thus grow from the outside inwards. The residual garnet always has a more almandine-rich rim about 50 μm wide. Where garnet and clinopyroxene are not in contact, either no reaction occurs or non-symplectic intergrowths of amphibole and plagioclase are found. Nevertheless, along plagioclase-plagioclase grain boundaries linking garnet to pyroxene, a thin irregular zone of anorthite occurs either alone or with small amphibole crystals in optical continuity with the neighbouring amphibole replacing clinopyroxene. Detailed microprobe and preliminary TEM data will be presented, which, together with the morphological data, allow the chemical reactions to be determined.

G1
INTRA- AND INTERCRYSTALLINE EXCHANGE
AND GEOTHERMOMETRY IN GRANULITE-FACIES
FELDSPARS

W.L. BROWN¹ & I. PARSONS²

¹CNRS-CRPG, BP20, Vandoeuvre, France

²Department of Geology, Marischal College, Aberdeen, UK)

Feldspars in granulite-facies rocks have only rarely been studied in detail, most observations being restricted at worst to listing their presence and at best to an optical and microprobe description. Morphologically, the feldspars are generally composed of two types of two-phase intergrowths on a microscopic scale.

The most well recorded type, *mesoperthite*, consists ideally of a regular lamellar intergrowth on the scale of 1-10 μm of two optically untwinned feldspars. The compositions of the individual phases can often be determined, as well as an integrated composition, generally considered to represent the bulk composition of a previous homogeneous phase, which on exsolution gave rise to the mesoperthite. Whereas this is reasonable for regular lamellar intergrowths, it is more questionable for coarse irregular intergrowths in many rocks.

The second type consists of coarsely twinned plagioclase with large often crystallographically regular inclusions of untwinned Or-rich feldspar, *antiperthite*. Antiperthites apparently occur only in granulite-facies rocks devoid of mesoperthite, which itself exists either alone or with non-antiperthitic plagioclase.

We present morphological (scanning-electron and transmission-electron microscopic) and compositional data on mesoperthites and irregular intergrowths from various granulite-facies terrains and discuss their possible origins. Compared with very fine-scale cryptoperthites (in which the coherent elastic energy makes such an important contribution to the total Gibbs free energy that behaviour rather than phase diagrams must be used), coarser mesoperthites have very small to negligible elastic energy and equilibrium between *phases* is approached or reached. We also discuss the use of the integrated compositions of mesoperthite coexisting with plagioclase in two-feldspar geothermometry. There are considerable discrepancies which arise when applied to some granulite-facies rocks, as either unreasonable compositions or temperatures or both are obtained. We present a mechanism involving both intragranular (exsolution) and intergranular diffusion (exchange), based on the relative ease of diffusion of Na and K compared with that of Al and Si, which may account for such discrepancies

Sommaire

HOLTZ F., EBADI A., BARBEY P., JOHANNES W. and PICHAVANT M. Phase relations in the Qz-Ab-Or system at 2 and 5 kbar: the effect of AH_2O	101
HOLTZ F., JOHANNES W., BARBEY P. and PICHAVANT M. Liquidus phase relations in the system Qz-Ab-Or at 2 kbar: the effect of AH_2O	101
PICHAVANT M., HOLTZ F., BARBEY P. and JOHANNES W. H_2O solubility mechanisms in aluminosilicate melts: inferences from phase relations in the Qz-Ab-Or system	102
HOLTZ F., BARBEY P., JOHANNES W. et PICHAVANT M. Diagramme de phase du système Qz-Ab-Or à 2 kbar. Détermination de l'effet de H_2O	102
MONTEL J.M., MOUCHEL R. and PICHAVANT M. High apatite solubilities in peraluminous melts.....	103
MOUCHEL R., MONTEL J.M. and PICHAVANT M. Solubilité élevée de l'apatite dans les liquides péralumineux	103

PETROLOGIE EXPERIMENTALE

pronounced for the Qz-Ab than for the Qz-Or binary. Minimum liquidus temperatures increase regularly with decreasing a_{H_2O} (775°C, $a_{H_2O}=0.5$; 835°C, $a_{H_2O}=0.35$). Whereas the position of the quartz-feldspar field boundary does not change significantly, the minimum liquidus composition shifts progressively towards the Qz-Or sideline, with decreasing a_{H_2O} . These results demonstrate significant differences in the mechanism of interaction of H_2O with the melt components Ab and Or.

Chemical Geology, 70, 88, 1988

H_2O SOLUBILITY MECHANISMS IN ALUMINOSILICATE MELTS: INFERENCES FROM PHASE RELATIONS IN THE QZ-AB-OR SYSTEM

M. Pichavant, F. Holtz, P. Barbey and W. Johannes
(CRPG, BP 20, 54501 Vandoeuvre les Nancy, France)

Informations concerning the mechanisms of H_2O solubility in simple aluminosilicate melts may be obtained from the study of their phase relationships as a function of the H_2O content of the melt. In spite of the large amount of experimental data for the ternary Qz-Ab-Or and for the bounding binaries, very little information can be extracted concerning the effect of H_2O on phase relations because most experiments were conducted with simultaneously varying P and melt H_2O content. We are systematically determining liquidus phase relations in these systems at 2 and 5 kbar and for various melt H_2O contents. Starting materials are dry glasses (90 wt%) and (10 wt%) H_2O or H_2O+CO_2 . The experiments include forward and reversals (two-stage) runs. The results for 2 kbar demonstrate a shift of the minimum composition towards the Qz-Or sideline with progressively reducing the melt H_2O content. There is no significant change in the position of the quartz-feldspar field boundary. Liquidus temperatures also progressively increase for all compositions, implying that reduction in melt H_2O content affects feldspar-forming components as well as quartz-forming components. This increase of liquidus temperatures is more marked in the Qz-Ab than in the Qz-Or binary. These results suggest important differences in the mechanism of interaction of H_2O with the melt components Ab and Or. Feldspar components can no longer be considered to behave the same with respect to H_2O .

12ème Réunion des Sciences de la Terre, Lille, 1988 - Soc. Géol. Fr. édit. Paris, 75

DIAGRAMME DE PHASES DU SYSTEME QZ-AB-OR A 2 KBAR. DETERMINATION DE L'EFFET DE H_2O

F. HOLTZ^{1,2}, P. BARBEY^{2,3}, W. JOHANNES¹
& M. PICHAVANT²

1) Institut für Kristallographie und Petrographie, Universität Hannover, D-3000 Hannover-1, FRG; 2) CRPG, BP 20, 54501 Vandoeuvre les Nancy, France; 3) Université de Nancy I, BP 239, 54506 Vandoeuvre les Nancy, France.

On a étudié les relations de phases au liquidus dans le système Qz-Ab-Or à 2 kbar pour plusieurs valeurs de a_{H_2O} . Ceci permet de déterminer l'effet isobare de la teneur en H_2O du liquide et d'apporter des contraintes sur les mécanismes d'incorporation de H_2O dans les magmas riches en silice. Les produits silicatés de départ sont des verres synthétiques préparés par fusion, à 1 atm, de gels. Les expériences saturées en H_2O ($a_{H_2O}=1$) sont effectuées en présence de 10 % poids d' H_2O et celles sous-saturées en H_2O en présence de 10 % poids d'un mélange H_2O-CO_2 (Ag_2CO_3 source de CO_2). Ce mélange a une composition initiale $H_2O/H_2O+CO_2=0.7$ ce qui correspond, pour la proportion fluide/silicate ci-dessus, à $a_{H_2O}=0.5$. L'analyse microthermométrique des

39

**PHASE RELATIONS IN THE QZ-AB-OR SYSTEM
AT 2 AND 5 KBAR: THE EFFECT OF a_{H_2O}**

F. HOLTZ^{1,2}, A. EBADI¹, P. BARBEY², W. JOHANNES¹ & M. PICHAVANT²

¹ Institut für Kristallographie und Petrographie, Universität Hannover, D-3000 Hannover-1, FRG

² CRPG, BP 20, 54501, Vandoeuvre lès Nancy, France

Solidus and liquidus phase relations have been determined in the Qz-Ab-Or at 2 and 5 kbar under various a_{H_2O} . The results allow the isobaric effect of a_{H_2O} on phase relations to be specified. For the solidus experiments, mixtures of natural quartz and synthetic alkali feldspars with various Ab-Or ratios were used. For the liquidus experiments, 11 synthetic dry Qz-Ab-Or glasses were prepared by 1 atm melting of the corresponding geis. H_2O-CO_2 fluid mixtures were generated from H_2O and $Ag_2C_2O_4$. a_{H_2O} was computed from mole fractions by using existing equations of state for the mixtures.

The solidus experiments were carried out mostly with $H_2O/(H_2O+CO_2)$ ratios, corresponding to $a_{H_2O}=0.5$. The solidus temperatures, determined for 2 ($775 \pm 7^\circ C$) and 5 kbar ($757 \pm 7^\circ C$) strongly, increase compared to H_2O -saturated conditions (respectively $685^\circ C$ and $645^\circ C$ for $a_{H_2O}=1$). Liquidus data are available for both H_2O -saturated and undersaturated conditions. For $a_{H_2O}=1$, the liquidus temperatures are in good agreement with Tuttle and Bowen (1958). Under reduced a_{H_2O} (initial $H_2O/(H_2O+CO_2)=0.7$, mass fraction of silicate in the charge=0.9, a_{H_2O} close to 0.5), the liquidus temperatures increase for all the compositions studied. Microthermometric studies of the fluid inclusions trapped in glass reveal that the fluid phase composition do not depart significantly from the H_2O-CO_2 binary. Compared to H_2O -saturated conditions, the minimum liquidus composition shifts towards the Qz-Or binary at approximatively constant normative Qz contents. This last result implies a preferential association of H_2O with the albite-forming components in the melt, in contrast with existing calculations (Nekvasil and Burnham 1987).

EOS, 69, 513, 1988

V22B-16 TITLE

Liquidus Phase Relations in the System Qz-Ab-Or at 2 kbar: the Effect of a_{H_2O}

F. Holtz, W. Johannes (Institut für Kristallographie und Petrographie, Universität Hannover, D-3000 Hannover, FRG)
P. Barbey and M. Pichavant (CRPG, BP 20, 54501 Vandoeuvre les Nancy, F)

Liquidus phase relations were determined in the Qz-Ab-Or system at 2 kbar with various a_{H_2O} to specify the isobaric effect of H_2O . Synthetic dry glasses were prepared by 1 atm melting of geis and used for the forward experiments. Reversals consisted in two-stage crystallization-melting runs. 11 ternary and 6 binary compositions (3 Qz-Ab and 3 Qz-Or) were studied. In all cases, the charge is made up of 90 wt% glass and of 10 wt% H_2O or (H_2O+CO_2) . H_2O-CO_2 fluid mixtures were generated from H_2O and $Ag_2C_2O_4$. Liquidus surfaces were determined for $a_{H_2O}=1, 0.5$ and 0.35 , corresponding to starting $H_2O/(H_2O+CO_2)=1, 0.7$ and 0.5 respectively. From the composition of the inclusions trapped in glass, it appears that the fluid phase does not depart significantly from the H_2O-CO_2 binary.

Results for $a_{H_2O}=1$ show no appreciable difference with Tuttle and Bowen (1958). Reducing a_{H_2O} progressively raises liquidus temperatures for all compositions, but the increase in liquidus temperatures is more

saturation calculé de l'apatite (50-200 ppm). Dans les termes plutoniques très différenciés, ces teneurs en phosphore élevées ne peuvent être attribuées à des cristaux d'apatite hérités. De plus, les roches volcaniques (5300 ppm P_2O_5 dans les verres de Macusani) montrent clairement que le modèle actuel ne peut être appliqué aux compositions peralumineuses. Des expériences de solubilité de l'apatite sont en cours, dans le but de tester l'effet d'un excès d' Al_2O_3 . Les conditions expérimentales sont identiques à celles des données publiées (800-900°C, 2-5 kbar, 10 % poids H_2O). Le liquide (minimum Q-Ab-Or synthétique ou verre de Macusani) est saturé à la fois par de l'apatite et de l'andalousite. Le phosphore est analysé à la microsonde électronique (limite de détection: 230 ppm P_2O_5). A 800°C, 5 kbar, et en 7 jours, le verre est homogène, et aucun gradient de concentration autour de l'apatite n'est détectable. Les teneurs en P_2O_5 sont de 7960 ± 800 ppm pour le minimum Q-Ab-Or, et de 10840 ± 1100 ppm pour le verre de Macusani. Par rapport aux compositions non peralumineuses, ces valeurs sont plus élevées d'environ deux ordres de grandeur. L'augmentation de la solubilité de l'apatite (et peut-être de Al_2SiO_5) suggère qu'il existe une forme d'association des atomes de P et Al dans le liquide. Les données spectroscopiques, cristallographiques (cristallisation d'amblygonite à la place de l'apatite dans les magmas riches en Al et P) conduisent à proposer l'existence de complexes $AlPO_4$, de type berlinite, dans ces magmas.

inclusions piégées dans le verre montre que la phase fluide reste essentiellement un mélange binaire H_2O-CO_2 . En conditions saturées en H_2O , les résultats sont en accord avec Tuttle et Bowen (1958). En comparaison, pour $a_{H_2O}=0.5$, il y a accroissement systématique des températures liquides pour toutes les compositions étudiées. La courbe cotectique n'est pas fortement déplacée mais la composition du minimum est décalée vers le côté Oz-Or à Oz constant. Ce déplacement de la composition minimum, similaire à celui obtenu dans ce même système en présence de B_2O_3 et à 1 kbar, implique une diminution de a_{Ab} à a_{H_2O} croissants. Ceci suggère une association préférentielle de l'eau avec les constituants albite dans le liquide, en contradiction avec les modèles actuels sur la structure de l'eau dans les liquides silicatés.

Terra Cognita, 8, 71, 1988

62

HIGH APATITE SOLUBILITIES IN PERALUMINOUS MELTS

J.M. MONTEL, R. MOUCHEL & M. PICHAVANT
CRPG, BP 20, 54501, Vandœuvre lès Nancy, France

Experimental apatite solubility data have proved very useful for constraining the behaviour of phosphorus in intermediate to felsic melts. The low solubility of apatite in low T, high SiO_2 melts theoretically implies low P contents in rhyolites and granites. However, the P content of two-mica granites is significantly higher (av. 1000-5000 ppm P_2O_5) than the apatite saturation limit calculated from the existing model (50-200 ppm P_2O_5). In fractionated plutonic terms (two-mica apatites), these high P values can definitely not be attributed to the presence of inherited apatite crystals. Furthermore, peraluminous volcanics (5300 ppm P_2O_5 in the Macusan glass) provide direct evidence of elevated P concentrations in highly peraluminous liquids. Apatite solubility experiments are currently being carried out to test the effect of excess Al_2O_3 in the melt. The conditions are similar to published experiments, i.e. 800-1000°C, 2-5 kbar, 6-10 wt% H_2O in the melt. The melt (either synthetic Oz-Ab-Or minimum composition or Macusan glass) is saturated both with natural apatite and andalusite. P is analysed with an electron microprobe (detection limit about 200 ppm P_2O_5). At 800°C, 5 kbar and 7 days run duration, the melt is homogeneous and no concentration gradient is detected for P around apatite crystals. For the Oz-Ab-Or composition, the apatite solubility value is 7960 ± 800 and for the Macusan glass 10840 ± 1100 ppm P_2O_5 . These values are nearly two orders of magnitude higher than in experiments for non-peraluminous compositions. Such an increase of the apatite solubility suggests an association between the Al and P atoms in the melt. The available spectroscopic, crystallochemical (berlinite structure) and mineralogical evidence (crystallization of ambygonite rather than apatite in Al and P-rich magmas) leads to propose the existence of berlinite-like $AlPO_4$ complexes in these melts.

12ème Réunion des Sciences de la Terre, Lille, 1988 - Soc. Géol. Fr. édit. Paris, 101

SOLUBILITE ELEVEE DE L'APATITE DANS LES LIQUIDES PERALUMINEUX

R. MOUCHEL, J.M. MONTEL, M. PICHAVANT

C.R.P.G., BP 20, 54501, Vandœuvre les Nancy, France.

D'après les modèles de solubilité de l'apatite, la teneur en phosphore des rhyolites et des granites devrait être faible. Cependant, la teneur en P des granites à deux micas est couramment nettement plus élevée (1000-5000 ppm P_2O_5) que le seuil de

Sommaire

GOVINDARAJU K. and ROELANDTS I.

Compilation report (1966-1987) on trace elements in five CRPG geochemical
reference samples: Basalt BR; Granites, GA and GH; Micas, Biotite Mica-Fe and
Phlogopite Mica-Mg.....

107

GEOSTANDARDS

COMPILATION REPORT (1966-1987) ON TRACE ELEMENTS IN FIVE CRPG GEOCHEMICAL REFERENCE SAMPLES: BASALT BR; GRANITES, GA AND GH; MICAS, BIOTITE MICA-FE AND PHLOGOPITE MICA-MG

K. GOVINDARAJU

CNRS, Centre de Recherches Pétrographiques 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 five CRPG geochemical reference samples (BR, GA, GH, Mica-Fe and Mica-Mg) have been distributed as reference samples for more than twenty years. All data on trace elements in these samples available to the authors since their first reports have been compiled and evaluated. It has been possible to assign working values for more than forty elements in BR, GA, GH and Mica-Fe and for twenty-three elements in Mica-Mg. The samples are expected to last for another twenty years.

IX - DEFORMATION ET METAMORPHISME

BARBEY P., BERTRAND J.M., BOUCHEZ J.L., BOULLIER A.M., BOUTALEB M., DIOT H., FLOCH J.P., FRIEDRICH M., KIENAST J.R., MACAUDIERE J., MARIGNAC C., MARTIN H., MONTEL J.M., NZENTI J.P., PINARDON J.L., RAITH M., SOBA D., WEISBROD A.

X - GEOCHIMIE DES TRACES ET ISOTOPES, GEOCHRONOLOGIE

ALBAREDE F., ALIBERT C., ARNOLD M., BLAMART D., BROUXEL M., CAPPETTA H., CHAUSSIDON M., CISTERNAS A., DEMANGE J.C., FRANCE-LANORD C., GONZALEZ-PARTIDA E., GRANDJEAN P., JUTEAU M., LAPIERRE H., LE FORT P., MEGHRAOUI M., MICHARD A., PAGEL M., PHILIP H., PICHAVANT M., SAUPE F., SHEPPARD S.M.F., STUSSI J.M., ZIMMERMANN J.L.

XI - GEOSTANDARDS

GOVINDARAJU K., ROELANDTS I.

(Seuls sont indiqués en "**gras**" les noms du Personnel du CRPG)

Présentation "INFORMATIQUE" des sujets par thèmes

I - INSTRUMENTATION

CHAMPENOIS M., CHEILLETZ A., LAPIQUE F.

II - MAGMATISME

ALBAREDE F., ALIBERT C., BANZET G., BRIQUEU L., BROWN W., CLARK A.H., CUNEY M., DEBON F., FRANCE-LANORD C., FRIEDRICH M., GIULIANI G., HOLTZ F., JACQUES D., KONTAK D.J., LE FORT P., LETERRIER J., MARIGNAC C., MAURY R.C., MONTEL J.M., MORTAJI A., PARSONS I., PECHER A., PICHAVANT M., PLOQUIN A., RAZAFIMAEFA N., SABATE P., STUSSI J.M., TAMAGNAN V., TERNET Y., VALENCIA HERRERA J., WEISBROD A., ZIMMERMANN J.L.

III - HYDROTHERMALISME, METALLOGENIE, MINERALISATION

ARNOLD M., BENNANI M., BOUTALEB M., CATHELINEAU M., CASTELO BRANCO R.M.G., CHAREF A., CHEILLETZ A., CLAUER N., CLEMENTELLE L., COUTO P., CUNEY M., D'EL-REY SILVA L.J., DE GROOT P.A., DENOUN A., DUBESSY J., FOUILLAC A.M., GIULIANI G., GUY B., HAIMEUR J., HALTER G., LAGHBIDI A., LE GUYADER R., LI Y.D., MANNING D.A.C., MARIGNAC C., NOYE F., ORBERGER B., OUDIN E., PAGEL M., PICHAVANT M., POTY B., RAMBOZ C., SAUPE F., SHENG T.F., SHEPPARD S.M.F., THISSE Y., WEBER F., WEISBROD A.

IV - MINERALOGIE

BROWN W., PARSONS I., MACAUDIERE J.

V - GEOTHERMIE

DANIS M., MEZGHACHE H., ROYER J.J., SAUPE F.

VI - FLUIDES

FRANTZ J.D., GUYETAND G., JAMBON A., WEISBROD A., ZHANG Y.G., ZIMMERMANN J.L.

VII - INFORMATIQUE APPLIQUEE

MA Y.Z., N'GANZI C., ROYER J.J., SAMAMA J.C.

VIII - PETROLOGIE EXPERIMENTALE

BARBEY P., EBADI A., HOLTZ F., JOHANNES W., MONTEL J.M., MOUCHEL R., PICHAVANT M.

Sommaire

Titres des résumés non publiés présentés à des réunions nationales et internationales	113
Participation à des Congrès et Conférences.....	115
Missions	118
Séminaires de Géologie - Séminaires de Recherche	119
Visiteurs.....	120
Brevet	121
Thèses et Rapports de D.E.A.....	123
Liste des publications 1988.....	125

ANNEXE I

ALBAREDE F., DAUTEL D. et GOLDSTEIN S.L.

Rare earth abundances in geothermal waters.
MICHARD A.

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

CHAUSSIDON M., ALBAREDE F. et SHEPPARD S.M.F.

International Lithosphere project (ILP): Data integration in mineral and energy resources studies, Sotogrande, Spain, 28 Novembre- 6 Décembre

Multivariate integration methods applied to mineral exploration.

ROYER J.J. (invited speaker).

NATO ARW Petrology and geochemistry of granulites and related rocks, Clermont-Ferrand, 4-10 septembre

The granulite belt of Lapland.

BARBEY P. et RAITH M.

Precambrian granulites in northern Africa.

BOULLIER A.M. et BARBEY P.

Intra- and intercrystalline exchange and geothermometry in granulite-facies feldspars.

BROWN W.L. et PARSONS I.

Retromorphic coronas in a garnet meta-anorthosite : a chemical and tem study.

MACAUDIERE J. et BROWN W.L.

Réunion spécialisée de la Société française de Minéralogie et de Cristallographie "De l'observation des ensembles ignés à l'étude des propriétés des magmas, Nancy, 15 décembre.

Conditions de cristallisation et de mise en place du complexe anorogénique anorthositique d'Aboutorok, Aïr, Niger.

BROWN W.L., MOREAU C., DEMAIFFE D.

Third International geostatistics Congress, Avignon, France, Sept 5-9, 1988.

Geometric modelling and geostatistics.

MALLET J.L.

Multivariate geostatistics and the sampling problem.

ROYER J.J.

TITRES des RESUMES NON PUBLIES PRESENTES
à des REUNIONS NATIONALES et INTERNATIONALES

Colloque sur la géologie de l'Himalaya et du Karakorum-Tibet, Lausanne, 4-6 octobre

Zircons from migmatites of the Tibetan Slab (Nepal Himalaya).

BROUAND M., BANZET G., BARBEY P., CUNEY M., LE FORT P. et PECHER A.

Colloquium on "Statistical Applications in the Earth Sciences", Ottawa, Canada, 14-18 Novembre.

Recognition of multivariate anomalies in exploration geochemistry.

ROYER J.J. (invited speaker).

Congrès Géologique UNESCO Geotraverse Nigeria-Benin, Ife, Nigéria, 24 novembre-10 décembre

Comparison of the evolution of the granulitic domains in the Pan-African orogen of northern and southern Cameroon.

MACAUDIERE J., PENAYE J., BARBEY P., NZENTI J.P. et BERTRAND J.M.

International Conference I.G.C.P. Project 233 "Terranes in the Circum-Atlantic Paleozoic Orogens", Montpellier, 26-31 août

French Palaeozoic granitoid mapping: chronological, typological and metallogenetical pattern.

STUSSI J.M. et PLOQUIN A.

French Palaeozoic granitoid mapping: problems on orthogneisses typology.

PLOQUIN A., STUSSI J.M., BOURGUIGNON A. et CUNEY M.

The western and the southern Norwegian precambrian basements: at the search of their similar features.

PLOQUIN A., SANTARELLI N.

International Congress of Geochemistry and Cosmochemistry, Paris, 29 août-2 septembre.

A global three-dimensional transport model and its proof by ^{85}Kr and ^{222}Rn .

ZIMMERMANN J.L., FEICHTER J. et CRUTZEN P.J.

Comparative geodynamics of noble gases and H_2O .

JAMBON A., MARTY B. et ZIMMERMANN J.L.

D/H isotopic fractionation between tourmaline and water: the experimental calibration of tourmaline-mineral geothermometers at 500° to 700°C .

BLAMART D., PICHAVANT M. et SHEPPARD S.M.F.

Large scale infiltration of fluids during regional metamorphism. H and C isotope evidence from Central Nepal.

FRANCE-LANORD C. et SHEPPARD S.M.F.

Nd isotopic composition of Mn nodules from the Indian ocean and the Nd balance of seawater.

**International Conference I.G.C.P. Project 233 "Terranes in the Circum-Atlantic Paleozoic Orogens", 26-31 août, Montpellier
PLOQUIN A., STUSSI J.M.**

**International Congress of Geochemistry and Cosmochemistry, 29 août-2 septembre, Paris.
ALBAREDE F., ALIBERT C., ARNOLD M., BLAMART D., BOHER M., CHAUSSIDON M., DELOULE E., FRANCE-LANORD C., GRANDJEAN P., MICHARD A., PICHAVANT M., SHEPPARD S.M.F., WEISBROD A. ZIMMERMANN J.L.**

**International Lithosphere project (ILP) : Data integration in mineral and energy resources studies, 28 novembre-6 décembre, Sotogrande, Espagne.
ROYER J.J. (invited speaker).**

**La microsonda ionica nelle scienze della Terra, Université de Pavie, 1er-2 juin, Pavie, Italie
CHAUSSIDON M..**

**Meeting of the geochemistry group of the Mineralogical Society : gas release, reaction and mobility in crustal rocks, 11-12 avril, London, Grande Bretagne.
ZIMMERMANN J.L.**

**NATO ARW "Petrology and geochemistry of granulites and related rocks", 4-10 septembre, Clermont-Ferrand
BARBEY P., BOULLIER A.M., BROWN W.L., PICHAVANT M.**

**Réunion du Comité CODATA FRANCE, Paris (3 par an)
ROYER J.J. (Trésorier).**

**Réunion de la Mineralogical Society, 14-16 décembre, Londres, Grande Bretagne
BARBEY P., PICHAVANT M., SAILLET B.**

**Réunion du PICG 269 Banque de données SEDBA, 21 juin-1er juillet, Osaka, Japon
PLOQUIN A.**

**Second International Symposium on Experimental Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 7-9 avril, Bochum, R.F.A.
BLAMART D., MONTEL J.M., PICHAVANT M., SHEPPARD S.M.F.**

**Séminaire au Centre des Faibles Radioactivités, 12 février, Gif-sur-Yvette
CHAUSSIDON M.**

**Séminaire franco-allemand "Fusion crustale, 25-26 novembre, Nancy
BARBEY P., PICHAVANT M.,**

**Séminaire à la S.N.E.A.P., 23 septembre, Pau
Analyse statistique et géostatistique multidimensionnelle : application au traitement du signal, à l'analyse d'images et à la modélisation.
ROYER J.J.**

**Seminar at Carleton University, 14 novembre, Ottawa, Canada.
Heat transfert in the crust : models and implications.
ROYER J.J. (invited speaker).**

Participation à des Congrès, Stages et Conférences

Colloque DBT - INSU, 13 décembre, Paris
WEISBROD A.

Congrès Géologique UNESCO Geotraverse Nigeria-Benin, 24 novembre-10 décembre, Ife, Nigéria
MACAUDIERE J.

Colloque International "Mobilité et concentration des métaux de base dans les couvertures", 28-31 mars, Orléans
SAUPE F., SHEPPARD S.M.F.

Colloque sur la géologie de l'Himalaya et du Karakorum, 4-6 octobre, Lausanne, Suisse.
BERTRAND J.M., BOULLIER A.M., BROUAND M., SCAILLET B.

Colloquium on "Statistical Applications in the Earth Sciences", 14-18 novembre, Ottawa, Canada.
ROYER J.J. (invited speaker).

Conférence au bayerisches Geoinstitut, 20 février, Bayreuth, R.F.A.
PICHAVANT M.

Conférences à l'Université de Bilbao, 13-14 juin, Bilbao, Espagne
DEBON F.

Conférence à l'Université Libre de Bruxelles, 21 novembre, Bruxelles, Belgique..
BROWN W.L.

Conférences à l'Université de Lausanne, 11 janvier, Lausanne, Suisse
FRANCE-LANORD C.

Conférences (vingt) à l'Université de Milan, 6-16 juin, Milan, Italie.
BROWN W.L.

Conférences à l'Université de Sivas, 17-21 octobre, Sivas, Turquie.
DEBON F.

Deutsch-Französisches Kolloquium "granit", 22 janvier, Hannover, R.F.A.
Conférence sur "Feldspars in plutonic rocks".
BARBEY P., BROWN W.L., PICHAVANT M.

Xe Reunion de Geologia del Oeste Peninsular, 25 septembre-1er octobre, Bragança, Portugal
LETERRIER J.

Douzième Réunion des Sciences de la terre, 27-29 avril, Lille
ARNOLD M., BANZET G., BLAMART D., BOULLIER A.M., BROUAND M., CHAMPENOIS M., CHAUSSIDON M., CHEILLETZ A., FRANCE-LANORD C., GRANDJEAN P., LETERRIER J., MARIIGNAC C., MONTEL J.M., PICHAVANT M., SAUPE F., SCAILLET B., STUSSI J.M.

Missions majeures de terrain dans les pays d'Outre-Mer et étranger

BERTRAND J.M.	Brésil	Mai
BERTRAND J.M. BOULLIER A.M.	Canada	Juillet-Août
BROWN W.L.	Sénégal Gröenland	Avril Juillet
DEBON F.	Espagne	Juin
GRANDJEAN	Egypte	Mai
LETERRIER J.	Portugal	Juin
MICHARD A.	Tahiti	Décembre
SAUPE F.	Algérie R F A	Juin Juin, Novembre
SHEPPARD S.M.F.	Italie Grèce	Avril Septembre
STUSSI J.M.	Ecosse R F A Maroc	Avril Avril Septembre

**Seminar as the Surveys, Mapping and Remote Sensing Sector Canada Centre for Remote Sensing, 17 novembre, Ottawa, Canada.
Local and Geostatistical Filtering Methods Applied to Image Processing.
ROYER J.J. (invited speaker).**

**Third International geostatistics Congress, 5-9 septembre, Avignon
MALLET J.L., ROYER J.J.**

VISITEURS

AUGUSTIN M., IFREMER, Brest
BENDERITTER Y., BRGM, Orléans
BORDET P., IGAL, Paris
BOURILLET M., IFREMER, Brest
BREARLEY, University of New Mexico, Albuquerque, USA
CARPENTER M.A., University of Cambridge, grande Bretagne
CHACON M., Ecole des Mines de Madrid, Espagne
COWING C., Open University, Grande Bretagne
DIEP NGOC SUONG, Service d'Analyses, HochiMinsVille, Viet-Nan
FIDALGO M., Ecole des Mines de Madrid, Espagne
FOUILLAC C., BRGM, Orléans
GRAHAM D., Woods Hole Oceanographic Institution, Woods Hole, USA
HEMLEY J.J., USGS, Reston, USA
JOHANES M., Jobin-Yvon, Longjumeau
JOHANNES W., Institut für Mineralogie, Hannover, RFA
JORGENSEN R., Société SINTEF, Trondheim, Norvège
KIENAST J.R., Université de Paris 6
KOCH P., Jobin-Yvon, Longjumeau
LEDROUT M., BRGM, Orléans
MENJOZ A., BRGM, Orléans
MICHARD G., Université de Paris 6 et 7
MICHOT L., ENS Géologie, Nancy
MILESI M., BRGM, Orléans
MOREAU C., Université de Dakar, Sénégal
MULLER W., Universität Hochschule, Darmstadt, RFA
OHNENSTETTER D., CNRS, Orléans
PUCZICVICZ J., Institut für Mineralogie, Hannover, RFA
SCHLIESTADT M., Institut für Mineralogie, Hannover, RFA
SRIVASTAVA M.R., Applied Earth Sciences Dept., Stanford University, USA
STOREMYR P., Société SINTEF, Trondheim, Norvège
SUN S.S., ANU, Canberra, Australie
WATSON J., Open University, Grande Bretagne
WEISS S., Universität, München, RFA
WU WIN, CRSCM, Orléans

Séminaires de Géologie -- Séminaires de Recherche

ALBAREDE F.	ENSG-CRPG, Vandoeuvre
BOTTINGA Y.	Institut de Physique du Globe, Paris
BREARLEY A.	University of New Mexico, Albuquerque, USA
BROUAND M.	CRPG
CARA M.	Institut de Physique du Globe, Strasbourg
CONDOMINES M.	Centre de Recherches Volcanologiques, Clermont-Ferrand
CUNNEY M.	CREGU, Vandoeuvre
DESMONS J.	Université de Nancy I
FODEN J.	University of Adelaide, South Australie
GONDSTEIN S.L.	Max Planck Institut für Chemie, Mayence, RFA
GUEGUEN Y.	Institut de Physique du Globe, Strasbourg
HEMLEY J.J.	U. S. Geological Survey, Reston, USA
HOLLISTER L.S.	Princeton University, USA
LORAND J.P.	Museum d'Histoire Naturelle, Paris
MEYER A.	CREGU, Vandoeuvre
MULLER W.F.	Universität Darmstadt, RFA
MULLIS J.	Institut der Universität, Bâle, Suisse
RUDNICK R.L.	Research School of Earth Sciences, ANU, Canberra, Australie,
VROLIJK P.	Université de Cambridge, Grande Bretagne

- 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

BREVET D'INVENTIONS

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 télédéteectée sur un bloc diagramme topographique par exemple).

A la date du 1^{er} 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 (Denver U.S.A.)
- GEOMATH (Denver U.S.A.)
- I.N.R.A. Institut National de Recherches en Agronomie
- etc.

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

Rapports de D.E.A.

BOUZENOUNE A. - Etude des inclusions fluides dans les stades tardifs des filons polymétalliques du SAF-SAF (Massif cristallin de l'Edough - Algérie Nord-Est). 51 p., novembre 1988.

ITARD Y. - Développement d'un logiciel de calcul de volume appliqué aux inclusions fluides. 50 p., octobre 1988.

Rapports de D.E.S.S.

Baroudi Z. - Caractérisation des fluides carbo-azotés liés aux intrusions basiques du dôme du Velay (Ardèche, France). Mémoire de D.E.S.S., I.N.P.L., 23 p.

THESES, RAPPORTS de D.E.A., D.E.S.S.

Thèses

ANGOUA S. - Etude structurale et pétrologique de la région de Gamba, bordure SE de Poli (Nord-Cameroun). Thèse de l'Université de Nancy I, 210 p., juin 1988.

BENNANI M. - Reconstitution des paléocirculations hydrothermales de la partie sud (Tarmilat-Zguit) du district stanno-wolframifère de Walmes (Maroc central). Conséquences métallogéniques. Thèse de l'I.N.P.L., Nancy, 290 p., octobre 1988.

BOUTALEB M. - Reconstitution de l'évolution tectono-métamorphique, magmatique et hydrothermale du district stanno-wolframifère de Walmes (Maroc central). Conséquences métallogéniques. Thèse de l'I.N.P.L., Nancy, 269 p., septembre 1988.

CHAUSSIDON M. - Géochimie du soufre dans le manteau et la croûte océanique : apports de l'analyse isotopique in situ par sonde ionique. Thèse de l'I.N.P.L., Nancy, 139 p., juin 1988.

DANIS M. - Hydrogéologie et transferts thermiques pour un aquifère en bassin sédimentaire : approche numérique. Thèse de l'I.N.P.L., Nancy, 90 p., décembre 1988.

DENOUN A. - Le gisement d'Ismaïl (Azzaba) et de Bou Ghezlane (Cap de Fer) : deux concentrations mercurifères encaissées dans l'orogène alpin du Nord-Est algérien. Magister en Géologie (équivalent de la Thèse de 3e Cycle), 130 p.

DJAMA L.M. - Le massif granitique de Mfoubou et le socle métamorphique de Guena (Chaîne du Mayombe - Congo). Pétrologie - Géochimie - Géochronologie. Thèse de l'Université de Nancy I, 175 p., juin 1988.

HAIMEUR J. - Etude pétrographique et métallogénique du gisement de Douar Lahjar (Guemassa, Maroc). Thèse de l'I.N.P.L., Nancy, 151 p.

HELIOT D. - Conception et réalisation d'un outil intégré de modélisation de massifs rocheux fracturés en blocs. Thèse de l'I.N.P.L., Nancy, 120 p., mars 1988.

MOULAHOU M. O. - Dualité du magmatisme d'âge pan-africain : aspects structuraux et pétrologiques des granites subalcalins et alumineux de la région de Tamanrasset (Hoggar central, Algérie). Thèse de l'Université de Nancy I, 198 p., avril 1988.

NGOYANADJI N. - Le gisement de Pb-Zn de Largentière (Ardèche - France) : apport de l'étude des inclusions fluides et des isotopes du soufre au problème de sa genèse. Thèse de l'I.N.P.L., Nancy, 165 p., janvier 1988.

RAMBOZ C. - Métamorphisme hydrothermal et réactions d'oxydo-réduction en contexte de marge passive et de zone de cisaillement ductile : genèse des concentrations Zn-Pb et graphite associées. Thèse d'Etat, Nancy, 321 p., juillet 1988.

ROYER J.J. - Analyse multivariable et filtrage des données régionalisées. Thèse de Doc. es-Sciences, I.N.P.L., Nancy, 240 p., octobre 1988.

ZHANG Y.G. - Détermination expérimentale des propriétés P-V-T-X de systèmes fluides géochimiquement réalistes par la méthode des inclusions fluides synthétiques : domaines homogènes et immiscibilité. Thèse de l'I.N.P.L., Nancy, 212 p., juillet 1988.

- GIULIANI G., LI Y.D., SHENG T.F.** - Fluid inclusion study of Xihuashan tungsten deposit in the southern Jiangxi province, China. *Mineral. Depos.*, V. 23, 24-33.
- GOVINDARAJU K., ROELANDTS I.** - Compilation report (1966-1987) on trace elements in five CRPG geochemical reference samples : basalt BR ; granites, GA and GH ; micas, biotite mica-Fe and phlogopite mica-Mg. *Geostandards Newsletter*, V. 12, 119-201.
- GRANDJEAN P., CAPPETTA H., ALBAREDE F.**- The REE and Nd of 40-70 Ma old fish debris from the West-African platform. *Geophys. Research Letters*, V. 15, 389-392.
- HONNEGER K., LE FORT P., MASCLE G., ZIMMERMANN J.L.** - The blueschists along the Indus suture zone in Ladakh, N.W. Himalaya, *J. Metamorphic Geol.*, V. 7, 57-72.
- JUTEAU M., PAGEL M., MICHARD A., ALBAREDE F.**- Assimilation of continental crust by komatiites in the Precambrian basement of the Carswell structure (Saskatchewan, Canada). *Contrib. Mineral. Petrol.*, V. 99, 219-225.
- LAPIQUE F., CHAMPENOIS M., A. CHEILLETZ.** - Un analyseur vidéographique interactif : description et application., *Bull. Minéral.* V. 111, 679-687.
- MALLET J.L.** - Three dimensionnal graphic display of disconnected bodies. *Mathematical Geology*, V. 20, 977-990.
- MARIGNAC C.** - A case of ore deposition associated with paleogeothermal activity : the polymetallic ore veins of Ain Barbar (NE Constantinois, Algeria). *Mineral. and Petrol.*, V. 37, 107-121.
- MARIGNAC C.** - Composition des minéraux et évolution des phases fluides : le cas des filons polymétalliques d'Ain Barbar (Algérie). *Bull. Minéral.*, V.111, 183-206.
- MARIGNAC C.** - P-T-X evolution of ore veins associated with paleogeothermal activity at Ain Barbar (NE Constantine, Algeria) : reconstruction from fluid inclusion data. *Bull. Minéral.*, V.111, 359-381.
- MARTIN H, BARBEY P.** - Zircon U-Pb versus Rb-Sr whole-rock age data from eastern Finland : a reply. *Precambrian Res.*, V. 39, 221-226.
- MAURY R.C., LETERRIER J., DARIO J.** - Critères de distinction des magmas tholéiitiques et calco-alcalins d'arc insulaire : exemple de l'arc de Luzon, Philippines. *C.R. Acad. Sci., Paris*, t 306, Série II 1465-1470.
- MEGHRAOUI M., JEAGY R., LAMMALI K. and ALBAREDE F.** - Lata holocene earthquake sequences on the El Asnam (Algeria) thrust fault. *Earth and Planetary Science Letters*, V. 90 , 187-203.
- MEZGHACHE H., ROYER J.J. et SAUPE F.** - Estimation du flux géothermique dans la zone mercurifère nord-numidique (Azzaba, wilaya de Skikda, Algérie). *C.R. Acad. Sci. Paris*, t 307, Série II 1647-1650.
- MONTEL J.M.** - Première découverte d'une vaugnérite à orthopyroxène : pétrographie, géochimie et conséquences pour le genèse des vaugnérites. *C.R. Acad. Sci., Paris*, 1988, t 306, Série II , 985-990.
- NZENTI J.P., BARBEY P., MACAUDIERE J., SOBA D.** Origin and evolution of the late precambrian high-grade Yaounde gneisses (Cameroon). *Precambrian Res.*, V. 38, 91-109.
- PARSONS I., BROWN W.L.** - Sidewall crystallization in the Klokken intrusion : zoned ternary feld spars and coexisting minerals. *Contrib. Mineral. Petrol.*, V. 98, 431-443.
- PICHAVANT M., KONTAK D.J., BRIQUEU L., HERRERA J.V. and CLARK A.H.** - The Miocene-Pliocene Macusani volcanics, SE Peru. II - Geochemistry and origin of a felsic peraluminous magma. *Contrib. Mineral. Petrol.*, V. 100, 325-338.

LISTE DES PUBLICATIONS JANVIER 1988 à DECEMBRE 1988

REVUES DE RANG A

- ALBAREDE F., TAMAGNAN V.** - Modelling the recent geochemical evolution of the Piton de la Fournaise Volcano, Réunion Island, 1931-1986. *J.Petrol.*, V. 29, 997-1030.
- ALIBERT C. and ALBAREDE F.** - Relationships between mineralogical, chemical, and isotopic properties of some North-American Kimberlites. *J. Geophys. Res.*, V. 93, 7643-7671.
- ALIBERT Ch., DEBON F., TERNET Y.** - Le pluton à structure concentrique du Néouvielle (Hautes-Pyrénées) : typologie chimique, âge et genèse. *C.R. Acad. Sci. Paris*, t 306, Série II, 49-54.
- BERTRAND J.M., KIENAST J.R., and PINARDON J.L.** - Structure and metamorphism of the Karakorum gneisses in the Braldu-Baltoro Valley (North Pakistan). Structure et métamorphisme des gneiss du karakorum dans la vallée de la rivière Braldu et du glacier du Baltoro (Nord Pakistan). *Geodinamica Acta* (Paris), V. 2, 135-150.
- BOULLIER A.M., BARBEY P.** - A polycyclic two-stage corona growth in the Iforas granulitic Unit (Mali). *J. Metamorphic Geol.*, V. 6, 235-254.
- BROUXEL M., LAPIERRE H.** - Geochemical study of an early Paleozoic island-arc-back-arc basin system. Part 1 : The Trinity ophiolite (Northern California). *Geol. Soc. America Bull.*, V. 100, 1111-1119.
- BROUXEL M., LAPIERRE H., MICHARD A., ALBAREDE F.** - Geochemical study of an early Paleozoic island-arc-back-arc basin system. Part 2 : Eastern Klamath, early to middle Paleozoic island-arc volcanic rocks (northern California). *Geol. Soc. America Bull.*, V. 100, 1120-1130.
- BROWN W.L., PARSONS I.** - Zoned ternary feldspars in the Klokken intrusion : exsolution microtextures and mechanisms. *Contrib. Mineral. Petrol.*, V. 98, 444-454.
- CHAREF A., SHEPPARD S.M.F.** - The Malines Cambrian carbonate-shale hosted Pb-Zn deposit, France : thermometric and isotope (H, O) evidence for pulsating hydrothermal mineralization. *Mineral. Dep.*, V. 23, 86-95.
- DEBON F., ZIMMERMANN J.L.** - Le pluton hercynien de Bassiès (Pyrénées, Zone axiale) : typologie chimique, âge et remaniements isotopiques. *C.R. Acad. Sci. Paris*, t 306, Série II, 897-902.
- DEBON F., LE FORT P.** - A cationic classification of common plutonic rocks and their magmatic associations : principles, method, applications. *Bull. Minéral.*, V. 111, 493-510.
- DUPUY C., MARSH J., DOSTAL J., MICHARD A., TESTA S.** - Asthenospheric and lithospheric sources for Mesozoic dolérites from Liberia (Africa) : trace element and isotopic evidence. *Earth Plan. Sci. Lett.*, V. 87, 100-110.
- FRANCE LANORD C., SHEPPARD S.M.F. et LE FORT P.** - Hydrogen and oxygen isotope variations in the High Himalaya peraluminous Manaslu leucogranite : evidence for heterogeneous sedimentary source. *Geochim. Cosmochim. Acta*, V. 52, 513-526.
- FRIEDRICH M., MARIGNAC C. et FLOCH J.P.** - Sur l'existence de trois chevauchements ductiles "himalayens" successifs à vergence NW en Limousin. *C.R. Acad. Sci.*, t 306, Série II 663-669.

- FRANCE LANORD C., LE FORT P.** - Crustal melting and granite genesis during the Himalayan collision orogenesis. *Trans. Royal Soc. Edinburgh : Earth Sci.* V. 79, 183-195.
- GIULIANI G., CONTO P.** - Metassomatismo de Infiltracao e sua importancia nos depositos de Esmeralda do Brasil. *Anais do XXXV Congr. Brasil. Geologia*, V. 1, 459-475.
- GIULIANI G., ALVES DOS SANTOS R.** - Geoquimica de Alguns Granitoides da Faixa de Dobramentos Sergipana. *Anais do XXXV Congr. Brasil. Geologia*, V. 3, 1037-1052.
- GIULIANI G., D'AVILA FERNADES P.C.** - The Archean and Proterozoic molybdenum mineralizations of the Bahia State, Brazil : metallogenic implications. *Anais do XXXV Congr. Brasil. Geologia*, V.1, 230-241.
- GIULIANI G., WEISBROD A.** - Scanning electron microscopy and its application to the determination of solid and daughter minerals in fluid inclusions from some Brazilian emerald deposits. *Anais do XXXV Congr. Brasil. Geologia*, V.1, 445-458.
- GUY B., SHEPPARD S.M.F., FOUILLAC A.M., LE GUYADER R., TOULHOAT P. et FONTEILLES M.** - Geochemical and isotopic (H, C, O, S) studies of barren and tungsten-bearing skarns of the French Pyrenees. Dans. *Mineral. Deposits of Europe* (J. Boissonas, P., Omenetto eds) S.G.A. Spec. Publ., N°6, Springer Verlag, Heidelberg, pp 53-75.
- HALTER G., PAGEL M., SHEPPARD S.M.F., WEBER F. et CLAUER N.** - Caractérisations pétrographiques, minéralogiques et isotopiques des altérations dans le contexte de certains gisements d'uranium liés spatialement à la discordance du Protérozoïque moyen, dans la structure de Carswell (Saskatchewan-Canada)., In Z. Johan et D. Ohnenstetter ed, "Gisements métallifères dans leur contexte géologique" Doc. BRGM, 158, 365-388.
- HOLTZ F., LETERRIER J.** - Typologie des granitoïdes hercyniens du Nord-Portugal. Exemple des complexes de granite à deux micas du domaine de Montalègre. In "Geologia de los granitoides y rocas asociadas del Macizo Hesperico. F. Bea et al., Eds, Rueda, Porto Cristo, 271-280.
- LE FORT P.**- Granites in the tectonic evolution of the Himalaya, Karakorum and southern Tibet. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.* V. A 326, 281-299
- MA Z., ROYER J.J.** - Local geostatistical filtering. Application to remote sensig. *Geomathematics and geostatistics analysis applied to space and time dependent data*, in *Sci. de la Terre, série Informatique*, Nancy, V. 27, 17-36.
- MA Z., ROYER J.J.** - Le comportement des pondérateurs en analyse krigeante. Comparaison avec les filtres classiques utilisés en traitement d'images, CFSG, Ecole des Mines de Paris, Fontainebleau, *Sc. de la Terre, Série Informatique*, Nancy, V.28, 175-194.
- MANNING D.A.C., PICHAVANT M.** - Volatiles and their bearing on the behaviour of metals in granitic systems. In : RP Taylor and DF Strong (ed), *Recent Advances in Granite-Related Mineral Deposits*, Spec. V. 39, CIM Metallurgy, 13-24.
- MEGHRAOUI M., PHILIP H., ALBAREDE F., CISTERNAS A.** -Trench investigations through the trace of the 1980 el Asnam thrust fault : evidence for paleoseismicity.*Bull.Seismological Soc. America*, V. 78, 979-999.
- NAMYSLOWSKA-WILCZYNSKA B., ROYER J.J.** (Eds) - *Geomathematics and geostatistics analysis applied to space and time dependent data*. Actes du Coll. Int. CODATA, Sc. de la Terre, Série Informatique, Nancy, V. 27, 250- 494.
- NOYE F., WEISBROD A.** - Les indices stanno-wolframifères de St Mélaney (Cévennes, Massif Central français), In Johan Z et Ohnenstetter D. eds, "Gisements métallifères dans leur contexte géologique", Doc. BRGM, 158, 175-194.
- PICHAVANT M. and MONTEL J.M.** - Petrogenesis of a two-mica ignimbrite suite : the Macusani volcanics, SE Peru. *Trans. R. Soc. Edinburgh , Earth Sci.*, V. 79, 197-207.

- PICHAVANT M., KONTAK D.J., HERRERA J.V. and CLARK A.H.** - The Miocene-Pliocene Macusani volcanics, SE Peru. I - Mineralogy and magmatic evolution of a two-mica aluminosilicate-bearing ignimbrite suite. *Contrib. Mineral. Petrol.* V. 110, 300-324.
- RAMBOZ C., CHAREF A.** - Temperature, pressure, burial history, and paleohydrology of the Les Malines Pb-Zn deposit : Reconstruction from Aqueous Inclusions in barite. *Econ. Geol.*, V. 83, 784-800.
- RAMBOZ C., OUDIN E., THISSE Y.** - Geyser-type discharge in Atlantis II Deep (Red Sea) : evidence of boiling from fluid inclusions in epigenetic anhydrite. *Canad. Mineral.*, Special Issue, V. 26, 765-786.
- ROYER J.J., M. DANIS** - Steady state geothermal model of the crust and the problem of the boundary conditions : application to a rift system, the southern Rhinegraben. *Tectonophysics*, V. 156, 239-255.
- SANJUAN B., MICHARD A., MICHARD G.** - Influence of the temperature of CO₂-rich springs on their aluminium and rare-earth element contents. *Chem. Geol.*, V. 68, 57-67.
- ZIMMERMANN J.L., JAMBON A., GUYETAND G.** - Manometric and mass spectrometric analysis of fluids in geological materials. *Geochemical Journ.*, V. 22, 9-22.

REVUES DE RANG B

- ARNOLD M., GONZALEZ PARTIDA E.** Equilibrio químico e isotópico entre sulfatos y sulfuros de los fluidos hidrotermales del campo geotérmico Los Azufres, Michoacán ; implicaciones sobre el origen de azufre. *Univ. Nat. Aut. Geol. Revista*, V. 7, 97-105.
- CASTELLO BRANCO R.M.G., GIULIANI G., CHEILLETZ A., CLEMENTELLE L.** - Os Berilos Verdes da Região de Coqui, Município de Quixeramobim Novas Ocorrências de Esmeraldas no Estado Ceará. *Anais do XXXV Congr. Brasil. Geologia*, V. 1, 383-397.
- CHAUSSIDON M. et DEMANGE J.C.** - Instrumental mass fractionation in ion microprobe studies of sulphur isotopic ratios. In *Secondary Ion Mass Spectrometry SIMS VI* (eds : A. Benninghoven, A.M. Huber, H.W. Werner), John Wiley and Sons, New York, pp 937-940.
- CHEILLETZ A.** - Epigenesis versus syngeneses : a contribution to the debate based on stratiform tungsten skarn mineralisation of Djebel Aouam, Central Morocco . *Proceedings of the Seventh Quadrennial IAGOD Symposium*. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 339-347.
- CHEILLETZ A.** Stratiform tungsten deposits : review, with implications for the Yxsjöberg-Sandudden deposits of Sweden. *Geologie en Mijnbouw*, V. 67, 293-311.
- CHEILLETZ A., GIULIANI G.** - Les skarns tungstifères stratiformes du Djebel Aouam (Maroc Central) : modèle de développement métasomatique en deux étapes. In : Z. Johan et Ohnenstetter D. eds, "Gisements métallifères dans leur contexte géologique", Doc. BRGM, 158, 151-173.
- D'EI REY SILVA L.J., GIULIANI G.** - Controle Estrutural da Jazida de Esmeraldas de Santa Terezinha de Goiás. Implicações na Genese, Tectônica Regional e no Planejamento da Lavra. *Anais do XXXV Congr. Brasil. Geologica*, V. 1, 413-427.
- DE GROOT P.A., SHEPPARD S.M.F.** - Carbonate rocks from W. Bergslagen, Central Sweden : isotopic (C, O, H) evidence for marine deposition and alteration by hydrothermal processes. *Geologie en Mijnbouw*, V. 67, 177-188.
- DEBON F., LE FORT P., SABATE** - Uma classificação químico-mineralógica das rochas plutônicas comuns e suas associações, método e aplicações. *Rev. Brasil. Geoci.*, V. 18, 122-133.

- QUENARDEL J.M., PLOQUIN A. et al.** - The Polish sudetes : A mosaic of variscan terranes. *Trabajos de Geologia*, 17, 139-144.
- ROYER J.J.** - Comparaison de quelques méthodes de déconvolution. Apport de la géostatistique. *Etudes Géostatistiques V - Séminaire C.F.S.G. sur la géostatistique 15-16 juin 1987. Fontainebleau Sci. de la Terre, Sér. Informatique, Nancy, V. 28, 327-354.*
- ROYER J.J.** - New approaches to the recognition of anomalies in exploration geochemistry. C.F. Chung et al. eds, in *quantitative analysis of mineral and energy resources*, NATO, Reidel, Dordrecht, pp 89-112.
- ROYER J.J., JACQUEMIN P., MALLET J.L.**- GEOL : An interactive system for data processing, In *Current Trends in Geomathematics* , D.F. Merriam ed., Plenum Publ. Corp., New York, pp 301-317.
- SAUPE F., ORBERGER B. et ARNOLD M.** - Les gisements de barytine, pyrite et oxydes de fer des Alpes Apuanes méridionales (Toscane, Italie) (Contribution à la connaissance des gisements de Toscane-IV). In Johan Z and Ohnenstetter D. eds "Gisements métallifères dans leur contexte géologique", Doc. BRGM, 158, 325-343.
- SMITH J.V., BROWN W.L.** - Feldspar minerals. V. 1, Springer Verlag, Heidelberg, 828 p.
- WEISBROD A.** - Caractères généraux des phases fluides dans les indices et gisements d'étain et tungstène, In Johan Z. et Ohnenstetter D., eds, "Gisements métallifères dans leur contexte géologique", Doc. BRGM 158, 9-14.
- ZIMMERMANN, J.L., STUSSI J.M., GONZALES-PARTIDA E. and ARNOLD M.**-K-Ar evidence for age and compositional zoning in the Puerto Vallarta-Rio Santiago Batholith (Jalisco, Mexico). *Journ. South Amer. Earth Sci.*, V. 1, 267-274.

ANNEXE II

Sommaire

Publications en collaboration avec l'E.D.T.A.	133
Assistance en Informatique et Mathématiques appliquées.....	135

Publications en collaboration avec l'EDTA

publiées dans la période du 1er janvier 1988 au 31 décembre 1988 et dont les auteurs ont communiqué les références en temps utile. Les données correspondantes sont stockées dans la Banque ARTEMISE.

Cette liste est incomplète; il manque notamment la plupart des publications exploitant les thèses pour lesquelles nous avons oeuvré.

Publications et thèses antérieures à 1988 non incluses dans le rapport 1986-1987.

- LAPIERRE H., ALBAREDE F., ALBERS J., CABANIS J. and COULON C. (1986) - Early devonian volcanism in the eastern Klamath Mountains, california : evidence for an immature island-arc. *Can. J. Earth Sci.*, 22, 214-227.
- STUSSI J.M., PLOQUIN A., AUTRAN A., ORSINI J.B. et al. (1986) - Chronologie et typologie du plutonisme calédono-varisque en France. Symposium projet IGCP n° 27, Rabat 1983, contribution n° 335 au PICG n° 27 "CALEDONIDÉ OROGEN", Mém. Carte Géol. Maroc. (épreuves corrigées, non imprimé encore !).
- BANZET G. (1987) - Interactions croûte-manteau et genèse du plutonisme subalpin du Haut-Dauphiné Occidental (Massifs Cristallins Extérieurs, Alpes): vaugnérites, durbachites magnésio-potassiques. *Géologie alpine*, t. 63, 95-117.
- BOGDANOFF S., CIRODDE J.L., PLOQUIN A., RAMBOZ C. (1987) - Recherche du tungstène dans le district de la Châtaigneraie (Cantal Aveyron, Massif Central français). *Géochimie des schistes de la Châtaigneraie. Chron. rech. Min.*, n° 487, 11-30.
- STUSSI J.M. (1987) - Typologie des granites et leucogranites hercyniens français. Zonéographie: implications métallogéniques. Mém. CREGU, 1984.
- BIRKE W. (1987) - Eisenerze im Norlichen Morvan (Dpt. Côte d'Or), Region Morvan-Auxois und ihre Bedeutung in Gallo-Römischer Zeit. Dissertation pour le grade de "Doktor der Naturwissenschaften" Johannes-Gutenberg Universität, Mainz (Mayence), soutenue 25-10-87, Prof. responsable, Dr. I. Keesmann.
- DIAS G. (1987) - Mineralogia e Petrologia de Granitos Hercinicos associados a mineralizacoes filonianas de Sn-W (Minho, Portugal). Thèse Braga-Portugal.

Publications 1988

- ALIBERT C., DEBON F. et TERNET Y. (1988) - Le pluton à structure concentrique du Néouvielle (Hautes-Pyrénées) : typologie chimique, âge et genèse. *C. R. Acad. Sci. Paris*, t. 306, sér. II, 49-54, pétrologie.
- DEBON F., LE FORT P. (1988) - A cationic classification of common plutonic rocks and their magmatic associations : principles, method, applications. *Bull. Miner.*, 111, 5, 493-510.
- DEBON F., LE FORT P., SABATE P. (1988) - Uma classificacao quimico-mineralogica das rochas plutonicas comuns e suas associacoes. Metodo e applicacoes. *Rev. Brasil. Geoc.*, 18(2), 122-123.
- DEBON F., ZIMMERMANN J.L. (1988) - Le pluton hercynien de Bassières (Pyrénées, zone axiale) : typologie chimique, âge et remaniements isotopiques. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 306, sér. II, 897-902.
- FRANCE-LANORD C. and LE FORT P. (1988) - Crustal melting and granite genesis during the Himalayan collision orogenesis. *Transactions of the Royal Soc. of Edinburgh, Earth Sciences*, 79, 183-195.
- MARINI F. (1988) - "Phase" sarde et distension ordovicienne du domaine sud-varisque, effets de point chaud ? Une hypothèse fondée sur les données nouvelles du volcanisme albigeois. *C.R. Acad. Sc. Paris*, t. 306, sér. II, 443-450, Géologie.
- PLOQUIN A. et QUENARDEL J.M. (1988) - Traitement géochimique d'échantillons de socle du forage de Sancerre-Couy. Pp. 175-185 in Forage scientifique de Sancerre-Couy, socle. GPF thème 2 - Documents du BRGM no. 137.

- PLOQUIN A. & SANTARELLI N. (1988) - The western and southern norwegian precambrian basements: at the search of their similar features. Abstracts, IGCP 239, Intern. Conf., Montpellier.
- PLOQUIN A., STUSSI J.M., BOURGUIGNON A. & CUNEY M. (1988) - French palaeozoic granitoids mapping: Problems on orthogneiss typology. Abstracts, IGCP 239, Intern. Conf., Montpellier.
- QUENARDEL J.M. et al., dont PLOQUIN. A. (1988) - The polish Sudetes, a mosaic of Variscan Terranes. Coll. IGCP, Trabajos de Geologica, Univ. de Oviedo, 17, 139-144.
- REMY J.L. (1988) - Développement d'une base de données d'archéométrie métallurgique et minière "Artemise-Scories". Convention DBMIST 86.69 du 01-12-86, Univ. Besancon, CRPG Nancy, Labo. Archéologie des Métaux de Nancy, 50 p.
- RIZKI A., BAROZ F. (1988) - Le volcanisme tholéitique du massif de Schirmeck (Vosges septentrionales, France), témoin d'une zone de convergence de plaques du Paléozoïque supérieur. C. R. Acad. Sci. Paris, t. 307, sér. II, 511-516, 1988.
- STUSSI J.M. & PLOQUIN A. (1988) - French palaeozoic granitoids mapping: chronological, typological and metallogenetical pattern. Abstracts, IGCP 239, Intern. Conf., Montpellier.

Thèses - DEA

- ANGOUA B. (1988) - Etude structurale et pétrologique de la région de Gamba, bordure S.E. de Poli (Nord-Cameroun). Thèse, Univ. Nancy-I, 24 juin 88, 210+XLIII p.
- BENNANI M. (1988) - Reconstitution des paléo-circulations hydrothermales de la partie sud (Tarmilat-Zguit) du district stannio-wolframifère de Walmes (Maroc Central). Conséquences métallogéniques. Thèse doc INPL Nancy, 10-10-88.
- BITTENCOURT R. (1988) - Les gisements d'opales nobles de la région de Pedro II dans l'état de Piani (Région Nord-Est du Brésil). Thèse, Doc. 3^è Cycle, INPL-ENSG Nancy, 24-06-88.
- BOURGUIGNON A. (1988) - Origine des formations paradérivées et orthodérivées acides du Limousin Central. Une source possible pour les leucogranites uranifères. Thèse, Univ. Claude Bernard Lyon-I, 14-10-88, 220 p.
- BOUTALEB M. (1988) - Reconstitution de l'évolution tectono-métamorphique, magmatique et hydrothermale du district stannio-wolframifère de Walmes (Maroc Central). Implications métallogéniques. Thèse, doc. Etat, INPL Nancy, 326 p., CRPG.
- DAHIRE M. (1988) - Granites et leucogranites peralumineux du Brezouard et du Bilstein (Vosges moyennes) : caractères pétrographiques, géochimiques et minéralogiques. Thèse 3^{ème} Cycle, Univ. Nancy-I, 21 janv. 88, 184 p.
- DIA A. (1988) - Caractères et signification des complexes magmatiques et métamorphiques du secteur de Sandikounda-Laminia (Nord de la boutonnière de Kedougou, Est Sénégal). Un modèle géodynamique du Birrimien de l'Afrique de l'Ouest. Thèse Doc. Etat, Dakar, 18 oct. 88, 370 p.
- DJAMA L.M. (1988) - Le massif granitique de Mfoubou et le socle métamorphique de Guena (Chaîne du Mayombe, Congo). Pétrologie, géochimie, géochronologie. Thèse, 3^è Cycle, Univ. Nancy-I, 03-06-88.
- FRANCE-LANORD C. (1988) - Métasomatose alcaline et minéralisations uranifères : les albitites du gisement de Lagoa Real (Bahia, Brésil) et exemples complémentaires de Xihuashan (SE Chine), Zheltorechensk (Ukraine) et Chhuling Khola (Népal Central). Thèse Doc. INPL, Nancy, 15 nov. 1988.
- HAIMEUR J. (1988) - Thèse
- KAHOUI M. (1988) - Etude d'un complexe granitique différencié et de sa couverture volcanique. Incidence métallogénique. Cas du djebel Drissa (Massif des Eglabs, Algérie). Thèse Univ. Nancy-I, 18 nov. 88.
- LO P. (1988) - Le volcanisme quaternaire de Dakar (Sénégal occidental): particularités pétrographiques, caractères géochimiques, implications pétrogénétiques. Thèse Univ. Nancy-I, 31 mai 88, 177 p.
- MOULAHOU M. (1988) - Qualité du magmatisme d'âge Pan-Africain ; aspects structuraux et pétrologiques des granites sub-alcalins et aluminés de la région de Tamanrasset (Hoggar Central - Algérie). Thèse, Univ. Nancy-I, 1-4-88.
- NJEL U.O. (1988) - L'étude des séries précambriennes de Poli (Cameroun). Thèse 3^{ème} Cycle, INPL Nancy, juillet 88.

Assistance en INFORMATIQUE et MATHEMATIQUES APPLIQUEES

L'Equipe de Recherche en Informatique et Mathématiques Appliquées a été sollicitée pour des prestations de services ou une assistance technique dans différentes études pour des organismes extérieurs. On trouvera une liste succincte des thèmes abordés ci-dessous.

Ces relations avec l'industrie font partie de notre activité normale et sont indispensables pour assurer un débouché à nos étudiants que ce soit au niveau DEA, DESS ou 3ème cycle. Si l'on fait un bilan sur ces cinq dernières années, la plupart ont trouvé un emploi. (WILD, INRS; RAOULT, CFP; ORENGO, CISI; EPITALON, Société de Services en Informatique; MERY, Cerchar; VERMOT-CAUCHY, Rank Xerox; Ma, SNEAP; HELIOT, Schlumberger,...).

Il est dommage que dans le cadre de la politique de restructuration du CNRS, un minimum vital n'ait été maintenu dans cette équipe. Sur 3 postes libérés pour diverses raisons (décès, départ en retraite et mutation) aucun n'a été renouvelé. De cinq permanents, cette équipe a été réduite à deux personnes (JACQUEMIN, ROYER). Il est évident que si la situation actuelle se maintient, une restructuration de l'équipe sera nécessaire dans un proche avenir. Celle-ci risque de se faire en fonction d'une conjoncture à cours termes, pas nécessairement dans un secteur aussi porteur que celui de l'informatique.

Synthèse pétrographique, géochimique et cartographique du Massif du Millevaches (MCF).
(M. Marchal, J.J. Royer, J.M. Stussi)
en coll avec CEA & CREGU
1988-89 contrat CREGU-CNRS

"Analyse d'images appliquée à l'étude des traces sismiques post-stack" (J.J. Royer)
1988-89- Contrat SNEAP INPL.

Etude Isotopique et datation d'un forage du Bassin Hydrogéologique de Vittel (Vosges). (J.J. Royer) En coll. avec Equipe Isotopique du CRPG..
1988 Contrat Société des Eaux-CNRS.

CONTRATS PUBLICS

Commission des Communautés Européennes:

Projet GEOCAD: Développement de logiciels dans le domaine de la modélisation géométrique et infographie appliqués à l'exploitation minière.
Contrat CEE 1987-89

Contrats Industriels:

Projet CADOIL: Simulation et modélisation de réservoirs.
Partenaires: SNEAP, CFP, Université de Stanford

- 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

ANNEXE III

**Données sur la production
des Laboratoires d'analyses
et des ateliers**

du 1er janvier 1988 au 31 décembre 1988

1 - Atelier de Broyage : préparation pour analyse ou séparation de minéraux	
. Broyage	821
. Porphyrisations	1231
. Standard GA : 12000 g porphyrisés	
. Standard BE-N : 13000 g porphyrisés	
 2 - Atelier de Lames Minces	
. Lames minces couvertes	675
. Lames minces polies	377
. Lames épaisses à inclusions	568
. Lames à polir	68
. Lames minces grand format	-
. Sections polies	141
. Rafrâchissements et démétallisation	115
. Dressages et polissages d'échantillons	28
. Rondelles de protection pour platine microthermométrie	60
 3 - Laboratoire de Rayons X : minéralogie et textures	
. Diffractogrammes	1765
. Figures de texture avec figures de pôles	10
 4 - Laboratoire de Spectrochimie	
. Dosages "éléments majeurs et mineurs" (27 éléments, nbr. éch.)	4003
. Dosages de terres rares (11 éléments, nbr. éch.)	2148
. Dosages de U et Th	1008
. Dosages de Nb et Zr	144
. Dosages de potassium	57
 5 - Laboratoire de Chimie	
. Analyses de roches, minéraux et minerais :	
analyses complètes "éléments majeurs" (13 éléments)	130
dosages partiels et complémentaires	5020
. Dosages dans les fluides naturels ou expérimentaux	997
 Total évalué en unités d'oeuvre	 172 302
pour mémoire : évaluation pour 1986-1987	395 000

