



**HAL**  
open science

## Centre de recherches pétrographiques et géochimiques : rapport annuel 1995-1998

- Centre de Recherches Pétrographiques Et Géochimiques

► **To cite this version:**

- Centre de Recherches Pétrographiques Et Géochimiques. Centre de recherches pétrographiques et géochimiques : rapport annuel 1995-1998. [Rapport de recherche] CNRS. 1998, 195 p. hal-01358131

**HAL Id: hal-01358131**

**<https://hal-lara.archives-ouvertes.fr/hal-01358131v1>**

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.

C R P G

Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques

# RAPPORT D'ACTIVITÉ

1995

-

1998



CENTRE NATIONAL  
DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE



3 5400 01746438 0

b 138 124 27

4624



# AVANT-PROPOS



## AVANT-PROPOS

Ce document présenté au comité scientifique du CRPG le 17 juin 1998 décrit les activités de recherche du C.R.P.G. (UPR A9046) depuis janvier 1995. Il fait également état des perspectives de recherche du centre pour la période 1999 - 2003.

This document presents the research completed over the past four years by the scientists from Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques - CNRS (UPR 9046), and includes a summary of proposed research projects for the future. It was presented to the CRPG-CNRS evaluation committee on the 17<sup>th</sup> June 1998.

**John Ludden**  
Directeur  
Septembre 1998

### COMITÉ SCIENTIFIQUE / SCIENCE EVALUATION COMMITTEE

**Philippe VIDAL** (Directeur Adjoint de l' INSU),  
**Gérad VIVIER** (Délégué régional pour la Région Nord Est),  
**Georges CALAS** (Président du Comité, Professeur Univ. Paris 7),  
**Hervé CHAMLEY** (Professeur Univ. Lille 1),  
**Catherine CHAUVEL** (Directeur de Recherche CNRS Rennes),  
**Norbert CLAUER** (Directeur de Recherche CNRS Strasbourg),  
**Bernard DUPRÉ** (Directeur de Recherche CNRS Toulouse, représentant la section 11),  
**Albrecht HOFMANN** (Professeur Univ. Mayence),  
**Daniel VIELZEUF** (Directeur de Recherche CNRS Clermont, représentant la section 13),  
**John LUDDEN** (Directeur de Recherche CNRS, Directeur du CRPG),  
**Peggy GEORGES** (représentante des étudiants),  
**Pierre BARBEY** (Professeur Univ. Nancy 1, représentant des enseignants-chercheurs),  
**Marc CHAUSSIDON** (Directeur de Recherche CRPG, représentant des chercheurs CNRS),  
**Denis MANGIN** (TCE CRPG, représentant des ITA).



## SUMMARY

The research staff of the Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques (CRPG) - CNRS consists of fifteen CNRS scientists and eleven university based geoscientists from the Ecole Nationale Supérieure de Géologie (ENSG) and from the Université Henri Poincaré(Nancy). They are supported by a staff of forty research technicians and engineers. Approximately thirty students enrolled in PhD programmes work at the Centre.

The research carried out at the CRPG falls into five broad fields :

**Cosmochemistry and Early Earth processes**

**Chemical geodynamics**

**Modelling of fluid - rock interaction**

**The reconstruction of Earth's past and present environments**

**The stabilisation and dispersion of pollutants**

All of these research themes benefit from an impressive analytical infrastructure, the CRPG being one of the best equipped geochemistry and petrology laboratories in Europe. Over the past four years, adding to the existing analytical capacity of the Centre, a Cameca 1270 IMS ion microprobe was installed as a national facility and a rare gas isotope facility has been established. In addition, the Service d'Analyse des Roches et Minéraux housed by the CRPG, expanded its analytical potential, setting up a new ICP-MS instrument dedicated to ultra-trace element analysis. In association with the ENSG, the Centre is also the home base for a 3d modelling consortium (gOcad) which now comprises more than 50 industrial and academic members.

Recently hired research scientists are involved in the fields of properties of silicate systems at high temperatures, structural evolution of basins, and He-geochronology applied to neo-tectonics. Future posts will be orientated towards, the geochemistry of micro-particles (cosmic and atmospheric),

sedimentary geochemistry involving isotopic tracers, kinetics of mineral transformation, and numerical modelling of geological processes. A new ICP-MS sector (Micromass Isoprobe) instrument will be installed in the laboratory in 1999. Funding procedures are in progress for the purchase of a new automated stable-isotope mass spectrometer, reconstruction of the Cameca 3f ion-probe, and purchase of a second rare-gas mass spectrometer.

Of particular note over the past four years are, the excellent record of publication of approximately 200 papers in highly ranked journals, including 18 in Nature, Science and Geology, the re-launch of Geostandards Newsletter, now incorporating papers on analytical geochemistry with those reporting on geological reference materials, and a significant increase in the contractual research budget of the Centre. The latter, excluding salaries, now stands at about 3 million francs and represents 60% of the operating budget of the Centre.

For further information please consult our WWW site:

<http://www.crbg.cnrs-nancy.fr/>

# SOMMAIRE

<b>BILAN ET PERSPECTIVES</b>	<b>3</b>
<b>ORGANISATION INTERNE - NOUVEL ORGANIGRAMME</b>	<b>25</b>
<b>LES THÈMES DE RECHERCHE</b>	<b>33</b>
THÈME 1 : COSMOCHIMIE ET TERRE PRIMITIVE	35
THÈME 2 : GÉODYNAMIQUE INTERNE	39
THÈME 3 : INTERACTIONS FLUIDE-ROCHE	47
THÈME 4 : ENVIRONNEMENTS ACTUEL ET ANCIENS	59
THÈME 5 : DISPERSION ET STABILISATION DES POLLUANTS	67
<b>LES ACTIVITÉS DES CHERCHEURS, ENSEIGNANTS- CHERCHEURS ET INGÉNIEURS DE RECHERCHE</b>	<b>73</b>
<b>LISTES DES PUBLICATIONS ET DES COMMUNICATIONS À CONGRÈS</b>	<b>117</b>
<b>LES CONTRATS DE RECHERCHE</b>	<b>149</b>
<b>LES DOCTORANTS</b>	<b>157</b>
LISTE DES THÈSES EN COURS	159
LISTE DES THÈSES SOUTENUES	161
DEVENIR DES JEUNES DOCTEURS	163
<b>LES SERVICES</b>	<b>165</b>
LE SARM	167
LE SERVICE NATIONAL DE LA SONDE IONIQUE	171
GEOSTANDARDS NEWSLETTER	175
<b>LA FORMATION PERMANENTE</b>	<b>181</b>
<b>LE BILAN DU COMITÉ HYGIÈNE ET SÉCURITÉ</b>	<b>185</b>
<b>LE RAYONNEMENT DU CRPG</b>	<b>193</b>
PARTICIPATIONS AUX INSTANCES LOCALES	195
PARTICIPATIONS AUX INSTANCES NATIONALES	197
PARTICIPATIONS AUX INSTANCES INTERNATIONALES	199
OUVERTURES SUR LE GRAND PUBLIC	201
REVUE DE PRESSE	203

# BILAN ET PERSPECTIVES



# LE BILAN DEPUIS QUATRE ANS

## LES ÉQUIPES DE RECHERCHE

Le centre a été mis en restructuration par les sections 11 et 13 du CNRS en 1993. Un nouveau projet a été élaboré en 1994 et un nouveau directeur nommé en janvier 1995. Jusqu'en janvier 1999, le centre aura été structuré autour de trois équipes qui présentent chacune une approche analytique commune (terrain et modélisation, analyse isotopique, expérimentation):

- Dynamique de la Lithosphère et Modélisation - **DLM**
- Géochimie Isotopique - **GI**
- Minéraux, Matériaux et Expérimentation - **MME**

La première de ces équipes avait pour but la poursuite des programmes de recherche traditionnels du CRPG. Les deux autres équipes, grâce aux outils isotopique et expérimental, marquaient l'évolution du centre vers des thématiques de recherche nouvelles: la cosmochimie et la formation de la Terre primitive, l'étude des paléo-environnements et l'impact des activités anthropiques sur l'environnement. Cinq thèmes de recherche résument l'activité scientifique du centre, il s'agit de:

- Cosmochimie et Terre primitive
- Géodynamique interne
- Interaction eau - roche
- Environnements actuel et ancien
- Stabilisation et dispersion des polluants

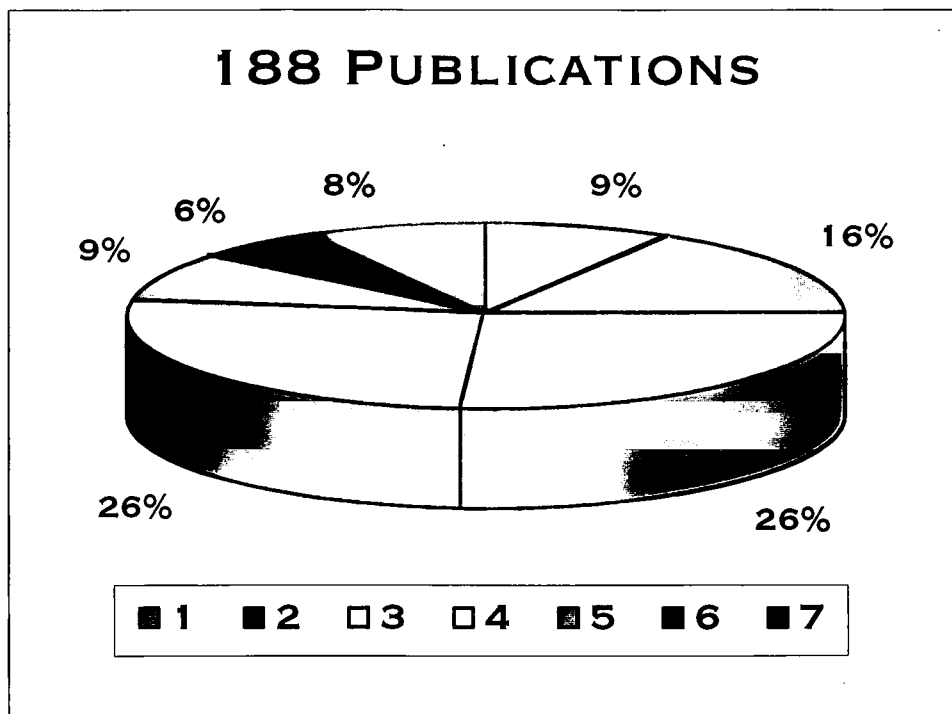
## ACTIVITÉS SCIENTIFIQUES

Les résultats en publications et en contrats de recherche, ainsi que notre succès au sein des programmes INSU témoignent de la qualité du travail effectué dans le cadre de ces cinq thèmes de recherche. La rubrique « Thèmes de recherche » vous donnera un résumé des activités, depuis janvier 1995, pour chaque thème, ainsi que les perspectives, incluant les nouveaux chantiers de recherche, entre 1999 et 2002.

### PUBLICATIONS

La présentation de la répartition des publications de rang A du Centre (Figure 1) démontre très bien ses forces avec une moyenne de 50 publications par an, soit deux par chercheur

et par an. 10% de nos articles paraissent dans les revues Nature, Science et Geology et globalement 50% de nos publications sont éditées dans les meilleures revues en pétrologie et géochimie.



*Figure 1 : Répartition des publications de rang A du CRPG sur la période 1994 - 1998. Le nombre entre parenthèses indique la quantité d'articles parus dans la revue.*

- ①

NATURE (8), SCIENCE, (3), GEOLOGY (5)
- ②

REVUES FRANÇAISES (30) : BULL. SOC. GÉOL. FRANCE (5) , C.R.A.S. (PARIS) (24), GEODIN. ACTA (1).
- ③

GÉOCHIMIE (50) : CHEM. GEOL (15)., EARTH PLANET. SCI.LETT. (16), GEOCHIM. COSMOCHIM. ACTA (19).
- ④

PÉTROLOGIE (50) : AMER. J. SCI. (1), AMER. MINERAL. (4), CAN. MINERAL. (5), CONTRIB. MINERAL. PETROL. (9), EUR. J. MINERAL. (10), J. METAMORPH. GEOL. (1), J. NON CRIST. SOLIDS (2), J. PETROL. (7), LITHOS (5), MINERAL. MAG. (3), SCANNING MICROSC. (3).
- ⑤

GÉOLOGIE STRUCTURALE ET GÉOLOGIE ÉCONOMIQUE (16) : CAN. J. EARTH SCI. (5), ECON. GEOL. (6), J. STRUCT. GEOL. (2), MINER. DEPOS. (2), PRECAMBRIAN RES. (1).
- ⑥

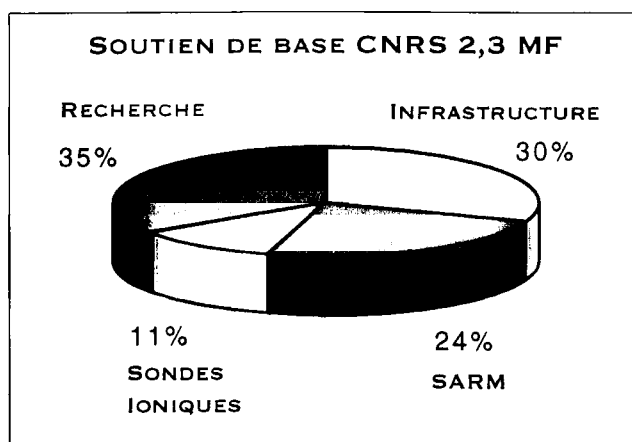
GÉOPHYSIQUE ET MODÉLISATION (11) : COMPUT. GEOSCI. (1), GEOPHYSICS (1), J. GEOPHYS. RES. (3), MATH. GEOL. (2), TECTONOPHYSICS (3).
- ⑦

DIVERS (15) : ECLOGAE GEOL. HELV. (1), EUR. J. SOIL SCI. (1), GEODERMA (1), GEOSTANDARDS NEWSLETT. (7), INT. J. HEAT MASS TRANSFER (2), J. VOLCANOL. GEOTHERM. RES. (1), WATER RESOUR. RES. (1), WATER SCI. TECHNOL. (1).

## CONTRATS DE RECHERCHE

Durant la période 1995-98, le CRPG a participé à de nombreux programmes INSU et contrats de recherche. Hormis le SARM qui affiche un chiffre d'affaires d'environ 2 MF (dont ~ 1 MF est versé à l'INSU), le CRPG dépend d'une façon importante des contrats de recherche comme le montre la nette progression depuis 1995 du rapport Fonds propres

INSU/contrats de recherche (cf figure 2). En moyenne depuis 4 ans, le CRPG a reçu ~ 800 KF/an en contrats de la CE, ~500 KF/an en contrats privés, ~400 KF/an en contrats CEA et ANDRA. Le CRPG participe activement aux divers programmes de l'INSU avec en moyenne 400 KF/an accordés en 1997 et 1998.



## BUDGET GLOBAL CRPG ~ 4,4 MF

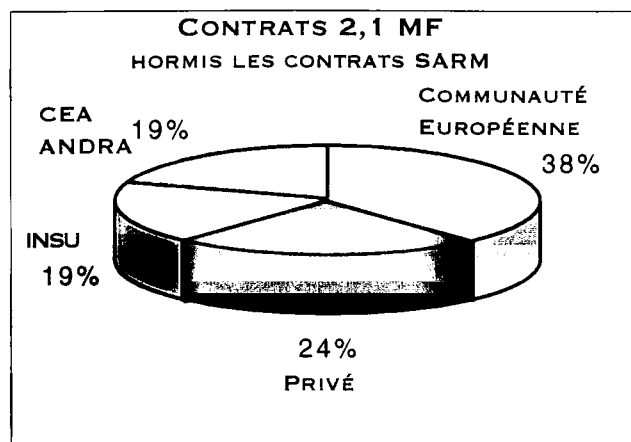


Figure 2 : Le budget du CRPG

## THÈSES ET DOCTORANTS

Une liste des thèses en cours et soutenues depuis 1995 vous est donnée dans le chapitre Doctorants.

Actuellement, le CRPG compte 29 étudiants inscrits en thèses dans les universités nancéiennes associées au CRPG (INPL ou UHP). La répartition par

équipe est la suivante : 11 en GI, 8 en MME et 10 en DLM. 8 étudiants bénéficient d'une bourse MENRT, 7 d'une bourse INPL, 4 d'une bourse ADEME, 3 d'une BDI, et 7 de bourses d'origines diverses.

## EQUIPEMENT

Le CRPG est un centre de recherche en géochimie des mieux équipés au monde. Il est important d'assurer la jouvence de notre parc analytique et de faire évoluer les différentes techniques analytiques tout en conservant une bonne adéquation en ressource ITA

### LABORATOIRE DE GAZ RARES

Les opérations principales réalisées ces quatre dernières années sont principalement la mise au point d'un spectromètre VG5400 Micromass en analyse de routine des gaz rares et de la composition isotopique de l'azote ainsi que le développement des lignes associées d'extraction sous ultra-vide par broyage et par sonde laser CO<sub>2</sub> (ces lignes permettent d'obtenir des blancs très bas à hauteur de 1500 atomes pour <sup>3</sup>He par exemple). Les sensibilités obtenues pour He, N et Ar sont respectivement de 7x10<sup>-4</sup>, 2,6x10<sup>-4</sup> et 4x10<sup>-4</sup> Amp/Torr. Les performances, en ce qui concerne la mesure de la composition isotopique de N, sont

les meilleures obtenues jusqu'à présent au niveau mondial (blancs de 5x10<sup>-13</sup> mole et analyse isotopique de 5x10<sup>-12</sup> mole d'N<sub>2</sub> à ± 1‰) ce qui rend possible l'analyse individuelle de grains lunaires ou météoritiques de 0.1-1 mg contenant de l'ordre du ppm de N.

À ces opérations, se rajoutent la construction d'une ligne automatique d'extraction des gaz rares des fluides pour déterminer les paléotempératures et la jouvence d'un spectromètre ancien (1978) VG 603 pour l'Argon (transféré d'un laboratoire de Grenoble)

### SONDE IONIQUE CAMECA 1270

Le projet sonde ionique à grande sensibilité ims 1270, lancé en juin 1990 a abouti en janvier 1997 par la livraison du cinquième exemplaire de sonde ims 1270 fabriqué par Cameca, premier exemplaire équipé d'un système de mesure en multicollecion. L'installation par Cameca de l'instrument a été terminée à l'automne 1997. Actuellement deux chercheurs, deux thésards et 1,5 ITA ont été formés au CRPG pour utiliser la sonde. Depuis avril, des utilisateurs extérieurs ont commencé à venir faire des mesures sur la sonde.

Les premières techniques mises au point sont (1) la datation U/Pb des zircons et (2) la mesure des rapports isotopiques <sup>18</sup>O/<sup>16</sup>O sur des silicates. La sensibilité pour le Pb est de ~ 20cps/nA/ppm, ce qui est équivalent ou meilleur que les performances de la SHRIMP II australienne. La

précision pour la datation de zircons récents (100Ma) atteint actuellement ≈±5Ma. En ce qui concerne la mesure des rapports <sup>18</sup>O/<sup>16</sup>O, la reproductibilité externe en monocollection est <±1‰ et des précisions de l'ordre de ±0.4-0.6‰ sont atteintes sur les standards.

Les développements actuels concernent (1) l'augmentation de la précision des mesures isotopiques par l'utilisation du système de multicollecion qui doit être profondément remanié en juillet 1998 et (2) le développement de l'analyse isotopique de micro-particules par imagerie ionique. À partir de juin 1998 la sonde sera ouverte ≈1 semaine par mois en service national d'analyse avec pour objectif de passer à ≈2 semaines début 1999.

### LABORATOIRE DES RAYONS-X

Ce laboratoire serait déplacé cette année sur le site du nouveau Pôle Eau à Vandoeuvre (décision finale en attente de l'approbation du Comité Directeur de la FR-ILG). Ce laboratoire ainsi que ces deux agents ITA seraient affectés à la Fédération

de recherche. Un diffractomètre rayons-X nouvelle génération sera mis au service de la FR-ILG et installé dans le nouveau laboratoire dans le courant de cet été.

## ISOPROBE MICROMASS

L'installation au CRPG en octobre 1998 d'un ICP-MS à secteur magnétique et multicollection (Isoprobe) construit par la société Micromass est le résultat d'un contrat européen ayant pour but le développement technologique ouvert sur différents domaines d'application. Le Projet (contrat Mesures et Essais n° SMT4-CT 98-2220 - Development of a high precision isotope ratio measurement using multi-collector ICP-MS PRISMS), associe le constructeur et plusieurs partenaires, dont le CRPG. Les autres partenaires scientifiques du projet relèvent de l'océanographie (Southampton, UK et le Laboratoire d'Études Radio Écologiques de la Façade Atlantique, CEA), des sciences de la santé (Universidad de Oviedo, Espagne), ou de l'agriculture (Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Food safety and quality group, UK). Dans ce projet, qui a démarré en mai 1998, le CRPG est responsable des développements analytiques

(mesures isotopiques de haute précision) en utilisant le système ICP-MS-secteur associé à un système de filtrage d'ions (hexapole) et un système de détection en multicollection (16 collecteurs). En plus de l'analyse de solutions, l'analyse ponctuelle sera rendue possible grâce à un couplage avec un laser de type Excimer, qui sera construit au printemps 1999 par un de nos partenaires, la société allemande 4D Ingenieuresellschaft für Technische Dienstleistungen. Les performances, démontrées par les tests déjà effectués, sont très prometteuses que ce soit pour la sensibilité, de l'ordre de  $10^9$  ions/sec/(mg/l), pour les limites de détection atteintes pour de nombreux éléments ( $<0.1$  ng/l pour Pb) ou encore pour la précision de la mesure des rapports isotopiques ( $<0.002\%$  par exemple pour une analyse isotopique  $^{144}\text{Nd}/^{143}\text{Nd}$  d'une solution contenant 0,1 ppm de Nd durant 20mn).

## LABORATOIRE D'EXPÉRIMENTATION

Le laboratoire d'expérimentation du CRPG a connu une extension importante au cours des derniers quatre ans. De nombreux développements ont été réalisés, principalement dans le cadre des thématiques concernant (1) l'altération des verres et (2) la cosmochimie. Des réacteurs basse température ont été construits pour l'étude de l'altération de verres et de minéraux par des solutions marquées avec l'ajout d'un isotope. Deux fours Gero, fonctionnant à haute température ( $<1700^\circ\text{C}$ ) sous atmosphère contrôlée (gamme de  $\approx 20$  unités log de  $f\text{O}_2$  possible), ont été installés. Un protocole expérimental, unique en son genre, permettant d'établir et de contrôler des pressions

partielles d'alcalins ( $\text{PK}_g$  et  $\text{PNa}_g$ ) à haute température et sous  $f\text{O}_2$  contrôlée, a été développé de façon à quantifier le partage des alcalins dans le système gaz-silicate-métal. Enfin, une version améliorée du réacteur «nébulotron», initialement construit au Muséum d'Histoire Naturelle de Paris, est en train d'être conçue et en voie d'être montée. Cet appareil est destiné à reproduire expérimentalement les réactions d'évaporation, de condensation et photochimiques supposées régner lors de la formation de la nébuleuse protosolaire ( $T < 2400^\circ\text{C}$ , atmosphère contrôlée, pression variable entre 1bar et  $10^{-4}$ bar, flux UV).

## STATION DE TRAVAIL SILICON GRAPHICS

Cette station achetée dans le cadre du plan État - Région, a été installée dans les locaux de l'ENSG

pour l'équipe Dynamique de la Lithosphère et Modélisation.

## GEOSTANDARDS NEWSLETTER

La décision a été prise en 1996 de demander au Dr. Philip Potts de l'Open University et Mireille Polvé (Université de Toulouse) de remplacer Kuppusami Govindaraju en tant qu'éditeurs scientifiques du journal. G. Manhès (IPGP) ainsi

que J. Carignan (CRPG) font partie du groupe des éditeurs associés. L'édition du journal reste au CRPG et sa gestion financière est assurée par l'Association Scientifique pour la Géologie et ses Applications (ASGA) de Nancy ; l'ASGA ayant le



statut d'éditeur. Le directeur du CRPG reste directeur du journal. À la suite de ces changements au sein du bureau d'édition, nous avons pris la décision de modifier son mandat en ajoutant aux sujets traités classiquement par le journal, la publication de techniques d'analyse. Cette nouvelle orientation est soulignée par le sous-titre du journal. « Geostandards Newsletter : The Journal of Geostandards and Geoanalysis », et par le contenu

du premier volume nouvelle formule, le Volume 21, numéros 1 et 2. Ce créneau nous semble plus ouvert aux développements importants attendus, étant donné l'évolution rapide des techniques d'analyses en ICP-MS, sonde-ionique, spectrométrie, FT-IR, etc. Une demande de subvention (en cours d'évaluation) pour l'édition du journal a été soumise à l'INSU en 1997.

## CONVENTIONS ET CONTRACTUALISATION

La région de Nancy étant en contractualisation en 1997, le CRPG a réévalué sa place au sein du milieu géoscientifique nancéien. Le centre est resté Unité Propre du CNRS tout en renforçant ses liens avec les universités en proposant des conventions de recherche. Le CRPG est considéré comme un laboratoire de recherche de l'INPL et héberge actuellement 8 enseignants chercheurs de l'INPL (4 professeurs, 4 maîtres de conférences), ainsi que

1 professeur et 2 maîtres de conférences de l'UHP-Nancy1. Nous avons l'intention d'associer un maître de conférence supplémentaire de l'INPL en 1999 (B. Laumonier de l'École des Mines). Il est à noter que trois nouveaux professeurs nommés à l'INPL seront intégrés au CRPG, il s'agit de Sergueï Shapiro en 1997, de Mary Ford et Guy Libourel en 1998.

## COLLABORATION AU SEIN DE LA FR-ILG

Le CRPG fait partie d'une Fédération de Recherche (FR) créée en janvier 1997. En plus du CRPG, cette fédération regroupe l'UMR «Laboratoire Environnement et Minéralurgie», l'UMR «G2R-CREGU», l'UPR «Centre de

Pédologie Biologique», ainsi qu'une équipe de l'ENSAIA le «Laboratoire Sols et Environnement». En tout ~ 100 chercheurs CNRS et enseignement supérieur, 150 ITA, ainsi que plus de 100 étudiants en thèse sont identifiés au sein de la FR-ILG.

La FR-ILG a affiché trois projets fédérateurs, auxquels participe le CRPG :

Déchets et risques environnementaux

Imagerie et modélisation à l'échelle micrométrique

Mise au point analytique de l'analyse isotopique de l'hydrogène dans les systèmes eau - matière organique

Le CRPG participe également à deux groupes de travail mis en place par la FR-ILG, l'un en

métallogénie, et l'autre en géologie structurale.

## BÂTIMENT

Grâce en grande partie à une aide importante de la Délégation Nord-Est, le CRPG a apporté plusieurs améliorations techniques sur son site ainsi que dans ses laboratoires de recherche :

### Travaux financés par le CNRS

Remplacement complet de l'installation électrique du centre (93/94)	2.624MF
Construction du bâtiment sonde-ionique 1270 (1994)	680 KF
Installation d'un système de climatisation et d'une boucle d'eau glycolée réfrigérée pour le bâtiment sonde (1994),	170KF

Rénovation complète de la chaufferie (1997)	456 KF
Rénovation des sanitaires ( 1997)	33 KF
Ravalement complet du centre et de ses annexes (en cours)	755 KF
Rénovation complète de l'étanchéité de la toiture (en cours)	100 KF
Réfection du parking planifié début juillet 1998,	134 KF
Remplacement de la clôture ( 350m) derrière le centre , fin juin 1998,	60 KF

#### **Travaux réalisés sur les fonds propres du centre**

Agrandissement du laboratoire d'expérimentation  
Réalisation d'une boucle de refroidissement étendue aux autres laboratoires que la sonde 1270  
Aménagement du laboratoire de gaz rares  
Aménagement de bureaux pour les étudiants (ancien appartement de direction)  
Aménagement et déplacement du bureau Geostandards Newsletter  
Agrandissement de l'imprimerie  
Construction d'un laboratoire de séparation de minéraux  
Construction d'une salle blanche Pb  
Reconstruction complète de la salle blanche principale du CRPG (travaux en cours)

#### **Travaux assurés par les fonds du SARM et du CRPG**

Peinture de tous les laboratoires SARM  
Construction d'une salle propre  
Construction d'un laboratoire pour la nouvelle ICP-MS  
Aménagement d'une salle de balance  
Aménagement d'une salle informatique  
Réfection et déplacement du bureau de gestion des échantillons  
Installation de la climatisation au laboratoire de chimie (travaux en cours)

# LE VISAGE DU CRPG EN 1999

## LES ÉQUIPES DE RECHERCHE

Le départ de sept chercheurs (voir tableau ci-après), dont deux directeurs de recherche de l'équipe DLM, l'arrivée de nouveaux chercheurs ou enseignants-chercheurs au cours de ces 3

Départs et arrivées au centre depuis Janvier 1995 :

ARRIVÉES	DÉPARTS
Ludden John DR1 - (Directeur) Ohnenstetter Maryse DR2 (MME) Ohnenstetter Daniel CR1 (MME) Toplis Mickael CR2 (MME) Shapiro Sergueï Pr2 (DLM) Boyd Stuart CR1 (GI) **Ford Mary Pr2 Raphaël Pik CR2 ** sous réserve de confirmation du CNU à noter : Brown W. DR1 Emérite en 97 (MME)	Bertrand Jean-Michel DR2 (DLM) Boullier Anne-Marie DR2 (DLM) *Desmons Jacqueline *Macaudière Jean Pr1 (DLM) *Saupé Francis CR1 (GI) *Stussi Jean-Marc CR1 (DLM) *Zimmermann Jean-Louis CR1 (DLM)  * retraite en 1998

Face à ces changements, nous proposons pour janvier 1999 une répartition en trois nouvelles équipes: **Géochimie**, **Pétrologie** et **Modélisation 3D**, qui représentent les forces analytiques du CRPG.

Si les équipes de *Géochimie* et de *Pétrologie* remplacent peu ou prou les anciennes équipes du CRPG, il est à noter que la création de l'équipe *Modélisation 3D* reflète l'émergence d'une composante spécialisée dans la modélisation des objets et des structures géologiques (logiciel gOcad et arrivée de deux nouveaux professeurs à l'ENSG : Sergueï Shapiro en géophysique et Mary Ford en géologie structurale).

Les équipes regroupent des chercheurs ayant une approche analytique commune (analyse géochimique ; expérimentation et caractérisation

dernières années ainsi que la nomination prochaine de nouveaux professeurs ENSG-INPL, imposent de fait la modification de la structure des équipes de recherche.

minéralogique des matériaux géologiques ; observations structurales et modélisation numérique). Les chercheurs de chaque équipe participent à l'animation des cinq thèmes de recherche, que nous avons légèrement modifiés, et que nous vous présentons dans la rubrique «Thèmes de Recherche». Les tableaux suivants résument la répartition des chercheurs et ingénieurs de recherche (tableau 1), des thèses soutenues (tableau 2), des thèses en cours (tableau 3) et des visiteurs longue durée (tableau 4) au sein de nos cinq thèmes de recherche :

- **Cosmochimie et Terre primitive**
- **Géodynamique interne**
- **Interaction fluides-roche**
- **Environnements actuel et ancien**
- **Stabilisation et dispersion des polluants.**

**TABEAU 1 : LES CHERCHEURS,  
ENSEIGNANTS-CHERCHEURS ET  
INGÉNIEURS DE RECHERCHE EN OCTOBRE 1998**

	COSMOCHIMIE ET TERRE PRIMITIVE	GÉODYNAMIQUE INTERNE	INTERACTIONS FLUIDES-ROCHES	ENVIRONNEMENTS ACTUEL ET ANCIENS	STABILISATION ET DISPERSION DES POLLUANTS
Michel Arnold (CR CNRS)					
Pierre Barbey (Pr. UHP-Nancy1)					
Stuart Boyd (CR CNRS)					
William Brown (DR CNRS Emerite)					
Jean Carignan (IR CNRS)					
Françoise Chalot-Prat (MC UHP-Nancy1)					
Bernard Charoy (MC ENSG)					
Marc Chaussidon (DR CNRS)					
*Alain Cheilletz (Pr. ENSG)					
Etienne Deloule (CR CNRS)					
*Mary Ford (Pr. ENSG)					
Christian France-Lanord (DR CNRS)					
Dominique Gasquet (MC ENSG)					
Gaston Giuliani (MC ORSTOM)					
Pierre Jacquemin (IR CNRS)					
Christian Le Carlier (IR CNRS)					
Jacques Leterrier (CR CNRS)					
*Guy Libourel (Pr. ENSG)					
John Ludden (DR CNRS)					
Jean-Laurent Mallet (Pr. ENSG)					
*Christian Marignac (Pr. EMN)					
Bernard Marty (Pr. ENSG)					
Daniel Ohnenstetter (CR CNRS)					
Maryse Ohnenstetter (DR CNRS)					
Raphaël Pik (CR CNRS)					
Alain Ploquin (CR CNRS)					
Laurie Reisberg (CR CNRS)					
Jean-Jacques Royer (IR CNRS)					
Sergueï Shapiro (Pr. ENSG)					
Michael Toplis (CR CNRS)					

\* Sous réserve de confirmation par le CNU des classements proposés par la Commission de Spécialistes

**TABLEAU 2 : LES THÈSES\* SOUTENUES AU TRAVERS**

**DES THÈMES DE RECHERCHE DU CRPG**

\* LE DÉTAIL DES SUJETS EST DONNÉ  
DANS LE CHAPITRE DOCTORANTS

	COSMOCHIMIE ET TERRE PRIMITIVE	GÉODYNAMIQUE INTERNE	INTERACTIONS PLANCHES PROFONDES	ENVIRONNEMENTS ACTUEL ET ANCIENS	STABILISATION ET DISPERSION DES POLLUANTS
AILLÈRES LAURENT		■			
AÏT ETTAJER TAOUFIK			■		
AÏT MALEK HALIMA		■			
ALTHOFF FERNANDO					
ARNAUD FLORENCE					
BOUSHABA ABDELLAH		■			
CASES-COLLET SYLVIE					
CHAROY NATHALIE					
COGNOT RICHARD					
CONRAUD JOEL					
DIOP-BINETA CATHERINE		■			
FEBVAY-CHOFFEL LAURENT					■
FICHTL PATRICK					
FIRDAOUS KARIMA		■			
GÉRARD BENOÎT					
HANON PASCAL	■				
JABBORI JAMILA		■			
LAVEST PASCAL					
LE FORESTIER LYDIE					■
MAHÉ CÉCILE					■
DE MESQUITA BARROS CARLOS		■			
RAJABZADEH MOHAMAD			■		
RAKOTOMANANA DOMINIQUE					
RIBEIRO-ALTHOFF ANA MARIA					
SAMSON PHILIPPE			■		
STERPENICH JÉRÔME					■
VALLE PINTO CRISTINA		■			
THÈSES D'HABILITATION À DIRIGER DES RECHERCHES					
CHAUSSIDON MARC	■				
FRANCE-LANORD CHRISTIAN				■	
GIULIANI GASTON					
LIBOUREL GUY					■

**TABLEAU 3 : LES THÈSES\* EN COURS AU TRAVERS DES THÈMES DE RECHERCHE DU CRPG**

\* LE DÉTAIL DES SUJETS EST DONNÉ DANS LE CHAPITRE DOCTORANTS

	COSMOCHIMIE ET TERRE PRIMITIVE	GÉODYNAMIQUE INTERNE	INTERACTIONS FLUIDES-ROCHES	ENVIRONNEMENTS ACTUEL ET ANCIENS	STABILISATION ET DISPERSION DES POLLUANTS
M'BÉ ADOU (D. Gasquet)					
JÉRÔME ALÉON (M. Chaussidon)					
PAVEL ALEXANDROV (A. Cheilletz)					
PASCAL AUDIGANE (J.J. Royer)					
JOCELYN BARBARAND (M. Pagel)					
YANNICK BRANQUET (A. Cheilletz)					
STÉPHANE CONRAUX (J.L. Mallet)					
SYLVIE DECITRE (E. Deloule)					
AYALEW DEREJE (B. Marty)					
SARAH DEWONCK (B. Marty)					
ISABELLE DUVINAGE (J.L. Mallet)					
NICOLAS EULER (J.L. Mallet)					
ALBERT GALY (C. France-Lanord)					
PEGGY GEORGES (G. Libourel)					
FRANCK HUMBERT (B. Marty et G. Libourel)					
MAGALI LECOUR (J.L. Mallet)					
BRUNO LEVY (J.L. Mallet)					
OLIVIER MARIEZ (J.L. Mallet)					
KAREN PAIRAZIAN (J.L. Mallet)					
ANNE PESLIER (J. Ludden)					
A. CATHERINE PIERSON-WICKMANN (L. Reisberg)					
CLAIRE ROLLION (C. France-Lanord et M. Chaussidon)					
ESTELLE ROSE (M. Chaussidon et C. France-Lanord)					
CATHERINE ROUMET (G. Libourel)					
BRUNO SABOT (A. Cheilletz)					
DAVID SEGONDS (J.L. Mallet)					
MUSTAPHA SOUHASSOU (C. Marignac)					
LAURENT TISSANDIER (M. Chaussidon et G. Libourel)					
NATHALIE VALLE (G. Libourel)					
WOLFGANG VELTEN (J.L. Mallet)					
SOPHIE VISEUR (J.L. Mallet)					
PREMIÈRES INSCRIPTIONS EN OCT. 1998 SOUS RÉSERVE DE L'ATTRIBUTION D'UNE BOURSE DE RECHERCHE					
NICOLAS DAUPHAS (B. Marty et L. Reisberg)					
CHRISTINE MEYZEN (J. Ludden et M. Toplis)					
OLIVIER ROUXEL (J. Ludden et Y. Fouquet)					

**TABLEAU 4 :**  
**LE CRPG A ACCUEILLI ...**

	DATES DE SÉJOUR	COSMOCHIMIE ET TERRE PRIMITIVE	GÉODYNAMIQUE INTERNE	INTERACTION FLUIDES-ROCHES	ENVIRONNEMENTS ACTUEL ET ANCIENS	STABILISATION, ET DISPERSION DES POLLUANTS
<b>CHERCHEURS HAUT NIVEAU</b>						
GEORGE JENNER - Memorial Univ. N. Fdl, Canada	Nov. et Déc. 1997					
KURTIS KYSER - Queens Univ., Kingston Ont., Canada	Sept. à Déc. 1998					
MINORU OZIMA - Univ. Tokyo	Oct. à Déc. 1995 Juin - Juil. 1996					
IGOR TOLSTIKHIN - Kola Science Center, Russie	Déc. 95 - Oct. 96 Mars à Mai 1997					
GEZAHEGN YIRGU - Univ. Addis Abeba, Éthiopie	Juil. à Oct. 1998					
<b>CHERCHEURS POST-DOCTORAUX</b>						
CRISTIAAN BEETS - Univ. Amsterdam	Oct. 94 à Oct. 96					
MARC DIRAISON - Univ. Rennes	Jan. à Sept. 98					
KO HASHIZUME - Univ. Osaka	Avril 98 à Avril 99					
LYDIE LE FORESTIER - CRPG	Sept. 96 à Sept. 98					
RAPHAËL PIK - Univ Marseille	Sept. 97 à Sept. 98					
ARBEN SHTUKA - CRPG	Jan.. 95 à Juin 97					
<b>STAGIAIRES</b>						
MARC CONSTANTIN - IFREMER, Brest	2 mois sur 94 et 95					
ERIC DELAPERRIERE - Univ. Montpellier	2 mois en 1995					
GRACIETE DIAS - Univ. du Minho, Portugal	1 mois par an					
PAULO FORTES -Univ. Brasilia	Déc. 94 et Janv. 95					
WEIMIN FU - Inst. Tech. Kunning, Chine	Nov. 95 et Nov. 96					
PIERRE KAMGAN - Univ. Yaoundé	Mai à Juil. 96					
HELENA MARTINS - Univ. Vila Real, Portugal	1 mois par an					
ANABELA MENDES - Univ. du Minho, Portugal	1 mois par an					
HASSAN OUGIR - Univ. Meknès	4 mois sur 95-96-97					
ANNA PEREGODOVA- Inst. Géophysique et Géologique, Novosibirsk	Jan. à Juil. 95 Mars - Avril 97					
PEDRO PINTA SIMOES - Univ. du Minho, Portugal	1 mois par an					

## BESOINS EN RECHERCHE 1999-2003

Les départs mentionnés ci-dessus (mutations et retraites) ont affecté le potentiel de recherche du CRPG. La poursuite du développement des actions entreprises entre 1995 et 1998 et la réactualisation de nos activités dans le cadre des 5 thèmes de recherche, nécessitent de nouveaux recrutements. **Six profils de recherche** sont présentés ici, afin d'exploiter au maximum les thématiques et le potentiel analytique du centre pour les quatre prochaines années.

### GÉOCHRONOLOGIE DES PROCESSUS SUPERFICIELS.

Méthodes nouvelles de datation des fluides et roches : U-Th-Pb-He par sonde ionique, ICP-MS secteur magnétique et spectrométrie gaz rares ; datation des processus crustaux de basse température. Déséquilibres U-Th dans les roches magmatiques et dans les eaux souterraines et de surface : contraintes sur les échanges eau - roche

et sur les temps de séjour. Utilisation des isotopes cosmogéniques ( $^3\text{He}$  et  $^{21}\text{Ne}$ ) pour la détermination des cinétiques d'altération-transport d'une part, et des processus néotectoniques, d'autre part. Raphaël Pik recruté dès Octobre 1998 correspond à ce profil de recherche.

### COSMOCHIMIE/TERRE PRIMITIVE

Du milieu interstellaire aux planétésimaux. Anomalies isotopiques et radioactivités éteintes par sonde ionique ims 1270, ICP-MS secteur magnétique. Détermination expérimentale des

fractionnements chimiques et isotopiques dans la nébuleuse solaire primitive. Comportement des éléments volatils lors des processus de différenciation.

### GÉOCHIMIE DES MICROPARTICULES

Développement des techniques de micro-analyse isotopique par sonde ionique et sonde laser. Applications au traçage des circulations atmosphériques par l'analyse d'aérosols.

Applications à l'analyse des microparticules extra-terrestres (sphérules cosmiques, retour d'échantillons cométaires et martiens).

### GÉOCHIMIE ENVIRONNEMENTALE

Le domaine de recherche recouvre la géochimie basse température appliquée aux processus de surface et sédimentaire, l'altération et l'érosion continentale, les échanges océans - continents. L'accent sera mis sur le développement et l'application aux sols et aux roches sédimentaires

de nouvelles techniques (ICP-MS Secteur magnétique pour les isotopes stables et radiogéniques et/ou sonde ionique ims 1270) en conjonction avec les approches analytiques plus classiques.

### ALTÉRATION DES MINÉRAUX ET DES VERRS

Etudes expérimentales. Cinétique et mécanismes de dissolution et de précipitation. Comportements élémentaires et isotopiques. Applications : géodynamique chimique, durabilité

chimique des matériaux anthropiques et dispersion des polluants dans la biosphère. Compétences : minéralogie, cristalochimie, chimie des solutions, thermodynamique et cinétique.

### MODÉLISATION NUMÉRIQUE

Application de codes thermodynamiques à la modélisation numérique de la mobilité des fluides dans la croûte. Modélisation numérique des propriétés physiques pendant la déformation.

Possibilités d'interactions au sein du projet «Imagerie et modélisation à l'échelle micrométrique» de la FR-ILG.



## NOUVEAUX EQUIPEMENTS ANALYTIQUES

Le plan de développement analytique du CRPG s'insèrera dans le prochain plan Etat-Région de quatre ans de la fédération de recherche ILG qui doit être déposé en 1999. Le SARM a présenté à son comité de gestion CNRS-INSU un plan quinquennal de jouvence et d'acquisition d'équipement qui sera évalué au coup par coup par le comité ad-hoc équipement de l'INSU. En ce qui concerne le CRPG, l'état des lieux est présenté sur le tableau ci-après et la réalisation des opérations suivantes est souhaitée:

### SPECTROMÈTRE DE MASSE ISOTOPES STABLES (~ 1,2 MF)

Le laboratoire des isotopes stables réalise depuis une vingtaine d'années les mesures des rapports isotopiques D/H,  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ,  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  et  $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$  avec deux spectromètres de masse VG 602D et VG 602 installés en 1977 et 1978 (24 000 analyses H-C-O et 6200 analyses de S réalisées à ce jour). Ces appareils fonctionnent toujours et ont subi plusieurs cures de jouvences et développements, mais leurs performances sont actuellement dépassées par rapport aux instruments

modernes, notamment du point de vue de la sensibilité. Un nouveau spectromètre de masse isotopes stables est donc absolument nécessaire pour le développement des thématiques de recherche en environnement, paléo-environnement et tous les domaines où les isotopes stables sont des traceurs privilégiés. Cet instrument par sa grande sensibilité, permettra d'assurer une complémentarité d'approche analyse globale-analyse in situ avec la sonde ionique ims 1270.

### MICROSONDE ÉLECTRONIQUE (CONTRIBUTION ~ 1 MF)

Les laboratoires de l'ILG souhaitent le remplacement de la sonde électronique Cameca SX50 (installée en 1988) du service commun de micro-analyse situé dans laboratoire de caractérisation des matériaux de l'Université Henri

Poincaré-Nancy1. Cet instrument est destiné à servir toute la communauté nancéienne. L'utilisation par les chercheurs de la fédération de recherche ILG représente plus de 50% du temps machine.

### JOUVENCE DE LA SONDE-IONIQUE 3F (~ 1,0 MF)

La sonde ionique ims 3f est en service au CRPG depuis avril 1986. Depuis cette date, cet instrument a fonctionné 7 jours/semaine, 24h/jour avec un temps d'arrêt pour maintenance et développement d'environ 4 semaines par an en moyenne. Cette sonde a été le dernier modèle du type ims 3f fabriqué par Cameca qui, durant les 12 dernières années, a fait subir des développements technologiques majeurs à la lignée ims 3f qui ont abouti à la production des sondes ims 4f, puis 5f et 6f. Aujourd'hui la sonde ims 3f du CRPG est (1) vieillissante en particulier au niveau de la physique (métallisation de la plupart des parties portées à de hautes tensions) de l'électronique et de l'informatique (aujourd'hui totalement dépassées) et (2) sous-performante en termes de seuil de détection (problème de vide, de source primaire) et de précision (instabilités électroniques) par rapport à ce que l'on pourrait obtenir d'une telle

machine.

Cameca réalise couramment des jouvences des sondes ims 3f (120 appareils fabriqués) pour les amener au standard 5 ou 6f pour un coût d'environ 1MF, à comparer au coût de  $\approx 6$ MF pour l'achat d'une sonde neuve. Nous souhaitons réaliser cette opération pour ne pas laisser la sonde ims 3f «périr» (investissement de 3MF en 1986, plus  $\approx 100$ - $200$ KF annuels d'entretien depuis 1986). Une forte demande nationale existe pour des analyses ioniques qui ne nécessitent pas l'utilisation de la sonde à grande sensibilité ims 1270 (mesure in situ d'éléments en trace, analyses isotopiques «simples», ...). La sonde 3f, après jouvence, pourrait être accessible en service national comme la sonde ims 1270 (leurs informatiques de contrôle deviendraient d'ailleurs identiques facilitant ainsi la formation des utilisateurs extérieurs à l'analyse ionique).

1993 1994 1995 1996 1997 1998 1999 2000 2001 2002 2003

*Géochimie isotopique : gaz rares*

Grenoble-1978 ←

argon VG 603

ue d'analyse des gaz rares dans les eaux

spectromètre gaz rares-azote

spectromètre isotopes de l'He ?

*Géochimie isotopique : isotopes stables*

1978 ←

1977 ←

couplage GC-MS

spectromètre isotopes stables

*Géochimie isotopique : isotopes radiogéniques*

1981 ←

1989 ←

jouvence cages de Faraday multicollecion

Isoprobe (secteur magnétique, multicollecion)

1979 ←

chimie Pb et Li

ouvence salle de chimie isotopes radiogéniques

*Géochimie isotopique (+ service national 1270) : sondes ioniques*

1986 ←

jouvence sonde ims 3f

neca ims 1270

*Service d'analyse national : SARM*

1987 ←

jouvence ICP-AES JY70

(quadrupole) Elan 6000

## SPECTROMÈTRE DE MASSE STATIQUE, GAZ RARES ET AZOTE ( ~ 0,5 MF)

Le but de cette demande est de dédier un spectromètre à l'analyse des échantillons très faiblement concentrés en gaz rares ou en azote pour diminuer les problèmes de blancs et d'effet mémoire. Pour cela, nous avons la possibilité d'acquérir à un prix réduit ( $\approx 0,5$ MF) un nouveau

spectromètre produit par la société Analytical Precision (UK) pour l'analyse isotopique de N et des gaz rares, en échange de développements analytiques conduits au CRPG sur ce nouvel instrument.

## STATIONS DE TRAVAIL ( 150 KF)

Une station doit remplacer à brève échéance, le serveur actuel du CRPG (HP acheté en 1989). Deux

autres stations seront dédiées au groupe de modélisation numérique.

## AIDE TECHNIQUE À LA RECHERCHE

Depuis 10 ans, le CRPG a vu son potentiel ITA diminuer de façon significative. En effet, de 1987 à 1998, le bilan s'établit à -26,5 pour les ITA, alors qu'il est de +2 pour l'ensemble chercheurs - enseignants chercheurs. Cette évolution est en partie due à une diminution générale du nombre d'agents ITA actifs au sein des laboratoires CNRS, ainsi qu'au fait que le CRPG était assez bien doté en postes techniques par le passé. Je souligne le fait, qu'en ce moment, le centre a atteint sa masse critique en ITA, et une politique de diminution du nombre des ITA serait néfaste pour l'avenir du CRPG. La figure 3 illustre la répartition en âge du personnel du centre.

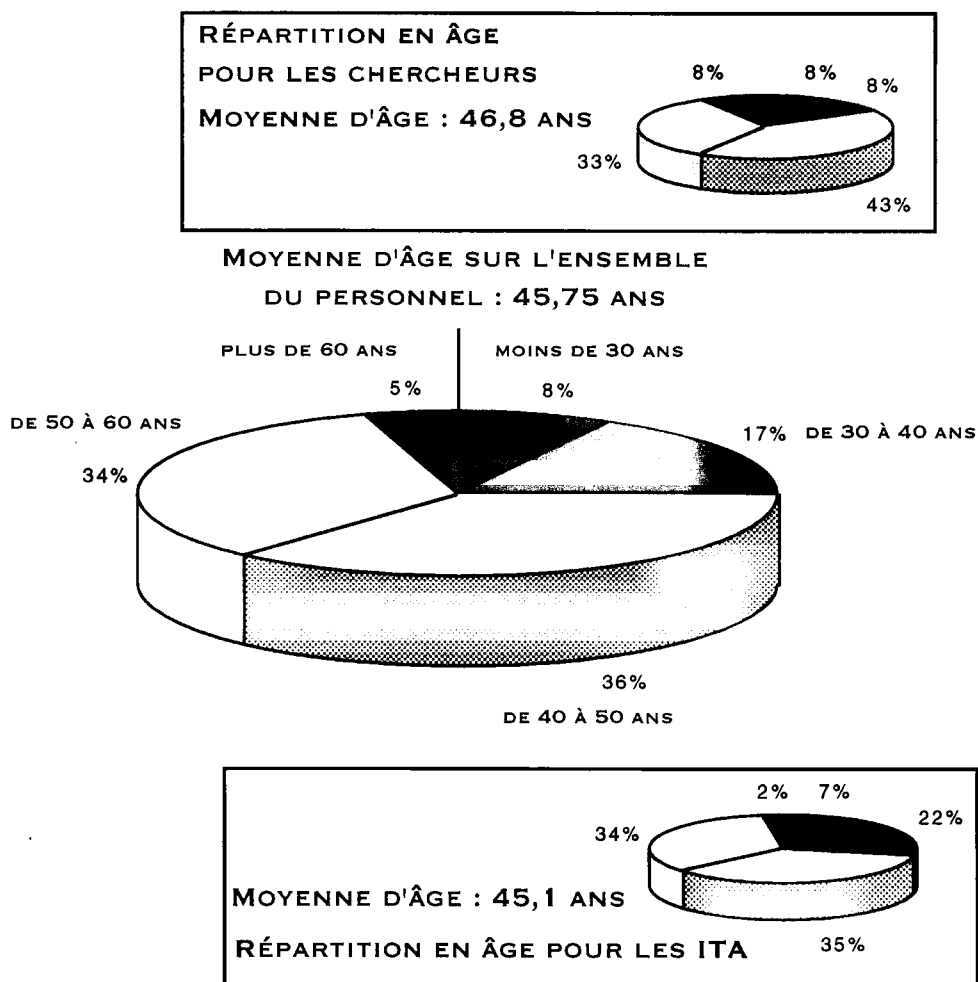


Figure 3 : Répartition en âge du personnel du CRPG

Les ITA sont groupés en trois catégories : Recherche CRPG ( 15 agents) ; Services et Geostandards Newsletter (10,5 agents) ; Direction, service général, services techniques du CRPG et de l'ILG (12), soit un total de 37,5 agents.

**Deux postes sont actuellement en nomination**

- un AI affecté au laboratoire des gaz rares ;
- un AJT affecté à 50% à l'atelier de broyage pour le SARM et à 50% au Service Général pour la maintenance du bâtiment.

**Un poste est en affichage**

- IE en remplacement du responsable du laboratoire de spectrochimie du SARM.

**Les postes suivants doivent être pourvus pendant les prochains quatre ans**

(A noter que la date de la demande dépendra de la date du départ en retraite de l'agent).

**DE 1999 À 2000**

**Technicien en lames minces** -en remplacement de deux agents (l'un partant en été 1998, l'autre fin 1999) . Cet agent sera affecté à la FR-ILG dans un nouveau laboratoire qui sera installé à l'ENSG.

**IE sonde-ionique** - en remplacement d'un agent (IR) parti en AFIP en 1996. Développement analytique des sondes-ioniques, gestion du Service National.

**IE isotopes stables** - en remplacement du responsable technique du laboratoire. Développement d'analyses d'isotopes stables, gestion du laboratoire.

**AI bibliothèque** - en remplacement de la responsable actuelle de la bibliothèque. Cette personne sera également responsable de la médiatisation du CRPG, ainsi que de l'organisation des ateliers, conférences et écoles thématiques.

**IR rayons-X** - en remplacement d'un agent (IE). Cet agent serait affecté à la FR-ILG (en attente de l'approbation du Comité Directeur de la FR-ILG), il s'installerait dans les nouveaux locaux du LEM sur le nouveau pôle eau NANCIE. Il serait responsable du développement en analyses par rayons-X.

**IR modélisation** - Nouveau poste affecté à la FR-ILG. Cet agent travaillera au sein du groupe gOcad au développement de logiciels et d'applications géologiques.

**DE 2000 À 2003**

**AJT Service Général** - assurera la maintenance technique du centre.

**IE Expérimentation** - en remplacement du responsable technique(IE). Cet agent assurera la gestion et le développement du laboratoire d'expérimentation.

**IE Électronicien - Analyste** : en remplacement du responsable (IE). Cet agent assurera le fonctionnement du parc de spectromètres de masse du centre

**T - Mécanique** : en remplacement du responsable (T) de l'atelier mécanique du CRPG. Cet agent sera affecté à la FR-ILG.

## **BÂTIMENT ET INSTALLATIONS ANNEXES**

Malgré l'amélioration sensible du bâtiment et des locaux techniques du CRPG pendant les derniers quatre ans, il reste des déficiences importantes à rectifier :

- Le groupe électrogène de secours nécessite de gros travaux d'entretien : échappement, amortisseurs, armoire de commande (100Kf)

- Le programme de mise en conformité des machines du CRPG doit être terminé. Suite à un audit de sécurité l'estimation est de 100 KF. 20 KF déjà débloqués par la Délégation Nord-Est.
- Suite à la rénovation de la chaufferie nous avons appris que notre réseau de distribution de gaz n'est plus conforme. Il faut prévoir une remise aux normes. Pas de devis car cela nécessite l'intervention d'un bureau d'études comme cela l'a été pour le réseau électrique.
- Suite à la rénovation de la clôture et pour d'importants problèmes de sécurité (effractions, vols et vandalisme) il est nécessaire de réinstaller un équipement lumineux devant et autour du CRPG. Pas de devis mais il faut prévoir au moins 100 KF
- A la demande de l'INSU, il faut envisager la réalisation pour les visiteurs d'un accueil hôtelier de « bon standing »

Le CRPG a commencé à transférer certaines activités sur d'autres sites de l'ILG. L'équipe «Modélisation 3D» est la première antenne du CRPG vers les autres structures de la FR-ILG, en effet, elle s'est installée sur le site de l'École de Géologie lors de la dernière rentrée universitaire en octobre 1997. Cette équipe sera imitée dans les prochaines années par certains services techniques.

## CONCLUSIONS

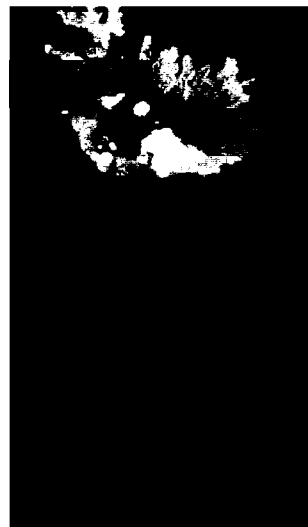
Le CRPG est, en ce moment, un des laboratoires les plus reconnus en géochimie et pétrologie. Il est un des centres les mieux dotés en appareils analytiques et tentera de continuer à améliorer son potentiel analytique lors du prochain projet quadriennal. Il est donc important de mettre en priorité le spectromètre de masse à source gazeuse dédié au laboratoire d'isotopes stables mais également de prévoir un plan de jouvence de notre parc instrumental. La sonde-ionique 1270 est installée au CRPG depuis 1 an, et nous avons déjà mis en route des applications analytiques en U/Pb et en <sup>16,17,18</sup>O. Une importante demande, au niveau national, pour certaines analyses par sonde ionique (minéraux, inclusions vitreuses etc.) nous amène à envisager sérieusement la révision de l'ancienne sonde 3f afin de mettre les deux instruments en service national. L'arrivée d'un nouveau chercheur, ainsi que les importants développements prévus dans le domaine des gaz rares (analyses atmosphériques) nécessitent l'acquisition d'instruments de base pour l'analyse des gaz rares, ainsi que la prévision, vers la fin du plan quadriennal, de l'achat d'un instrument en analyse dynamique. Si le centre possède des compétences uniques en analyse pétrologique et géochimique qui nous permettent d'exploiter au maximum les possibilités de notre parc d'instruments (y inclus le SARM), il faut toutefois garder

à l'esprit, que cela ne sera possible dans l'avenir, qu'en maintenant au niveau actuel le nombre de postes ITA au CRPG.

Le taux de publication est bon et les articles soumis, de façon quasi systématique, dans les meilleures revues scientifiques. Les nouveaux chantiers de recherche (Ethiopie, Kola, imagerie à l'échelle micrométrique, nébuleuse protosolaire, matériaux anthropiques) regroupant des chercheurs de chaque équipe s'inscrivent dans les programmes prioritaires de recherche affichés par l'INSU. La liste des six nouveaux postes de chercheurs identifiée témoigne de notre volonté de poursuivre le développement de nos thématiques de recherche et de valoriser le parc analytique en ouvrant de nouveaux projets (nouvelles techniques de datation, géochimie atmosphérique, modélisation numérique, etc.). Il est à noter, enfin, que la géologie de terrain garde toujours une place importante au sein de nos activités de recherche. La nomination d'un enseignant chercheur en tectonique pour 1998 sera donc importante et complémentaire au projet de recherche du centre.

**John Ludden,**  
**Directeur du CRPG-CNRS**  
**Juin 1998**

# ORGANISATION INTERNE



# ORGANISATION INTERNE DU LABORATOIRE

L'organigramme ci-joint présente la structure opérationnelle du CRPG. Cette structure se décompose en quatre volets :

- CRPG Recherche,
- CRPG Services
- CRPG Administration
- CRPG-ILG Laboratoires communs

## CRPG RECHERCHE

L'organisation des activités en recherche se développe autour de trois équipes : Géochimie, Pétrologie et Métallogénie 3D. Chaque équipe regroupe une série de laboratoires de recherche dont les différents ITA sont identifiés dans l'organigramme. Le responsable de l'équipe ainsi que les membres qui y sont associés assurent la gestion et le développement des laboratoires concernés.

## CRPG SERVICES

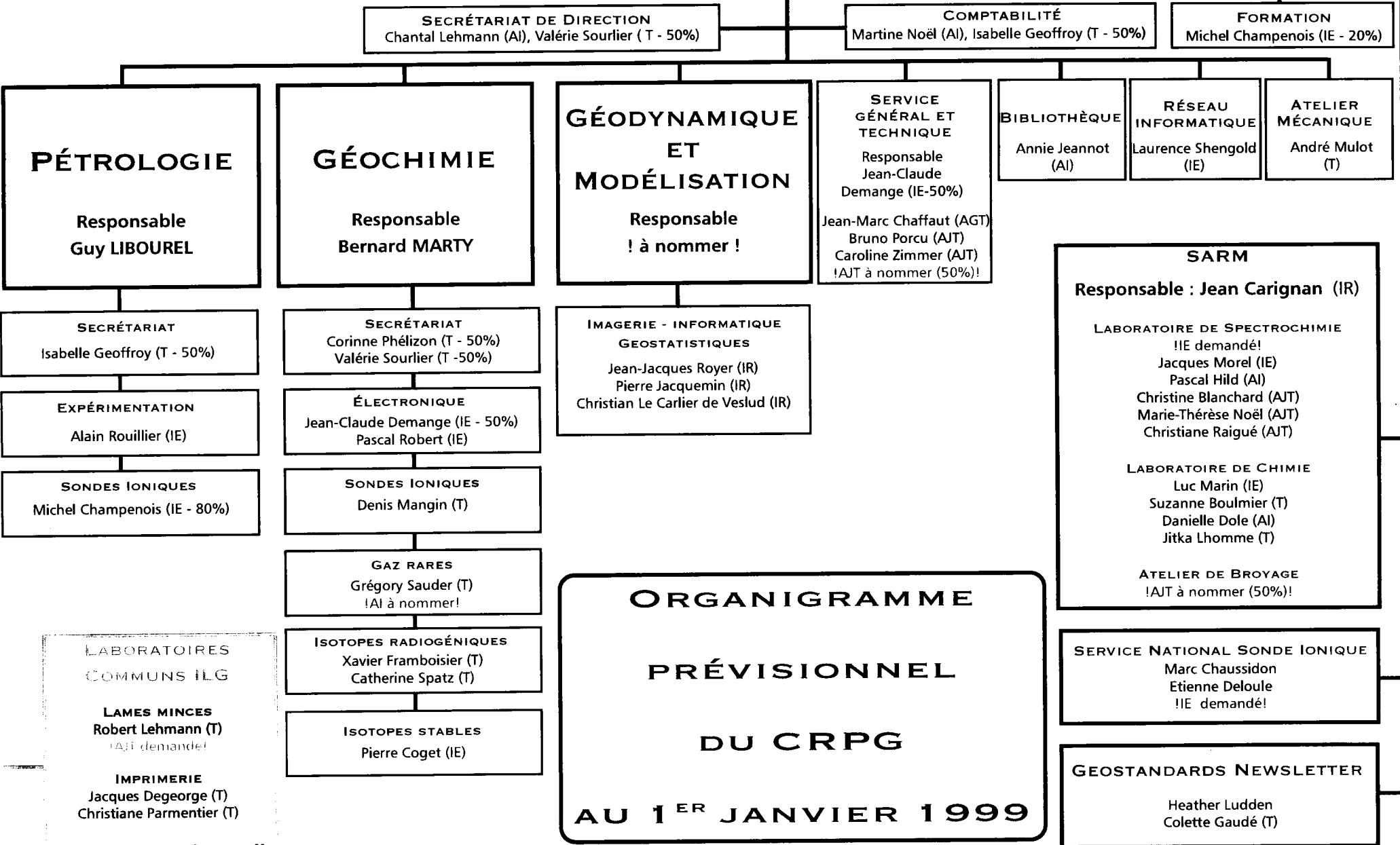
**Service d'Analyses de Roches et de Minéraux (SARM)** qui regroupe 11,5 agents ITA.

Le Service d'analyses est composé de deux laboratoires : Spectrochimie (7,5 ITA) et laboratoire de Chimie (4 ITA). Ce service (voir résumé joint) assure l'analyse de 5000 à 6000 roches et minéraux par an pour lesquels nous avons à faire face de plus en plus à des compositions très variées.

**Service Sonde ionique** qui est composé d'un groupe de 2 co-responsables et de 2 ITA, en attendant le recrutement d'un agent sur le poste attendu pour la gestion des demandes nationales. La sonde sera ouverte en service à 25 % de son temps à partir de septembre 1998.

**Geostandards Newsletter.** Ce service est géré par un agent engagé sous contrat par l'Association Scientifique pour la Géologie et ses Applications, avec l'aide d'un technicien et d'un titulaire de contrat CES (voir chapitre «Services»).

**Administration.** Sous cette appellation sont regroupés les services de secrétariat, de comptabilité et de formation permanente (4,2 ITA) ainsi que le service général et technique (4 ITA) et les trois services de : bibliothèque, réseau informatique et atelier mécanique (3 ITA).





## Liste des chercheurs CNRS

	Grade	HDR	Equipes CRPG (**)
ARNOLD Michel	CR1	X	P
BOYD Stuart	CR1	X	G
BROWN William	DR1	X	P
CHAUSSIDON Marc	DR2	X	G
DELOULE Etienne	CR1	X	G
• DESMONS Jacqueline	CR1	X	P
FRANCE-LANORD Christian	DR2	X	G
GIULIANI Gaston	détaché ORSTOM	X	G
LETERRIER Jacques	CR1	X	G
LUDDEN John	DR1	X	Directeur
OHNENSTETTER Daniel	CR1	X	P
OHNENSTETTER Maryse	DR2	X	P
PIK Raphaël	CR2	-	G
PLOQUIN Alain	CR1	X	P
REISBERG Laurie	CR1	-	G
• SAUPE Francis	CR1	X	ancienne GI
• STUSSI Jean-Marc	CR1	X	ancienne DLM
TOPLIS Mike	CR2	-	PMM
• ZIMMERMANN Jean-Louis	CR1	X	ancienne DLM

## Liste des enseignants - chercheurs

	Grade	Etablissement d'affectation (*)	HDR	Equipes CRPG (**)
BARBEY Pierre	PR	UHP	X	P
CHALOT-PRAT Françoise	MCF	UHP	-	P
CHAROY Bernard	MCF	ENSG	X	P
CHEILLETZ Alain	PR***	ENSG	X	G
FORD Mary	PR***	ENSG	X	M3D
GASQUET Dominique	MCF	ENSG	X	P
LIBOUREL Guy	PR***	UHP	X	P
• MACAUDIERE Jean	PR	ENSG	X	ancienne DLM
MALLET Jean-Laurent	PR	ENSG	X	M3D
MARIGNAC Christian	PR***	EMN	X	G
MARTY Bernard	PR	ENSG	X	G
SHAPIRO Sergei	PR	ENSG	X	M3D

• Retraite en 1998

HDR : Habilitation à Diriger des Recherches

(\*) UHP : Université Henri Poincaré-Nancy 1  
ENSG : Ecole Nationale Supérieure de Géologie

(\*\*) DLM : Dynamique de la Lithosphère et Modélisation (animateur : J. Ludden)  
GI : Géochimie Isotopique (animateur : B. Marty)

G : Géochimie (animateur : B. Marty)  
P : Pétrologie (animateur : G. Libourel)  
M3D : Modélisation 3D (animateur : J. L. Mallet)

(\*\*\*) Sous réserve de confirmation par le CNU des classements proposés par les Commissions de Spécialistes

## Liste des ITA CNRS

	<i>Corps /Grade</i>	<i>Quotité</i>
BLANCHARD C.	AJTP	1
• BLANCHARD J.P.	AI	1
BOULMIER S.	TCE	1
CARIGNAN J.	IR1	1
CHAFFAUT J.M.	AGT	1
CHAMPENOIS M.	IE2	1
COGET P.	IE 2	1
DEGEORGE J.	TCE	1
DEMANGE J.C.	IE1	1
DOLE D.	AI	1
FRAMBOISIER X	TCN	1
GAUDE C.	TCS	0,8
GEOFFROY I.	TCN	0,8
HILD P.	AI	1
JACQUEMIN P.	IR1	1
JEANNOT A.	AI	0,8
LE CARLIER DE VESLUD C.	IR2	1
LEHMANN C.	AI	0,9
LEHMANN R.	TCE	1
LHOMME J.	TCE	1
LHOTE F.	IR2	1
MANGIN D.	TCE	1
MARIN L.	IE2	1
• MEVELLE G.	IE1	1
MOREL J.	IE2	1
MULOT A.	TCS	1
NOEL M.	AI	0,8
NOEL M.T.	AJTP	0,8
PARMENTIER C.	TCN	0,8
PORCU B.	AJT	1
RAIGUÉ C.	AJTP	1
ROBERT P.	IE2	1
ROUILLIER A.	IE2	1
ROYER J.J.	IR1	1
• SANDRIN L.	AI	1
SHENGOLD Laurence	IE	1
SOURLIER V.	TCN	0,9
SPATZ C.	TCN	1
URIOT J.P.	IE2	1
ZIMMER C.	AJT	0,8

• Retraite en 1998

## CRPG-ILG LABORATOIRES COMMUNS

Une réflexion est en cours en ce qui concerne la rationalisation de certains laboratoires ou services des unités composant l'ILG au service de la communauté géoscientifique nancéienne. Au niveau du CRPG, il s'agit des lames minces, de l'imprimerie, et de la diffraction des Rayons X (5 ITA)

### LES CONSEILS

Le CRPG possède deux assemblées consultatives constituées de membres élus et nommés : le Conseil de Laboratoire et le Bureau de Direction

#### *Conseil de Laboratoire du CRPG*

##### Collège Chercheurs - Membres élus

<i>Anne Marie Boullier(--&gt;09/96)</i>	<i>Gaston Giuliani</i>
<i>Etienne Deloule</i>	<i>Maryse Ohnenstetter (dep. 09/96)</i>
<i>Christian France-Lanord</i>	<i>Laurie Reisberg</i>
<i>Dominique Gasquet</i>	<i>Alain Ploquin</i>

##### Collège Chercheurs - Membres nommés

*Pierre Barbey*  
*Bernard Marty*  
*Guy Libourel*

##### Collège ITA - Membres élus

<i>Paul Allé (--&gt; 09/96)</i>	<i>Denis Mangin</i>
<i>Michel Champenois</i>	<i>Guy Mevelle</i>
<i>Xavier Framboisier(dep. 09/96)</i>	<i>André Mulot</i>

##### Collège ITA - Membres nommés

*Jean Claude Demange*  
*Jacques Morel*  
*Jean-Jacques Royer*

##### Collège Étudiants - Membre élu

*Nathalie Charoy (--> 09/96)*  
*A. Catherine Pierson-Wickmann (dep. 09/96)*

#### *Bureau de Direction du CRPG*

##### Directeur du CRPG

*John Ludden*

##### Animateurs des équipes de recherche

*Dominique Gasquet*  
*Guy Libourel*  
*Bernard Marty*

##### Responsable«Service d'Analyses deS Roches et Minéraux»

*Jean Carignan*

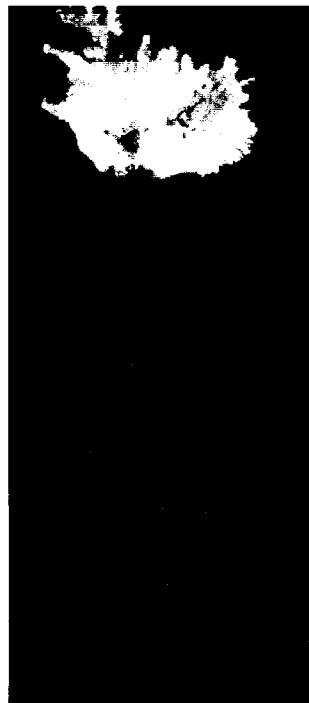
##### Responsable «Bâtiment- aménagement intérieurs»

*Jean Claude Demange*

##### Responsable «ITA»

*Michel Champenois*

**LES CINQ THÈMES  
DE RECHERCHE**



# COSMOCHIMIE ET TERRE PRIMITIVE

## PRÉSENTATION GÉNÉRALE DU THÈME

Le thème de recherche «Cosmochimie-Terre primitive» a été proposé pour la première fois comme thème à part entière au CRPG lors du dernier comité scientifique de 1994. L'émergence de ce thème vient du fait qu'une partie des moyens expérimentaux et analytiques réunis au CRPG doit permettre de faire des progrès significatifs et originaux dans cette thématique de recherche. En

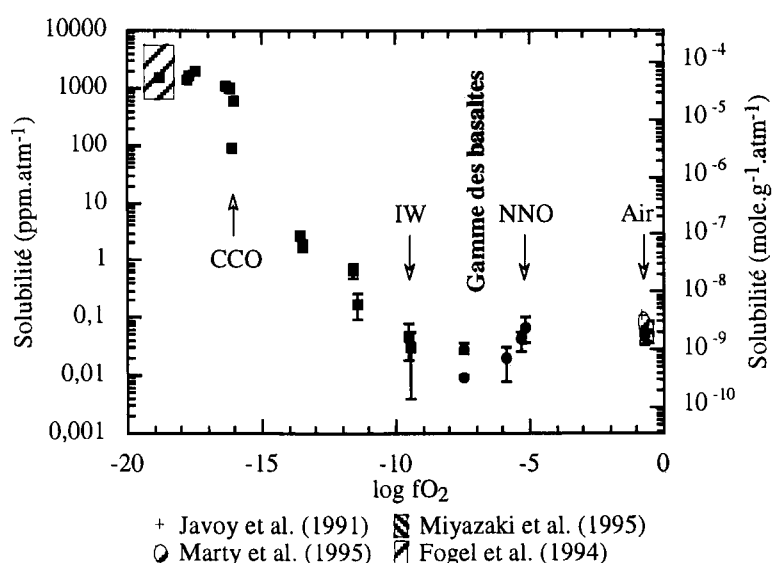
particulier, l'analyse isotopique des volatils par spectrométrie de masse et l'analyse isotopique «in situ» par sonde ionique ims 1270 sont deux des «fers de lance» analytiques du CRPG qui donnent la possibilité par leurs limites de détection et leur résolution spatiale de faire le lien entre une approche expérimentale et une approche analytique sur échantillons naturels.

## BILAN DES TRAVAUX CONDUITS LES 4 DERNIÈRES ANNÉES

Les principaux travaux conduits ces dernières années concernent (1) l'analyse des concentrations (H, Li, Be, B et C) et des compositions isotopiques (D/H,  $7\text{Li}/6\text{Li}$  et  $11\text{B}/10\text{B}$ ) des éléments légers dans les chondres, (2) la détermination expérimentale

de la solubilité de l'azote en conditions réductrices (Fig.1-Thème 1), (3) l'étude et la modélisation des compositions isotopiques primitives (B, N, gaz rares) de la Terre silicatée.

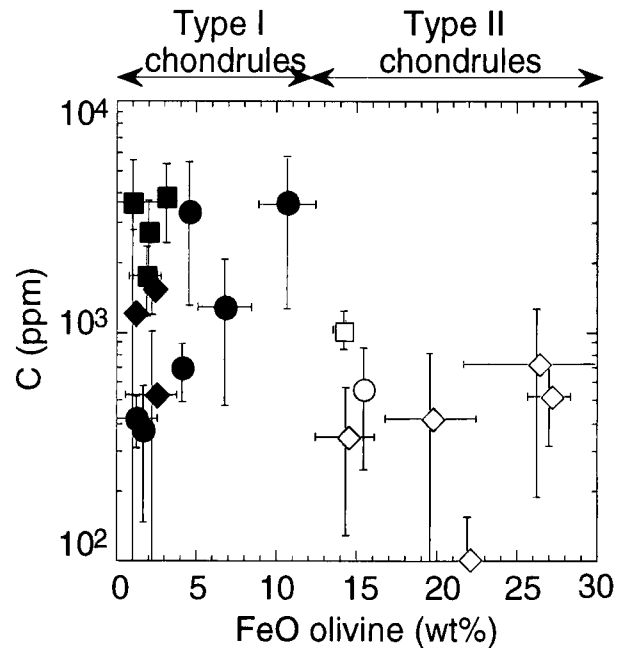
**Figure 1-Thème 1 :** Solubilité de l'azote dans un liquide silicaté de type N-MORB exprimée en ppm. $\text{Atm}^{-1}$  et en mole.g $^{-1}$ . $\text{Atm}^{-1}$  en fonction de la fugacité d'oxygène. Les solubilités sont calculées avec  $f\text{N}_2$  pour les conditions oxydantes jusqu'au tampon IW exclus (ronds) et sont calculées avec  $f\text{N}_2-1/2$  pour les conditions réduites à partir du tampon IW (carrés) inclus (Thèse Frank Humbert)



Ces études amènent des informations nouvelles à la fois sur des processus s'étant produits avant la formation du système solaire (e.g. nucléo-synthèse interstellaire du Li et du B) et lors de sa formation

(e.g. le comportement des éléments volatils depuis la formation des chondres jusqu'à l'accrétion des planétésimaux et de la Terre).

En particulier, l'analyse ponctuelle des chondres a démontré pour la première fois que ces objets étaient formés de précurseurs ayant une très grande hétérogénéité chimique et isotopique, ce qui accrédite l'idée selon laquelle la part dans la nébuleuse protosolaire de grains solides hérités du milieu interstellaire par rapport aux grains condensés à partir du gaz solaire est importante. Les rapports D/H typiques de valeurs interstellaires sont la démonstration la plus évidente du composant interstellaire dans les chondres. Cette découverte renouvelle les problématiques de recherche en cosmochimie car jusqu'à présent les inclusions réfractaires étaient considérées comme les seuls témoins des processus les plus primitifs s'étant produits lors de la formation du système solaire. On peut maintenant imaginer d'utiliser les chondres comme une nouvelle «fenêtre» vers la nébuleuse primitive et les processus présolaires. La relation entre les teneurs variables et élevées en C des chondres et leur état d'oxydation montrent par exemple le rôle potentiel de la matière organique interstellaire dans les premiers processus de différenciation métal-silicate du système solaire (Fig 2-Thème1). De même les variations des rapports  $^7\text{Li}/^6\text{Li}$  et  $^{11}\text{B}/^{10}\text{B}$  démontrées pour la nébuleuse protosolaire à partir des chondres permettent de faire un bilan au premier ordre des différentes sources nucléosynthétiques (nucléosynthèse lors du Big-Bang, nucléosynthèse stellaire et nucléosynthèse interstellaire) et des différents puits (e.g. astration) de ces éléments à l'échelle de la galaxie.



**Fig 2-Thème1** : teneurs en C dans les chondres en fonction de la teneur en FeO de l'olivine. Les chondres «réduits» de type I (olivines pauvres en FeO) contiennent en moyenne un ordre de grandeur de plus de C que les chondres «oxydés» de type II (olivines riches en FeO). Cette relation peut s'interpréter comme étant la trace de processus de différenciation métal-silicate des chondres gouvernés par les teneurs initiales en C des précurseurs des chondres. 4-5 wt% de C sont nécessaires parmi les précurseurs des chondres de type I pour produire lors de leur chauffage leur réduction et expliquer la présence de quelques milliers de ppm reliques de C restant à la fin de la réduction (Hanon et al., GCA 98)

## PROBLÉMATIQUE SCIENTIFIQUE POUR LES QUATRE PROCHAINES ANNÉES

La problématique scientifique des 4 prochaines années s'organise autour de deux «objets» principaux :

- (1) la nébuleuse protosolaire et
- (2) la Terre primitive (entre  $\approx 4.5$  et  $\approx 3.5$  Ga).

## (1) LA NÉBULEUSE PROTOSOLAIRE

La nébuleuse protosolaire peut être définie comme le mélange de gaz et de poussières, individualisé du milieu interstellaire, qui est le lieu des réactions de haute température conduisant à la formation des premiers corps solides du système solaire dont les chondres des météorites primitives sont les témoins. Bien que de nombreuses réactions (e.g. condensation, évaporation, ...) aient dû se produire dans cette nébuleuse protosolaire entre le gaz et les solides, les effets de ces réactions sur la composition chimique et minéralogique des premiers solides solaires, sur leur cristallinité ainsi que sur leurs compositions isotopiques restent très mal connus. Ceci constitue une des problématiques majeures de recherche en cosmochimie à l'heure actuelle. Si par exemple l'existence d'une anomalie isotopique du  $^{26}\text{Mg}$  dans les inclusions réfractaires de certaines chondrites est connue depuis plus de trente ans et si il a été démontré que cette anomalie provenait de la décroissance de l'isotope à courte période ( $0.9\text{Ma}$ )  $^{26}\text{Al}$ , il n'y a pas d'accord actuellement dans la communauté sur la source de l' $^{26}\text{Al}$  ni sur sa distribution dans les différents constituants de la nébuleuse protosolaire. Ces

incertitudes empêchent d'utiliser l'anomalie de  $^{26}\text{Mg}$  pour une datation fine des processus s'étant déroulés dans la nébuleuse protosolaire. De même l'anomalie de l' $^{16}\text{O}$  découverte il y a plus de trente ans est essentielle pour la compréhension de l'origine et la classification des solides du système solaire, mais elle reste très mal comprise : on ne sait pas notamment quelle est dans cette anomalie la part présolaire héritée et la part acquise dans la nébuleuse protosolaire.

Pour répondre à ces questions ce projet associera une approche expérimentale (reconstitution sous atmosphère contrôlée des réactions photochimiques, d'évaporation et de condensation s'étant produites dans la nébuleuse protosolaire) à une étude isotopique fine des différents constituants des météorites primitives. Les mesures isotopiques seront faites avec la sonde ionique ims 1270 qui permettra la mesure des compositions isotopiques dans les couches minces produites dans les expériences et l'analyse simultanée de plusieurs compositions isotopiques dans les chondrites.

## (2) LA TERRE PRIMITIVE

L'appellation Terre primitive correspond à la partie très ancienne de l'histoire de la Terre (entre  $\approx 4.5$  et  $\approx 3.5$  Ga) pour laquelle très peu de témoins géologiques subsistent. Cette partie de l'histoire de la Terre, bien que très mal connue, reste une des étapes essentielles de la formation de la Terre que ce soit pour la différenciation du manteau et du noyau, la formation des premiers océans et des premières atmosphères, la formation des premiers continents ou l'apparition de la vie. Les roches les plus anciennes disponibles sont quelques rares affleurements de roches ayant subi plusieurs phases de métamorphisme et d'altération depuis leur

formation. L'utilisation de la sonde ionique ims 1270 ou l'analyse des gaz rares par extraction laser rend possible une nouvelle étape de l'étude géochimique de ces roches par la possibilité d'analyser des micro-inclusions protégées en partie des transformations successives qui ont affecté la roche. Ce projet se focalisera sur l'étude d'un certain nombre de traceurs isotopiques (B, O, N, gaz rares) dans différents types de roches, notamment les roches métasédimentaires d'Isua (Groenland,  $\approx 3.8\text{Ga}$ ) et les cherts des localités de Warrawoona et Gorge Creek (Australie,  $\approx 3.5\text{Ga}$ ) et d'Onverwacht (Afrique,  $\approx 3.4\text{Ga}$ ).

## FINANCEMENTS

Ces travaux sont soutenus par le Programme National de Planétologie (PNP, CNES-CNRS), le Programme National de Chimie Interstellaire (PNCI, CNES-CNRS), le Programme Dynamique des Transferts Terrestres (DTT INSU-CNRS), le

Programme Terre Profonde (INSU-CNRS), un programme d'échanges franco-américains CNRS-NSF (DRI CNRS), le programme franco-autrichien Amadeus (Ministère des affaires étrangères) et le programme d'échange japonais CNRS-JSPS.

## CHERCHEURS-ÉTUDIANTS IMPLIQUÉS ET COLLABORATIONS

	Chondres	N et gaz rares	nébuleuse protosolaire	Terre primitive
<i>Chercheurs</i>				
M. Chaussidon	X		X	X
E. Deloule	X		X	X
G. Libourel	X	X	X	
B. Marty		X	X	X
M. Toplis			X	
<i>Post Doc</i>				
K. Hashizume 1997 - 99			X	X
<i>Thèses</i>				
P. Georges 1996-99			X	
P. Hanon 1994- 97	X			
F. Humbert 1994- 98	X			
L. Tissandier 1997-2000			X	

Ces travaux sont conduits grâce à plusieurs collaborations scientifiques très étroites au plan national (François Robert, Muséum d'Histoire Naturelle de Paris; Cécile Engrand et Michel Maurette, CSNSM) et international (John Wasson et Kevin Mc Keegan UCLA ; Minoru Ozima

Université de Tokyo et Mc Donnell Space Science Center de St Louis ; Igor Tolstikhin, Université d'Apatiti ; Christian Koeberl, Université de Vienne ; Gero Kurat, Museum d'Histoire Naturelle de Vienne ; Rainer Wieler, ETH Zurich).

## PRINCIPALES PUBLICATIONS RÉCENTES DU THÈME «COSMOCHIMIE-TERRE PRIMITIVE»

**Chaussidon M. & Marty B.** (1995) Primitive boron isotope composition of the mantle. *Science* **269**, 383-386.

**Chaussidon M. & Robert F.** (1995) Nucleosynthesis of  $^{11}\text{B}$ -rich boron in the presolar cloud recorded in meteoritic chondrules. *Nature* **374**, 337-339.

**Deloule E. & Robert F.** (1995) Interstellar water in meteorites ? *Geochim. Cosmochim. Acta* **59**, 4695-4706.

**Deloule E., Robert F. & Doukhan J. C.** (sous presse) Interstellar hydroxyls in meteoritic chondrules: implications for the origin of water in the inner solar system. *Geochim. Cosmochim. Acta*.

**Hanon P., Robert F. & Chaussidon M.** (1998) High carbon concentration in meteoritic chondrules : a record of metal silicate differentiation. *Geochim. Cosmochim. Acta* **62**, 903-913.

**Ozima M., Wieler R., Marty B. & Podosek F. A.** (1998) Comparative studies of solar, Q-gases and terrestrial noble gases, and implications on the evolution of the solar nebula. *Geochim. Cosmochim. Acta* **62**, 301-314.

**Tolstikhin I. N. & Marty B.** (sous presse) The evolution of terrestrial volatiles: a view from helium, neon, argon and nitrogen isotope modelling. *Chem. Geol.*



# GÉODYNAMIQUE INTERNE

Il s'agit d'un axe majeur et bien connu de l'activité du CRPG, qui a évolué durant la dernière décennie selon d'une part les (évolutions) progrès technologiques, notamment dans le cas de l'analyse isotopique, et d'autre part au rythme du départ et de l'arrivée de chercheurs ayant des domaines de compétences contrastés. Cette activité implique 14 chercheurs, qui y consacrent de 30% à 100% de leur temps. Elle se répartit selon 3 volets principaux :

**1- Les grands réservoirs terrestres**

**2- Les processus magmatiques**

**3- Les chantiers**

L'effort consacré au premier volet a surtout consisté d'une part à développer de nouveaux traceurs permettant de mieux caractériser les réservoirs mantelliques et crustaux, et d'autre part à poursuivre les études de dynamique crustale mises en oeuvre au centre ou dans d'autres laboratoires.

Le deuxième volet comprend une approche expérimentale concernant certaines propriétés spécifiques des liquides silicatés et de minéraux (thématique transverse avec le thème 5). Il comprend également l'étude (i) des mécanismes de transfert et de mise en place des magmas granitiques (approche structurale, pétrologique et géochimique), et (ii) ceux des chambres magmatiques hétérogènes, dont les chambres litées (approche pétrologique fine et de terrain). Il aborde enfin la métallogénie des roches ultrabasiques, thématique également transverse avec le thème 3 «Fluides et transferts».

Enfin, le centre a identifié des problèmes de géodynamique importants dans des contextes géologiques exceptionnels, et fédère son effort de recherche de terrain selon deux chantiers principaux : le point triple Afar, et le magmatisme alcalin de la péninsule de Kola. D'autres chantiers sont également en cours, notamment l'orogénèse alpine en Afrique du Nord, le Birimien et le Panafricain ouest-africains.

## LES GRANDS RÉSERVOIRS TERRESTRES

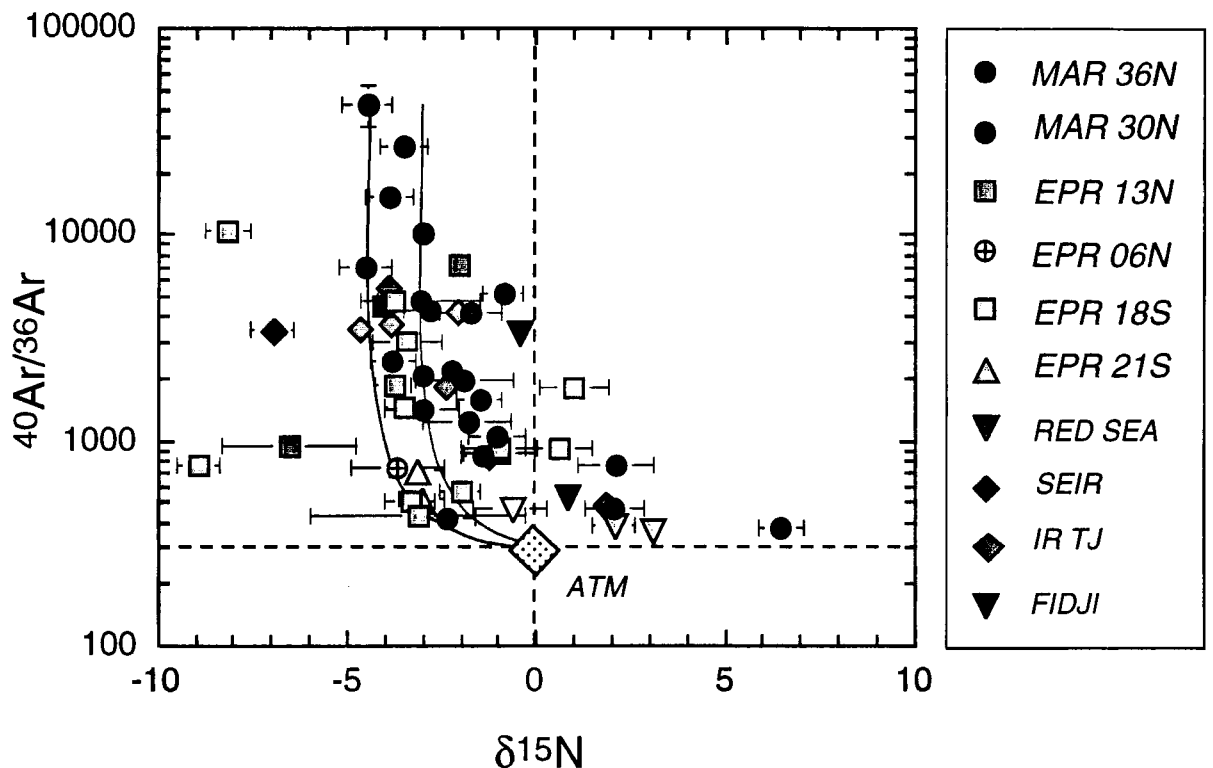
L'effort du centre dans le domaine de la Terre profonde porte sur la caractérisation des réservoirs mantelliques selon des traceurs isotopiques novateurs. Le développement de ces traceurs a résulté de la mise en oeuvre de méthodes analytiques novatrices telles que l'analyse isotopique par N-TIMS de Os, celle de H, Li et B par sonde ionique, et celle couplée de l'azote et des gaz rares par spectrométrie de masse statique.

Les principaux résultats concernent la

géochimie isotopique du bore, avec la mise en évidence de son rôle de traceur des processus d'assimilation et la première détermination de sa composition isotopique dans les différentes régions du manteau (manteau supérieur, source des OIB), et la géochimie isotopique de l'azote -couplage avec les gaz rares-, avec la première détermination de la composition de N dans le manteau supérieur, et la mise en évidence d'hétérogénéité isotopique de N dans le système Terre-Atmosphère, apportant

ainsi des contraintes fortes sur l'évolution précoce (période accréionnelle) de ce système (Figure 1-Thème2). Le rôle des panaches dans la

géodynamique terrestre au cours du temps a été abordé grâce à l'étude isotopique de l'hélium dans des échantillons anciens, ce qui a permis la mise

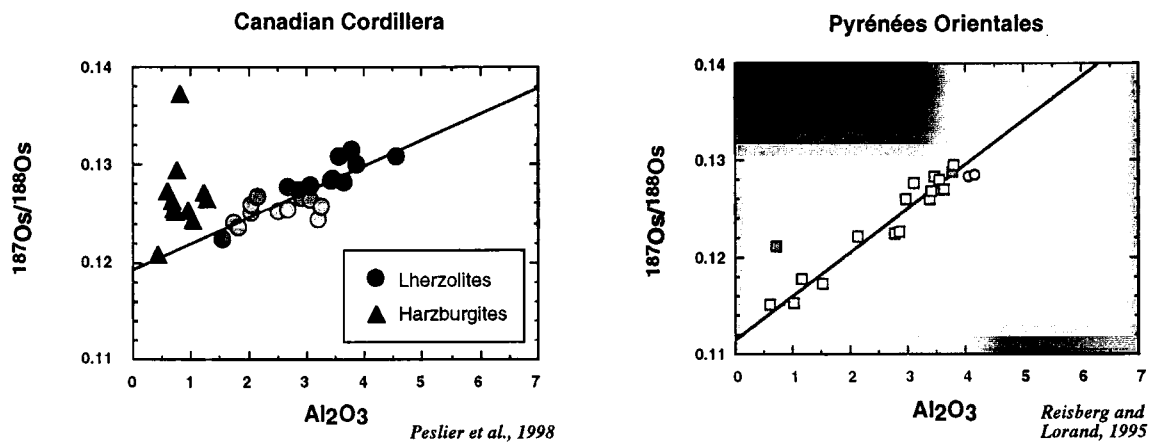


**Figure 1-Thème 2 :** Variations isotopiques de l'argon (valeurs absolues du rapport isotopique) et de l'azote (déviations en parties pour mille de  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$  par rapport à la valeur de l'air) dans des verres basaltiques de plusieurs sections de rides océaniques dans le monde. Ces variations mettent en évidence la présence d'une composante profonde possédant un rapport  $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$  très élevé ( $\geq 42\,000$ ) et un azote appauvri d'environ 5 parties pour mille en  $^{15}\text{N}$ . Cette composition reflète un fractionnement très précoce des volatils dans le système Terre solide-Atmosphère.

en évidence de la participation du manteau profond dans la genèse des komatiites et dans celle de grandes provinces magmatiques telles que la province éthiopienne, celle de la péninsule de Kola (voir ci-dessous), et celle de l'Atlantique Nord. Le rôle de l'eau dans la genèse des komatiites archéennes a été précisé grâce à l'analyse de H dans les inclusions vitreuses de ces laves. Un effort récent est entrepris dans le développement de la géochimie isotopique du lithium (analyse par TIMS et sonde ionique), avec comme but la compréhension du cycle global de cet élément.

Le centre aborde l'étude de la lithosphère et de la croûte continentale selon un effort de caractérisation chimique et isotopique des réservoirs. Cette thématique fait intervenir l'étude isotopique de l'osmium dans des péridotites (Pyrénées, Cordillera Canadienne, et bientôt la province éthiopienne et le Massif Central) permettront de mettre en évidence le caractère conservateur du couple Re-Os dans le manteau lithosphérique continental, et la datation des processus d'appauvrissement de la lithosphère (Figure 2-Thème 2).

## La Lithosphère Sous-Continentale



**Lherzolites:** Ces corrélations peuvent être analogues à des isochrones. Pour obtenir un âge modèle de l'extraction de la lithosphère l'intercept "y" est comparé avec la courbe d'évolution du manteau.

**Harzburgites:** Montrent l'effet d'un métasomatisme récent lié à la présence d'une anomalie sismique sous la Cordillère Canadienne.

*Figure 2-Thème 2*

## LES PROCESSUS MAGMATIQUES

Ce thème a pour but de caractériser à toutes les échelles l'évolution physico-chimique des systèmes magmatiques dans leur contexte géologique.

### CRISTALLISATION ET DIFFÉRENCIATION

L'observation des échantillons naturels est un axe majeur pour la compréhension des processus de cristallisation et différenciation des magmas. Des études fines de pétrographie (morphologie des cristaux, microstructures internes et épitaxiques en relation avec la zonation chimique), couplées avec des analyses chimiques des verres inclus et interstitiels, ont permis d'établir l'ordre de cristallisation, la composition du magma parental, et la ligne de descente du liquide, en particulier des boninites de la Nouvelle Calédonie, et des roches alcalines mantelliques des Carpathes, Roumanie. L'observation des feldspaths alcalins est aussi abordée à l'échelle du MET, pour comprendre l'évolution de leurs microstructures lors des phases subsolidus et deutériques des roches magmatiques, pour éviter des erreurs d'interprétation des spectres  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ .

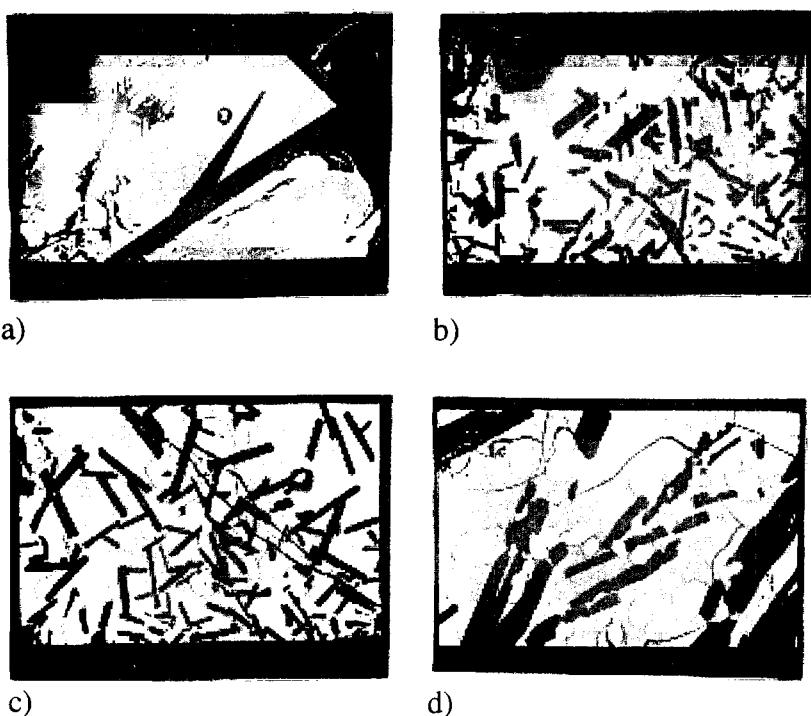
Des études des teneurs en H<sub>2</sub>O et en éléments en trace (REE, Li, B) et des compositions isotopiques de B ont été faites avec la sonde ionique ims 3f sur des inclusions magmatiques piégées dans les cristaux d'olivine les plus primitifs (Fo > 90) provenant de laves de zone de subduction, de laves de rides océaniques et de point chaud. Ces inclusions magmatiques représentent un échantillonnage instantané de magmas à des profondeurs variables et sont donc des échantillons de choix pour étudier les processus de dégazage, d'assimilation et de différenciation. Un des résultats importants a été de pouvoir quantifier dans les zones de subduction les flux d'eau de la plaque subductée vers la surface en analysant les inclusions piégées à forte profondeur et non dégazées.

Un volet complémentaire pour la

compréhension de l'évolution physico-chimique des magmas sont les études expérimentales. Les derniers quatre ans ont vu l'achat et l'installation de deux fours à pression atmosphérique au CRPG. Un des principaux thèmes de recherche abordés porte sur la détermination des relations de phases et des lignes de descente des liquides des systèmes basaltiques. Une attention particulière a été portée sur le rôle de la fugacité d'oxygène. Plus récemment, des systèmes pour le contrôle et mesure des fugacités des espèces gazeuses dans les atmosphères complexes, notamment du potassium et d'azote, ont été développés (voir aussi thème 1).

D'autres études de nature expérimentale ont été menées en collaboration avec des laboratoires français et étrangers, par exemple les mesures de viscosité et de densité des silicates liquides à haute température. L'ensemble de ces données expérimentales a été utilisé pour l'élaboration des modèles des processus magmatiques (Figure 3-Thème 2).

Pour les années à venir nous souhaitons continuer le développement des systèmes de contrôle et mesure des fugacités d'espèces volatiles d'importance dans les processus géologiques, en particulier le soufre.



*Figure 3-Thème 2 :* Images de microscopie électronique en électrons rétrodiffusés d'expériences, sous les conditions du tampon QFM, montrant la résorption de l'olivine lorsque la température diminue.

## MISE EN PLACE DES MAGMAS GRANITIKES

La genèse et les transferts de magmas dans la croûte continentale sont abordés en trois thèmes :

(i) Séquence et chronométrie de mise en place des magmas granitiques dans leur contexte tectonique régional. Cette recherche associant les approches pétrostructurales et géochimiques a pour but d'appréhender les modalités de genèse des magmas acides lors de la stabilisation d'une croûte juvénile. La cible est le Birimien (Dabakalien) de Côte d'Ivoire.

(ii) Mécanismes de mise en place des magmas granitiques et interactions avec l'encaissant. Le

couplage de l'information structurale et géochimique, généralement peu pratiqué dans ce domaine, devrait apporter des données significatives sur les mécanismes de création d'espace lors de la mise en place des magmas («room problem»). Ce travail a pour cible le Paléoprotérozoïque et le Pan-africain du Maroc (projet en développement en Ethiopie, voir section suivante).

(iii) Transformations minéralogiques synchrones de la mise en place et de la consolidation des magmas crustaux. Cette

recherche essentiellement fondée sur une étude fine des structures, des textures et des minéraux, a pour objectif d'utiliser ces réactions comme marqueur des derniers stades de mise en place des magmas

## MÉTALLOGÉNIE

Le modèle retenu pour rendre compte de la présence de minéralisations platinifères (associées à une faible proportion de sulfures) dans les intrusions rubanées souligne l'importance des magmas résiduels silicatés pour concentrer, déposer et remobiliser les éléments du groupe du platine. En plus des travaux menés sur la nature des minéraux du groupe du platine pour déterminer leurs conditions de cristallisation, notamment à partir des minéralisations du Canada, on s'attache à déterminer les caractéristiques des magmas silicatés associés au dépôt de ces minéralisations. Ces derniers semblent souvent enrichis en éléments alcalins, LILE et HFSE et éléments volatils (OH, F, Cl). En effet, dans le cadre du GDR «métallogénie» (projet CNRS dirigé par Arndt),

crustaux. Un premier volet sur le Velay est en fin de rédaction, d'autres sont en projet sur l'Hercynien français.

des oxydes de titane et de zirconium enrichis de façon variable en Nb, Hf, TR, Y, U et Th ont été décrits dans le Merensky Reef, certains pour la première fois dans ce complexe. Leur association avec des minéraux hydratés mais aussi avec des plagioclases relativement sodiques (jusqu'à An<sub>40</sub>) et des feldspaths potassiques riches en Ba, témoigne de la présence d'un magma assez évolué. Les travaux complémentaires sur le Bushveld seront poursuivis pour déterminer l'origine du matériel interstitiel par rapport aux minéraux cumulus. Plusieurs techniques d'études (ICP-MS, MEB, cathodoluminescence) seront employées et/ou développées pour définir la répartition des éléments mineurs et traces.

## LES CHANTIERS

Les grands thèmes de recherche qui ont été le support de l'activité de notre équipe depuis 4 ans vont être poursuivis et développer dans le cadre de plusieurs nouveaux chantiers.

### INTERACTIONS PANACHE-LITHOSPHERE : LE CHANTIER ETHIOPIEN

Le Centre focalise désormais son activité dans ce domaine sur un objet géologique majeur : la province magmatique éthiopienne. Ce chantier s'inscrit dans un grand programme INSU-MAE-MENRT de recherche et de coopération franco-éthiopienne. Dans une phase de reconnaissance géochimique portant sur les basaltes tertiaires des Trapps éthiopiens et sur le volcanisme quaternaire du rift et de l'Afar, la nature, la durée d'activité et l'extension du panache éthiopien ont été précisées, notamment par l'étude des compositions isotopiques de He et Os. Dans une deuxième phase qui a débuté l'année dernière, les études se focalisent sur les axes suivants :

- Magmatisme acide associé aux Trapps : L'origine de ce type de volcanisme, qui représente en volume au minimum un quart des laves émises,

est inconnue malgré son importance en termes de connaissance des mécanismes magmatiques fondamentaux et de son impact environnemental potentiel. Les premières données suggèrent une origine par différenciation à partir des basaltes, avec comme implication importante l'existence de chambres magmatiques géantes et/ou de sous-placage. L'impact environnemental est étudié via la géochronologie des dépôts et l'analyse par sonde ionique des abondances de volatils dans des inclusions vitreuses.

- Xénolithes comme sondes géochimiques du manteau et de la croûte éthiopiens. La diversité des xénolithes reconnues dans trois sites (Tana, Sidamo, 3 Frères) nécessite une étude de détail des traces et des isotopes (Os, Sr, Nd). Cela permettra de caractériser la composition et l'âge de la lithosphère

dans cette région et donc de contraindre l'influence de ces composants potentiels sur la composition pétrologique et géochimique des roches volcaniques.

- Pétrologie et métallogénie des plutons granitiques du Panafricain de Tigrée. Cette action, qui débutera fin 1998, s'inscrit non seulement dans la problématique générale de la métallogénie péri-batholitique dans le Panafricain, mais aussi dans la compréhension des mécanismes de transfert et mise en place des magmas en contexte d'accrétion. Cette action vise à répondre à la demande éthiopienne de collaboration dans les domaines de la cartographie en contexte cristallin et des ressources minérales et énergétiques.

- Rifting et bombement du socle : relations avec le développement du panache Afar. La résolution de ce problème important se heurte en général à la difficulté d'interprétation des thermochronomètres

basse température (par exemple, traces de fission). Cet axe verra la mise en oeuvre de nouveaux thermochronomètres : celui de U-Th-He dans différents minéraux du socle ayant des températures de fermetures basses (< 200°C) et contrastées.

- Cinématique de l'extension récente : contraintes apportées par la datation ( $^3\text{He}$  cosmogénique) des escarpements de faille en Afar. Si l'organisation et le fonctionnement des failles en Afar est aujourd'hui relativement bien compris, la quantification de ces processus n'est pas encore établie faute de savoir dater précisément les phénomènes tectoniques. Dans cette problématique la datation des surfaces géomorphologiques par les isotopes cosmogéniques, et notamment par  $^3\text{He}$ , est un outil potentiel très puissant que nous allons développer pour permettre de préciser et de quantifier la cinématique récente de cette région clef.

## **DEUX GA DE MAGMATISME ALCALIN INTRA-CONTINENTAL : LA PÉNINSULE DE KOLA (RUSSIE).**

Le centre a initié une collaboration fructueuse avec les chercheurs du Centre de l'Académie des Sciences d'Apatity, péninsule de Kola. Cette collaboration a permis le séjour d'un an au CRPG pour un chercheur de ce centre, et le développement d'une recherche pluridisciplinaire autour du magmatisme de la péninsule de Kola. Une mission de chercheurs du CRPG aura lieu durant l'été 1998.

Le magmatisme de la péninsule de Kola, de nature principalement alcaline, s'est développé selon des épisodes importants de mise en place de plutons alcalins à 2 Ga, 1.6 Ga, 1.2 Ga et au Dévonien.

- Le magmatisme dévonien alcalin est représenté par des intrusions ultramafiques, comprenant des carbonatites, sur lesquelles a été effectuée une étude des éléments volatils (gaz rares, azote,  $\text{CO}_2$ ). Cette étude a révélé l'origine du

panache de ces intrusions, et a permis de préciser les caractéristiques isotopiques de certains volatils (notamment argon et azote) dans la source des panaches.

- Des concentrations subéconomiques de platinoïdes sont associées aux complexes alcalins saturés à sous-saturés (Protérozoïque inférieur-Paléozoïque). Leur étude devrait permettre de préciser l'importance de l'alcalinité du magma sur la concentration des EGP.

- La collaboration du CRPG avec le Centre de Kola nous ouvre l'accès au carottage du forage profond (12 km) de cette région. L'étude géochimique qui sera développée dans ce laboratoire naturel permettra de calibrer certains géochronomètres isotopiques de basse et moyenne températures de blocage (notamment U-Th-Pb-He), grâce à la comparaison entre les âges obtenus et l'état thermique réel de la croûte.

	Reservoirs Terrestre	Processus. Magmatiques	Chantiers
<b>Chercheurs</b>			
Pierre Barbey	X		Ethiopie
Stuart Boyd	X		
William Brown		X	
Françoise Chalot-Prat		X	Maroc
Marc Chaussidon	X		
Etienne Deloule	X		
Dominique Gasquet		X	Maroc
John Ludden	X		Kola/ Ethiopie/SWIR
Bernard Marty	X		Kola/ Ethiopie
Maryse Ohnenstetter		X	Kola
Daniel Ohnenstetter		X	Kola
Raphaël Pik		X	Kola/ Ethiopie
Laurie Reisberg	X		Kola/ Ethiopie
Mike Toplis		X	SWIR
<b>Doctorants</b>			
Dereje Ayalew		X	Ethiopie
Sylvie Decitre	X		SWIR
Franck Humbert	X		
Mbé Adou		X	
Anne Péslier	X		

SWIR - South West Indian Ocean ridge -«Etude d'une dorsale ultra lente », projet en collaboration avec Paris 6 (Mével, Cannat, Humler).

Maroc - Projet en collaboration avec le BRGM

## FINANCEMENT

INSU, programme Intérieur de la Terre (projet Corne d'Afrique), Géosciences marines, projet EDUL et Dorsales - projet pétrologie magmatique. Collaboration au Maroc BRGM. CNRS Collaboration internationale (PICS) - Afrique du Sud et Russie.

## QUELQUES PUBLICATIONS RÉCENTES

**Barbey P, Brouand M, Le Fort P, Pêcher A** (1996) Granite-migmatite genetic link : the exemple of the Manaslu granite and Tibetan Slab migmatites in central Nepal. *Lithos*, 38, 63-79.

**Chaussidon M & Marty B** (1995) Primitive boron isotope composition of the mantle. *Science* 269, 383-386.

**Deloule, E., O. Paillat, M. Pichavant & B. Scaillet** (1995), Ion microprobe determination of water in silicate glasses: Methods and applications, *Chem. Geol.* 125, 19-28.

**Marty B** (1995) Nitrogen content of the mantle inferred from N<sub>2</sub>-Ar correlation in oceanic basalts. *Nature* 377, 326-329.

**Marty B., Pik. R. & Gezahegn Y.** (1996). Helium isotopic variations in Ethiopian plume lavas : nature of magmatic sources and limit on lower mantle contribution. *Earth Planet. Sci. Lett.* 144, 223-237

**Molzahn, M., L. Reisberg and G. Worner** (1996) Os, Sr, Nd, Pb and O isotope data from the Ferrar flood basalts, Antarctica: Evidence for an enriched subcontinental lithospheric source. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 144, 529-546.

**Ohnenstetter D., Brown W.L.** (1996) Compositional variation and primary water contents of differentiated interstitial and included glasses in boninites. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 123, 117-137.

**Shi, L., Francis, D., Ludden, J., Frederiksen, A and Bostock, M.** (1998). Xenolith evidence of lithospheric melting above anomalously hot mantle under the northern Canadian Cordillera. *Contr. Mineral. Petrol.*, 131, 39-95.

**Toplis M.J.** (1998) Energy barriers to viscous flow and the prediction of glass transition temperatures of molten silicates. *Amer. Mineral.*, 83, 480-490.

**Wagner C., Deloule E. & Mokhtari A.** (1996) Mineralogical and D/H isotope studies of upper mantle metasomatic assemblages and MARID inclusions from Northern Morocco: implications for subcontinental mantle heterogeneity. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 124, 406-421.

# INTERACTIONS FLUIDES-ROCHES

## INTRODUCTION

L'eau est un élément clé dans l'évolution de la planète Terre. Elle joue un rôle fondamental à la surface de la Terre, où la présence des océans a permis le développement de la vie, et où les précipitations et les rivières façonnent la surface des continents. L'eau intervient également dans l'évolution interne de la planète, et la formation de la croûte continentale. Dans la croûte océanique

ou continentale, elle sert d'agent de mobilisation et de transport à de nombreux éléments, jouant ainsi un rôle important dans les échanges de matière et d'énergie entre le manteau, la croûte et les océans. L'importance des gisements de matières premières d'origine hydrothermale illustre bien ce rôle des eaux dans les systèmes géologiques.

## BILAN DES ACTIONS (1994-1998)

Trois aspects principaux du comportement des fluides géologiques dans la croûte ont fait l'objet d'études privilégiées :

- le support des circulations fluides, c'est-à-dire les «réservoirs», au sens de structures perméables drainant les circulations;
- la reconstruction des circuits de circulation des fluides ;
- le transport et le dépôt des éléments métalliques.

Il va de soi que ces trois problématiques sont largement inter-dépendantes, mais leur considération permet une présentation commode des activités du centre sur la dernière période.

### L'ÉTUDE DES «RÉSEROIRS»

L'aspect «réservoirs» a été abordé sous trois angles :

#### LA DESCRIPTION QUANTITATIVE DE LA GÉOMÉTRIE DU MILIEU POREUX AVEC L'OUTIL GOCAD

Plusieurs modèles de simulation géostatistique ont été développés dans le cadre du projet GOCAD pour modéliser les propriétés et la géométrie des réservoirs : grilles stratigraphiques avec prise en compte des failles, méthode 3D de simulation spectrale, co-krigeage des indicatrices avec information secondaire telle que la sismique,

(Figure 1-Thème 3). La confrontation des modèles géométriques évolutifs avec les observations disponibles est utilisée pour prédire la maturation et la migration des hydrocarbures au cours de la déformation. Ces travaux ont donné lieu à de multiples collaborations (Princeton, Stanford, Bonn, ETH Zurich, ELF, IFP, Chevron, ...)



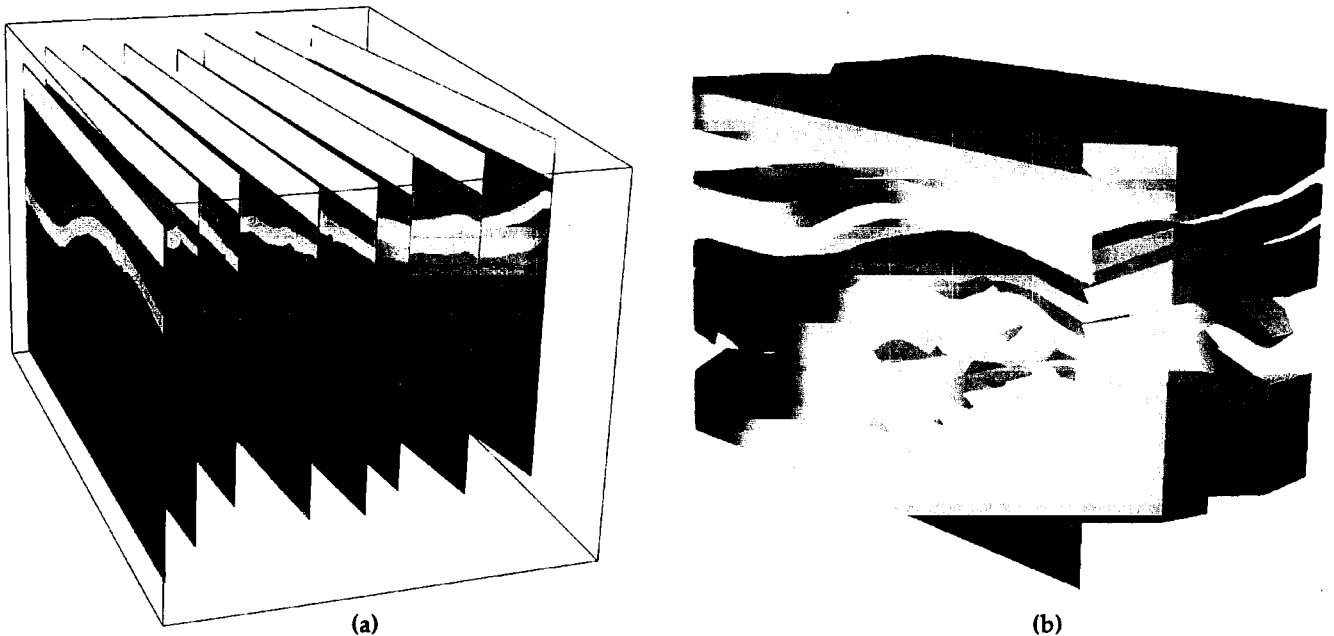
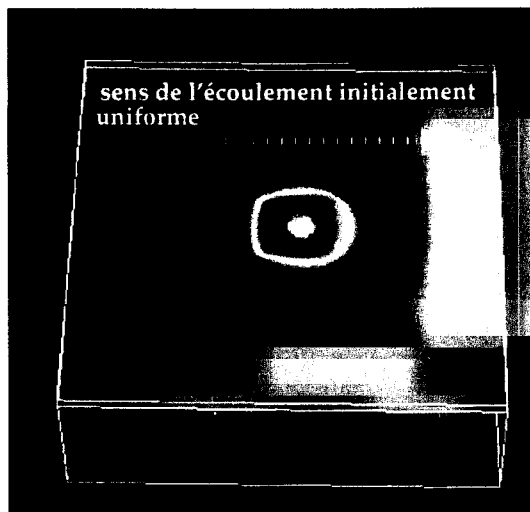
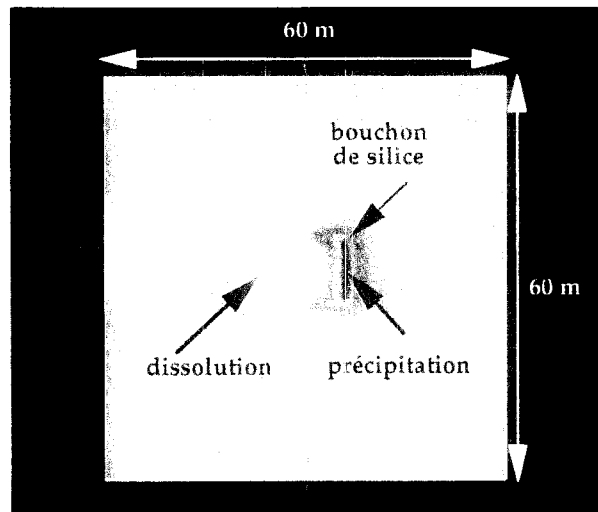


Figure 1-Thème 3: Mise en place dans le logiciel gOcad d'un algorithme permettant la construction automatique d'un modèle volumique à partir de coupes parallèles sériées. a) les huit coupes sériées constituant les données de départ, b) le modèle volumique automatiquement déduit (thèse O. Mariez, 1998).



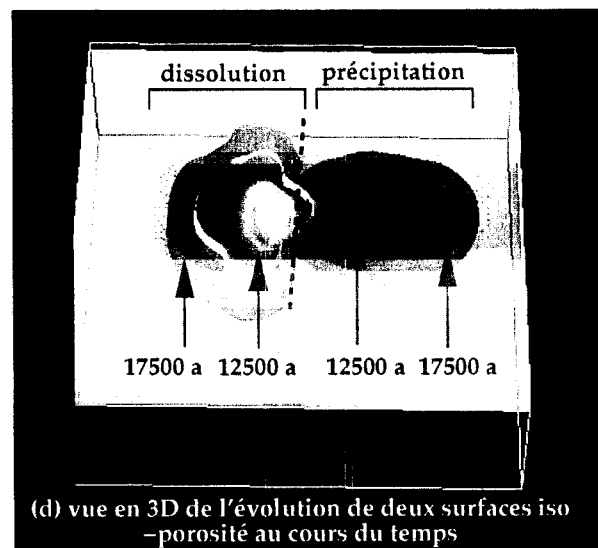
(a) Champ de température: variation en quelques mètres de 200 à 400 degrés au coeur du réacteur



(b) vue de dessus de la porosité, selon une coupe au niveau du réacteur



(c) Champ de vitesse vu de dessus selon une coupe au niveau du réacteur



(d) vue en 3D de l'évolution de deux surfaces iso-porosité au cours du temps

Figure 2-Thème 3: Modélisation des transferts de chaleur et de silice autour d'un réacteur naturel de fission d'Oklo (Gabon, thèse B. Gérard, 1997): (a) le champ de température atteignant selon les hypothèses plus de 400 degrés au coeur, traversé par un écoulement fluide initialement uniforme; (b) la solubilité de la silice variant avec la température, cela crée des zones de dissolution en amont du réacteur, associées à une augmentation de la perméabilité et des zones de précipitation en aval, associées à une baisse de la perméabilité ("bouchon de silice"). (c) ceci provoque une convergence de l'écoulement en amont du réacteur et une divergence en aval; (d) évolution des zones de dissolution et de précipitation en 3D au cours du temps

## LA DÉTERMINATION DES PROPRIÉTÉS PÉTROPHYSIQUES

Pour évaluer la perméabilité macroscopique des réservoirs, de nombreux travaux ont été entrepris dans le monde pour développer des méthodes dites de changement d'échelle, afin de déduire les perméabilités des grandes formations géologiques. Une nouvelle méthode, reposant sur le traitement des données micro-cosmiques, a été récemment

proposée par Shapiro (1997) et appliquée sur le site géothermique de Soultz. Elle a permis l'évaluation du tenseur de diffusivité hydraulique, dont l'axe principal est vertical avec un rapport de forme de 4. Les directions principales dans le plan horizontal ont été évaluées à N130 et N40, légèrement différentes des axes principaux du nuage sismique.

## L'ÉVOLUTION TEMPORELLE DE LA PERMÉABILITÉ (DIAGENÈSE)

Pour évaluer l'évolution dans le temps de la perméabilité des réservoirs du Keuper et du Dogger du bassin de Paris, une étude détaillée de la silicification de ces réservoirs a été entreprise, combinant l'étude de la cathodoluminescence, l'analyse chimique in situ, l'analyse isotopique et

la micro-thermométrie des inclusions fluides (Thèse de Christel Demars, 1994). Ces études ont montré une surchauffe du bassin (+55 °C) à la fin du Crétacé, et des migrations latérales et verticales des fluides du Keuper salifère, et leur mélange avec des eaux diluées.

## RECONSTRUCTION DES CIRCULATIONS FLUIDES

Cet aspect concerne des exemples actuels ou sub-actuels (champs géothermiques de Soultz et de Larderello) aussi bien que des exemples fossiles (Balazuc, Oklo) dans la croûte continentale, ainsi que l'étude de la croûte océanique altérée.

### SOULTZ

Soultz a été abordé sous deux aspects : paléo-circulation et mise en oeuvre de l'échangeur.

L'étude des inclusions fluides de deux sondages a complété les données antérieurement acquises, (i) en confirmant l'existence de mélange entre des fluides météoriques et des saumures ( $\geq 15$  % éq. NaCl) chaudes ( $\approx 150$  C), ce qu'ont confirmé les données  $\delta^{18}\text{O}$  (coll. Yardley, Leeds); (ii) en montrant que ces saumures ont circulé à des

périodes anciennes, sous des recouvrements d'environ 500m par rapport à l'actuel (Eocène).

La modélisation des essais de circulation a permis de confirmer les vitesses de transfert entre les forages d'injection et de pompage. Ces expériences numériques ont permis d'évaluer indirectement les caractéristiques de l'échangeur (volume, surface, porosité), et d'estimer sa durée de vie (15-20 ans).

### LARDERELLO

En collaboration avec le CREGU (M. Cathelineau) et le CNR italien (Pise), l'étude du champ géothermique de Larderello a été poursuivie. L'intérêt, qui s'était porté dans une étude antérieure sur les phases précoces des circulations dans la partie la plus profonde du champ, s'est déplacé vers des profondeurs intermédiaires, où l'étude des inclusions fluides a

permis de montrer la transition d'une circulation dominée par les fluides métamorphiques à une circulation dominée par des fluides superficiels, où participent des saumures dérivées des réservoirs évaporitiques sus-jacents de la Nappe Toscane et des vapeurs recondensées à partir de domaines en ébullition dans les réservoirs superficiels (transition avec le régime actuel).

### BALAZUC

La modélisation numérique thermoconvective 2D au cours du temps a été réalisée sur la marge ardéchoise dans le cadre du programme GPF. Elle montre l'influence majeure des circulations fluides au Trias supérieur, avec échange et percolation dans

le socle, s'atténuant après le Jurassique. Ces travaux ont confirmé l'existence d'un recouvrement d'environ 2000 m au Crétacé, montrant l'importance de l'érosion et de la subsidence dans l'évolution de cette marge.

## OKLO

L'évolution du champ thermique du réacteur fossile a été simulée numériquement (thèse B. Gérard, 1997). De nombreux outils logiciels ont été développés à cette occasion (Thermass). Deux résultats majeurs ont été obtenus: (i) la perturbation thermique a été limitée à quelques dizaines de

mètres autour du réacteur; (ii) les transferts de masse ( $\text{SiO}_2$ ) ont eu lieu dans un rayon n'excédant pas 50 m, d'amont en aval et en dessous du réacteur, avec des modifications concomitantes de la porosité, en accord avec les observations (Figure 2-Thème 3).

## HESS DEEP

Le Leg ODP 894 à Hess Deep a permis d'échantillonner des gabbros de la croûte océanique inférieure. Deux types d'amphiboles, des hornblendes avec un habitus magmatique et des actinolites réactionnelles, y sont observées. Les

valeurs de  $\delta\text{D}$  mesurées sur ces amphiboles sont inhabituelles, avec des valeurs très positives, jusqu'à +80‰. Ces valeurs élevées sont la marque de la réduction de l'eau et de la production de  $\text{H}_2$  lors de l'interaction océan-croûte.

## TRANSPORT ET DÉPÔT DES ÉLÉMENTS MÉTALLIQUES

Cet aspect métallogénique a été abordé à travers une variété de métaux et de types de gisements :

### MOBILISATION DU BE DANS DES SCHISTES NOIRS ET GENÈSE DES ÉMERAUDES COLOMBIENNES

Depuis un siècle, la genèse des émeraudes colombiennes a alimenté une controverse. En effet, elle diffère du modèle classique proposé pour les émeraudes associées aux granites. Les gisements colombiens sont encaissés dans des schistes noirs, dépourvus d'intrusions granitiques, et l'émeraude est contenue dans des veines à carbonates et pyrite. L'étude géochimique des gisements démontre le rôle de la matière organique, contenue dans les schistes noirs, lors de la thermoréduction de sulfates (TRS) d'origine évaporitique. L'oxydation de la matière organique est démontrée par l'étude des isotopes stables (C, O) des carbonates et de la matière organique. Ces réactions d'oxydoréduction expliquent la précipitation massive de carbonates et de pyrite ainsi que les spécificités de l'émeraude colombienne : ses inclusions fluides à cube de

halite témoins de la sursaturation du fluide et de l'origine évaporitique des sulfates, les cristaux de «trapiche» qui illustrent l'incorporation de fragments de schistes noirs et de bitume dans le cristal, et les inclusions solides de carbonates et de pyrite qui représentent les produits finaux du mécanisme de TRS. Le béryllium de l'émeraude a été extrait des schistes noirs. L'extraction expérimentale séquentielle des différents constituants des schistes noirs et leur analyse a montré que le béryllium était lixivié principalement des oxyhydroxydes de fer et de manganèse (figure 3-Thème3). La détermination de la quantité de béryllium mobilisable du schiste noir à 7 ppm (environ 18% du contenu total en béryllium), a permis d'estimer les réserves potentielles en émeraude de la mine de Chivor.

### L'OR DANS LES «SHEAR-ZONES»

Les concentrations d'or dans les «shear-zones» précambriennes constituent une part importante des réserves mondiales et sont, à ce titre, l'objet d'études nombreuses à l'échelle internationale. Le CRPG a participé à ce mouvement, avec, notamment, l'étude de deux cibles majeures : la mine Sigma dans l'Abitibi, (thèse K. Firdaus,

1995) et les gisements de la zone de cisaillement Est-Ouzalienne dans le Hoggar (coll. S. Fourcade, Rennes). Les résultats sont contrastés. Dans le premier cas, le modèle standard de gisement mésothermal est validé : l'or, contemporain du fonctionnement fini-archéen de la «shear-zone», est lié à une démixion des fluides aquo-carboniques

Figure 3 : Diagramme conceptuel expliquant la genèse du dépôt des émeraudes et des minéraux associés (calcite, pyrite, bitume) dans les gisements d'émeraude de Colombie

Le fluide hydrothermal est initialement une saumure chaude, dérivée d'évaporites sous-jacentes, qui percole des schistes noirs et se trouve drainée dans des structures tectoniques. La pyrite et les lentilles dolomitiques des schistes noirs contribuent à enrichir ce fluide en  $Fe^{2+}$  et  $Mg-Ca$ . Mais surtout la maturation de la matière organique des schistes noirs fournit des fluides du système C-H-O, qui provoquent la thermoréduction du sulfate de la saumure, à l'origine du soufre réduit responsable de la formation de la pyrite et des ions carbonates qui permettent la précipitation de la calcite, dans les pièges tectoniques. La formation des émeraudes est un sous produit de cette interaction. Elle est due à la mise en solution par ce fluide du Be (et Cr, V, ...) porté par les schistes noirs : ceci est largement favorisé par la température exceptionnelle ( $\approx 300\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) à la quelle était porté le fluide hydrothermal dans les bassins colombiens.

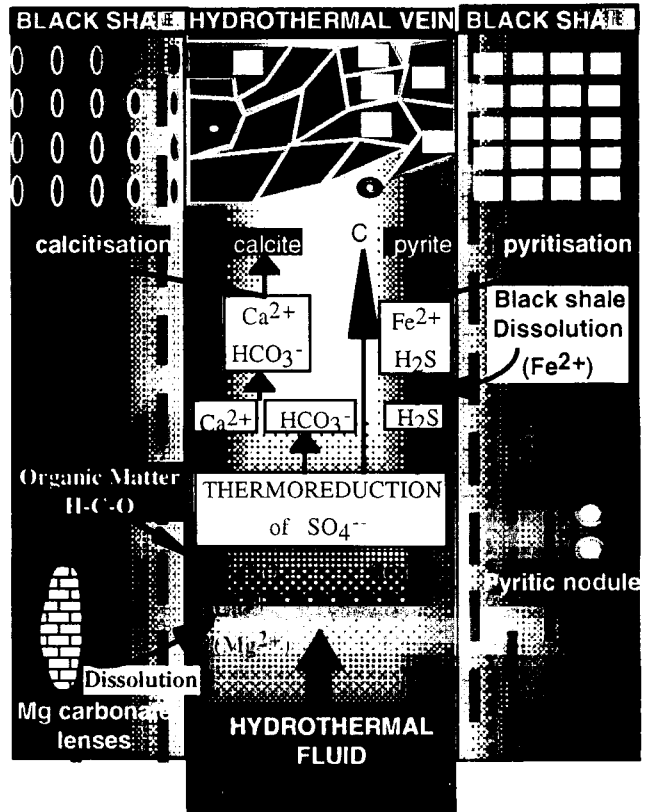
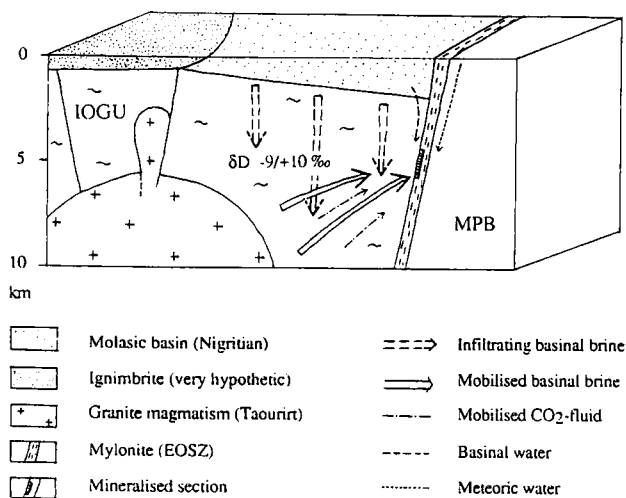


Figure 4 : Modèle de la minéralisation en or de la shear-zone Est ouzzalienne (Hoggar)



La minéralisation en or de la "shear zone" Est ouzzalienne panafricaine (EOSZ) est clairement disjointe du fonctionnement de cet accident. Sur la base des données obtenues sur les inclusions fluides et avec les isotopes stables, elle est interprétée comme "géothermique", formée autour de 5 km de profondeur et à  $20^{\circ}\text{C}$ , par l'interaction des saumures chaudes et des fluides météoriques et/ou basinaux. Ces saumures, préalablement infiltrées dans le socle éburnéen de l'In Ouzal (IOB) à partir d'un bassin molassique, auraient été réchauffées et remobilisées à la faveur du plutonisme Taourirt à l'extrême fin du cycle panafricain. L'étude des isotopes du plomb montre par ailleurs que l'or vient de l'In Ouzal sans contribution du bloc meso-protérozoïque (MPB) adjacent. De plus les gneiss ouzzaliens contiennent en moyenne 3 ppb d'or, ce qui en fait une source probable.

circulant dans les ouvertures en «crack-seal». Dans le second cas, au contraire, la formation des gisements, déconnectée du fonctionnement ductile de la «shear-zone», est liée à la remobilisation de saumures infiltrées dans le socle éburnéen à partir

de bassins surincombants; ces saumures, qui ont lessivé l'or des granulites, l'ont précipité dans les conditions d'un champ géothermique profond (5 km), à des températures n'excédant pas 200°C.

### LE TUNGSTÈNE ET L'ÉTAIN «PÉRIBATHOLITIQUES»

L'étude des concentrations en Sn-W liées aux plutons granitiques, amorcée au CRPG depuis une vingtaine d'années s'est poursuivie sur trois axes.

L'étude des systèmes hydrothermaux du massif granitique du Ment (Méséta centrale marocaine) (thèse A. Boushaba) a visé à comprendre pourquoi ce massif est dépourvu de minéralisations Sn-W. Comme ces systèmes étaient parfaitement capables de concentrer ces métaux, la clef de la stérilité est vraisemblablement la pauvreté des sources potentielles de métaux rares de ce massif (figure 4-Thème3).

Dans le massif de socle de l'Edough (N Algérie), le skarn à W-As de Karézas est associé à une intrusion aveugle de granite spécialisé. La minéralisation résulte de l'interaction entre les

fluides magmatiques et des fluides métamorphiques dérivés d'un réservoir sus-jacent et issus de la dévolatilisation de shales épizonaux dans le métamorphisme de BP qui accompagne la remontée du «metamorphic core complex « burdigalien de l'Edough (thèse D. Aïssa).

En collaboration avec M. Cuney (CREGU) et dans le cadre d'une coopération avec l'USTHB (Alger) s'est développée l'étude des granites à métaux rares, potentiellement tantalifères, du Hoggar. Ces granites permettent de saisir plusieurs stades de la transition magmatique-hydrothermale et de repérer les modalités de l'extraction et du transfert des métaux rares (et, en premier lieu, du Ta) par les fluides magmatiques.

### CONCLUSIONS

Le thème 3 a rempli son rôle fédérateur pour le CRPG, en favorisant effectivement les interactions entre les trois équipes définies en 1994. Il a en outre permis des interactions positives avec le CREGU.

Les travaux menés au CRPG ont indéniablement contribué au progrès des connaissances, comme le montre la liste des publications sélectionnées ci-après:

## PERSPECTIVES D'ACTION (1999-2003)

Les résultats acquis dans la période 1994-1998 nous incitent à poursuivre les mêmes actions, en modifiant les problématiques et en concentrant l'activité sur un nombre limité de cibles, dont un certain nombre est la poursuite de chantiers déjà engagés, tels que GOCAD, Soultz, où un forage à 5 km de profondeur va être réalisé, GéoFrance 3D, le projet Émeraude en Colombie.

La recherche dans le thème 3 devrait donc se développer sur trois axes, l'étude des réservoirs, l'étude de la circulation des fluides à l'échelle crustale, et enfin l'élaboration de modèles métallogéniques.

### RÉSERVOIRS

#### INCERTITUDE DES MODÈLES GÉOMÉTRIQUES

La modélisation géométrique des formations géologiques complexes va se poursuivre en liaison avec GOCAD. Un intérêt tout particulier sera apporté aux développements des structures informatiques, des algorithmes et des méthodes efficaces pour la représentation des objets

géologiques complexes (failles, grilles stratigraphiques, ..), notamment pour prendre en compte les évolutions dans le temps (4D). La paramétrisation des surfaces et solides sera développée afin de fournir des outils adaptés à l'étude des déformations, des écoulements et du

lancer de rayons (sismique). Les thèmes suivants seront développés: (i) construction automatique de modèles structuraux complexes (I. Duvinage, coll. Princeton), (ii) prise en compte des incertitudes dans la construction des réseaux de failles (M. Lecourt, coll. ELF); (iii) mise à jour

automatique et cohérence des modèles géologiques lors de modifications locales (N. Euler, coll. Chevron); (iv) topologie des macro couches et des modèles stratigraphiques (S. Bombarde, coll. Chevron et Elf GRC).

## INCERTITUDES STATIQUES ET DYNAMIQUES

L'étude des transferts de fluide nécessite la connaissance des propriétés pétrophysiques des réservoirs. Parmi les techniques disponibles, plusieurs approches ont été proposées et seront poursuivies: (i) simulation géostatistique de milieux poreux aléatoires; (ii) simulation stochastique de la géométrie (systèmes fluviaux, ...) (S. Viseur) (iii) intégration des données sismiques et de puits lors de la simulation des lithologies (K. Pairazian). De nouveaux résultats théoriques (co-krigeage des

indicatrices, méthodes spectrales, étude des erreurs) ont été obtenus récemment dans le cadre de deux thèses (B. Lévy et P. Fichtl), ils seront mis en oeuvre pour mieux quantifier les incertitudes dans l'évaluation de la géométrie et des propriétés physiques des réservoirs. Ces travaux seront validés sur des études de cas réels tels que les formations de la mer du Nord (en coll. avec l'IFP, ELF et TOTAL).

## ESTIMATION DES PROPRIÉTÉS PHYSIQUES

Les méthodes sismiques ou micro-sismiques ont permis de déterminer indirectement, avec succès, la lithologie (Thèse de Fichtl en coll. avec l'IFP) et la perméabilité des formations géologiques en profondeur (coll. avec Univ. Karlsruhe, l'ADEME et S. Shapiro). L'acquisition des perméabilités macroscopiques à partir des données de micro-sismicité est, à notre connaissance unique, en particulier, la détermination du tenseur de diffusivité, qui est une avancée considérable par rapport aux autres méthodes. Nous souhaitons

étendre cette approche dans différents contextes afin de bien valider la méthode. Trois cibles seront étudiées : (i) les sites géothermiques de Fenton Hill (USA) en coll. avec le groupe de Los Alamos (M. C. Fehler, C.F. Pearson) et de Higashi-Hachimantai (Japan, Pr. Niitsuma H., Univ. Tohoku); (ii) les réservoirs d'hydrocarbures (en coll. TOTAL et Chevron); (iii) la croûte terrestre à partir de l'étude de la micro-sismicité observée lors des tremblements de terre (en coll. Univ. Strasbourg Pr. Cara).

## CIRCULATION DES FLUIDES À L'ÉCHELLE CRUSTALE

Il s'agit ici de prendre du champ par rapport aux drains majeurs de la circulation (qui sont souvent les sites privilégiés des minéralisations hydrothermales) et d'appréhender les circulations fluides dans leur globalité. Cette démarche a été largement engagée dans la période précédente, mais il faut maintenant la généraliser, ce qui permettra, en particulier, de saisir les processus métallogéniques de nature hydrothermale dans leur entièreté, de la source des métaux et des fluides jusqu'au piège, selon le modèle des «systèmes pétroliers». Dans cet esprit, nous nous proposons d'aborder les systèmes fluides crustaux sous trois aspects

## MODALITÉS DE LA CIRCULATION

Plusieurs chantiers, déjà ouverts ou d'ouverture imminente, sont particulièrement propices à l'étude des circulations fluides à grande échelle, dans la croûte continentale et dans la croûte océanique.

### *Dans la croûte continentale :*

- le chantier «Limousin» du projet Métallogénie 3D du Massif Central français (programme GéoFrance 3D) permet d'aborder à la fois la

modélisation géométrique des structures géologiques (GOCAD) et la caractérisation des circulations fluides. En collaboration avec le CREGU (M. Cathelineau), deux thèses vont étudier les circulations fluides régionales. La thèse de M. Souhassou, centrée sur la faille d'Argentat, va tester le modèle d'un apport des fluides minéralisateurs via cette faille, avec un transfert horizontal dans un aquifère qui serait la Nappe des Gneiss Inférieurs et un drainage final dans les structures minéralisées (Laurières-Bourneix). La thèse de J. Vallance aura pour objectif d'examiner les caractéristiques des circulations fluides à la fin du cycle varisque (transition métamorphique-météorique, ou mésothermale-épithermale; parts respectives des fluides magmatiques et métamorphiques).

- Remaniement des grands amas sulfurés sud-ibériques (Tharsis, La Zarza). Les premières études de ces amas sulfurés montrent de fortes remobilisations des métaux de base, vraisemblablement associées au dépôt de l'or pendant le tectono-métamorphisme hercynien. L'enjeu du projet est de caractériser les conditions P-T-X de cette remobilisation et de les mettre en relations avec celles des fluides métamorphiques régionaux. (Thèse de B. Diagona, coll. M. Cathelineau, CREGU, GDR Métallogénie).

- Faille du Fleuve Rouge (Vietnam)

Les minéralisations à or, U-Th-T.R. et rubis associées spatialement à la zone de cisaillement du Fleuve Rouge sont probablement d'excellents marqueurs de l'évolution géodynamique et géochimique de cet accident. Le programme de recherche visera à intégrer dans le temps et dans l'espace, la cinématique de fonctionnement de la zone de cisaillement à la circulation des fluides et à leur interaction avec les encaissants. L'intégration de ces données nous permettra de proposer un modèle métallogénique global associé au

fonctionnement de la zone de cisaillement au cours du Tertiaire. Les métallogènes structuraux, pétrologiques et géochimiques pourront servir de guide à la prospection aux échelles tactique et stratégique.

- caractérisation hydrologique du site de stockage Est.

Dans le cadre du projet d'implantation d'un laboratoire souterrain, nous avons entrepris de caractériser les circulations hydrologiques dans l'est du Bassin Parisien. La détermination des signatures isotopiques des gaz rares va permettre de définir l'origine des fluides, leurs temps de résidence dans les aquifères et les paléotempératures de recharge des eaux. Complétées par la détermination expérimentale des vitesses de migration des gaz tels que He dans les roches encaissantes, ces données permettront de contraindre un modèle régional d'écoulement des fluides souterrains. (Thèse Sarah Dewonck, ANDRA).

- zones sismiques actives

L'étude de la signature isotopique des gaz rares dissous dans les fluides hydrothermaux des zones sismiques actives du bassin méditerranéen va nous permettre d'étudier (1) la réponse et (2) le rééquilibrage du système hydrologique à la suite de tremblements de terre majeurs.

*Dans la croûte océanique :*

Une approche géochimique globale (le cycle du lithium dans le système océan-croûte océanique) fait l'objet de la thèse de Sylvie Decitre. Cumulant l'intérêt d'être un élément trace et un traceur isotopique, le Li devrait être un bon traceur des interactions eau-roche en milieu océanique, vu l'écart de composition isotopique entre l'eau de mer et le manteau. Une cible privilégiée sera la ride ouest-indienne, échantillonnée en août 1997 par la campagne océanographique EDUL.

## AGE ET DURÉE DES CIRCULATIONS FLUIDES

Il s'agit là d'un thème émergent, dont l'importance est cruciale pour la compréhension des systèmes hydrothermaux et leur modélisation. Il sera abordé sous deux aspects :

- détermination des temps de résidence et de transferts

L'hélium est particulièrement intéressant pour

étudier les transferts de fluide dans la croûte continentale. Les contrastes isotopiques démontrent la participation des différents réservoirs dans les fluides crustaux. D'autre part, la libération de <sup>4</sup>He (produit par décroissance radioactive de U et Th) dans les fluides, et notamment dans les eaux des aquifères, permet d'estimer leur temps de résidence

dans les différents réservoirs crustaux, et ceci avec une gamme d'âges potentiels bien plus large que celle proposée par les autres chronomètres isotopiques ( $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{36}\text{Cl}$ ).

Cette approche est en cours dans le Bassin de Paris. L'aquifère relativement superficiel de l'Albien est notre cible principale, pour déterminer les temps de résidence des eaux et les paléo-températures de recharge pour les derniers 40 000 ans.

- Datation des circulations hydrothermales

La datation des paléo-circulations hydrothermales et des minéralisations qui leur sont associées est souvent impossible ou peu satisfaisante. L'utilisation de la sonde ionique à haute résolution va nous permettre de développer des datations ponctuelles par les méthodes U-Pb ou Rb-Sr, sur de nombreux minéraux accessoires.

Le savoir faire acquis sur l'IMS 1270 pour les datations U-Pb sur zircons permettra le développement des datations U-Th-Pb sur d'autres minéraux, en traces ou abondants, dans les

minéralisations hydrothermales ou magmatiques (uraninite, pechblende, sphène, apatite, monazite, épidote, rutile, scheelite, cassitérite, ...).

La mesure isotopique du Sr par sonde ionique est rendue difficile par la présence de nombreuses interférences isobariques (Rb,  $\text{Ca}_2$ ,  $\text{CaMgO}$ ,  $\text{FeO}_2$ ,  $\text{SiO}_3$ ,  $\text{MnO}_2$ , ...). Les caractéristiques de l'IMS 1270 permettent de séparer toutes les interférences isobariques à l'exception du Rb, en conservant une transmission élevée. Ceci rend possible la mesure isotopique du Sr dans les minéraux à rapport Rb/Sr faible et la datation Rb-Sr des minéraux riches en Rb. Les applications sont le traçage isotopique des sources des paléo-circulations de fluides dans les bassins sédimentaires, et la datation de systèmes hydrothermaux par l'analyse de minéraux néoformés tels que les phyllosilicates. Dans ce dernier cas, la précision espérée dans un premier temps est d'environ  $\pm 10$  Ma, ce qui représente un premier pas important. Ce projet est financé par le GDR ForPro, en coopération avec Michel Cathelineau (CREGU).

#### SOURCE DES MÉTAUX

Il s'agit ici de déterminer quelles sont les zones sources des éléments métalliques concentrés dans les circulations fluides, les modalités de leur formation et les processus d'extraction : l'équivalent du complexe maturation de la roche-mère/migration primaire dans les systèmes pétroliers. A la traditionnelle approche indirecte, que nous nous proposons d'approfondir, sera jointe une approche directe, autorisée par les méthodes modernes d'analyse ponctuelle des éléments en trace.

- l'approche indirecte consiste en l'utilisation de traceurs à partir des études de gisements : les traceurs isotopiques seront privilégiés (Pb, Sr, S), essentiellement à travers une approche ponctuelle,

avec les sondes ioniques. Parmi les chantiers envisagés, le chantier «Limousin» est particulièrement propice (thèse de P. Alexandrov).

- l'approche directe vise à identifier les supports des métaux dans les sources potentielles et à suivre le comportement de ces métaux au travers des vicissitudes subies par ces porteurs au cours de l'histoire géologique. Cette approche novatrice sera testée dans deux situations :

- comportement du tungstène en contexte métamorphique et magmatique (S du Massif Central français)

- comportement du Zn dans les aquifères carbonatés (problème de la source des gisements MVT).

#### MODÈLES GÉNÉTIQUES

Les données acquises par les approches précédentes seront mobilisées pour aboutir à des modèles métallogéniques intégrés, sur le modèle des «systèmes pétroliers» (roche-mère = source->maturation ->

migration primaire = extraction -> migration secondaire = transport -> piège). Ces modèles seront d'abord conceptuels, avant d'être soumis aux tests de la modélisation/simulation numérique.



## CHERCHEURS, ÉTUDIANTS ET POST-DOCTORANTS.

Thèmes :	Réservoirs			Circulations		
	a) géométrie	b) statique et dynamique	c) propriétés physiques	a) modalités	b) Age et durée	c) Source des métaux
<b>Chercheurs</b>						
Alain Cheilletz				X	X	X
Etienne Deloule			X		X	X
Gaston Giuliani				X		X
Pierre Jacquemin	X					
Bernard Laumonier				X		X
Christian Le Carlier	X			X		
Jean-Laurent Mallet	X	X				
Christian Marignac				X		X
Raphaël Pik				X	X	
Jean-Jacques Royer	X		X	X		
Sergeï Shapiro.	X		X	X		
<b>Doctorants :</b>						
Pavel Alexandrov				X	X	
Pascal Audigane			X	X		
Yannick Branquet				X	X	
Jocelyn Barbarand				X	X	
Sylvie Decitre				X		
Sarah Dewonck	X					X
Isabelle Duvinage	X	X				
Nicolas Euler	X					
Magali Lecour	X	X				
Bruno Levy	X	X				
Olivier Mariez	X	X				
Karen Pairazian	X	X				
Bruno Sabot				X	X	X
David Segonds	X	X				
Mustapha Souhassou				X		
Wolfgang Velten	X	X				
Sophie Viseur.	X	X				
<b>Post doctorants :</b>						
Richard Cognot	X					
Arben Shtuka.	X	X				

## SOURCES DE FINANCEMENTS

DBT fluides-roches , Pirsem Geothermie, Echotech, GeoFrance 3D, GDR Forpro, ANDRA, CE DG 12, Consortium Gocad, Consortium WIT, EDF, CEA, Cogema, IFP, Elf.

## QUELQUES PUBLICATIONS RÉCENTES

Cathelineau, M., Marignac, C. 1994 Use of fluid inclusions for a better understanding of intracontinental geothermal activities. In: Fluid inclusions in minerals: methods and applications, De Vivo, B. & Frezzotti, M.L. (eds), Short course of the working group (IMA) «Inclusions in minerals», Virginia Tech., pp. 309-326.

Aïssa, D.E., Cheilletz, A., Gasquet, D., Marignac, C. 1995. Alpine metamorphic core complexes and metallogenesis: The Edough case (NE Algeria). In: Mineral deposits: from their origin to their environmental impact, Pasava, J., Kribek, B, Zak, K. (eds), Balkema, Rotterdam, 23-26.

- Cheilletz A. and Giuliani G.** (1996). The genesis of Colombian emeralds : a restatement. *Mineralium deposita*, v. 31, p. 359-364.
- Demars C., Pagel M., Deloule E., and Blanc P.** (1996) - Cathodoluminescence of quartz from sandstones : interpretation of the UV range by determination of trace element distribution and of fluid inclusion P,T,X properties in authigenic quartz, *Amer. Mineral.*, **81**, 891-901.
- Marignac C, Semiani A., Fourcade S., Boiron M.C., Joron J.L., Kienast J.R., Peucat J.J.** (1996) Metallogenesis of the late Pan African gold bearing East Ouzzal shear-zone (Hoggar, Algeria), *J. Metam. Geol.*, 14, 783-801.
- Cheilletz A. and Giuliani G.** (1997). Comment se forment les émeraudes : caractériser la géologie des gisements pour mieux distinguer les vraies des fausses, *La Recherche*, 303, 48-42.
- Mallet J.L.** (1997) - Discrete Modelling of Natural objects. *Math. Geology*, v. 29, no 2, p. 199-219
- Shapiro S. A., Huenges E., and Borm G.** (1997) - Estimating the crust permeability from fluid-injection-induced seismic emission at the KTB site. *Geophys. J. Int.* 131, 15-18
- Gérard B., Royer J. J., Le Carlier de Veslud C., Pagel M.** (1998) - Modélisation 3D des transferts thermiques et fluides autour d'un réacteur naturel de fission (Oklo, Gabon). *Bull. Soc. Géol. France*, t. 169, n°3, pp 459-467.
- Ruggeiri G., Cathelineau M. Boiron M.-C., Marignac C.** (1998) boiling and fluid mixing in the chlorite zone of the Lardarello geothermal system, *Chemical Geology*, in press
- Smith M.P., Savary V., Yardley B.W.D., Valley J. W., Royer J.J. and Dubois M.** (accepted) - The evolution of the deep flow regime at Soultz-sous-Forêts, Rhine Graben, eastern France: evidence from a composite quartz vein. *JGR*.

# ENVIRONNEMENTS ACTUEL ET ANCIENS

## INTRODUCTION

Les traceurs géochimiques sont utilisés de longue date pour comprendre les processus qui contrôlent la qualité de l'environnement actuel et reconstituer les environnements anciens. Ce type d'objectif resta traditionnellement relativement accessoire au CRPG et c'est seulement depuis quelques années que des programmes complets ont été développés. L'émergence de nouvelles techniques d'analyse, en particulier avec la sonde ionique 1270, a entraîné l'élaboration de projets de recherches et, depuis quatre ans, le CRPG a affiché avec ce thème sa volonté d'augmenter son potentiel de recherche dans cette direction. À l'origine, ce thème était essentiellement centré sur des objectifs directement liés à la sonde ionique 1270. Ces projets sont maintenant dans leurs

phases initiales avec deux thèses débutées en 1997. Parallèlement un certain nombre de programmes qui s'inscrivent dans ce thème ont été menés au CRPG au cours des quatre dernières années. Un ensemble des travaux centrés sur la région himalayenne vise à (1) reconstituer l'histoire de l'érosion himalayenne à travers le message sédimentaire, (2) évaluer son effet global, et (3) étudier le comportement géochimique de certains éléments (B, C, Sr, Nd, Os...) dans le cycle érosion-altération. D'autre part des programmes sont en cours sur l'étude des lichens comme traceurs des transports atmosphériques, la géochimie isotopique du bore dans les carbonates marins ou encore la modélisation des sols.

## PRINCIPAUX RÉSULTATS

### ÉROSION HIMALAYENNE : (PROGRAMMES DBT FLEUVES ET ÉROSION ET PROSE)

#### ÉROSION ACTUELLE

L'étude du système d'érosion actuel est essentielle pour évaluer son effet global et interpréter les variations passées du régime climatique et tectonique qui conditionne l'érosion. Dans le cadre de la thèse de Albert Galy, nous étudions le système de rivières au Népal central et au Bangladesh. L'étude est fondée sur l'analyse de sables de rivières et des eaux prélevés à

différentes périodes de l'année (Fig. 1-Thème4). Elle apporte une première estimation de la variabilité spatiale et saisonnière de l'érosion chimique et physique sur un bassin himalayen. Elle a permis d'établir un bilan d'alcalinité des rivières et de leur signature isotopique de Sr pour estimer les relations entre altération des silicates et bilan isotopique de Sr dissous et consommation de CO<sub>2</sub> atmosphérique.

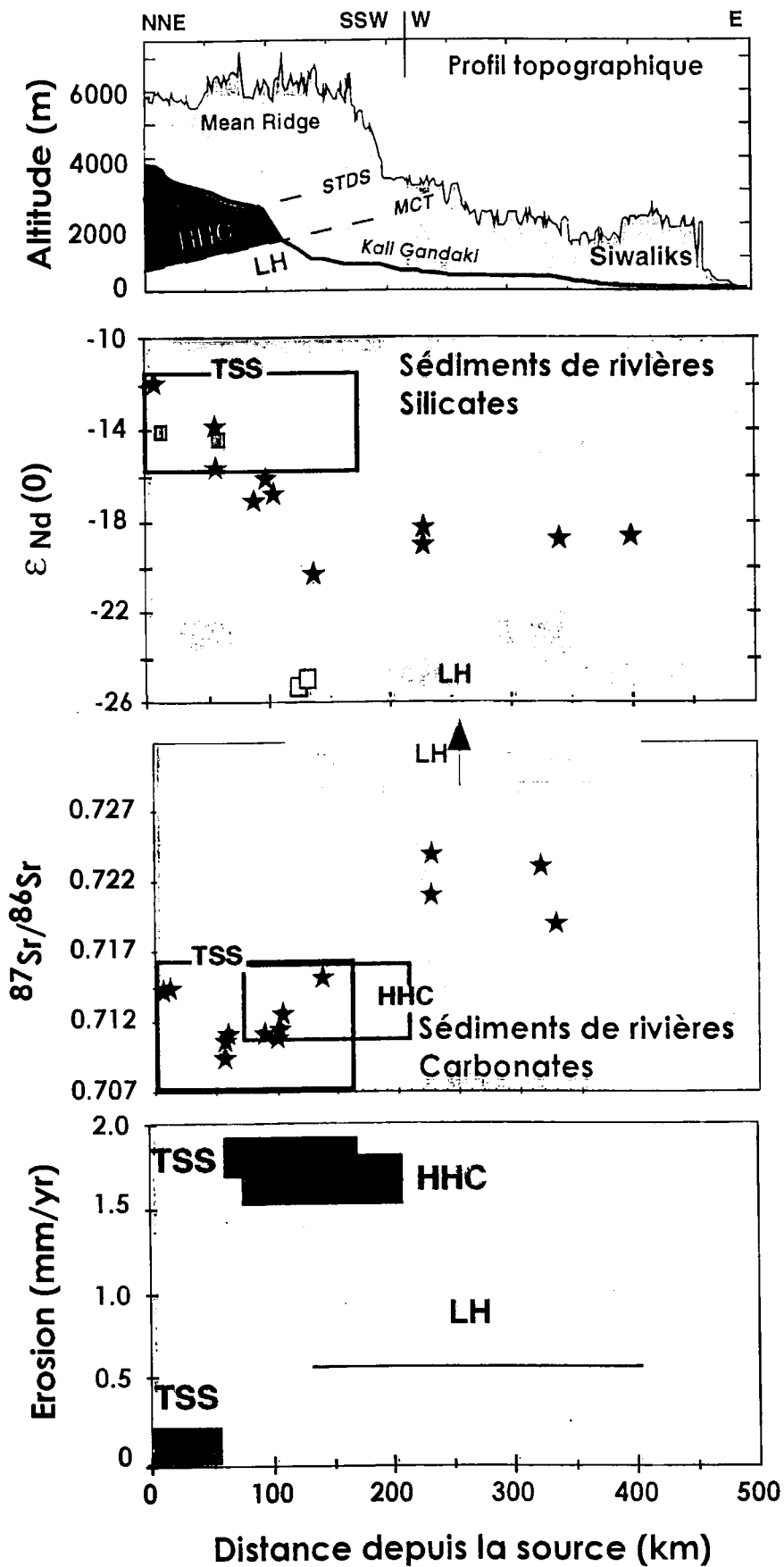


Fig 1-Thème4

## VARIATIONS PASSÉES

L'analyse de l'enregistrement sédimentaire, principalement sur le cône du Bengale (ODP Leg 116) a permis d'identifier les formations himalayennes érodées depuis le Miocène. La combinaison des données minéralogiques, géochimiques et sédimentologiques met en

évidence des variations majeures du régime d'érosion au Miocène supérieur. Celles-ci impliquent un changement durable de végétation et de vitesse d'érosion dans le bassin. L'interprétation en termes climatique et tectonique de ces variations reste ouverte.

## EFFET GLOBAL

Depuis 1992 plusieurs modèles ont été proposés pour lier l'érosion himalayenne à une augmentation de l'altération des silicates. Celle-ci aurait provoqué une consommation de CO<sub>2</sub> atmosphérique expliquant le refroidissement global des climats depuis 40 Ma. L'augmentation très importante du rapport <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr des océans serait la trace d'une altération intense des silicates et la diminution de δ<sup>13</sup>C des océans témoigne de l'érosion des réservoirs sédimentaires de carbone organique. L'étude du système d'érosion

himalayen passé et actuel remet largement en cause ce modèle que ce soit du point de vue des relations entre les processus d'érosion-altération et leurs traceurs isotopiques possibles dans l'enregistrement océanique ou bien entre érosion et consommation de CO<sub>2</sub> atmosphérique. En particulier le bilan chimique de consommation de CO<sub>2atm</sub> est environ 3 fois plus important par enfouissement de matière organique que par altération de silicates en Himalaya.

## LES AÉROSOLS MINÉRAUX DANS LES LICHENS ÉPIPHYTES

Les lichens épiphytes vivant sur les branches d'arbres sont de bons «filtres» naturels de la matière atmosphérique et donc des aérosols minéraux. Depuis environ deux ans, nous mettons au point des méthodes d'analyses pour le dosage de différents éléments en traces dans les lichens, que nous validons à l'aide de matériaux (lichens) de référence. Certains éléments, comme ceux du groupe des Terres Rares et l'aluminium, sont en proportions relatives similaires à celles estimées pour les roches de la croûte continentale supérieure. La composition chimique des lichens épiphytes nous renseigne donc sur la composition moyenne des roches à l'érosion. La composition isotopique de Nd des lichens varie systématiquement avec l'âge des provinces géologiques sur lesquelles ils

ont été échantillonnés, et les rapports <sup>143</sup>Nd/<sup>144</sup>Nd présentent généralement une corrélation positive avec les rapports <sup>147</sup>Sm/<sup>144</sup>Nd. Cette situation est identique à celle rapportée pour les sédiments de rivières à travers le monde et peut être interprétée comme le reflet d'une variation séculaire du <sup>147</sup>Sm/<sup>144</sup>Nd de la croûte continentale en réponse au fractionnement Sm-Nd lors de la fusion partielle du manteau. Par contre, certains lichens, aérosols et loess se situent de part et d'autre de cette tendance générale dans le diagramme <sup>143</sup>Nd/<sup>144</sup>Nd vs <sup>147</sup>Sm/<sup>144</sup>Nd. Nous pensons que des fractionnements Sm-Nd peuvent avoir lieu lors des processus d'altération des roches, avant la formation des aérosols.

# THÈSES EN COURS

## ÉROSION HIMALAYENNE

### LE CYCLE ISOTOPIQUE DU BORE DANS LES PROCESSUS DE SURFACE. (ESTELLE ROSE)

L'enjeu est d'évaluer le potentiel du bore comme traceur géochimique de l'érosion des continents et de l'évolution de la composition chimique des océans. L'intérêt de ce nouveau traceur isotopique pour modéliser les cycles géochimiques entre croûte terrestre et hydrosphère vient du fait que le bore présente de forts fractionnements chimiques et isotopiques dans les

processus de surface (fig.2-Thème4), fractionnements qui, une fois enregistrés dans les sédiments, peuvent apporter des informations sur la variation des conditions environnementales dans le passé (pH des eaux, variations des apports cycliques de bore, variations dans les conditions physico-chimiques de l'érosion ou dans la nature des roches altérées,...).

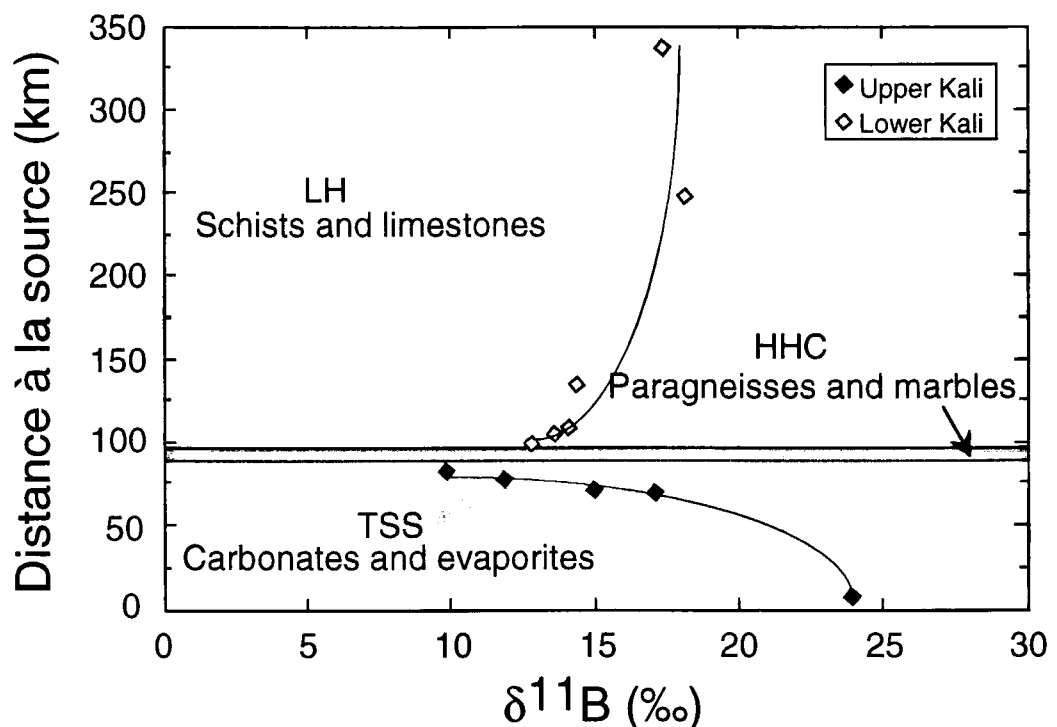


Fig. 2-Thème4 : Variations de la composition isotopique en bore de la rivière Kali (Himalaya) suivant les lithologies traversées

### GÉOCHIMIE ISOTOPIQUE DE L'OS DANS LE SYSTÈME D'ÉROSION HIMALAYEN. (ANNE-CATHERINE PIERSON-WICKMANN)

L'objectif est d'apporter des données quantifiées sur les flux d'Os et les modalités de transfert de l'Os et du Re entre continents et océans. Le cycle géochimique de l'Os est encore largement inconnu mais on sait maintenant que les océans

subissent de larges variations de compositions isotopiques sous l'effet de l'érosion et de l'altération continentale. L'Os pourrait ainsi être utilisé comme traceur des changements globaux qui affectent l'environnement.

## MICRO-MARQUEURS DE L'ENVIRONNEMENT

### MICRO-ANALYSES SIMULTANÉES DES COMPOSITIONS ISOTOPIQUES D'OXYGÈNE ET DES RAPPORTS SR/CA, MG/CA ET U/CA SUR MICROFOSSILES MARINS. (CLAIRE ROLLION-BARD)

La combinaison de ces différents traceurs doit permettre de déterminer avec le moins d'incertitude possible les conditions de température de formation en milieu marin et la composition isotopique marine. L'apport de la microanalyse dans ce

domaine sera de contrôler les variations chimiques et isotopiques à l'échelle des zones de croissances et ainsi d'examiner les éventuels effets vitaux sur l'enregistrement de ces traceurs géochimiques.

### ANALYSE CHIMIQUE ET ISOTOPIQUE GRAIN PAR GRAIN DES AÉROSOLS TROPOSPHÉRIQUES (JÉRÔME ALÉON)

Ce projet vise à développer l'étude chimique et isotopique (dont O, C, S, Pb) des aérosols grain par grain grâce à l'utilisation de la microsonde ionique ims 1270. La mesure des compositions isotopiques au niveau du grain, et la possibilité de mesurer des variations de compositions de la surface vers la profondeur d'un grain, offrent des perspectives très prometteuses pour mieux connaître l'évolution physique et chimique des

aérosols, leur temps de transport ainsi que pour tracer précisément leur origine. Ces données nouvelles auront des implications en ce qui concerne les variations d'albédo des aérosols en fonction du temps, le partage et la spéciation chimique de certains éléments polluants dans la phase atmosphérique solide ou le traçage des sources des aérosols détritiques en relation avec les modèles de circulation atmosphérique.

## PROJETS

### MICRO-MARQUEURS DE L'ENVIRONNEMENT

L'effort de développement analytique à la sonde ionique sera poursuivi pour permettre l'analyse des isotopes stables des éléments légers sur micro-particules en vue de reconstituer des conditions paléoenvironnementales. L'objectif est d'accéder à des informations nouvelles grâce à l'analyse d'objets qui ne pouvaient pas être analysés en raison de leur petite taille. Par exemple, les grains de pollens qui sont constitués d'une des formes les

plus résistantes de matière organique et sont présents dans la plupart des sédiments du monde peuvent nous renseigner sur les conditions climatiques (compositions isotopiques des précipitations) et sur les paléo-pressions de CO<sub>2</sub> atmosphérique. Les minéraux argileux, un grand nombre de microfossiles et l'analyse des couches de croissances des fossiles sont autant de voies qui pourront être abordées grâce à ces techniques.

### ÉROSION-ALTÉRATION

L'étude de l'érosion sur le bassin Himalayen évolue vers une analyse précise des processus et un effort de quantification des vitesses d'érosion et de transport. L'étude comparative de bassins soigneusement sélectionnés devra apporter des

informations sur l'importance de facteurs d'érosions tels que glaciers, sol, végétation, glissement de terrain ou bien précipitation. La quantification des vitesses d'érosion et de transport grâce à l'utilisation de traceurs cosmogéniques et

radiogéniques (He, Be ...) permettant de reconstituer l'histoire récente de l'érosion apparaît également très prometteuse.

Parallèlement nous continuons à étudier les accumulations sédimentaires. Les enjeux actuels sont de (1) comprendre à quel point climat et tectonique interagissent et modifient le modelé du relief, (2) de reconstituer les grandes étapes de l'érosion Himalayenne et leurs relations avec la

mise en place du climat de mousson et l'expansion des flores en C4. Ceci suppose d'une part de travailler sur de nouveaux enregistrements sédimentaires (Siwaliks, Cône du Bengale subactuel... nouveau projet de forage profond du cône) et d'autre part de rechercher de nouveaux traceurs, plus directs, des climats, de l'érosion et de l'altération.

## **LES AÉROSOLS DANS LES LICHENS : SOURCES, PROCESSUS DE FRACTIONNEMENT LORS DE L'ALTÉRATION ET DU TRANSPORT, ET TRANSFERTS CONTINENTS-OCÉANS.**

La poursuite de nos travaux sur les aérosols minéraux dans le cadre ce thème se déroulera suivant trois volets:

*Traçage de sources* - Nous avons déjà une collection de lichens couvrant une bonne partie de l'Amérique du Nord, sur des terrains géologiques variant en âge de quelques dizaines de millions à 3 milliards d'années. Nous voulons donc documenter l'échelle de l'hétérogénéité isotopique des aérosols minéraux ainsi que les processus de mélanges des sources d'âges différents en regardant les variations de composition isotopique du Nd des lichens. Un projet similaire va démarrer prochainement dans l'Himalaya Népalais.

*Processus de fractionnement* - Nous voulons documenter le fractionnement des Terres Rares

dans les aérosols minéraux en relation avec leur composition isotopique du Nd. Nous espérons pouvoir discerner les fractionnements pouvant survenir lors de l'altération des roches de ceux caractérisant les roches elles-mêmes, et ce dans le but de comprendre l'évolution chimique de la croûte continentale et les transferts de matière entre le manteau et la croûte.

*Transferts continents-océans* - L'ensemble des données acquises sur les lichens permet d'estimer les rapports moyens entre éléments traces et Si, Al ou Fe. Sur cette base il nous sera possible de calibrer le flux atmosphériques d'éléments traces associés aux aérosols silicatés vers les océans en se basant sur les flux connus pour Si, Al ou Fe.

## **ZONE ATELIER MOSELLE (ZAM)**

Le CRPG participe activement au projet ZAM coordonné par NANCIE. Ce projet multidisciplinaire qui réunit 14 laboratoires de la région lorraine met en place un ensemble de recherches sur le bassin hydrologique de la Moselle. La compréhension des processus et de l'évolution de ce bassin doit permettre d'assurer la

sécurité de l'approvisionnement en eau de la région. L'implication du CRPG portera essentiellement sur la modélisation du cycle de l'eau et des interactions eau-roche dans le bassin en utilisant un certain nombre de traceurs hydro- et géo-chimiques appropriés.



## CHERCHEURS ET ÉTUDIANTS IMPLIQUÉS

		Érosion Himalaya	Micro marqueurs	Lichens	ZAM
<b>Chercheurs</b>					
J. Carignan		X		X	X
M. Chaussidon		X	X		
E. Deloule			X		
C. France-Lanord		X	X	X	X
B. Marty		X			X
R. Pick		X			
L. Reisberg		X		X	X
J.J. Royer					X
<b>Post Doc/Thèse</b>					
J. Aléon	1997 -		X		
K. Beets	1995-96		X		
A. Galy	1994-98	X			
C. Rollion-Bard	1996-		X		
E. Rose	1995-	X			
AC P. Wickman	1996-	X			

## PRINCIPALES PUBLICATIONS DEPUIS 1994

- France-Lanord C.** et **Derry L. A.** (1994)  $\delta^{13}\text{C}$  of organic carbon in the Bengal fan: source evolution and transport of C3 and C4 plant carbon to marine sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **58**, 4809-4814.
- Bartoli, F., Burtin, G., Royer, J.J., Gury, M., Gomendy, V., Philippy, R., Leviandier, T. et Gafrej, R.** (1995) Spatial variability of topsoil characteristics within one silty soil type. Effect on clay migration. *Geoderma* **68**: 279-300.
- Galy A., France-Lanord C., et Derry L. A.** (1996) Oligo-Miocene uplift and unroofing of the Himalaya: evidence from the Bengal Fan. *Tectonophysics* **260**, 109-118.
- Derry L. A. et France-Lanord C.** (1996a) Neogene Growth of the Sedimentary Organic Carbon Reservoir. *Paleoceanography* **11**, 267-275.
- Derry L. A. et France-Lanord C.** (1996b) Neogene Himalayan weathering history and river  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ : Impact on the marine Sr record. *Earth and Planetary Science Letters* **142**, 59-74.
- Derry L. A. et France-Lanord C.** (1997) Himalayan weathering and erosion fluxes: climate and tectonic controls. In *Tectonic uplift and climate change* (ed. W. F. Ruddiman), pp. 289-312. Plenum.
- France-Lanord C. et Derry L. A.** (1997) Organic carbon burial forcing of the carbon cycle from Himalayan erosion. *Nature* **390**, 65-67.
- Reisberg L., France-Lanord C., et Pierson-Wickmann A.-C.** (1997) Os isotopic compositions of leachates and bulk sediments from the Bengal Fan. *Earth and Planetary Science Letters* **150**, 117-127

# STABILISATION ET DISPERSION DES POLLUANTS

Cette nouvelle thématique de recherche du CRPG se propose, par une approche pluridisciplinaire fondamentalement basée sur les concepts développés en Sciences de la Terre, de quantifier les effets de l'activité anthropique (déchets domestiques, industriels ou radioactifs et les émanations industrielles connexes) sur l'environnement, afin d'évaluer les risques de pollution potentielle. Grâce à des études minéralogiques, chimiques ou isotopiques portant aussi bien sur des objets naturels qu'anthropiques, ces recherches ont effectivement pour double objectif: i) d'appréhender les mécanismes de dispersion des polluants dans la biosphère (éléments de transition, métaux lourds, actinides, etc), et ii) d'évaluer le comportement à long terme des matériaux de confinement en conditions de stockage. Ces travaux de recherche, valorisant les potentialités analytiques et expérimentales du CRPG, sont menées le plus souvent en partenariat avec de grands groupes industriels.

Les travaux conduits au sein de cette thématique depuis ces 4 dernières années sont résumés par les axes de recherche suivants :

- Dispersion atmosphérique des polluants
- Caractérisation des résidus de l'activité anthropique
- Procédés de solidification et de stabilisation des déchets ultimes
- Comportement à long terme des matrices de confinement

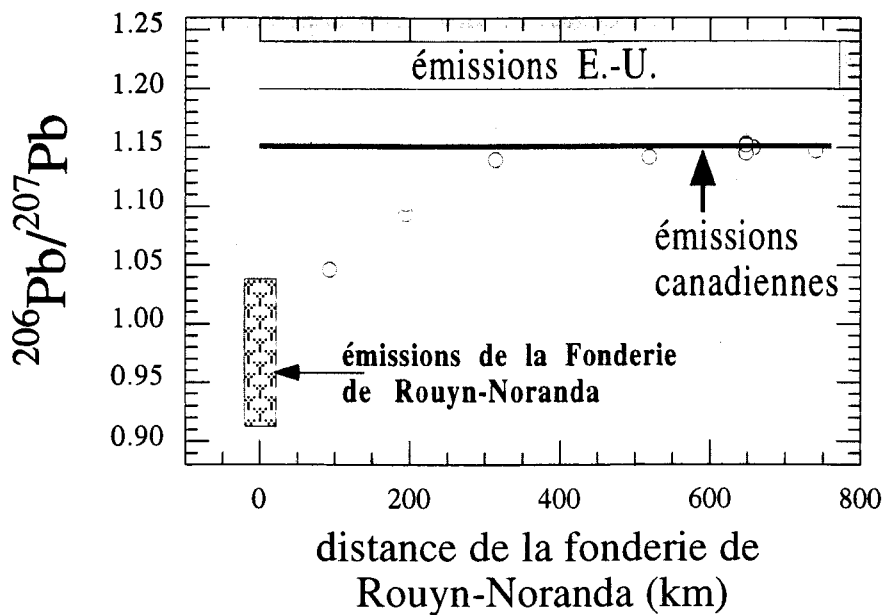
## DISPERSION ATMOSPHÉRIQUE DES POLLUANTS

Depuis trois ans, nous étudions la dispersion des métaux dans l'atmosphère à l'échelle continentale, en utilisant les isotopes du Pb comme traceurs des sources.

### LES LICHENS

Nous avons utilisé les végétaux comme filtres naturels de la matière atmosphérique et avons identifié les lichens épiphytes vivant sur les branches d'arbres comme étant les meilleurs traceurs de la pollution atmosphérique (par intégration du signal sur 2 à 5 ans). Nos travaux, en collaboration avec le laboratoire GEOTOP de l'Université du Québec à Montréal, dans la région du nord-est de l'Amérique du Nord, démontrent que la composition isotopique des lichens épiphytes nous renseigne sur les différentes sources

anthropiques de Pb atmosphérique (figure 1- Thème5), les processus de mélanges ainsi que la distribution hétérogène du Pb atmosphérique en relation avec les observations météorologiques (vents dominants). Cette approche est actuellement appliquée à d'autres régions du globe: Cordillère des Rocheuses (du Yukon à la Californie), chaîne des Himalayas (Népal), certaines îles océaniques (Canaries et Réunion), Nord de l'Eurasie (Péninsule de Kola), et Europe de l'Ouest (France et pays limitrophes), où des lichens ont déjà été



**Figure 1-Thème 5 :**  
Rapports isotopiques du Plomb trouvés dans les lichens en fonction de la distance avec la fonderie de Rouyn-Noranda. (Carignan, J. and Gariépy, C. (1995) *Geochimica et Cosmochimica Acta*.59, No 21, pp. 4427-4433.)

échantillonnés. A titre d'exemples, des «régionalités isotopiques» ont été observées en France avec l'individualisation d'une composante «engrais d'épandage - agriculture» à partir des relations obtenues entre les rapports isotopiques du Pb et les abondances relatives de Pb et de Cd dans les lichens. De plus, des mesures sur des lichens échantillonnés le long de transects en fonction de

l'altitude dans les massifs des Alpes et des Vosges ont démontré un gradient systématique de la composition isotopique du Pb des vallées vers les sommets. Ces gradients isotopiques sont interprétés comme le reflet de mélanges entre du Pb automobile (vallées) et un Pb industriel régional déjà bien homogène isotopiquement en altitude.

## LES PRÉCIPITATIONS

Afin d'augmenter la résolution temporelle, nous étudions aussi les précipitations (neige et pluie). Nous avons pu démontrer que, pour une région donnée (Province de Québec, Canada) les sources anthropiques de Pb peuvent différer selon la saison,

en réponse aux différents systèmes climatiques et déplacements des masses d'air. Afin de compléter ces études, nous échantillonnons systématiquement depuis 1995 des précipitations de la mousson asiatique (Népal et Bangladesh).

## CARACTÉRISATION DES RÉSIDUS DE L'ACTIVITÉ ANTHROPIQUE

L'activité anthropique produit de plus en plus de déchets ultimes (boues d'épuration, résidus d'incinération, scories, mâchefers, etc.) fortement chargés en éléments polluants. La caractérisation chimico-minéralogique détaillée de ces résidus (actuels ou anciens) est dès lors un préalable indispensable non seulement à l'évaluation des risques de pollution mais également à l'optimisation des procédés de stabilisation.

## LES DÉCHETS ULTIMES

L'incinération des ordures ménagères génère des déchets de déchets, les Résidus d'Épuration des Fumées (REFIOM). Dans le cadre du Programme de Recherche CNRS-SITA "Analyse et Inertage des déchets ultimes", nous avons caractérisé divers types de REFIOM (cendres

d'électrofiltration, gâteaux de filtration, etc.) en provenance de différentes usines d'incinération françaises. Outre leur composition silico-calcique alumineuse riche en chlore, il a été possible de montrer que ces résidus concentrent préférentiellement les éléments polluants tels que

As, Cd, Ni, Cr, Zn, Pb et Hg, parfois jusqu'à des teneurs voisines du poids pour cent. Ces analyses ont également permis d'appréhender la variabilité saisonnière et géographique de ces résidus. Par ailleurs, la mise au point d'une méthode de séparation minéralogique basée sur des séparations gravimétriques et densitométriques couplées à des analyses de DRX et d'ICP-MS nous a permis pour

la première fois de déterminer les proportions modales des différentes phases présentes dans ces cendres. Ces résultats ont montré par exemple 1) l'influence du procédé d'épuration des fumées sur la minéralogie de ces cendres et 2) la relation étroite existant entre les processus de condensation au sein de l'incinérateur et la cristalochimie des métaux de transition et des métaux lourds.

## **LES SCORIES DE LA MÉTALLURGIE ANCIENNE**

L'application des méthodes de la pétrographie et de la géochimie aux scories, minerais et autres produits associés aux métallurgies anciennes est également développée. Ceci se fait en collaboration étroite avec des archéologues, historiens, métallurgistes et géologues dans le cadre d'un programme national du CNRA, en association avec l'UPR «Paléométallurgie et Culture». En ce qui concerne la métallurgie du fer, il s'agit de comprendre la genèse des déchets afin de participer à la reconstitution des procédés et de suivre leurs évolutions. Il a été possible de tracer la filiation minerais/scories grâce à l'analyse chimique. L'effort actuel porte sur la transition bas fourneau/haut fourneau par l'étude de sites atypiques (Berry ; Maurienne) montrant qu'il faut dissocier les processus physico-chimiques des procédés

techniques. Cette distinction processus/procédés a permis de voir avec un oeil neuf des spécimens rapportés d'Ouzbékistan et de Mleiha (Emirat de Sherja). L'étude de scories d'élaboration du cuivre, soit archéologiques (mission Mleiha, St Véran), soit d'opérations de reconstitutions expérimentales (Archéodrome de Beaune 1995 et St Véran 1997) a permis de montrer dans le premier cas l'ajout d'un minerai de fer (Mleiha), et l'ajout de schiste à riebeckite à St Véran. Des travaux sur les scories de l'exploitation du plomb argentifère vont bientôt commencer (sites de Brandes et Melle). Outre, le côté archéologique, ces recherches ont montré l'analogie remarquable existant entre ces déchets paléométallurgiques et ceux actuellement produits par les incinérateurs, notamment les mâchefers d'incinérations (MIOM).

## **PROCÉDÉS DE SOLIDIFICATION ET DE STABILISATION**

Dans le cadre d'études menées en partenariat avec des groupes industriels, plusieurs travaux de recherche ont été consacrés ces dernières années à la mise au point ou à l'optimisation de procédés de solidification et de stabilisation de déchets ultimes (PSS).

### **LES PROCÉDÉS À FROID**

L'utilisation de divers liants hydrauliques a été testée dans le cadre de la thèse de N. Charoy pour stabiliser des boues d'épuration et des déchets

industriels spéciaux (DIS) fortement chargés en polluants (notamment Zn).

### **LES PROCÉDÉS À CHAUD**

La vitrification de REFIOM a été étudiée en détail par L. Le Forestier (thèse et travaux post-doctoraux), avec une attention particulière sur les taux de volatilisation et les rendements de piégeage des principaux éléments polluants (As, Cd, Pb, Cr, Zn, Pb, Hg). Enfin des travaux portant sur la

cristallisation totale de bains issus de la fusion de déchets industriels amendés et l'immobilisation des polluants dans des phases minérales ont été réalisés (thèse L. Febvay-Choffel et brevet "TREDI THERM").

# COMPORTEMENT À LONG TERME DES MATÉRIAUX DE CONFINEMENT

Afin de mieux appréhender la durabilité de ces matériaux de confinement, point préalable à toute opération de stockage, deux types d'approches ont été menés. La première consiste à effectuer des expériences d'altération au laboratoire, la seconde visant à étudier des analogues naturels.

## EXPÉRIENCES DE LIXIVIATION

Différents types d'expériences ont été conduites soit sur des verres, des vitrifiats ou des matrices cimentaires de confinement, soit sur des matériaux modèles. Ces expériences de lixiviation, réalisées en mode statique ou dynamique, ont pour but de quantifier les mécanismes de dissolution et les taux de relâchement des éléments polluants. Dans le cas des matrices vitreuses de confinement, l'influence de paramètres comme le pH de la solution altérante et sa composition, la surface spécifique, la température, le temps, ou la composition du verre a été systématiquement testée. Il a été montré par exemple que la composition globale et l'état de polymérisation du verre, toute chose égale par ailleurs, joue un rôle prépondérant sur la vitesse initiale de dissolution. Outre l'analyse

des solutions, un effort important a été effectué pour caractériser les produits d'altération (phases néoformées, gel de silice, etc). En parallèle de ces expériences "classiques" de lixiviation, une expérience originale d'altération du verre de confinement des déchets radioactifs (verre R7T7, collaboration CEA) par traçage isotopique en  $^{29}\text{Si}$  et  $^{18}\text{O}$  de la solution altérante a été mise au point. Elle a pour but, grâce à la réalisation de profil en profondeur réalisé à la sonde ionique, de mieux comprendre les mécanismes complexes d'altération des verres silicatés (hydrolyse, précipitation, recondensation) et de paramétrer les cinétiques de dissolution en quantifiant notamment la diffusion du silicium dans le gel d'altération.

## ANALOGUES NATURELS

A côté de ces expériences d'altération, il est également nécessaire d'avoir des informations sur l'altération de verres en conditions naturelles sur des laps de temps plus importants, de façon à i) simuler au mieux les conditions de stockage, ii) quantifier, "en temps réel", les taux de relâchement des éléments polluants dans l'hydrosphère et iii) vérifier la pertinence des modèles chimiques et cinétiques de dissolution dans leur prédiction de la stabilité des verres à plus long terme. Pour cela, nous avons entrepris des recherches sur deux types de matériaux anciens présentant de bonnes analogies avec les déchets vitrifiés actuels. Il s'agit des scories de la métallurgie ancienne (thèse C. Mahé-Le Carlier, figure 2-Thème5) et des vitraux médiévaux (thèse J. Sterpenich, figure 3-Thème 5). Ces deux études, par l'importance des résultats obtenus, ont ouvert une voie originale de recherche dans cette thématique sur le comportement à long terme des verres de confinement qui sera poursuivie

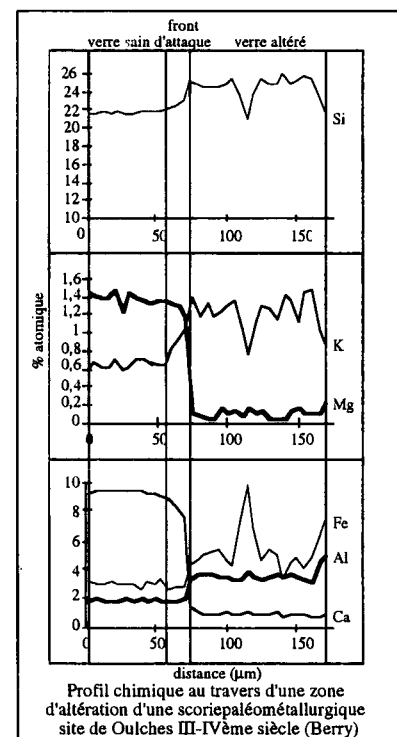
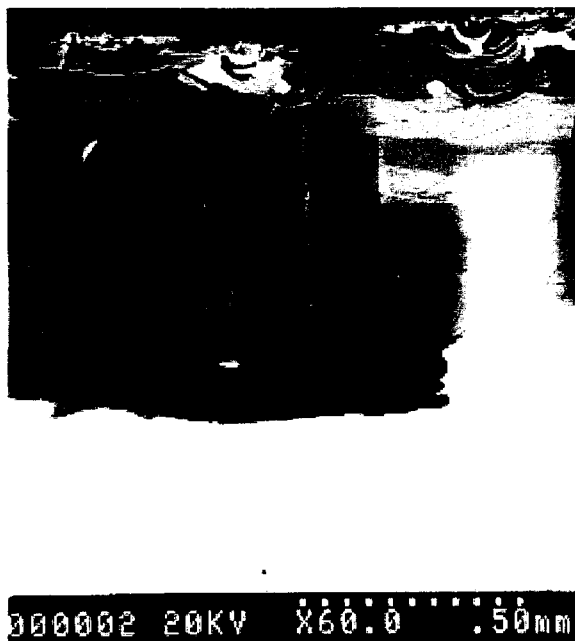


Figure 2-Thème 5



**Figure 3-Thème 5 :** Vue en section d'un vitrail daté du XIIIème siècle et exhumé lors de fouilles archéologiques sur le site de Notre-Dame-du-Bourg de Digne. Noter la présence d'une épaisse pellicule d'altération (en gris). Le verre sain apparaît en blanc au bas du cliché. Noter également la présence de laminations sub-parallèles à la surface et de rythmicités différentes. La trace laissée par le faisceau de la sonde ionique est visible au centre du cliché. Elle est le résultat de profils chimiques réalisés perpendiculairement à la surface du verre et permettant de suivre le comportement à l'altération non seulement des éléments majeurs mais également des éléments polluants (métaux lourds, éléments de transition, actinides, lanthanides, ...) et des éléments légers (hydrogène, soufre, carbone, bore, ...). MEB en électrons rétrodiffusés.

dans les prochaines années. Un effort particulier sera apporté à la caractérisation de l'environnement local des éléments dans les verres altérés (méthodes

spectroscopiques) afin de mieux comprendre la lixiviation préférentielle de certains éléments.

## PARTENARIATS

CEA-Marcoule, CEA-Cadarache, Corning, EDF, TREDI, SITA-Lyonnaise des Eaux, Laboratoire de Recherche des Musées de France, Laboratoires de Recherche des Monuments Historiques, Ministère de la Culture.

## CHERCHEURS ET ÉTUDIANTS IMPLIQUÉS

	Dispersion des polluants	Résidus Anthropiques	Procédés de Stabilisation	Comportement à long terme
<b>Chercheurs</b>				
M. Arnold		X	X	X
J. Carignan	X			
G. Libourel		X	X	X
A. Ploquin		X	X	X
<b>Thèses (date de soutenance)</b>				
L. Febvay-Choffel (1995)			X	
L. Le Forestier (1996)	X	X		X
C. Mahé-Le Carlier (1997)	X	X		X
N. Charoy (1997)		X		X
J. Sterpenich (1998)				X
N. Valle (2000)				X
C. Maieron (2000)		X		

## PUBLICATIONS

- Carignan J. et Gariépy C.** (1995) Isotopic composition of epiphytic lichens as a tracer of the sources of atmospheric lead emissions in southern Québec, Canada. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **59**, 4427-4433;
- Le Forestier L. et Libourel G.** (1998) Characterization of flue gas residues from municipal solid waste combustors. Sous presse. *Environmental Science & Technology*.
- Sterpenich J. et Libourel G.** (1997) Les Vitraux médiévaux. Caractérisation physico-chimique de l'altération. *TECHNE, La science au service de l'histoire de l'art et des civilisations*. Revue semestrielle du Laboratoire de recherche des Musées de France. n°6, 70-78.
- Libourel G., Barbey P. et Chaussidon M.** (1994) L'altération des vitraux. *La Recherche*. n° 262, 168-188.
- Leroy M. et Ploquin A.** (1996) Approche archéométrique de la proto-industrie du fer: les conditions de réduction des minerais de fer de lorraine et la chaîne opératoire dans la sidérurgie antérieure à l'apparition du haut fourneau. *Rev. Archéom.*, 18, 53-64.
- Mahé C., Le Carlier de Veslud C., Arnold M.** (1997) Contraintes internes dans les scories paléométallurgiques: quantification par photoélasticimétrie et par modélisation. In: «*Proceedings of the international congress on Waste Solidification-Stabilisation Processes*». *J.M. Cases and F. Thomas ed.*, 412-417.
- Mahé C., Ploquin A., Pluzin P. et Fluck P.** Etude des déchets des métallurgies anciennes: un état de l'art en relation avec les travaux archéométriques récents. Quelles retombées pour la prévision du vieillissement des procédés de stabilisation à chaud. In: «*Proceedings of the international congress on Waste Solidification-Stabilisation Processes*». *J.M. Cases and F. Thomas ed.*, 460-465.

## THÈSES

- Laurent Febvay-Choffel (1995) Etude des machefers résultant de l'incinération des déchets industriels: stabilité et traitement
- Lydie Le Forestier (1996). Résidus ultimes de l'incinération des déchets ménagers. Caractérisation chimique et minéralogique, essais de stabilisation par vitrification et comportement à long terme des verres à la lixiviation.
- Nathalie Charoy (1997). Les résidus d'épuration des fumées d'incinération de déchets industriels et leur stabilisation par liants hydrauliques: étude chimique, minéralogique et comportementale.
- Cécile Mahé-Le Carlier (1997). Caractérisation pétrographique et chimique d'analogues de déchets vitrifiés actuels: Les Scories de la métallurgie ancienne. Etude de leur altération naturelle et expérimentale.
- Jérôme Sterpenich (1998) Altération des vitraux médiévaux. Contribution à l'étude du comportement à long terme des verres de confinement.

# **LES ACTIVITÉS DES CHERCHEURS**





**ARNOLD MICHEL**

CR1, 56 ans

**Équipe** : Pétrologie

**Section(s) du Comité National** : 11

**Expérience professionnelle** :  
Chargé de Recherche CNRS

**Mots-clés** :  
Inertage, déchets industriels, cathodoluminescence

**Mon activité au sein du Centre** :  
Minéralogie et pétrologie des déchets industriels inertés  
Etude par cathodoluminescence de minéraux naturels

**PUBLICATIONS** :

**LES 3 PUBLICATIONS LES PLUS SIGNIFICATIVES DEPUIS LE DÉBUT DE MA CARRIÈRE**

**Arnold M.**, Sheppard SMF (1981) East Pacific Rise at latitude 21° N. Isotopic composition and origin of the hydrothermal sulfur. *Earth Planet Sci Letters*, 56, 148-156

**Arnold M.**, Guillou JJ (1983) Croissance naturelle de paracristaux de quartz dans une saumure sulfatée calcique à basse température. *Bull. Mineral.* 106, 417-442

**Arnold M.**, Gonzalez Partida E. (1987) Le système hydrothermal actuel de Los Humeros (Mexique) : Etat du système SO<sub>4</sub>-SH<sub>2</sub> à 300°C, origine du soufre et phénomènes d'oxydation associés à l'ébullition du fluide ascendant. *Mineral. Deposita*, 22, 90-98

**PUBLICATIONS DE RANG A, DEPUIS JANVIER 1994 (Y COMPRIS CELLES ACCEPTÉES)**

Leblanc M., **Arnold M.** (1994) Sulfur isotope evidence for the genesis of distinct mineralisations in the Bleida stratiform copper deposit (Marocco). *Econ Geol*, 89, 931-935

Martinez Serrano RG, Jacquier B, **Arnold M.** (1996) The  $\delta^{34}\text{S}$  composition of sulfates and sulfides at Los Humeros geothermal system, Mexico and their application to physicochemical fluid evolution. *J Volc Geotherm Res*, 73, 99-118

**Équipe :** Pétrologie

**Section(s) du Comité National :** 11

**Expérience professionnelle :**

- Assistant délégué puis titulaire (1973/1976)
- Maître de Conférence (1980)
- Professeur (1989)
- Responsable du DEA Géosciences Nancy (91 à 95) puis co-responsable du DEA "Physique et Chimie de la Terre"
- Responsable Jeune Equipe JE-248 (01-01-92 au 31-12-96)

**Mots-clés :**

Granulites, migmatites, granites  
Fusion partielle, transferts de magmas, genèse et évolution de la croûte continentale

**Mon activité au sein du Centre :**

- Enseignant-chercheur
- Membre de l'équipe "Minéraux, Matériaux, Expérimentation"
- Membre du Conseil de Laboratoire
- Thèmes développés au cours de 4 dernières années :
  - . Mécanismes de fusion de la croûte continentale (migmatites) ;
  - . Genèse, transfert et mise en place des magmas granitiques ;
  - . Granites et évolution de la croûte continentale ;
  - . Altération des vitraux des cathédrales ;

**Enseignements dispensés (options et nombre d'heures) :**

- Service effectué 203h
- Université Henri Poincaré (Pétrologie endogène et diagr. de phases) :
    - . DEUG 1ère et 2ème années
    - . Licence et Maîtrise Sciences de la Terre
    - . Licence et Maîtrise Formation des Maîtres
  - INPL-ENSG (Pétrologie du métamorphisme et stage de terrain) :
    - . 2ème année ENSG

**Participation à des comités locaux, nationaux, internationaux :**

- Président du Jury de Licence Sciences de la Terre
- Co-responsable du DEA "Physique et Chimie de la Terre"
- Membre du Bureau de la FR "ILG"
- Membre du Conseil Scientifique de l'Université Henri Poincaré
- Membre du Conseil éditorial de la revue *Geologische Rundschau*

**LES 3 PUBLICATIONS LES PLUS SIGNIFICATIVES DEPUIS LE DÉBUT DE MA CARRIÈRE**

**Barbey P & Raith M.** (1990). The granulite belt of Lapland. In: D. Vielzeuf & Ph. Vidal (eds), *Granulites and crustal differentiation, Kluwer Academic Publishers, NATO - ASI series, 111-132.*

**Barbey P, Macaudière J & Nzenti JP.** (1990) High-pressure dehydration melting of metapelites. Evidence from the Yaoundé migmatites. *J. Petrol.* 31: 401-427.

**Barbey P, Brouand M, Le Fort P, Pêcher A** (1996). Granite-migmatite genetic link: The example of the Manaslu granite and Tibetan Slab migmatites in central Nepal. *Lithos*, 38: 63-79.

**PUBLICATIONS DE RANG A, DEPUIS JANVIER 1994 (Y COMPRIS CELLES ACCEPTÉES)**

Pons J., **Barbey P.**, Dupuis D., Léger J.M. (1994). Mechanism of pluton emplacement and structural evolution of a 2.1 Ga juvenile continental crust. The Birimian of Southwestern Niger. *Precambrian Res.*, 70:281-301

**Barbey P, Allé P, Brouand M, Albarède F** (1995) Rare-earth patterns in zircons from the Manaslu granite and Tibetan Slab migmatites (Himalaya): insights in the origin and evolution of crustally-derived magmas. *Chem. Geol.*, 125: 1-17.

Hammouda T, Pichavant M, **Barbey P, Brearley AJ** (1995). Synthesis of fluorophlogopite single crystals. Applications to experimental studies. *Eur. J. Mineral.*, 7: 1381-1387.

**Barbey P, Brouand M, Le Fort P, Pêcher A** (1996). Granite-migmatite genetic link: The example of the Manaslu granite and Tibetan Slab migmatites in central Nepal. *Lithos*, 38: 63-79.

Fougnot J, Pichavant M, **Barbey P** (1996). Biotite resorption in dacitic lavas from northeastern Algeria. *Eur. J. Mineral.*, 8: 625-638.

Vigneresse JL, Barbey P, Cuney M (1996). Rheological transitions during partial melting and crystallization with application to felsic magma segregation and transfer. *J. Petrol.*, 37, 1579-1600.

Équipe : Géochimie

Section(s) du Comité National : 13

**Expérience professionnelle :**

08/1975 - 11/1976 : Apprenti technicien (Télécoms); 3/77 - 10/78 : Ouvrier, industrie lourde (Angleterre).  
 10/1984 - 06/1988 : Thèse, Open University, Milton Keynes (Angleterre).  
 06/1988 - 04/1991 : Chercheur post-doctoral, Open University, Milton Keynes (Angleterre).  
 4/1991 - 10/1992 : Chercheur associé, Paris 7 et CNRS.  
 Depuis 10/92 : Chercheur, CRI, CNRS.

**Mots-clés :**

Spectrométrie de masse, isotopes stables, biogéochimie, l'azote, croûte continentale, Précambrien

**Mon activité au sein du Centre :**

Développement de la biogéochimie et de l'origine de la biosphère terrestre. "Les roches du passé sont les clés du présent."

**LES 3 PUBLICATIONS LES PLUS SIGNIFICATIVES DEPUIS LE DÉBUT DE MA CARRIÈRE**

- Boyd, S.R., Matthey, D.P., Pillinger, C.T., Milledge, H.J., Mendelsohn M.J. and Seal, M. (1987) Multiple growth events during diamond genesis: an integrated study of carbon and nitrogen isotopes and nitrogen aggregation state in coated stones. *Earth Planet. Sci. Lett.* 86, 341-353
- Boyd, S.R., Hall, A. and Pillinger, C.T. (1993) The measurement of  $d^{15}N$  in crustal rocks by static vacuum mass spectrometry: application to the origin of the ammonium in the Cornubian batholith, S.W. England. *Geochim. Cosmochim. Acta.* 57, 1339-1347
- Boyd, S.R. and Phillipot, P. (1998) Precambrian ammonium biogeochemistry: a study of the Moine metasediments, Scotland. *Chem. Geol.*, 144, 257-268.

**PUBLICATIONS DE RANG A, DEPUIS JANVIER 1994 (Y COMPRIS CELLES ACCEPTÉES)**

- Boyd, S.R., Pineau, F. and Javoy, M. 1994 Modelling the growth of natural diamonds. *Chem. Geol.* 116, 29-42
- Boyd, S.R. and Pillinger, C.T. 1994 A preliminary study of  $^{15}N/^{14}N$  in octahedral growth form diamonds. *Chem. Geol.* 116, 43-59
- Boyd, S.R., Kiflawi, I. and Woods, G.S. 1994 The relationship between infrared absorption and the A defect concentration in diamond. *Phil. Mag. B* 69, 1149-1153
- Watt, G. R., Harris, J. W., Harte, B. and Boyd, S. R. 1994 A high chromium corundum (ruby) inclusion in diamond from the Sao Luiz alluvial mine, Brazil. *Min. Mag.* 58, 490-493
- Boyd, S.R., Rejou-Michel A., Javoy M. 1994 Non-cryogenic purification of nanomole quantities of nitrogen gas for isotopic analysis. *Anal. Chem.* 66, 1396-1402
- Boyd, S.R., Rejou-Michel, A. and Javoy M. 1995 Improved techniques for the extraction, purification and quantification of nanomole quantities of nitrogen gas: the nitrogen content of diamond. *Meas. Sci. Technol.* 6, 297-305
- Boyd, S.R., Kiflawi, I. and Woods, G.S. 1995 Infrared absorption by the B nitrogen aggregate in diamond. *Phil. Mag. B* 72, 351-361
- Boyd, S.R., Wright, I. P. and Pillinger C.T. 1997 Stepped-heating of carbonates and carbon-bearing quartz grains. *Chem. Geol.*, 134, 303-310.
- Boyd, S. R. 1997 Determination of the ammonium content of potassic minerals by capacitance manometry. *Chem. Geol.*, 137, 57-66.
- Cartigny, P., Boyd, S.R., Harris, J.W. and Javoy, M. 1997 Nitrogen isotopes in peridotitic diamonds from Fuxian, China: the mantle signature. *Terra Nova*, 9, 175-179
- Boyd, S.R. and Phillipot, P. 1998 Precambrian ammonium biogeochemistry: a study of the Moine metasediments, Scotland. *Chem. Geol.*, 144, 257-268.
- Boyd, S.R., Wright, I. P., Alexander, C.M.O'D and Pillinger C.T. 1998 High-resolution stepped-combustion mass spectrometry: Application to the detection and analysis of fine-grained diamond in meteorites and rocks. *Geostandards Newsletter (in press)*.
- Boyd, S.R., 1988 Developing ammonium biogeochemistry. *Chem. Geol (accepté)*.
- Boyd, S.R., Sano, Y. and Pillinger, C.T. 1988 Nitrogen isotopes in synthetic diamonds: implications for the study of natural stones? *Diamond and Related Materials (accepté)*

**BROWN WILLIAM**

DR1 émérite, 68 ans

**Équipe** : Pétrologie

**Section du Comité National** : 13

**Expérience professionnelle** :

Enseignant-chercheur aux USA (2 ans), Suisse (2 ans), Grande Bretagne (4 ans), France: Université de Paris 6 (7 ans), Université de Nancy 1 (11 ans), CNRS:1984-1997

**Mots-clés**:

Minéralogie, feldspaths, microtextures, pétrologie éruptive, boninites, gabbros, syénites

**Mon activité au sein du Centre** :

présence partielle

**LES 3 PUBLICATIONS LES PLUS SIGNIFICATIVES DEPUIS LE DÉBUT DE MA CARRIÈRE**

**Brown WL, Parsons I** (1984). Exsolution and coarsening mechanisms and kinetics in an ordered cryptoperthite series. *Contrib Mineral Petrol*, 86: 3-18.

**Smith JV & Brown WL** (1988). *Feldspar minerals*. Vol 1, Springer Verlag, Heidelberg, 828p.

**Brown WL, Parsons I** (1989). Alkali feldspars: ordering rates, phase transformations and behaviour diagrams for igneous rocks. *Mineral Mag*, 53: 25-42.

**PUBLICATIONS DE RANG A, DEPUIS JANVIER 1994 (Y COMPRIS CELLES ACCEPTÉES)**

**Ohnenstetter D, Brown WL** (1996) Compositional variation and primary water contents of differentiated interstitial and included glasses in boninites. *Contrib Mineral Petrol* 123: 117-137

**Ritz M, Brown WL, Moreau C, Ohnenstetter D** (1996) An audiomagnetotelluric study of the Meugueur-Meugueur, Aïr, Niger: ring dyke or cone sheet? *J Applied Geophysics* 34: 229-236

**Lee MR, Waldron KA, Parsons I, Brown WL** (1997) Feldspart—fluid interactions in braid microperthites: pleated rims and vein microperthites. *Contrib Mineral Petrol*, 127: 291-304

**Brown WL, Lee MR, Waldron KA, Parsons I**, (1997) Strain-driven disordering of low microcline to low sanidine during partial phase separation in microperthites. *Contrib Mineral Petrol*, 127: 305-313

**Équipe :** Service d'Analyse des Roches et des Minéraux (SARM)

**Expérience professionnelle :**

Trois ans de stage post-doctoral à l'université de Montréal, McGill et UQAM dans le domaine des isotopes radiogéniques et des éléments traces appliqués à la géochimie du manteau terrestre et au traçage des aérosols minéraux et de la pollution atmosphérique par les métaux.

Depuis deux ans, responsable du SARM et de la collection des géostandards: restructuration, gestion générale et développement analytique pour le dosage élémentaire.

**Mots-clés :**

éléments majeurs et traces, géostandards, spectromètre de masse, chimie atmosphérique

**Mon activité au sein du Centre :**

Responsable du service d'analyse ; encadrement de stagiaires (BTS-IUT) et DEA (UHP et ENSG) ; organisation d'ateliers et congrès scientifiques ; membre du bureau d'édition de la revue Geostandards Newsletter

**Enseignements dispensés (options et nombre d'heures) :**

DEA physique et chimie de la terre: géochimie analytique et géochimie de surface (environ 15 heures en 1996 et 1997)

Responsable de stage pour 3 étudiants de DEA en 1997

**Participation à des comités locaux, nationaux, internationaux :**

comité de gestion des équipements nationaux en géochimie

conseil de l'Association Internationale des Géochimistes

membre de l'American Geophysical Union

membre de l'European Geophysical Society

**LES 3 PUBLICATIONS LES PLUS SIGNIFICATIVES DEPUIS LE DÉBUT DE MA CARRIÈRE**

**Carignan, J., Gariépy, C., and Hillaire-Marcel, C. (1997)** Hydrothermal fluids during Mesozoic reactivation of the St. Lawrence rift system: C, O, Sr and Pb isotopic characterization. *Chemical Geology* 137, pp. 1-21.

**Carignan, J., Ludden, J., and Francis, D. (1996)** On the recent enrichment of a subcontinental lithosphere: a detailed U-Pb study of spinel lherzolite xenoliths, Yukon, Canada. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 60, No 21, pp. 4241-4252.

**Carignan, J. and Gariépy, C. (1995)** Isotopic composition of epiphytic lichens as a tracer of the sources of atmospheric Pb emissions in southern Québec, Canada. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 59, No 21, pp. 4427-4433.

**PUBLICATIONS DE RANG A, DEPUIS JANVIER 1994 (Y COMPRIS CELLES ACCEPTÉES)**

**Carignan, J., Gariépy, C., and Hillaire-Marcel, C. (1997)** Hydrothermal fluids during Mesozoic reactivation of the St. Lawrence rift system: C, O, Sr and Pb isotopic characterization. *Chemical Geology* 137, pp. 1-21.

**Carignan, J., Ludden, J., and Francis, D. (1996)** On the recent enrichment of a subcontinental lithosphere: a detailed U-Pb study of spinel lherzolite xenoliths, Yukon, Canada. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 60, No 21, pp. 4241-4252.

**Carignan, J., Machado, N., and Gariépy, C. (1995)** U-Pb geochemistry of komatiites and CPX from the southern Abitibi greenstone belt, Canada. *Chemical Geology* 126, pp. 17-27.

**Carignan, J., and Gariépy, C. (1995)** Isotopic composition of epiphytic lichens as a tracer of the sources of atmospheric Pb emissions in southern Québec, Canada. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 59, No 21, pp. 4427-4433.

**Carignan, J. and Gariépy, C. (1995)** Formation age and source of molybdenite, Grenville Province, Canada: Pb isotope evidence. *Economic Geology* 90, pp. 956-963.

**Carignan, J., Machado, N., and Gariépy, C. (1995)** Determination of the initial Pb isotopic composition of the Mulcahy layered intrusion: the nature of the late Archean mantle in the Superior Province of Canada and its implication for the evolution of greenstone belts. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 59, No. 1, pp. 97-105.

**Carignan, J., Ludden, J., and Francis, D. (1994)** Isotopic characteristics of mantle sources for Quaternary continental alkaline magmas in the northern Canadian Cordillera. *Earth and Planetary Science Letters* 128, pp. 271-286.

**Équipe** : Pétrologie

**Section du Comité National** : 11

**Expérience professionnelle** :

1976-1979: Post-Doc à l'École Polytechnique de Montréal (Canada)

1981-1988: enseignant-chercheur à l'Université de Fes (Maroc)

1989- ce jour 1998: enseignant-chercheur à l'Université de Nancy

**Mots-clés** :

volcans, magmas acides et basiques, manteau lithosphérique, pétrographie, géochimie élémentaire et isotopique.

**Mon activité au sein du Centre CRPG** :

Enseignant-chercheur : (1) dynamique des éruptions volcaniques, (2) pétrogénèse des magmas silicatés acides et basiques, (3) formation du manteau sous-continentale, (4) magmas immiscibles carbonatitiques et silicatés.

**Enseignements dispensés** :

Pétrographie et cartographie en terrain volcanique ancien et récent

Volcanologie

Pétrogénèse des magmas

Géomécanique et géomatériaux

équival. 210h TD, en Licence et Maîtrise "Sciences de la Terre" et "Biologie Générale et Sciences de la Terre", en Prépa CAPES-AGREG et en 1ère année de DEUG Sciences de la Vie et de la Terre, et en 1ère année Ecole Nationale Supérieure de Géologie

**Participation à des comités locaux** :

au sein de l'Université de Nancy :

- membre élue du Conseil du Département des Sciences de la Terre

- membre élue de l'Unité de Formation et de Recherche en Sciences et Techniques des Matériaux et Procédés

- membre élue de la Commission de Spécialistes 35-36 de l'Université H.Poincaré de Nancy

- Présidente du Jury de la Licence Biologie Générale et Sciences de la Terre et responsable "programme et emploi du temps" du Module de Géologie

- Responsable "programme et emploi du temps" du module Géologie en Préparation (5ème année) aux concours du Capes et de l'Agrégation

**LES 3 PUBLICATIONS LES PLUS SIGNIFICATIVES DEPUIS LE DÉBUT DE MA CARRIÈRE**

**Chalot-Prat F.**, (1991). Clinopyroxenes from space- and time- associated "within-plate" and "subduction-related" variscan basic rocks (Tazekka, Morocco). *Contr. Miner. Petrol.* 107, 231-241.

**Chalot-Prat F.**, (1995) Genesis of rhyolitic ignimbrites and lavas from distinct sources at a deep crustal level: field, petrographic, chemical and isotopic (Sr, Nd) constraints in the Tazekka volcanic complex (Eastern Morocco). *Lithos*, 36, 29-49.

**C Chalot-Prat F.** et Boullier AM (1997) Metasomatism in the subcontinental mantle beneath the Eastern Carpathians (Romania): new evidence from trace element geochemistry, *Contr. Miner. Petrol.*, 129, 284-307.

**PUBLICATIONS DE RANG A, DEPUIS JANVIER 1994 (Y COMPRIS CELLES ACCEPTÉES)**

**Chalot-Prat F.**, (1995) Genesis of rhyolitic ignimbrites and lavas from distinct sources at a deep crustal level: field, petrographic, chemical and isotopic (Sr, Nd) constraints in the Tazekka volcanic complex (Eastern Morocco). *Lithos*, 36, 29-49.

**Chalot-Prat F.** et Boullier AM (1997) Metasomatism in the subcontinental mantle beneath the Eastern Carpathians (Romania): new evidence from trace element geochemistry, *Contr. Miner. Petrol.*, 129, 284-307.

## CHAROY BERNARD

Maître de Conférences ENSG, 57 ans

**Équipe** : Pétrologie

**Section(s) du Comité National** : 11

**Expérience professionnelle** :

Enseignant depuis 1967 à la Faculté des Sciences de Nancy, puis à l'ENSG (INPL).

**Mon activité au sein du Centre** :

Magmatisme, Hydrothermalisme, Eléments rares, Minéralogie, Fluides.

**Enseignements dispensés (options et nombre d'heures)** :

- Minéralogie et Cristallographie (cours + TP) 150 h. équivalent TD ;

- Stage de terrain en pays sédimentaire plissé 150 h. équivalent TD ;

- Phénomènes hydrothermaux (CESEV) 10 h. équivalent TD.

### LES 3 PUBLICATIONS LES PLUS SIGNIFICATIVES DEPUIS LE DÉBUT DE MA CARRIÈRE

**Charoy B.** (1979). Définition et importance des phénomènes deutériques et des fluides associés dans les granites. Conséquences métallogéniques. *Thèse d'Etat, Mémoire Sci. de la Terre*, 37, 364p, 119 fig, 76 tabl.

**Charoy B.** and Raimbault L. (1994) ZR, TH AND REE-rich biotite differentiates in the A-type granite pluton of Suzhou (eastern China) : the key role of fluorine. *J. Petrology*, 35/4, 919-962.

**Charoy B.** and Noronha F. (1996). Multistage growth of a rare-element, volatile-rich microgranite at Argemela, Portugal. *J. Petrology*, 37, 73-94.

### PUBLICATIONS DE RANG A, DEPUIS JANVIER 1994 (Y COMPRIS CELLES ACCEPTÉES)

**Charoy B.** and Raimbault L. (1994) ZR, TH AND REE-rich biotite differentiates in the A-type granite pluton of Suzhou (eastern China) : the key role of fluorine. *J. Petrology*, 35/4, 919-962.

Boullier A.M., **Charoy B.** and Pollard P.J. (1994). Fluctuation in porosity and fluid pressure during hydrothermal events : textural evidence in the Emuford District, Australia. *J. Structural Geol.*, 16/10, 1417-1429.

**Charoy B.**, Chaussidon M. and Noronha F. (1995). Lithium zonation in white micas from the Argemela cupola (Central Portugal) : an in-situ ion-electron microprobe and vibrational spectroscopic investigation. *Eur. J. Mineralogy*, 7, 335-352.

**Charoy B.** and Noronha F. (1996). Multistage growth of a rare-element, volatile-rich microgranite at Argemela, Portugal. *J. Petrology*, 37, 73-94.

**Charoy B.**, de Donato P., Barres O. and Valle Pinto-Coelho C. (1996) Channel occupancy in an alkali-poor beryl from Serra Branca (Gios, Brazil) : spectroscopic characterization. *Am. Mineralogist*, 81, 395-403.

**Charoy B.** (1998). Beryllium speciation in evolved granitic magmas : phosphates versus silicates. *Accepté à Eur. J. Mineralogy*.



**Équipe :** Géochimie

**Section(s) du Comité National :** 13

**Expérience professionnelle :**

Thèse de l'INPL (soutenue le 21 juin 1988) : "Géochimie du soufre dans le manteau et la croûte océanique: apports de l'analyse in situ par sonde ionique"

Chargé de Recherches CR2 au CRPG-CNRS au 1<sup>er</sup> octobre 1988

Habilitation à diriger des recherches de l'INPL (soutenue le 30 janvier 1988) : "Cosmochimie et géochimie du bore".

**Mots-clés :**

Géochimie isotopique, cosmochimie, sonde ionique, paléo-environnements.

**Mon activité au sein du Centre :**

Sur le plan scientifique, je développe des projets de recherche dans deux domaines principaux : la cosmochimie (liens entre effets interstellaires et réactions solaires dans l'origine des anomalies isotopiques des météorites) et l'étude des paléo-environnements (étude isotopique des micro-fossiles et traçage des circulations atmosphériques par l'étude isotopique grain par grain des aérosols détritiques). Ces projets sont développés en collaboration avec des chercheurs du CRPG (Christian France-Lanord, Guy Libourel, Bernard Marty, Jean Carignan), des chercheurs français (François Robert, Edouard Bard) et des chercheurs étrangers (le groupe de John Wasson et de Kevin McKeegan à UCLA en particulier). Je co-encadre 4 étudiants en thèse au CRPG sur ces projets de recherche.

Sur le plan technique, je suis co-responsable avec Etienne Deloule des deux sondes ioniques ims 3f et ims 1270 du CRPG et du service national d'analyse avec la sonde ims 1270.

Je suis interface entre la responsable de la bibliothèque (Annie Jeannot) et le CRPG.

**Enseignements dispensés (options et nombre d'heures) :**

Enseignements de cosmochimie, géochimie générale, sonde ionique et spectrométrie de masse: entre 10-20 h par an en DEA, 3<sup>ème</sup> année de l'ENSG et licence de l'Université Henri Poincaré-Nancy1.

**Participation à des comités locaux, nationaux, internationaux :**

- Membre du groupe ad-hoc "Géochimie" de la commission des équipements mi-lourds de l'INSU ;

- Membre du groupe ad-hoc "Système solaire et plasma spatiaux" du CNES.

**Prix, distinctions obtenus :**

Médaille Houtermans (avril 1995) de l'European Association of Geochemistry

**LES 3 PUBLICATIONS LES PLUS SIGNIFICATIVES DEPUIS LE DÉBUT DE MA CARRIÈRE**

**Chaussidon M., Albarède F. & Sheppard S. M. F.** (1987) Sulphur isotope heterogeneity in the mantle from ion microprobe measurements of sulphide inclusions in diamonds. *Nature* 330, 242-244.

**Chaussidon M. & Marty B.** (1995) Primitive boron isotope composition of the mantle. *Science* 269, 383-386.

**Chaussidon M. & ROBERT F.** (1995) Nucleosynthesis of <sup>11</sup>B-rich boron in the presolar cloud recorded in meteoritic chondrules. *Nature* 374, 337-339.

**PUBLICATIONS DE RANG A, DEPUIS JANVIER 1994 (Y COMPRIS CELLES ACCEPTÉES)**

**Chaussidon M. & Jambon A.** (1994) Boron content and isotopic composition of oceanic basalts: geochemical and cosmochemical implications. *Earth Planet. Sci. Lett.* 121, 277-291.

**Bottero M., Gaucher A., Wang C., Chaussidon M. & Yvon J.** (1995) Dental abnormalities in early diagnosis of hyperphosphatemia. *Scan. Microscop.* 9, 1179-1191.

**Chaussidon M.** (1995) Isotope geochemistry of boron in mantle rocks, tektites and meteorites. *C. R. Acad. Sci. Paris* 321, 455-472.

**Chaussidon M. & Koeberl C.** (1995) Boron content and isotopic composition of tektites and impact glasses: constraints on source regions. *Geochim. Cosmochim. Acta* 59, 613-624.

**Chaussidon M. & Marty B.** (1995) Primitive boron isotope composition of the mantle. *Science* 269, 383-386.

**Chaussidon M. & Robert F.** (1995) Nucleosynthesis of <sup>11</sup>B-rich boron in the presolar cloud recorded in meteoritic chondrules. *Nature* 374, 337-339.

**Charoy B., Chaussidon M. & Noronha F.** (1995) Lithium zonation in white micas from the Argemela microgranite (Central Portugal) : an in situ ion-, electron-microprobe and spectroscopic investigation. *Eur. J. Mineral.* 7, 335-352.

**Gurenko A. & Chaussidon M.** (1995) Enriched and depleted primitive melts included in olivine from Icelandic tholeiites: origin by continuous melting of a single mantle column. *Geochim. Cosmochim. Acta.* 59, 2905-2917.

**Chaussidon M., Sigurdsson H. & Metrich N.** (1996) Sulfur and Boron isotopic study of high-Ca impact glasses from the K/T boundary: constraints on source rocks. Dans "The Cretaceous-Tertiary Event & Other Catastrophes in earth History" (Eds. G. Ryder, D. Fastovsky et S. Gartner) *Geological Society of America Special Paper* 307, p 253-262.

- Hamouda T., Pichavant M. & **Chaussidon M.** (1996) Isotopic equilibration during partial melting: an experimental test of the behaviour of Sr. *Earth Planet. Sci. Lett.* 144, 109-121.
- Richard D., Marty B., **Chaussidon M.** & Arndt N. (1996) Helium isotopic evidence for a lower mantle component in depleted Archean komatiites. *Science* 273, 93-95.
- Sobolev A. V. & **Chaussidon M.** (1996) H<sub>2</sub>O concentrations in primary melts from supra-subduction zones and mid-ocean ridges : implications for H<sub>2</sub>O storage and recycling in the mantle. *Earth Planet. Sci. Lett.* 137, 45-55.
- Chaussidon M.** & Appel P. W. (1997) Boron isotopic composition of tourmalines from the 3.8Ga old Isua supracrustals, West Greenland: implications on the variations of the  $\delta^{11}\text{B}$  of early Archean seawater. *Chem. Geol.* 136, 171-180.
- Chaussidon M.** & Robert F. (1997) Comment on "Boron cosmochemistry II: boron nucleosynthesis and condensation temperature" by M. Zhai. *Meteoritics. Planet. Sci.* 32, 321-323.
- Chaussidon M.**, Robert F., Mangin D., Hanon P. & Rose E. (1997) Analytical procedures for the measurement of boron isotope compositions by ion microprobe in meteorites and mantle rocks. *Geostand. News. J. Geostan. Geoanal.* 21 7-17.
- Gurenko A. & **Chaussidon M.** (1997) Boron contents and isotopic compositions of Icelandic primitive magmas: evidence from melt inclusions in olivine. *Chem. Geol.* 135, 21-34.
- Schiano P., Clochiatti R., Lorand J.-P., Massare D., Deloule. & **Chaussidon M.** (1997) Primitive basaltic melts included in podiform chromites from the Oman ophiolite. *Earth Planet. Sci. Lett.* 146, 489-497.
- Cunat L., Membre H., Marchall L., **Chaussidon M.** & Burnel D. The effect of aluminium, iron, chromium and yttrium on rat intestinal smooth muscle in vitro. *Biol. Trace Elem. Res.* (sous presse).
- Hanon P., Robert F. & **Chaussidon M.** (1998) High carbon concentration in meteoritic chondrules : a record of metal silicate differentiation. *Geochim. Cosmochim. Acta* 62, 903-913.
- Roy-Barman M., Wasserburg G. J., Papanastassiou & **Chaussidon M.** (1998) Osmium, rhenium isotopic composition and concentrations in sulfide globules from basaltic glass. *Earth Planet. Sci. Lett.* 154, 331-347.
- Roselieb K., **Chaussidon M.**, Mangin D. & Jambon A. Lithium diffusion in vitreous jadeite (NaAlSi<sub>2</sub>O<sub>6</sub>): an ion microprobe study. *Neues Jahrbuch für Mineralogie* (sous presse).

## CHEILLETZ ALAIN

Professeur\* ENSG ,50 ans

\* en attente de la confirmation du CNU

**Équipe :** Géochimie

**Section(s) du Comité National :** 11

**Expérience professionnelle :**

- Enseignant ENSG-INPL depuis octobre 1975

**Mots clés :**

Géochronologie K-Ar,  $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$  , émeraudes, métallogénèse.

**Mon activité au sein du Centre :**

- Direction DEA (6), Thèses (4) ;  
- Laboratoire de Spectrométrie de masse K-Ar ;  
- Co-responsable du programme Emeraudes Colombie.

**Enseignements dispensés (option et nombre d'heures) :**

Pétrologie endogène, métamorphisme, métallogénie, encadrement stages de terrain.

- 196 h. équivalent TD 2ème cycle ENSG ;  
- 34 h. équivalent TD (95/96) 3ème cycle ;  
- 17 h équivalent TD (96/97).

**Participation à des comités locaux, nationaux, internationaux :**

Au sein de l'Etablissement :

Membre élu du Conseil d'Administration de l'INPL (1991-1996).  
Membre élu de la Commission des Spécialistes de l'ENSG, 35-36ème section, (1991-2001).  
Membre élu de la Commission de Choix des Enseignants de l'ENSG (1991-1998)  
Membre élu du Conseil Scientifique du CRPG (1991-1995).  
Membre élu du Conseil Scientifique de l'Institut Lorrain des Géosciences (ILG), (1995-1998).  
Délégué enseignant-chercheur à la Commission IATOS de l'ENSG (1991 à 1999).

Nationales :

Membre élu du Conseil National des Universités, 35ème section, 1992-1995.  
Membre nommé au Conseil National des Universités, 35ème section, 1995-1999.

**LES 3 PUBLICATIONS LES PLUS SIGNIFICATIVES DEPUIS LE DÉBUT DE MA CARRIÈRE**

**Cheilletz A., Giuliani G (1996).** The Genesis of Colombian Emeralds : a restatement. *Mineralium Deposita*, 31, 349-364.

**Cheilletz A., Feraud G, Giuliani G (1994).** Time-Pressure and temperature constraints on the formation of Colombian emeralds : An  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  laser microprobe and fluid inclusion study. *Economic Geology*. Vol. 89, 1994, pp.361-380.

**Cheilletz A., Clark A. H., Farrar E. , Arroyo Pauca G., Pichavant M and Sandeman H. (1992).** Volcano-stratigraphy and  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  geochronology of the Macusani ignimbrite field : monitor of the Miocene geodynamic evolution of the Andes of SE Peru., *Tectonophysics*, 205, 1-3, 307-328.

**PUBLICATIONS DE RANG A, DEPUIS JANVIER 1994 (Y COMPRIS CELLES ACCEPTÉES)**

**Cheilletz A., Feraud G, Giuliani G (1994).** Time-Pressure and temperature constraints on the formation of Colombian emeralds : An  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  laser microprobe and fluid inclusion study. *Economic Geology*. Vol. 89, 1994, pp.361-380.

**Cheilletz A., Barbey P., Lama C., Pons J., Zimmermann J.L., Dautel D. (1994).** Age de refroidissement de la croûte juvénile birimienne d'Afrique de l'Ouest. Données U-Pb, Rb-Sr et K-Ar sur les formations à 2,1 Ga du SW-Niger. *C.R. Acad. Sci. Paris*, t. 319, Série II, pp. 435-442.

**Giuliani G., Cheilletz A., Arbodela C., Carillo V., Rueda F., Baker J.H. (1995 a).** An evaporitic origin of the parent brines of Colombian emeralds : fluid inclusion and sulphur isotope evidence. *Eur. Journ. Mineral.*, 7, pp. 151-165.

**Laumonier B., Branquet Y., Lopes B., Cheilletz A., Giuliani G., Rueda F. (1996).** Mise en évidence d'une tectonique compressive Eocène-Oligocène dans l'Ouest de la Cordillère Orientale de Colombie, d'après la structure en duplex des gisements d'émeraude de Muzo et de Cosquez. *C.R. Acad. Sci. Paris*, t. 323, Série II a, pp. 705-712.

**Cheilletz A., Giuliani G. (1996).** The Genesis of Colombian Emeralds : a restatement. *Mineralium Deposita*, 31, 349-364.

**Ottaviani-Spella M.M., Girard M. et Cheilletz A. (1996).** Les ignimbrites burdigaliennes du Sud de la Corse. Pétrologie et datation K-Ar. *C.R. Acad. Sci. Paris*, t. 323; Série II a, pp. 771-778.

- Scaillet S., **Cheilletz A.**, Cuney M., Farrar E., Archibald D.A. (1996). Cooling pattern and mineralization history of the Saint Sylvestre and Western Marche leucogranite pluton, French Massif Central : I.  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  isotopic constraints. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol 60, N° 23, pp. 4653-4671.
- Scaillet S, Cuney M., Le Carlier De Veslud C., **Cheilletz A.** and Royer J.J. (1996). Cooling pattern and mineralization history of the Saint Sylvestre and West Marche leucogranite pluton, French Massif Central : II Thermal modelling and implications for the mechanisms of U-mineralization. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 60 No 23, pp. 4673-4688.
- Cheilletz A.**, Giuliani G., Branquet Y., Laumonier B., Rueda F., Feraud G., Arhan T. (1997). Datation K-Ar et  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  à  $65 \pm \text{Ma}$  des gisements d'émeraude du district de Chivor-Macanal : argument en faveur d'une déformation précoce dans la Cordillère Orientale de Colombie. *C.R. Acad. Sci. Paris, t. 324, Série IIa*, pp. 1 à 7.

**Équipe :** Géochimie

**Section(s) du Comité National :** 13

**Expérience professionnelle :**

1981-1982 Assistant à l'université Paris VII  
 1982-1998 Chargé de Recherche au CNRS  
 1982-1988 IPG, Paris  
 1988-1998 CRPG, Nancy.  
 Oct. 1992- avr. 1993 : Visiting Associate at Caltech (G. Wasserburg)

**Mots-clés :**

Géochimie des eaux, Métallogénie, Géochimie isotopique, analyse in situ, micro sonde ionique.

**Mon activité au sein du Centre :**

Etude de la distribution et des échanges d'eau dans le manteau terrestre et les météorites.  
 Tracage isotopique des interactions eaux-roches.  
 Développement d'analyse U-Pb conventionnelle et par sonde ionique (coll. CREGU).  
 Développement de l'analyse in situ par micro sonde ionique (Pb, S, H, Li,...)  
 Responsable avec M. Chaussidon des microsondes ioniques .

**Enseignements dispensés (options et nombre d'heures) :**

DEA Nancy-Strasbourg (module géochimie, Transfert manteau-océan : 6h)  
 DESS de physique appliqué, université de Metz. (les isotopes et leurs utilisations : 12h)

**Participation à des comités locaux, nationaux, internationaux :**

Conseil scientifique du CRPG  
 Section 13 du Comité National (secrétaire scientifique).

**LES 3 PUBLICATIONS LES PLUS SIGNIFICATIVES DEPUIS LE DÉBUT DE MA CARRIÈRE**

**Deloule E.** and Turcotte D. L.(1989) The flow of hot brines in cracks and the formation of ore deposits. *Econ. Geol.*, **84**, 2217-2225.

**Deloule E.**, Albarède F. and Sheppard S.M.F. D/H, (1991) Hydrogen Isotope Heterogeneities in the Mantle from Ion Probe Analysis of Amphiboles from Ultramafic Rocks : *E.P.S.L.*, **105**, 543-53.

**Deloule E** and Robert F., (1995) Interstellar water in meteorites ? *Geochim. Cosmochim. Acta*, **59**, 4695-4706

**PUBLICATIONS DE RANG A, DEPUIS JANVIER 1994 (Y COMPRIS CELLES ACCEPTÉES)**

P. Henry, **Deloule E** et A. Michard, (1994) Erosion des alpes : histoire métamorphique des roches érodées par l'analyse du couple Rb-Sr des sédiments molassiques. *C.R. Acad. Sci. Paris*, **318**, II, 1637-1644.

**Deloule E.**, Paillat O., Pichavant M. and Scaillot B., (1995) Ion microprobe determination of water in silicate glasses: Methods and applications. *Chemical Geology*, **125**, 19-28.

**Deloule E** and Robert F. (1995) Interstellar water in meteorites ? *Geochim. Cosmochim. Acta*, **59**, 4695-4706

Merino E., Wang Y. and **Deloule E.** (1995) Genesis of Agates in Flood Basalts: III, Trace-Element Chemistry and the Twisting of Chalcedony Fibers. *Amer. J. of Science*, **295**, 1156-1176.

Demars C., Pagel M., **Deloule E.** and Blanc P., (1996) Cathodoluminescence of quartz from sandstones : interpretation of the UV range by determination of trace element distribution and of fluid inclusion P,T,X properties in authigenic quartz. *Amer. Mineral.*, **81**, 891-901.

Wagner C., **Deloule E** and Mokhtari A., (1996) Mineralogical and D/H isotope studies of upper mantle metasomatic assemblages and MARID inclusions from Northern Morocco: implications for subcontinental mantle heterogeneity. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **124**, 406-421.

Auffret G.A., Richter T., Reyss J.L., Organo C., **Deloule E.**, Gaillard J.F., Danielou B., Muller C., Thomas B., Watremez P., Grousset F., Boelaert A., Cambon P. et Etoubleau J., (1996) Enregistrement de l'activité hydrothermale dans les sédiments de la dorsale medio-atlantique au Sud des Açores, *C.R.Acad.Sci.Paris*, **323**, serie IIa, 583-590.

Henry P., **Deloule E** et Michard A., (1997) The erosion of the alpes : Nd isotopes, major and trace elements constraints on the sources of the peri-alpine molassic sediments : *E.P.S.L.*, **146**, 627-644

Stone W.E., **Deloule E.** Larson M. S. and Leshner C.M., (1997) Evidence for Hydrous High-MgO Melts in the Precambrian. *Geology*, **25**, 143-146.

Schiano P., Clocchiatti R., Lorand J.-P., Massare D., **Deloule E** and Chaussidon M., (1997) Primitive basaltic melts included in podiform chromites from the Oman Ophiolite *Earth Planet. Sci. Lett.*, **146**, 489-498.

**Deloule E.**, Doukhan J.C. and Robert F., (1998) Interstellar hydroxyls in meteoritic chondrules : implications for the origin of water in the inner solar system, accepté a *Geochim. Cosmochim. Acta*, mai 1998.

**DESMONS JACQUELINE**

CR, 61 ans

retraite en 1998

**Équipe :** Pétrologie

**Section(s) du Comité National :** 11

**Expérience professionnelle (5 lignes max.) :**

**Mots-clés :**

Alpes, métamorphismes, en particulier de haute pression, éclogites, ophiolites, Iran

**Mon activité au sein du Centre :**

Métamorphismes en général et, en particulier, ceux des Alpes

**Participation à des comités locaux, nationaux, internationaux :**

IUGS, Sous-Commission sur la nomenclature des roches métamorphiques (secrétaire)

**LES 3 PUBLICATIONS LES PLUS SIGNIFICATIVES DEPUIS LE DÉBUT DE MA CARRIÈRE**

**Bocquet J. [Desmons],** 1974. Etudes minéralogiques et pétrologiques sur les métamorphismes d'âge alpin dans les Alpes françaises. *Thèse Grenoble*, 489 p.

**Desmons J., Beccaluva L.,** 1983 Mid-ocean ridge and island-arc affinities in ophiolites from Iran. *Chemical Geology* 39, 39-63.

**Radelli L., Desmons J.,** 1997. L'histoire éocène-miocène inférieur des Alpes est celle d'un arc magmatique continental. *Atti Tic. Sc. Terra* 39, 205-216.

**Équipe :** Géochimie

**Section(s) du Comité National :** 11

**Expérience professionnelle :**

Doctorat INPL 1987  
CR au CNRS depuis 1988 au CRPG  
Habilitation à diriger des recherches 1998  
Mis à disposition à l'Université de Cornell 1997-1998

**Mots-clés :**

Altération, Erosion, Echanges eau-roche, Fluides géologiques, Isotopes stables, Himalaya, Paléo-environnement, Sédiment.

**Mon activité au sein du Centre :**

Elle est centrée sur l'application des méthodes géochimiques (majeurs, isotopes stables et radiogéniques) aux problèmes des processus d'érosion, altération, échanges continent-océans. Sur le plan technique je suis spécialisé en géochimie des isotopes stables. Les domaines géologiques où j'ai le plus d'expérience sont l'Himalaya et les sédiments océaniques.

- Responsable du laboratoire de géochimie des isotopes stables.
- Animation des programmes de recherche sur l'érosion Himalayenne
- Recherches sur les interactions eau-roche dans les sédiments argileux

**Enseignements dispensés (options et nombre d'heures) :**

- DEA : Cycles Géochimique (10 heures)

**Participation à des comités locaux, nationaux, internationaux :**

- Membre du Conseil Scientifique du CRPG.
- Membre du Conseil Scientifique d'ODP-France depuis 1993
- Membre du groupe international (PPG) "Climate and Tectonic" pour la réflexion sur les forages océaniques

**LES 3 PUBLICATIONS LES PLUS SIGNIFICATIVES DEPUIS LE DÉBUT DE MA CARRIÈRE**

**France-Lanord, C., Sheppard, S. M. F., & Le Fort, P., (1988)** Hydrogen and oxygen isotope variations in the High Himalaya peraluminous Manaslu leucogranite : evidence for heterogeneous sedimentary sources. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 52 : 513-526.

**France-Lanord, C., Derry, L., & Michard, A.,** Evolution of the Himalaya since Miocene time: isotopic and sedimentologic evidence from the Bengal Fan, in Treloar, P. J., and Searle, M., editors, Himalayan Tectonics: *Geological Society of London Special Publication*, 74 : 603-621.

**France-Lanord, C., & Derry, L. A.,** Organic carbon burial forcing of the carbon cycle from Himalayan erosion. *Nature* 390: 65-67.

**PUBLICATIONS DE RANG A, DEPUIS JANVIER 1994 (Y COMPRIS CELLES ACCEPTÉES)**

**France-Lanord, C., & Derry, L. A. (1994)**  $\delta^{13}\text{C}$  of organic carbon in the Bengal fan: source evolution and transport of C3 and C4 plant carbon to marine sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 58 : 4809-4814.

**Ionov, D. A., Harmon, R. S., France-Lanord, C., Greenwood, P. B., & Ashchepkov, I. V., 1994,** Oxygen isotope composition of garnet and spinel peridotites in the continental mantle: Evidence from the Vitim xenolith suite, southern Siberia *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 58 : 1463-1470.

**Derry, L. A., & France-Lanord, C. (1996)** Changing Riverine  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  and Neogene Himalayan Weathering History: Impact on the Marine Sr Record. *Earth and Planetary Science Letters*, 142: 59-74.

**Derry, L. A., & France-Lanord, C. (1996)** Neogene Growth of the Sedimentary Organic Carbon Reservoir. *Paleoceanography*, 11: 267-275.

**Galy, A., France-Lanord, C., & Derry, L. A., 1996,** Oligo-Miocene uplift and unroofing of the Himalaya: evidence from the Bengal Fan. *Tectonophysics*, 260: 109-118.

**Derry, L. A., & France-Lanord, C. (1997)** Himalayan Weathering and Erosion Fluxes: Climate and Tectonic Controls in *Ruddiman et Kutzbach eds. Tectonic Uplift and Climate Change, Plenum Press, New York* 289-312.

**France-Lanord, C., & Derry, L. A., (1997)** Organic carbon burial forcing of the carbon cycle from Himalayan erosion. *Nature* 390: 65-67.

**Reisberg, L., France-Lanord, C. & Pierson-Wickmann, A.-C., (1997)** Os isotopic compositions of leachates and bulk sediments from the Bengal Fan. *Earth and Planetary Science Letters*, 150: 117-127.

## GASQUET DOMINIQUE

Maître de Conférences, 45 ans

**Équipe :** Pétrologie

**Section(s) du Comité National :** 11

**Expérience professionnelle :**

1980-1984 : Coopérant non titulaire au Maroc (Faculté des Sciences de Marakech),  
1984-1985 : Maître assistant stagiaire (ENSGéologie détaché à Marrakech jusqu'en 1987),  
1985 : titularisation dans le corps de maîtres assistants de deuxième classe,  
1989 : Maître assistant de 1ère classe,  
1990 : Maître de Conférences,  
depuis Avril 1997 : Maître de Conférences, 1ère classe, 4ème échelon.

**Mots-clés :**

Pétrologie Structurale, granitoïdes, orogènes et géodynamique, Maroc

**Mon activité au sein du Centre :**

Membre élu du Conseil de Laboratoire  
Membre du bureau de Direction du CRPG  
Co-animateur de l'équipe Dynamique de la Lithosphère

**Enseignements dispensés (options et nombre d'heures) :**

Année universitaire 1997-1998 (heures/équivalents TD) : ENSG  
Cours de Géodynamique (CPP et "homogénéisation" 1A) : 18heures  
Stages de terrain 1ère et 2ème année : 108 heures  
TD Analyse Structurale et Cartographie 1ère (60 h) et 2ème année (21h)  
Cours de Pétrologie Structurale (2A) : 6 heures, de néotectonique (6h)  
EMN : stage de terrain : 35 heures

**Participation à des comités locaux, nationaux, internationaux :**

Conseil Scientifique de l'INPL  
Commission de Spécialistes 34/35/36 èmes sections de l'INPL  
Commission de Spécialistes 35/36 èmes sections de l'UHP

**LES 3 PUBLICATIONS LES PLUS SIGNIFICATIVES DEPUIS LE DÉBUT DE MA CARRIÈRE**

**Gasquet D.** (1992) - Mise en évidence d'intrusions emboîtées dans le Massif du Tichka (Haut -Atlas occidental, Maroc). *C.R. Acad. Sci., Paris*, 931-936.

Fernandez F. & **Gasquet D.** (1994) - Relative rheological evolution of chemically contrasted magmas: example of the Tichka plutonic complex. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 116, 316-326.

**Gasquet D.**, Stussi J.M. & Nachit H. (1996) - Les granitoïdes hercyniens du Maroc, dans le cadre de l'évolution géodynamique régionale. *Bull. Soc. géol. France*, 167-4, 517-528.

**PUBLICATIONS DE RANG A, DEPUIS JANVIER 1994 (Y COMPRIS CELLES ACCEPTÉES)**

Fernandez F. & **Gasquet D.** (1994) - Relative rheological evolution of chemically contrasted magmas: example of the Tichka plutonic complex. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 116, 316-326.

Aït Malek H., **Gasquet D.**, Marignac C. & Bertrand J.M. (1995) - Des xénolites à corindon dans une vaugnérite à corindon de l'Ardèche (Massif Central français) : implications pour le métamorphisme ardéchois. *C. R. Acad. Sci., Paris*, 321, 959-966.

Bouloton J. & **Gasquet D.** (1995) - Melting and undercooled crystallisation of felsic xenoliths from minor intrusions (Jebilet massif, Morocco). *Lithos*, 35, 201-219.

**Gasquet D.**, Fernandez A., Mahé C. & Boullier A.M. (1995) - Origine des rubanements dans les granitoïdes : exemple du monzogranite de Brignogan-Plouescat (NW du Massif armoricain). *C.R. Acad. Sci., Paris*, 321, 369-376.

Laumonier B., Marignac C. & **Gasquet D.** (1995) - Cinématique d'un front de chevauchement : l'avant-pays de la nappe des Corbières aux environs de Lagrasse (Aude, France). *C. R. Acad. Sci., Paris*, 321, 1195-1201.

Mokhtari A., **Gasquet D.** & Rocci G. (1995) - Les tholéiites de Tagmout (Jbel Saghro, Anti-Atlas, Maroc) témoins d'un rift au Protérozoïque supérieur. *C.R. Acad. Sci., Paris*, 320, 381-386.

Bertrand J.M., Aillères L., **Gasquet D.** & Macaudière J. (1996) - The Pennine Front zone in Savoie (western Alps), a review and new interpretations. *Ecolgae Geol. Helv.*, 89/1, 297-320

**Gasquet D.**, Stussi J.M. & Nachit H. (1996) - Les granitoïdes hercyniens du Maroc, dans le cadre de l'évolution géodynamique régionale. *Bull. Soc. géol. France*, 167-4, 517-528.

Ikenne M., **Gasquet D.**, Barbey P., Macaudière J. (1997) - Relations entre déformation, métamorphisme et magmatisme dans le Paléoprotérozoïque du massif du Bas Drâa (Anti-Atlas occidental, Maroc). *C.R. Acad. Sci., Paris*, 324, 237-243.



**Équipe :** Géochimie

**Section(s) du Comité National :** ORSTOM

**Expérience professionnelle :**

Chercheur à l'ORSTOM (géologue-géochimiste) depuis 1985.

Affecté au Brésil en 1986 (à l'Université de Bahia puis Brasília; projets Au, Mo et émeraude) puis au CRPG en 1991 (projets émeraudes Colombie et Brésil).

Différentes mission de terrain à l'étranger (métaux abordés :Sn, W, Mo, rubis, Be)

**Mots-clés :**

Géologue, géochimiste, métallogénie, interaction fluide/roche, isotopes, fluides, ressources naturelles, bilans

**Mon activité au sein du Centre :**

Responsable du laboratoire d'inclusions fluides du CRPG depuis 1991. Interface du laboratoire d'isotopes stables depuis Août 1997. Membre élu au conseil de laboratoire. Responsable de projet DBT-INSU. Encadrement de DEA.

**LES 3 PUBLICATIONS LES PLUS SIGNIFICATIVES DEPUIS LE DÉBUT DE MA CARRIÈRE**

**Giuliani G., Cheilletz A., Arboleda C., Rueda, F., Carillo V., Baker J. (1995) :** An evaporitic origin of the parent brines of Colombian emeralds: fluid inclusion and sulfur isotopic evidence. *Eur. J. Min.*, 7, 151-165.

**Giuliani, G., Cheilletz, A., Zimmermann J-L., Ribeiro-Althoff A.M., France-Lanord C., Féraud, G. (1997) :** Les gisements d'émeraude du Brésil: genèse et typologie. *Chronique Recherche Minière*, 526, 17-61.

**Giuliani G., France-Lanord C., Coget P., Schwarz D., Cheilletz A., Branquet Y., Giard D., Pavel A., Martin-Izard A., Piat D.H. (1998):** Oxygen isotope systematics of emerald - relevance for its origin and geological significance. *Mineralium Deposita*, (sous presse).

**PUBLICATIONS DE RANG A, DEPUIS JANVIER 1994 (Y COMPRIS CELLES ACCEPTÉES)**

Cheilletz A., Féraud G., **Giuliani G.**, Rodriguez C.T. (1994): Time-pressure-temperature formation of Colombian emerald: an  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  laser-probe and fluid inclusion-microthermometry contribution. *Econ. Geol.*, 89, 361-380.

Michel D., **Giuliani G.**, Pulz G.M., Jost H. (1994): Evidence for multistage gold deposition in the Archean Maria Lázara gold deposit (Goiás, Brazil). *Mineralium Deposita*, 29, 94-97.

Michel D., **Giuliani G.**, Olivo G.R., Marini O.J. (1994): As-growth bandings in pyrites from the Santa Rita gold vein occurrence hosted in Proterozoic metasediments (Goiás state, Brazil). *Econ. Geol.*, 89, 193-200.

**Giuliani G., Cheilletz A., Arboleda C., Rueda, F., Carillo V., Baker J. (1995):** An evaporitic origin of the parent brines of Colombian emeralds: fluid inclusion and sulfur isotopic evidence. *Eur. J. Min.*, 7, 151-165.

Fortes P.T.F.O., **Giuliani G.** (1995): Etude des phases fluides associées au corps de sulfures massifs aurifères de la Mina III, Crixás, Etat de Goiás, Brésil. *C. R. Acad. Sci.*, 320, 1171-1178.

Cheilletz A., **Giuliani G.** (1996): The genesis of Colombian emeralds: a restatement. *Mineralium Deposita*, 31, 359-364.

Michel D., **Giuliani G.** (1996): Gold deposition in mesothermal quartz veins: importance of S-rich arsenopyrites and tourmaline. *Canadian Mineralogist*, 34, 513-528.

Laumonier B., Branquet Y., Cheilletz A., **Giuliani G.**, Rueda F. (1996): Les gisements d'émeraude de Muzo et de Coscuez (ouest de la cordillère orientale de Colombie) sont des duplex formés pendant une phase de tectonique en chevauchement à la limite Eocène-Oligocène. *C. R. Acad. Sci., Paris*, 320, série IIa, 1171-1178.

Cheilletz A., **Giuliani G.**, Branquet Y., Laumonier B., Sanchez A.J.M., Féraud G., Arhan T. (1997): Datation K-Ar et

$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  à  $65 \pm 3$  Ma des gisements d'émeraude du district de Chivor-Macanal: argument en faveur d'une déformation précoce dans la Cordillère Orientale de Colombie. *C. R. Acad. Sci., Paris*, 324, série IIa, 369-377.

**Giuliani G., France-Lanord C., Coget P., Schwarz D., Cheilletz A., Branquet Y., Giard D., Pavel A., Martin-Izard A., Piat D.H. (1998):**Oxygen isotope systematics of emerald - relevance for its origin and geological significance. *Mineralium Deposita*, (sous presse).

**JACQUEMIN PIERRE**

IR1, 47 ans

**Équipe :** Modélisation

**Section(s) du Comité National :** 11

**Expérience professionnelle :**

Ingénieur de Recherche CRPG depuis 1982

**Mots-clés :**

Automatisation, modélisation, dépliage, GOCAD, CAO.

**Mon activité au sein du Centre :**

Modélisation et automatisation de systèmes industriels. Responsable réseau et centre de calcul. Développement d'applications dans le cadre du projet GOCAD et notamment de méthodes de dépliage. Responsable matériel et logiciel du parc de stations de travail de l'équipe GOCAD (une quarantaine de machines), Responsable de l'organisation des réunions GOCAD et des stands lors des réunions pétrolières internationales.

**Enseignements dispensés (options et nombre d'heures) :**

TD informatique : 57 h

Cours informatique: 20h

**Participation à des comités locaux, nationaux, internationaux :**

Comité de lecture de la conférence « 3D modeling of natural objects » Nancy Juin 98.

**LES 3 PUBLICATIONS LES PLUS SIGNIFICATIVES DEPUIS LE DÉBUT DE MA CARRIÈRE**

Fonctionnement optimal d'un circuit de broyage-classification à sec à la société des Talcs de Luzenac. Revue de l'industrie minérale- Février 1983

GEOL : Interactive computer aided design in the processing of mining and geological data. The role of Data in scientific process. Glaeser (ed.) CODATA, 1985

3D palinspastic reconstruction of complex structures

SEG 1996, Technical program- Vol 1

## LE CARLIER DE VESLUD CHRISTIAN

IR2, 34 ans

**Équipe :** Modélisation

**Section(s) du Comité National :** 11

**Expérience professionnelle :**

Ingénieur de Recherche CRPG depuis 1992

**Mots-clés :**

Modélisation numérique, transferts chaleur et masse, diffusion-convection, milieux poreux et fracturés, développement de codes, modéleur 3D GOCAD.

**Mon activité au sein du Centre:**

Mon travail de recherche a porté essentiellement sur la modélisation théorique et numérique des problèmes de physiques intervenant dans les milieux géologiques avec des applications aux cas des transferts couplés de chaleur et de masse en milieux poreux anisotropes et hétérogènes en 2D ou 3D. Ces travaux ont été appliqués sur des études de cas réels, du domaine des sciences de la terre et de l'environnement (GéoFrance 3D, Soultz et Oklo).

Mesures de conductivités thermiques de roches (projet Chixulub)

Etude de la diffusion d'éléments lors de processus d'altération

**Enseignements dispensés (options et nombre d'heures) :**

ENSG 2A, cours de modélisation (18H)

EEIGM, 3A, TD de modélisation (30H)

**LES 3 PUBLICATIONS LES PLUS SIGNIFICATIVES DEPUIS LE DÉBUT DE MA CARRIÈRE**

**Le Carlier de Veslud C., Maurice G., Kouitat R.** (1993) A Self-adaptive Solver associated with a multigrid data structure on Macintosh Micro-computer, *Advance in Engineering Software Workstations*, 18, 31-40.

**Scaillet S., Cuney M., Le Carlier de Veslud C., Cheilletz A. and Royer J.J.**, 1997, Cooling pattern and mineralization history of the Saint Sylvestre and Western marche leucogranite pluton, French Massif Central II. Thermal modelling and implications for the mechanism of U-mineralization. *Geochimica & Cosmochimica Acta*, 60, 23, 4673-4688.

**Le Carlier de Veslud C., Royer J.J., Gérard B.**, 1998, Modélisation des transferts de chaleur et de fluide au cours du temps sur la marge paléo-distensive ardéchoise (France). *Bulletin de la SGF*, 169, 1, pp 81-89.

**PUBLICATIONS DE RANG A, DEPUIS JANVIER 1994 (Y COMPRIS CELLES ACCEPTÉES)**

**Scaillet S., Cuney M., Le Carlier de Veslud C., Cheilletz A. and Royer J.J.**, 1997, "Cooling pattern and mineralization history of the Saint Sylvestre and Western marche leucogranite pluton, French Massif Central II. Thermal modelling and implications for the mechanism of U-mineralization". *Geochimica & Cosmochimica Acta*, 60, 23, 4673-4688.

**Le Carlier de Veslud C., Royer J.J., Gérard B.**, 1998, "Modélisation des transferts de chaleur et de fluide au cours du temps sur la marge paléo-distensive ardéchoise (France)". *Bulletin de la SGF*, 169, 1, pp 81-89.

**Gérard B., Royer J.J., Le Carlier de Veslud C. et Pagel M.**. "Modélisation 3D des transferts thermiques et des fluides autour d'un réacteur naturel (Oklo, Gabon)". *Accepté au bulletin de la SGF (probablement t. 169, vol. 3).*

**Équipe :** Géochimie

**Section(s) du Comité National :** 11

**Expérience professionnelle :**

Chargé de Recherche CRPG depuis  
Sous-Directeur de 1980 à 1987.

**Mots-clés :**

Granitoïdes, Hercynien, Pétrogenèse, Géochimie isotopique Sr-Nd, Géochronologie U-Pb

**Mon activité au sein du Centre :**

Pétrogénèse des granitoïdes: ages, sources et mécanismes pétrogénétiques  
Cartographie géologique, pétrographie, typologie géochimique des granitoïdes.  
Géochimie isotopique Sr-Nd  
Géochronologie U-Pb sur minéraux accessoires

**LES 3 PUBLICATIONS LES PLUS SIGNIFICATIVES DEPUIS LE DÉBUT DE MA CARRIÈRE**

- Leterrier J.** (1985): Mineralogical, geochemical and isotopic evolution of two Miocene mafic intrusions from Zagros (Iran). *Lithos*, 18, 311-329.
- Gasquet D., **Leterrier J.**, Mrini Z. and Vidal P. (1992): Petrogenesis of the Hercynian Tichka plutonic complex (Western High Atlas, Morocco): Trace element and Rb-Sr and Sm-Nd isotopic constraints. *Earth. Planet Sci. Lett.*, 108, 29-44.
- Dias G. and **Leterrier J.** (1994). The genesis of felsic-mafic plutonic associations: A Sr and Nd study of the Hercynian Braga granitoid massif (Northern Portugal). *Lithos*, 32, 207-223.

**PUBLICATIONS DE RANG A, DEPUIS JANVIER 1994 (Y COMPRIS CELLES ACCEPTÉES)**

- Dias G. and **Leterrier J.** (1994). The genesis of felsic-mafic plutonic associations: A Sr and Nd study of the Hercynian Braga granitoid massif (Northern Portugal). *Lithos*, 32, 207-223.
- Bertrand J.M., Guillot F., **Leterrier J.**, Perruchot M.P., Aillères L. et Macaudière J. (1998). Granitoïdes de la zone houillère briançonnaise en Savoie et en Val d'Aoste (Alpes occidentales): géologie et géochronologie U-Pb sur zircon. *Geodinamica Acta*, 11, 1, 33-49.
- Dias G., **Leterrier J.**, Mendes A., Simoes P.P. and Bertrand J.M. U-Pb zircon and monazite of post-collisional Hercynian granitoids from the Central Iberian Zone (Northern Portugal). *Accepté à Lithos*.

**LHOTE FRANÇOIS**

IR2, 60 ans

**Équipe :** Laboratoire de Diffraction des Rayons X

**Section(s) du Comité National :** 11

**Expérience professionnelle :**

Ingénieur de Recherche CRPG depuis 1994  
Ingénieur d'Études CRPG de 1967 à 1994.

**Mots-clés :**

Cristallographie, rayons X

**Votre activité au sein du Centre :**

Responsable du Laboratoire de diffraction des Rayons X

**LES 3 PUBLICATIONS LES PLUS SIGNIFICATIVES DEPUIS LE DÉBUT DE MA CARRIÈRE**

**Lhote F.**, Leymarie P., Uriot J.P. (1973). Technique d'utilisation du Goniomètre de Texture en Pétrographie. *Comptes Rendus du colloque Rayons X et matière - Monaco, mai 1973.*

**Lhote F.**, Uriot J.P. (1973), Etude des rubans métalliques de faibles dimensions au Goniomètre de Texture. *Comptes Rendus du colloque Rayons X et matière - Monaco, mai 1973.*

Cathelineau M., Cuney M., Leroy J., **Lhote F.**, Nguyen Trung C., Pagel M., Poty B. (1982). Caractères minéralogiques des Pechblendes de la Province Hercynienne d'Europe, comparaison avec les oxydes d'uranium du protérozoïque de différents gisements d'Amérique du Nord, d'Afrique et d'Australie, *International Atomic Energy Agency, Vienne 1982, TC-295/21.*

**PUBLICATIONS DE RANG A, DEPUIS JANVIER 1994 (Y COMPRIS CELLES ACCEPTÉES)**

Villieras F., Yvon J., Cases J.M., De Donato P., **Lhote F.** and Baeza R. (1994). Development of Microporosity in Clinocllore upon heating. *Clays and Clay Minerals, vol. 42 No 6, pp. 679-688.*

Frossard E., Bauer J.P. and **Lhote F.** (1996). Evidence of Vivianite in FeSo<sub>4</sub> - Flocculated Sludges. *Wat. Res. 1997, vol. 31, No 10, pp. 2449-2454.*

**LIBOUREL GUY**

Professeur\* ENSG, 41 ans

\* en attente de la confirmation du CNU

**Équipe** : Pétrologie

**Section(s) du Comité National** : section 11

**Expérience professionnelle** :

- 1997 Habilitation à diriger des recherches: "Verres et Liquides Silicatés. Exemples de recherches fondamentales et appliquées"
- 1995 Responsable de l'équipe Minéraux - Matériaux - Expérimentation du CRPG
- 1990 Nomination Maître de Conférences, UHP Nancy 1
- 1986-1990 Stage post-doctoraux URA 10 Clermont-Ferrand, Bayerisches Geoinstitut (D)
- 1985 Docteur de l'Université Paul Sabatier de Toulouse

**Mots-clés** :

Expérimentation, haute température, atmosphère contrôlée, verres, liquides silicatés, différenciation métal-silicate, altération des verres, recherches appliquées

**Mon activité au sein du Centre** :

Je suis responsable de l'équipe Minéraux-Matériaux-Expérimentation, et à ce titre membre du bureau de direction du CRPG, et responsable du laboratoire d'expérimentation. Sous ma responsabilité, nous avons monté un laboratoire d'expérimentation capables de produire aussi bien 1) des expériences de synthèse, d'évaporation ou de condensation sous atmosphère complexes ( $PO_2$ , PS,  $PN_2$ , PK, PNa, etc) à haute température (jusqu'à 2300°C) à basse pression ( $\leq 1$  bar), que 2) des expériences de lixiviation basses températures ( $< 200^\circ C$ ) en mode statique ou sous débit avec ou sans traçage isotopique. Grâce à ces potentialités, mes thématiques de recherche sont focalisées sur les verres et les liquides silicatés, et plus particulièrement sur la différenciation métal-silicate pré-terrestre et terrestre et sur le comportement des verres à long terme. Plusieurs sujets de recherche et thèses sont menées dans le cadre de ces thématiques de recherche, en collaboration avec M. Toplis et l'équipe de géochimie isotopique du CRPG (M. Chaussidon, B. Marty, et E. Deloule) et F. Guyot (IPGP), P. Gillet (ENSL), H. Leroux (Univ. Lille), E. Vernaz (CEA), G. Calas (Paris), etc. et des partenaires industriels (DAUM, SITA, IRSID, etc). Ces thématiques ont été volontairement ouvertes à des recherches plus appliquées. Je suis enfin l'interface de Mr. A. Rouillier, IE en techniques expérimentales au CRPG

**Enseignements dispensés (options et nombre d'heures)** :

192 heures équivalent TD, UHP Nancy I, ENSG, ENSM  
Géologie générale, pétrologie, thermochimie et thermodynamique appliquée à la géologie, environnement

**Participation à des comités locaux, nationaux, internationaux** :

Membre du conseil d'administration de l'UFR S.T.M.P, UHP, Nancy I, Membre du bureau de direction du CRPG (CNRS-UPR 9046), Membre du conseil de laboratoire du CRPG, Responsable de l'équipe Minéraux-Matériaux-Expérimentation du CRPG, Responsable du laboratoire de pétrologie expérimentale du CRPG, Responsable scientifique au sein de la FR 'ILG' du projet de recherche: "Déchets et Risques Environnementaux", Membre du Comité Valorisation de l'INPL, Membre titulaire de la commission de spécialiste CS 35-36 de l'Université Henri Poincaré, Nancy 1, Membre de l'"editorial board" de la SGF

**Prix, distinctions obtenus** :

- 1998, Prime d'encadrement doctoral et de recherche
- 1995, Médaille de Bronze du CNRS (section 11)
- 1993, Prime d'encadrement doctoral et de recherche
- 1989, Boursier de la fondation Alexander von Humboldt

**LES 3 PUBLICATIONS LES PLUS SIGNIFICATIVES DEPUIS LE DÉBUT DE MA CARRIÈRE**

Libourel G, Boivin P., Biggar G. M. (1989) - The univariant curve  $l=f_0+an+di$  in the system C.M.A.S at one atmosphere: solid solutions and melt structures. *Contrib. Mineral. Petrol.* 102: 406-421.

Libourel G., Barbey P., Chaussidon M. (1994) - L'altération des vitraux. *La Recherche.* n° 262, 168-188.

Le Forestier L., Libourel G (1998) - Characterization of flue gas residues from municipal solid waste combustors. *Sous presse. Environmental Science & Technology.*

**PUBLICATIONS DE RANG A, DEPUIS JANVIER 1994 (Y COMPRIS CELLES ACCEPTÉES)**

Soulard H., Boivin P., Libourel G. (1994) - Liquid-forsterite-anorthite-spinel assemblage at 1 bar in the CMAS: implications for low pressure evolution of high-Al and high-Mg magmas. *Eur. J. Min.* 6, 633-646.

Toplis M.J., Libourel G., Carroll M.R. (1994) - The role of phosphorus in crystallisation processes of basalt: an experimental study. *Geochim. Cosmochim. Acta.* Vol. 58, 797-810.

- Libourel G**, Deloule E., Toplis M.J. (1994) - Phosphorus partitioning in basalts: an experimental and ion probe study. *Min. Mag.*, Vol 58A, 527-528.
- Toplis M.J., Dindwell D.B., **Libourel G** (1994) - The effect of phosphorus on the iron redox ratio, viscosity and density of an evolved ferro-basalt. *Contrib. Mineral. Petrol.* 117, 293-304.
- Le Forestier L., **Libourel G** (1998) - Characterization of flue gas residues from municipal solid waste combustors. Sous presse. *Environmental Science & Technology*.

Directeur

**Section(s) du Comité National : 11**

**Expérience professionnelle :**

Directeur CRPG-CNRS (1995-présent)  
 Chercheur associé Géoscience Rennes (1994)  
 Chercheur associé LDEO, Columbia Univ, USA (1986)  
 Professeur adjoint, agrégé et titulaire Université de Montréal, Canada (1978-1996)  
 Chercheur post-doctoral WHOI, USA (1976-1978)

**Mots-clés :**

Evolution, croûte continentale, magmatisme basique, tectonique Précambrienne

**Mon activité au sein du Centre :**

Directeur du centre  
 Directeur de l'équipe Dynamique et évolution de la lithosphère et Modélisation

**Enseignements dispensés (options et nombre d'heures) :**

DEA Géosciences 12 Heures  
 Option ENSG 6 Heures

**Participation à des comités locaux, nationaux, internationaux :**

Directeur, Fédération de recherche (CNRS) Institut Lorrain des Géosciences (1996-présent)  
 INSU-CNRS Comité Intérieur de la terre (1997-présent)  
 Responsable ODP France (1997-présent)  
 Co-chair review ESF (EMaPS) European initiatives in deep sea drilling (1996)  
 Chairman ODP Lithosphere Panel (1996)  
 Membre Comité de rédaction Perspectives de l'INSU (1996)  
 Transect Leader Abitibi-Grenville LITHOPROBE project (1992-présent)  
 Comité Forages INSU-IFREMER - Président (1996)  
 Editorial board Precambrian Research (1995-présent)  
 Editor Special volume "The Earth's changing regime in the Precambrian (1997)  
 Co-président Conference Precambrian '95 (1995)  
 Editor special publication "Mafic magmatism through time" Chemical Geology (1995)  
 Membre Commission on Igneous and Metamorphic Petrology, IUG (1994-présent)

**Prix, distinctions obtenus :**

1994 Président Honorifique, Société Géologique de France  
 1996 Prix Scientifique, Association des géologues du Québec

**LES 3 PUBLICATIONS LES PLUS SIGNIFICATIVES DEPUIS LE DÉBUT DE MA CARRIÈRE**

Calvert, A., Sawyer, E.W., Davis, W.J., and **Ludden, J.N.** (1995) Archean subduction inferred from a mantle suture in the Superior Province. *Nature*, 375, 670-674

**Ludden, J.N.**, Hubert, C. and, Gariépy, C. (1986). The tectonic evolution of the Abitibi greenstone belt of Canada. *Geol. Mag.*, 123, 153-166.

**Ludden, J.N.** and Thompson, G. (1979). An evaluation of the behavior of the rare earth elements during weathering of sea-floor basalt. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 43, 85-92.

**PUBLICATIONS DE RANG A, DEPUIS JANVIER 1994 (Y COMPRIS CELLES ACCEPTÉES)**

Dunphy, J.M. and **Ludden, J.N.** (1997) Petrological and geochemical characteristics of a Paleoproterozoic magmatic arc (Narsajuaq terrane, Ungava Orogen, Canada) and comparisons to Superior Province granitoids, *Precam Res.* (In press).  
 Shi, L., Francis, D., **Ludden, J.N.**, Frederiksen, A and Bostock, M. (1997). Xenolith evidence of lithospheric melting above anomalously hot mantle under the northern Canadian Cordillera. *Contr. Mineral. Petrol.*, (In press)  
 Bedard, L.P. and **Ludden, J.N.** (1997) Nd-isotope evolution of Archean plutonic rocks in the Opatican Abitibi and Pontiac subprovinces, Quebec, Canada. *Can J. Earth Sci.*, 34, 286-298.  
 Péloquin, A.S., Verpaest, P. and **Ludden, J.N.** (1996) Spherulitic rhyolites of the Archean Blake River group, Canada: Implications for stratigraphic correlation and VMS exploration. *Economic Geol.*, 91, 343-354.  
 Carignan, J., **Ludden, J.N.**, Francis, D. (1996) On the recent enrichment of subcontinental lithosphere: a detailed U-Pb study of spinel ilmenite xenoliths from Yukon, Canada. *Geochim. Cosmochim. Acta.*, 60, 4241-4252



- Senechal, G, Mareschal, M, Hubert, C, Calvert, A., Grandjean, G, **Ludden, J.N.** (1996). Integrated geophysical interpretation of crustal structures in the northern Abitibi Belt: constraints from seismic amplitude analysis. *Can J. Earth Sci.*, 33, 1343-1362
- Dunphy, J., **Ludden, J.N.** and Parrish, R.R. (1996) Stitching together the Ungava Orogen, northern Québec: geochronological (TIMS AND ICP-MS) and geochemical constraints on late magmatic events. *Can J. Earth Sci.*, 32, 2115-2127.
- Blichert-Toft, J., Arndt, N.A. and **Ludden, J.N.** (1996) Precambrian Alkaline Magmatism., *Special issue on Mafic Magmatism Through Time, Lithos*, 37, 97-111.
- Charland, A., Francis, D and **Ludden, J.N.** (1995) The relationship between the hawaiites and basalts of the Itcha Volcanic complex, central British Columbia. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 121, 289-302
- Francis, D. and **Ludden, J.N.** (1995) The signature of amphibole in mafic alkaline lavas, a study in the northern Canadian Cordillera. *J. Petrology*, 36, 1171-1192.
- Calvert, A., Sawyer, E.W., Davis, W.J., and **Ludden, J.N.** (1995) Archaean subduction inferred from a mantle suture in the Superior Province. *Nature*, 375, 670-674
- Kimura, G. and **Ludden, J.N.** (1995) Peeling oceanic crust in subduction zones. *Geology*, 23, 217-220
- Verpaelst, P., Péloquin, A.S., Adam, E., Barnes, A., **Ludden, J.N.**, Dion, D-J., Hubert, C., Milkereit, B. and Labaie, M. (1995) Seismic reflection profiles across the "Mines Series" in the Noranda Camp of the Abitibi belt, Eastern Canada. *Can. J. Earth. Sci.*, 32, 167-176.
- Ludden, J.N.**, Feng, R., Stix, J., Gauthier, G., Lang, S., Francis, D., Machado, N. and Wu, G (1995) Laser-ablation ICP-MS analysis of minerals. *Can. Mineral*, 33, 419-434
- Stix, J., Gauthier, G., **Ludden, J.N.** (1995) A critical look at quantitative ICP-MS laser analysis of natural and synthetic glasses. *Can. Mineral*, 33, 434-444.
- Mareschal, M, Kellett, R., Kurtz, R., **Ludden, J.N.**, Ji, S. and Bailey, R.C. (1995). Archean cratonic roots, mantle shear zones and deep electrical anisotropy. *Nature*, 375, 134-137.
- Dunphy, J., **Ludden, J.N.** and Francis, D (1995) Geochemistry of mafic magmas from the Ungava orogen, Quebec, Canada: Implications for mantle reservoir compositions at 2.0 Ga. *Chemical Geology*, 120, 361-380

## MACAUDIÈRE JEAN

Professeur 1<sup>ère</sup> classe ENSG, 61 ans

retraite en 1998

**Équipe** : ancienne Dynamique de la Lithosphère et Modélisation

**Section(s) du Comité National** : 11

### Expérience professionnelle :

Assistant à l'ENSG (1960-64); Maître-assistant de 2<sup>ème</sup> classe (1967-79). Maître-assistant de 1<sup>ère</sup> classe (1979-84).  
Maître de conférences (1985-90). Professeur de 2<sup>ème</sup> classe à l'ENSG (1990-93). Professeur de 1<sup>ère</sup> classe (1993-98).  
Responsable de l'équipe géologie structurale (1987-94). Maître assistant responsable de promotion (1967-75).  
Directeur des Études à l'ENSG (1991-97).  
Retraite à partir de 1998.

### Mots-clés :

Géologie structurale - fracturation- gisements- pseudotachylites - déformation - roches métamorphiques - migmatites.

### Mon activité au sein du Centre :

Membre de l'équipe Dynamique de la lithosphère et modélisation

### Enseignements dispensés (options et nombre d'heures) :

- Géologie structurale 1<sup>ère</sup> année (C 32h-TP 42h)
- Géologie structurale 2<sup>ème</sup> année (C 6h-TP 28h)
- Géologie structurale - Filière Matières premières (C 8h-TP 12h)
- Structure et pétrologie du métamorphisme - Filière Matières premières (TP 12h)
- Tectonique distensive - Filière Matières premières (C 8h).
- La fracturation - Option Géologie approfondie (C 4h)
- Stage de terrain 1<sup>ère</sup> année (TD 48h)
- Stage de terrain 2<sup>ème</sup> année Tectonique (TD 36h)
- Stage de terrain 2<sup>ème</sup> année Métamorphisme (TD 36h)

### Participation à des comités locaux, nationaux, internationaux :

- Conseil Scientifique de l'INPL (1984-91) - Conseil d'Administration de l'INPL(1992-96) - CEVU de l'INPL (depuis 1996).

### LES 3 PUBLICATIONS LES PLUS SIGNIFICATIVES DEPUIS LE DÉBUT DE MA CARRIÈRE

Macaudière J., Brown W.L. and Ohnenstetter D. (1985). Microcrystalline textures resulting from rapid crystallization in a pseudotachylite melt in a meta-anorthosite. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 89, 39-51.

Barbey P., Macaudière J. & Nzenti J.P. (1990). High pressure dehydration melting of metapelites. Evidence from the migmatites of Yaoundé (Cameroon). *J. Petrol.*, 31, 401-427.

Ouguir H., Macaudière J., Dagallier G. Qadrouci A. et Leistel J.M.(1994). Cadre structural du gîte Ag-Hg d'IMITER (Anti Atlas, Maroc) ; implications métallogéniques. *Bull. Soc. Géol. France*, 165, 3, p233-248.

### PUBLICATIONS DE RANG A, DEPUIS JANVIER 1994 (Y COMPRIS CELLES ACCEPTÉES)

Ouguir H., Macaudière J., Dagallier G. Qadrouci A. et Leistel J.M.(1994). Cadre structural du gîte Ag-Hg d'IMITER (Anti Atlas, Maroc) ; implications métallogéniques. *Bull. Soc. Géol. France*, 165, 3, p233-248.

Aillères L., Champenois M., Macaudière J. & Bertrand J.M. , (1995). Use of Image Analysis in the Measurement of Finite Strain by the normalized Fry method: geological implications for the "Zone Houillère" (Briançonnais zone, French Alps). *Mineral. Mag.*, 59, 2, 178-188.

Aillères L., Bertrand J.M., Macaudière J. & Champenois M , (1995). Structure de la zone Houillère Briançonnaise (Alpes françaises), tectonique néoalpine et conséquences sur l'interprétation des Zones Penniques Frontales . *C. R. Acad. Sci., Paris*, 321, série IIa, 247-254.

Bertrand J.M, Aillères L., Gasquet D. & Macaudière J. (1996). The Pennine Front zone in Savoie (western Alps), a review and new interpretations from the Zone Houillère Briançonnaise. *Eclogae Geol. Helv.*, 89, 1, 297-320.

Ikenne M., Gasquet D., Barbey P. & Macaudière J. (1997). Relations entre déformation, métamorphisme et magmatisme dans le Paléoprotérozoïque du massif du Bas Drâa (Anti-Atlas occidental, Maroc), *C.R. Acad. Sci., Paris*, 324, série IIa, 237-243.

Bertrand J. M., Guillot F., Leterrier J., Perruchot M.P., Aillères L. & Macaudière J., (1998). Granitoïdes de la zone houillère briançonnaise en Savoie et Val d'Aoste (Alpes Occidentales) : géologie et géochronologie U-Pb sur zircon. *Geodynamica acta*, 11, 1, 33-49.

**Équipe :** Modélisation

**Section(s) du Comité National :** 11

**Expérience professionnelle :**

Ingénieur CNRS (CRPG) 1968 -->1981  
Professeur INPL (ENSG) 1981 --> ce jour

**Mots-clés :**

GOCAD, numerical geology, Geomodelling

**Mon activité au sein du Centre :**

Directeur du consortium GOCAD, animateur de l'équipe Modélisation

**Enseignements dispensés (options et nombre d'heures) :**

- Informatique 2ème année ENSG  
- modélisation, infographie 3ème année ENSG  
- DEA informatique Nancy  
- DEA Géosciences Nancy

**Participation à des comités locaux, nationaux, internationaux :**

Directeur du consortium GOCAD

**Prix, distinctions obtenus :**

Prix Italgas 1997

**LES 3 PUBLICATIONS LES PLUS SIGNIFICATIVES DEPUIS LE DÉBUT DE MA CARRIÈRE**

**Mallet J.L.**, (1989). Discrete Smooth Interpolation. *Assoc. For Comp. Machinery, Transactions on Graphics. Vol.8, N°2, pp 121-144*

**Mallet J.L.**, (1989). Discrete Smooth Interpolation in geometric modeling. *Computer-Aided-Design, Vol.24, N°4, pp 178-191.*

**Mallet J.L.**, Lévy B. (1998) Non-Distorted Texture Mapping for *Sheared Triangulated Meshes. SIGGRAPH Computer Graphics Proceedings, ACM, July 1998*

**PUBLICATIONS DE RANG A, DEPUIS JANVIER 1994 (Y COMPRIS CELLES ACCEPTÉES)**

Wietzerbin L., **Mallet J.L.** (1994). Parameterization of complex 3D heterogeneities: a new CAD approach.. *Journal-of-SPE, pp 77-88.*

Mole C., Gérard H., **Mallet J.L.**, Chassagne A., Miller P. (1995). A new three-dimensionnal treatment algorithm for complex surfaces: application in surgery. *Journal of Oral and maxillo-facial surgery. 1995 February vol 53.2, pp 158-162.*

Guizoui J.L., **Mallet J.L.**, Madariaga R. (1996). 3D seismic reflection tomography on top of the gOcad depth modeler. *Geophysics, vol. 61, NO 5, pp 1499-1510.*

**Mallet J.L.** (1997). Discrete Modeling of Natural objects. *Journal of Mathematical Geology. Vol. 29, N° 2, pp 199-219.*

Samson P., **Mallet J.L.** (1997). Curvature Analysis of Triangulated surfaces. *Journal of Mathematical Geology, Vol 29, N° 3, pp 391-412.*

Zartarian F., Mustin C., Villemin G., Ait Ettajer T., Thill A., Bottero J.Y., **Mallet J.L.**, Snidaro D. (1997). Three-Dimensional Modeling of an Activated Sludge Floc. *Langmuir : The ACS Journal of Surfaces an Colloid. Vol 13, N° 1.*

Levy B. and **Mallet J.L.**, (1998) Non-Distorted Texture Mapping for *Sheared Triangulated Meshes. SIGGRAPH Computer Graphics Proceedings, ACM, July 1998*

## MARIGNAC CHRISTIAN

Professeur EMN, 54 ans

\* en attente de la confirmation du CNU

**Équipe :** Géochimie

**Section(s) du Comité National :** 11

**Expérience professionnelle :**

Assistant à l'ENSG puis à l'EMN (1966-1978)  
Maître-assistant puis maître de conférences à l'EMN depuis 1978  
Docteur d'Etat en 1985

**Mots-clés :**

Métallogénie, étain-tungstène, or, métaux de base, inclusions fluides, analyse structurale

**Mon activité au sein du Centre :**

Recherche en métallogénie, dans la perspective de deux actions nationales :

- le programme Geofrance 3D, avec son projet "métallogénie 3D du Massif central". J'interviens (i) dans le volet "Limousin", avec notamment : (1) la co-direction (avec M. Cathelineau, CREGU) de la thèse de M. Souhassou, implanté au CRPG, qui travaille sur les fluides de la faille d'Argentat dans leurs relations éventuelles avec les minéralisations aurifères du S Limousin ; (2) en étroite collaboration avec l'équipe de géochimie (E. Deloule) la caractérisation isotopique (Pb) des minéralisations en tungstène ; et (ii) dans le volet "transect Limousin-Cévennes" où je coordonne les aspects relatifs aux minéralisations en W.

- le GDR métallogénie, dans le projet "or dans les amas sulfurés", en collaboration étroite avec M. Cathelineau (CREGU) : co-direction de la thèse de B. Diagana (implanté au CREGU) sur les amas de Tharsis et de La Zarza (Province pyrénéenne sud-ibérique).

En outre, actions ponctuelles en relation avec les programmes de coopération avec le Maghreb (Algérie et Maroc) : granites à métaux rares du Hoggar (en collaboration avec M. Cuney, CREGU), MVT du sillon tellien, etc.

**Enseignements dispensés (options et nombre d'heures) :**

Cours de géologie générale à l'EMN  
Cours de métallogénie à l'EMN et à l'UHP  
Encadrement de camps de terrain à l'EMN et à l'ENSG

**Participation à des comités locaux, nationaux, internationaux :**

Membre élu des Conseils d'Administration de l'EMN et de l'INPL  
Membre du Conseil scientifique de l'ILG

**LES 3 PUBLICATIONS LES PLUS SIGNIFICATIVES DEPUIS LE DÉBUT DE MA CARRIÈRE**

**Marignac, C.** (1988). A case of ore deposition associated with geothermal activity: the polymetallic ore veins of Aïn Barbar (NE Constantinois, Algeria). *Mineralogy and Petrology*, 39, 107-127.

Cuney, M., **Marignac, C.**, Weisbrod, A. (1992). The Beauvoir topaz-lepidolite-albite granite (Massif Central, France): a highly specialized granite with disseminated Sn-Li-Ta-Nb-Be mineralization of magmatic origin. *Econ. Geol.*, 87, 1766-1794.

**Marignac, C.**, Semiani, A., Fourcade, S., Boiron, M.C., Joron, J.L., Kienast, J.R. (1996). Metallogensis of the late pan-African gold-bearing East-Ouzzal shear-zone (Hoggar, Algeria). *J. Metam. Geol.*, 14, 783-801.

**PUBLICATIONS DE RANG A, DEPUIS JANVIER 1994 (Y COMPRIS CELLES ACCEPTÉES)**

Ait Malek, H., Gasquet, D., **Marignac, C.**, Bertrand, J.M. (1995). Des xénolites à corindon dans une vauugnérinite de l'Ardèche (Massif Central français) : implications pour le métamorphisme ardéchois. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 321, IIa, 959-966.

Laumonier, B., **Marignac, C.**, Gasquet, D. (1995). Cinématique d'un front de chevauchement : l'avant-pays de la nappe des Corbières aux environs de Lagrasse (Aude, France). *C.R. Acad. Sci. Paris*, 321, IIa, 1195-1201.

Laumonier, B., **Marignac, C.** (1996). Les effets respectifs de la compression puis de l'extension tardi-orogéniques hercyniennes dans l'évolution structurale du synclinal de Rosis et de l'anticlinal du Caroux (Est de la zone axiale de la Montagne Noire). *C.R. Acad. Sci. Paris*, 323, IIa, 427-434.

**Marignac, C.**, Semiani, A., Fourcade, S., Boiron, M.C., Joron, J.L., Kienast, J.R. (1996). Metallogensis of the late pan-African gold-bearing East-Ouzzal shear-zone (Hoggar, Algeria). *J. Metam. Geol.*, 14, 783-801.

Dubois, M., **Marignac, C.** (1997). The H<sub>2</sub>O-NaCl-MgCl<sub>2</sub> ternary phase diagram with special application to fluid inclusion studies. *Econ. Geol.*, 92, 114-119.

Mougeot, R., Respaut, J.P., Ledru, P., **Marignac, C.** (1997). U-Pb chronology of accessory minerals of the Velay anatectic dome (French Massif central). *Eur. J. Mineral.*, 9, 141-156.

Ruggieri, G., Cathelineau, M., Boiron, M.C., **Marignac, C.** (199\*). Boiling and fluid mixing in the chlorite zone of the larderello geothermal system. *Geochim. cosmochim. Acta*, accepté pour publication.

**Équipe :** Géochimie

**Section(s) du Comité National :** 13

**Expérience professionnelle :**  
Chargé de Recherche CNRS Paris  
Professeur ENSG-INPL depuis 1992

**Mots-clés :**  
Terre primitive, atmosphère, isotopes, fluides crustaux

**Mon activité au sein du Centre :**  
- Géochimie isotopique  
- Evolution du manteau et de l'atmosphère, Terre Primitive  
- Circulation des fluides : origine et temps de résidence  
Responsable, Equipe Géochimie isotopique  
Responsable, laboratoire des gaz rares

**Enseignements dispensés (options et nombre d'heures) :**  
- Enseignement en Licence Géosciences UHP, à l'ENSG (1A, 2A et 3A), au DEA Service normal  
- Encadrement de thèses (4 actuellement)

**Participation à des comités locaux, nationaux, internationaux :**  
Membre, bureau de direction CRPG  
Directeur des Etudes, ENSG  
Membre titulaire, commission des spécialistes 34-35-36ème sections INPL  
Membre titulaire, commission des spécialistes 35-36ème sections UHP  
  
Membre, Comité Dynamique et Transferts Terrestres, INSU  
Membre, Comité Géosciences Marines, INSU  
Co-responsable de la Géochimie et Pétrologie, programme INSU-MAE "Ethiopie 2000"  
Editeur associé, Geochemical Journal

**LES 3 PUBLICATIONS LES PLUS SIGNIFICATIVES DEPUIS LE DÉBUT DE MA CARRIÈRE**

**Marty B.** (1989).- Neon and xenon isotopes in MORB : implications for the earth-atmosphere evolution. *Earth and Planetary Science Letters* 94, 45-56.

Chaussidon M. & **Marty B.** (1995). Primitive boron isotope composition of the mantle. *Science* 269, 383-386

**Marty B.** (1995) Nitrogen content of the mantle inferred from N<sub>2</sub>-Ar correlation in oceanic basalts. *Nature* 377, 326-329.

**PUBLICATIONS DE RANG A, DEPUIS JANVIER 1994 (Y COMPRIS CELLES ACCEPTÉES)**

**Marty B.**, Trull T.W., Lussiez P., Basile I. & Tanguy J.C. (1994). He, Ar, Sr and Nd isotope systematics of Mount Etna : Temporal variations, volatile fluxes and comparisons with Southern Italian magmatism. *Earth and Planetary Science Letters*, 126, 23-39.

**Marty B.** & Lussiez P. (1994). Reply to a comment by H. Hiyagon on "Constraints on rare gas partition coefficients from analysis of olivine-glass from a picritic mid-ocean ridge basalt". *Chemical Geology* 112, 119-127

Sano Y. & **Marty B.** (1995). Origin of carbon in fumarolic gas from island arcs. *Chemical Geology* 119, 265-274.

Trull TW, Brown ET, **Marty B.**, Raisbeck GM, Yiou F (1995) Cosmogenic <sup>10</sup>Be and <sup>3</sup>He accumulation in Pleistocene beach terraces in Death Valley, California, U.S.A. : Implications for cosmic-ray exposure dating of young surfaces in hot climates. *Chem. Geol.*, 119, 191-207.

**Marty B.** (1995). The <sup>40</sup>Ar/<sup>36</sup>Ar ratio of the undepleted mantle; a re-evaluation. *Geophysical Research Letters* 22, 1937-1940.

**Marty B.**, Lenoble M. & Vassard N. (1995). Nitrogen, helium and argon in basalt : a static mass spectrometry study. *Chemical Geology* 120, 183-195.

Pinti D.L. & **Marty B.** (1995). Noble gases in crude oils from the Paris basin, France : Implications for the origin of fluids and constraints on oil-water-gas interactions. *Geochim. Cosmochim. Acta* 59, 3389-3404

**Marty B.** & Torgersen T. (1995). Reply to a comment by A. Zuber and S.M. Weise on "Helium isotope fluxes and groundwater ages in the Dogger aquifer, Paris basin" *Water Resources Research* 31, 2119-2121.

**Marty B.** (1995). Nitrogen content of the mantle inferred from N<sub>2</sub>-Ar correlation in oceanic basalts. *Nature* 377, 326-329.

- Marty B.**, Pik R. & Yirgu G. (1996) Helium isotopic variations in Ethiopian Plume Lavas : Nature of Magmatic sources and Limit on Lower Mantle Contribution. *Earth and Planetary Science Letters*, 144, 223-237
- Richard D., **Marty B.**, Chaussidon M. & Arndt N. (1996). helium isotopic evidence for a lower mantle component in depleted Archean Komatiite. *Science*, 273, 93-95
- Marty B.** & Humbert, F. (1997). Nitrogen and argon isotopes in oceanic basalts. *Earth Planet. Sci. Lett.* 152, 101-112.
- Pinti D.L., **Marty B.** & Andrews J.N. (1997) Atmosphere-derived noble gas evidence for the preservation of ancient waters in sedimentary basins. *Geology*, 25, 111-114
- Marty B.** and Tolstikhin I.N. (1998), CO<sub>2</sub> fluxes from Mid-Ocean Ridges, Arcs and Plumes. *Chem. Geol., GERM Spec. Vol., in press.*
- Marty B.**, Tolstikhin, I.N. Kamensky I.L., Nivin V., Balaganskaya L. & Zimmermann J.L. (1998). Plume derived rare gases in 380 Ma carbonatites from the Kola Peninsula region (Russia) : an attempt to document the argon isotopic composition in the deep mantle. *Earth Planet. Sci. Lett. In press.*
- Marty B.**, Upton B.G.J., Ellam R.(1998) Helium isotopes in Early Tertiary basalts, northeast Greenland : evidence for a 58 Ma plume activity in the North-Atlantic volcanic province. *Geology, in press.*
- Ozima M., Wieler R. **Marty B.** & Podosek F. (1998) Comparative studies of solar, Q noble gases, and implication on the evolution of solar nebula. *Geochim. Cosmochim. Acta in press*
- Pinti D.L. & **Marty B.** (1998) The origin of Helium in deep sedimentary aquifers and the problem of dating very old groundwaters. *J. Geol. Soc. Spec. Publ. In press*
- Tolstikhin, I.N. and **Marty B.** (1998). The evolution of terrestrial volatiles : a view from helium, neon, argon and nitrogen isotope modelling. *Chem. Geol., in press.*

**Équipe :** Pétrologie

**Section(s) du Comité National :** 11

**Expérience professionnelle :**

Ingénieur d'études CNRS Nancy

Chargé de Recherche CNRS CRSCM Orléans puis CRPG depuis janvier 1995

**Mots-clés :**

Complexes basique-ultrabasique, boninite, cathodoluminescence, minéraux du groupe du platine

**Mon activité au sein du Centre :**

Chercheur

Minéralogie et pétrologie des roches basiques et ultrabasiques et les minéralisations en chromite et éléments du groupe du platine associées : ophiolites, complexes rubanés, komatiites et boninites.

Etude par cathodoluminescence de minéraux de synthèse et naturels : anhydrite, apatite, carbonates, fluorite, scheelite et zircon

**LES 3 PUBLICATIONS LES PLUS SIGNIFICATIVES DEPUIS LE DÉBUT DE MA CARRIÈRE**

Beccaluva L., Ohnenstetter D., Ohnenstetter M., Venturelli G. (1977) The trace element geochemistry of Corsican ophiolites. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 64, 11-31.

Ohnenstetter D., Watkinson D.H., Jones P.C., Talkington R. (1986) Cryptic compositional variation in laurite and enclosing chromite from the Bird River sill, Manitoba. *Econ. Geol.*, 81, 1159-1168.

Ohnenstetter D., BROWN W.L. (1992) Overgrowth textures, disequilibrium zoning and cooling history of a glassy four-pyroxene boninite dyke from New Caledonia. *J. Petrol.*, 33, 231-271.

**PUBLICATIONS DE RANG A, DEPUIS JANVIER 1994 (Y COMPRIS CELLES ACCEPTÉES)**

Baumer A., Guilhot B., Gibert R., Vernay A.M., Ohnenstetter D. (1994) Détermination des ions chlore et fluor dans les apatites par spectrométrie infrarouge. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 319, 193-200.

Blanc P., Arbey F., Cros P., Cesbron F., Ohnenstetter D. (1994) Applications de la microscopie électronique à balayage et de la cathodoluminescence à des matériaux géologiques (sulfates, carbonates, silicates). *Bull. Soc. géol. Fr.*, 165, 341-352.

Maras A., Parodi G.C., Della Ventura G., Ohnenstetter D. (1995) Vicanite-(Ce) : a new Ca-Th-REE borosilicate from the Vico volcanic district (Latium, Italy). *Eur. J. Mineral.*, 7, 439-446.

Blanc P., Baumer A., Cesbron F., Ohnenstetter D. (1995) Les activateurs de cathodoluminescence dans des apatites préparées par synthèse hydrothermale. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 321, 1119-1126.

Cesbron F., Blanc P., Ohnenstetter D., Remond G. (1995) Cathodoluminescence of rare earth doped zircons. I. Their possible use as reference materials. *Scanning Microscopy. Suppl.* 9, 35-56.

Remond G., Cesbron F., Blanc P., Ohnenstetter D., Rouer O. (1995) Cathodoluminescence of rare earth doped zircons. II. Relationship between the distribution of the doping elements and the contrasts of images. *Scanning Microscopy, Suppl.* 9, 57-76

Ohnenstetter D., Brown W.L. (1996) Compositional variation and primary water contents of interstitial and included glasses in boninites. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 123, 117-137

Moreau C., Ohnenstetter D., Demaiffe D., Robineau B. (1996) The Los archipelago nepheline syenite ring-structure (Guinea, West Africa) : magmatic marker of the central atlantic evolution. *Can. Mineral.*, 34, 2, 34, 281-299.

Ritz M., Brown W.L., Moreau C., Ohnenstetter D. (1996) An audiomagnetotelluric study of the Meugueur-Meugueur, Aïr, Niger : ring dyke or cone sheet ? *J. Applied Geophys.*, 34, 229-236

Lamotte M., Bruand A., Ohnenstetter D., Ildefonse P., Pedro G. (1997) A hardened sandy-loam soil from semi-arid Northern Cameroon. II- Geochemistry and mineralogy of the bonding agent. *Eur. J. Soil Sc.*, 48, 227-237.

Baumer A., Blanc P., Cesbron F., Ohnenstetter D. (1997) Cathodoluminescence of synthetic (doped with rare-earth elements) and natural anhydrites. *Chemical Geol.*, 138, 73-80.

Cesbron F., Baumer A., Blanc P., O Ohnenstetter D. (1997) Cathodoluminescence de sulfates de calcium synthétiques dopés en Eu : relation entre les intensités de CL et les teneurs en Eu des anhydrites. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 324, 353-360.

**Équipe :** Pétrologie

**Section(s) du Comité National :** 11

**Expérience professionnelle :**

Chargée de Recherche CNRS Nancy puis CRSCM Orléans  
Directeur de Recherche CRSCM Orléans puis CRPG à partir de Janvier 1995

**Mots-clés :**

Complexes basiques-ultrabasiques; ophiolites; chromite; platinoïdes

**Votre activité au sein du Centre :**

Structuration interne des complexes basiques-ultrabasiques et des ophiolites. Reconstitution lithologique et évolution magmatique des complexes déterminée d'après le comportement des éléments majeurs et traces. Etude des minéralisations associées: chromite et platinoïdes. Reconnaissance des guides de minéralisation.

- Travaux de recherche sur les minéralisations platinifères ;
- Encadrement de thèse et de stagiaire étudiants ;
- Responsable projet CE sur les minéralisations platinifères (Fin en 1996).

**Participation à des comités locaux, nationaux, internationaux :**

Participation en tant que membre élue au Conseil de laboratoire et Conseil de l'ILG;  
Animation d'un groupe "Métallogénie" dans le cadre de l'ILG

**LES 3 PUBLICATIONS LES PLUS SIGNIFICATIVES DEPUIS LE DÉBUT DE MA CARRIÈRE**

**Ohnenstetter M.** (1979) - La série ophiolitifère de Rospigliani (Corse) est-elle un témoin des phénomènes tectoniques, sédimentaire et magmatiques liés au fonctionnement des zones transformantes. *C.R.Acad. Sci., Paris, D, 289, 1199-1202.*

**Ohnenstetter M.** (1985) - Classification pétrographique et structurale des ophiolites, écho de la dynamique des zones de transition croûte-manteau. Incidence sur la nature et la disposition des corps de chromite associés. *C.R.Acad. Sci., Paris, 301, 1413-1418.*

**Ohnenstetter M.** (1992) - Platinum Group element enrichment in the upper mantle peridotites of the Monte Maggiore ophiolitic massif (Corsica, France): mineralogical evidence for ore-fluid metasomatism. *Mineralogy and Petrology, 46, 85-107.*



**Équipe :** Pétrologie

**Section(s) du Comité National :** 11 (coévaluation 32)

**Expérience professionnelle :**  
Chargé de Recherche CRPG depuis

**Mots-clés :**

Paléométaballurgie ; chimie et pétrographie des scories et minerais ; fer, cuivre ; réduction ; forge ; archéométaballurgie expérimentale.

**Mon activité au sein du Centre :**

Pétrographie et géochimie des ensembles ignés et métamorphiques, typologie chimique, Précambrien et Hercynien. Bases de données (Artémise, IGBA, SEDBA, ...). Depuis 1985, Paléométaballurgie : développement des approches chimiques et pétrographiques appliquées aux scories et produits associés et aux vestiges d'ateliers (principalement Fe et Cu), reconstitution des chaînes opératoires. Paléométaballurgie (chimie et pétrographie, reconstitutions) et applications (histoire des sciences et des techniques ; analogies avec matériaux résiduels d'activités anthropiques actuels ou futurs ; analogies avec matériaux géologiques).

**Enseignements :**

DESS Archéosciences Univ.Dijon, Dépt Sciences de la Terre (7h)  
Séminaires paléométaballurgie (Grand Est, Paris I, etc.) (5 à 10 par an)  
Stages.

**Participation à des comités :**

Conseil de laboratoire du CRPG ; conseil de laboratoire du P & C ;  
Conseil scientifique Ecomusée St Georges d'Hurtières ; Conseil scient. Forges de Montagney  
CNRS Nord-Est : CRFP, CORAS, (CRHS)  
Comité de direction ADRAL (Assoc. pour le Développement de l'Archéologie en Lorraine)  
VP et trésorier de l'AAEMM (Assoc. Archéologique pour l'Etude des Mines et de la Métallurgie)  
Membre de : Metalla (Bourgogne), Amis du Musée de l'Histoire du Fer, GMPCA (Groupe des Méthodes Physiques et Chimiques appliquées à l'Archéologie), EAA (Assoc. Archéologique Européenne).

**LES 3 PUBLICATIONS LES PLUS SIGNIFICATIVES DEPUIS LE DÉBUT DE MA CARRIÈRE**

**Ploquin A.** (1980). Etude géochimique et pétrographique du Complexe de gneiss, migmatites et granites du Télémark-Aust Agder (Précambrien de Norvège du Sud ; sa place dans l'ensemble épizonal à catazonal profond, du Haut Télémark au Bamble. *Sciences de la Terre, Nancy, mém.38, 389 p., 51 fig. 34 tabl., 20 pl. fotogr., 8 pl.h.-t., 1 carte h.-t.*

**Ploquin A.**(1993). L'analyse chimique en paléosidéurgie, in *La sidéurgie ancienne de l'Est de la France dans son contexte européen. Archéologie et archéométrie, Besançon, 1993, Paris, 1994, p.16-23*

Dunikowski C., Leroy M., Merluzzo P., **Ploquin A.** (1996). L'atelier de forge gallo-romain de Nailly (Yonne) ; contribution à l'étude des déchets de production. *Revue Archéologique de l'Est, 1996, 47, pp. 97-121, CNRS Editions.*

**PUBLICATIONS DE RANG A, DEPUIS JANVIER 1994 (Y COMPRIS CELLES ACCEPTÉES)**

(cette classification n'existe pas en archéologie ou archéométrie : ici, sélection des "revues avec comité de lecture international") :

Leroy M., **Ploquin A.**(1994). Approche archéométrique de la protoindustrie du fer: les conditions de réduction des minerais de fer de Lorraine et la chaîne opératoire dans la sidéurgie antérieure à l'apparition du haut fourneau, *Revue d'Archéométrie, 18, p.53-64*

**Ploquin A.** - L'analyse chimique en paléosidéurgie, *La sidéurgie ancienne de l'Est de la France dans son contexte européen. Archéologie et archéométrie, Besançon, 1993, Paris, 1994, p.16-23*

Cabboi S., Dunikowski C., Barbanson L., Delepine J., Merluzzo P., **Ploquin A.**, Solari M. : Du minerai au métal, in *La sidéurgie chez les Sénon : les ateliers celtiques et gallo-romains des Clérimois, dir. C Dunikowski, C Cabboi (eds), Editions de la Maison des Sciences de l'Homme, coll. Documents d'Archéologie française. 51, 1995, pp. 143-147, 151-152, 158-168*

Cabboi S., Dunikowski C., Mangin M., **Ploquin A.** : Production et évolution des ateliers, in *La sidéurgie chez les Sénon : les ateliers celtiques et gallo-romains, dir. C. Dunikowski, S Cabboi (eds), Editions de la Maison des Sciences de l'Homme, coll. Documents d'archéologie française. 51, 1995, pp. 120-131 .*

Jarrier C., Domergue C., Pieraggi B., **Ploquin A.**, Tollon F. : Caractérisation minéralogique, géochimique et métallurgique des résidus de réduction directe, d'épuration et de forge du centre sidéurgique romain des martyrs (Aude, France), *Revue d'Archéométrie, 1995, 19, pp. 49-61*

Vuaillet D., Santallier D., **Ploquin A.** : Les haches néolithiques limousines. Etude géochimique des matériaux métadoléritiques. conséquences archéologiques et géologiques, *Revue d'Archéométrie, 1995, 19, pp. 63-78*

Jarrier C., Andrieux Ph., Domergue C., Pieraggi B., **Ploquin A.** et Tollon F. : Elaboration du fer par réduction directe: essais de reproduction de procédés antiques. *Revue de Métallurgie-CIT/Science et Génie des Matériaux*, Mai 1997, 691-704.  
Dunikowski C., Leroy M., Merluzzo P., **Ploquin A.** : L'atelier de forge gallo-romain de Nailly (Yonne) ; contribution à l'étude des déchets de production. *Revue Archéologique de l'Est*, 1996, 47, pp. 97-121, CNRS Editions.

**ACCEPTÉES :**

**Ploquin A.**, Happ J., Barge H., Guendon J.L. : Expérimentation sur la bornite de Saint-Véran (Hautes-Alpes)  
**Ploquin A.**, Happ J., Barge H., Bourhis J.R. : Scories archéologiques et reconstitution expérimentale de réduction de sulfure de cuivre (minerai de Saint-Véran, Hautes-Alpes) : prémices d'une approche pétrographique  
Mahé-Le Carlier C., Dieudonné-Glad N., **Ploquin A.**: Un laitier obtenu dans un bas fourneau ? étude chimique et minéralogique des scories de Oulches (Indre). *Revue d'Archéométrie*.

**Équipe :** Géochimie

**Section(s) du Comité National :** 11

**Expérience professionnelle :**

Ph.D., Lamont-Doherty Geological Observatory of Columbia University, 1987.  
NATO post-doctoral fellow, Lab. de Géochimie et Cosmochimie IPGP, 1988.  
Post-doctoral research scientist, Lamont-Doherty Geol. Obs., 1989-1992.  
Chargé de recherche, CRPG/CNRS, depuis octobre 1992

**Mots-clés :**

isotopes radiogéniques, osmium, neodymium, mantle, peridotites, basaltes, sédiments

**Mon activité au sein du Centre :**

Mes recherches actuelles portent sur l'utilisation du couple Re-Os pour l'étude de l'évolution du manteau lithosphérique, la génération des basaltes, et les processus d'érosion. Je co-dirige la thèse d'une étudiante, et je participe à l'encadrement de quatre autres. Je dirige le laboratoire des isotopes radiogéniques et je veille au bon fonctionnement du spectromètre de masse à source solide.

**Enseignements dispensés (options et nombre d'heures) :**

DEA, six heures

**Participation à des comités locaux, nationaux, internationaux :**

Membre du conseil de laboratoire du CRPG.

**Prix, distinctions obtenus :**

NATO Post-doctoral fellow  
Heezen Prize, Lamont-Doherty Geological Observatory

**LES 3 PUBLICATIONS LES PLUS SIGNIFICATIVES DEPUIS LE DÉBUT DE MA CARRIÈRE**

**Reisberg, L.** and J-P. Lorand (1995) Correlations between osmium isotopic ratios and major elements compositions indicating old (>1 b.y.) model ages in orogenic lherzolite massifs. *Nature*, 376, 159-162.

**Reisberg, L.**, C. France-Lanord, and A.-C. Pierson-Wickmann (1997) Os isotopic compositions of leachates and bulk sediments from the Bengal Fan, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 150, 117-127.

**Reisberg, L.**, A. Zindler and E. Jagoutz (1989) Further Sr and Nd isotopic results of the Ronda Ultramafic Complex. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 96, 161-180.

**PUBLICATIONS DE RANG A, DEPUIS JANVIER 1994 (Y COMPRIS CELLES ACCEPTÉES)**

Marcantonio, F., **L. Reisberg**, A. Zindler, D. Wyman and L. Hulbert (1994) An isotopic study of the Ni-Cu-PGE Wellgreen intrusion of the Wrangellia Terrane : Evidence for hydrothermal mobilization of Re and Os. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 58, 1007-1017.

**Reisberg, L.** and J-P. Lorand (1995) Correlations between osmium isotopic ratios and major elements compositions indicating old (>1 b.y.) model ages in orogenic lherzolite massifs. *Nature*, 376, 159-162.

Snow, J. and **L. Reisberg** (1995). Os isotopic systematics of altered abyssal peridotites. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 136, 723-733.

Brueckner, H.K., M.A. Elhaddad, B. Hamelin, S. Hemming, A. Kroner, **L. Reisberg**, M. Seyler (1995) A Pan African origin and uplift for the gneisses and peridotites of Zabargad Island, Red Sea: a Nd, Sr, Pb and Os isotope study. *J. Geophys. Res.*, 100, 22283-22297.

Kumar, N., **L. Reisberg** and A. Zindler (1996) A major and trace element and Sr, Nd, and Os isotopic study of a thick pyroxenite layer from the Beni Bousera Ultramafic Complex of N. Morocco, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 60, 1429-1444.

Molzahn, M., **L. Reisberg** and G. Worner (1996) Os, Sr, Nd, Pb and O isotope data from the Ferrar flood basalts, Antarctica: Evidence for an enriched subcontinental lithospheric source. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 144, 529-546.

**Reisberg, L.**, C. France-Lanord, and A.-C. Pierson-Wickmann (1997) Os isotopic compositions of leachates and bulk sediments from the Bengal Fan, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 150, 117-127.

**Équipe :** Modélisation

**Section(s) du Comité National :** 1 1

**Expérience professionnelle :**

Ingénieur de Recherche CRPG depuis 1975

**Mots-clés :**

géostatistique avancée, modélisation numérique, géophysique, géothermie, environnement, bilan des transferts, logiciels, estimation des ressources naturelles

**Mon activité au sein du Centre :**

Conception et développement de logiciel dans le cadre du projet GOCAD. Conception et développement de logiciels 3D de modélisation, Étude de la thermicité du site géothermique de Soultz (projet CEE). Quantification des transferts du système hydrothermal de Soultz (DBT Fluides dans la Croûte), Caractérisation des transferts de chaleur et de masse autour d'un réacteur naturel de fission (Oklo, Gabon) (projet CEE-CEA-CREGU), Évolution au cours du temps des transferts chaleur et de masse le long de la faille d'Argentat et dans le Limousin (projet GéoFrance 3D). Caractérisation des propriétés physiques des roches à partir de leur réponse sismique. Application des méthodes géostatistiques (Coll. avec l'IFP).

**Enseignements dispensés (options et nombre d'heures) :**

EMN Ecole Mines de Nancy, INPL, probabilités, processus stochastiques, 2<sup>ème</sup> cycle, 30h CM+TD

ENSG Ecole Géologie de Nancy, INPL, Géostatistique et traitement d'images, 2<sup>ème</sup> cycle, 21h CM+TD

DEA, Physique et chimie de la Terre, Nancy, Modélisation des transferts, 3<sup>ème</sup> cycle, 8h CM+TD

DESS-CESEV, Ecole Géologie de Nancy, INPL, Géostatistique et traitement des données, 3<sup>ème</sup> cycle, 20h CM+TD

**Participation à des comités locaux, nationaux, internationaux :**

Responsable de l'imprimerie. Participation au Conseil de Laboratoire.

Membre du Comité CODATA France, en tant que Trésorier.

Organisateur de la Conférence "Visualization" Ministère de la Recherche, Paris, Juin 1997.

Organisateur de la Conférence 3D Modelling, 4-5 Juin 1998.

**LES 3 PUBLICATIONS LES PLUS SIGNIFICATIVES DEPUIS LE DÉBUT DE MA CARRIÈRE**

Kang Y.S., Royer J.J., Chambon Cl., Demassieux L. (1992) - Estimation of the transfer function by autoregressive deconvolution techniques. An application to time series analysis. *Mathematical Geology*, 24, 5, 479-498.

Royer J. J., Flores L. (1994) - Two-dimensional natural convection in an anisotropic and heterogeneous porous medium with internal heat generation. *Int. J. Heat Mass Transfer*, 37, 1387-1399.

Scaillet S., Cuney M., Le Carlier de Veslud C., Cheilletz A., Royer J. J. (1996) - Cooling pattern and mineralization history of the Saint Sylvestre and western Marche leucogranite pluton, French Massif Central : II. Thermal modelling and implications for the mechanisms of uranium mineralization. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 60, 4673-4688.

**PUBLICATIONS DE RANG A, DEPUIS JANVIER 1994 (Y COMPRIS CELLES ACCEPTÉES) :**

Royer J. J., Flores L. (1994) - Two-dimensional natural convection in an anisotropic and heterogeneous porous medium with internal heat generation. *Int. J. Heat Mass Transfer*, 37, 1387-1399.

Bartoli F., Burtin G., Royer J. J., Gury M., Gomendy V., Philipp R., Leviander T., Gafrej R. (1995) - Spatial variability of topsoil characteristics within one silty soil type. Effects on clay migration. *Geoderma*, 68, 279-300.

Danis M., Gobbe C., Royer J. J. (1996) - Procédures d'utilisation d'un conductivimètre à barre divisée pour des échantillons grenus : application au cas des granites. *Int. J. Heat Mass Transfer*, 39, 2183-2187.

Dubois M., Ayt Ougougdal M., Meere P., Royer J. J., Boiron M. C., Cathelineau M. (1996) - Temperature of paleo- to modern self-sealing within a continental rift basin : The fluid inclusion data (Soultz-sous-Forêts, Rhine graben, France). *Eur. J. Mineral.*, 8, 1065-1080.

Scaillet S., Cuney M., Le Carlier de Veslud C., Cheilletz A., Royer J. J. (1996) - Cooling pattern and mineralization history of the Saint Sylvestre and western Marche leucogranite pluton, French Massif Central : II. Thermal modelling and implications for the mechanisms of uranium mineralization. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 60, 4673-4688.

Gérard B., Royer J.J., Le Carlier C., Pagel M. (1998) - Modélisation 3D des transferts thermiques et fluides autour d'un réacteur naturel de fission (Oklo, Gabon). *Bull. Soc. Géol. France*, 169, 3, 459-467.

Le Carlier C., Royer J. J., Gérard B. et Pagel M. (1998) - Modélisation des transferts hydrologiques et thermiques lors de l'évolution de la paléo-marge ardéchoise (France). *Bull. Soc. Géol. France*, 169, 1, 81-89.

**SAUPÉ FRANCIS**

CR1, 63 ans

retraite en 1998

**Équipe** : ancienne Géochimie Isotopique

**Section(s) du Comité National** : 11

**Expérience professionnelle** :

Chargé de Recherche CRPG

Retraité depuis 1998

**Mon activité au sein du Centre** :

\* Métallogénie (Hg, mais aussi Pb/Zn, BaSO<sub>4</sub>, Fe)

\* Analyse (mise au point d'un appareil de dosages de traces de Hg, isotopes du S)

\* Interprétation des analyses chimiques de roches métamorphiques

\* Géochimie isotopique du S (roches, minéralisation, environnement)

\* Métallogénie, Hg, géochimie 34S, Espagne, Algérie, Toscane, chimie des roches métamorphiques

\* Animateur ancienne équipe de métallogénie

\* Secrétaire du Conseil scientifique

**Enseignements dispensés (options et nombre d'heures)** :

\* Ancien DEA : cycles géochimiques (2 x 9 h, en alternance sur deux ans), cristalochimie (9 h)

\* ENSG et mines jusqu'en 1985 : métallogénie du mercure (2 h), amas sulfurés massifs (3 h)

**Participation à des comités locaux, nationaux, internationaux** :

\* Comité de direction et Conseil scientifique du CRPG : plusieurs mandats

\* Trésorier (4 ans) et secrétaire général de la SGA (7 ans)

**Prix, distinctions obtenus** :

\* Bourse Fulbright (1958/1959)

\* Bourse A.V.Humboldt (Dozent) (1973/1974)

\* Visiting scientist (USGS) (1976)

**LES 3 PUBLICATIONS LES PLUS SIGNIFICATIVES DEPUIS LE DÉBUT DE MA CARRIÈRE**

**Saupé, F.**, Strappa, D., Coppens, R., Guillet, B. et Jaegy, R. (1980) - A possible source of error in <sup>14</sup>C dates : volcanic emanations (examples from the Monte Amiata district, provinces of Grosseto and Sienna, Italie). *Radiocarbon*, 22, (2), 525-531.

**Saupé, F.** (1990) - Geology of the Almadén mercury deposit, Province of Ciudad Real, Spain. *Economic Geology*, 85, 482-510.

**Saupé, F.** et Arnold, M. (1992) - Sulphur isotope geochemistry of the Almadén mercury ores (Ciudad Real, Spain). *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 56, 3765-3780.

**SHAPIRO SERGEI A.**

Professeur ENSG, 38 ans

**Équipe : Modélisation**

**Expérience professionnelle :**

- 1982 - 1990 : Chercheur a VNIIGeosystem (Institut de Recherche pour les Géosciences), Moscou, URSS.
- 1991 - Sept. 1997 : Directeur Scientifique de Projets et Professeur Associé à l'Institut de Géophysique de l'Université de Karlsruhe, Allemagne.
- Depuis Sept. 1997 : Professeur d'Université à l'ENSG/INPL, Enseignement et Recherche en Géophysique.

**Mon activité au sein du Centre :**

- Participation dans le Consortium-Projet GOCAD (ENSG-Nancy et Industrie Geophysique et Geologique Internationale)
- Coopération avec LORIA (CRIN, Nancy).
- Participation au Programme CNRS "Modélisation et Simulation Numérique": 'Problèmes de diffusion en milieu aléatoire. Application dans l'environnement. Dynamiques aléatoires pour la mécanique de fluides'.

**Enseignements dispensés (options et nombre d'heures) :**

- Exploration Sismique (Cours, 20 h., Polycopies 60p.)
- Physique de Roches pour Caractérisation Géophysique de Réservoirs et Aquifères (Cours, 12 h., Polycopies 30 p.)
- Un candidat au doctorat de l'ENSG-CRPG, Nancy (co-dirigé)
- Quatre candidats au doctorat de l'Univers. Karlsruhe, Allemagne (co-dirigés).
- 5 Projets de deuxième année de l'ENSG.

**Participation à des comités locaux, nationaux, internationaux :**

- Membre de Commission d'Enseignement de l'ENSG ;
- Membre de Comité Scientifique et Organisation de conférence internationale:
- '3D Modeling of Natural Objects: A Challenge for the 2000's' (GOCAD/ENSG) ;

**Prix, distinctions obtenus :**

- Bourse de recherche Alexander von Humboldt (1990)
- Bourse de recherche Heisenberg (1996)

**PUBLICATIONS DE RANG A, DEPUIS JANVIER 1994 (Y COMPRIS CELLES ACCEPTÉES)**

- Shapiro S. A., Huenges E., and Borm G., 1997, Estimating the crust permeability from the fluid-injection induced seismic emission at the KTB site. *Geoph. J. Int.* v.131, F15-F18
- Gelinsky S., and Shapiro S. A., 1997, Poroelastic Backus-averaging for anisotropic, layered fluid and gas saturated sediments. *Geophysics* v. 62, p.1867-1878.
- Shapiro S. A., and Treitel S., 1997, Multiple scattering of seismic waves in multilayered structures. *Physics of the Earth and Planet Interiors; special issue: Stochastic Seismology* v. 104, p. 147-159.
- Werner U. and Shapiro S. A., 1998, Intrinsic anisotropy and thin multilayering - two anisotropy effects combined. *Geoph. J. Int.* v.132, p.363-373

**STUSSI JEAN-MARC**

CR 1, 63 ans

retraite en 1998

**Équipe** : ancienne Dynamique de la Lithosphère et Modélisation

**Section(s) du Comité National** : 11

**Expérience professionnelle** :

Chargé de Recherche CRPG  
Retraité depuis 1998

**Mots-clés** :

plutonisme, volcanisme, pétrologie profonde

**Mon activité au sein du Centre** :

Pétrologie des granitoïdes et roches basiques. Relations avec les minéralisations.  
Expertise des milieux cristallins

**Enseignements dispensés (options et nombre d'heures)** :

CESEV (ENSG) de 1985 - 1997. Pétrologie des leucogranites. Six heures annuelles.

**LES 3 PUBLICATIONS LES PLUS SIGNIFICATIVES DEPUIS LE DÉBUT DE MA CARRIÈRE**

La Roche H. de, **Stussi J.M.** et Chauris L., 1980. Les granites à deux micas hercyniens français. Essai de cartographie et de corrélations géochimiques appuyés sur une banque de données. Implications pétrologiques et métallogéniques. *Sciences de la Terre, Nancy, XXIV, 1, 5-121.*

**Stussi J.M.**, 1989, Granitoid chemistry and associated mineralization in the French Variscan. *Econ. Geol.*, 84, 1363-1381.

**Stussi J.M.** et Cuney M., 1993. Modèles d'évolution géochimique de granitoïdes peralumineux. L'exemple du complexe plutonique varisque de Millevaches (Massif Central français). Typologie des granitoïdes et modèles de fractionnement. *Bull. Soc. Géol. France*, 164, 4, 585-596.

**PUBLICATIONS DE RANG A, DEPUIS JANVIER 1994 (Y COMPRIS CELLES ACCEPTÉES)**

Ploquin A. et **Stussi J.M.** - 1994: Felsic plutonism and volcanism in the Massif central. in: *Pre-Mesozoic geology in France and related areas*, Keppie J.D. (ed), Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, p.363-378.

Gasquet D., **Stussi J.M.** & Nachit H., 1996.- Les granitoïdes hercyniens du Maroc dans le cadre de l'évolution géodynamique régionale. *Bull. Soc. Géol. France*, 167, 4, 517-528.

**Stussi J.M.** & Cuney M., 1996.- Nature of biotites from alkaline, calc-alkaline and peraluminous magmas, by Abdel-Fattah M. Abdel Rahman, A comment. *Journal of Petrology*, 37, 5, 1025-1029..

**Équipe :** Pétrologie

**Section(s) du Comité National :** 13

**Expérience professionnelle :**

- 06/94 - 12/97 Boursier CEE, Bayerisches Geoinstitut, Bayreuth, Allemagne.
- 04/92 - 03/93 Boursier CIES, CRPG-CNRS, Nancy, France.
- 08/90 - 03/92 et 04/93 - 05/94 Bourse de thèse (NERC), Université de Bristol, UK
- 08/87 - 07/90 Peterhouse, Université de Cambridge, UK

**Mots-clés :**

Etudes expérimentales, Silicates fondus, magmatisme basaltique, Terre primitive.

**Mon activité au sein du Centre :**

J'ai pris mes fonctions au CRPG le 1er Janvier 1997. Mes recherches au cours de cette année ont été partagées entre la continuation des thématiques initiées avant mon arrivée à Nancy (études des silicates fondus, et magmatisme basaltique), et la mise en place des études expérimentales portant sur la Terre primitive. Dans ce cadre, j'ai suivi une formation pour l'utilisation de la sonde ionique. Ces thématiques m'ont amené à collaborer avec Guy Libourel et William Brown au sein de l'équipe MME, et à participer à l'encadrement des doctorants de l'équipe (L; Tissandier, P. Georges, C. Roumet-Maieron). J'ai aussi encadré deux étudiants de l'ENSG pour leurs projets de 2ème année. J'ai également participé à de nombreux congrès internationaux (e.g. EMPG, EUG, AGU) et effectué des séjours scientifiques dans les laboratoires français (chez Pascal Richet, IPG Paris; Bruno Reynard, Rennes/Lyon; Nicholas Rivier, Institut Fresnel, Strasbourg) et étrangers (chez Don Dingwell, Bayreuth, Allemagne; Dominique Lattard, Heidelberg, Allemagne; Mike Dungan, Genève, Suisse)

**Enseignements dispensés (options et nombre d'heures) :**

- Thermodynamiques en Sciences de la Terre - 2ème année ENSG - 8 heures
- Diagrammes de phases - 1ère année ENSG - 8 heures
- Expérimentation en Sciences de la Terre - 3ème année ENSG - 3 heures
- Anglais scientifique - Licence UHP - 10 heures

**LES 3 PUBLICATIONS LES PLUS SIGNIFICATIVES DEPUIS LE DÉBUT DE MA CARRIÈRE**

- Toplis M.J., Carroll M.R. (1995)** An experimental study of the influence of oxygen fugacity on Fe-Ti oxide stability, phase relations, and mineral-melt equilibria in ferro-basaltic systems. *J. Petrology* 36: 1137-1170
- Toplis, M.J., Carroll, M.R. (1996)** Differentiation of ferro-basaltic magmas under conditions open and closed to oxygen: Implications for the Skaergaard Intrusion and other natural systems. *J. Petrology* 37: 837-858
- Toplis, M.J., Dingwell, D.B., Lenci, T. (1997)** Peraluminous viscosity maxima in Na<sub>2</sub>O-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> liquids: The role of triclusters in tectosilicate melts. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 61: 2605-2612.

**PUBLICATIONS DE RANG A, DEPUIS JANVIER 1994 (Y COMPRIS CELLES ACCEPTÉES)**

- Toplis M.J., Dingwell D.B., Libourel G. (1994)** The effect of phosphorus on the iron redox ratio, viscosity, and density of an evolved ferro-basalt. *Contrib. Mineral. Petrol.* 117: 293-304
- Toplis M.J., Libourel G., Carroll M.R. (1994)** The role of phosphorus in basaltic crystallisation processes: An experimental study. *Geochim Cosmochim Acta* 58: 797-810
- Toplis M.J., Carroll M.R. (1995)** An experimental study of the influence of oxygen fugacity on Fe-Ti oxide stability, phase relations, and mineral-melt equilibria in ferro-basaltic systems. *J. Petrology* 36: 1137-1170
- Toplis, M.J., Carroll, M.R. (1996)** Differentiation of ferro-basaltic magmas under conditions open and closed to oxygen: Implications for the Skaergaard Intrusion and other natural systems. *J. Petrology* 37: 837-858
- Toplis, M.J., Dingwell, D.B. (1996)** The variable influence of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> on the viscosity of melts of differing alkali/aluminium ratio: Implications for the structural role of phosphorus in silicate melts. *Geochim Cosmochim Acta* 60: 4107-4121
- Toplis, M.J., Dingwell, D.B., Hess, K-U., Lenci, T. (1997)** Viscosity, fragility, and configurational entropy of melts along the join SiO<sub>2</sub>-NaAlSiO<sub>4</sub>. *American Mineralogist* 82: 979-990.
- Toplis, M.J., Dingwell, D.B., Lenci, T. (1997)** Peraluminous viscosity maxima in Na<sub>2</sub>O-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> liquids: The role of triclusters in tectosilicate melts. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 61: 2605-2612.
- Toplis, M.J. (1998)** Energy barriers to viscous flow and the prediction of glass transition temperatures of molten silicates. *American Mineralogist* (sous presse).
- Toplis, M.J., Dingwell, D.B. (1998)** The structural role of aluminum in highly polymerized silicate melts: New insights from shear viscosity measurements. *Journal of Non-Crystalline Solids* (sous presse).
- Toplis, M.J., Schaller, T. (1998)** A <sup>31</sup>P MAS NMR study of glasses in the system Na<sub>2</sub>O-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. *Journal of Non-Crystalline Solids* (sous presse).



**ZIMMERMANN JEAN LOUIS**

CR1, 62 ans

retraite en 1998

**Équipe** : ancienne équipe 'Dynamique de la Lithosphère et Modélisation'

**Section(s) du Comité National** : 13

**Expérience professionnelle:**

CR CNRS depuis 1960

Thèse de doctorat en 1971

Responsable du laboratoire de géochronologie K-Ar et d'analyse des gaz permanents (H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, CO, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>,...)

Retraite en 1998.

**Mots-clés (de 5 à 10 max.) :**

Géochronologie K-Ar, géochimie des gaz, phyllosilicates, cyclosilicates, halites, spectrométrie de masse, cristalochimie, diffusion des gaz.

**Mon activité au sein du Centre :**

Chercheur au sein de l'ancienne équipe 'Dynamique de la Lithosphère' s'intéressant principalement à la géochimie des gaz piégés dans les verres volcaniques, les basaltes océaniques, les halites et les gemmes (émeraude et rubis).

Correspondant Formation Permanente jusqu'à fin 1997.

Personne Compétente en Radioprotection jusqu'au 1/5/1998.

**Enseignements dispensés (options et nombre d'heures) :**

Intervenant ponctuel dans le cadre des DEA et du module "Fluides et Minéraux" de la 3<sup>ème</sup> année de l'ENSG (pour la géochronologie K-Ar et l'analyse des gaz par spectrométrie de masse): durée de 6 heures à 2 jours par an.

**LES 3 PUBLICATIONS LES PLUS SIGNIFICATIVES DEPUIS LE DÉBUT DE MA CARRIÈRE**

**Zimmermann JL** (1970) Contribution à l'étude de la déshydratation et de la libération de l'argon des micas. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 34, 1327-1350.

**Zimmermann JL**, Cheminée JL, Delorme H (1987) Chemical analyses and diffusion studies of gases in andesitic lavas : Arenal Volcano (Costa Rica). *Chem. Geol.*, 61, 299-308.

Jambon A and **Zimmermann JL** (1990) Water in oceanic basalts : evidence for dehydration of recycled crust. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 101, 323-331.

**PUBLICATIONS DE RANG A, DEPUIS JANVIER 1994 (Y COMPRIS CELLES ACCEPTÉES)**

Cheilletz A, Barbey P, Lama C, Pons J, **Zimmermann JL**, Dautel D (1994) Age de refroidissement de la croûte juvénile birimienne d'Afrique de l'Ouest. Données U-Pb, Rb-Sr et K-Ar sur les formations à 2,1 Ga du SW-Niger. *C. R. Acad. Sci. (Paris), série II*, 319, 435-442.

Giuliani G, **Zimmermann JL**, Montigny R (1994) K-Ar and <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar evidence for a transamazonian Age (2030-1970 Ma) for the granites and emerald-bearing K-metasomatites from Campo-Formoso and Carnaíba (Bahia, Brazil). *J. S. Amer. Earth Sci.*, 7, 149-165.

Stein G, Lapierre H, Monod O, **Zimmermann JL**, Vidal R (1994) Petrology of some Mexican Mesozoïc-Cenozoïc plutons : sources and tectonic environments. *J. S. Amer. Earth Sci.*, 7, 1-7.

Debon F, **Zimmermann JL**, Le Fort P (1996) Upper Hunza granites (north Karakorum, Pakistan) : a syn-collision bimodal plutonism of mid-Cretaceous age. *C. R. Acad. Sci. (Paris), série II*, 323, 381-388.

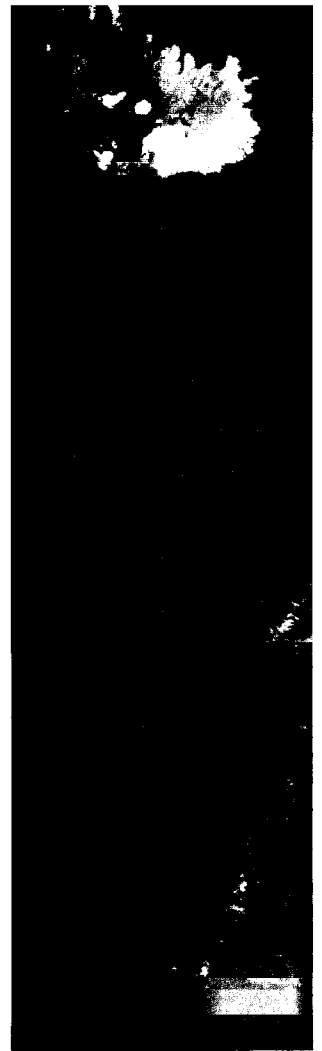
**Zimmermann JL**, Moretto R (1996) Release of water from halite crystals. *Eur. J. Mineral.*, 8, 413-422.

Giuliani G, France-Lanord C, **Zimmermann JL**, Cheilletz A, Arboleda C, Charoy B, Coget P, Fontan F, Giard D (1997) Fluid composition, δD of channel H<sub>2</sub>O, and δ<sup>18</sup>O of lattice oxygen in beryls : Genetic implications for Brazilian, Colombian, and Afghanistani emerald deposits. *Int. geol. rev.*, 39, 400-424.

**Zimmermann JL**, Giuliani G, Cheilletz A, Arboleda C (1997) Mineralogical significance of fluids in channels of Colombian emeralds : a mass-spectrometry study. *Int. geol. rev.*, 39, 425-437.

Marty B, Tolstikhin IN, Kamesny IL, Nivin V, Balaganskaya L, **Zimmermann JL** (sous presse) Plume derived rare gases in 380Ma carbonatites from the Kola Peninsula (Russia): an attempt to document the argon isotopic composition in the deep mantle. *Earth Planet. Sci. Lett.*,.

**PUBLICATIONS  
ET CONGRÈS**



# LISTE DES PUBLICATIONS DE RANG A

1998

- Dunphy JM, **Ludden JN** (sous presse) Petrological and geochemical characteristics of a Paleoproterozoic magmatic arc (Narsajuaq terrane, Ungava Orogen, Canada) and comparisons to Superior Province granitoids. *Precambrian Res.*, -
- Marty B**, Tolstokhin IN (sous presse) CO<sub>2</sub> fluxes from Mid-Ocean Ridges, arcs and plumes. *Chem. Geol.*,
- Marty B**, Tolstokhin IN, Kamesnky IL, Nivin V, Balaganskaya L, **Zimmermann JL** (sous presse) Plume derived rare gases in 380Ma carbonatites from the Kola Peninsula (Russia): an attempt to document the argon isotopic composition in the deep mantle. *Earth Planet. Sci. Lett.*,
- Ritter JRR, **Shapiro SA**, Schechinger B (sous presse) Scattering parameters of the lithosphere below the Massif central, France, from teleseismic records. *Geophys. J. Int.*,
- Smith MP, Savary V, Yardley BWD, Valley JW, **Royer JJ**, Dubois M (sous presse) The evolution of the deep flow regime at Soultz-sous-Forêts, rhine Graben, eastern France : evidence from a composite quartz vein. *J. Geophys. Res.*,
- Toplis MJ**, Dingwell DB (sous presse) The structural role of aluminium in highly polymerized silicate melts : New insights from shear viscosity measurements. *J. non-cryst. solids*,
- Bertrand JM**, Guillot F, **Leterrier J**, **Perruchot MP**, **Aillères L**, **Macaudière J** (1998) Granitoïdes de la zone houillère briançonnaise en Savoie et en Val d'Aoste (Alpes occidentales): géologie et géochronologie U-Pb sur zircon. *Geodin. Acta*, 11, 33-49.
- Boullier AM**, **Firdaus K**, Robert F (1998) On the significance of aqueous fluid inclusions in gold-bearing quartz vein deposits from the Southeastern Abitibi Subprovince (Quebec, Canada). *Econ. Geol.*, 93, 216-223.
- Boyd SR**, Philippot P (1998) Precambrian ammonium biogeochemistry : a study of the Moine metasediments, Scotland. *Chem. Geol.*, 144, 257-268.
- Hanon P**, Robert F, **Chaussidon M** (1998) High carbon concentrations in meteoritic chondrules : a record of metal-silicate differentiation. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 62, 903-913.
- Le Carlier de Veslud C**, **Royer JJ**, Gérard B, Págel M (1998) Modélisation des transferts hydrologiques et thermiques lors de l'évolution de la paléo-marge ardéchoise (France). *Bull. Soc. géol. France*, 169, 81-89.
- Marty B**, Upton BGJ, Ellam R (1998) Helium isotopes in Early Tertiary basalts, northeast Greenland : evidence for a 58 Ma plume activity in the North-Atlantic volcanic province. *Geology*, 26, 407-410.
- Ozima M, Wieler R, **Marty B**, Podosek F (1998) Comparative studies of solar, Q-gases, and terrestrial noble gases, and implications on the evolution of the solar nebula. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 62, 301-314.
- Pik R**, Deniel C, Coulon C, Yirgu G, Hofmann C, **Ayalew D** (1998) The Northwestern Ethiopian Plateau flood basalts : Classification and spatial distribution of magma types. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 81, 91-111.
- Roselieb K, **Chaussidon M**, **Mangin D**, Jambon A (1998) Lithium diffusion in vitreous jadeite (NaAlSi<sub>2</sub>O<sub>6</sub>). *N. Jb. Miner. Abh.*, 172, 245-257.
- Roy-Barman M, Wasserburg GJ, Papanastassiou DA, **Chaussidon M** (1998) Osmium isotopic compositions and Re-Os concentrations in sulfide globules from basaltic glasses. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 154, 331-347.
- Shi L, Francis D, **Ludden J**, Frederiksen A, Bostock M (1998) Xenolith evidence for lithospheric melting above anomalously hot mantle under the northern Canadian Cordillera. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 131, 39-53.

1997

- Tolstikhin IN, Marty B (1998) The evolution of terrestrial volatiles : a view from helium, neon, argon, and nitrogen isotope modelling. *Chem. Geol.*, 147, 27-52.
- Toplis M, Schaller T (1998) A <sup>31</sup>P MAS NMR study of glasses in the system  $x\text{Na}_2\text{O}-(1-x)\text{Al}_2\text{O}_3-2\text{SiO}_2-y\text{P}_2\text{O}_5$ . *J. non-cryst. solids*, 224, 57-68.
- Baumer A, Blanc P, Cesbron F, Ohnenstetter D (1997) Cathodoluminescence of synthetic (doped with rare-earth elements) and natural anhydrites. *Chem. Geol.*, 138, 73-80.
- Bédard LP, Ludden JN (1997) Nd-isotope evolution of Archaean plutonic rocks in southeastern Superior province. *Can. J. Earth Sci.*, 34, 286-298.
- Bertrand JM, Leterrier J (1997) Granitoides d'âge Paléozoïque inférieur dans le socle de Vanoise méridionale : géochronologie U-Pb du métagranite de l'Arpont (Alpes de Savoie, France). *C. R. Acad. Sci. (Paris), série II*, 325, 839-844.
- Bilham R, Larson K, Freymueller J, Project Idyllim members (dont Galy A) (1997) GPS measurements of present-day convergence across the Nepal Himalaya. *Nature*, 386, 61-64.
- Boullier AM, Firdaous K, Boudier F (1997) Fluid circulation related to deformation in the Zabargad gneisses (Red Sea rift). *Tectonophysics*, 279, 281-303.
- Brown WL, Lee MR, Waldron KA, Parsons I (1997) Strain-driven disordering of low microcline to low sanidine during partial phase separation in micropertthites. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 127, 305-313.
- Carignan J, Gariépy C, Hillaire-Marcel C (1997) Hydrothermal fluids during Mesozoic reactivation of the St Lawrence rift system, Canada : C, O, Sr and Pb isotopic characterization. *Chem. Geol.*, 137, 1-21.
- Cesbron F, Baumer A, Blanc P, Ohnenstetter D (1997) Cathodoluminescence des sulfates de calcium synthétiques dopés à l'euporium : relation entre l'intensité de CL et la teneur en Eu dans l'anhydride. *C. R. Acad. Sci. (Paris), série II*, 324, 353-360.
- Chalot-Prat F, Boullier AM (1997) Metasomatism in the subcontinental mantle beneath the Eastern Carpathians (Romania): new evidence from trace element geochemistry. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 129, 284-307.
- Toplis MJ (1998) Energy barriers to viscous flow and the prediction of glass transition temperatures of molten silicates. *Amer. Mineral.*, 83, 480-490.
- Werner U, Shapiro SA (1998) Intrinsic anisotropy and thin multilayering - two anisotropy effects combined. *Geophys. J. Int.*, 132, 363-373.
- Chaussidon M, Robert F, Mangin D, Hanon P, Rose E (1997) Analytical procedures for the measurement of boron isotope compositions by ion microprobe in meteorites and mantle rocks. *Geostandard. Newslett.*, 21, 7-17.
- Chaussidon M, Uitterdijk Appel PW (1997) Boron isotopic composition of tourmalines from the 3.8-ga-old Isua supracrustals, West Greenland : implications on the  $d^{11}\text{B}$  value of early Archean seawater. *Chem. Geol.*, 136, 171-180.
- Cheilletz A, Giuliani G, Branquet Y, Laumonier B, Sanchez M AJ, Féraud G, Arhan T (1997) Datation K-Ar et  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  à 65 + 3Ma des gisements d'émeraude du district de Chivor-Macanal : argument en faveur d'une déformation précoce dans la Cordillère orientale de Colombie. *C. R. Acad. Sci. (Paris), série II*, 324, 369-377.
- Dubois M, Marignac C (1997) The  $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}-\text{MgCl}_2$  ternary phase diagram with special application to fluid inclusion studies. *Econ. Geol.*, 92, 114-119.
- Dubois M, Weisbrod A, Shtuka A, Martinez-Serrano R (1997) The low-temperature ( $T < 120^\circ\text{C}$ )  $\text{H}_2\text{O}-\text{RbCl}$  phase diagram. Comparison with other water-alkali chloride systems. *Eur. J. Mineral.*, 9, 987-992.
- France-Lanord C, Derry L (1997) Organic carbon burial forcing of the carbon cycle from Himalayan erosion. *Nature*, 390, 65-67.
- Gelinski S, Shapiro SA (1997) Poroelastic Backus-averaging for anisotropic, layered fluid and gas saturated sediments. *Geophysics*, 62, 1867-1878.
- Gurenko AA, Chaussidon M (1997) Boron concentrations and isotopic composition of the Icelandic mantle : evidence from glass inclusions in olivine. *Chem. Geol.*, 135, 21-34.
- Henry P, Deloué E, Michard A (1997) The erosion of the Alps : Nd isotopic and geochemical constraints on the sources of the peri-alpine molasse sediments. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 146, 627-644.

- Ikenne M, Gasquet D, Barbey P, Macaudière J (1997) Relations entre déformation, métamorphisme et magmatisme dans le Paléoprotérozoïque du massif du Bas-Drâ (Anti-atlas occidental, Maroc). *C. R. Acad. Sci. (Paris), série II*, 324, 237-243.
- Lamotte M, Bruand A, Ohnenstetter D, Ildefonso P, Pedro G (1997) A hard sandy-loam soil from semi-arid Northern Cameroon : II. Geochemistry and mineralogy of the bonding agent. *Eur. J. soil sci.*, 48, 227-237.
- Lee MR, Waldron KA, Parsons I, Brown WL (1997) Feldspar-fluid interactions in braided micropertthites : pleated rims and vein micropertthites. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 127, 291-304.
- Mallet JL (1997) Discrete modeling for natural objects. *Math. Geol.*, 29, 199-219.
- Marty B (1997) Neon signs mark Australian plume. *Nature*, 388, 127-129.
- Marty B, Humbert F (1997) Nitrogen and argon isotopes in oceanic basalts. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 152, 101-112.
- Mougeot R, Respaut JP, Ledru P, Marignac C (1997) U-Pb chronology on accessory minerals of the Velay anatectic dome (French Massif Central). *Eur. J. Mineral.*, 9, 141-156.
- Pinti DL, Marty B, Andrews JN (1997) Atmosphere-derived noble gas evidence for the preservation of ancient waters in sedimentary basins. *Geology*, 25, 111-114.
- Reisberg L, France-Lanord C, Pierson-Wickmann AC (1997) Os isotopic compositions of leachates and bulk sediments from the Bengal Fan. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 150, 117-127.
- Roger S, Pik R, Dautria JM, Coulon C, Yirgu G, Ayalew D, Legros P (1997) Rifting actif ou passif en Ethiopie ? Eléments de réponse apportés par l'étude des xénolites péridotites de la région du lac Tana. *C. R. Acad. Sci. (Paris), série II*, 324, 1009-1016.
- Samson P, Mallet JL (1997) Curvature Analysis of Triangulated surfaces. *Math. Geol.*, 29, 391-412.
- Schiano P, Clocchiatti R, Lorand JP, Massare D, Deloule E, Chaussidon M (1997) Primitive basalts melts included in podiform chromites from the Oman Ophiolite. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 146, 489-497.
- Shapiro SA, Huenges E, Borm G (1997) Estimating the crust permeability from the fluid-injection induced seismic emission at the KTB site. *Geophys. J. Int.*, 131, F15-F18.
- Shapiro SA, Treitel S (1997) Multiple scattering of seismic waves in multilayered structures. *Phys. Earth Planet. Interiors*, special issue, 104, 147-159.
- Stone WE, Deloule E, Larson MS, Leshner CM (1997) Evidence for hydrous high-MgO melts in the Precambrian. *Geology*, 25, 143-146.
- Toplis M, Dingwell DB, Lenci T (1997) Peraluminous viscosity maxima in Na<sub>2</sub>O-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> liquids : The role of triclusters in tectosilicate melts. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 61, 2605-2612.
- Toplis MJ, Dingwell DB, Hess K-U, Lenci T (1997) Viscosity, fragility, and configurational entropy of melts along the join SiO<sub>2</sub>-NaAlSiO<sub>4</sub>. *Amer. Mineral.*, 82, 979-990.

## 1996

- Auffret GA, Richter T, Reyss J-L, Organo C, Deloule E, Gaillard J-F, Dennielou B, Müller C, Thomas B, Watremez P, Grousset F, Boelaert A, Cambon P, Etoubleau J (1996) Enregistrement de l'activité hydrothermale dans les sédiments de la dorsale médio-atlantique au sud des Açores. *C. R. Acad. Sci. (Paris), série II*, 323, 583-590.
- Barbey P, Brouand M, Le Fort P, Pêcher A (1996) Granite-migmatite genetic link : the exemple of the Manalu granite and Tibetan Slab migmatites in central Nepal. *Lithos*, 38, 63-79.
- Bertrand JM, Aillères L, Gasquet D, Macaudière J (1996) The Pennine front zone in Savoie (western Alps), a review and new interpretations from the Zone Houillère Briançonnaise. *Eclogae geol. Helv.*, 89, 297-320.
- Blichert-Toft J, Arndt NT, Ludden JN (1996) Precambrian alkaline magmatism. *Lithos*, 37, 97-111.
- Carignan J, Ludden J, Francis D (1996) On the recent enrichment of subcontinental lithosphere : a detailed U-Pb study of spinel lherzolite xenoliths, Yukon, Canada. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 60, 4241-4252.
- Charoy B, Donato (de) P, Barres O, Pinto-Coelho C (1996) Channel occupancy in an alkali-poor beryl from Serra Branca (Goias, Brazil) : spectroscopic characterization. *Amer. Mineral.*, 81, 395-403.
- Charoy B, Noronha F (1996) Multistage growth of a rare-element, volatile-rich microgranite at Argemela (Portugal). *J. Petrol.*, 37, 73-94.

- Cheillett A, Giuliani G** (1996) The genesis of Colombian emeralds : a restatement. *Miner. Depos.*, 31, 359-364.
- Danis M, Gobbé C, **Royer JJ** (1996) Procédures d'utilisation d'un conductivimètre à barre divisée pour des échantillons grenus : application au cas des granites. *Int. J. Heat Mass Transfer*, 39, 2183-2187.
- Debon F, **Zimmermann JL**, Le Fort P (1996) Upper Hunza granites (north Karakorum, Pakistan) : a syn-collision bimodal plutonism of mid-Cretaceous age. *C. R. Acad. Sci. (Paris), série II*, 323, 381-388.
- Derry LA, **France-Lanord C** (1996) Neogene Himalayan weathering history and river  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  : impact on the marine Sr record. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 142, 59-74.
- Dubois M, Ayt Ougougdal M, Meere P, **Royer JJ**, Boiron MC, Cathelineau M (1996) Temperature of paleo- to modern self-sealing within a continental rift basin : The fluid inclusion data (Soultz-sous-Forêts, Rhine graben, France). *Eur. J. Mineral.*, 8, 1065-1080.
- Fougnot J, Pichavant M, **Barbey P** (1996) Biotite resorption in dacite lavas from northeastern Algeria. *Eur. J. Mineral.*, 8, 625-638.
- Galy A, France-Lanord C**, Derry LA (1996) The Late Oligocene-Early Miocene Himalayan belt : constraints deduced from isotopic compositions of Early Miocene turbidites in the Bengal Fan. *Tectonophysics*, 260, 109-119.
- Gasquet D, Stussi JM**, Nacht H (1996) Les granitoides hercyniens du Maroc dans le cadre de l'évolution géodynamique régionale. *Bull. Soc. géol. France*, 167, 517-528.
- Govindaraju K** (1996) Tutorial notes on GeoStan series of Databases, version 2. *Geostandard. Newslett.*, 20, 3-28.
- Guiziou JL, **Mallet JL**, Madariaga R (1996) 3D seismic reflection tomography on top of the gOcad depth modeler. *Geophysics*, 61, 1499-1510.
- Hammouda T, Pichavant M, **Chaussidon M** (1996) Isotopic equilibration during partial melting: an experimental test of the behaviour of Sr. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 144, 109-121.
- Kumar N, **Reisberg L**, Zindler A (1996) A major and trace element and Sr, Nd, and Os isotopic study of a thick pyroxenite layer from the Beni Bousera Ultramafic Complex of N. Morocco. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 60, 1429-1444.
- Laumonier B, **Branquet Y, Lopès B, Cheillett A, Giuliani G**, Rueda F (1996) Mise en évidence d'une tectonique compressive Eocène-Oligocène dans l'ouest de la Cordillère orientale de Colombie, d'après la structure en duplex des gisements d'émeraude de Muzo et de Coscuez. *C. R. Acad. Sci. (Paris), série II*, 323, 705-712.
- Laumonier B, **Marignac C** (1996) Les effets respectifs de la compression puis de l'extension tardi-orogéniques hercyniennes dans l'évolution structurale du synclinal de Rosis et de l'anticlinal du Caroux (Est de la zone axiale de la Montagne Noire, France). *C. R. Acad. Sci. (Paris), série II*, 323, 427-434.
- Marignac C**, Semiani A, Fourcade S, Boiron M-C, Joron J-L, Kienast J-R, Peucat J-J (1996) Metallogenesis of the Late Pan-African gold-bearing East Ouzal shear zone (Hoggar, Algeria). *J. Metamorph. Geol.*, 14, 783-801.
- Martinez-Serrano R, **Jacquier B, Arnold M** (1996) The d34S composition of sulfates and sulfides at the Los humeros geothermal system, Mexico and their application to physicochemical fluid evolution. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 73, 99-118.
- Marty B**, Pik R, Gezahegn Y (1996) Helium isotopic variations in Ethiopian plume lavas: nature of magmatic sources and limit on lower mantle contribution. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 144, 223-237.
- Michel D, **Giuliani G** (1996) Habit and composition of gold grains in quartz veins from Greenstone belts : implications for mechanisms of precipitation of gold. *Can. Mineralog.*, 34, 513-528.
- Molzahn M, **Reisberg L**, Wörner G (1996) Os, Sr, Nd, Pb, O isotope and trace element data from the Ferrar flood basalts, Antarctica : evidence for an enriched subcontinental lithospheric source. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 144, 529-546.
- Moreau C, **Ohnenstetter D**, Demaiffe D, Robineau B (1996) The Los Archipelago nepheline syenite ring-structure : a magmatic marker of the evolution of the central and equatorial Atlantic. *Can. Mineralog.*, 34, 281-299.
- Nachit H, **Barbey P**, Pons J, Burg JP (1996) L'Eburnéen existe-t-il dans l'anti-atlas occidental marocain ? L'exemple du massif du Kerdous. *C. R. Acad. Sci. (Paris), série II*, 322, 677-683.
- Ohnenstetter D, Brown WL** (1996) Compositional variation and primary water contents of differentiated interstitial and included glasses in boninites. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 123, 117-137.
- Ottaviani-Stella MM, Girard M, **Cheillett A** (1996) Les ignimbrites burdigaliennes du sud de la Corse. Pétrologie et datation K-Ar. *C. R. Acad. Sci. (Paris), série II*, 323, 771-778.
- Péloquin AS, Verpaest P, **Ludden JN** (1996) Spherulitic rhyolites of the Archaean Blake River Group, Canada: implications for stratigraphic correlation and volcanogenic massive sulfide exploration. *Econ. Geol.*, 91, 343-354.
- Richard D, **Marty B, Chaussidon M, Arndt N** (1996) Helium isotopic evidence for a lower mantle component in depleted Archaean komatiite. *Science*, 273, 93-95.

- Scailliet S, **Cheilletz A**, Cuney M, Farrar E, Archibald DA (1996) Cooling pattern and mineralization history of the Saint Sylvestre and western Marche leucogranite pluton, French Massif Central : I.  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  isotopic constraints. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 60, 4653-4671.
- Scailliet S, Cuney M, **Le Carlier de Veslud C**, **Cheilletz A**, **Royer JJ** (1996) Cooling pattern and mineralization history of the Saint Sylvestre and western Marche leucogranite pluton, French Massif Central : II. Thermal modelling and implications for the mechanisms of uranium mineralization. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 60, 4673-4688.
- Sénéchal G, Mareschal M, Hubert C, Calvert AJ, Grandjean G, **Ludden J** (1996) Integrated geophysical interpretation of crustal structures in the northern Abitibi belt: constraints from seismic amplitude analysis. *Can. J. Earth Sci.*, 33, 1343-1362.
- Sobolev AV, **Chaussidon M** (1996)  $\text{H}_2\text{O}$  concentrations in primary melts from supra-subduction zones and mid-ocean ridges : implications for  $\text{H}_2\text{O}$  storage and recycling in the mantle. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 137, 45-55.
- Stussi JM**, Cuney M (1996) Nature of biotites from alkaline, calc-alkaline and peraluminous magmas by Abdel-Fattah M. Abdel-Rahman : a comment. *J. Petrol.*, 37, 1025-1029.
- Toplis M**, Carroll MR (1996) Differentiation of ferro-basaltic magmas under conditions open and closed to oxygen: implications for the Skaergaard intrusion and other natural systems. *J. Petrol.*, 37, 837-858.
- Toplis M**, Dingwell DB (1996) The variable influence of  $\text{P}_2\text{O}_5$  on the viscosity of melts of differing alkali/aluminium ratio: implications for the structural role of phosphorus in silicate melts. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 60, 4107-4121.
- Vignerresse JL, **Barbey P**, Cuney M (1996) Rheological transitions during partial melting and crystallization with application to felsic magma segregation and transfer. *J. Petrol.*, 37, 1579-1600.
- Wagner C, **Deloué E**, Moktari A (1996) Richterite-bearing peridotites and MARID-type inclusions in lavas from North Eastern Morocco : mineralogy and D/H isotopic studies. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 124, 406-421.
- Zimmermann JL**, Moretto R (1996) Release of water from halite crystals. *Eur. J. Mineral.*, 8, 413-422.

## 1995

- Aillères L**, **Bertrand JM**, **Macaudière J**, **Champenois M** (1995) Structure de la zone houillère briançonnaise (Alpes françaises), tectonique néoalpine et conséquences sur l'interprétation des Zones Penniques frontales. *C. R. Acad. Sci. (Paris), série II*, 321, 247-254.
- Aillères L**, **Champenois M**, **Macaudière J**, **Bertrand JM** (1995) Use of image analysis in the measurement of finite strain by the normalized Fry method : geological implications for the «Zone houillère» (Briançonnais zone, french Alps). *Mineral. Mag.*, 59, 179-187.
- Ait Malek H**, **Gasquet D**, **Marignac C**, **Bertrand JM** (1995) Des xénolites à corindon dans une vauugnérinite de l'Ardèche (Massif Central français) : implications pour le métamorphisme ardéchois. *C. R. Acad. Sci. (Paris), série II*, 321, 959-966.
- Barbey P**, **Allé P**, Brouand M, Albarède F (1995) Rare-earth patterns in zircons from the Manaslu granite and Tibetan slab migmatites (Himalaya) : insights in the origin and evolution of a crustally-derived granite magma. *Chem. Geol.*, 125, 1-17.
- Bartoli F, Burtin G, **Royer JJ**, Gury M, Gomendy V, Philippon R, Leviander T, Gafrej R (1995) Spatial variability of topsoil characteristics within one silty soil type. Effects on clay migration. *Geoderma*, 68, 279-300.
- Blanc P, Baumer A, Cesbron F, **Ohnenstetter D** (1995) Les activateurs de cathodoluminescence dans des chlorapatites préparées par synthèse hydrothermale. *C. R. Acad. Sci. (Paris), série II*, 321, 1119-1126.
- Bottero M, Gaucher A, Wang C, **Chaussidon M**, Yvon J (1995) Dental abnormalities in early diagnosis of hyperphosphatasemia. *Scanning Microsc.*, 9, 1179-1191.
- Bouloton J, **Gasquet D** (1995) Melting and undercooled crystallisation of felsic xenoliths from minor intrusions (Jebilet massif, Morocco). *Lithos*, 35, 201-219.
- Brueckner HK, Elhaddad ME, Hamelin B, Hemming S, Kröner A, **Reisberg L**, Seyler M (1995) A Pan African origin and uplift for the gneisses and peridotites of Zabargad Island, Red Sea : a Nd, Sr, Pb and Os isotope study. *J. Geophys. Res.*, 100, 22283-22297.

- Calvert AJ, Sawyer EW, Davis WJ, **Ludden JN** (1995) Archaean subduction inferred from seismic images of a mantle suture in the Superior Province. *Nature*, 375, 670-674.
- Carignan J**, Gariépy C (1995) Formation age and source of molybdenite, Grenville Province, Canada: Pb isotope evidence. *Econ. Geol.*, 90, 956-963.
- Carignan J**, Gariépy C (1995) Isotopic composition of epiphytic lichens as a tracer of the sources of atmospheric Pb emissions in southern Québec, Canada. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 59, 59,
- Carignan J**, Gariépy C (1995) Isotopic composition of epiphytic lichens as a tracer of the sources of atmospheric Pb emissions in southern Québec, Canada. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 59, 4427-4433.
- Carignan J**, Machado N, Gariépy C (1995) Determination of the initial Pb isotopic composition of the Mulcahy layered intrusion: the nature of the late Archean mantle in the Superior Province of Canada and its implication for the evolution of greenstone belts. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 59, 97-105.
- Carignan J**, Machado N, Gariépy C (1995) U-Pb geochemistry of komatiites and CPX from the southern Abitibi greenstone belt, Canada. *Chem. Geol.*, 126, 17-27.
- Cesbron F, Blanc P, **Ohnenstetter D**, Remond G (1995) Cathodoluminescence of rare earth doped zircons. I. Their possible use as reference materials. *Scanning Microsc.*, Suppl. 9, 35-56.
- Chalot-Prat F** (1995) Genesis of rhyolitic ignimbrites and lavas from distinct sources at a deep crustal level : field, petrographic, chemical and isotopic (Sr, Nd) constraints in the Tazekka volcanic complex (Eastern Morocco). *Lithos*, 36, 29-49.
- Charland A, Francis D, **Ludden J** (1995) The relationship between the hawaiites and basalts of the Itcha Volcanic complex, central British Columbia. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 121, 289-302.
- Charoy B**, **Chaussidon M**, Noronha F (1995) Lithium zonation in white micas from the Argemela microgranite (central Portugal) : an *in-situ* ion-, electron-microprobe and spectroscopic investigation. *Eur. J. Mineral.*, 7, 335-352.
- Chaussidon M** (1995) Isotope geochemistry of boron in mantle rocks, tektites and meteorites. *C. R. Acad. Sci. (Paris), série II*, 321, 455-472.
- Chaussidon M**, Koeberl C (1995) Boron content and isotopic composition of tektites and impact glasses: constraints on source regions. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 59, 613-624.
- Chaussidon M**, **Marty B** (1995) Primitive boron isotope composition of the mantle. *Science*, 269, 383-386.
- Chaussidon M**, Robert F (1995) Nucleosynthesis of  $^{11}\text{B}$ -rich boron in the pre-solar cloud recorded in meteoritic chondrules. *Nature*, 374, 337-339.
- Deloule E**, Paillat O, Pichavant M, Scaillet B (1995) Ion microprobe determination of water in silicate glasses : methods and applications. *Chem. Geol.*, 125, 19-28.
- Deloule E**, Robert F (1995) Interstellar water in meteorites. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 59, 4695-4706.
- Dunphy JM, **Ludden JN** (1995) Geochemistry of mafic magmas from the Ungava orogen, Quebec, Canada and implications for mantle reservoir compositions at 2.0 Ga. *Chem. Geol.*, 120, 361-380.
- Dunphy JM, **Ludden JN**, Parrish RR (1995) Stitching together the Ungava Orogen, northern Quebec : geochronological (TIMS AND ICP-MS) and geochemical constraints on late magmatic events. *Can. J. Earth Sci.*, 32, 2115-2127.
- Dupuy C, Michard A, Dostal J, **Dautel D**, Baragar WRA (1995) Isotope and trace-element geochemistry of Proterozoic Natkusiak flood basalts from the northwestern Canadian shield. *Chem. Geol.*, 120, 15-25.
- Fortes PTFO, **Giuliani G** (1995) Les phases fluides associées aux corps sulfurés du gisement d'or Mina III, ceinture de roches vertes de Crixás, Etat de Goiás, Brésil. *C. R. Acad. Sci. (Paris), série II*, 320, 1171-1178.
- Francis D, **Ludden J** (1995) The signature of amphibole in mafic alkaline lavas, a study in the northern Canadian Cordillera. *J. Petrol.*, 36, 1171-1191.
- Gasquet D**, Fernandez A, **Mahé C**, **Boullier AM** (1995) Origine des rubanements dans les granitoïdes : exemple du monzogranite de Brignognan-Plouescat (NW du massif armoricain). *C. R. Acad. Sci. (Paris), série II*, 321, 369-376.
- Giuliani G**, **Cheilletz A**, Arboleda C, Carrillo V, Rueda F, Baker JH (1995) An evaporitic origin of the parent brines of Colombian emeralds : fluid inclusion and sulphur isotope evidence. *Eur. J. Mineral.*, 7, 151-165.
- Govindaraju K** (1995) 1995 Working values with confidence limits for twenty-six CRPG, ANRT and IWG-GIT geostandards. *Geostandard. Newslett.*, XIX, 1-32.
- Govindaraju K** (1995) Update (1984-1995) on two GIT-IWG geochemical reference samples: albite from Italy, AL-I and iron formation sample from Greenland, IF-G. *Geostandard. Newslett.*, XIX, 55-96.
- Gurenko A, **Chaussidon M** (1995) Enriched and depleted primitive melts included in olivine from Icelandic tholeiites : origin by continuous melting of a single mantle column. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 59, 2905-2917.



- Hammouda T, Pichavant M, Barbey P, Brearley AJ (1995) Synthesis of fluorophlogopite single crystals. Applications to experimental studies. *Eur. J. Mineral.*, 7, 1381-1387.
- Henry P (1995) Etude chimique et isotopique (Nd) de formations ferrifères (banded iron formations ou BIFs) du Craton ouest-africain. *Bull. Soc. géol. France*, 166, 3-13.
- Hoxha M, Boullier AM (1995) The peridotites of the Kukës ophiolite (Albania) : structure and kinematics. *Tectonophysics*, 249, 217-231.
- Kimura G, Ludden J (1995) Peeling oceanic crust in subduction zones. *Geology*, 23, 217-220.
- Laumonier B, Marignac C, Gasquet D (1995) Cinématique d'un front de chevauchement : l'avant-pays de la nappe des Corbières aux environs de Lagrasse (Aude, France). *C. R. Acad. Sci. (Paris), série II*, 321, 1195-1201.
- Ludden JN, Feng R, Gauthier G, Stix J, Shi L, Francis D, Machado N, Wu GP (1995) Applications of LAM-ICP-MS analysis to minerals. *Can. Mineralog.*, 33, 419-434.
- Maras A, Parodi GC, Della Ventura G, Ohnenstetter D (1995) Vicanite-(Ce): a new Ca-Th-REE borosilicate from Vico volcanic district (Latium, Italy). *Eur. J. Mineral.*, 7, 439-446.
- Mareschal M, Kellett RL, Kurtz RD, Ludden J, Ji S, Bailey RC (1995) Archaean cratonic roots, mantle shear zones and deep electrical anisotropy. *Nature*, 375, 134-137.
- Marty B (1995) Comment on «Helium isotope fluxes and groundwater ages in the Dogger aquifer, Paris Basin» by B. Marty, T. Torgersen, V. Meynier, RK O'Nions, G. de Marsily. Reply. *Water Resour. Res.*, 31, 2119-2121.
- Marty B (1995) Nitrogen content of the mantle inferred from N<sub>2</sub>-Ar correlation in oceanic basalts. *Nature*, 377, 326-329.
- Marty B, Lenoble M, Vassard N (1995) Nitrogen, helium and argon in basalt : a static mass spectrometry study. *Chem. Geol.*, 120, 183-195.
- Matsuda JI, Marty B (1995) The <sup>40</sup>Ar/<sup>36</sup>Ar ratio of the undepleted mantle; a reevaluation. *Geophys. Res. Lett.*, 22, 1937-1940.
- Merino E, Wang Y, Deloule E (1995) Genesis of agates in flood basalts : twisting of chalcidony fibers and trace-element geochemistry. *Amer. J. Sci.*, 295, 1156-1176.
- Moktari A, Gasquet D, Rocci G (1995) Les tholéiites de Tagmout (Jbel Saghro, Anti-Atlas, Maroc) témoins d'un rift au Protérozoïque supérieur. *C. R. Acad. Sci. (Paris), série II*, 320, 381-386.
- Pinti DL, Marty B (1995) Noble gases in crude oils from the Paris Basin, France : Implications for the origin of fluids and constraints on oil-water-gas interactions. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 59, 3389-3404.
- Pons J, Barbey P, Dupuis D, Léger JM (1995) Mechanism of pluton emplacement and structural evolution of a 2.1 Ga juvenile continental crust : the Birimian of southwestern Niger. *Precambrian Res.*, 70, 281-301.
- Reisberg L, Lorand JP (1995) Longevity of subcontinental mantle lithosphere from osmium isotope systematics in orogenic peridotite massifs. *Nature*, 376, 159-162.
- Remond G, Cesbron F, Blanc P, Ohnenstetter D, Rouer O (1995) Cathodoluminescence of rare earth doped zircons. II. Relationship between the distribution of the doping elements and the contrasts of images. *Scanning Microsc.*, Suppl 9, 57-76.
- Robert F, Boullier AM, Firdaus K (1995) Gold-quartz veins in metamorphic terranes and their bearing on the role of fluids in faulting. *J. Geophys. Res.*, 100, 12861-12879.
- Sano Y, Marty B (1995) Origin of carbon in fumarolic gas from island arcs. *Chem. Geol.*, 119, 265-274.
- Scaillet B, Pêcher A, Rochette P, Champenois M (1995) The Gangotri granite (Garhwal Himalaya) : Laccolithic emplacement in an extending collisional belt. *J. Geophys. Res.*, 100, 585-607.
- Snow JE, Reisberg L (1995) Os isotopic systematics of the MORB mantle : results from altered abyssal peridotites. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 136, 723-733.
- Stix J, Gauthier G, Ludden JN (1995) A critical look at quantitative laser-ablation ICP-MS analysis of natural and synthetic glasses. *Can. Mineralog.*, 33, 434-444.
- Toplis M, Carroll MR (1995) An experimental study of the influence of oxygen fugacity on Fe-Ti oxide stability, phase relations, and mineral melt equilibria in ferro-basaltic systems. *J. Petrol.*, 36, 1137-1170.
- Trull TW, Brown ET, Marty B, Raisbeck GM, Yiu F (1995) Cosmogenic <sup>10</sup>Be and <sup>3</sup>He accumulation in Pleistocene beach terraces in Death Valley, California, U.S.A. : Implications for cosmic-ray exposure dating of young surfaces in hot climates. *Chem. Geol.*, 119, 191-207.
- Verpaelst P, Péloquin AS, Adam E, Barnes A, Ludden JN, Dion DJ, Hubert C, Milkereit B, Labaie M (1995) Seismic reflection profiles across the «Mine Series» in the Noranda Camp of the Abitibi belt, Eastern Canada. *Can. J. Earth Sci.*, 32, 167-176.
- Wiedenbeck M, Allé P, Corfu F, Griffin WL, Meier M, Oberli F, Von Quadt A, Roddick JC, Spiegel W (1995) Three natural zircon standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, trace element and REE analyses. *Geostandard. Newslett.*, 19, 1-23.

- Aillères L, Champenois M** (1994) Refinements to the Fry method (1979) using image processing. *J. Struct. Geol.*, 16, 1327-1330.
- Alibert C** (1994) Peridotite xenoliths from western Grand Canyon and the Thumb : a probe into the subcontinental mantle of the Colorado Plateau. *J. Geophys. Res.*, 99, 21605-21620.
- Althoff F, Barbey P, Pons J** (1994) La charnockite d'Ansignan et le granite de Saint-Arnac, témoins d'une extension crustale d'âge hercynien dans le massif de l'Agly (Pyrénées-Orientales, France). *C. R. Acad. Sci. (Paris), série II*, 319, 239-246.
- Baumer A, Guilhot B, Gibert R, Vernay AM, **Ohnenstetter D** (1994) Détermination des ions chlore et fluor dans les apatites par spectrométrie infrarouge. *C. R. Acad. Sci. (Paris), série II*, 319, 193-200.
- Black R, Latouche L, Liégeois JP, Caby R, **Bertrand JM** (1994) Pan-African displaced terranes in the Tuareg shield (central Sahara). *Geology*, 22, 641-644.
- Blanc P, Arbey F, **Ohnenstetter D** (1994) Applications de la microscopie électronique à balayage et de la cathodoluminescence à des matériaux géologiques (sulfates, carbonates, silicates). *Bull. Soc. géol. France*, 165, 341-352.
- Boullier AM, Charoy B, Pollard PJ** (1994) Fluctuation in porosity and fluid pressure during hydrothermal events : textural evidence in the Emuford District, Australia. *J. Struct. Geol.*, 16, 1417-1429.
- Carignan J, Ludden J, Francis D** (1994) Isotopic characteristics of mantle sources for Quaternary continental alkaline magmas in the northern Canadian Cordillera. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 128, 271-286.
- Cathelineau M, **Marignac C, Boiron MC, Gianelli G, Puxeddu M** (1994) Evidence for Li-rich brines and early magmatic fluid-rock interaction in the Larderello geothermal system. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 58, 1083-1099.
- Charoy B, Raimbault L** (1994) Zr-, Th-, and REE-Rich biotite differentiates in the A-type granite pluton of Suzhou (Eastern China): the key role of fluorine. *J. Petrol.*, 35, 919-962.
- Chaussidon M, Jambon A** (1994) Boron content and isotopic composition of oceanic basalts : geochemical and cosmochemical implications. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 121, 277-291.
- Chaussidon M, Jambon A** (1994) Reply to the comment on «Boron content and isotopic composition of oceanic basalts: geochemical and cosmochemical implications». *Earth Planet. Sci. Lett.*, 128, 731-733.
- Cheilletz A, Barbey P, Lama C, Pons J, Zimmermann JL, Dautel D** (1994) Age de refroidissement de la croûte juvénile birimienne d'Afrique de l'Ouest. Données U-Pb, Rb-Sr et K-Ar sur les formations à 2,1 Ga du SW-Niger. *C. R. Acad. Sci. (Paris), série II*, 319, 435-442.
- Cheilletz A, Feraud G, Giuliani G, Rodriguez CT** (1994) Time-pressure and temperature constraints on the formation of colombian emeralds: an  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  laser microprobe and fluid inclusion study. *Econ. Geol.*, 89, 361-380.
- Dias G, **Leterrier J** (1994) The genesis of felsic-mafic plutonic associations: a Sr and Nd isotopic study of the Hercynian Braga granitoid massif (Northern Portugal). *Lithos*, 32, 207-223.
- Dubois M, **Weisbrod A, Shtuka A** (1994) Experimental determination of the two-phase (liquid and vapour) region in water-alkali chloride binary systems at 500° and 600°C using synthetic fluid inclusions. *Chem. Geol.*, 115, 227-238.
- Fernandez AN, **Gasquet DR** (1994) Relative rheological evolution of chemically contrasted coeval magmas : example of the Tichka plutonic complex (Morocco). *Contrib. Mineral. Petrol.*, 116, 316-326.
- France-Lanord C, Derry L** (1994)  $\delta^{13}\text{C}$  of organic carbon in the Bengal Fan : Source evolution and transport of C3 and C4 plant carbon to marine sediments. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 58, 4809-4814.
- Govindaraju K** (1994) 1994 compilation of working values and sample description for 383 geostandards. *Geostandard. Newslett.*, 18, 1.
- Govindaraju K, Rubeska I, Paukert T** (1994) 1994 report on zinnwaldite ZW-C analysed by ninety-two GIT-IWG member-laboratories. *Geostandard. Newslett.*, 18, 1-42.
- Henry P, **Deloule E, Michard A** (1994) Erosion des Alpes : histoire métamorphique des roches érodées par l'analyse du couple Rb-Sr des sédiments molassiques. *C. R. Acad. Sci. (Paris), série II*, 318, 1637-1644.
- Ionov DA, Harmon RS, **France-Lanord C, Greenwood PB, Ashchepkov IV** (1994) Oxygen isotope composition of garnet and spinel peridotites in the continental mantle : evidence from the Vitim xenolith suite, southern Siberia. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 58, 1463-1470.
- Kuka N, **Shtuka A, Royer JJ** (1994) Desurv : an ANSI C program for borehole desurvey calculation by local least-squares fitting. *Comput. Geosci.*, 20, 919-960.

- Leblanc M, **Arnold M** (1994) Sulfur isotope evidence for the genesis of distinct mineralizations in the Bleida stratiform copper deposit (Morocco). *Econ. Geol.*, 89, 931-935.
- Leterrier J**, Jardim de Sa E, **Bertrand JM**, Pin C (1994) Ages U-Pb sur zircon de granitoïdes «brasilianos» de la ceinture du Seridó (Province Borborema, NE Brésil). *C. R. Acad. Sci. (Paris), série II*, 318, 1505-1511.
- Ludden JN** (1994) The Abitibi-Grenville LITHOPROBE transect seismic reflection results, part 1 : the western Grenville Province and Pontiac Subprovince. *Can. J. Earth Sci.*, 31, 227-228.
- Marcantonio F, **Reisberg L**, Zindler A, Wyman D, Hulbert L (1994) An isotopic study of the Ni-Cu-PGE-rich determination from Pb/U isotopic ratios measured by ion microprobe. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 58, 1007-1018.
- Marty B**, Lussiez P (1994) Constraints on rare gas partition coefficients from analysis of olivine-Glass from a picritic Mid-Ocean ridge basalt. Reply. *Chem. Geol.*, 112, 122-127.
- Marty B**, Trull T, Lussiez P, Basile I, Tanguy JC (1994) He, Ar, O, Sr and Nd isotope constraints on the origin and evolution of mount Etna magmatism. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 126, 23-39.
- Michel D, **Giuliani G**, Olivo GR, Marini OJ (1994) As growth banding and the presence of Au in pyrites from the Santa Rita gold vein deposit hosted in Proterozoic metasediments, Goiás State, Brazil. *Econ. Geol.*, 89, 193-200.
- Michel D, **Giuliani G**, Pulz GM, Jost H (1994) Multistage gold deposition in the Archaean Maria Lázara gold deposits (Goiás, Brazil). *Miner. Depos.*, 29, 94-97.
- Moreau C, Demaiffe D, Bellion Y, **Boullier AM** (1994) A tectonic model for the location of Palaeozoic ring complexes in Aïr (Niger, West Africa). *Tectonophysics*, 234, 129-146.
- Ouguir H, **Macaudière J**, Dagallier G, Qadrouci A, Leistel JM (1994) Cadre structural du gîte Ag-Hg d'Imiter (Anti-Atlas, Maroc); implication métallogénique. *Bull. Soc. géol. France*, 165, 233-248.
- Royer JJ**, Flores L (1994) Two-dimensional natural convection in an anisotropic and heterogeneous porous medium with internal heat generation. *Int. J. Heat Mass Transfer*, 37, 1387-1399.
- Soulard H, Boivin P, **Libourel G** (1994) Liquid-forsterite-anorthosite-spinel assemblage at 1 bar in the CMAS system : implications for low-pressure evolution of high-Al and high-Mg magmas. *Eur. J. Mineral.*, 6, 633-646.
- Toplis MJ**, Dingwell DB, **Libourel G** (1994) The effect of phosphorus on the iron redox ratio, viscosity, and density of an evolved ferro-basalt. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 117, 293-304.
- Toplis MJ**, **Libourel G**, Carroll MR (1994) The role of phosphorus in crystallisation processes of basalt : an experimental study. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 58, 797-810.
- Zartarian F, Mustin C, Bottero JY, Villemin G, Thomas F, **Aillères L**, **Champenois M**, Grulois P, Manem J (1994) Spatial arrangement of the components of activated sludge flocs. *Water Sci. Technol.*, 30, 243-250.

# LISTE DES PUBLICATIONS B

## ACTES DE CONGRÈS

### 1998

- Gérard B, Le Carlier de Veslud C, Royer JJ** (1998) Modélisation 3D des équations aux dérivées partielles appliquées aux problèmes de géologie par le logiciel GOCAD. In : *Colloque «Modélisation du sous-sol», Paris, 3-4 février 1997*, Editions du BRGM, Document BRGM. 274, 112-115.
- Jacquemin P, Mallet JL** (1998) Restitution 3D de la déformation de formations géologiques complexes. In : *Colloque «Modélisation du sous-sol», Paris, 3-4 février 1997*, Editions du BRGM, Document BRGM. 274, 136-139.
- Le Carlier de Veslud C, Gérard B, Royer JJ, Pagel M, Savary V** (1998) Modélisation géométrique et quantification des transferts sous GOCAD : application aux réacteurs naturels de fission d'Oklo (Gabon). In : *Colloque «Modélisation du sous-sol», Paris, 3-4 février 1997*, Editions du BRGM, Document BRGM. 274, 41-44.
- Libourel G, Sterpenich J, Barbey P, Chaussidon M** (1998) Le matériau vitreux : verre et vitraux. In : *Cours intensif Européen, Ravello, 28-30 avril 1995*, Lefèvre R-A, Pallot-Frossard I (Eds), Edipuglia, Bari, 75-89.
- Mariez O.**(1998) Construction de modèles 3D non-manifold à partir de coupes géologiques. In : *Colloque «Modélisation du sous-sol», Paris, 3-4 février 1997*, Editions du BRGM, Document BRGM. 274, 100-103.
- Royer JJ, Shtuka A, Gérard B, Le Carlier de Veslud C** (1998) Apport du 3D dans l'estimation des ressources du sous-sol et des gisements miniers. In : *Colloque «Modélisation du sous-sol», Paris, 3-4 février 1997*, Editions du BRGM, Document BRGM. 274, 59-62.
- Shtuka A, Royer JJ, Samson P, Cognot R, Mallet JL** (1998) Contraintes géologiques et simulation stochastique dans la construction des modèles 3D. In : *Colloque «Modélisation du sous-sol», Paris, 3-4 février 1997*, Editions du BRGM, Document BRGM. 274, 116-117.
- Vignerresse JL, Schoeffler B, Le Carlier de Veslud C, Royer JJ** (1998) Interprétation sous GOCAD des données gravimétriques et topographiques du Nord-Ouest du Massif central. In : *Colloque «Modélisation du sous-sol», Paris, 3-4 février 1997*, Editions du BRGM, Document BRGM. 274, 67-68.

### 1997

- Almeida A, Leterrier J, Noronha F** (1997) Estudos isotópicos U-Pb em granitos de duas micas sintectónicas no maciço de Cabeceiras de Basto (Norte de Portugal). In : *X semana de Geoquímica/IV Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa, Braga, Portugal, , Actas*, 365-368.
- Barbey P, Sterpenich J, Libourel G** (1997) Altération des vitraux : produits d'altération, Etats d'oxydation du manganèse, effets des traitements de surface. In : *2ème Colloque du Programme Franco-Allemand de Recherche pour la conservation des Monuments historiques, Bonn, 12-13 décembre 1996*, Filtz JF (Ed.) Actes, 61-71.

- Barros CEM, Barbey P, Dall'Agnol R** (1997) The Estrela granite complex (Carajás mining province, state of Pará, north Brazil) : petrographic, geochemical and structural aspects of a synkinematic Late-Archaean granite. In : *Second International symposium on Granites and Associated Mineralizations, Salvador, Brazil, August 24-29, 1997*, Ferreira VP, Sial AN (Eds), SGM, Salvador, 299-300.
- Dall'Agnol R, Pichavant M, Champenois M** (1997) Iron-titanium oxide minerals of the Jamon granite, Eastern Amazonian region, Brazil : implications for the oxygen fugacity in proterozoic, A-type granites. In : *Symposium on Rapakivi Granites and Related Rocks, Belem, August 2-5, 1995*, Academia Brasileira de Ciências, Rio de Janeiro, 69, 325-347.
- Fichtl P, Fournier F, Royer JJ** (1997) Cosimulations of lithofacies and associated reservoir properties using well and seismic data. In : *SPE (Society Petroleum Engineers) Annual Technical Conference, San Antonio, Texas, 5-8 October 1997*, Abstracts, 1-13.
- Giuliani G, France-Lanord C, Zimmermann JL, Cheilletz A** (1997) Composition of fluids dD of channel H<sub>2</sub>O and d<sup>18</sup>O of framework oxygen in beryl : Genetic implications for Brazilian, Colombian, and Afghanistani emerald deposits. In : « *Mineral deposits* » *Fourth Biennial SGA Meeting, Turku, 11-13 August 1997*, Papunen H (Ed.) Balkema AA, Rotterdam, 949-952.
- Ludden J** (1997) Archean tectonics : lessons from the modern plate tectonic cycle. In : *International Conference on Crustal Evolution, Metallogeny and exploration of the Yilgarn Craton - an update, Kalgoorlie, 1997, 28/9 - 7/10*, Cassidy KF, Whitaker AJ, Liu SF (Eds), Australian Geological Survey Organisation, 1-5.
- Mahé C, Le Carlier de Veslud C, Arnold M** (1997) Contraintes internes dans des scories paléométallurgiques : quantification par photoélasticimétrie et par modélisation. In : *Congrès International sur les Procédés de Solidification et de Stabilisation des déchets, Nancy, 28 novembre - 1er décembre 1995*, Cases JM, Thomas F (Eds), 412-417.
- Mahé C, Ploquin A, Fluzin P, Fluck P** (1997) Etude des déchets des métallurgies anciennes (fer et polymétallique) : un état de l'art en relation avec les travaux archéométriques récents. Quelques retombées pour la prévision du vieillissement des procédés de stabilisation à chaud ? In : *Congrès International sur les Procédés de Solidification et de Stabilisation des déchets, Nancy, 28 novembre - 1er décembre 1995*, Cases JM, Thomas F (Eds), 460-465.
- Pinti DL, Marty B** (1997) Evaluating fluid circulation in deep sedimentary aquifers: the noble gas approach from the Paris Basin. In : *Contributions to the Second International Conference on Fluid Evolution, Migration and Interaction in Sedimentary Basins and Orogenic Belts (Geofluids II «97»)*, Belfast, March 10-14 1997, Henry JP, Carey PF, Parnell J, Ruffell AH, Worden RH (Eds), 46-49.
- Saupé F, Grinenko VA, Ivanova GF, Afanas'yeva ZB** (1997) Sulfur isotope geochemistry of sulfides from the Olimpadia au-(Sb-W) district, Siberia, Russia - Part II. In : « *Mineral deposits* » *Fourth Biennial SGA Meeting, Turku, 11-13 August 1997*, Papunen H (Ed.) Balkema AA, Rotterdam, 305-308.
- Sterpenich J, Le Forestier L, Libourel J** (1997) Durability of vitrified wastes as deduced from an experimental and analogical approach. In : *Congrès International sur les Procédés de Solidification et de Stabilisation des Déchets, Nancy, 28 novembre - 1er décembre 1995*, Cases J, Thomas F (Eds), Société Alpine de Publications, Grenoble, Actes, 444-449.

## 1996

- Branquet Y, Laumonier B, Lopes B, Cheilletz A, Giuliani G, Rueda F** (1996) Evidences of compressive structures in the Muzo and Coscuez emerald deposits, eastern Cordillera of Colombia. In : *Third International Symposium on Andean Geodynamics (ISAG 96), St Malo, 17-19 September, 1996*, 675-677.
- Chaussidon M, Robert F** (1996) Boron and lithium isotope variations in chondrules : the signature of presolar nucleosynthesis. In : *27th Lunar and Planetary Science Conference, Houston, March 18-22, 1996*, Abstracts, 207-208.
- Dall'Agnol R, de Souza ZS, Althoff FJ, Buenano Macambira MJ, da Silva Leite AA** (1996) Geology and geochemistry of the Archaean Rio Maria granite-greenstone Terrain, Carajás Province, Amazonian Craton. In : *Symposium «Archaean Terranes of the South American Platform»*, Brasilia, April 15-17, 1996, Abstracts, 29-30.
- Deloule E, Robert F** (1996) Origin of water in the solar system : ion-probe determinations of d/H ratios in chondrules. In : *27th Lunar and Planetary Science Conference, Houston, March 18-22, 1996*, Abstracts, 307-308.

- Engrand C, Deloule E, Hoppe P, Kurat G, Maurette M, Robert F (1996) Water contents of micrometeorites from Antarctica. In : *27th Lunar and Planetary Science Conference, Houston, March 18-22, 1996*, Abstracts, 337-338.
- Giuliani G, Cheilletz A, France-Lanord C, Rueda F (1996) The role of organic matter in high temperature hydrothermal regimes. In : *Third International Symposium on Andean Geodynamics (ISAG 96), St Malo, 17-19 September, 1996*, 683-686.
- Gomendy V, Bartoli F, Pechard-Presson B, Vivier H, Petit V, Bird N, Niquet S, Perrier E, Royer JJ, Leviandier T (1996) Fractals, théorie de la percolation et structures des sols : une approche physique unifiée pour la modélisation des courbes de rétention d'eau et des transferts. In : *Journées du programme Environnement, Vie et Sociétés, Paris, 15-17 janvier 1996*, 175-180.
- Hanon P, Chaussidon M (1996) High C and H contents of chondrules. In : *27th Lunar and Planetary Science Conference, Houston, March 18-22, 1996*, Abstracts, 485-486.
- Le Carlier-Mahé C, Ploquin A, Le Carlier de Veslud C, Royer JJ, Arnold M (1996) Use of archaeometallurgical slags as natural analogues for municipal/nuclear/Industrial slagged wastes : from database to applications. In : «*Scientific data in the age of networking*», *15th International CODATA Conference, Tsukuba, Japan, 29/9-3/10 1996*, Abstracts, 4p.
- Marty B, Zimmermann L, Humbert F (1996) Nitrogen isotopic composition of the silicate earth and its bearing on earth-atmosphere evolution. In : *27th Lunar and Planetary Science Conference, Houston, March 18-22, 1996*, Abstracts, 819-820.
- Royer JJ, Gérard B, Le Carlier de Veslud C (1996) Virtual tools for investigating real complex 3D objects in Geoscience. In : «*Scientific data in the age of networking*», *15th International CODATA Conference, Tsukuba, Japan, 29/9-3/10 1996*, Abstracts, 2p.
- Souza de ZS, Dall'Agnol R, Althoff FJ, da Silva Leite AA, de Mesquita Barros CE (1996) Carajás mineral Province : geological, geochronological and tectonic contrasts on the Archaean evolution of the Rio Maria granite-greenstone Terrain and the Carajás block. In : *Symposium «Archaean Terranes of the South American Platform», Brasilia, April 15-17, 1996*, Abstracts, 31-32.

## 1995

- Aïssa DE, Cheilletz A, Gasquet D, Marignac C (1995) Alpine metamorphic core complexes and metallogenesis : the Edough case (NE Algeria). In : «*Mineral Deposits : From their origin to their environmental impacts*». *Third Biennial SGA Meeting, Praha, August 28-31, 1995*, Pasava J, Kribek B, Zak K (Eds), Balkema, Rotterdam, 23-26.
- Almeida A, Leterrier J, Noronha F (1995) Estudo dos minerais acessórios dos granitos de duas micas do complexo de Cabeceiras de Basto. In : *IV Congresso Nacional de Geologia, Porto, 12-17 décembre 1995*, Sodré-Borges F, Marques MM (Eds), Universidade do Porto, 609-612.
- Almeida A, Noronha F, Leterrier J (1995) Estudo geoquímico do complexo granítico de Cabeceiras de Basto : implicações petrogenéticas e metalogénicas. In : *IV Congresso Nacional de Geologia, Porto, 12-17 décembre 1995*, Sodré-Borges F, Marques MM (Eds), Universidade do Porto, 687-691.
- Banks DA, Yardley BWD, Giuliani G, Cheilletz A, Rueda F (1995) Chemistry and source of the high temperature brines in the Colombian emerald deposits. In : «*Mineral Deposits : From their origin to their environmental impacts*». *Third Biennial SGA Meeting, Praha, August 28-31, 1995*, Pasava J, Kribek B, Zak K (Eds), Balkema, Rotterdam, 557-560.
- Bardinet C, Dubois JE, Caliste JP, Royer JJ, Oppeneau JC (1995) Data processing for the environment analysis : a multiscale approach. In : *9th International Symposium on Computer Science for Environmental Protection, Berlin, 1995*, Kremers H, Pillmann W (Eds), Metropolis-Verlag, Marburg, 38-46.
- Charoy B (1995) Spectroscopic refinements on an alkali-poor beryl from Brazil. In : «*Mineral Deposits : From their origin to their environmental impacts*». *Third Biennial SGA Meeting, Praha, August 28-31, 1995*, Pasava J, Kribek B, Zak K (Eds), Balkema, Rotterdam, 565-567.

- Cheilletz A, Giuliani G, Zimmermann JL, Ribeiro-Althoff AM, Féraud G, Rueda F** (1995) Ages, geochemical signatures and origin of Brazilian and Colombian emerald deposits : a magmatic versus sedimentary model. In : «*Mineral Deposits : From their origin to their environmental impacts*». *Third Biennial SGA Meeting, Praha, August 28-31, 1995*, Pasava J, Kribek B, Zak K (Eds), Balkema, Rotterdam, 569-572.
- Dias G, Leterrier J** (1995) Estudo isotópico Sr-Nd de enclaves microgranulares máficos associados a granitóides tardi-hercínicos da região de Braga-Vieira do Minho (Norte de Portugal) : origem e composição dos magmas parentais. In : *IV Congresso Nacional de Geologia, Porto, 12-17 décembre 1995*, Sodré-Borges F, Marques MM (Eds), Universidade do Porto, 711-715.
- Giuliani G, Cheilletz A, Rueda F, France-Lanord C** (1995) The genesis of Colombian emerald deposits : an unique example of beryllium mineralization developed in a black shale environment. In : «*Mineral Deposits : From their origin to their environmental impacts*». *Third Biennial SGA Meeting, Praha, August 28-31, 1995*, Pasava J, Kribek B, Zak K (Eds), Balkema, Rotterdam, 943-946.
- Le Carlier de Veslud C, Gérard B, Royer JJ** (1995) GOCad as an input generator for P.D.E. modelling. In : *11th GOCad Meeting, Nancy-Vandoeuvre, June 1995*, 1-17.
- Le Forestier L, Libourel G, Brown WL** (1995) A new method to characterize the complex mineralogy of ultimate wastes. In : *Proceedings of the International Symposium on Environmental Technologies : Plasma Systems and Applications, Atlanta, USA, October 8-11, 1995*, Georgia Institute of Technology, 149-156.
- Leal-Gomes C, Leterrier J** (1995) Tipologia composicional e evolução geoquímica em sistemas pegmatóides graníticos - tendências primárias do sistema de Arga - Minho - N de Portugal. In : *IV Congresso Nacional de Geologia, Porto, 12-17 décembre 1995*, Sodré-Borges F, Marques MM (Eds), Universidade do Porto, 735-740.
- Moreau C, Ohnenstetter D, Diot H, Demaiffe D, Brown WL** (1995) Emplacement of the Meugueur-Meugueur cone-sheet (Niger, West Africa), the world's largest igneous ring-structure. In : «*Physics and chemistry of dykes*», *Third International Dyke Conference, Jerusalem, 4-8 september 1995*, Baer G, Heimann A (Eds), A. A. Balkema, Rotterdam, 41-49.
- Noronha F, Leterrier J** (1995) Complexo metamórfico da Foz do Douro. Geoquímica e geocronologia. Resultados preliminares. In : *IV Congresso Nacional de Geologia, Porto, 12-17 décembre 1995*, Sodré-Borges F, Marques MM (Eds), Universidade do Porto, 769-774.
- Rezig M, Marty B** (1995) Geothermal study of the Northeastern part of Algeria. In : *Proceedings of the World Geothermal Congress, Florence, 18-31 May, 1995*, 2, 1151-1155.
- Royer JJ, Gérard B, Le Carlier de Veslud C** (1995) Modeling heat and fluid transfers during natural nuclear reaction in the Oklo uranium deposit (Gabon). In : *4th Joint Oklo Group CEC-CEA and final Meeting of the «Oklo as a natural analogue», Programme 1991-1995, Saclay, June 22-23, 1995*, Blanc PL, Von Maravic H (Eds), Institut de Protection et de Sureté Nucléaire, 73-99.
- Royer JJ, Gérard B, Le Carlier de Veslud C** (1995) Modeling PDE using GOCad. In : *11th GOCad Meeting, Nancy-Vandoeuvre, June 1995*, 1-19.
- Saupé F, Genkin A, Amstutz GC** (1995) Preliminary account on the sulfur isotope geochemistry of sulfides from the Olimpiada and Veduga gold deposits, Siberia, Russia. In : «*Mineral Deposits : From their origin to their environmental impacts*». *Third Biennial SGA Meeting, Praha, August 28-31, 1995*, Pasava J, Kribek B, Zak K (Eds), Balkema, Rotterdam, 183-186.
- Saupé F, Kolli O, Jacquier B, Cheilletz A, Marignac C** (1995) Sulfur isotope geochemistry of the barite and sulfide occurrences of Greater Kabylia, N. Algeria. In : «*Mineral Deposits : From their origin to their environmental impacts*». *Third Biennial SGA Meeting, Praha, August 28-31, 1995*, Pasava J, Kribek B, Zak K (Eds), Balkema, Rotterdam, 319-321.
- Sterpenich J, Le Forestier L, Libourel G** (1995) Ageing of vitrified wastes : an experimental and analogical approach. In : *International Symposium on Environmental Technologies : Plasma Systems and Applications, Atlanta, USA, October 8-11, 1995*, Georgia Institute of Technology, 173-181.
- Sterpenich J, Le Forestier L, Libourel G** (1995) Les vitraux médiévaux : un modèle pour le vieillissement des déchets vitrifiés. In : *Actes du Premier Symposium International «Inertage et Valorisation des déchets ultimes», Bordeaux, 12-14 septembre 1995*, Université Bordeaux 1, 2-9.

## 1994

- Aillères L, Bertrand JM, Macaudière J, Champenois M** (1994) Interpretation of seismic data using finite strain in the «zone houillère Briançonnaise» (French Alps). In : *Proceedings of Symposium «CROP-Alpi Centrali», Sondrio, 20-22 October 1993*, Montrasio A, Sciesa E (Eds), Quaderni di Geodinamica Alpina e Quaternaria, 2, 19-24.
- Althoff F, Barbey P, Boullier AM, Dall'agnol R** (1994) Regime tectonique e composição dos granitoides arqueanos da região de Marajoara. In : *IV Simpósio de Geologia da Amazônia, Belem, 28/5-3/6/94*, Sociedade, Brasileira, de, Geologia (Eds), Resumos expanditos, 291-295.
- Cuney M, Stussi JM, Marignac C** (1994) A geochemical comparison between West- and Central-European granites : implications for the origin of rare metal mineralization. In : *Proceedings of the IAGOD Erzgebirge Meeting, Geyer, June 4-6, 1993*, Seltmann R, Kämpf H, Möller P (Eds), Czech Geological Survey, Prague, 96-102.
- Gérard B, Le Carlier de Veslud C, Royer JJ** (1994) 3D modeling of the heat-mass transfer equations. In : *GOCAD Meeting, Nancy, June 1994*, School of Geology, Nancy, 15p.
- Giuliani G, Cheilletz A, Féraud G, Zimmermann JL, Carillo V, Rueda F, Baker J, Montigny R** (1994) Age and sulphur isotope signatures of Brazilian and Colombian emeralds. In : *7e Congreso Geológico Chileno, Concepcion, 1994, 2*, 1491-1495.
- Magalhaes (de) MS, Figueiredo MAB, Althoff FJ** (1994) Comportamento magnético do Tonalito Arco Verde e do Granito Cuarantã, Rio Maria, Pará : suscetibilidade magnética e minerais opacos. In : *IV Simpósio de Geologia da Amazônia, Belem, 28/5-3/6/94*, Sociedade, Brasileira, de, Geologia (Eds), Resumos expanditos, 347-348.
- Ploquin A\_** (1994) L'analyse chimique en paléosidéurgie. In : *Colloque «La sidérurgie ancienne de l'Est de la France dans son contexte européen. Archéologie et archéométrie», Besançon, 10-13 novembre 1993*, Mangin M (Ed.) Les Belles Lettres, Paris, 16-23.
- Ploquin A** (1994) Palsid. Un prototype de base de données paléosidéurgiques. In : *Colloque «La sidérurgie ancienne de l'Est de la France dans son contexte européen. Archéologie et archéométrie», Besançon, 10-13 novembre 1993*, Mangin M (Ed.) Les Belles Lettres, Paris, 16-23.
- Royer JJ, Shtuka A** (1994) Indicator based simulation using DSI. In : *GOCAD Meeting, Nancy, June 1994*, School of Geology, Nancy, 22p.

## LIVRES

- Pagel M, Barbin V, Blanc P, Ohnenstetter D** (sous presse) Cathodoluminescence in Geosciences : an overview and perspectives. Springer Verlag
- Giard D, Giuliani G, Cheilletz A, Fritsch E, Gonthier E** (1998) L'émeraude. Association française de gemmologie : Paris. 235p.
- Bardinet C, Royer JJ** (1997) Geoscience and water resources : Environmental Data Modeling. Springer Verlag : Berlin. 293p.
- Debelmas J, Desmons J** (1997) Géologie de la Vanoise. (Documents BRGM. 266). BRGM : Orléans. 187p.
- Fabbri A, Royer JJ** (1995) Third Data Conference on Geomathematics and Geostatistics. *Sci. Terre, Sér. Inf. Géol.*, Part I & II, 666p.

## ARTICLES DANS UN LIVRE

## 1998

- Blanc P, Baumer A, Cesbron F, Ohnentetter D, Panczer G, Remond G** (sous presse) Systematic cathodoluminescence spectral analysis of synthetic doped minerals : anhydrite, apatite, calcite, fluorite, scheelite and zircon. In : **Pagel M, Barbin V, Blanc P, Ohnenstetter D** (Eds), *Cathodoluminescence in Geosciences*, Springer Verlag
- Ludden JN, Mareschal M** (sous presse) Geophysical characteristics and tectonic settings of greenstone belts. In : **de Wit M** (Ed.) *Tectonics of Greenstone Belts*,



- Ohnenstetter D, Watkinson D** (sous presse) Low-temperature evolution of the platinum-group mineralogy, Two Duck Lake intrusion, Coldwell complex, Ontario, Canada. In : *Proceedings of the 7th International Platinum Symposium, Athenes, Moscow 2-4 August 1994*, Theophrastus Edition Haus, .
- Charoy B** (1998) Cristallographie du béryl : l'état des connaissances. In : Giard D, Giuliani G, Cheilletz A, Fritsch E, Gonthier E (Eds), *L'émeraude. Connaissances actuelles et prospectives*, Association Française de Gemmologie : Paris, 47-54.
- Charoy B, Cheilletz A, Giuliani G** (1998) Quelques points de repère. In : Giard D, Giuliani G, Cheilletz A, Fritsch E, Gonthier E (Eds), *L'émeraude. Connaissances actuelles et prospectives*, Association Française de Gemmologie : Paris, 221-225.
- Cheilletz A** (1998) La géologie des gisements d'émeraudes. In : Giard D, Giuliani G, Cheilletz A, Fritsch E, Gonthier E (Eds), *L'émeraude. Connaissances actuelles et prospectives*, Association Française de Gemmologie : Paris, 33-42.
- Cheilletz A** (1998) Les gisements d'émeraudes d'Inde. In : Giard D, Giuliani G, Cheilletz A, Fritsch E, Gonthier E (Eds), *L'émeraude. Connaissances actuelles et prospectives*, Association Française de Gemmologie : Paris, 197-199.
- Giuliani G** (1998) La rétrospective bibliographique de l'émeraude des années 90. In : Giard D, Giuliani G, Cheilletz A, Fritsch E, Gonthier E (Eds), *L'émeraude. Connaissances actuelles et prospectives*, Association Française de Gemmologie : Paris, 217-220.
- Giuliani G, France-Lanord C, Coget P, Schwarz D, Notary F, Cheilletz A, Chaussidon M, Giard D, Piat D, Bariand P** (1998) Vers une carte d'identité isotopique  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  des émeraudes naturelles et synthétiques. In : Giard D, Giuliani G, Cheilletz A, Fritsch E, Gonthier E (Eds), *L'émeraude. Connaissances actuelles et prospectives*, Association Française de Gemmologie : Paris, 55-70.
- Ohnenstetter D, Giuliani G, Bustos O** (1998) Emeraudes trapiches colombiennes. In : Giard D, Giuliani G, Cheilletz A, Fritsch E, Gonthier E (Eds), *L'émeraude. Connaissances actuelles et prospectives*, Association Française de Gemmologie : Paris, 119-124.
- Zimmermann JL, Giuliani G, Cheilletz A** (1998) Les fluides dans les émeraudes : leur étude par spectrométrie de masse. In : Giard D, Giuliani G, Cheilletz A, Fritsch E, Gonthier E (Eds), *L'émeraude. Connaissances actuelles et prospectives*, Association Française de Gemmologie : Paris, 97-101.

## 1997

- Allé P** (1997) Modeling Paleoclimatic changes using a feedback energetic system. Prediction of mean ice global variations. In : Bardinet C, Royer JJ (Eds), *Geosciences and water resources : environmental data modeling*, Springer : Berlin, 115-124.
- Choukroune P, Ludden JN, Chardon D, Calvert AJ, Bouhallier H** (1997) Archaean crustal growth and tectonic processes: a comparison of the Superior Province, Canada and the Dharwar Craton, India. In : Burg JP, Ford M (Eds), *Orogeny through time*, (Geological Society. Special Publication. 121). Blackwell : Oxford, 63-98.
- Derry L, France-Lanord C** (1997) Himalayan weathering and erosion fluxes : climate and tectonic controls. In : Ruddiman WF (Ed.) *Tectonic uplift and climate change*, Plenum Press : New York, 290-312.
- Fernandez A, Ildefonse B, Gasquet D** (1997) Structures et propriétés rhéologiques des magmas. In : Allain c, Coussot P, Ildefonse B (Eds), *Des grands écoulements naturels à la dynamique du tas de sable - Introduction aux suspensions en géologie et en physique*, Cemagref : Paris, 19-32.
- Gasquet D, Ploquin A** (1997) Minerais et mines des Hurtières. In : Brunet A, Prieur J (Eds), *Le pays des Hurtières*, La Fontaine de Siloé : Montmélian, 100-107.
- Jimenez-Espinosa R, Royer JJ, Molina-Sanchez L, Navarette F** (1997) Time and space forecasting of nitrate and salinity contents in the Aquifers of Campo de Dalias (South East Spain). In : Bardinet C, Royer JJ (Eds), *Geosciences and Water Resources : Environmental Data Modeling*, Springer : Berlin, 63-76.
- Royer JJ, Shtuka A** (1997) Stochastic imaging of environmental data. In : Bardinet C, Royer JJ (Eds), *Geosciences and Water Resources : Environmental Data Modeling*, Springer : Berlin, 101-114.

## 1996

- Casarotto J-T, Leroy M, Merluzzo P, **Ploquin A** (1996) L'utilisation du minerai oolithique et le développement de la sidérurgie ancienne avant le haut fourneau. In : *Lorraine du Feu, Lorraine du fer. Révolutions industrielles et transformations de l'espace mosellan (XIIIe - XIXe siècles)*, Archives Départementales de la Moselle : Metz, 59-71.
- Chaussidon M**, Sigurdsson H, Métrich N (1996) Sulfur and boron isotope study of high-Ca impact glasses from the K/T boundary : Constraints on source rocks. In : Ryder G, Fastovsky D, Gartner S (Eds), *The Cretaceous-Tertiary event and other catastrophes in Earth history*, (Special Paper. 307), Geological Society of America : Boulder, Colorado, 253-262.
- Ohnenstetter D**, **Brown WL** (1996) Boninites : a review. In : Demaiffe D (Ed.) *Petrology and geochemistry of magmatic suites of rocks in the continental and oceanic crusts. A volume dedicated to Prof. Jean Michot*, Université Libre de Bruxelles : Bruxelles, 307-320.
- Ohnenstetter M** (1996) Diversity of PGE deposits in basic-ultrabasic intrusives - single model of formation. In : Demaiffe D (Ed.) *Petrology and geochemistry of magmatic suites of rocks in the continental and oceanic crusts. A volume dedicated to Prof. Jean Michot*, Université Libre de Bruxelles : Bruxelles, 337-354.
- Ploquin A**, **Mahé C**, Leroy M, & al. (1996) Reconstruction of ironmaking procedure : a progress report about petrographic studies of slaggy wastes from archaeo-ironmaking sites. In : Magnusson G (Ed.) *The importance of Ironmaking. Technical innovation and social change. Proceedings of the Norberg Conference, May 8-13, 1995, II*, Jernkontorets Bergshistorika Utskott : 105-119.
- Royer JJ**, **Gérard B**, **Le Carlier de Veslud C**, **Shtuka A** (1996) 3D modeling of complex natural objects. In : Dubois JE, Gershon N (Eds), *Modeling complex data for creating information*, Springer : Berlin, 155-169.

## 1995

- Aïssa DE**, **Cheilletz A**, **Gasquet D**, **Marignac C** (1995) Alpine metamorphic core complexes and metallogenesis : the Edough case (NE Algeria). In : «*Mineral Deposits : From their origin to their environmental impacts*». *Third Biennial SGA Meeting, Praha, August 28-31, 1995*, Pasava J, Kribek B, Zak K (Eds), Balkema, Rotterdam, 23-26.
- Almeida A**, **Leterrier J**, **Noronha F** (1995) Estudo dos minerais acessórios dos granitos de duas micas do complexo de Cabeceiras de Basto. In : *IV Congresso Nacional de Geologia, Porto, 12-17 dezembro 1995*, Sodr -Borges F, Marques MM (Eds), Universidade do Porto, 609-612.
- Almeida A**, **Noronha F**, **Leterrier J** (1995) Estudo geoquímico do complexo granítico de Cabeceiras de Basto : implica es petrogenéticas e metalogénicas. In : *IV Congresso Nacional de Geologia, Porto, 12-17 dezembro 1995*, Sodr -Borges F, Marques MM (Eds), Universidade do Porto, 687-691.
- Banks DA**, **Yardley BWD**, **Giuliani G**, **Cheilletz A**, **Rueda F** (1995) Chemistry and source of the high temperature brines in the Colombian emerald deposits. In : «*Mineral Deposits : From their origin to their environmental impacts*». *Third Biennial SGA Meeting, Praha, August 28-31, 1995*, Pasava J, Kribek B, Zak K (Eds), Balkema, Rotterdam, 557-560.
- Bardinet C**, **Dubois JE**, **Caliste JP**, **Royer JJ**, **Oppeneau JC** (1995) Data processing for the environment analysis : a multiscale approach. In : *9th International Symposium on Computer Science for Environmental Protection, Berlin, 1995*, Kremers H, Pillmann W (Eds), Metropolis-Verlag, Marburg, 38-46.
- Cabboi S**, **Dunikowski C**, **Barbanson L**, **Del pine J**, **Merluzzo P**, **Ploquin A**, **Solari ME** (1995) Du minerai au métal. In : *Dunikowski C, Cabboi S (Eds), La sidérurgie chez les S nons : les ateliers celtiques et gallo-romains des Cl rinois (Yonne)*, (Documents d'Archéologie française. 51) Editions de la Maison des Sciences de l'Homme : Paris, 143-147, 151-152, 158-168.
- Cabboi S**, **Dunikowski C**, **Mangin M**, **Ploquin A** (1995) Production et évolution des ateliers. In : *Dunikowski C, Cabboi S (Eds), La sidérurgie chez les S nons : les ateliers celtiques et gallo-romains des Cl rinois (Yonne)*, (Documents d'Archéologie française. 51) Editions de la Maison des Sciences de l'Homme : Paris, 120-131.
- Charoy B** (1995) Spectroscopic refinements on an alkali-poor beryl from Brazil. In : «*Mineral Deposits : From their origin to their environmental impacts*». *Third Biennial SGA Meeting, Praha, August 28-31, 1995*, Pasava J, Kribek B, Zak K (Eds), Balkema, Rotterdam, 565-567.

- Cheilletz A, Giuliani G, Zimmermann JL, Ribeiro-Althoff AM, Féraud G, Rueda F** (1995) Ages, geochemical signatures and origin of Brazilian and Colombian emerald deposits : a magmatic versus sedimentary model. In : «*Mineral Deposits : From their origin to their environmental impacts*». *Third Biennial SGA Meeting, Praha, August 28-31, 1995*, Pasava J, Kribek B, Zak K (Eds), Balkema, Rotterdam, 569-572.
- Dias G, Leterrier J** (1995) Estudo isotópico Sr-Nd de encaves microgranulares máficos associados a granitóides tardi-hercínicos da região de Braga-Vieira do Minho (Norte de Portugal) : origem e composição dos magmas parentais. In : *IV Congresso Nacional de Geologia, Porto, 12-17 décembre 1995*, Sodrè-Borges F, Marques MM (Eds), Universidade do Porto, 711-715.
- Giuliani G, Cheilletz A, Rueda F, France-Lanord C** (1995) The genesis of Colombian emerald deposits : an unique example of beryllium mineralization developed in a black shale environment. In : «*Mineral Deposits : From their origin to their environmental impacts*». *Third Biennial SGA Meeting, Praha, August 28-31, 1995*, Pasava J, Kribek B, Zak K (Eds), Balkema, Rotterdam, 943-946.
- Homand F, Belem T, Sabbadini S, Shtuka A, Royer JJ** (1995) Analysis of the evolution of rock joints morphology with 2-D autocorrelation (variomaps). In : Lemaire, Favre, Mebarki (Eds), *Applications of statistics and probability*, Balkema : Rotterdam, 1220-1236.
- Homand-Etienne F, Belem T, Sabbadini S, Shtuka A, Royer JJ** (1995) Analysis of the evolution of rock joints morphology with 2-D autocorrelation (variomaps). In : Lemaire M, Favre JL, Mebarki A (Eds), *Applications of statistics and probability. Civil engineering reliability and risk analysis*, Balkema : Rotterdam, 1229-1236.
- Le Carlier de Veslud C, Gérard B, Royer JJ** (1995) GOCad as an input generator for P.D.E. modelling. In : *11th GOCad Meeting, Nancy-Vandoeuvre, June 1995*, 1-17.
- Le Forestier L, Libourel G, Brown WL** (1995) A new method to characterize the complex mineralogy of ultimate wastes. In : *Proceedings of the International Symposium on Environmental Technologies : Plasma Systems and Applications, Atlanta, USA, October 8-11, 1995*, Georgia Institute of Technology, 149-156.
- Leal-Gomes C, Leterrier J** (1995) Tipologia composicional e evolução geoquímica em sistemas pegmatóides graníticos - tendências primárias do sistema de Arga - Minho - N de Portugal. In : *IV Congresso Nacional de Geologia, Porto, 12-17 décembre 1995*, Sodrè-Borges F, Marques MM (Eds), Universidade do Porto, 735-740.
- Moreau C, Ohnenstetter D, Diot H, Demaiffe D, Brown WL** (1995) Emplacement of the Meugueur-Meugueur cone-sheet (Niger, West Africa), the world's largest igneous ring-structure. In : «*Physics and chemistry of dykes*», *Third International Dyke Conference, Jerusalem, 4-8 september 1995*, Baer G, Heimann A (Eds), A. A. Balkema, Rotterdam, 41-49.
- Noronha F, Leterrier J** (1995) Complexo metamórfico da Foz do Douro. Geoquímica e geocronologia. Resultados preliminares. In : *IV Congresso Nacional de Geologia, Porto, 12-17 décembre 1995*, Sodrè-Borges F, Marques MM (Eds), Universidade do Porto, 769-774.
- Rezig M, Marty B** (1995) Geothermal study of the Northeastern part of Algeria. In : *Proceedings of the World Geothermal Congress, Florence, 18-31 May, 1995*, 2, 1151-1155.
- Royer JJ, Gérard B, Le Carlier de Veslud C** (1995) Modeling heat and fluid transfers during natural nuclear reaction in the Oklo uranium deposit (Gabon). In : *4th Joint Oklo Group CEC-CEA and final Meeting of the «Oklo as a natural analogue», Programme 1991-1995, Saclay, June 22-23, 1995*, Blanc PL, Von Maravic H (Eds), Institut de Protection et de Sureté Nucléaire, 73-99.
- Royer JJ, Gérard B, Le Carlier de Veslud C** (1995) Modeling PDE using GOCad. In : *11th GOCad Meeting, Nancy-Vandoeuvre, June 1995*, 1-19.
- Saupé F, Genkin A, Amstutz GC** (1995) Preliminary account on the sulfur isotope geochemistry of sulfides from the Olimpiada and Veduga gold deposits, Siberia, Russia. In : «*Mineral Deposits : From their origin to their environmental impacts*». *Third Biennial SGA Meeting, Praha, August 28-31, 1995*, Pasava J, Kribek B, Zak K (Eds), Balkema, Rotterdam, 183-186.
- Saupé F, Kolli O, Jacquier B, Cheilletz A, Marignac C** (1995) Sulfur isotope geochemistry of the barite and sulfide occurrences of Greater Kabylia, N. Algeria. In : «*Mineral Deposits : From their origin to their environmental impacts*». *Third Biennial SGA Meeting, Praha, August 28-31, 1995*, Pasava J, Kribek B, Zak K (Eds), Balkema, Rotterdam, 319-321.
- Shtuka A, Royer JJ** (1995) IMGEO : Interactive image processing software for geological and geophysical data. In : *Fabbri AG, Royer JJ (Eds), 3re CODATA Conference on Geomathematics and geostatistics.*, Sci de la Terre, Sér. Inf. : Nancy, 32, 539-552.

**Sterpenich J, Le Forestier L, Libourel G (1995)** Ageing of vitrified wastes : an experimental and analogical approach. In : *International Symposium on Environmental Technologies : Plasma Systems and Applications, Atlanta, USA, October 8-11, 1995*, Georgia Institute of Technology, 173-181.

**Sterpenich J, Le Forestier L, Libourel G (1995)** Les vitraux médiévaux : un modèle pour le vieillissement des déchets vitrifiés. In : *Actes du Premier Symposium International «Inertage et Valorisation des déchets ultimes», Bordeaux, 12-14 septembre 1995*, Université Bordeaux 1, 2-9.

## 1994

**Bril H, Marignac C, Cathelineau C, Tollon F, Cuney M, Boiron MC (1994)** Metallogenesis of the French Massif central : time-space relationships between ore deposition and tectono-magmatic events. In : Keppie JD (Ed.) *Pre-Mesozoic geology in France and related areas*, Springer-Verlag : Berlin, 379-401.

**Brown WL, Parsons I (1994)** Feldspars in igneous rocks. In : Parsons I (Ed.) *Feldspars and their reactions*, (NATO ASI Series. Série C : mathematical and physical Sciences. 421), Kluwer Academic Publishers : Dordrecht, 449-499.

**Lardeaux JM, Menot RP, Orsini JB, Rossi P, Naud G, Libourel G (1994)** Corsica and Sardinia in the Variscan Chain. In : Keppie JD (Ed.) *Pre-Mesozoic geology in France and related areas*, Springer-Verlag : Berlin, 467-479.

**Marty B, Allé P (1994)** Neon and argon isotopic constraints on earth-atmosphere evolution. In : Matsuda J (Ed.) *Noble gas geochemistry and cosmochemistry*, Terra Scientific Publishing Company : Tokyo, 159-178.

**Ploquin A, Orzechowski S (1994)** Palaeo-metallurgy at Mleiha : preliminary notes. In : *Archaeological surveys and excavation in the Sharjah Emirate, 1993 and 1994. A seventh interim report*, GREMMO, Maison de l'Orient : Lyon, 25-33.

**Ploquin A, Stussi JM (1994)** Felsic plutonism and volcanism in the Massif Central. In : Keppie JD (Ed.) *Pre-mesozoic geology in France and related areas*, Springer Verlag : Berlin, 363-378.

**Santallier DS, Lardeaux JM, Marchand J, Marignac C (1994)** Metamorphism. In : Keppie JD (Ed.) *Pre-Mesozoic geology in France and related areas*, Springer-Verlag : Berlin, 324-340.

## ARTICLES DE PÉRIODIQUES

### 1998

**Gelinsky S, Shapiro SA, Müller T, Gurevich B (sous presse)** Dynamic poroelasticity of thinly layered structures. *Int. J. solids struct.*, - B

**Charoy B, Pinto-Coelho C (1998)** K-Ar and Th(U)-Pb age discrepancies in the Middle Proterozoic Serra Branca Pluton: Imprint of the Brazilian Event. *Int. geol. rev.*, 40, 163-170.

**Dewonck S, Leroy J, Dusausoy Y (1998)** Colour in topazes from rhyolite domes of the San Luis Potosi volcanic field, Mexico. *J. Gemm.*, 26, 29-39.

**Dunikowsky C, Leroy M, Merluzzo P, Ploquin A (1998)** L'atelier de forge gallo-romain de Nailly (Yonne) : contribution à l'étude des déchets de production. *Rev. archéol. de l'Est*, 47, 97-121.

**Streckeisen A, Amstutz GC, Desmons J (1998)** Les metabasites du col de Saflisch, couverture du Monte Leone, Pennique inférieur (Valais) : des basaltes andésitiques d'arc insulaire ? *Schweiz. Mineral. Petrog. Mitt.*, 78, 147-155.

### 1997

**Barros de Mesquita CE, Dall'Agnol R, Barbey P, Boullier AM (1997)** Geochemistry of the Estrela Granite Complex, Carajás region, Brazil : an example of an Archean A-type granitoid. *J. S. Amer. Earth Sci.*, 10, 321-330.

**Chaussidon M, Robert F (1997)** Comment on «Boron cosmochemistry II : Boron nucleosynthesis and condensation temperature» by M. Zhai. *Meteoritics & Planet. Sci.*, 32, 321-326.

**Cheilletz A, Giuliani G (1997)** Comment se forment les émeraudes. Caractériser la géologie des gisements pour mieux distinguer les vraies des fausses. *La Recherche*, 303, 48-52.

**Fortes PTFO, Cheilletz A, Giuliani G, Féraud G (1997)** A Brasiliano Age ( $500 \pm 5$  Ma) for the Mina III gold deposit, Crixás Greenstone Belt, Central Brazil. *Int. geol. rev.*, 30, 449-460.

- Giuliani G, Cheilletz A, Zimmermann JL, Ribeiro-Althoff AM, France-Lanord C, Feraud G** (1997) Les gisements d'émeraude du Brésil : genèse et typologie. *Chron. rech. min.*, 526, 17-61.
- Giuliani G, France-Lanord C, Zimmermann JL, Cheilletz A, Arboleda C, Charoy B, Coget P, Fontan F, Giard D** (1997) Fluid composition, dD of channel H<sub>2</sub>O, and d<sup>18</sup>O of lattice oxygen in beryls : Genetic implications for Brazilian, Colombian, and Afghanistani emerald deposits. *Int. geol. rev.*, 39, 400-424.
- Ikenne M, Mortaji A, Gasquet D, Stussi JM** (1997) Les filons basiques des boutonnières du Bas Drâa et de la Tagragra d'Akka : témoins des distensions néoprotérozoïques de l'Anti-atlas occidental (Maroc). *J. Afr. Earth Sci.*, 25, 209-223.
- Jarrier C, Andrieux P, Domergue C, Pieraggi B, Ploquin A, Tollon F** (1997) Elaboration du fer par réduction directe : essais de reproduction des procédés antiques. *Revue de métallurgie-CIT/Science et Génie des matériaux*, Mai 97, 691-704.
- Radelli L, Desmons J** (1997) L'histoire Eocène-Miocène inférieur des Alpes est celle d'un arc magmatique continental. *Atti Tic. Sc. Terra*, XXXIX, 205-216.
- Sterpenich J, Libourel G** (1997) Les vitraux médiévaux : caractérisation physico-chimique de l'altération. *Techné*, 6, 70-78.
- Zartarian F, Mustin C, Villemin G, Ait Ettajer T, Thill A, Bottero JY, Mallet JL, Snidaro D** (1997) Three-Dimensional Modeling of an Activated Sludge Floc. *ACS Journal of Surfaces and Colloid*, 13,
- Zimmermann JL, Giuliani G, Cheilletz A, Arboleda C** (1997) Mineralogical significance of fluids in channels of Colombian emeralds : a mass-spectrometry study. *Int. geol. rev.*, 39, 425-437.

## 1996

- Colardelle M, Forrières C, Verdel E, Ploquin A, Merluzzo P** (1996) La métallurgie dans l'habitat fortifié de Colletière à Charavines (XI<sup>e</sup> siècle). *Le monde alpin et rhodanien*, 2/4, 135-147.
- Derry LA, France-Lanord C** (1996) Neogene growth of the sedimentary organic carbon reservoir. *Paleoceanography*, 11, 267-275.
- Jarrier C, Domergue C, Pieraggi B, Ploquin A, Tollon F** (1996) Archéologie et archéométrie de la sidérurgie romaine dans la Montagne Noire au 1<sup>er</sup> siècle avant J.-C. le cas des Martyrs (Aude). *Bulletin de la Société d'Etudes Scientifiques de l'Aude*, XCVI, 11-22.
- Olivo GR, Gauthier M, Gariépy C, Carignan J** (1996) Transamazonian tectonism and Au-Pd mineralization at the Cauê Mine, Itabira District, Brazil : Pb isotopic evidence. *J. S. Amer. Earth Sci.*, 9, 273-279.
- Ritz M, Brown WL, Moreau C, Ohnenstetter D** (1996) An audiomagnetotelluric study of the Meugueur-Meugueur ring structure, Aïr, Niger: ring dyke or cone sheet? *J. Appl. Geophys.*, 34, 229-236.
- Robert F, Boullier AM, Firdaus K** (1996) Geometric aspects of a large extensional vein, Donalds deposit, Rouyn-Noranda, Quebec. *Geological Survey of Canada, Current Research C*, 147-155.

## 1995

- Barnes AE, Bellefleur G, Ludden JN, Milkereit B** (1995) Appraisal of the parameters of the LITHOPROBE Abitibi-Grenville seismic reflection survey. *Geosci. Can.*, 21, 49-57.
- Caruba R, Baumer A, Ohnenstetter D, Cesbron F, Rouer O, Blanc P** (1995) The hydrothermal synthesis of molybdenum, sulfur-doped zircon : a study of charge compensation mechanisms. *Neue. Jahrb. Miner. Monatsh.*, 6, 241-254.
- Dubois M, Flores EL, Royer JJ** (1995) Numerical evaluation of pressure and temperature effects on thermal conductivity : implications for crustal geotherms. *Geofis. Int.*, 34, 377-384.
- Fabrizi A, Royer JJ** (1995) Third Data Conference on Geomathematics and Geostatistics. *Sci. Terre, Sér. Inf. Géol.*, Part I & II, 666p.
- Giuliani G, Cheilletz A, Vidal P** (1995) La datation isotopique des gemmes. *Analisis*, 23, M34:M37.
- Jarrier C, Domergue C, Pieraggi B, Ploquin A, Tollon F** (1995) Caractérisation minéralogique, géochimique et métallurgique des résidus de réduction directe, d'épuration et de forge du centre sidérurgique romain des martyrs (Aude, France). *Rev. Archéom.*, 19, 49-61.

- Le Fort P, France-Lanord C (1995) Granites from Mustang and surrounding regions (Central Nepal). *J. Nepal geol. Soc.*, 11, 53-57.
- Mole C, Gérard H, Mallet JL, Chassagne A, Miller P (1995) A new three-dimensionnal treatment algorithm for complex surfaces: application in surgery. *J. oral maxillofac. surg.*, 53.2, 158-162.
- Ritz M, Brown WL, Moreau C, Ohnenstetter D (1995) An audiomagnetotelluric study of two anorthosite-bearing complexes, Air, Niger. *Afr. Geosci. Rev.*, 2, 1-8.
- Sa JM, McCreath I, Leterrier J (1995) Petrology, geochemistry and geodynamic setting of Proterozoic igneous suites of the Orós fold belt (Borborema Province, northeast Brazil). *J. S. Amer. Earth Sci.*, 8, 299-314.
- Vuaillet D, Santallier D, Ploquin A, Floc'h JP (1995) Les haches néolithiques limousines. Etude géochimique des matériaux métadoléritiques. Conséquences archéologiques et géologiques. *Rev. Archéom.*, 19, 63-78.

## 1994

- Barnes A, Bellefleur G, Ludden JN, Milkereit B (1994) An appraisal of recording parameters for the Abitibi-Grenville LITHOPROBE project. *Geosci. Can.*, 21, 49-58.
- Barros CEM, Dall'Agnol R (1994) Deformação de rochas granitóides em regime dúctil : O exemplo do gnaiss estrela, região de Carajás. *Rev. Brasil. Geoci.*, 24, 129-138.
- Giuliani G, Zimmermann JL, Montigny R (1994) K-Ar and  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  evidence for a transamazonian Age (2030-1970 Ma) for the granites and emerald-bearing K-metasomatites from Campo-Formoso and Carnaíba (Bahia, Brazil). *J. S. Amer. Earth Sci.*, 7, 149-165.
- Le Carlier de Veslud C, Royer JJ, Flores EL (1994) Convective heat transfer at the Soultz-sous-Forêts geothermal site : implications for oil potential. *First Break*, 12, 553-560.
- Leroy M, Ploquin A (1994) Approche archéométrique de la proto-industrie du fer : les conditions de réduction des minerais de fer de lorraine et la chaîne opératoire dans la sidérurgie antérieure à l'apparition du haut fourneau. *Rev. Archéom.*, 18, 53-64.
- Libourel G, Barbey P, Chaussidon M (1994) L'al-tération des vitraux. *La Recherche*, 168-188.
- Ludden JN, Francis D (1994\*) Mantle studies. *Geosci. Can.*, 20, 95-100.
- Ohnenstetter M, Ohnenstetter D, Johan Z, Fontaine C (1994\*) Où sont les minéralisations des intrusions basiques-ultrabasiques? *Géochronique*, 49, 21-24.
- Podwojewski P, Arnold M (1994) The origin of gypsum in Verticols in New Caledonia determined by isotopic characteristics of sulphur. *Geoderma*, 63, 179-185.
- Robert F, Boullier AM (1994) Mesothermal gold-quartz veins and earthquakes. *U.S. Geological Survey, Open File*, 94-228, 18-30.
- Ronchi LH, Giuliani G, Beny C, Fogaça ACC (1994) Caracterização físico-química dos fluidos associados aos veios de quartzo auríferos de Costa Sena-MG. *Rev. Brasil. Geoci.*, 22, 129-138.
- Saupé F (1994) Introduction to the isotope geochemistry of sulfur. *Geosound*, 24, A-1, A47.
- Stein G, Lapiere H, Monod O, Zimmermann JL, Vidal R (1994) Petrology of some Mexican Mesozoic-Cenozoic plutons : sources and tectonic environments. *J. S. Amer. Earth Sci.*, 7, 1-7.
- Wietzerbin L, Mallet JL (1994) Parameterization of complex 3D heterogeneities : a new CAD approach. *Journal-of-SPE*, 77-88.

# PARTICIPATIONS AUX CONGRÈS

1995

## 2ND WORKSHOP ON ALPINE GEOLOGY, BÂLE, JANUARY 2-4, 1995

*Aillères L, Bertrand JM, Gasquet D, Macaudière J* - Structure and kinematics of the «zone houillère Briançonnaise» in the Vallée des Belleville» (Savoie, French Alps) : a quest for the lost «Briançonnais» front.

*Bertrand JM, Aillères L, Gasquet D, Macaudière J* - «Briançonnais», «Sud-Briançonnais» and Penninic Front in Savoie, a review.

*Desmons J* - Abolition of the Piemont-Ligurian ocean.

## 5TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON PALEOCEANOGRAPHY, HALIFAX, OCTOBER 10-14, 1995

*Derry LA, France-Lanord C* - Variation of Himalayan riverine dissolved  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  and particulate  $\delta^{13}\text{C}$  during the Neogene : impact on the marine Sr and C isotope records

## 9TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON COMPUTER SCIENCES FOR ENVIRONMENT PROTECTION, BERLIN, SEPTEMBER 27-29, 1995

*Bardinet C, Dubois JE, Caliste JP, Royer JJ, Oppeneau JC* - Data processing for the environment analysis : a multiscale approach

## 10TH HIMALAYA - KARAKORAM - TIBET WORKSHOP, ASCONA, APRIL 4-8, 1995

*Galy A, France-Lanord C, Derry LA* - Himalayan erosion and rate of exhumation during the Early Miocene deduced from Bengal Fan turbidites

## 58TH ANNUAL METEORITICAL SOCIETY MEETING, WASHINGTON, SEPTEMBER 11-15, 1995

*Libourel G, Chaussidon M* - Experimental constraints on chondrule reduction

## AMERICAN GEOPHYSICAL UNION (AGU) FALL MEETING. SAN FRANCISCO, DECEMBER 11-15 1995

*Carignan J, Ludden JN, Francis D* - Asthenosphere-Lithosphere Interaction during the formation of continental alkaline basalts in the Northern Canadian Cordillera

*Gariépy C, Carignan J, Ludden JN* - Trace element geochemistry of epiphytic lichens and sources of atmospheric aerosols in Eastern Canada.

*Ludden JN, Calvert AJ* - The role of arc-continent collisions in the formation of Archaean continental crust.

*Schaller T, Toplis MJ* - The structural role of phosphorus in silicate melts : shear viscosities and  $^{31}\text{P}$  MAS NMR.

## COLLOQUE D'ARCHÉOMÉTRIE DU GROUPE DES MÉTHODES PLURIDISCIPLINAIRES CONTRIBUANT À L'ARCHÉOLOGIE, PÉRIGUEUX, 26-29 AVRIL 1995

*Ploquin A, Mahé C, Fluzin P* - Apports de l'archéométrie à la discrimination des activités sidérurgiques à partir des vestiges archéologiques : cas des scories S.L.

## COLLOQUE «THE IMPORTANCE OF IRONMAKING, TECHNICAL INNOVATION AND SOCIAL CHANGE». NORBERG (SUÈDE) MAY 8-14, 1995

*Ploquin A, Mahé C, Dieudonne-Glad N, Leroy M, Mangin M* - A propos de la reconstitution des filières technologiques à partir de l'étude des déchets scoriaces sidérurgiques.

## CONGRÈS INTERNATIONAL DES PROCÉDÉS DE SOLIDIFICATION ET DE STABILISATION DES DÉCHETS, UNIVERSITY PARK (USA), 24-26 MAI 1995

*Le Forestier L, Libourel G, Brown WL* - A new method to characterize the complex mineralogy of ultimate wastes

*Mahé C, Ploquin A* - Contraintes internes dans des scories paléo-métallurgiques : quantification par photoélasticimétrie et par modélisation.

**CONGRÈS INTERNATIONAL SUR LA  
MODÉLISATION MATHÉMATIQUE DES  
ÉCOULEMENTS EN MILIEUX POREUX,  
ST ETIENNE, 22-26 MAI 1995**

*Gérard B, Royer JJ, Le Carlier de Veslud C* - Application of convective transfers on geology.

**ECROFI XIII, BARCELONA, JUNE 21-  
23, 1995**

*Arnaud F, Boullier AM, Burg JP* - Fluid circulation within thrusting shear zones in a schist sequence (Cevennes, SE French Massif Central); a fluid inclusion study in quartz lenses.

*Firdaous K, Boullier AM, Boiron MC, Robert F* - Nature of fluid inclusions and evidence for P.T.V.X evolution of hydrothermal solutions in gold-quartz veins in the Archaean Abitibi Greenstone belt, Quebec.

*Pinto-Coelho C, Charoy B, Ronchi LH* - Primary aquo-carbonic fluid inclusions in alkali feldspars from the Serra Branca granite (Goiás State-Central Brazil).

*Zimmermann JL, Giuliani G, Cheilletz A* - Quadrupolar mass spectrometry study of fluids in gems : an application to colombian emeralds.

**GOCAD MEETING. NANCY, JUNE 12-  
13, 1995**

*Gérard B, Royer JJ, Le Carlier de Veslud C, Pagel M* - Modélisation 3D des transferts thermiques et des fluides autour d'un réacteur naturel (Oklo, Gabon).

*Le Carlier de Veslud C, Gérard B, Royer JJ* - GOCAD as an input generator for P.D.E. modelling.

*Le Carlier de Veslud C, Royer JJ, Gérard B* - Modelling heat and mass transfers in the Ardeche passive Margin (France).

*Royer JJ, Gérard B, Le Carlier de Veslud C* - Modeling PDE using GOCAD.

*Royer JJ, Gérard B, Le Carlier de Veslud C, Dubois M, Stussi JM* - Modélisation des circulations fluides et thermiques entre une couverture sédimentaire et le socle. L'exemple du Graben du Rhin - site géothermique de Soultz (France).

**INTERN. CONF. ON THERMAL AND  
MECHANICAL INTERACTIONS IN DEEP  
SEATED ROCKS, PRAHA, SEPTEMBER  
27-30, 1995**

*Gasquet D, Macaudière J, Boullier AM* - Emplacement of the Hercynian Tichka plutonic complex (Morocco) during deformation and metamorphism.

*Mugnier JL, Delcaillau B, France-Lanord C, Huyghe P* - Tectonic controls of sediment supply in syn-orogenic basins : the case of quaternary sediments around.

**INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON  
ENVIRONMENTAL TECHNOLOGIES -  
PLASMA SYSTEMS, GEORGIA TECH  
(USA), OCTOBER 8-11, 1995**

*Libourel G, Le Forestier L, Sterpenich J* - Leaching experiments on ultimate waste glasses.

**IV INTERN. CONF. ON ADVANCED  
MATERIALS, MEXICO, AUGUST 27 -  
SEPTEMBER 1, 1995**

*Royer JJ, Flores-M EL, Marin LE* - Seismic and gravimetric constrains on the amount of material ejected into the atmosphere during the K/T bolide at Chixulub : implications on potential climate impact.

*Royer JJ, Flores-M EL, Marin LE* - Seismic and gravimetric constrains on the amount of material ejected into the atmosphere during the K/T -bolide at chixulub : implications on potential climate impact.

**JOURNÉES DE MINÉRALOGIE 95,  
STRASBOURG, 11-16 SEPTEMBRE  
1995**

*Mahé C, Ploquin A* - Mineralogy and geochemistry of siderurgic slags of different ages.

*Zimmermann JL, Ribeiro-Althoff AM, Cheilletz A, Robert P* - Mass spectrometric study of fluids in phlogopites : artifacts or realites ?

**JOURNÉES SCIENTIFIQUES DU COMITÉ  
FRANÇAIS DE MÉCANIQUE DES RO-  
CHES, PARIS, 16 FÉVRIER 1995**

*Firdaous K, Boullier AM, Boiron MC, Robert F* - Nature et évolution des fluides dans les gisements mésothermaux (Abitibi, Québec).

**PENROSE CONFERENCE ON «FAULT  
ROCKS», WASHINGTON, AUGUST 31 -  
SEPTEMBER 5, 1995**

*Boullier AM, Firdaous K, Robert F, Boiron MC* - Fluid pressure fluctuations in archaean fault-hosted gold-quartz deposits (Abitibi, Quebec).

*Kirkwood D, Boullier AM, Ait Ougougdal M, Cathelineau M, Gapais D, Geraud Y & al.* - Chemical and physical effects of fluids in shear zones : exemple of the AAR Massif (Swiss Alps).

**PRECAMBRIAN 95 INTERNATIONAL  
MEETING. MONTREAL, 1995**

*Carignan J, Stevenson RK, Gariépy C* - Pb isotope geochemistry of komatiites from the Sachigo Subprovince, Superior Craton

*Oliveo G, Gauthier M, Gariépy C, Carignan J* - Epigenetic palladium-bearing gold deposits hosted by Lake Superior type iron-formations in the southern Sao Francisco Craton, Brazil .

**RÉU. EXTR. SOC. GÉOL. FR. , MARRA-  
KECH, 25 AVRIL-4 MAI 1995**

*Gasquet D, Nacht H, Stussi JM* - Les granitoides hercyniens du Maroc : leur rôle comme marqueurs géodynamiques dans l'évolution spatio-temporelle régionale. 25 avril-4 mai 1995, .

*El Aouli H, Gasquet D, Macaudière J* - Cadre géodynamique du magmatisme basique du protérozoïque supérieur de la boutonnière d'Igherm. (Anti-Atlas occidental, Maroc).

*Gasquet D, Bouloton J* - Les filons de microdiorite des Jebilet centrales (Meseta marocaine) : pré-rifting permien ?

*Gasquet D, Nacht H, Stussi JM* - Les granitoides hercyniens du Maroc : leur rôle comme marqueurs géodynamiques dans l'évolution spatio-temporelle régionale.

*Ikenne M, Gasquet D, Barbey P, Macaudière J* - Evolution tectono-métamorphique du massif du Bas Drâa Anti-Atlas (Maroc)

*Ikenne M, Mortaji A, Stussi JM, Gasquet D* - Caractérisation du magmatisme basique protérozoïque de la Tagragra d' Akka et du massif du bas draa (Anti-Atlas occidental-Maroc). Implications géodynamiques.

*Mortaji A, Stussi JM, Gasquet D* - Pétrologie des granitoides de la Tagragra d' Akka (Anti-Atlas occidental, Maroc). Conséquences géodynamiques.



- Oudra M, Gasquet D, Macaudière J, Hassenforder B - Les orthomicaschistes panafricains d'Ait Makhoulf (boutonnière d'Igherm, Anti-Atlas occidental) : déformation et transferts de matière en zone de faille ductile.
- Oudra M, Hassenforder B, Macaudière J - Place et signification de la structuration panafricaine dans la succession précambrienne d'Igherm (Anti-Atlas occidental). 25 avril-4 mai 1995, .

**SÉANCE SPÉCIALISÉE DE LA SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DE FRANCE, POITIERS, 6-7 NOVEMBRE 1995**

- Ayt Ougougdal M, Cathelineau M, Pironon J, Landais P, Boiron MC, Dubois M & al. Etude de la migration des fluides aqueux et des hydrocarbures dans les grès triasiques et le granite de Soultz sous Forêts (Graben du Rhin, Alsace).
- Edon M, Ramboz C, Choi CG, Disnar JR, France-Lanord C, Gable R & al. - Conditions thermobarométriques de la remontée répétitive du Trias évaporitique dans le bassin SE (France). Impact environnemental de l'Halocinèse sur le bassin à l'Oxfordien (Terres Noires) : genèse d'hydrocarbures, apport de métaux, développement de faunes.
- France-Lanord C - Sédimentologie et géochimie isotopique du cône du Bengale : la mémoire de l'érosion himalayenne.
- Gérard B, Royer JJ, Le Carlier de Veslud C, Pagel M Modélisation 3D des transferts thermiques et des fluides autour d'un réacteur naturel (Oklo, Gabon).
- Le Carlier de Veslud C, Royer JJ, Gérard B - Modelling heat and mass transfers in the Ardeche Passive Margin (France).
- Pagel M, Blanc P, Demars C, Deloule E, Barbarand J - L'analyse de la cathodoluminescence du quartz diagénétique dans les grès.
- Royer JJ, Gérard B, Le Carlier de Veslud C, Dubois M, Stussi JM - Modélisation des circulations fluides et thermiques entre une couverture sédimentaire et le socle. L'exemple du Graben du Rhin - site géothermique de Soultz (France).

**SECOND INTERNATIONAL WORKSHOP ON «OROGENIC LHERZOLITES AND MANTLE PROCESSES», GRANADA, AUGUST 25-SEPTEMBER 5, 1995**

- Chalot-Prat F, Boullier AM, Arnold M - Carbonatitic and silicated melts in a fissural network in mantle xenoliths from Romania.

**SYMPOSIUM ON RPAKIVI GRANITES AND RELATED ROCKS, BELEM, AUGUST 2-5, 1995**

- Dall'Agnol R, Pichavant M, Champenois M - Iron-Titanium oxide minerals, T an fO<sub>2</sub> : the example of the proterozoic A-Type jamon Granite, eastern Amazonian region, Brazil.
- Jardim de Sá EF, Fuck RA, Leterrier J, Souza ZS, Macedo MHF - Geochemistry and geodynamic setting of the paleoproterozoic G<sub>2</sub> granitoids in the Seridó belt, NE Brazil.

**VICTORIA' 95 GAC/MAC JOINT ANNUAL MEETING, VICTORIA, MAY 17-19, 1995**

- Calvert AJ, Sawyer EW, Davis W, Ludden J - Deep seismic evidence for an archaean orogeny in the opatica belt of the superior Province.
- Carignan J, Ludden J, Francis D - Isotopic geochemistry (Pb, Sr, Os) of spinel herzolite xenoliths and the metasomatic history of the subcontinental lithosphere in the Yukon territory.

**VIIIITH MEETING OF EUROPEAN UNION OF GEOSCIENCES (EUG 8), STRASBOURG, APRIL 9-13, 1995**

- Aissa D, Marignac C, Gasquet D, Cheilletz A - P-T-t paths in the Edough massif (NE Algeria) : the limits of a metamorphic core complex model.
- Althoff F, Barbey P, Pons J - Charnockitization during syn-extension magma emplacement : the Ansignan charnockite (Eastern-Pyrenees, France).
- Arnaud F, Boullier AM, Burg JP - Fluid-deformation interactions in schist sequences : evidences from Cévennes (French Massif Central).
- Auffret GA, Deloule E, Dennielou B, et al - GEOFAR record of present and past hydrothermal activity in the sediment of the mar south of the Azores.
- Brown WL, Ohnenstetter D - Water, parental magmas, and disequilibrium liquid lines of descent of boninites.
- Carignan J, Ludden JN, Gariépy C - Chemical and isotopic composition of atmospheric matter in north
- Chalot-Prat F, Reisberg L, Boullier AM, Vaselli O, Downes H - Ta-depleted and Ta-enriched metasomatic components in the subcontinental mantle of Romania.
- Chaussidon M, Robert F - Synthesis of <sup>11</sup>B-rich boron in molecular clouds recorded in meteorites.
- Cheilletz A, Giuliani G - The formation of emeralds in a sedimentary basin : the key-role of alkaline brines and thermochemical sulphate reduction.
- Deloule E, Mevel C - Implications of high dD values measured in lower oceanic crust gabbros.
- Demars C, Pagel M, Deloule E, Blanc P - Combined cathodoluminescence, trace element analysis and microthermometry of authigenic quartz from sandstones (Paris Basin).
- Desmons J, Frey M, Neubauer F - New metamorphic map of the Alps.
- Dias G, Leterrier J, Veloso ML - Hybridization between felsic and mafic magmas chemical and Sr-Nd isotopic study of mafic microgranular enclaves in a late-Hercynian granitoid massif (Northern Portugal).
- Diop C, Boullier AM, Burg JP Fluids circulation and thin-skin tectonics in southern Mauritanides.
- Firdaous K, Boullier AM, Boiron MC, Robert F - Evidence from fluid inclusions for P.V.T.X evolution of hydrothermal solutions in gold-quartz veins at the Sigma mine (Abitibi, Quebec).
- France-Lanord C - Global changes of the carbon isotope budget related to C4 photosynthetic plant expansion at 7Ma in the Himalayan basins.
- Francis F, Ludden JN, Lang S - Laser ICP-MS analysis of mantle minerals.
- Gaillard JF, Deloule E - GEOFAR : Vertical distribution of chemical elements in the interstitial water of pelagic sediments from the mid atlantic ridge.
- Gérard B, Le Carlier de Veslud C, Royer JJ - 3D modelling of transfers in sedimentary basins.
- Hammouda T, Pichavant M, Chaussidon M - Kinetics of isotopic equilibration during partial melting.
- Hanon P, Chaussidon M, Robert F - Variations of carbon contents in chondrules : constraints on redox conditions during accretion.
- Innocent C, Carignan J, Gariépy C - Cd concentrations in lichens of northeastern North America and Cd pollution of the atmosphere.
- Kolli O, Cheilletz A, Ruffet G, Gasquet D, Marignac C, Féraud G - An early cretaceous tectono-metamorphic event in the Maghrebides ? Preliminary <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar data in greater Kabylia.
- Le Carlier de Veslud C, Royer JJ, Gérard B - Modelling heat and mass transfers in the Ardèche passive margin (France).
- Le Forestier L, Libourel G, Brown WL - Detailed mineralogy and chemistry of fly ashes and filter cakes from the incineration of municipal solid wastes.

- Libourel G, Malavergne V, Chaussidon M** - Causes and timing of chondrule reduction as deduced from an experimental study.
- Ludden JN, Mareschal M, Calvert A** - Accretion of Late-Archaean crust.
- Marignac C, Lécuyer C, Dubois M, Fouquet Y, Ramboz C** - Fluid mixing and unmixing in deep-sea hydrothermal systems : the baryte-sulphide chimneys of the Lau basin.
- Marin L, Libourel G, Toplis MJ** - The effect of  $P_2O_5$  on ferric-ferrous ratios of basaltic melts : constraints on the destabilization of magnetite.
- Marty B** - Early evolution of atmospheric nitrogen carbon and rare gases.
- Matsubara K, Marty B, France-Lanord C, Beets CJ** - Noble gases and stable isotopes in speleothems.
- Meere PA, Cathelineau M, Dubois M, Ayt-Ougougdal M, Royer JJ** - Are quartz veins forming under Strasbourg today? A fluid inclusion study.
- Mesquita (de) Barros CE, Barbey P, Boullier AM, Dall'Agnol R** - Archaean A-Type granitoids : the Estrela Massif in the Amazonian Craton (Para, Brazil).
- Molzahn M, Wörner G, Reisberg L** - A first terrestrial Re-Os isochrone from the ferrar floor basalts (Victoriand, Antarctica) and evidence for an enriched subcontinental mantle lithosphere.
- Parsons I, Lee MR, Waldron KA, Brown WL** - Mechanism of fluid-feldspar interaction : pleats and film perthites.
- Pinto-Coelho C** - REE behaviour during the greisenization process : the example of the Serra Branca tin granite - Goiás State - Brazil.
- Reisberg LC, Lorand JP, Pattou L** - Os isotope - major element correlations among Eastern Pyrenean peridotites.
- Royer JJ, Le Carlier de Veslud C, Gérard B** - Convective heat and mass transfer around the geothermal site at Soultz-sous-Forets (Rhine graben, France).
- Sterpenich J, Le Forestier L, Libourel G, Chaussidon M** - The alteration of medieval stained glasses : a model for ageing of vitrified wastes.
- Stussi JM, Royer JJ, Dubois M, Cheillett A** - Petrology of the monzogranitic geothermal site at Soultz-sous-Forets (Rhine, Graben, France).
- Toplis MJ, Dingwell DB** - The influence of  $P_2O_5$  on the viscosity of silicate melts of variable alkali-aluminium ratio.
- Vitali F, Blanc G, Stille P, France-Lanord C** - Open-system alteration in the Tonga trench margin. An evidence from isotopic compositions (dD,  $d^{18}O$ ,  $^{87}Sr/^{86}Sr$ ) of the interstitial waters.
- Wagner C, Deloule E, Mokhtari A** - Relations between MARID and PKPS type mantle nodules from north Morocco : a mineralogical and hydrogen isotope study.

**VTH GOLDSCHMIDT CONFERENCE,  
UNIVERSITY PARK (USA), MAY 24-  
26, 1995**

- Derry L, France-Lanord C** - A sedimentary record of chemical weathering from the Himalaya.
- France-Lanord C, Derry L, Le Fort P, Mugnier J, Gajurel AP** - Silicate and carbonate weathering in the high Himalaya : chemistry, C and Sr isotopic composition of the river system of Central Nepal.
- Le Forestier L, Libourel G, Brown WL** - A new method to characterize the complex mineralogy of ultimate wastes.
- Sterpenich J, Libourel G** - Ageing of vitrified wastes as deduced from the study of medieval stained glasses.

**VTH SILICATE MELT WORKSHOP, LA  
PETITE PIERRE, APRIL 4-8, 1995**

- Le Forestier L, Libourel G, Brown WL** - Chlorine stabilization in vitrified final waste products.
- Sterpenich J, Libourel G** - Durability of vitrified wastes as deduced from the study of medieval stained glasses.

- Toplis MJ** - Modeling of Q-species distribution and implications for the configurational entropies of sodium-silicate melts.

**1996**

**11TH HIMALAYA-KARAKORUM-TIBET  
WORKSHOP, FLAGSTAFF (USA), APRIL  
28-MAY 1, 1996**

- France-Lanord C, Derry LA** - Variation of the Himalayan erosion rate since Miocene.
- France-Lanord C, Gajurel A, Muralt R, Vuataz F, Le Fort P** -  $CO_2$  and helium in mineral springs of Nepal and Mustang : a study of volatile release processes during the Himalayan tectonics.

**AMERICAN GEOPHYSICAL UNION  
(AGU) FALL MEETING, SAN FRAN-  
CISCO, DECEMBER 15-19, 1996**

- Carignan J, Ludden JN** - Trace element geochemistry of continental aerosols.
- Deloule E** - Past and present D/H distribution in the earth and exchange of water between its different reservoirs.
- Derry LA, France-Lanord C** - How does Himalayan erosion affect the carbon cycle ? : organic vs. inorganic carbon effects.
- France-Lanord C, Galy A, Derry LA** - Himalayan erosion and weathering : estimation of riverine fluxes to the ocean.
- Galy A, France-Lanord C, Hurtrez JE, Lucazeau F** - Mass transfer during Himalayan erosion during the Monsoon : mineralogical and geochemical constraints.
- Hurtrez JE, Galy A, Lucazeau F, France-Lanord C** - Erosional pattern at a large basin scale of central Himalaya inferred from a geomorphic analysis.

**16E RÉUNION DES SCIENCES DE LA  
TERRE, ORLÉANS, 10-12 AVRIL 1996**

- Aillères L, Champenois M, Gérard B, Rouby D, Cobbold P, Bertrand JM & al.** - Apports de la restauration du champ de la déformation finie à la cinématique de la zone houillère briançonnaise (Alpes françaises), limites de la méthode.
- Chalot-Prat F, Boullier AM** - Les affinités alcalines et calco-alcalines des magmas basiques pourraient être le reflet de l'histoire orogénique du manteau sous-continentale.
- Galy A, France-Lanord C** - Erosion actuelle de la chaîne himalayenne : impacts de la Kali Gandaki.
- Gérard B, Royer JJ, Le Carlier de Veslud C** - Fracturation hydraulique et transferts lors des réactions nucléaires naturelles dans le gisement d'uranium d'Oklo (Gabon).
- Giuliani G, Cheillett A, France-Lanord C, Rueda F** - Rôle de la matière organique dans la formation des gisements d'émeraude de Colombie.
- Giuliani G, Zimmermann JL, France-Lanord C, Cheillett A, Rueda F** - Contribution de la géochimie isotopique  $^{18}O/^{16}O$ , D/H et de l'étude des gaz permanents à la caractérisation des sources des gisements d'émeraude du Brésil et de la Colombie.
- Hanon P, Chaussidon M, Robert F** - Les teneurs élevées en carbone et en hydrogène des chondres.
- Le Carlier de Veslud C, Royer JJ, Gérard B** - Evolution du champ de températures et des circulations fluides sur la marge distensive ardéchoise au cours du temps.
- Mahé C, Arnold M, Ploquin A** - Altération des verres de scories des métallurgies anciennes : approche analogique dans l'étude du vieillissement des déchets vitrifiés.

**Ribeiro-Althoff AM, Cheilletz A, Giuliani G, Féraud G, Zimmermann JL, Robert P & al.** - Ages K-Ar et  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  des gisements d'émeraude du Brésil.

**Rolin P, Stussi JM, Colchen M** - Plutonisme et évolution tectonique carbonifères en bordure occidentale du Massif Central français (Confolentais).

**Sterpenich J, Le Forestier L, Libourel G** - Altération expérimentale de déchets ménagers vitrifiés et analogues naturels.

**Stussi JM, Poncet D, Cuney M, Colchen M** - Evolution tectono-magmatique dans le haut bocage vendéen (Massif Armoricaïn).

**«GEOCHEMISTRY OF CRUSTAL FLUIDS», SYMPOSIUM OF THE EUROPEAN UNION, SEEFELD (AUSTRIA), DECEMBER 6-11, 1996**

**Sterpenich J, Libourel G, Le Forestier L** - Durability of vitrified wastes : an experimental approach in the leaching of glasses.

**INFORMAL EUROPEAN STABLE ISOTOPE MEETING III, NANCY, SEPTEMBER 30 - OCTOBER 1, 1996**

**Humbert F, France-Lanord C, Libourel G, Marty B** - Nitrogen isotope analysis by laser extraction-static mass spectrometry.

**Marty B, Humbert F, Tolstikhin I** - N Isotopes in the mantle : observations and modelling.

**INTERNATIONAL CONFERENCE ON CATHODOLUMINESCENCE AND RELATED TECHNIQUES IN GEOSCIENCES AND GEOMATERIALS, NANCY, SEPTEMBER 2-4, 1996**

**Arnold M, Dagallier G, Demange JC, Jacquier B, Mulot A** - «Capucine» : a new cathodoluminescence device available in inorganic material science.

**Barbarand J, Pagel M, Blanc P, Braun JJ, Chaussidon M, Vetil C & al.** - Combined cathodoluminescence spectra, fission-track age and chemistry of detrital apatite grains : towards a better understanding of fission track annealing.

**Baumer A, Blanc P, Cesbron F, Ohnenstetter D** - Cathodoluminescence of natural and Ce-Doped anhydride  $\text{CaSO}_4 \cdot \text{Ce}$ .

**Chalot-Prat F, Arnold M, Boullier AM** - Cathodoluminescence and microprobe techniques on trace element enriched silicated and carbonatitic products in mantle fissures.

**Marechal B, Blanc P, Deloule E, Pagel M, Thiry M** - Quartz overgrowths in surficial groundwater silicification: the Fontainebleau sandstone (Paris Basin).

**Pagel M, Demars C, Deloule E, Blanc P, Barbarand J** - Trace element content of diagenetic quartz and CL emission bands.

**SIXTH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON EXPERIMENTAL MINERALOGY, PETROLOGY AND GEOCHEMISTRY (EMPG VI), BAYREUTH, APRIL 10-13, 1996**

**Toplis MJ, Dingwell DB** - The effect of Na/Al ratio on melt viscosity : Implications for the structural role of aluminium in silicate melts.

**Carignan J, Ludden JN, Francis D** - The isotopic composition of the subcontinental mantle lithosphere in Yuko, Canada, as inferred by ultramafic nodules and alkaline lavas.

**Deloule E, Robert F** - Origin of water in the solar system : ion-probe determinations of D/H ratios in chondrules.

**France-Lanord C, Derry LA** - The seawater Sr record and processes of erosion and weathering in Himalaya.

**Reisberg L, France-Lanord C** - Diagenesis of Himalayan-derived sediments : a source of radiogenic Os to seawater. **Richard D, Marty B, Chaussidon M, Arndt N** - Primitive helium in depleted Archean komatiite.

**Shi L, Francis L, Ludden J** - Trace element constraints on the nature of metasomatising agents in the lithospheric mantle beneath the northern Canadian Cordillera.

**Vennemann TW, O'Neil JR, Deloule E, Chaussidon M** - Mechanism of hydrogen isotope exchange between hydrous minerals and molecular hydrogen : ion microprobe study of D/H exchange and calculations of hydrogen self-diffusion rates.

**WINNIPEG'96, WINNIPEG, MAY 27-29, 1996**

**Ohnenstetter D, Piantone F** - Compositional variation in columbites and tantalites from the Beauvoir peraluminous leucogranite (France).

**Shi-Lang, Francis D, Ludden J** - A regional contrast in the lithospheric mantle across the northern Canadian Cordillera.

**1997**

**4TH INTERNATIONAL ECLOGITE CONFERENCE, ASCONA, 1997**

**Desmons J, Smulikowski W, Schmid R** - High-P/T rock terms : Definitions proposed by SCMR.

**7TH V.M. GOLDSCHMIDT CONFERENCE, TUCSON, ARIZONA, JUNE 2-6, 1997**

**Humbert F, Libourel G, Marty B, France-Lanord C** - Nitrogen solubility in silicate melt under oxidized and reduced conditions using laser extraction / static mass spectrometry analysis.

**Sano Y, Nishio Y, Gamo T, Jambon A, Marty B** - Noble gas and carbon isotopes in Mariana through basalts glasses.

**60TH ANNUAL MEETING OF THE METEORITICAL SOCIETY, MAUI, HAWAII, JULY 21-25, 1997**

**Humbert F, Marty B, Wieler R** - Nitrogen and argon in individual lunar soil grains.

**AMERICAN GEOPHYSICAL UNION 1997 (AGU) FALL MEETING, SAN FRANCISCO, DECEMBER 8-12, 1997**

**Carignan J, Doucet F** - Isotopic composition of atmospheric Pb in California as inferred by epiphytic lichens.

**Marty B, Pinti DI** - Sources of radiogenic helium in deep aquifers and the problem of dating very old ground water.

**Rose E, Chaussidon M, France-Lanord C** - Boron isotopic composition of Himalayan rivers : tracing water sources and erosion processes.

**CODATA EURO-AMERICAN  
WORKSHOP ON DATA AND INFORMATION  
VISUALIZATION WHERE ARE WE  
AND WHERE DO WE GO FROM HERE ?  
PARIS, JUNE 24-25, 1997**

Royer JJ - Visualization for 3D information in earth science using GOCAD.

**COLLOQUE D'ARCHÉOMÉTRIE  
(G.M.P.C.A.), RENNES, 16-19 AVRIL  
1997**

*Mahé-Le Carlier C*, Dieudonné-Glad N, *Ploquin A* - Un laitier obtenu dans un bas fourneau ? Etude chimique et minéralogique des scories de Oulches (Indre).

**INTERNATIONAL CONFERENCE PLAS  
TAN Y BWLCH, SNOWDONIAN NATIONAL  
PARK CENTRE, SEPTEMBRE 19-  
25, 1997**

Cabboi S, Dunikowski C, Fluzin P, *Ploquin A* - Expérimentation sur les fours des Clérimois (Type II). Premier bilan et perspectives.

*Ploquin A*, Laurent H, Orzechowski S, Papachristou O - About slags from iron-making in crucible.

**IXTH MEETING OF EUROPEAN UNION  
OF GEOSCIENCES (EUG 9), STRAS-  
BOURG, 23-27 MARS 1997**

*Ait Malek H*, Bertrand JM, Gasquet D, *Leterrier J*, *Marignac C* - U-Pb vauquerite zircons : new constraints for the thermal evolution of the Velay Massif (SE french Massif Central).

*Arnold M*, Dagallier G, *Demange JC*, *Jacquier B*, *Mulot A* - «Capucine»: a new cathodoluminescence device available for geological materials.

Auajjar J, *Deloule E*, Boulègue J - Pb-Zn mineralisations of Tazekka District (Morocco) : implications of Pb and S isotopic compositions on the hydrothermal fluids pathways.

*Barth S*, *Chaussidon M*, *Devey CW* - Boron isotope systematics in EM-Type oceanic island basalts : constraints on shallow-level assimilation and fractional crystallization processes.

*Brown WL*, *Lee MR*, *Waldron KA*, *Parsons I* - Strain-driven disordering transformation of low microcline to low sanidine during partial phase separation in pleated rims of cooling braid micropertites.

*Carignan J*, *Innocent C*, *Gariépy C*, *Ludden J* - The distribution of metals in the atmosphere : a contribution from the chemical composition of epiphytic lichens of North America and Europe.

*Chalot-Prat F*, *Arnold M*, *Ohnenstetter D* - Immiscibility between carbonate and silicate melts at mantle depth and related metasomatism: a natural case study in Romania.

*Chaussidon M*, *Marty B*, *Gurenko A* - Boron isotopic composition of the mantle : constraints from  $d^{11}\text{B}$  values of melt inclusions in OIB and komatiites.

*Decitre S*, *Gasquet D*, *Marignac C* - The orbicular granite of the Ploumanac'h complex (N. Britany): new insight on the crystallisation sequence and generation of an orbicular magma.

*France-Lanord C*, *Derry LA* - Organic and inorganic sinks of atmospheric CO<sub>2</sub> from Himalayan erosion.

*Frey M*, *Desmons J*, *Neubauer F* - Map of the pre-alpine and alpine metamorphism in the Alps.

*Galy A*, *France-Lanord C* - Atmospheric CO<sub>2</sub> consumption by the weathering of the Himalaya.

*Gérard B*, *Royer JJ*, *Le Carlier de Veslud C* - Modelling 3D fluid flow in sedimentary structures.

*Humbert F*, *Libourel G*, *Marty B*, *France-Lanord C* - Experimental study of nitrogen solubility in silicate melt as a function of oxygen fugacity using laser extraction/ static mass spectrometry analysis.

*Jacquemin P*, *Samson P*, *Royer JJ*, *Mallet JL*, *Gérard B* - Unfolding 3D complex geological formations.

*Jardim de Sa E*, *Vigneresse JL*, *Barbey P*, *Cuney M* - An approach to rheological transitions during partial melting and crystallization with application to melt segregation and transfer.

*Le Forestier L*, *Libourel G*, *Sterpenich J* - From household refuse to vitrified wastes.

*Lemelle L*, *Libourel G*, *Guyot F*, *Fuchs Y* - Experimental study of the destabilization of natural olivines at low oxygen fugacities.

*Ludden J* - Large igneous Provinces (LIPS) and crustal growth.

*Mahé-Le Carlier C*, *Massit H*, *Ploquin A*, *Le Carlier de Veslud C*, *Royer JJ* - Paleosiderurgic slags as anthropic for studying stability of low activity nuclear vitrified wastes.

*Mahé-Le Carlier C*, *Ploquin A*, *Le Carlier de Veslud C*, *Royer JJ*, *Massit H* - Study of anthropic analogs of vitrified wastes : paleometallurgic slags.

*Mariez O*, *Shtuka A*, *Royer JJ*, *Gérard B* - From 2D geological cross-sections to 3D geological model.

*Marin L*, *Rose E*, *Carignan J*, *Chaussidon M* - Boron enrichment in epiphytic lichens: implications for atmospheric B geochemistry.

*Martinez I*, *Chamorro-Perez E*, *Chaussidon M*, *Gillet P*, *Javoy M* - Partitioning of carbon between silicates and carbonate-rich melts at high pressure and high temperature.

*Marty B*, *Kimasky Y*, *Nivin V*, *Toltiskhin I* - Noble gas composition of plume-derived magmas: evidence from analysis of 365 Ma-old carbonatites from the Kola Peninsula, FSU.

*Ohnenstetter M* - A model of emplacement for Cr, Ni-Cu and PGE mineralization within layered or zoned complexes and ophiolites.

*Peslier AH*, *Reisberg L*, *Carignan J*, *Ludden J*, *Francis D*, *Mang S* - Re-Os systematics of the lithospheric mantle under the Canadian Cordillera.

*Pierret MC*, *Blanc G*, *France-Lanord C*, *Anschutz P* - Stable isotopic composition of different brines from seven Red Sea deeps. Hydrothermal influence.

*Pierson-Wickmann AC*, *Marty B*, *Ploquin A* - Helium isotopic composition of trapped air in historical slags: a search for anthropogenic addition of fossil helium to the atmosphere.

*Pierson-Wickmann AC*, *Reisberg L*, *France-Lanord C* - A Re-Os study of leachates and bulk sediments from the Bengal Fan and Himalayan rivers.

*Pik R*, *Yirgu G*, *Deniel C*, *Coulon C*, *Marty B*, *Ayalew D* - Plume versus lithosphere contribution in the genesis of the Ethiopian flood basalts.

*Reynard B*, *Toplis M* - The structural role of phosphorus in Na<sub>2</sub>O-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> glasses and melts : high temperature Raman spectroscopic results.

*Roger S*, *Pik R*, *Dautria JM*, *Coulon C*, *Yirgu G*, *Ayalew D* - Nature of the lithospheric mantle beneath the Ethiopian flood basalts and mechanism of rifting : contribution from mantelic xenoliths of the Tana Lake Province.

*Roig JY*, *Faure M*, *Bouchot V*, *Calcagno P*, *Schoeffler B*, *Le Carlier de Veslud C* & al. - 3D modeling of the Au-As paleo-field (300Ma) along the Argentat fault (S-W French massif Central). Geofrance 3D program.

*Rollion-Bard C*, *France-Lanord C*, *Marty B* - Noble gases and stable isotopes in fumaroles of phlegrean fields (Italy).

*Rose EF*, *France-Lanord C*, *Galy A*, *Chaussidon M* - Boron study in Himalayan rivers.

*Schoeffler B*, *Le Carlier de Veslud C*, *Vigneresse JL*, *Royer JJ*, *Cuney M*, *Améglio L* & al. - 3D modeling of the northwestern part of the Massif Central (France) using gravimetric data.

*Shtuka A*, *Royer JJ*, *Mallet JL* - Investigating sedimentary heterogeneities using computer 3D modeling.

- Sterpenich J, Libourel G, Le Forestier L* - Characterisation of aqueous corrosion of glasses : implications on durability of vitrified wastes.
- Toplis M, Dingwell DB, Hess K-U, Lenci T* - Application of the Adam-Gibbs theory to melts along the join  $\text{SiO}_2\text{-NaAlSi}_3\text{O}_8$ .
- Verhulst A, Demaiffe D, Ohnenstetter D, Blanc P, Balaganskaya E, Kirnasky Y* - Cathodoluminescence petrography of carbonatites from the Kola peninsula (Russia).
- Wagner C, Mokhtari A, Deloué E, Chabaux F* - Fractional crystallization and immiscibility processes in the alkaline carbonatite complex from Taourirt (Morocco).

### RÉUNION IDYLHIM, GRENOBLE, 21 JANVIER 1997

- Huyghe P, Galy A, Mugnier JL, Baille-Barrelle B* - Micro-structures, minéralogie des argiles et géochimie des isotopes de l'oxygène dans les zones de cisaillement de l'Ouest népal.

### ECROFI XIV, NANCY, JULY 1-4, 1997

- Boullier AM* - Fluid circulation related to deformation in the Zbargad gneisses (Red Sea Rift).
- Boullier AM, Firdaous K, Robert F* - On the significance of aqueous fluid inclusions in gold-quartz vein deposits in Abitibi (Canada).
- Decitre S, Marignac C, Gasquet D* - Magmatic fluids in the La Clarte orbicular granite (Ploumanac'h granite complex, N Brittany, France).
- Marignac C* - Alpine fault sealing at the contact between a crystalline basement and its sedimentary cover : La Gardette (French Alps).
- Savary V, Dubois M, Ledésert B, Yardley BWD, Royer JJ* - History of fluid circulation in an alteration zone of the Soultz-sous Forêts granite (Alsace, France).
- Tarso (de) Ferro de Oliveira Fortes P, Giuliani G* - Fluid inclusion studies associated with massive sulfide and quartz vein ore bodies from Mina III and Mina Nova gold deposits, Crixás greenschist belt, Central Brazil.
- Vallance J, Boiron MC, Cathelineau M, Marignac C* - Fluid migration in granites associated with Au-W mineralizations: the example of the Blond granite north west french Massif Central.
- Zimmermann JL, Veeken PCH* - Permanent fluids in coals from the fohnsdorf basin Austria : a preliminary quadrupolar mass spectrometric study.

## 1998

### 3RD WORKSHOP ON ALPINE GEOLOGICAL STUDIES, OROPA-BIELLA, SEPTEMBER 29 - OCTOBER 1, 1998

- Bertrand JM, Macaudière J* - Deformation of the Carboniferous formations east of the «Briançonnais» thrust, Arc valley, Savoy.

### 8TH V.M. GOLDSCHMIDT CONFERENCE, TOULOUSE, AUGUST 30-SEPTEMBER 3, 1998

- Chalot-Prat F, Boullier AM* - Genetic relationships between lithospheric mantle, alkaline and calc-alkaline basic volcanoes in the Eastern Carpathan (Romania): evidences for trace element and Nd-Sr isotope geochemistry.

- Dereje A, Marty B, Barbey P, Gezaghen Y, Reisberg L, Pik R* - Genesis and timing of ignimbrites (Alaji ignimbrites) associated to trap basalts from the northern Ethiopian plateau.

- France-Lanord C, Derry L, Galy A* - Continental erosion of  $\text{CO}_2$  uptake. Inferences from the Himalayan system.

- Galy A, France-Lanord C, Hurtrez J-E* - Distribution of physical erosion in Himalaya from river particle geochemistry.

- Humbert F, Libourel G, Marty B, France-Lanord C* - Nitrogen solubility in silicate melts as a function of oxygen fugacity and melt composition.

- Libourel G, Guyot F, Leroux H* - High temperature reduction of San Carlos Olivines and role of kinetics on metal/silicate interactions.

- Marty B* - Volatiles (He, C, N, Ar) in the mantle : assesment of shallow-level assimilation and fractionation, and evaluation of source composition.

- Pierson-Wickmann A-C, Reisberg L, France-Lanord C, Galy A* - Re-Os isotopic characteristics of Himalayan river sediments and source rocks.

- Rose E, Chaussidon M, France-Lanord C* - B analysis in natural waters by ion microprobe : a new technique for the study of B transfer from the continent to the ocean.

- Sterpenich J, Libourel G* - Crystal-chemistry of alteration products of medieval stained-glasses.

- Valle N, Libourel G* - Alteration of glasses : isotope tracing using  $^{29}\text{Si}$  and  $^{18}\text{O}$ .

### 9TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOCHRONOLOGY, COSMOCHRONOLOGY AND ISOTOPE GEOLOGY (ICOG 9), BEIJING, AUGUST 20-26, 1998

- Deloué E* - Origin and evolution of water on the earth : contribution of D/H ion probe measurements.

### 17ÈME RÉUNION DES SCIENCES DE LA TERRE, BREST, 31 MARS-3 AVRIL 1998

- Aléon J, Chaussidon M, Marty B* - Caractérisation élémentaire et isotopique d'aérosols par sonde ionique IMS 1270. Première approche.

- Alexandrov P, Ruffet G, Cheilletz A, Feraud G, Cuney M, Floc'h JP* - Perturbations thermiques dues à la mise en place des granitoïdes du Haut Limousin, NW du Massif Central: apport des datations  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ .

- Althoff F, Barbey P, Macambira M, Scheller T, Leterrier J, Dall'Agnol R* - La croissance du Craton Sud-amazonien (Région de Rio Maria, Brésil).

- Audigane P, Royer JJ, Shapiro S, Piguet J, Gérard B* - Circulation des fluides en milieu granitique fracturé : l'exemple de Soultz-sous Forêts.

- Baumer A, Ganteaume M, Gibert R, Ohnenstetter D* - Utilisation de la spectrométrie infrarouge dans la détection d'ions spécifiques incorporés dans l'apatite.

- Bertrand JM, Leterrier J, Delaperrière E* - Géochronologie U-Pb de granitoïdes du Confolentais, de Vendée et des forages de Charroux-Civray.

- Cheilletz A, Ruffet G, Marignac C, Kolli O, Gasquet D, Feraud G & al.* - Datation  $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$  d'un événement éoalpin (128Ma) en Grande Kabylie (Algérie).

- Cuney M, Stussi JM, Brouand M* - Pétrologie du complexe plutonique de Charroux-Civray (Vienne).

- Dereje A, Marty B, Barbey P, Gezahegn Y, Reisberg L, Pik R* - Pétrogenèse des ignimbrites (formation Alaji) associées aux trapps du Nord de l'Éthiopie.

- Dewonck S, Marty B, Aranyosy JF* - Circulation des eaux souterraines dans l'Est du Bassin Parisien : l'apport de la géochimie des gaz rares.

- Fleck S, France-Lanord C, Marty B - L'hélium cosmogénique dans les grenats himalayens. Une nouvelle méthode de mesure des temps d'exposition et des taux d'érosion.
- Gasquet D, Bertrand JM - Nouvelles données structurales et chronologiques sur la série satinée (Belledonne, Alpes externes).
- Georges P, Libourel G, Deloule E - Solubilité du potassium dans les liquides silicatés sous PK et PO<sub>2</sub> contrôlées.
- Guillot F, Bertrand JM, Pidgeon RT, Leterrier J, Gattiglio M - Géochronologie U-Pb SHRIMP et IDTIMS de zircons des zones internes des Alpes occidentales.
- Le Carlier de Veslud C, Roig JY, Schoeffler B, Royer JJ, Cuney M, & Equipe GéoFrance 3D - Modélisation 3D sous gOcad des paléocirculations Au-As le long de la faille d'Argentat (S.O. Massif central français).
- Le Forestier L, Libourel G - Vitriification des cendres de déchets ménagers et comportement des éléments polluants.
- Leterrier J, Dias G, Bertrand JM, Simoes PP, Mendes A - Géochronologie U-Pb sur zircon et monazite de granitoides hercyniens syn- à post-tectoniques du Nord Portugal.
- Ludden JN - La préservation de la lithophère Archéenne.
- Mahé-Le Carlier C, Le Carlier de Veslud C, Ploquin A, Royer JJ - Altération naturelle de scories de la paléoméallurgie : un analogue pour les déchets vitrifiés actuels.
- Marignac C, Vallance J, Cathelineau M, Boiron MC - Les fluides associés à la minéralisation Sn-W de Vaulry (Massif de Blond, Limousin).
- Marty B, Pik R, Coulon C, Rochette P, Yirgu G, Ketefo E & al. - Evolution magmatique lors de la mise en place des trapps d'Ethiopie.
- Ohnenstetter M - Evolution des loveringites dans l'unité du Merenski Reef, à Rustenburg, partie ouest du Bushveld.
- Pierson-Wickmann A-C, Reisberg L, France-Lanord C - Une étude Re-Os de sédiments de rivières himalayennes.
- Pik R, Raoult Y, Kipfer R, Marty B, Zimmermann L, Boulègue J - Circulations et transferts de fluides dans le Bassin de Paris : apports de la géochimie des gaz rares.
- Ploquin A, Mahé-Le Carlier C, Kraus F, Royer JJ - Caractérisation pétrographique et chimique de vitrifiats de Refiom.
- Rajabzadeh MA, Ohnenstetter M, Ohnenstetter D - Minéralisation en chrome et en éléments du groupe du platine dans les ophiolites d'Assemion et de Neyriz, ceinture du Zagros, Iran.
- Rose E, Chaussidon M, France-Lanord C - Les isotopes du bore dans les rivières himalayennes : un traceur de la provenance des eaux et des processus d'altération.
- Royer JJ, Gérard B, Le Carlier de Veslud C, Audigane P - Interaction fluide roche lors du fonctionnement d'un réacteur de fission d'Oklo (Gabon).
- Tissandier L, Libourel G, Toplis M, Chaussidon M - Volatilisation des alcalins et du bore à haute température dans les silicates fondus.

### 23RD GENERAL ASSEMBLY OF EUROPEAN GEOPHYSICAL SOCIETY, NICE, 1998

- Carignan J, Reisberg L, Spatz C - Sm/Nd isotopes in continental aerosols : results from a study of epiphytic lichens.

### 29TH LUNAR AND PLANETARY SCIENCE CONFERENCE, HOUSTON, TEXAS, MARCH 16-20, 1998

- Chaussidon M, Robert F, Rose E - <sup>7</sup>Li/<sup>6</sup> and <sup>11</sup>B/<sup>10</sup>B ratios of solar wind trapped in lunar soils.
- Marty B, Zimmermann L, Pik R - Nitrogen and argon isotopes in individual mineral grains of SNC meteorites : a CO<sub>2</sub>-laser step-heating analysis.

### 61ST METEORITICAL SOCIETY MEETING, DUBLIN, JULY 1998

- Dauphas N, Robert F, Marty B - H, N, and Ne elemental and isotopic constraints on cometary and meteoritic fluxes.

### ANNUAL MEETING OF GEOLOGICAL ASSOCIATION OF CANADA AND THE MINERALOGICAL ASSOCIATION OF CANADA (GAC-MAC), QUEBEC, MAY 18-20, 1998

- Benlahcen A, Carignan J, Rouleau A, Villeneuve D - Tendances géochimiques des eaux souterraines d'un complexe carbonaté du bouclier canadien.
- Benlahcen A, Carignan J, Rouleau A, Villeneuve D - Traitement multivariable par l'analyse de correspondance de la géochimie des eaux souterraines d'un complexe carbonaté du bouclier canadien.
- Carignan J, Simonetti A, Gariépy C - The source of atmospheric Pb in Northwestern North America.
- Clark T, Ohnenstetter D, Gobeil A - Minéralisations de Cu-Ni+Co+EGP+Au sur le plateau de Manicouagan (Québec) et l'exemple de l'intrusion mafique litée du réservoir.
- Ohnenstetter M, Lee C, Wilson AH - Ti, Zr, Cr and REE oxides in feldspathic pyroxenites and norites of the Merenski unit, Bushveld complex.
- Rajabzadeh MA, Ohnenstetter M, Ohnenstetter D - Chrome and platinum-group element mineralizations in chromitites from the Assemion and Neyriz ophiolites, Iran.
- Simonetti A, Gariépy C, Carignan J - Tracing sources of atmospheric aerosols using Pb and Sr isotopic composition of precipitation from Quebec, Canada.

### GERM (GEOCHEMICAL EARTH REFERENCE MODEL) WORKSHOP, SAN DIEGO, USA, MARCH 10-13, 1998

- France-Lanord C, Derry LA - Riverine alkalinity flux and atmospheric CO<sub>2</sub> consumption.
- Galy A, France-Lanord C - Processes of weathering in the Himalaya and the riverine alkalinity budget.
- Rose E, Chaussidon M, France-Lanord C - Boron transfer from the continents to the ocean : the example of Himalayan rivers.

### I CONGRESO MUNDIAL DE LA ESMERALDA, SANTAFE DE BOGOTA, COLOMBIA, FEBRERO 23-25, 1998

- Cheilletz A - Genèse des gisements d'émeraude de Colombie.
- Giuliani G - Genèse des gisements d'émeraude du Brésil.

### JOURNÉES DE LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE MINÉRALOGIE ET DE CRISTALLOGRAPHIE, LYON, 18-19 MAI 1998

- Georges P, Libourel G, Deloule E - Solubilité du potassium dans les liquides silicatés sous PK et PO<sub>2</sub> contrôlées.
- Humbert F, Libourel G, Marty B, France-Lanord C - Solubilité de l'azote dans les liquides silicatés : expérimentation et analyse par extraction laser et spectrométrie de masse à vide statique.
- Le Forestier L, Libourel G - Etude expérimentale de la vitriification des résidus ultimes de déchets ménagers.
- Libourel G, Sterpenich J - Comportement à long terme des verres de stockage : exemples des vitraux médiévaux.
- Mahé-Le Carlier C, Le Carlier de Veslud C, Ploquin A - L'altération naturelle de verres de scories de la métallurgie ancienne.

**Tissandier L, Libourel G, Toplis M, Chaussidon M** -  
Volatilisation des alcalins et du bore à haute température  
dans les silicates fondus.

**Toplis M, Dingwell DB, Schaller T** - Rôle structural du phosphore dans les verres et liquides silicatés déterminé à partir de mesures de viscosité et spectroscopie RMN.

**Toplis MJ** - Adam-Gibbs theory and viscous flow mechanism of simple silicate melts.

**VIIITH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON  
EXPERIMENTAL MINERALOGY,  
PETROLOGY & GEOCHEMISTRY  
(EMPG-VII), ORLÉANS, APRIL 14-16,  
1998**

**Georges P, Libourel G, Deloule E** - Potassium solubility in silicate melts by equilibration at high temperature under controlled conditions of  $P_{O_2}$  and  $P_K$ .

**Humbert F, Libourel G, Marty B, France-Lanord C** - Nitrogen solubility in silicate melts : experiments and analysis using laser extraction/static mass spectrometry.

**Lemelle I, Fuchs Y, Guyot F, Libourel G, Duba A** - Experimental study of destabilization of natural olivines at low oxygen fugacities.

**Leroux H, Doukhan JC, Libourel G** - ATEM study of olivine reduction experiments : insights for chondrules formation.

**Libourel G** - Systematics of calcium partitioning between olivines and silicate melts.

**Tissandier L, Libourel G, Chaussidon M, Toplis M** - Alkali volatilization from silicate melts.

**Toplis M** - Adam-Gibbs theory and viscous flow mechanisms of simple silicate melts.

**LES CONTRATS DE  
RECHERCHE**





# CONTRATS

## CONTRATS CEE

Titre : New exploration methods for platinum and rhodium deposits poor in base metal sulphides.  
Programme : BRITE/EURAM.  
Responsable scientifique : **Daniel OHNENSTETTER.**  
Solde venant de la Délégation Régionale d'Orléans - 56,5 KF

Titre : Chemical tracing of fluid movement within and between geological reservoirs  
Programme : Programme II Joule  
Responsable scientifique : **Bernard MARTY**  
Montant total : 658,9 KF  
Durée : 01/10/92 au 30/09/95

Titre : The genesis of Colombian emerald deposits : contribution of the structural geology and geochemistry; impact of mining exploitation on environment  
Responsable scientifique : **Alain CHEILLETZ**  
Montant total : 550 KF  
Durée : 1/02/95 au 31/01/97

Titre : Bourse capital humain et mobilité : sonde ionique  
Programme : Contrat bourse  
Responsable scientifique : **Etienne DELOULE**  
Montant total : 625 KF  
Durée : 10/10/94 au 10/7/96

Titre : Mass and heat transfer from the earth's mantle into the crust : helium isotopes, heat flow and tectonics  
Programme : INTAS  
Responsable scientifique : **Bernard MARTY**  
Montant total : 30,8 KF  
Durée : 01/07/95 au 30/06/97

Titre : Seismic Hazard Zonation with a multidisciplinary approach, using fluid-geochemistry methods  
Programme : Environment and Climate 1994/1998  
Responsable scientifique : **Bernard MARTY**  
Montant total : 600 KF  
Durée : 15/03/96 au 14/07/98

Titre : Development of high precision isotope ratio measurement methods using multi-collector ICP-MS (PRISMS)  
Programme : Standards, Measurements and Testing  
Responsable scientifique : **John LUDDEN**  
Montant total : 1100 KF  
Durée : 1/05/98 au 1/05/2001

## CONTRATS PRIVES

Titre : Calibrage géologique quantitatif des données sismiques  
Responsable scientifique : **Jean-Jacques ROYER**  
Société participante : I.F.P.  
Montant total : 221,7 KF  
Durée : 01/01/93 au 31/07/95

Titre : Développer, coordonner et promouvoir des recherches dans le domaine de l'inertage des déchets ultimes et de l'analyse de ceux-ci.  
Responsable scientifique : **Guy LIBOUREL**  
Société participante : SITA  
Montant total : 813,6 KF  
Durée : 23/02/93 au 23/02/97

Titre : Etude et caractérisation d'échantillons fournis par la société  
Responsables scientifiques : **K. GOVINDARAJU et J. MOREL**  
Société participante : EMC Services  
Montant total : 400 KF  
Durée : 02/01/94 au 31/12/96

Titre : Etude minéralogique fine d'un certain nombre de produits  
Responsable scientifique : **François LHOTE**  
Société participante : ANALYS  
Montant total : 122,8 KF  
Durée : 13/04/94 au 12/04/97

Titre : Vérification de la qualité de différents types de flux recristallisés avant commercialisation et établissement d'un état précis des anomalies en cas de non conformité  
Responsable scientifique : **François LHOTE**  
Société participante : SAUVAGEAU  
Montant total : 134,4 KF  
Durée : 13/04/94 au 12/04/97

Titre : Détermination des éléments constitutifs de carottes de sondage  
Responsables scientifiques : **K. GOVINDARAJU et J. MOREL**  
Société participante : CREGU  
Montant total : 161 KF  
Durée : 15/09/94 au 15/01/95

Titre : Etude minéralogique fine d'un certain nombre de produits  
Responsables scientifiques : **François LHOTE**  
Société participante : ANALYS  
Montant total : 116 KF  
Durée : 13/04/94 au 12/04/97

Titre : Vérification de la qualité de différents types de flux recristallisés avant commercialisation  
Responsables scientifiques : **François LHOTE**  
Société participante : SAUVAGEAU  
Montant total : 172 KF  
Durée : 13/04/94 au 31/03/98

Titre : Etude et caractérisation d'échantillons fournis par la Société  
Responsable scientifique : **Michel ARNOLD**  
Société participante : EMC Services  
Montant total : 65 KF  
Durée : 02/01/95 au 02/01/96

Titre : Evaluation de procédés de concentration de métaux lourds contenus dans les scories et fines de dépoussiérage des fours d'incinération de déchets industriels  
Responsables scientifiques : **Michel ARNOLD**  
Société participante : TREDI  
Montant total : 285 KF  
Durée : 1/07/95 au 30/06/97

Titre : Etude et caractérisation d'échantillons cristallisés fournis par la Société  
Responsable scientifique : **Michel ARNOLD**  
Société participante : TREDI  
Montant total : 300 KF  
Durée : 01/07/95 au 30/06/97

Titre : Etude et caractérisation d'échantillons fournis par la société  
Responsable scientifique : **Jacques MOREL**  
Société participante : TREDI  
Montant total : 200 KF  
Durée : 01/10/95 au 31/12/95

Titre : Analyse par diffraction au rayon X de différents échantillons  
Responsables scientifiques : **François LHOTE**  
Société participante : IRH ENVIRONNEMENT  
Montant total : 120 KF  
Durée : 01/03/96 au 28/02/98

Titre : Préparation et certification d'échantillons de référence fournis par la société  
Responsables scientifiques : **Jean CARIGNAN et Jacques MOREL**  
Société participante : SITA  
Montant total : 223,4 KF  
Durée : 01/08/96 au 31/01/97

Titre : Préparation et certification d'échantillons de référence fournis par la société  
Responsables scientifiques : **Jean CARIGNAN et Jacques MOREL**  
Société participante : SITA  
Montant total : 214 KF  
Durée : 01/08/96 au 31/01/97

Titre : Etude analogique entre les scories paléométallurgiques et les vitrifiés de REFIOM  
Responsables scientifiques : **Alain PLOQUIN**  
Société participante : EDF  
Montant total : 132 KF  
Durée : 17/10/96 au 16/08/97

Titre : Caractérisation des verres de stabilisation  
Responsables scientifiques : **Guy LIBOUREL**  
Société participante : SITA  
Montant total : 110 KF  
Durée : 15/12/96 au 14/01/97

Titre : Recherches relatives au développement du procédé Pétrifix  
Responsables scientifiques : **Michel ARNOLD**  
Société participante : TREDI  
Montant total : 95 KF  
Durée : 1/01/97 au 31/12/97

Titre : Etude minéralogique et géochimique des résidus de traitements des minerais d'uranium de la COMUF (Gabon)  
Responsables scientifiques : **Maurice PAGEL**  
Société participante : ALGADE  
Montant total : 84 KF  
Durée : 17/01/97 au 16/07/97

Titre : Caractérisation chimique et minéralogique des déchets industriels et leur produit de stabilisation  
Responsables scientifiques : **Guy LIBOUREL**  
Société participante : SITA  
Montant total : 125 KF  
Durée : 1/07/97 au 30/06/98

Titre : Etude relative à la cristallographie et la structure des apatites  
Responsables scientifiques : **Maurice PAGEL**  
Société participante : ELF  
Montant total : 90KF  
Durée : 25/07/97 au 24/07/98

Titre : Etude et caractérisation d'échantillons fournis par la société  
Responsables scientifiques : **Jean CARIGNAN et Jacques MOREL**  
Société participante : TREDI  
Montant total : 200 KF  
Durée : 01/09/97 au 31/12/98

Titre : Etude et caractérisation d'échantillons fournis par la société  
Responsables scientifiques : **Jean CARIGNAN et Jacques MOREL**  
Société participante : CREGU  
Montant total : 422 KF  
Durée : 01/09/97 au 31/12/98

Titre : Etude et caractérisation d'échantillons fournis par la société  
Responsables scientifiques : **Jean CARIGNAN et Jacques MOREL**  
Société participante : CONCRETE  
Montant total : 57 KF  
Durée : 01/09/97 au 1/01/98

## CONTRATS PUBLICS

Titre : Etude sur la répartition spatiale et spéciation du manganèse dans l'altération des vitraux médiévaux  
Responsables scientifiques : **William BROWN et Guy LIBOUREL**  
Programme Franco-Allemand de recherche pour la conservation des monuments historiques  
Montant total : 169,8 KF  
Durée : 07/05/91 au 13/08/96

Titre : Processus et dévitrification des vitraux anciens  
Responsable scientifique : **Guy LIBOUREL**  
Etablissement participant : Ministère de la Culture et de la Francophonie  
Montant total : 126,4 KF  
Durée : 02/11/94 au 01/05/96

Titre : Etude et caractérisation de 395 échantillons de pierre ou en céramique provenant de différents musées  
Responsables scientifiques : **K. GOVINDARAJU et G. MEVELLE**  
Etablissement participant : Ministère de la Culture - Direction des musées de France  
Montant total : 126,4 KF  
Durée : 17/11/94 au 16/11/95

Titre : Evolution dans le temps de l'enregistrement  
Responsable scientifique : **Etienne DELOULE**  
Etablissement participant : IFREMER  
Montant total : 33,2 KF  
Durée : 01/12/94 au 31/03/95

Titre : Etude et caractérisation de 329 échantillons  
Responsables scientifiques : **Jacques MOREL avec participation Francis SAUPE**  
Etablissement participant : Ministère de la Culture - Direction des musées de France  
Montant total : 120,3 KF  
Durée : 14/12/95 au 31/12/96

Titre : Bilan isotopique de l'eau dans les formations argileuses des ouvrages de l'ANDRA - Site EST 104  
Responsable scientifique : **Christian FRANCE-LANORD**  
Etablissement participant : ANDRA  
Montant total : 150 KF  
Durée : 23/02/96 au 30/09/96

Titre : Etude de scories paléométallurgiques et de leur altérabilité comme analogues des déchets vitrifiés de classe A  
Responsable scientifique : **Alain PLOQUIN avec participation Jean-Jacques ROYER**  
Etablissement participant : CEA/CADARACHE  
Montant total : 100 KF  
Durée : 05/03/96 au 04/03/97

Titre : Etude de scories paléométallurgiques et de leur altérabilité comme analogues des déchets vitrifiés de classe A  
Responsable scientifique : **Alain PLOQUIN avec participation Jean-Jacques ROYER**  
Etablissement participant : CEA/CADARACHE  
Montant total : 191 KF  
Durée : 05/03/96 au 04/01/99

Titre : Etudes des gaz dans les eaux et roches des ouvrages de l'ANDRA dans la Vienne : Interprétation hydrodynamique  
Responsable scientifique : **Bernard MARTY**  
Etablissement participant : ANDRA  
Montant total : 564 KF  
Durée : 06/06/96 au 05/11/97

Titre : Etude et caractérisation de 310 échantillons  
Responsable scientifique : **Jacques MOREL**  
Etablissement participant : MINISTERE DE LA CULTURE  
Montant total : 118 KF  
Durée : 19/11/96 au 18/11/97

Titre : Analyse des teneurs et des rapports isotopiques en gaz rares dans les inclusions fluides sur les minéraux de fracture fournis dans le cadre du contrat  
Responsable scientifique : **Bernard MARTY**  
Etablissement participant : ANDRA  
Montant total : 92 KF  
Durée : 01/02/97 au 31/01/2000

Titre : Etude sur la pellicule d'altération du verre R7T7 à l'aide de traceurs isotopiques  
Responsable scientifique : **Guy LIBOUREL**  
Etablissement participant : CEA  
Montant total : 187 KF  
Durée : 27/03/97 au 26/03/99

Titre : Spéciation du radium, de l'uranium et des métaux dans les résidus de traitement de minerais d'uranium  
Responsables scientifiques : **Maurice PAGEL**  
Société participante : COGEMA  
Montant total : 190KF  
Durée : 1/07/97 au 6/01/98

Titre : Bilan isotopique de l'oxygène et de l'hydrogène de l'eau dans la formation silteuse de Marcoule  
Responsable scientifique : **Christian FRANCE LANORD**  
Etablissement participant : ANDRA  
Montant total : 415 KF  
Durée : 12/03/98 au 11/03/99

## ACTIONS THEMATIQUES PROGRAMMEES

Titre : ATP Dynamique et bilan de la Terre 1994 thème "Erosion et Hydrogéologie"  
Responsable scientifique : **Christian FRANCE-LANORD Coordinateur**  
Montant total : 210 KF  
Part CRPG : 150 KF  
Durée : 01/04/94 au 31/12/95

Titre : Programme "Dorsales"  
thème "Effet de l'assimilation et du fractionnement sur la composition des basaltes océaniques"  
Responsable scientifique : **John LUDDEN**  
Montant : 65 KF  
Durée : 07/07/95 au 31/12/97

Titre : ATP Géosciences Marines - 1995 thème "Exploitation maximale des données"  
Responsable scientifique : **John LUDDEN Coordinateur**  
Montant total : 100 KF  
Part CRPG : 50 KF  
Durée : 01/08/95 au 30/06/97

Titre : ATP Programme National de Planétologie 1996  
thème "Anomalies Isotopiques dans les météorites"  
Responsables scientifiques : **François ROBERT et Marc CHAUSSIDON**  
Montant total : 65 KF  
Part CRPG : 32 KF  
Durée : 01/06/96 au 31/12/96

Titre : ATP Dynamique et Bilans de la Terre 96  
Responsable scientifique : **Christian FRANCE-LANORD Coordinateur**  
Montant total : 153 KF  
Part CRPG : 26 KF  
Durée : 23/07/96 au 31/12/96

Titre : Programme National de Recherches en Hydrologie  
thème "Géochimie de gaz rares dans la nappe de l'Albien du bassin parisien"  
Responsable scientifique : **Bernard MARTY**  
Montant : 60 KF  
Durée : 07/07/97 au 31/12/98

Titre : Programme PROSE PR 63  
thème "Erosion himalayenne"  
Responsable scientifique : **Christian FRANCE LANORD coordinateur**  
Montant : 320 KF  
Durée : 09/07/97 au 31/12/98

Titre : Intérieur de la Terre  
thème "Formation et stabilisation de la lithosphère continentale"  
Responsable scientifique : **John LUDDEN**  
Montant total : 120 KF  
Durée : 19/09/97 au 31/12/98

Titre : Intérieur de la Terre  
thème "Conséquences chimiques de la différenciation metal-silicate"  
Responsable scientifique : **Mike TOPLIS**  
Montant total : 50 KF  
Durée : 19/09/97 au 31/12/98

Titre : Dynamique des transferts terrestres  
thème "Bilan et flux de N,C,H et gaz rares dans le système manteau-croûte-atmosphère"  
Responsable scientifique : **Bernard MARTY**  
Montant total : 100 KF  
Durée : 22/10/97 au 31/12/98

Titre : Dynamique des transferts terrestres  
thème "Transfert atmosphérique du bore entre océans et continents"  
Responsable scientifique : **Marc CHAUSSIDON**  
Montant total : 80 KF  
Durée : 22/10/97 au 31/12/98

Titre : Programme Intérieur de la Terre  
thème "Programme Corne de l'Afrique"  
Responsable scientifique : **Bernard MARTY**  
Montant : 100 KF  
Durée : 1998

Titre : Programme National en Planétologie  
thème "Cosmochimie des grains lunaires"  
Responsable scientifique : **Bernard MARTY**  
Montant : 40 KF  
Durée : 1998

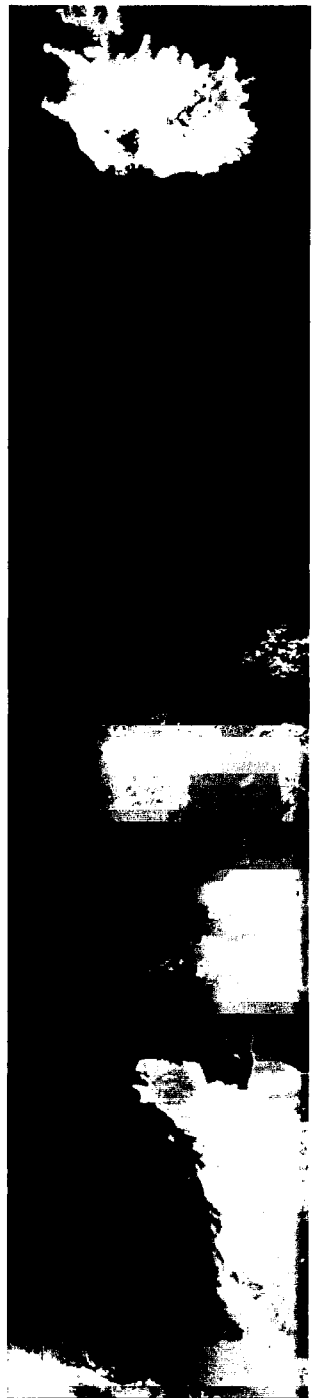
Titre : Programme Dorsales  
thème "Pétrogénèse des MORBs"  
Responsable scientifique : **Mike TOPLIS coordinateur**  
Montant : 70 KF  
Durée : 1998

## PROGRAMMES IN2P3 PACE

Titre : Aval du cycle électronucléaire  
Responsable scientifique : **Bernard MARTY**  
Montant : 40 KF  
Durée : 1998

Titre : Aval du cycle électronucléaire  
Responsable scientifique : **Etienne DELOULE**  
Montant : 30 KF  
Durée : 1998

# LES DOCTORANTS



# THÈSES EN COURS

<b>ÉTUDIANT (DIRECTEUR(S) DE RECHERCHE)</b>	<b>Titre de la thèse. Année de soutenance prévue. Type de bourse de recherche</b>
<b>ADOU M'BÉ (D. GASQUET)</b>	Pétrologie et structures des granitoïdes de la région de Dabakala (NE de la Côte d'Ivoire). 1999. Bourse CIES.
<b>ALÉON JÉRÔME (M. CHAUSSIDON)</b>	Caractérisation géologique et isotopique des aérosols atmosphériques par sonde ionique. 2000. Bourse MENRT
<b>ALEXANDROV PAVEL (A. CHEILLETZ)</b>	Thermochronologie Ar/Ar du batholite Limousin dans le cadre du programme GéoFrance 3D. 2000. BourseINPL
<b>AUDIGANE PASCAL (J.J. ROYER)</b>	Modélisation du site géothermique de Soultz. 1999. Bourse ADEME
<b>BARBARAND JOCELYN (M. PAGEL)</b>	Histoire thermique des bassins sédimentaires par traces de fissions : détermination d'un âge sans irradiation et chimie des grains d'apatite. 1998. Bourse MENSr
<b>BRANQUET YANNICK (A. CHEILLETZ)</b>	Étude structurale des gisements d'émeraudes de Colombie. 1998. Bourse MENSr
<b>CONREAUX STÉPHANE (J.L. MALLET)</b>	Implémentation d'une nouvelle topologie dans GOCAD. 2000. Bourse INPL
<b>DECITRE SYLVIE (E. DELOULE ET D. GASQUET)</b>	Comportement du lithium au cours de l'altération hydrothermale de la croûte pour le cycle du Li. 1999. Bourse MENSr
<b>DEREJE AYALEW (B. MARTY ET P. BARBEY)</b>	Etude géochimique et isotopique des laves du rift Ethiopien. 1999. Bourse CNOUS
<b>DEWONCK SARAH (B. MARTY)</b>	Circulation des fluides dans les bassins sédimentaires. 1999. Bourse ANDRA
<b>DUVINAGE ISABELLE (J.L. MALLET)</b>	Supervised automatic fault modeling from autopicked horizons. 1999. Bourse INPL
<b>EULER NICOLAS (J.L. MALLET)</b>	Mise à jour rapide du Modèle 3D. 2000.
<b>GALY ALBERT (C. FRANCE-LANORD, M. CHAUSSIDON)</b>	Erosion physique et chimique de l'Himalaya : Bilan et traçage isotopique des zones d'érosion. 1998. BDI co-financée par la Région Lorraine

<b>GEORGES PEGGY</b> (G. LIBOUREL)	Equilibre et déséquilibre entre liquide et métal. 1999. Bourse MENRT
<b>HUMBERT FRANCK</b> (G. LIBOUREL ET B. MARTY)	Solubilité de l'azote dans les liquides basaltiques. 1998. Bourse MENRT
<b>LECOUR MAGALI</b> (J.L. MALLET)	Failles : études des incertitudes concernant leur position, leur forme et leur rejet. 1999. BDI CNRS
<b>LEVY BRUNO</b> (J.L. MALLET)	Modélisation des propriétés attachées à des surfaces et volumes complexes. 1999. BDI entreprise
<b>MARIEZ OLIVIER</b> (J.L. MALLET)	Modélisation de solides : vers une synthèse des modèles à base de surfaces non-manifold et de l'analyse d'image 3D. 1998. Bourse INPL
<b>PAIRAZIAN KAREN</b> (J.L. MALLET)	Caractérisation 3D de réservoirs pétroliers à partir des données sismiques et géologiques. 1998.
<b>PIERSON-WICKMANN ANNE-CATHERINE</b> (L. REISBERG)	Contribution des rivières à l'évolution du rapport isotopique d'osmium des océans. 1998. Bourse MENSUR
<b>ROLLION CLAIRE</b> (C. FRANCE-LANORD ET M. CHAUSSIDON)	Analyse isotopique (B, C, O) à la sonde ionique Cameca ims 1270 : développement de nouveaux marqueurs des paléoenvironnements. 1999. BDI
<b>ROSE ESTELLE</b> (M. CHAUSSIDON)	Le cycle du bore entre croûte continentale et eau de mer. 1998. Bourse MENSUR
<b>ROUMET-MAIERON CATHERINE</b> (G. LIBOUREL)	Etude de la coloration et de l'état d'oxydo-réduction dans la pâte de verre DAUM. 1999. Financement Daum
<b>SEGONDS DAVID</b> (J.L. MALLET)	Paramétrisations surfaciques et volumiques. 1998. Bourse IFP
<b>SOUHASSOU MUSTAPHA</b> (C. MARIGNAC)	Les fluides de la faille d'Argentat (Limousin) dans le cadre du programme GéoFrance 3D. 2000.
<b>TISSANDIER LAURENT</b> (G. LIBOUREL ET M. CHAUSSIDON)	Compositions chimiques et isotopiques des minéraux condensés dans un plasma : conséquences pour le milieu interstellaire et la formation du système solaire. 2000. Bourse INPL
<b>VALLE NATHALIE</b> (G. LIBOUREL)	Traçage isotopique de l'altération du verre de confinement des déchets nucléaires par $^{29}\text{Si}$ et $^{18}\text{O}$ . 2000. Bourse INPL
<b>VELTEN WOLFGANG</b> (J.L. MALLET)	Raytracing in 3D media. 1998. Bourse INPL
<b>WISEUR SOPHIE</b> (J.L. MALLET)	Simulation stochastique de sédiments fluviaux. 1999. Bourse INPL



# THÈSES SOUTENUES

## 1998

- Chaussidon M (1998)** Cosmochimie et géochimie du bore. Habilitation à Diriger des Recherches : I.N.P.L., Nancy. 262p.
- France-Lanord C (1998)** L'érosion himalayenne et son effet global : l'enregistrement sédimentaire du Cône du Bengale. Habilitation à Diriger des Recherches : I.N.P.L., Nancy.
- Rajabzadeh M. (1998)** Minéralisation en chrome et éléments du groupe du platine dans les ophiolites d'Assemion et de Neyriz, ceinture du Zagros, Iran. Thèse I.N.P.L., Nancy. 357p.
- Sterpenich J (1998)** Altération des vitraux médiévaux. Contribution à l'étude du comportement à long terme des verres de confinement. Thèse UHP - Nancy I.

## 1997

- Aïssa D. (1997)** Les minéralisations tertiaires de l'Edough (NE Algérie) : métallogénie d'un «metamorphic core complex» Miocène. Thèse I.N.P.L., Nancy. 306p.
- Aït Malek H (1997)** Pétrologie-Géochimie et Géochronologie U-Pb d'associations acide-basiques : exemples du SE du Velay (Massif Central français) et de l'Anti-Atlas occidental (Maroc). Thèse I.N.P.L., Nancy. 262p.
- Arnaud F (1997)** Analyse structurale et thermo-barométrique d'un système de chevauchement varisque : Les Cévennes centrales (Massif Central français). Microstructures et mécanismes de déformation dans les zones de cisaillement schisteuses. Thèse I.N.P.L., Nancy.
- Charoy N (1997)** Les résidus d'épuration des fumées d'incinération de déchets industriels et leur stabilisation par des liants hydrauliques : étude chimique, minéralogique et comportementale. Thèse I.N.P.L., Nancy.
- De Mesquita Barros C. (1997)** Pétrologie et structure du complexe granitique Estrela (2.5Ga) et de son encaissant métavolcano-sédimentaire (Province Métallifère de Carajás, Brésil). Thèse I.N.P.L., Nancy.
- Gérard B (1997)** Modélisation 3D des transferts de chaleur et de fluide dans les formations sédimentaires. Application aux réacteurs d'Oklo (Gabon). Thèse I.N.P.L., Nancy.
- Giuliani G (1997)** Genèse des gisements d'émeraude du Brésil et de Colombie. Habilitation à Diriger des Recherches INPL, Nancy. 147p.
- Hanon P (1997)** Cosmochimie des éléments légers (H, C, & Li-Be-B) : étude par sonde ionique des chondres des météorites. Thèse I.N.P.L., Nancy.
- Libourel G (1997)** Verres et liquides silicatés. Exemples de recherches fondamentales et appliquées. Habilitation à Diriger des Recherches UHP - Nancy I.

**Mahé-Le Carlier C (1997)** Caractérisation pétrographique et chimique d'analogues de déchets vitrifiés actuels : Les scories de la métallurgie ancienne. Etude de leur altération naturelle et expérimentale. Thèse I.N.P.L., Nancy. 337p. + annexes.

**Ribeiro-Althoff AM (1997)** Datation des minéralisations d'émeraude du Brésil par les méthodes K-Ar et  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ . Mise en évidence d'âges Transamazonien (2 Ga) et Brésilien (650-500Ma). Influence de la cristalochimie de la phlogopite sur la rétention de l'argon. Thèse I.N.P.L., Nancy. 214p.

## 1996

**Aillères L (1996)** Structure et cinématique de la Zone Houillère Briannonnaise entre Arc et Isère (Alpes françaises) : Apport de l'inversion des données de la déformation finie aux modèles cinématiques classiques. Thèse I.N.P.L., Nancy, 137p. + annexes.

**Althoff F (1996)** Etude pétrologique et structurale des granitoïdes de Marajoara (Pará, Brésil) : leur rôle dans l'évolution archéenne du craton amazonien (2.7 - 3.2 Ga). Thèse UHP - Nancy 1.296p.

**Boushaba A (1996)** Le massif granitique du Ment (Maroc Central hercynien) dans son contexte tectono-magmatique régional, et les manifestations hydrothermales associées. Thèse I.N.P.L., Nancy. 306p. + annexe.

**Cognot R (1996)** La méthode D.S.I. : Optimisation, Implémentation et Applications. Thèse I.N.P.L., Nancy.

**Diop Bineta C (1996)** Structures et circulations de fluides dans un avant-pays synchisteux : le système de chevauchements des Mauritanides du Sénégal. Thèse I.N.P.L., Nancy. 174p.

**Le Forestier L (1996)** Résidus ultimes de l'incinération de déchets ménagers. Caractérisation chimique et minéralogique, essais de stabilisation par vitrification et comportement des verres à la lixiviation. Thèse I.N.P.L., Nancy.

**Rakotomanana D (1996)** Potentiel métallogénique des complexes mafiques-ultramafiques de Madagascar. Thèse I.N.P.L., Nancy.

**Valle Pinto-Coelho C (1996)** Evolution magmatique et hydrothermale du Massif granitique de Serra Branca - Etat de Goiás - Brésil: Définition des processus d'altération post-magmatiques en liaison avec les minéralisations en Sn, Be et F. Thèse I.N.P.L., Nancy. 230p.

## 1995

**Aït Ettajer T (1995)** Modélisation de surfaces géologiques complexes sous contraintes géométriques. Thèse I.N.P.L., Nancy.

**Cases-Collet S (1995)** Gestion automatique des relations entre modules : application à la CAO. Thèse I.N.P.L., Nancy.

**Febvay-Choffel L (1995)** Etude des macheders résultant de l'incinération des déchets industriels : stabilité et traitement. Thèse I.N.P.L., Nancy.

**Firdaous K (1995)** Etude des fluides dans une zone sismogénique fossile : les gisements aurifères mésothermaux archéens de Val d'Or, Abitibi, Québec. Thèse I.N.P.L., Nancy. 370p.

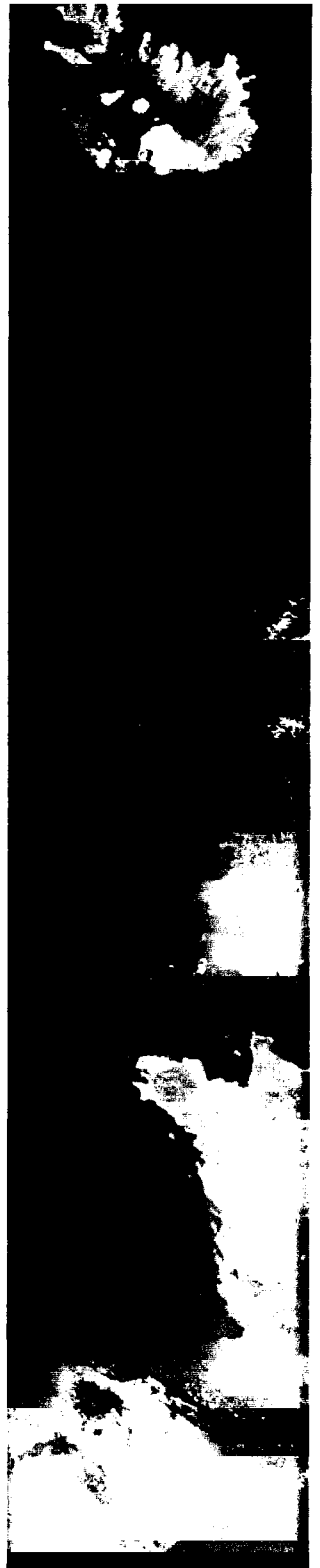
**Jabbori J (1995)** Etude pétrographique et structurale des migmatites de la bordure sud-est du dôme anatectique du Velay (Ardèche, Massif Central français). Thèse I.N.P.L., Nancy. 262p.

# DEVENIR DES ÉTUDIANTS

THÉSARDS AYANT SOUTENU ENTRE 1995 ET 1998

<b>AILLÈRES LAURENT</b>	Stage post doctoral puis emploi contractuel à Monash University (Melbourne, Australie).
<b>AÏSSA DJAMAL</b>	Enseignant à l'Univ. STHB à Alger.
<b>AIT ETTAJER TAOUFIK</b>	Contrat dans le cadre du consortium GOCAD.
<b>AÏT MALEK HALIMA</b>	Sans emploi
<b>ALTHOFF FERNANDO</b>	Maître de Conférence à l'Université de Sao Leopoldo (RS, Brésil).
<b>ARNAUD FLORENCE</b>	Prolongation de contrat BRGM
<b>BOUSHABA ABDELLAH</b>	Emploi au Maroc.
<b>CASES-COLLET SYLVIE</b>	CDI BEICIP, Paris.
<b>COGNOT RICHARD</b>	Contrat dans le cadre du consortium GOCAD.
<b>CONRAUD JOEL</b>	Contrat dans le cadre du consortium GOCAD.
<b>DIOP-BINETA CATHERINE</b>	Enseignement secondaire aux U.S.A..
<b>FEBVAY-CHOFFEL LAURENT</b>	EMC-Services.
<b>FICHTL PATRICK</b>	CDI à SMEDVIG Technologies (UK)
<b>FIRDAOUS KARIMA</b>	Sans emploi.
<b>GÉRARD BENOÎT</b>	CDI Gaz de France à Rueil-Malmaisons
<b>HANON PASCAL</b>	Stage post-doctoral au Tokyo Institute of Technology puis poste de chercheur contractuel à l'Université de Berne
<b>JABBORI JAMILA</b>	SAMINE El Hammame, Maroc.
<b>KOLLI OMAR</b>	Enseignant à l'Univ. STHB à Alger.
<b>LAVEST PASCAL</b>	CDI Gaz de France, Paris.
<b>LE FORESTIER LYDIE</b>	ATER à l'UHP-Nancy1, puis à l'ENSG-INPL
<b>MAHÉ CÉCILE</b>	Prolongation de contrat ADEME
<b>DE MESQUITA BARROS CARLOS</b>	Maître de Conférence à l'Université de Para à Bélem (Pa, Brésil)
<b>RAJABZADEH MOHAMAD</b>	Retour sur son poste à l'Université de Tehéran (Iran)
<b>RAKOTOMANANA DOMINIQUE</b>	Retour sur son poste à Madagascar
<b>RIBEIRO-ALTHOFF ANA MARIA</b>	Emploi contractuel à l'Université de Sao Leopoldo (RS, Brésil)
<b>SAMSON PHILIPPE</b>	CDI Elf-Aquitaine à Pau.
<b>STERPENICH JÉRÔME</b>	Préparation d'un stage post-doctoral au CRPG
<b>VALLE PINTO CRISTINA</b>	Emploi contractuel au Brésil.

# LES SERVICES



# SARM :

## RÉSUMÉ DES ACTIVITÉS 1996-1997

Ce résumé des activités du SARM est tiré du rapport annuel d'activité 1997 qui présente les différentes actions ayant été prises dans le cadre d'une restructuration du Service d'Analyse.

### RESTRUCTURATION

Depuis février 1996, à la demande du comité de gestion CNRS du SARM ainsi que du Directeur du CRPG, John Ludden, le nouveau responsable du SARM (Jean Carignan) s'est affairé à établir un plan de restructuration concernant différents aspects du fonctionnement du Service, soit: les prestations offertes, la tarification, les tâches et responsabilités des différents agents, la gestion de la collection de «géostandards», le budget, la recherche et les développements analytiques ainsi que l'investissement instrumental. Dans ce cadre, un document de travail concernant cette restructuration et faisant état de la situation entre 1993 et 1996 fut présenté lors de la réunion du comité de gestion à Paris, en décembre 1996. Ce document fut reçu favorablement par les membres du comité et suscita un certain nombre de demandes telles que 1) l'élaboration d'un plan quinquenal concernant l'équipement mi-lourd et le renouvellement des ITA; 2) une politique de gestion de la collection de «géostandards» en concertation avec l'IAG (International Association of Geoanalysts) qui vu le jour en juin 1997; 3)

l'établissement de documents financiers clairs ainsi qu'une proposition de fonctionnement budgétaire entre le SARM et SDU/INSU.

Le comité de gestion du Service s'est réuni en octobre 1997 à Lyon afin de prendre connaissance des actions ayant été prises concernant ces différentes demandes. En janvier 1997, le SARM a soumis à l'INSU le budget détaillé de 1996 afin de pouvoir justifier sa demande de soutien de base annuel, qui sera désormais bien identifié sur les quotations du soutien du CRPG. Dans un même temps, le SARM propose à l'INSU différents modes de fonctionnement budgétaire avec une préférence pour un budget «planifié» sur 5 ans, en accord avec un plan quinquenal, aussi soumis par le SARM à l'INSU. De plus, la nouvelle tarification des services offerts par le SARM fut ratifiée par le service financier du CNRS. Ces nouveaux tarifs, calculés selon le travail et les dépenses de 1995-1996, sont valables pour 1997-1998 au moins. De façon générale, les propositions budgétaires du SARM furent bien reçues par le comité de gestion.

### PRESTATIONS DE SERVICE

La charge de travail du SARM en 1997 fut sensiblement la même qu'en 1996 avec une légère diminution (~5%) du nombre total d'unités d'oeuvre (UO). Par contre, en quantité

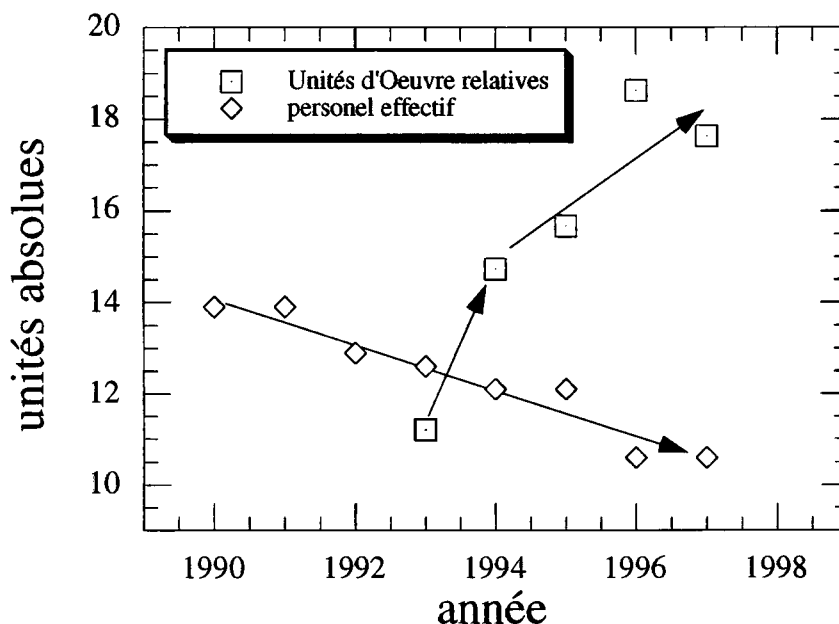
d'échantillons analysés, cette diminution n'est que de 2,8%, résultant en un enregistrement mensuel moyen de 484 échantillons en 1997 par rapport à 498 échantillons en 1996. La charge de travail

annuelle du SARM a augmenté de façon impressionnante depuis les cinq dernières années. En effet, on note une augmentation totale de l'ordre de 57% de la charge de travail entre 1993 et 1997.

La figure 1-SARM illustre le cheminement de cette augmentation avec les années. Il est intéressant de noter l'évolution inverse observée pour le personnel effectif affecté au Service d'Analyse depuis 1990.

**Figure 1-SARM.**

Diagramme illustrant l'augmentation du nombre de UO du SARM depuis 1993 parallèlement à la diminution du personnel effectif affecté au Service d'analyse (incluant Colette Gaudé de Géostandard Newsletter) depuis 1990.



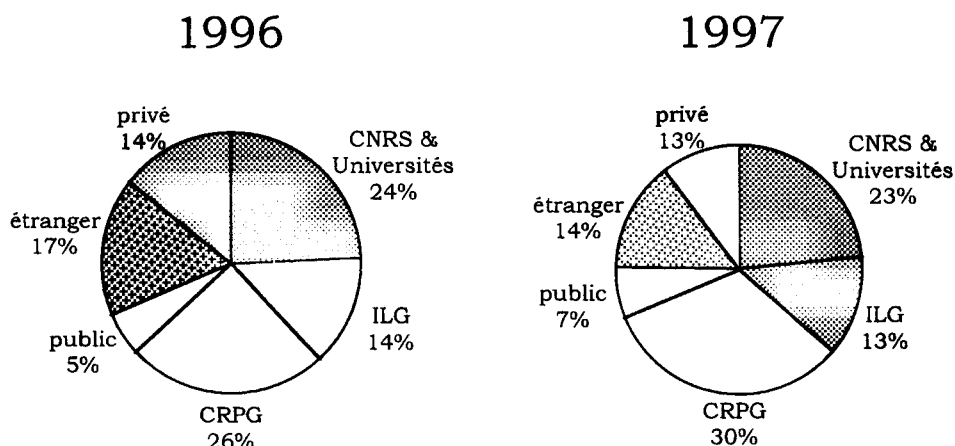
La nature des demandes d'analyses et des échantillons en 1997 s'intègre bien dans l'évolution notée dans le document de travail présenté au comité en décembre 1996. Les échantillons à caractère «environnemental» représentent toujours un pourcentage significatif des échantillons analysés (>20%). Le SARM a été maître d'oeuvre pour la préparation et la caractérisation de deux matériaux de référence pour l'analyse chimique de ce genre d'échantillons pour le compte d'une société française. Plus de 65 à 70% des échantillons à analyser restent des roches, pour la plupart à matrice silicatée. Les difficultés les plus souvent rencontrées concernant l'analyse de roches sont celles de la petite quantité d'échantillon disponible et l'analyse d'éléments présents en très faible teneur

que l'on veut doser avec une précision acceptable (5-15% d'erreur sur la reproductibilité et la justesse).

Les diagrammes de la figure 2-SARM illustrent la source des demandeurs pour les analyses effectuées au SARM pour les années 1996 et 1997. La répartition est sensiblement la même pour les deux années, à l'exception d'une augmentation substantielle du travail fait pour le CRPG, principalement aux dépens du secteur étranger. Les autres secteurs combinés, soit: CNRS (incluant ILG) - Universités françaises - Public, restent à 43% de la charge de travail pour 1996 et 1997. Le secteur privé reste stable de 1996 à 1997 avec 13% du travail.

**Figure 2-SARM.**

Diagrammes illustrant la source des demandeurs pour les analyses effectuées au SARM pour les années 1996 et 1997



## LES GÉOSTANDARDS

Suite au départ de M. Govindaraju, à la dissolution de son Groupe International de Travail (IWG-GIT) et à la dissociation des «géostandards» et de la revue *Geostandard Newsletter*, il nous a fallu, à la fois restructurer la gestion de la collection de géostandards du CRPG et redéfinir une politique de préparation et caractérisation de nouveaux échantillons de référence. Lors de la réunion de *GEOANALYSIS 97* à Vail (Colorado) en juin 1997, Jean Carignan s'est mis d'accord avec l'IAG sur une politique de gestion et de tarification des géostandards ayant été préparés au CRPG sous la

coupe de K. Govindaraju et de l'ANRT et l'IWG-GIT. J. Carignan est membre de l'IAG et de son conseil d'administration (Council) et fait partie d'un sous-comité (présidé par Jean Kane) chargé de faire des recommandations à la communauté des géoanalystes au niveau des priorités et des procédures de caractérisation de nouveaux matériaux de référence, mais aussi pour la recalibration (s'il y a lieu) de matériaux déjà existants. De plus, J. Carignan présidera le comité d'organisation de la prochaine réunion de *GEOANALYSIS 2000* à Nancy.

## RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT

En ce qui concerne les orientations scientifiques (recherche et développement), le SARM, toujours à l'écoute des nouvelles demandes et des besoins de la communauté géoscientifique, possède ses propres programmes. Le plus important est celui du développement de méthodes pour l'analyse des «ultra-traces» avec son ICP-MS nouvelle génération. Le projet de développement analytique principal est la mise au point de procédures automatiques pour la séparation et préconcentration d'éléments, de groupes d'éléments et d'espèces ioniques par chromatographie liquide avant l'analyse par ICP-MS. Parmi les éléments à l'étude (Terres Rares, U, Th, Nb, Ta, Cd, Bi, In, Sc, Tl, Te, Pt, Pd, Au, Ag, Re), le quart environ n'est actuellement pas dosé par ICPMS au SARM, à cause de leur trop faible teneur ou de certaines interférences isobariques avec d'autres éléments ou molécules.

De plus, pour les autres éléments, la limite de quantification sera considérablement abaissée, d'un facteur 10 à 100. L'analyse de ces éléments peut être appliquée à la pétrologie, la géochimie, la métallogénie ainsi qu'en science de l'environnement.

Par l'IAG et les géostandards, le SARM tente de s'impliquer de plus en plus au niveau national et international, en ce qui concerne la technique d'analyse et la caractérisation de matériaux géologiques de référence pour l'analyse géochimique. Une interaction scientifique forte existe déjà entre le SARM et les chercheurs du CRPG et de l'ILG, mais commence aussi à s'installer avec des chercheurs d'autres laboratoires CNRS et universitaires. Pour ce, la présence du SARM à différentes manifestations géoscientifiques françaises et internationales est non seulement nécessaire, mais primordiale.

## AUTRES ACTIVITÉS

Le SARM poursuit toujours ses efforts de «visibilité» auprès de la communauté géoscientifique française et internationale, tant par la participation de ses agents à différents ateliers et congrès, que par la diffusion de plaquettes publicitaires. En plus des prestations habituelles de service, le SARM a des projets de collaboration

scientifiques avec des chercheurs ainsi qu'avec des sociétés privées. Le SARM a accueilli plusieurs stagiaires techniques (IUT, BTS) et stagiaires DEA en 1997.

Dans la continuité des réalisations dans le domaine de l'automatisation des procédures de préparation et d'analyse faites au SARM depuis

plusieurs années, nous avons le projet d'augmenter le potentiel du réseau informatique. Dans les années à venir, nous voulons pouvoir, non seulement centraliser la banque de données des deux laboratoires, mais aussi aller chercher les

informations sur tous les ordinateurs, qu'ils soient ou non couplés à des appareils. Dans le cadre de ce projet, un nouveau programme (Visual Basic) de gestion des échantillons sera fait.

## **RESPONSABLE**

Jean Carignan



# SERVICE NATIONAL DE LA SONDE IONIQUE

Dans sa demande d'acquisition d'une sonde ionique à grande sensibilité (Cameca IMS 1270) en 1991, le CRPG avait proposé qu'une partie du temps d'utilisation de cet instrument soit géré en service national. Un an après l'installation de la sonde à Nancy, qui s'est achevée en juin 1997, ce service national démarre en douceur, en parallèle avec la montée en puissance des capacités analytiques de l'instrument. Il est encore trop tôt pour présenter un bilan de ce service national, mais nous présenterons ici l'état de développement de l'instrument en juin 1998, et quelques perspectives.

## INSTALLATION DE LA SONDE IONIQUE CAMECA IMS 1270 AU CRPG.

Pour évaluer les échéances actuelles, il est important de les situer dans le contexte global de cette acquisition. L'acquisition d'une sonde Cameca IMS 1270 pour le CRPG a été décidée par l'INSU en 1991, et le marché signé début 1992, prévoyant la livraison début 1995 du 1270 n° 2. A l'époque, Cameca n'avait pas encore fabriqué ce type d'instrument, et nous avons ainsi participé à la définition du cahier des charges de l'appareil. En 1994, les retards de financement ont reculé à avril 96 la livraison du 1270 n°4. Finalement les retards pris par Cameca, notamment dans le développement de la multicollecion, ont retardé la livraison du 1270 n°5 à décembre 1996.

L'assemblage et le câblage de l'instrument ont pris 3 mois, les tests ont commencé en avril 1997. Après un mois de formation et divers tests, plusieurs problèmes ont été identifiés :

- sur le système de mesure en multicollecion

dont nous avons le premier exemplaire (mouvement des fentes de sortie inopérant et absence des petits multiplicateurs d'électrons permettant la mesure des masses élevées proches, telles que les isotopes du plomb).

- sur l'informatique de contrôle de l'instrument, problèmes avec l'acquisition d'image et le pilotage de la multicollecion (dont nous avons le premier prototype).

- sur le système de mesure en monocollection, ampli-discriminateur peu performant.

Cameca a pris en compte ces problèmes, mais ils ont forcément retardé un certain nombre de développements. Une version mécanique opérationnelle de la multicollecion ne sera installée qu'en septembre 1998, ainsi que de nouveaux détecteurs et un logiciel corrigé et rajeuni (Migration sous système SOLARIS 2.5).

## ÉTAT ACTUEL DE L'IMS 1270 ET DÉVELOPPEMENTS RÉALISÉS

Le fonctionnement général de l'instrument en monocollection est maintenant satisfaisant. Au cours de cette première année, nous avons rencontré quelques problèmes avec l'électronique de contrôle, mais commencé à acquérir le savoir faire

pour réparer l'instrument sans intervention du fabricant, ce qui représente des gains de temps importants. L'apprentissage et le développement des procédures d'alignement des différents faisceaux (source à Oxygène  $O^-$  ou  $O_2^-$ , source à

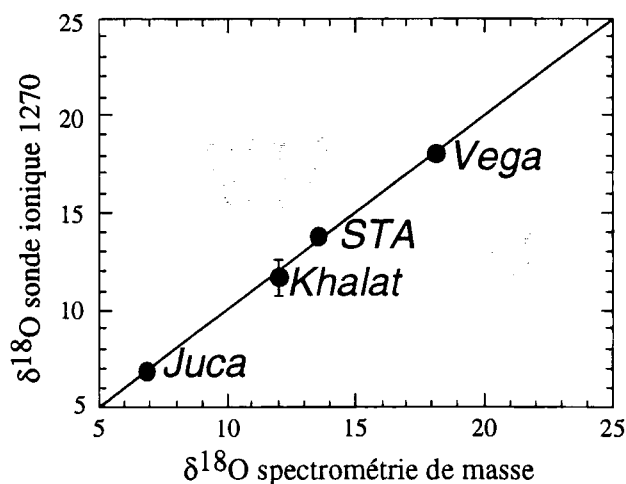
Césium, faisceau ponctuel ou projeté, canon à électron, transmission secondaire optimisée) évolue positivement. Il y a actuellement deux chercheurs, un technicien et deux étudiants en thèse possédant une réelle autonomie pour les réglages de l'instrument. Ceci nous a permis d'une part de réaliser sur l'IMS 1270 avec une meilleure sensibilité des mesures isotopiques déjà développées sur l'IMS 3f (H, B, ...), d'autre part de développer ou de commencer à développer de nouvelles mesures : Oxygène dans les quartz et les émeraudes (figures 1 et 2-sonde 1270), U-Pb dans les Zircons (figure 3-sonde 1270), acquisition d'images à haute résolution (isotopes O, C, S), mesures à très haute résolutions de masse (> 20 000).

L'état actuel des développements analytiques nous a amenés à proposer d'ouvrir dès l'été 1998 notre instrument en service national une semaine par mois pour des mesures isotopiques de l'Oxygène et les datations U-Pb (cf. figures 1 et 2,

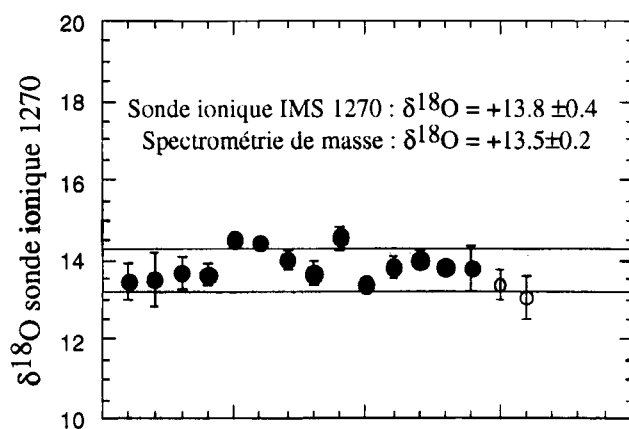
et appel d'offre INSU pour l'utilisation des instruments nationaux).

La multicollection n'est pas installée définitivement et les fentes ajustables ne sont plus motorisées. Nous avons donc une résolution de masse fixée à 6000 pour l'instant. La configuration actuelle comprend 4 cages de Faraday, 2 Multiplicateurs ETP (classiques), 1 multiplicateur miniaturisé Hamamatsu. Plusieurs tests ont été réalisés en juin, août et septembre 97 sur ce système de mesure (De Chambost et al, SIMS X ), en mesurant les compositions isotopiques de Si, Mg et O. Ces tests réalisés en mode multi-cages de faraday ont montré un fonctionnement performant, permettant d'obtenir une précision statistique de quelques  $10^{-4}$  en quelques minutes de comptage.

La possibilité de mesure avec différents types de détecteurs a été vérifiée, ( $^{16}\text{O}$  en faraday et  $^{17}\text{O}$  et  $^{18}\text{O}$  en multi), mais à cause des modifications à venir, nous n'avons pas cherché à développer ces analyses en routine.

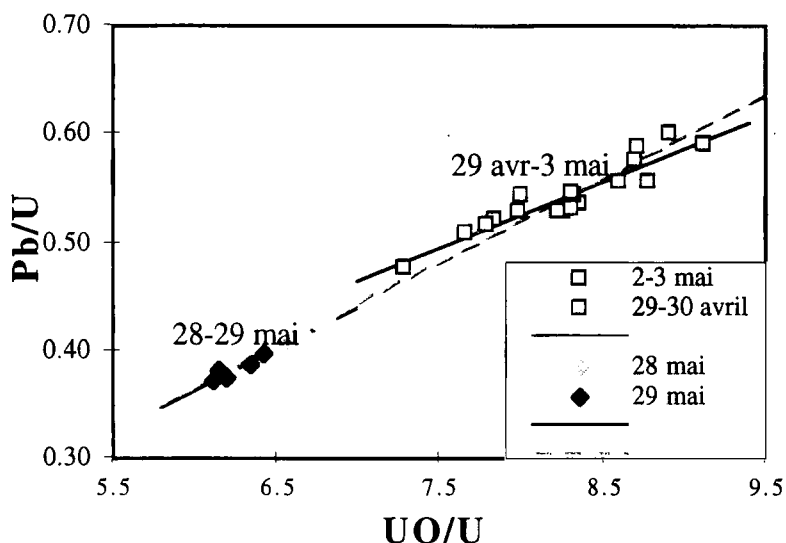


*Figure 1-sonde 1270 :* Mesure avec la sonde ionique IMS 1270 des compositions isotopiques de l'oxygène dans des émeraudes (exprimées en  $\delta^{18}\text{O}$ ).



*Figure 2-sonde 1270 :* Reproductibilité des mesures de composition isotopique de l'oxygène sur les émeraudes par microsonde ionique IMS 1270.

## Calibration des mesures U-Pb sur Zircon



*Figure 3-sonde 1270* : Calibration des mesures U-Pb sur zircons. L'ensemble des mesures sur le standard G91500 du CRPG montre une bonne stabilité sur une période d'un mois. Les variations du rapport  $UO/U$  sont liées à 2 paramètres : l'état de charge de l'échantillon et la pression en  $O_2$  dans la source. La transmission obtenue pour le plomb lors de ces mesures (17cps/nA/ppm) est similaire à celle des autres grands instruments dans le monde (SHRIMP ou IMS 1270).

## PROCHAINS DÉVELOPPEMENTS

Les derniers développements instrumentaux doivent être mis en place en Septembre 1998, avec le montage d'une version opérationnelle de la multicollection. Il ne restera alors que quelques problèmes annexes à résoudre, tels que la mise en conformité électromagnétique de l'instrument (pour lui assurer une meilleure protection), l'éclairage des échantillons en lumière transmise (insuffisant actuellement), ou l'ajout d'un mouvement en z de l'échantillon (pour assurer une

meilleure stabilité des réglages lors des déplacements ou des changements d'échantillons).

Du point de vue analyses, outre le développement des mesures en multicollection, les principaux développements projetés sont les mesures isotopiques de O, C, Sr sur différentes matrices (carbonate, silicate, graphite ...), l'acquisition d'images ioniques (éléments traces ou isotopes), et la recherche d'anomalies isotopiques dans les météorites.

## RESPONSABLES

Marc Chaussidon  
Étienne Deloule

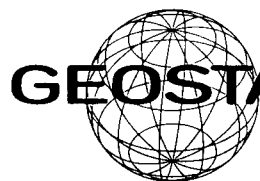


Vol. 21 - N° 1

06  
97

# GEOSTANDARDS NEWSLETTER

The Journal of Geostandards  
and Geoanalysis



# GEOSTANDARDS NEWSLETTER

The Journal of Geostandards and Geoanalysis

## Contents

Editorial - **Philip J. Potts and Mireille Polvé.** › 5

Analytical procedures for the measurement of boron isotope compositions by ion microprobe in meteorites and mantle rocks  
**Marc Chaussidon, François Robert, Denis Mangin, Pascal Hanon and Estelle F. Rose.** › 7

Re-Os isotopic measurements at the femtomole level in natural samples  
**Jean Louis Birck, Matthieu Roy Barman and Françoise Capmas.** › 19

How representative of the bulk composition is the surface analysis of a silicate rock by portable X-ray fluorescence? An investigation of the effects of critical penetration depth, source excitation characteristics and sample mineralogy  
**Philip J. Potts, Peter C. Webb and Olwen Williams-Thorpe.** › 29

Low level analysis of lanthanides in eleven silicate rock standards by ICP-MS after group separation using cation exchange chromatography  
**Christian Pin and Sylviane Joannon.** › 43

ISO guidelines for reference material certification and use  
**Jean S. Kane and Philip J. Potts.** › 51

Sixteen statistical tests for outlier detection and rejection in evaluation of international geochemical reference materials: example of microgabbro PM-S  
**Surendra P. Verma.** › 59

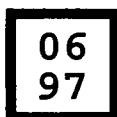
Cd, Gd and Sm concentrations in BCR-1, BHVO-1, BIR-1, DNC-1, MAG-1, PCC-1 and W-2 by isotope dilution mass spectrometry  
**Daphne G. Sands and Kevin J.R. Rosman.** › 77

Determination of As, Bi, Sb, Se and Te in fifty five geochemical reference materials by hydride generation ICP-MS  
**Gwendy E.M. Hall and Jean-Claude Pelchat.** › 85

Determination of molybdenum in fifty three geochemical reference materials by flameless atomic absorption spectrometry  
**Shigeru Terashima.** › 93

Determination of zirconium in carbonate rock reference materials with xylenol orange spectrophotometric method  
**Takashi Okai.** › 97

Vol. 21 – N°1



Edited and published by the  
Association Scientifique pour  
la Géologie et ses Applications  
(Rue du Doyen Marcel Roubault, BP 40,  
54501 Vandœuvre-lès-Nancy Cedex)  
with the assistance of the Centre  
National de la Recherche Scientifique



Address › GEOSTANDARDS, C.R.P.G.  
15, rue Notre-Dame des Pauvres  
BP 20  
54501 Vandœuvre-lès-Nancy  
(France)

Tél › +33 3 83 59 42 18  
Fax › +33 3 83 51 17 98  
E-mail › [geostan@crpg.cnrs-nancy.fr](mailto:geostan@crpg.cnrs-nancy.fr)

Directeur de la publication ›  
J. N. Ludden

dépôt légal n° 445  
issn 0150-5505



**GEOSTANDARDS**  
**NEWSLETTER**  
The Journal of Geostandards and Geoanalysis

Contents (cont.)

- Chemical characterisation of NIST silicate glass reference material SRM 610 by ICP-MS, TIMS, LIMS, SSMS, INAA, AAS and PIXE  
**Alexander B.E. Rocholl, Klaus Simon, Klaus Peter Jochum, Frank Bruhn, Roland Gehann, Utz Kramar, Werner Luecke, Michael Molzahn, Ernst Pernicka, Michael Seufert, Bernhard Spettel and Jens Stummeier.** › 101
- A compilation of new and published major and trace element data for NIST SRM 610 and SRM 612 partially certified glass reference materials  
**Nicholas J.G. Pearce, William T. Perkins, John A. Westgate, Michael P. Gorton, Simon E. Jackson, Clive R. Neal and Simon P. Chenery.** › 115
- Four Chinese sulphide reference materials: preparation and certification  
**Daihong Luo, Jinwu Chen, Qier Bao, Junzhi Wang and Huijun Shen.** › 145
- Glossary of terms used to describe analytical systems and results  
**Philip J. Potts.** › 157
- Announcements › 162

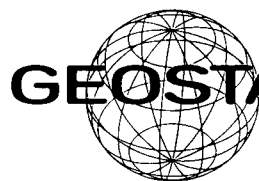
Cover Design BB communication  
CAP Colette Gaudé

Copyright 1997 Association Scientifique pour la Géologie et ses Applications, Vandœuvre-lès-Nancy, France.  
"Tous droits de traduction, d'adaptation et de reproduction totaux ou partiels, par tous procédés, sont expressément réservés pour tous pays et soumis à l'autorisation du Directeur de la publication."

Bien que les descriptifs expérimentaux et les informations dans cette revue s'avèrent vrais et exacts au moment de la publication, les auteurs, les éditeurs et la maison d'édition se dégagent de toute responsabilité légale vis-à-vis des erreurs ou omissions pouvant s'être glissées dans la publication. L'éditeur n'accorde aucune garantie au sujet du contenu ci-inclus."

"All rights reserved in all countries for translation, modification and reproduction in whole or in part by whatever means and subject to authorisation by the Managing Director."

While the experimental procedures and information in this journal are believed to be true and accurate at the time of going to press, neither the authors, the editors, nor the publisher can accept any legal responsibility for any errors or omissions that may be made. The publisher makes no warranty, express or implied, with respect to the material contained herein."



# GEOSTANDARDS NEWSLETTER

The Journal of Geostandards and Geoanalysis

## Contents

Guest Editorial - **Paul J. Sylvester and Tom E. McCandless** › 173

### Special Issue Section

The development of laser ablation ICP-MS and calibration strategies: examples from the analysis of trace elements in volcanic glass shards and sulfide minerals  
**William T. Perkins, Nicholas J.G. Pearce and John A. Westgate.** › 175

Ultra-trace element analysis of NIST SRM 616 and 614 using laser ablation microprobe inductively coupled plasma-mass spectrometry (LAM-ICP-MS): a comparison with secondary ion mass spectrometry (SIMS)  
**Ingo Horn, Richard W. Hinton, Simon E. Jackson and Henry P. Longerich.** › 191

Ultraviolet laser sampling and high resolution inductively coupled plasma-mass spectrometry of NIST and BCR-2G glass reference materials  
**Yann Lahaye, David Lambert and Steve Walters.** › 205

Analysis of Re, Au, Pd, Pt and Rh in NIST glass certified reference materials and natural basalt glasses by laser ablation ICP-MS  
**Paul J. Sylvester and Stephen M. Eggins.** › 215

UV laser ablation ICP-MS: some applications in the Earth sciences  
**Robert W. Nesbitt, Takafumi Hirata, Ian B. Butler and James A. Milton.** › 231

Preliminary investigation into the use of a high resolution inductively coupled plasma-mass spectrometer with laser ablation for bulk analysis of geological materials fused with  $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$   
**Magne Ødegård and Meike Hamester.** › 245

Pressure-dependence of rare earth element distribution in amphibolite- and granulite- grade gamets. A LA-ICP-MS study  
**Fernando Bea, Pilar Montero, Giorgio Garuti and Federica Zacharini.** › 253

Trace element analysis of natural gold by laser ablation ICP-MS: a combined external/internal standardisation approach  
**Tom E. McCandless, Mark E. Baker and Joaquin Ruiz.** › 271

Trace element determination of single fluid inclusions in quartz by laser ablation ICP-MS  
**Tom E. McCandless, David J. Lajack, Joaquin Ruiz and A. Mohammad Ghazi.** › 279

Vol. 21 – N° 2

12  
97

Edited and published by the  
Association Scientifique pour  
la Géologie et ses Applications  
(Rue du Doyen Marcel Roubault, BP 40,  
54501 Vandœuvre-lès-Nancy Cedex)  
with the assistance of the Centre  
National de la Recherche Scientifique



Address › GEOSTANDARDS, C.R.P.G.  
15, rue Notre-Dame des Pauvres  
BP 20  
54501 Vandœuvre-lès-Nancy  
(France)

Tél › +33 3 83 59 42 18  
Fax › +33 3 83 51 17 98  
E-mail › geostan@crpg.cnrs-nancy.fr

Directeur de la publication ›  
J. N. Ludden

dépôt légal n° 445  
issn 0150-5505

continued  
overleaf



# GEOSTANDARDS NEWSLETTER

The Journal of Geostandards and Geoanalysis

## Contents (cont.)

- Characterisation of memory effects and development of an effective wash protocol for the measurement of petrogenetically critical trace elements in geological samples by ICP-MS  
**Cathleen E. McGinnis, Jinesh C. Jain and Clive R. Neal.** , 289

### Regular Issue Section

- Suppression of matrix effects in ICP-MS by high power operation of ICP: application to precise determination of Rb, Sr, Y, Cs, Ba, REE, Pb, Th and U at ng g<sup>-1</sup> levels in milligram silicate samples  
**Akio Makishima and Eizo Nakamura.** , 307

- GeostandaRef Corner  
Geochemical Reference Sample Bibliography for 1996  
**Iwan Roelandts.** , 321

- Conference Report  
Geoanalysis 97  
**Jacinta Enzweiler.** , 341

- Book review , 344

- Authors' Guide , 345

- Index Volume 21, 1997 , 348

- Announcements , 350

Cover Design BB communication  
CAP Colette Gaudé

Copyright 1997 Association Scientifique pour la Géologie et ses Applications, Vandœuvre-lès-Nancy, France.  
"Tous droits de traduction, d'adaptation et de reproduction totaux ou partiels, par tous procédés, sont expressément réservés pour tous pays et soumis à l'autorisation du Directeur de la publication.

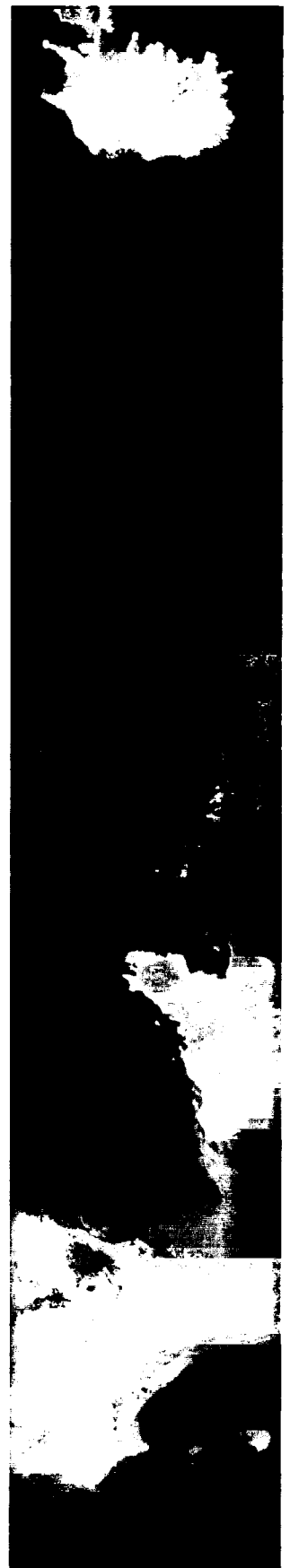
Bien que les descriptifs expérimentaux et les informations dans cette revue s'avèrent vrais et exacts au moment de la publication, les auteurs, les éditeurs et la maison d'édition se dégagent de toute responsabilité légale vis-à-vis des erreurs ou omissions pouvant s'être glissées dans la publication. L'éditeur n'accorde aucune garantie au sujet du contenu ci-inclus."

"All rights reserved in all countries for translation, modification and reproduction in whole or in part by whatever means and subject to authorisation by the Managing Director.

While the experimental procedures and information in this journal are believed to be true and accurate at the time of going to press, neither the authors, the editors, nor the publisher can accept any legal responsibility for any errors or omissions that may be made. The publisher makes no warranty, express or implied, with respect to the material contained herein."



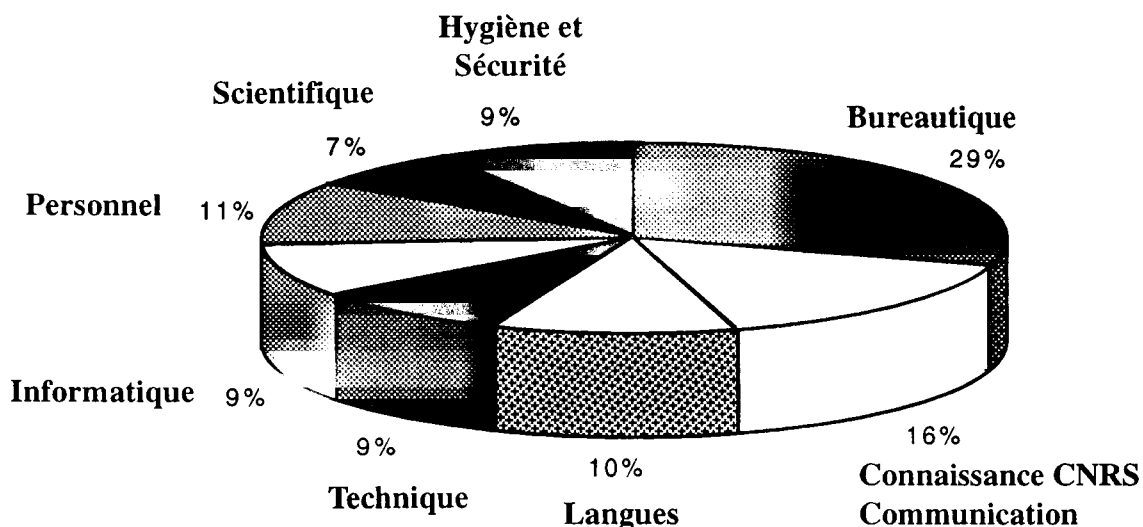
**LA FORMATION  
PERMANENTE**



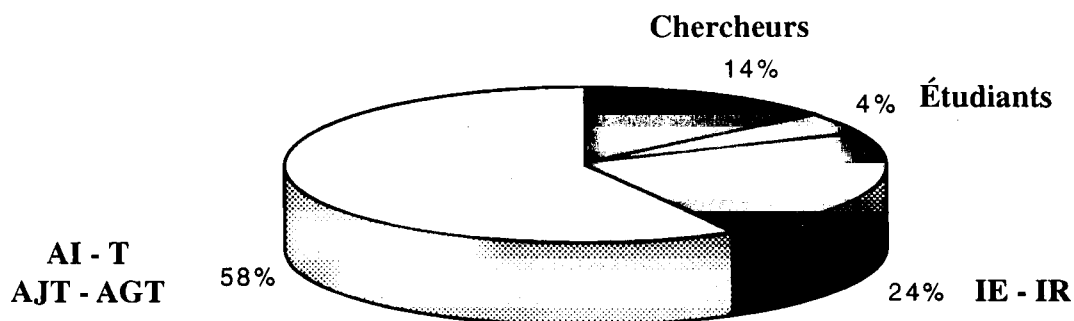
# FORMATION PERMANENTE

À chaque année de ce plan quadriennal, le CRPG a constitué un plan de formation. Cette tâche a été menée à bien par Jean-Louis Zimmermann jusqu'à la fin 1997, ce chercheur ayant fait valoir ses droits à la retraite pour 1998, Michel Champenois a pris en charge le rôle de Correspondant Formation.

Les actions de formation prises en charge par le CNRS sont en légère progression sur les quatre dernières années : 44 pour 1995, 48 pour 1996, 51 pour 1997 et 43 pour le premier semestre 1998. Ces différentes actions se répartissent en secteurs d'activité et vers les catégories d'agents fréquentant le CRPG comme montré sur les diagrammes ci-dessous :



## 186 STAGES DE FORMATION POUR LA PÉRIODE 1995 - JUIN 1998



À ce bilan des actions de formation assurées par la Délégation Nord-Est du CNRS, il convient d'ajouter quelques actions spécifiques menées par des agents CNRS du CRPG vers des étudiants ou des chercheurs. Il s'agit de formation à la manipulation d'instruments de mesure (sondes ioniques, spectromètres de masse ou ICP-MS) ainsi que l'initiation à un logiciel spécialisé dans le traitement de la bibliographie (Endnote) assurée par

la bibliothécaire du CRPG.

Cette année, encore, un plan de formation sera élaboré. Un accent sera particulièrement mis sur la définition des besoins des agents et la façon dont la formation peut y répondre. Un effort sera également fait sur les buts visés à travers les éventuelles actions de formation ainsi que sur les pré-requis nécessaires aux agents afin d'être en phase avec le déroulement de chaque stage.

## **RESPONSABLE - CORRESPONDANT RESSOURCES HUMAINES ET FORMATION**

Michel Champenois

**LE BILAN HYGIÈNE  
ET SÉCURITÉ**



# RAPPORT SUR L'HYGIÈNE ET LA SÉCURITÉ

Les risques rencontrés au CRPG sont de types et de natures différents et peuvent être classés en cinq rubriques principales :

- Chimiques
- Electriques
- Mécaniques
- Rayonnements ionisants
- Incendie

## LES RISQUES CHIMIQUES

Au CRPG cohabitent plusieurs laboratoires qui, de par leur activité, utilisent différents produits chimiques.

Le laboratoire de chimie minérale faisant partie du service d'analyse des roches et minéraux (SARM) faisant lui même partie du service national d'analyse utilise principalement des acides forts : acide fluorhydrique , acide perchlorique, acide nitrique ainsi que quelques solvants organiques.

Le laboratoire de spectrochimie, autre composante du SARM, n'utilise pas de produits particulièrement toxiques mis à part des acides comme de l'acide chlorhydrique et de l'acide nitrique. Ce laboratoire est équipé de hottes, mais comme celui de chimie minérale ne possède pas

Le laboratoire de géochimie isotopique, autre laboratoire spécifique du centre, est un laboratoire de recherches pures. C'est dans ce laboratoire que se trouve concentrée la majorité des risques chimiques. En effet, on utilise couramment des acides forts comme l'acide fluorhydrique , l'acide perchlorique, l'acide chlorhydrique et l'acide nitrique concentrés et distillés sur place pour des besoins de propreté. Pour de nouvelles méthodes

Ces produits sont stockés dans des locaux réservés à cet effet. Le laboratoire est équipé de hottes aspirantes de différents modèles mais pour un stockage sur le site de produits dangereux , il serait utile de disposer d'armoires de stockage ventilées.

d'armoires de stockage ventilées. Ce matériel étant cher , il serait bon , comme pour le plan sorbonnes, que le CNRS lance un plan armoires ventilées. Il est certain que cela contenterait beaucoup de laboratoires dans le monde de la chimie.

d'analyses isotopiques, on utilise également des produits dangereux tels que le brome liquide, des sels de chrome 6 , ainsi que des solvants ou alcools.

Outre ces produits, nous utilisons également au centre divers gaz comprimés en bouteille. Un laboratoire utilise en routine un gaz très dangereux, le monoxyde de carbone. Les bouteilles sont stockées à l'extérieur et ce laboratoire est équipé d'un détecteur avec transmission d'alarme sonore

et visuelle. Il doit prochainement s'équiper d'un système de coupure de l'alimentation en CO en cas de détection de ce gaz dans l'atmosphère du laboratoire.

En ce qui concerne l'élimination des résidus et

des produits chimiques usagés, nous avons un local de stockage à l'écart du centre. Le ramassage est effectué périodiquement, sur commande, par une société industrielle spécialisée dans le traitement final de ce genre de déchets.

## **RISQUES ÉLECTRIQUES**

Les risques électriques au CRPG ne résultent pas spécialement de l'installation de distribution du courant EDF car celle-ci a été entièrement remise aux normes il y a quatre ans. Les installations nouvelles et les modifications du réseau interne se font conformément à la législation en vigueur et sont réalisées par un personnel compétent et qualifié.

Là où il peut y avoir risque, c'est sur les équipements et développements utilisés en recherche car il est parfois difficile de concilier souplesse d'utilisation et recherche. Nous faisons en sorte que la plus grande rigueur et le plus grand professionnalisme soient de mise.

En fait, la majorité des risques électriques du

centre se retrouve sur l'appareillage analytique qui fait notre spécificité à savoir : spectromètres de masse et sondes ioniques. Pour les utilisateurs, en fonctionnement normal, il n'y a bien sûr aucun risque, mais pour le personnel de maintenance il n'en est pas de même.

On y rencontre des potentiels qui s'élèvent jusqu'à 20KV, en cas de pannes il est obligatoire de travailler sécurités enlevées, ce qui n'est pas sans risques.

De par la technicité du personnel qui effectue ces travaux de maintenance, des ingénieurs d'études, nous n'avons jusqu'à présent jamais eu d'incident ni d'accident à déplorer.

## **RISQUES MÉCANIQUES**

### **ATELIER DE MÉCANIQUE**

Au CRPG, nous possédons un atelier de mécanique équipé de machines outils classiques : tours, fraiseuse, perceuse radiale, tourets à meuler divers, postes de soudure....

Un audit réalisé par un cabinet spécialisé dans la sécurité des machines fait ressortir qu'en majorité, celles-ci sont non conformes.

Cette non conformité peut avoir pour raison des écarts de niveau de sécurité très différents qui vont du capot avec contact électrique interdisant le

fonctionnement d'un tour à un défaut de signalisation préconisant le port de lunettes ou signalant simplement que l'utilisation de la machine peut être dangereuse.

L'audit donnait une estimation de remise à niveau d'environ 100kF, 20 kF sont déjà prévus à cet effet à la délégation régionale et attendent un devis qui a été demandé pour la remise en conformité de toutes les machines de l'atelier de mécanique.

### **ATELIER DE MENUISERIE**

Nous possédons encore, dans un atelier de menuiserie, une scie à ruban et un combiné à bois multi-fonctions qui datent de l'ouverture du centre (1961). Ces machines déclarées non conformes ne sont plus utilisées car nous n'avons plus de

menuisier professionnel. Le coût de leur remise en conformité ainsi que leur dangerosité intrinsèque nous conduisent à nous en séparer et à les vendre par l'intermédiaire des domaines.

### **IMPRIMERIE**

L'audit nous a également signalé quelques déviations mineures en ce qui concerne la sécurité

sur des machines utilisées dans notre imprimerie. Nous comptons y remédier dans un avenir proche.

## AUTRES MACHINES

Le CRPG est un laboratoire de recherches à vocation géologique, aussi il est équipé de différentes machines remplissant ce rôle.

On peut citer : scies à pierre à disques diamantés, polisseuses, lapidaires, broyeurs de roches, carotteuses à trépans diamantés.

Ces machines pour certaines peu dangereuses, sont déjà en général assez conformes et ne demandent que des améliorations relativement simples pour être totalement aux normes. Malgré tout, pour ce type de machines très spécifiques il est difficile de se procurer un équipement dans le commerce et nous devons donc y remédier par nous même.

La mise en conformité a commencé et se poursuivra mais il est à noter que le personnel pouvant exécuter ce travail est peu nombreux. Le dynamisme du centre tant en recherches qu'en travaux neufs ou d'entretien fait qu'il est difficile

de mobiliser ce personnel pour ces tâches. Ceux de mise en conformité n'étant pas ce que l'on pourrait appeler du travail standard d'entretien, le temps mis pour l'exécuter peut être assez long et n'est pas sans perturber le fonctionnement du centre. Néanmoins, tout l'équipement sera progressivement remis en conformité avec les normes de sécurité.

Ce facteur temps peut se justifier par le fait que la réglementation dit : si une machine non conforme mais nécessaire au service ne peut être requalifiée soit parce que le matériel est introuvable ou parce que sa remise en état est trop onéreuse, il est possible de l'utiliser si et seulement si elle est utilisée par l'utilisateur usuel et qualifié.

C'est notre cas, les machines outils sont utilisées par un seul opérateur très qualifié et nous n'avons pas eu encore d'incident ni d'accident à déplorer dans cet atelier.

## RAYONNEMENTS IONISANTS

Le CRPG possède encore pour un temps maintenant limité un laboratoire d'analyse et de caractérisation des minéraux par rayons X.

Ce laboratoire utilisant plusieurs goniomètres et diffractomètres à rayons X, ne laisse ni le libre accès ni l'utilisation de son appareillage aux personnes étrangères.

Le service est uniquement fait par du personnel de grande expérience, hautement qualifié, ingénieur de recherche et ingénieur d'études.

Ce personnel, équipé de badges de contrôle est régulièrement suivi au niveau médical. Aucun incident ni accident ne s'est jamais produit dans ce laboratoire.

À une certaine époque, nous avons fait des analyses spectrométriques par la méthode argon/argon. Cette méthode nécessitait l'utilisation d'échantillons de minéraux de quelques grammes irradiés à l'accélérateur linéaire d'Orsay.

Ces échantillons étaient transportés et stockés dans un château de plomb situé dans un local dédié, à l'extérieur du bâtiment principal. Cette méthode analytique est aujourd'hui abandonnée mais nous avons conservé l'installation de protection.

Nous avons au centre un agent formé et qualifié en radio-protection, au fait de la réglementation et de la manipulation de matériel radioactif.

## RISQUES D'INCENDIE

Le centre est entièrement équipé d'un système de détection d'intrusion et d'incendie avec télétransmission des alertes sur un service spécialisé. Jusqu'à présent nous n'avons jamais eu de départ de feu et les rares alarmes détectées sont la conséquence de capteurs défectueux ou d'usage de source de chaleur dans les laboratoires.

Les extincteurs en place sont adaptés aux risques majeurs rencontrés à leur proximité. Ils font

l'objet d'un contrôle régulier dans le cadre d'un contrat d'entretien par la société SICLI.

La chaufferie au fuel de quarante ans d'âge a été remplacée entièrement en 1997 par une chaufferie au gaz de ville. Cette installation a été réalisée par une société ayant tous les agréments et qualifications pour le faire, et ce, en conformité avec la réglementation en vigueur, sous la surveillance de GDF.

Par contre, à cette occasion, il nous a été signalé que notre installation interne de distribution du gaz n'est plus conforme. Nous demandons donc qu'au

titre des crédits d'entretien et de sécurité une étude soit faite pour une remise aux normes la plus rapide possible.

## FORMATION DES ENTRANTS

Les entrants au CRPG, quelle que soit la raison de leur admission, embauche, formation (DEA ou stage) et doctorants sont toujours intégrés dans des équipes opérationnelles en place.

Leur formation spécifique est faite par les responsables d'équipes.

Ils sont encadrés et suivis pendant leurs travaux ou recherches par ces mêmes responsables ou par un personnel technique de niveau requis. Nous

n'avons pas encore eu d'accident à déplorer si ce n'est une réaction exothermique (qui le fut un peu trop) et une projection d'acide sans gravité.

Suite à ces incidents qui furent heureusement sans séquelles physiques, mais qui furent suivis d'une déclaration et d'une visite médicale, les mesures de sécurité déjà en place ont été réaffirmées et sont maintenant strictement observées.

## PERSONNELS DE SÉCURITÉ

La démission de l'ancien responsable de la sécurité et de l'hygiène du centre -ACMO- ainsi que des mutations ou départs en retraite de personnel composant le comité d'hygiène et sécurité du centre nous ont amenés à reconstituer celui-ci.

Dans cette optique, nous avons fait suivre un stage ACMO à un de nos agents ainsi que d'autres stages en matière de sécurité à d'autres agents du centre : radio-protection, risques chimiques, risques

d'incendie, secourisme. Nous allons également faire suivre très prochainement des stages d'habilitation à la manoeuvre d'installation électriques haute tension et bien entendu, quand cela se présentera, toute formation susceptible d'améliorer la sécurité des personnels et des biens. Dans le futur, quand la nouvelle équipe sera mieux rodée, il est prévu de réunir le CHS avec le médecin et l'inspecteur régional d'hygiène et de sécurité.

## PROBLÈMES DE SÉCURITÉ RÉMANENTS

Bien que notre centre soit d'importance tant sur le plan du personnel que du matériel, on peut insister sur le fait que nous avons la chance de n'avoir à constater que très peu d'incidents et pas d'accident corporels. Cet état de chose résulte autant de la qualification des personnels permanents, du suivi des temporaires, que du niveau d'équipement du centre en matériel et du respect des consignes de sécurité.

Bien sûr, la législation évoluant, il reste toujours des points à améliorer en la matière.

En ce qui concerne le matériel, l'effort de mise aux normes des machines se poursuit comme déjà décrit. Il serait nécessaire de doter les laboratoires de chimie de hottes à lavage pour la manipulation des acides forts ainsi que d'armoires ventilées pour leur stockage en toute sécurité.

Pour l'équipe de géochimie isotopique, nous sommes en train de réaliser une salle blanche selon des normes appliquées en biologie à savoir : salle climatisée en surpression d'air ultra-filtré, sol étanche avec relevés formant bac de rétention.

Cette salle blanche remplacera une salle de même nature qui avait été réalisée il y a vingt ans avec les moyens du bord : doublage des parois par plaques de bois comprimé.

Avec le temps, cette salle s'est dégradée tant du point de vue de la qualité requise pour les préparations extrêmement fines nécessaires à la recherche du service, que de la sécurité.

En effet, l'usage passé, intensif, d'acide perchlorique dont les vapeurs ont imprégné le bois, rendait l'usage de cette salle dangereux.

De plus, le système de surpression défaillant et



des hottes rustiques nous ont amenés à reconstruire totalement cette salle propre en conformité avec les critères d'usage les plus exigeants.

Cette enceinte sera équipée de hottes à flux laminaire et à extraction totale ce qui devrait en éliminer toute vapeur acide de l'atmosphère.

Cette opération très coûteuse, vitale pour le CRPG, a été entièrement financée sur nos fonds propres, sans subvention.

Dans un tout autre domaine et suite à une recrudescence de dégradations et de vols, trois déclarations à la police en moins d'un an, nous venons de refaire entièrement la clôture. Le centre est situé dans un environnement forestier proche d'une zone urbaine sensible, la clôture datait également de l'origine du CRPG, son état de

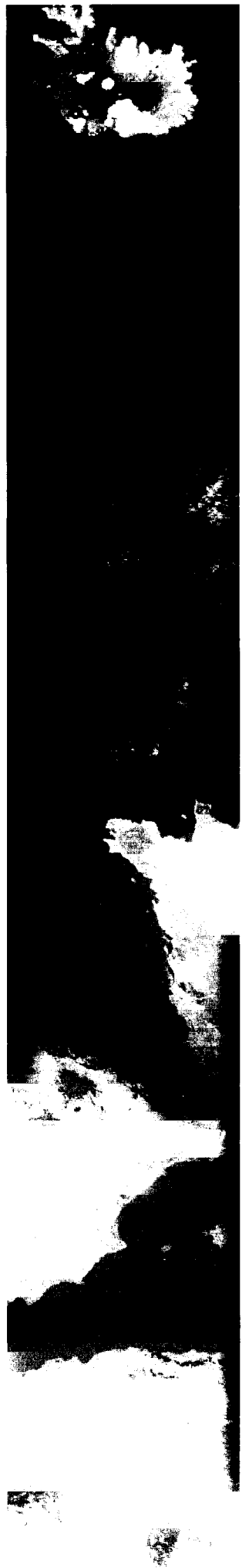
délabrement incitait à la délinquance qui n'a pas manqué d'y apporter sa marque en y pratiquant de nombreuses ouvertures.

Il serait également nécessaire pour contenir les incursions nocturnes et pour améliorer la sécurité d'effectuer une coupe des buissons et des feuillus. Ceux-ci, par manque d'entretien lui-même consécutif à un manque de personnel pour le faire, se sont développés sous les grands conifères qui constituent le boisement originel des dépendances du CRPG.

Ceci, ainsi qu'une remise en état du système initial d'éclairage de ces dépendances, près de la clôture, aurait un effet dissuasif sur cette forme de délinquance. Nous faisons la demande de financement pour ces travaux pour l'exercice 1999.

## **RESPONSABLES - COMITÉ HYGIÈNE ET SÉCURITÉ**

Jean-Claude Demange  
Xavier Framboisier  
Bruno Porcu



# LE RAYONNEMENT

## Au plan local

### *Institut National Polytechnique de Lorraine (INPL)*

Conseil d'Administration de l'Institut National Polytechnique de Lorraine

Membres élus : *Bernard Charoy*

*Alain Cheilletz*

*Christian Marignac*

En tant qu'invités : *John Ludden* (Directeur du CRPG)

*Jean Macaudière* (Directeur des études ENSG)

*Bernard Marty* (Directeur du Laboratoire GEO3  
de l'ENSG)

Membre du Conseil Scientifique :

*Dominique Gasquet*

Membre du Comité Valorisation :

*Guy Libourel*

Directeur des Études : *Jean Macaudière puis*

*Bernard Marty*

### *Université Henri Poincaré - Nancy I (UHP-NancyI)*

Responsable «Jeune Equipe» JE249, président du jury Licence Sc. de  
la Terre et co-responsable du DEA "Physique et Chimie de la Terre" :

*Pierre Barbey*

Membre du Conseil Scientifique de l'UHP-NancyI :

*Pierre Barbey*

Membres du Conseil du département des Sciences de la Terre :

*Pierre Barbey* (directeur-adjoint )

*Françoise Chalot-Prat*

*Guy Libourel*

Membre du Conseil d'Administration de L'UFR STMP (UHP-NancyI)

*Guy Libourel*

Membre de l'Unité de Formation et de Recherche en Sciences et  
Techniques des Matériaux et Procédés :

*Françoise Chalot-Prat*

Présidente du jury Licence Biologie Générale et Sc. de la Terre :

*Françoise Chalot-Prat*

Responsable "programme et emploi du temps" du module Géologie en  
Préparation aux concours du CAPES et de l'Agrégation :

*Françoise Chalot-Prat*

### *Délégation Régionale Nord- Est du CNRS*

Interface avec le service «Formation Permanente» jusqu'à fin 1997 :

*Jean-Louis Zimmermann*

Correspondant "Ressources Humaines et Formation" depuis 1998 :

*Michel Champenois*

### *Ecole Nationale Supérieure de Géologie (ENSG)*

Conseil d'Administration de l'ENSG

En tant qu'invités : *John Ludden* (Directeur du CRPG)

*Jean Macaudière* (Directeur des études ENSG)

*Bernard Marty* (Directeur du Laboratoire  
GEO3 de l'ENSG)

Membre du Comité de rédaction du Bulletin d'information interne de  
l'ENSG :

*Dominique Gasquet*

***Institut Lorrain des  
Géosciences (ILG)***

Membres du Conseil Scientifique de l'Institut Lorrain des Géosciences

Directeur : *John Ludden*

Membres élus : *Maryse Ohnenstetter*

*Alain Ploquin*

*François Lhote* (suppléant)

*Jean-Jacques Royer* (suppléant)

*Jean Laurent Mallet* (mandat ENSG)

*Bernard Marty* (mandat ENSG)

*Alain Cheilletz* (suppléant ENSG)

*Christian Marignac* (mandat EMN)

*Pierre Barbey* (mandat UHP-Nancy1)

Responsable scientifique du projet fédérateur "Déchets et Risques  
Environnementaux" : *Guy Libourel*

Responsable du groupe "Métallogénie" :

*Maryse Ohnenstetter*

Responsable «Animation Scientifique»:

*Marc Chaussidon*

Responsable du Bulletin d'information interne de l'ILG :

*Michel Champenois*

***Ecole des Mines de  
Nancy (EMN)***

Membre du Conseil d'Administration de l'Ecole des Mines de Nancy  
(EMN) : *Christian Marignac*

## Au plan national

### **CNRS**

Représentante de l'Administration à la CAP 8 du CNRS :

*Anne-Marie Boullier*

Membres élus à la Section 11 du Comité National de la Recherche Scientifique (fin du mandat en 1995) :

*Christian Marignac*

*Maryse Ohnenstetter*

Membre élu à la Section 13 du Comité National de la Recherche Scientifique :

*Etienne Deloule* (secrétaire de la section)

### **INSU**

Membre du groupe «Géochimie» de la commission d'équipement mi-lourd :

*Christian France-Lanord*

Membre du groupe «Géochimie» de la commission d'équipement mi-lourd :

*Marc Chaussidon*

Membre du comité de rédaction «Prospectives en Sciences de la Terre»

*John Ludden*

Membre du Comité "Intérieur de la Terre"

*John Ludden*

Membre du comité "Géosciences Marines"

*Bernard Marty*

Membre du comité "Dynamique et transferts terrestres"

*Bernard Marty*

Membre du Comité de Gestion des Équipements nationaux géochimiques :

*Jean Carignan*

Co-responsable de la section "Géochimie et Pétrologie" du programme INSU-MAE "Ethiopie 2000" :

*Bernard Marty*

### **Enseignement Supérieur et Recherche**

Membre élu à la section 35 du Conseil National des Universités (jusqu'en 1995), puis nommé pour la même section :

*Alain Cheilletz*

Membres des Commissions de Spécialistes :

Sections 35 et 36 - Université de Franche Comté, Besançon :

*Alain Cheilletz*

Sections 35 et 36 - INPL :

*Dominique Gasquet*

*John Ludden*

*Jean-Laurent Mallet*

*Bernard Marty*

Sections 35 et 36 - UHP Nancy 1 :

*Pierre Barbey*

*Françoise Chalot-Prat* (vice-présidente de la commission)

*Christian Marignac*

*Bernard Marty*

*Dominique Gasquet*

*Guy Libourel*

Section 35 - 36 Université de Clermont-Ferrand:

*Christian Marignac*

***Ocean Drilling  
Program***

Membres du Conseil Scientifique ODP-France :

*Christian France-Lanord*

*John Ludden (Président)*

***Autres***

Président du Comité IFREMER-évaluation des programmes de forages océaniques : *John Ludden*

Expert pétrologue pour les sondages du site de stockage de la Vienne, projet ANDRA/CREGU-CRPG :

*Jean-Marc Stussi*

Membre du groupe ad-hoc "Système solaire et plasmas spatiaux" du CNES :

*Marc Chaussidon*

Conseil Scientifique de l'Ecomusée St Georges d'Hurtières et des Forges de Montagney :

*Alain Ploquin*

Trésorier du comité CODATA France :

*Jean-Jacques Royer*

# Au plan international

## Fonctions dans des organismes internationaux

Membre du Conseil Scientifique de la sonde ionique d'Edinburgh (NERC)	<i>Marc Chaussidon</i>
Représentant français au panel schématique «Sediment and Geochemical Processes» de ODP	<i>Christian France-Lanord</i>
Membre du groupe PPG "Climate and Tectonic" pour la réflexion sur les forages océaniques	
Président du panel «Lithosphère» de ODP	<i>John Ludden</i>
ESF Future of Scientific Ocean Drilling Europe - Cochair.	
Directeur du groupe de Recherche Géosonde (Univ. Montréal/Ecole Polytechnique de Montréal)	
Membre Comm. on Igneous and Metamorphic Petrology, IUG	
Directeur du projet Abitibi-Grenville, Lithoprobe	
Directeur du Consortium International GOCAD	<i>Jean Laurent Mallet</i>
Membre du Conseil de l'Association Internationale des Géanalystes	<i>Jean Carignan</i>
Secrétaire de la Commission IUGS sur la nomenclature des roches métamorphiques	<i>Jacqueline Desmons</i>

## Participation aux Comités d'organisation de Colloques Internationaux

Colloque PSS «Procédés de Solidification et de Stabilisation des Déchets» (Nancy, 1995)	<i>Guy Libourel</i>
Co-président de la Conférence Precambrian'95 (Montréal)	<i>John Ludden</i>
Organisation bi-annuelle du «GOCAD Meeting» à Nancy (1995 et 1996), à Houston (1995)	<i>Christian Le Carlier</i>
Organisation de "3D Modelling", 4 et 5 juin 98	<i>Pierre Jacquemin</i>
	<i>Jean-Laurent Mallet</i>
	<i>Jean-Jacques Royer</i>
	<i>Sergueï Shapiro</i>
European Union of Geosciences8 (1995)	<i>Bernard Marty</i>
Third Informal Colloque on Stable Isotopes, CRPG, Nancy, 1996	<i>Christian France-Lanord</i>

## Distinctions

Médaille Houtermans attribuée par l'Association Européenne de Géochimie (1995)	<i>Marc Chaussidon</i>
Médaille de bronze du CNRS (1995)	<i>Guy Libourel</i>
Prix Science et Application de l'Association Professionnelle des Géologues et des Géophysiciens du Québec (1996)	<i>John Ludden</i>
Prix de la compagnie italienne Italgas pour le recherche scientifique et technologique (1997)	<i>Jean-Laurent Mallet</i>

## **Editions**

Editorial board Precambrian Research Editeur d'un volume spécial «Mafic magmatism through time» Chemical Geology et Lithos Editeur d'un volume spécial «The Earth's changing tectonic regime in the Archean», Precambrian Research Editorial board of Can. J. Earth Sc.	<i>John Ludden</i>
Co-éditeur des actes du congrès «Third Codata on Geomathematics and Geostatistics», Enschede (NL) Editeur d'un volume spécial «Environmental issues, micro and macro data modelling»	<i>Jean-Jacques Royer</i>
Membre du conseil éditorial de la revue «Geologische Rundschau»	<i>Pierre Barbey</i>
Membre du conseil éditorial de la revue «Bull. Soc. Géol Fr.»	<i>Guy Libourel</i>
Éditeur associé de "Geochemical Journal"	<i>Bernard Marty</i>



## Conférences «Grand Public»

- Marc Chaussidon* «Les météorites» à l'occasion du Festival du film scientifique de Nancy à la suite de la projection du film de Michel Morette «Poussières d'étoiles».
- «Datation en archéologie, en géologie et en astrophysique» à l'occasion du Centenaire de la radioactivité dans un lycée de la banlieue lilloise et à l'Ecole des Arts et Métiers de Chalons sur Marne.
- Alain Cheilletz* «Les minéraux du monde» à l'occasion d'une exposition de minéraux à Gondreville (54) organisée par l'ILG.
- Christian France-Lanord* «L'érosion de l'Himalaya» au Pôle de l'Image à Nancy dans le cycle de conférences organisées par le Service Communication de la Délégation Régionale Nord-Est du CNRS
- Bernard Marty* «La saga des éléments», conférence inter-écoles organisée par l'INPL

## Articles dans des organes de presse grand public

- |                                |  |
|--------------------------------|--|
| <i>Marc Chaussidon</i>         | Est Républicain<br>Sciences et Avenir<br>Le Monde                                    |
| <i>Etienne Deloule</i>         | Est Républicain  |
| <i>Christian France-Lanord</i> | Est Républicain  |
| <i>Guy Libourel</i>            | Industrie et Techniques<br>Est Républicain<br>La Recherche                           |
| <i>John Ludden</i>             | New York Times<br>Toronto Globe and Mail<br>Canadian Geographic<br>Macleans Magazine |
| <i>Jean-Laurent Mallet</i>     | Est Républicain  |

## Autres manifestations

- Alain Ploquin* La Science en fête (1995 et 1996) : sur la paléométallurgie à l'occasion de l'ouverture au public de sites anciens  
Reconstitution publique de bas-fourneaux à l'Archéodrome de Beaune (21) et à Neuves Maisons (54).  
Emission de télévision pour la 5 dans la série «Allo, la Terre»
- Alain Cheilletz*  
*Michel Champenois*  
*Daniel Ohnenstetter*  
*Jean-Marc Stussi* Passion Recherche (Action CNRS) : participation à la réalisation d'un didacticiel par des élèves de 1ère S du lycée Poincaré de Nancy, au sujet de la «tectonique des plaques» et des roches constitutives de la croûte océanique.
- Jean-Jacques Royer* Conférence "Visualization", Ministère dce la Recherche, Paris, Juin 1997

## **REVUE DE PRESSE**

# Le Monde

MARDI 9 DÉCEMBRE 1997

GÉOLOGIE

## Les émeraudes colombiennes résultent d'une prodigieuse alchimie tellurique

LES PIERRES précieuses, diamants, rubis, saphirs et émeraudes, qui brillent d'un feu incomparable, fascinent les hommes et les femmes depuis toujours. En Inde, deux mille ans avant notre ère, les artisans savaient facetter et polir les pierres. L'empire assyrien regorgeait de gemmes de toutes sortes, et l'on sait qu'à Rome l'émeraude et la perle étaient très recherchées. Aujourd'hui encore, les gemmes conservent tout leur attrait. Pour fêter ses cent cinquante ans d'activité, la maison Cartier a présenté récemment à Paris dans ses vitrines plusieurs créations, dont un collier « serpent », constitué de platine et de diamants, auquel sont suspendues deux somptueuses émeraudes de plus de 200 carats chacune (40 grammes).

Magie des couleurs, magie des éclats, mais aussi magie de la nature sans lesquelles ces pierres colombiennes à la belle eau verte, résultat d'une prodigieuse alchimie mise en œuvre dans les profondeurs de la terre il y a des millions d'années, ne seraient pas. Gemmes mystérieuses aussi, car leur genèse constituait une énigme tenace, contrairement à celle des

émeraudes de « type brésilien », analysée depuis longtemps par les géologues. Les pierres « brésiliennes » cristallisent dans des roches de la famille des micas noirs, et on les appelle fréquemment « émeraudes de micas ». Elles constituent la majorité des émeraudes vendues dans le monde, et on les trouve dans des endroits aussi différents que la Zambie, la Tanzanie, Madagascar, l'Inde, l'Australie ou encore l'Oural.

Le mystère de la naissance des émeraudes colombiennes vient de tomber grâce aux missions menées depuis dix ans en Colombie, sous l'égide du Centre de recherches pétrographiques et géochimiques du CNRS à Vandœuvre-lès-Nancy (Meurthe-et-Moselle), par Alain Cheillett, maître de conférences à l'École nationale supérieure de géologie, et Gaston Giuliani, chargé de recherches à l'Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération (Orstom). Avec le concours de spécialistes colombiens et brésiliens, et une aide financière de l'Union européenne, les deux chercheurs ont conçu un modèle de formation de ces gisements d'émeraudes, qu'ils ont présenté une première

fois dans la revue européenne *Mineralium Deposita*, et qui est publié dans *La Recherche* de novembre.

### DU CHROME DANS LE CRISTAL

L'émeraude est la variété verte du beryl, un silicate naturel d'aluminium et de béryllium. La couleur verte si particulière de cette pierre précieuse est due à la présence dans le cristal d'infimes quantités de chrome et de vanadium. Des traces de fer et d'alcalins augmentent la diversité des tons. Rien que de très simple en apparence. Pourtant, la genèse de

ces pierres résulte de conditions tectoniques exceptionnelles, qui expliquent leur rareté. Le béryllium et les alcalins ont en effet une préférence marquée pour la croûte terrestre, alors que le chrome, le vanadium et le fer sont présents bien loin de là, dans le manteau terrestre.

Les gisements des émeraudes colombiennes sont regroupés sur les deux versants de la cordillère orientale, entre 500 et 2 000 mètres d'altitude. Selon les chercheurs français, ils se sont formés en deux étapes, l'une de

65 millions d'années, et l'autre de 38 millions à 32 millions d'années, à l'occasion du plissement des sédiments qui occupaient la place de la cordillère à cette époque. Lors de ces « épisodes de déformation et de compression », reliés à l'ouverture de l'Atlantique, et qui ont poussé l'Amérique du Sud vers l'ouest, de énormes pans de roches sédimentaires se sont chevauchés. Des fluides hydrothermaux, provenant de l'infiltration des eaux superficielles, sont parvenus jusqu'au fond du bassin sédimentaire, où ils ont atteint la température de 300 degrés Celsius, et ont pu dissoudre les sulfates et le sel gemme présents.

La rencontre de ces saumures alcalines avec les shales noirs du Crétacé - des roches « pouvelles » qui avaient stocké au cours des âges de nombreux éléments, tels le béryllium, le chrome, le vanadium, le fer et des terres rares - a alors provoqué une série de réactions chimiques complexes, qui ont présidé à la naissance des émeraudes dans des sortes de petites géodes, « où elles ont pu croître sans contrainte ».

Les émeraudes colombiennes sont les plus limpides du monde, et

elles peuvent atteindre une taille impressionnante. L'une d'elles, appelée « la Emilia », est un cristal d'environ 6 000 carats (soit 1,2 kilogramme, car un carat vaut 0,2 gramme). Les spécialistes les reconnaissent aux « inclusions de cristal de sel, de gaz carbonique et d'eau moléculaire » qu'elles contiennent, précise Daniel Piat, fondateur de l'Association française de gemmologie.

Les fabuleux gisements colombiens, connus depuis l'époque précolombienne, sont pourtant en train de s'épuiser à la suite d'une exploitation intensive. Redécouverts par les Espagnols en 1545 et en 1592, ils sont actuellement exploités à ciel ouvert et au bulldozer. Les émeraudes rapportent à la Colombie, premier producteur mondial avec 60 % du marché (suivie de la Zambie 15 %, et du Brésil 15 %), 2,65 milliards de francs par an. La perspective d'une baisse de ces ressources provoque en ce moment, en Colombie, un « beau ménage », explique Alain Cheillett. Le nouveau modèle géologique tombe à pic pour aider à la recherche de nouveaux gisements.

Christiane Galus

### Vers une « carte d'identité »

Les émeraudes sont rares et de mieux en mieux limitées. Aussi les géologues français Gaston Giuliani et Alain Cheillett travaillent-ils à l'établissement d'une « carte d'identité » de l'émeraude. Établie à partir du rapport de deux isotopes de l'oxygène O18 et O16 contenus dans ces pierres, elle permettra de connaître leur provenance avec précision. Les premiers résultats de cette étude seront présentés à Bogota du 23 au 25 février 1998, lors du congrès mondial sur les émeraudes. Grâce à ce travail d'authentification, on pourra peut-être percer le mystère qui entoure l'origine des magnifiques émeraudes appartenant aux maharajahs indiens, ou provenant de l'empire moghol, dont on retrouve des exemplaires au Musée de Topkapı, à Istanbul, ou dans les trésors d'Iran. « Ces émeraudes réunies constituent le plus grand gisement mondial des plus belles pierres », explique un gemmologue.

L'Est républicain - 25 Novembre 1997

## Les aventuriers de l'émeraude perdue

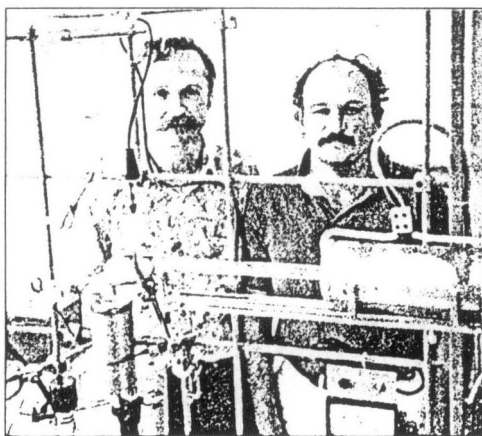
Ils sont les premiers à avoir percé les secrets de l'émeraude de Colombie. Deux scientifiques nancéiens font la Une du magazine *La Recherche* de novembre.

NANCY. - L'émeraude est la variété verte d'un minéral banal, le beryl. Mais elle est rarissime car les éléments dont elle résulte, le chrome, le vanadium (qui lui donnent sa couleur) et le fer d'une part, le béryllium et les alcalins d'autre part, ont des comportements opposés au cours de l'évolution du globe terrestre : les premiers se trouvant dans le « manteau », les seconds dans la « croûte continentale ». Pour qu'ils se rencontrent, il faut un concours de circonstances exceptionnel, un accident géologique majeur.

On sait comment les émeraudes se sont formées à deux périodes - il y a 2 milliards d'années et entre 760 et 510 millions d'années - dans les gisements de type brésilien : par la remontée d'une bulle de magma chargée de silice et d'alumine de la profondeur de la couche continentale jusqu'aux vieilles roches riches en magnésium et en fer de la ceinture, suivie d'un échange chimique sophistiqué entre elles appelé la « métasomatose ».

### Mystère levé en Colombie

En revanche, la genèse plus tardive (il y a 65 millions d'années pour les premières, entre 38 et 32 millions d'années pour les plus récentes) des émeraudes colombiennes dans des champs pétroliers posait encore problème. « Des générations de géologues avaient été incapables de produire un



Les chercheurs nancéiens dans leur laboratoire.

modèle génétique efficace » constatait en 1994 l'Engineering et Mining Journal.

Par analogie avec d'autres gisements, on suspectait les granites d'être à l'origine de ces gisements, jusqu'à ce que les Lorrains Alain Cheillett, maître de conférence à l'École nationale supérieure de géologie de Nancy et Gaston Giuliani, chargé de recherches à l'ORSTOM, établissent, après plusieurs expéditions dans la Cordillère des Andes, un autre scénario, se basant celui-ci sur l'existence dans les cristaux d'émeraude colombiens de microscopiques cavités à l'in-

terieur desquelles ont été piégés des cristaux de sel provenant de dépôts salifères.

Lors des épisodes de déformation et de compression dus à l'ouverture de l'Atlantique, qui a poussé l'Amérique du Sud vers l'ouest, les roches sédimentaires se sont chevauchées, les eaux superficielles ont migré vers les profondeurs du bassin, se sont rechauffées jusqu'à 300°, dissolvant l'anhydride et le sel gemme. Et quand ces saumures alcalines sont entrées en contact avec les shales noirs du Crétacé inférieur, chargés de matière organique, de fer, de béryllium, de chrome et de vanadium, ça a

été le grand choc ! Une thermoréduction des sulfates entraînant notamment une précipitation sous forme d'émeraude.

### Carte d'identité pour gemmes précieuses

Les chercheurs nancéiens, qui s'intéressent à présent à une troisième famille d'émeraudes encore mystérieuses : celles d'Afghanistan, ne travaillent pas que dans l'intérêt de la science, mais aussi dans celui de l'industrie et du commerce, comme ils l'écrivent dans le dernier numéro de *La Recherche* : « Il est temps pour les scientifiques d'établir une véritable carte d'identité des émeraudes, permettant aux vendeurs de valoriser au mieux leur produit par la certification et aux acheteurs d'assurer leur légitime souci d'authenticité ».

Ils se sont donc attelés depuis quelques années à déterminer les milieux de dépôt et les conditions de formation des pierres précieuses dans les différents sites mondiaux, cela pour constituer « une banque de données intégrant des informations sur les gisements, leur âge, etc. », qui viendra compléter les catalogues officiels des organismes de certification comme la chambre de commerce et d'industrie de Paris, l'Institut Gubelin en Suisse ou encore le Gemological Institute of America aux États-Unis.

Gerard CHARUT

Télérama - 18-25 Février 1997

### Franco Culture

A Lille 98.0  
Informations : 7.30, 9.00, 12.30, 18.30, 22.00, 24.00.

### 7.05 Culture matin

Par J. Lebrun ; J.L. Ezine ; M. Voinchet.

### 8.30 A voix nue

Gilbert Rouget (2). Missions d'un ethnomusicologue.

### 9.05 Archipel science

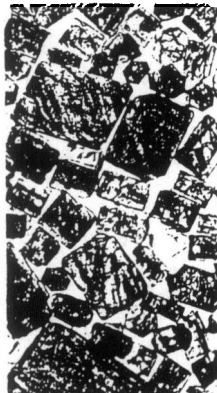
Le grand accélérateur du CERN. Par St. Deligeorges.

### 10.00 Les grands musiciens

Michael Tippett (2). Un style en perpétuelle évolution.

### 10.30 Le temps des sciences

Les émeraudes : origines, découvertes, métamorphoses. Avec P. Barand (univ. P. et M. Curie) ; A. Cheillett (CNRS, ENS de géologie) ; G. Giuliani (Orstom), géochimiste ; M. Indergard (Centre français de la Couleur) ; B. Lau monnier, géologue ; M.B. Mathieu, joaillier ; D. Piat, commerçant en pierres précieuses ; J.P. Poirot, ex dir. du S'r d'identification des gemmes. Par R. Scheps.



Franco Culture, 10.30. Le temps des sciences : les émeraudes

# A la poursuite du diamant vert

Deux géologues lorrains percent les secrets de l'émeraude de Colombie pour faire avancer la recherche pétrolière... et « habiller » les sous-marins nucléaires !

**NANCY.** Le béryllium, élément chimique majeur de l'émeraude, est un métal rare utilisé dans la confection des aciers de recouvrement des sous-marins et autres « avions furtifs », à cause de son faible pouvoir réflecteur aux ondes radar.

L'Etat a lancé, il y a une dizaine d'années, un programme d'approvisionnement en béryllium, auquel a répondu l'ORSTOM (Office de recherche scientifique d'Outre-Mer). C'est ainsi que Gaston Giuliani, chargé de recherches dans cet organisme pointu, a découvert pour la première fois les mines d'émeraudes du Brésil en 1986.

La géologie des gemmes étant encore un vaste domaine inexploité, il a vite compris que l'intérêt scientifique de ces gisements farineux dépassait le simple cadre de recherches « intéressées » du départ.

Une collaboration étroite allait naître avec des chercheurs brésiliens, ainsi qu'avec l'Ecole de géologie de Nancy et le CRPG (Centre de recherches pétrographiques et géochimiques) du CNRS à Nancy, auprès duquel est désormais détaché Gaston Giuliani. Il y a trouvé un complice enthousiaste, Alain Cheilletz, jeune maître de conférence à l'Ecole de géologie.

## Une bulle de magma

Les deux chercheurs multiplient depuis les voyages au Brésil et en Colombie (pays qui fournit les trois-quarts des émeraudes mondiales), ainsi que les communications scientifiques au plus haut niveau, en particulier dans la revue « *Economic Geology* ».

Les Nancéiens ont réussi, il est vrai, là où avait échoué un gros chantier de l'ONU en 1970, avec des dizaines de chercheurs et des centaines de milliers de dollars de budget. Ils ont mis en évidence des processus de transferts chimiques différents dans la formation des émeraudes brésiliennes et colombiennes et les ont datées.

« Comme la plupart des émeraudes, les brésiliennes se sont formées avec la lente remontée des profondeurs d'une bulle de magma granitique acide, contenant du béryllium, dans un gangue basique de mica noir, renfermant le chrome qui donne à l'émeraude sa couleur verte.

Le dégazage du magma produit des fluides qui se dispersent dans les fractures de la roche-mère. C'est à ce moment là que se produisent, à une température d'environ 500°, les réactions chimiques



Alain Cheilletz et Gaston Giuliani dans le laboratoire du CRPG de Nancy.

entre les minéraux antagonistes et que le béryl (nom géologique de l'émeraude des joailliers) cristallise... »

## Retour en Colombie

Les émeraudes du Brésil ont entre 600 millions à 2 mil-



Des émeraudes brésiliennes de la mine de Carnaíba, encore dans leur gangue de mica

liards d'années. Celles de Colombie - et c'est une des trouvailles des Nancéiens - ne sont âgées que de 30 millions d'années et se sont formées de manière différente : « Dans leur cas, le fluide acide remontant du magma ne contient pas de béryllium. C'est la roche-mère sédimentaire avec laquelle il réagit à 300° seulement, en l'occurrence du schiste noir et non plus du mica, qui apporte cet élément chimique fondamental et le chrome pour la couleur ».

Les Nancéiens, qui travaillent à l'INRS avec un spécialiste de la géochimie des gaz, Jean-Louis Zimmermann, retournent en Colombie cet automne dans le cadre du « Pacte andin » signé entre la CEE et ce pays. En attendant, deux Brésiliens terminent à Nancy une thèse sur la formation des émeraudes et l'Ecole de géologie accueille un Colombien en stage pour un an.

Les enjeux de cette recherche géologique fondamentale sont énormes. La meilleure connaissance de l'évolution des bassins sédimentaires et de la migration de leurs fluides à haute température permet, en effet, de tirer des critères de prospection... C'est l'amont nécessaire de la recherche pétrolière et minière !

Gérard CHARUT

## Des émeraudes made in France !

Dans le cadre de la superbe exposition « *Les minéraux du monde* », qui se tient actuellement en l'Atelier et immaculée Maison des Dimes de Gondreville, Alain Cheilletz et Gaston Giuliani donneront une conférence le dimanche 26 juin, à 16h.

● Ils y diront que la recherche géologique est une aventure scientifique, mais aussi une aventure tout court quand elle pour cadre les mines du Brésil et de Colombie, entourées de « *garimpeiros* », dans le premier cas, de « *vaqueiros* » dans le second, qui

exploitent les rebuts des dites mines et qui sortent le couteau aussi vite que le soleil se couche ; c'est à dire très vite sous ces latitudes.

● Ils évoqueront aussi les méthodes d'analyses des échantillons prélevés. D'abord les études isotopiques pour « tracer » les échanges chimiques dans ces émeraudes où l'on trouve emprisonnés des cristaux de sel, de l'eau et des bulles de gaz. Ensuite l'extraction sous vide des isotopes d'argon 40 qui, soumis au spectromètre de masse, disent l'âge des béryls examinés.

● Enfin, si on leur pose la question, les géologues nancéiens répondront qu'il y a vraisemblablement des émeraudes en France ! Sous les roches noires du barrage de Serre Ponçon, au sud des Alpes, et peut-être aussi sous les schistes carton de Nancy : « Mais la tectonique n'a pas remonté ces bassins comme elle l'a fait en Colombie. Il faudrait creuser à 3 000 ou à 4 000 mètres de profondeur pour trouver les rares émeraudes françaises. Et cela coûterait bien trop cher ! » G.C.

# COMMENT SE FORMENT LES ÉMERAUDES

Alain Cheilletz  
Gaston Giuliani

Caractériser la géologie des gisements pour mieux distinguer les vraies des fausses

Admirée et recherchée depuis l'Antiquité, l'émeraude n'en demeure pas moins jusqu'à ces dernières années une énigme pour les géologues. Pourquoi est-elle si rare ? Et ses couleurs si changeantes ? Ou et comment se forme-t-elle ? Pour la première fois, un modèle général est proposé pour les deux grands types de gisements identifiés à ce jour. On s'achemine progressivement vers la création d'une véritable carte d'identité des émeraudes.



## La double origine des ÉMERAUDES

# Géologie : Nancy au cœur des images virtuelles 3D

Des spécialistes mondiaux font le point sur le projet GOCAD de modélisation sur ordinateur des objets naturels complexes. Applications : l'exploitation et la prospection pétrolières. Mais aussi la médecine, la paléontologie...

L'Est républicain - 19 Juin 1996

GOCAD : derrière ce sigle se cache un projet développé à partir de 1989 par le professeur Jean-Laurent Mallet de l'École supérieure de Géologie de Nancy (ENSG-INPL). Champ d'investigation : la modélisation virtuelle en trois dimensions sur ordinateur des objets naturels complexes ; à commencer par la structure géophysique et géologique des sous-sols. En fait, ce secteur de pointe est devenu indispensable dans la gestion, l'exploitation et la prospection des ressources naturelles comme le pétrole, l'eau et les minerais. Il

permet par exemple de reconstituer un sous-sol à partir de données partielles.

Le programme GOCAD est ainsi appuyé par un consortium de compagnies privées, d'instituts de recherche et d'universités. Les travaux menés à Nancy au sein du laboratoire informatique et analyse de données, du centre de recherche en informatique de Nancy et du centre de recherche pétrographique ont abouti à la création d'un logiciel 3D, lequel est aujourd'hui utilisé par les plus grandes compagnies pétro-

lières et minières mais aussi les universités.

## Les vaisseaux du cerveau

Pas un hasard donc de retrouver à Nancy à l'occasion d'un congrès GOCAD les représentants de l'Amoco, l'Exxon, Texaco ou encore d'Elf Aquitaine, Chevron, Shell... « Nous sommes devenu le standard international » souligne avec une légitime satisfaction Jean-Laurent Mallet qui se rappelle volontiers les débuts d'un projet pour lequel il a fallu faire du « porte à porte » pour convaincre les sponsors.

Si le rendez-vous scientifique de Nancy fait le point sur les dernières innovations, c'est aussi l'occasion pour des chercheurs disséminés à Londres, Houston ou Los Angeles de se rencontrer physiquement : « Au quotidien, nous sommes soudés par Internet ! »

## Crâne endommagé

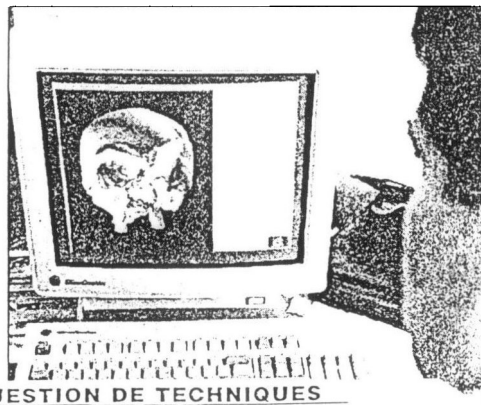
Le logiciel de modélisation des surfaces et autres volumes dépasse pourtant et de loin le seul secteur de la géologie. Il a par exemple trouvé des applications en sismique Et en médecine ! C'est ainsi à Nancy la modélisation de l'embryon humain (reconstitué à partir de coupe) ou celle des vaisseaux sanguins du cerveau humain (ce qui ouvre des perspectives pour les interventions avec cathéters).



Le Nancéen Jean-Laurent Mallet, initiateur du projet.

reconstitution complète, toujours à partir de coupes (obtenues par résonance magnétique nucléaire), du crâne pré-néandertalien de Steinheim (Allemagne). Ce crâne de 300 à 400.000 ans, retrouvé endommagé, a pu être reconstruit grâce au projet GOCAD et à l'utilisation du supercalculateur dont a été récemment équipé le Centre de Villers-Nancy.

Au cours de la semaine, les spécialistes internationaux réunis en Lorraine vont ainsi présenter leurs recherches dans des domaines multiples qui vont de la modélisation des écoulements (pour une meilleure gestion des ressources en eaux) à la réalité virtuelle d'un désert (modèle pédagogique) en passant par les failles terrestres et autres structures de réservoirs pétroliers. Sans oublier toutes les nouvelles techniques informatiques.



QUESTION DE TECHNIQUES

# L'arme des chasseurs de pétrole

Pour dépister l'or noir, les grandes compagnies pétrolières utilisent la modélisation du sous-sol en 3D. Une arme ultra-pointue affûtée par des chercheurs nancéiens. Et qui profite aussi à la médecine !

Autre exemple très récent : la

Ghislain UTARD



Jean-Laurent Mallet est l'un des pères de la modélisation 3D en géosciences.

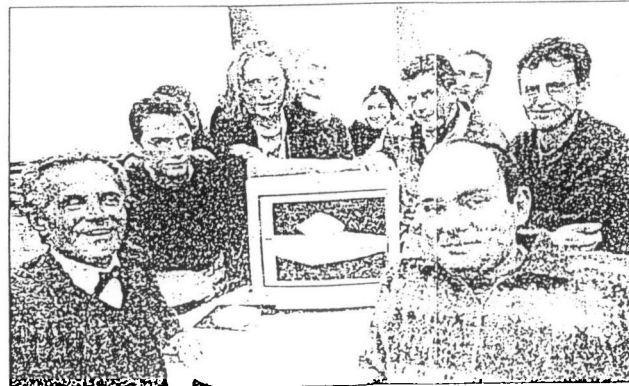
La représentation informatique en trois dimensions d'un sous-sol n'est pas une innovation. On savait modéliser les couches géologiques des les années 70 à partir de relevés partiels. Mais si cette technique (affinée au fil des années) permettant d'explorer 90 % d'un terrain, elle en laissait dans l'ombre 10 %. Ceux précisément présentant des configurations complexes, celles justement favorables à la présence de pétrole - comme les - dômes de sel -.

« En exploitation, on ne recherche pas directement le pétrole mais plutôt les zones à pétrole, un peu comme un chirurgien cherche une tumeur. Le pétrole peut en effet se trouver dans des zones

voire des centaines de kilomètres au cours de son histoire », explique Jean-Laurent Mallet, professeur à l'École de géologie ENSG-Nancy.

## Sismique et forage

Ce docteur en sciences mathématiques, ingénieur géologue, a ainsi lancé en 1989 un programme de recherche sur la modélisation 3D appliquée au secteur du pétrole et du gaz. Il a aussi créé un groupe de recherche baptisé Gocad, lequel représente aujourd'hui non seulement un consortium de 25 compagnies pétrolières et organismes scientifiques, mais aussi et surtout un haut lieu devenu un standard dans l'industrie du pétrole. Le docteur



Sur un des écrans de l'équipe nancéienne : la représentation d'un dôme de sel. Photos Denis MOUSTY

Jean-Laurent Mallet a, en effet, créé une méthode informatique efficace baptisée « Interpolation lissée discrète » qui permet une représentation en 3D des objets naturels à partir d'un ensemble de points interconnectés, tenant compte des propriétés géologiques de chacun et de son positionnement dans l'espace.

En s'appuyant sur cette technique et en exploitant des données sismiques, de forage, d'observation de terrain, les pétroliers ont découvert une nouvelle arme de prospection des réserves. Ils l'ont

d'ailleurs largement utilisée dans les recherches du laboratoire de Jean-Laurent Mallet.

## Idee de fou

« Au départ, c'est une idée de fou », s'exclame en riant le scientifique nancéen. « Mais quand on n'a pas de certitude, on ne peut pas faire grand chose ». Le logiciel Gocad est en fait un cas aujourd'hui exploité dans le domaine des réservoirs souterrains dans la prospection. Le principe : Modéliser dans la mémoire « l'histoire des applications dans l'en-

vironnement, la reconstitution de vaisseaux sanguins du cerveau, dans l'anthropologie, la dentisterie... »

L'équipe de Jean-Laurent Mallet continue également ses recherches pour affiner encore une technique qui permet par exemple de prévoir dans un terrain la répartition des gaz, eau et autre pétrole à partir des données de deux points de forage, qui autorise à partir de simples coupes la reconstitution complète d'un sous-sol à la simulation de la répartition.

L'Est républicain

11 Novembre 1997

Le chiffre : 20

Une vingtaine de chercheurs et d'ingénieurs, sans compter un même effectif d'étudiants en formation doctorale, travaille aujourd'hui au sein du laboratoire de Jean-Laurent Mallet. On est loin des deux chercheurs de départ (Mallet y compris !). C'est dire la réussite d'un projet et d'un homme. Le Comité international Italgas (qui récompense chaque année les contributions majeures des scientifiques européens participant au rayonnement de la recherche et de la technologie) a d'ailleurs attribué le prix Science et Innovation technologique 97 à Jean-Laurent Mallet.

Mais il est un autre signe de réussite par la création par un petit groupe de ses étudiants thésards d'une SA spécialisée dans la maintenance, les services et les applications autour du logiciel Gocad - T.Surf - a même inscrit son nom à Houston, donnant naissance à une filiale dans la capitale du pétrole.

## Contact

Question de Techniques, rubrique hebdomadaire du mardi Ghislain UTARD, L'Est Républicain, 1 boulevard Joffre, 54000 Nancy, Tél. 03.83.93.90.44

# A Woods e Mallet il premio Italgas L'energia segreta della terra

La Stampa - 11 Ottobre 1997

**A**NDREW William Woods, docente di matematica applicata all'Università di Bristol, e Jean-Laurent Mallet, professore di geologia all'Università di Nancy, sono i due vincitori dell'XI edizione dei Premi Italgas, per la ricerca scientifica e l'innovazione tecnologica. Ad assegnare il riconoscimento è stata una giuria presieduta da Tullio Regge.

I due ricercatori sono stati ieri protagonisti di un'intera giornata all'insegna della scienza che si è aperta in mattinata al Castello di Venaria con le loro prolusioni e si è chiusa al Regio con la cerimonia ufficiale di premiazione, accompagnata da un recital del tenore argentino José Cura.

In passato la giuria dell'Italgas aveva privilegiato personalità del mondo scientifico per il complesso della loro attività (nel palmarès non mancano Nobel come Harold Walter Krotol), quest'anno - ha spiegato Sergio Carrà, del Politecnico di Milano, a nome della giuria - inizia un nuovo ciclo: i premi andranno a particolari progetti in tre settori che riteniamo strategici per l'innovazione: energia, ambiente o informatica. La scelta è caduta su due ricerche in un ambito strettamente legato all'ambiente come le scienze della terra.

Trentatré anni, due gemelli di cinque mesi («mi hanno aiutato, giocando sulla tastiera del computer»), capelli corti e una forte emozione, William Woods ha illustrato i suoi studi sull'utilizzo dell'energia geotermica. Le differenze di temperatura che esistono nel sottosuolo possono essere infatti utilizzate vantaggiosamente: o estraendo il vapore che naturalmente si forma a contatto con le rocce calde o iniettando nel sottosuolo liquidi «da riscaldare». In Italia ad esempio a Larderello, dove esistono «soffioni boraciferi», conosciamo da decenni i vantaggi della geotermia. «Questo tipo di energia - ha spiegato Woods - negli ultimi 40 anni è stata sfruttata in molte parti del mondo. Si creano però dei problemi quando la fonte energetica si esaurisce». I suoi studi sono volti a

capire come sia possibile rinnovare queste fonti, con la reiniezione di fluidi. In particolare, utilizzando modelli matematici di sua elaborazione, Woods ha cercato di capire i meccanismi che governano il flusso dei liquidi nei mezzi porosi e gli scambi termici fra rocce e fluidi.

Cinquantatré anni, capelli brizzolati, farfallino al collo e anche lui padre di due gemelle («mi hanno accompagnato qui»), Jean-Laurent Mallet ha invece guidato, negli ultimi dieci anni, un ambizioso progetto internazionale: il Gocad. È un software applicativo altamente evoluto destinato alla visualizzazione in tre dimensioni di sistemi geologici molto complessi. «Ma l'utilizzo di questo software - ha spiegato il geologo francese - può andare ben al di là delle scienze della terra, i suoi principi permettono di applicarlo ad esempio alla medicina o ovunque ci sia necessità di analizzare strutture complesse».

Oltre al premio tradizionale l'Italgas ha deciso quest'anno, come ha ricordato il presidente Piero Mallardi, di favorire i giovani ricercatori bandendo un concorso per le migliori tesi di laurea nel campo dell'Energia e dell'Ambiente. Due vincitori ogni anno riceveranno la borsa di studio «idee per il futuro», ossia trenta milioni per sviluppare il lavoro avviato con le tesi. La strada scelta dall'Italgas prefigura un sempre maggiore coinvolgimento dell'industria a favore della ricerca.

«E' un coinvolgimento - ha spiegato il sottosegretario alla ricerca scientifica Giuseppe Tognon - che il nostro governo si proponeva di ampliare, sull'esempio degli altri Paesi. Chiunque verrà al nostro posto troverà comunque un grosso lavoro già fatto». Le dimissioni di Prodi non arresteranno la nuova iniziativa lanciata dal Ministero che vede fianco a fianco pubblico e privato: il «Chi è» della Ricerca italiana. «Ci proponiamo di creare una sorta di grande archivio in rete, finora inesistente, con i nomi dei ricercatori italiani e le caratteristiche dei loro lavori».

Rocco Moliterni

## CHERCHEUR A L'HONNEUR

Il récompense les contributions majeures des scientifiques européens au rayonnement de la recherche et de la technologie : le prix Italgas a été décerné au professeur Jean-Laurent Mallet du Centre de recherches pétrographiques et géochimiques de Nancy-Vandoeuvre. Il concerne notamment ses travaux de modélisation et de visualisation en 3D des objets géologiques complexes. Application : le secteur pétrolier et les laboratoires de recherche. Le prix Italgas sera remis à Turin le 10 octobre prochain.

L'Est républicain - 30 Septembre 1997

## DECOUVRIR

# L'Himalaya sous la loupe des chercheurs nancéiens

*Le centre de recherche pétrographique et géochimique tente de comprendre comment les phénomènes géologiques majeurs, tels que la formation d'une montagne, modifient l'environnement. Conférence.*

Nancy et l'Himalaya : le rapprochement n'est pas évident et ne manque pas d'intriguer. Et pourtant! Christian France-Lanord du centre de recherche pétrographique et géochimique de Nancy s'en expliquera mardi soir lors de la conférence organisée dans le cadre des «Mardis du CNRS».

«L'Himalaya a 40 millions d'années. Comparé aux 300 millions des Vosges, c'est une chaîne montagneuse jeune, simple, dont les effets sur l'environnement sont extrêmes. C'est précisément l'objet de nos études, cela depuis des années grâce notamment aux travaux de Patrick Lefort, l'un des plus grands géologues himalayistes.»

12% de la poussière ou des particules des océans proviennent directement de l'érosion de l'Himalaya, poursuit Christian France-Lanord qui multiplie les exemples.

«C'est à lui qu'on doit la mousson, qui elle même a influencé la survie de certaines espèces animales et végétales au détriment d'autres et qui aujourd'hui encore conditionne la vie dans les pays asiatiques...»

On le devine, le champ d'investigation est immense.

## 20 millions d'année d'histoire du globe

Les chercheurs nancéiens s'interrogent aussi sur le rôle de ces reliefs dans l'élimination du gaz carbonique.

«Les minéraux arrachés à la montagne subissent des altérations jusqu'à ce qu'ils atteignent les océans. Ces réactions chimiques complexes consomment du CO<sub>2</sub>, sans que l'on sache précisément dans quelle proportion, ni comment ils interviennent dans la régulation du taux de gaz carbonique dans l'atmosphère.»



Christian France-Lanord : un champ d'investigation immense. (Photo : Serge LALISSE)

Pour comprendre ces phénomènes, les scientifiques disposent de prélèvements de roches réalisés dans l'océan, au sud du Bangladesh où ils ont localisé une couche sédimentaire de 22 km d'épaisseur provenant de l'Himalaya.

Des Nancéiens se sont également rendus dans la plaine du Gange où des accidents géologiques font ressortir à la surface des couches de terrains très anciennes, dont l'origine est identique.

«20 millions d'années de l'histoire de la terre se trouvent inscrits là.»

Un enregistrement à l'échelle du globe qu'il leur appartient de décrypter.

Bruno SUSSET

● Conférence mardi 12 décembre à 20h30 au conservatoire régional de l'image, rue Michel-Ney à Nancy.

L'Est républicain - 10 Décembre 1995

# L'histoire des vitraux est l'avenir des ordures !

*La vitrification permet de stabiliser les déchets ultimes en piégeant les polluants. Mais pour combien de temps ? Un laboratoire nancéien mène l'enquête en étudiant le comportement de vitraux parfois millénaires ! Étonnant.*

Avec un kilo par habitant et par jour, les ordures ménagères sont toujours plus envahissantes. Si l'incinération dont on annonce un développement considérable (et sans doute exagéré !) réduit leur volume, elle génère, outre les mâchefers, des résidus d'épuration des fumées (réfium) qui ont le redoutable inconvénient de concentrer les polluants que sont les chrome, nickel, mercure, zinc, plomb, cadmium ou arsenic. Pour stabiliser ces cendres très solubles à l'eau, le procédé le moins coûteux consiste à les gâcher avec du ciment avant stockage, avec la durabilité qui en découle.

Seconde méthode, beaucoup plus onéreuse mais utilisée dans le secteur nucléaire : la

vitrification. Les cendres sont portées à 1300 ou 1400 degrés. Un peu comme le sucre qui se transforme en caramel, on obtient alors un liquide silicaté qui, par chute brutale de la température, va se figer et se transformer en verre en piégeant les polluants pour un espère des milliers ou des millions d'années.

## Atmosphères bizarres

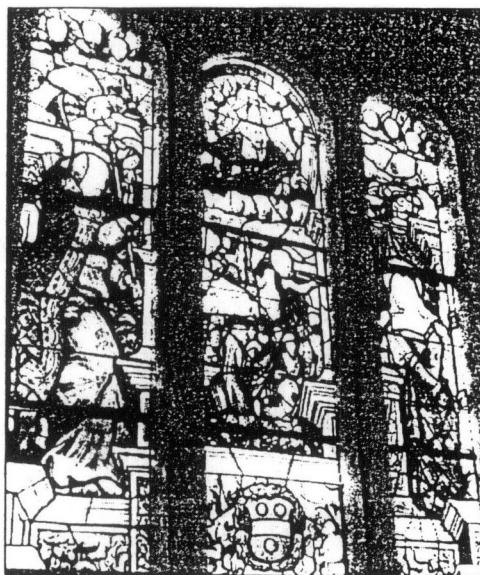
Spécialisé dans les phénomènes de formation des roches et des minéraux, que ce soit au cœur de la planète ou dans des milieux très complexes, un des laboratoires du centre de recherche pétrographique et géochimique de

Nancy a trouvé là un champ concret pour le transfert de sa recherche fondamentale. Car l'idée première, c'est de réussir à baisser (pour faire des économies d'énergie) la température de vitrification tout en obtenant un taux satisfaisant de piégeage des polluants. Mais c'est aussi de déterminer l'altération dans le temps de ce verre, donc sa capacité à retenir pour les générations futures les substances nocives.

Le laboratoire de Guy Libourel s'appuie d'abord sur ses recherches expérimentales sur la formation des roches. « Au lieu d'analyser des échantillons prélevés, nous essayons ici de recréer avec des fours et des presses les conditions qui prévalaient à la formation d'une roche » explique le scientifique. A des hautes températures (1800 degrés), à des pressions de 4000 bars, en recréant avec des gaz parfois dangereux des atmosphères bizarres, le labo de Guy Libourel signe ainsi une « cuisine » (comme il le dit lui-même en riant) qui n'est pas toujours sans risque.

## Carolingiens

Mais les connaissances ainsi accumulées peuvent donc trouver applications dans une série de processus industriels. A commencer par la vitrification. Et la capacité du verre obtenu à retenir les substances nocives.

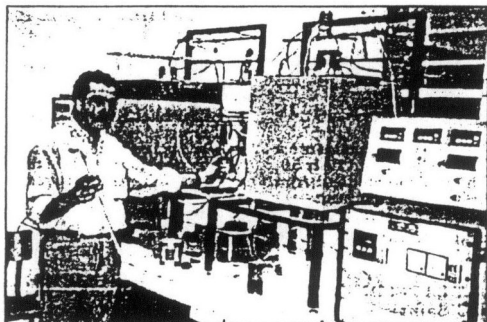


Chrome, nickel, plomb... : avec leurs œuvres colorées, les créateurs de vitraux ont piégé les mêmes polluants que ceux des déchets.

Dans cet objectif, Guy Libourel travaille aussi sur les vitraux, notamment des cathédrales médiévales ! Les vitraux présentent en effet trois analogies étonnantes : « Ils ont été colorés avec des métaux lourds qui sont ceux qui nous préoccupent dans le secteur des ordures ménagères ! Ils sont pour les plus vieux de l'époque carolingienne et nous offre 1200 ans d'altération et de recul. Ils traduisent, grâce à leurs deux faces exposée ou protégée, grâce aussi aux débris enfouis au pied des verrières après des incendies ou des des-

tructions, trois modes d'altération du verre ».

Bref, à les observer, on suit ce qui pourrait se passer dans le futur avec les résidus vitrifiés de nos ordures ménagères. « Il y a largement des polluants mais à des doses infimes » souligne ainsi Guy Libourel. Tout l'art sera donc de comprendre des phénomènes extrêmement complexes pour que demain les cendres se transforme en un verre très stable. L'avenir des ordures est peut-être écrit dans l'histoire de nobles vitraux !



Guy Libourel dans le laboratoire du CRPG : « Avec les vitraux carolingiens, nous avons 1200 ans de recul ! ».

L'Est républicain - 1 Juillet 1997

Sciences et Avenir - Février 1996



## DÉCHETS ULTIMES

### Le salut vient du vitrail

Que deviennent nos déchets ultimes vitrifiés ? Dans combien de temps altèrent-ils ? Pour les chercheurs, la révélation d'innombrables détails est venue des vitraux médiévaux. D'un point de vue chimique, en effet, les uns et les autres sont similaires entre leur base commune constituée notamment de fondants et de silices. Les vitraux anciens étaient colorés par l'ajout d'éléments polluants - des métaux lourds tels que le cuivre pour le rouge et le vert, ou le cobalt pour le bleu - que l'on retrouve en portions équivalentes dans les déchets ultimes. Mais, tandis que les procédés de vi-

trification des déchets en sont en outre à leurs balbutiements, les vitraux n'ont hérité que d'une seule et unique technique de plusieurs centaines d'années aux intempéries et autres attaques naturelles. Aussi, avant de généraliser un processus de vitrification des déchets, est-il important de comprendre les mécanismes d'altération des verres, et notamment des verres anciens », observe Jérôme Stepienich, chercheur au Centre de recherches pétrographiques et géochimiques de Nancy.

Selon leur composition, les vitraux ont montré des disparités importantes devant les altérations dues à l'air, les vitraux bleus de Chartres, à dominante silicique, sont ainsi bien plus résistants que ceux, plus potassiques, d'Oppenheim, en Allemagne.



# A Nancy, des chercheurs tutoient les météorites

Une équipe du CNRS vient de percer la dernière énigme de la nucléosynthèse, le phénomène qui, à partir du Big-Bang, a permis la naissance des éléments dans l'univers.

Si, sur terre, la roche a perdu ses caractéristiques originales au cours des 4,55 milliards d'années d'existence du système solaire, certaines météorites (les chondrites) n'ont pratiquement subi aucune modification géochimique depuis l'apparition des premiers solides. Ces objets primitifs, pour peu qu'ils puissent être retrouvés au hasard de leur chute sur terre, sont de véritables témoins d'un passé lointain.

En utilisant la sonde ionique nancéienne (un matériel qui permet d'analyser des compositions de l'ordre du micromètre), une équipe du CNRS vient ainsi de percer un problème sur lequel les scientifiques s'interrogeaient depuis plus de vingt ans.

En quatre ans de travail, Marc Chaussidon, du Centre de recherches pétrographique et géochimique de Nancy, et François Robert du Laboratoire de minéralogie (organisme commun du Mu-

séum d'histoire naturelle et du CNRS) ont réussi à compléter l'explication des réactions à l'origine de la naissance des différentes substances présentes dans l'univers.

## En dehors des étoiles

Au cœur de leurs recherches : les « bore 10 » et « bore 11 ». Ces isotopes figuraient avec le lithium et le béryllium au rang des quatre éléments chimiques dont l'apparition échappe aux deux mécanismes connus de la nucléosynthèse (des réactions nucléaires qui permettent aux noyaux atomiques de se combiner) : le cœur des étoiles et les effets du Big-Bang.

Dès le début des années 70, un troisième type de fabrication était avancé par des scientifiques : une collision à très grande vitesse de noyaux lourds du milieu interstellaire (carbone et oxygène) par des noyaux rapides qui constituent le rayonnement cosmi-

que (hydrogène et hélium). Bref, une naissance en dehors des étoiles, baptisée « spallation ».

Les calculs sur la base de ce scénario théorique concluaient alors à une proportion de « bore 10 » deux fois supérieure au « bore 11 ». Mais ces résultats étaient pris en défaut par la réalité (rapport de quatre observé sur terre). L'énigme, tenace, résistait.

Marc Chaussidon et François Robert explorant l'infiniment petit d'un fragment de météorite chondrite ont d'abord mis en évidence un même rapport de quatre dans l'objet extraterrestre. En clair : ils ont confirmé par une analyse irréfutable la naissance du bore en dehors des étoiles.

## Nébuleuse d'Orion

L'observation de la nébuleuse d'Orion par des Américains leur a apporté ensuite la

piste nécessaire pour résoudre le mystère persistant quant aux proportions de bore. Les astrophysiciens d'outre-Atlantique ont en effet conclu qu'il se produisait dans cette nébuleuse une « spallation » mais, cette fois, lors d'une collision d'atomes à basse énergie, laquelle produit davantage de « bore 11 ».

L'équipe du CNRS a pu confirmer le processus par ses travaux démontrant ainsi cette autre origine du bore : des « spallations » qui se produi-

sent dans un nuage interstellaire... du même type que celui qui a précédé la formation de notre système solaire ! La boucle est bouclée et la théorie de la nucléosynthèse complétée. « Nos recherches permettent d'établir que la fabrication des éléments observés a duré de 300.000 à 1,5 million d'années ». Ce qui correspond au temps qu'a pris la formation du système solaire dans la nébuleuse d'origine... Tout se rejoint.

Ghislain UTARD

## Physique

### Aux sources des briques de l'Univers

Si toute la matière que nous connaissons est constituée, tel un gigantesque « Lego », d'une centaine de sortes de « briques » – les éléments chimiques de la table de Mendeleïv (oxygène, fer, plomb, etc.) –, l'origine de certaines d'entre elles restait énigmatique. Deux chercheurs français viennent d'élucider ce mystère.

Tous les éléments présents sur Terre (et ailleurs) ont été fabriqués soit au cœur des étoiles, par réactions nucléaires, soit, pour les plus légers (hydrogène et hélium), quelques minutes après le big bang. Tous, sauf trois qui résistaient à ces explications : le lithium, le béryllium et le bore, bien que légers, sont très instables et ne peuvent avoir été formés ni dans la nucléosynthèse primordiale (après le big bang), ni dans les étoiles. Alors, où et comment sont-ils nés ?

Une explication avait été proposée : ces éléments seraient nés de collisions entre les rayonnements cosmiques de grande énergie et de la matière interstellaire. Mais ces réactions, d'après les calculs, auraient dû produire 2,5 fois plus de bore 11 que de bore 10 (le bore 11 possède six neutrons, les bore 10, cinq). Or, sur terre, le bore 11 est 4 fois plus abondant que le bore 10. Cette explication n'était donc pas satisfaisante.

François Robert et Marc Chaussidon, du Muséum d'histoire naturelle et du CNRS de Nancy, viennent d'en proposer une meilleure. Analysant avec une extrême précision la composition de plusieurs météorites – composition qui n'a pas changé depuis la formation du système solaire –, ils ont d'abord montré que le rapport bore 11/bore 10 s'y trouvait comme sur la Terre proche de 4. Nos chercheurs ont alors rapproché leurs

résultats d'une autre découverte récente : des astronomes américains ont détecté des rayons gamma provenant de la nébuleuse d'Orion, qui seraient émis lors des chocs entre des noyaux d'hydrogène et d'oxygène éjectés par des supernovae du même nuage.

Les deux scientifiques ont calculé que, dans cette nébuleuse, ces réactions devaient produire des taux de bore 11 et 10 en parfait accord avec ce qu'ils avaient mesuré dans leurs météorites ! Conclusion : les atomes de bore ne sont pas formés dans le vide intergalactique, mais probablement dans des nuages très denses de gaz et de poussières qui se condensent peu à peu pour former des étoiles nouvelles. Des nuages tout à fait semblables à celui qui a donné naissance au système solaire. H.G.

Sciences et Vie - Mai 1995

L'Est républicain - 26 Juillet 1995

## Scientifiques nancéiens à l'honneur

Rarissime : les revues anglaise et américaine « Nature » et « Science » viennent de publier le fruit des travaux de trois chercheurs nancéiens.

Ils sont rares les scientifiques français ou européens à « décrocher » un article dans les très cotées revues scientifiques anglaise « Nature » ou américaine « Science ». La performance de Marc Chaussidon, chargé de recherches au CNRS, François Robert, directeur de recherches au CNRS et de Bernard Marty, professeur en géochimie à l'école de géologie n'en a que plus de mérite. Les deux premiers viennent de voir leurs recherches sur les météorites publiées par la revue « Nature ». Marc Chaussidon et Bernard Marty verront, en outre, dans les prochains jours le magazine « Science », consacrer un important article au fruit de leur travail sur les échantillons soulevés dans les failles de la terre, sous les mers

« Nous sommes parvenus à montrer par quel processus de fabrication apparaît le bore, l'un des éléments que l'on retrouve partout sur la terre, comme chez les humains », explique Marc Chaussidon. Une découverte importante, confirmée par le choix de la très spécialisée revue « Nature », qui devrait avoir également d'autres incidences sur le travail de nombreux scientifiques. Les recherches du groupe nancéien ont été facilitées par l'un des outils actuellement implanté au CRPG (centre de recherches pétrographiques et géochimiques) : une sonde ionique d'un coût de quatre millions de F. Les chercheurs espèrent maintenant voir arriver un outil encore plus performant, d'un coût de douze millions de F.



Marc Chaussidon, François Robert et Bernard Marty, honores par le milieu scientifique

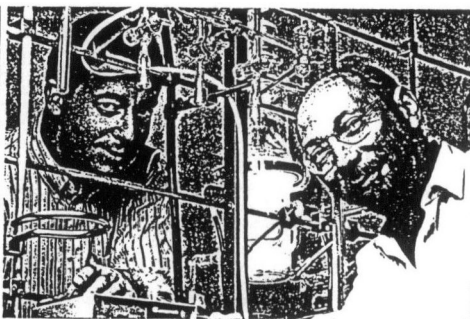


# La naissance des atomes

Comment naissent les atomes ? Les astrophysiciens peuvent répondre pour presque tous les éléments. Presque, car le lithium, le béryllium et le bore ont longtemps échappé aux plus fins limiers de la recherche. Pas à tous pourtant. L'enquête menée par deux Français vient d'aboutir.

Longtemps, les astrophysiciens ont retenu deux explications principales de la nucléosynthèse, autrement dit la naissance des atomes. La première met en scène l'hydrogène, l'élément le plus abondant dans l'Univers, son isotope naturel, le deutérium, et un peu d'hélium. Suivant l'hypothèse du Big Bang, ils se seraient créés durant les premières minutes de l'explosion originelle.

Les astres, essentiellement composés d'hydrogène dans leur jeunesse, s'effondrent sur eux-mêmes sous l'effet de leur propre masse. Une forte chaleur en résulte qui permet une réaction nucléaire : deux noyaux d'hydrogène donnent un noyau d'hélium en dégageant de l'énergie. Le Soleil fonctionne exactement sur ce modèle, l'énergie émise nous parvenant sous la forme du rayonnement solaire. Dans cette réaction de fusion thermonucléaire stellaire, un équilibre s'installe entre l'hélium et l'hydrogène. La rupture de cet équilibre quand la quantité d'hydrogène devient trop faible entraîne un nouvel écroulement de l'étoile sur elle-même. Le surplus d'énergie qui en résulte permet à plusieurs atomes d'hélium de fusionner pour donner du carbone et de l'oxygène. Ce cycle de fusions, équilibres, écroulements, utilisant les éléments disponibles, plus nom-



Marc Chaussidon et François Robert, du Centre de recherches pétrographiques et géochimiques (CNRS) Nancy. Leurs mesures sur des chondres valident la théorie expliquant la naissance des atomes de lithium, béryllium et bore.

breux à chaque étape, explique l'apparition des différents atomes jusqu'aux éléments transuraniens, c'est-à-dire dont le nombre atomique est supérieur à celui de l'uranium, soit 92. Pour les plus lourds, il faut toutefois recourir à un second modèle et supposer que leur noyau se forme à partir d'un noyau léger, né dans les étoiles, qui capture des neutrons perdus par les réactions de fusion. Les observations confirment ces scénarios et donnent donc pleine satisfaction.

Malheureusement le lithium, le béryllium et le bore échappent à ces deux modèles. Pour eux, un scénario original vaut le jour. Son cadre, le milieu interstellaire. Les astrophysiciens imaginent des collisions entre des fragments de noyaux lourds (carbone, oxygène...) et le rayonnement cosmique, composé d'hydrogène et d'hélium, peu intense mais très énergétique, environ 200 mégaelectronvolts (MeV). Ce mécanisme nommé spallation à haute énergie explique très correctement

la présence des trois atomes hors norme et se trouve confirmé par des mesures récentes. Mission accomplie ? Pas vraiment. Les rapports isotopiques (lire encadré ci-contre) ne sont pas ceux observés dans le système solaire. Dans l'Univers, le rapport bore-11/ bore-10 vaut 2,5, dans le système solaire, il vaut 4. Pour parvenir au modèle final, la direction de l'enquête est claire : la spallation à haute énergie, est une bonne piste, mais qu'il conviendrait d'am-

Ses deux formes principales sont le bore-10 et le bore-11, ce dernier étant deux fois et demi plus courant que l'autre. Le rapport isotopique bore-11/bore-10 vaut 2,5. Les rapports isotopiques sont très stables et leurs variations traduisent donc les modifications d'un système spatial. Il en va ainsi avec le rapport atypique bore-11/bore-10 qui vaut 4 dans le système solaire.

## Genèse

### Histoire de chondres

Les chondres sont un nouveau d'histoire enregistrée. Ils se trouvent uniquement dans les météorites les plus anciennes, datées de 4,55 milliards d'années, le moment de la genèse suppose du système solaire. Les savants ne connaissent ni le comment ni le pourquoi de leur fusion, ni l'état de la matière ou le mécanisme de la condensation au moment où elle s'est produite. En revanche, la structure des minéraux dans un chondre précise les conditions de pression et de température au moment de sa formation. Sa surface, bombardée de grains d'un micron, informe sur son milieu de naissance, probablement un disque de matière condensée. Les rapports isotopiques indiquent l'état d'hétérogénéité isotopique du nuage de départ. Tout particulièrement, l'étude de leurs variations telle que l'ont pratiquée Marc Chaussidon et François Robert est riche d'enseignement. Une fois le chondre formé, sa composition ne changera plus. Il peut toutefois être soumis à une nouvelle fusion ou à un autre événement. Sa structure enregistre tout faisant du chondre un témoin de sa propre création.

pour obtenir le rapport mesuré. Ainsi, la spallation à basse énergie. Dans des nébuleuses, l'hydrogène est bombardé par du carbone et de l'oxygène de basse énergie (10 MeV) issus de l'explosion d'étoiles, les supernovae. La nébuleuse d'Orion est un parfait exemple de ce genre de situation. Le rapport prévu dans ce scénario oscille autour de 1. Résultat : l'atmosphère. C'est là l'apport essentiel de Marc Chaussidon et François Robert : chercheurs au CNRS, leurs mesures dans des chondres confirment ce scénario à une de

4,55 milliards d'années confirmant la théorie de la spallation à basse énergie. Toutefois, le lithium n'entre pas complètement dans ce cadre et nécessite d'autres mesures. L'interprétation de tous ces travaux est pourtant beaucoup plus large : les observations d'importantes variations du rapport bore-11/bore-10 dans les chondres prouvent l'hétérogénéité du nuage interstellaire d'origine. En gros, « cela fait de l'atmosphère d'Orion un modèle très probable de l'état de notre système solaire au moment de sa naissance ».

Eric Glover

#### ACTUALITÉ DE LA RECHERCHE



### LES MÉTÉORITES CONFIRMENT LA POSSIBILITÉ DE FORMATION DU BORE PAR SPALLATION À BASSE ÉNERGIE DANS LE NUAGE PROTOSOLAIRE

Les chondrites sont des météorites considérées comme les objets les plus primitifs du système solaire, n'ayant pas ou peu subi de remaniement géochimique depuis leur formation il y a 4,55 milliards d'années. Leur composition nous renseigne sur les premiers instants du système solaire. L'analyse par sonde ionique dans des chondres de météorites primitives des isotopes du bore (<sup>11</sup>B/<sup>10</sup>B) par deux chercheurs du Centre de recherches pétrographiques et géochimiques du CNRS à Vandœuvre-lès-Nancy et du Laboratoire de minéralogie, unité associée CNRS-Muséum national d'histoire naturelle à Paris, montre de très grandes variations de ce rapport. Ceci semble confirmer la possibilité de spallation à basse énergie pour synthétiser cet élément dans le nuage protosolaire. Deux processus ont été proposés par les physiciens et astrophysiciens pour expliquer la nucléosynthèse du bore. Le premier survenant dans le milieu interstellaire par collision entre les rayons cosmiques (hydrogène, hélium...) et des fragments de noyaux lourds (carbone et oxygène...) du milieu interstellaire, est appelé spallation à haute énergie et conduit à un rapport isotopique bas et constant. Des mesures récentes du rayonnement cosmique ont confirmé cette théorie. Le second, appelé spallation à basse énergie, vient de l'être également par l'analyse du bore dans les météorites. La spallation à basse énergie peut se produire dans des nébuleuses par collision entre du carbone et de l'oxygène issus de supernovae et l'hydrogène de ces nébuleuses. Dans ce cas les rapports isotopiques du bore sont élevés et variables. Les chondrites analysées par les géochimistes présentent en effet de telles caractéristiques.

# Science et cinéma sur une même affiche

De l'invention de la chronophotographie à Jurassic Park, la science a créé le 7e art et le 7e art s'est inspiré de la science. Du 7 au 16 novembre, le CNRS propose projections, conférences, débats... sur ce couple passionné.

Le cinéma a cent ans ! Et ce ne sont pas les scientifiques qui diront le contraire. Mais avant la première projection publique des frères Lumière en décembre 1895, des savants ont posé les premières pierres d'une technique portée depuis au rang de septième art. Parmi les pionniers, il y eut l'astronome Jules Janssen en 1874.

conférences, projections, débats, rencontres sur le thème « science et cinéma ». Cette manifestation grand public et gratuite (à l'exception d'une projection à tarif réduit au Caméo) déclinera ainsi des sujets attractifs, du cinéma rayon X à l'histoire du temps.

« Les films au programme ne sont pas seulement à vocation pédagogique. Il s'agit également de documents destinés à aiguïser la curiosité du grand public » expliquent les organisateurs qui proposent ainsi un rendez-vous assez inédit avec les scientifiques. Le public pourra par exemple rencontrer le Nancéien Marc Chaussidon, un « chasseur d'étoiles » dont les recherches portent sur les théories qui expliquent la naissance de l'univers.

Parmi les invités vedettes : Jean Rouch, une des plus grandes signatures du documentaire scientifique.

Il y eut aussi et surtout Étienne Jules Marey et ses chronophotographies qui saisissaient les mouvements anatomiques ou « le très scandaleux docteur Doyen filmant la séparation des sœurs siamoises ou l'amputation d'une jambe, ou encore Jean Painlevé, le savant qui fréquentait les surréalistes » comme le rappelle Alexis Martinet de l'Institut de cinématographie scientifique.

« Aiguïser la curiosité »

De la naissance du cinéma aux effets spéciaux en passant par la représentation de la science sur les grands écrans, artistes du septième art et savants constituent un couple historique. C'est pourquoi la délégation régionale du CNRS propose du 7 au 16 novembre à Nancy un cycle de

Le Républicain Lorrain - 28 Novembre 1997

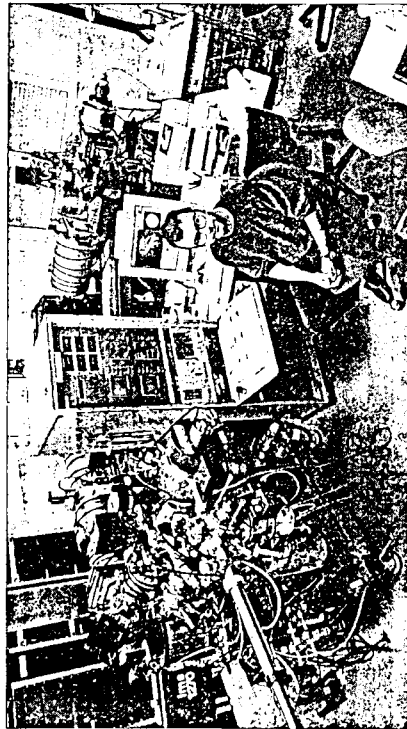
RECHERCHE

## Une sonde ionique pour percer les mystères de l'univers

La mesure de l'infiniment petit est nécessaire à la recherche médicale, aux Sciences de la Terre, à une meilleure compréhension des phénomènes environnementaux. Pour cela, Nancy vient de se doter d'une sonde ionique d'une valeur de 13 MF.

NANCY — Vertigineux... Le Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques de Nancy, laboratoire propre du CNRS, vient de se doter d'un appareil exceptionnel dont il n'existe à ce jour que 6 exemplaires dans le monde, 2 aux USA, 2 au Japon, un en Norvège. La sonde ionique IMS 1270 a pour vocation l'étude des roches terrestres et extraterrestres, petits morceaux de lune, débris espérés de la planète Mars dans un futur proche, mais aussi celle de l'atmosphère, des particules qui courent tout autour de la terre, portés par les grands vents dominants.

Sous le microscope, un Aletti dessine colore. C'est une lame de roche, épaisse de quelques microns, fragment presque transparente prélevé sur une météorite vieille de 4,5 millions d'années, à la formation du système solaire qui permettra d'approcher la formation de ce dernier. « L'avantage de ce nouvel équipement, c'est qu'il permet d'analyser les roches sans préparation chimique », explique le technicien attache à la sonde, Denis Mangin. Avant cela, l'étude des roches se faisait avec un spectromètre de masse qui nécessitait



L'instrument exceptionnel dont l'un des six exemplaires au monde est installé à Nancy.

Mangin, « analyser des grains de pollen, pour retracer l'évolution des végétations ». En prélevant des carottes dans la calotte glaciaire, ou par strates s'est déposée la mémoire de la planète, on percera le mystère de l'évolution des climats. Une autre des applications possibles est en relation directe avec l'environnement et la gestion des déchets ultimes. On pense neutrali-

ser les métaux lourds qui subsistent après traitement au moyen d'un procédé de vitrification. Mais pour combien de temps ? La sonde étudiera l'évolution de ces métaux à partir du verre dont on se servait pour composer les vitraux des cathédrales. Le verre, qui comporte du plomb et de l'arsenic, vieux de plus de 1 000 ans, sera analysé pour voir comment évoluent ces métaux lourds, conti-

ment, ils migrent... et comment on peut les stabiliser.

Dans six mois, la sonde ionique du CRPG sera totalement opérationnelle. Elle sera utilisée à mi-temps par les chercheurs nancéiens qui travaillent avec John Ludden, patron du laboratoire, et également par des chercheurs venus d'autres unités scientifiques et qui travaillent sur d'autres programmes.



Marc Chaussidon (au centre) et son équipe nancéienne : des chasseurs d'étoiles qui remontent aux sources de l'univers.

# AUJOURD'HUI

SCIENCE

## Deux Français percent les derniers secrets de la nucléosynthèse

La théorie qui explique l'apparition de tous les éléments présents dans l'univers à partir du Big Bang original semble désormais complète

**COSMOLOGIE** De l'hydrogène au carbone en passant par le fer et l'oxygène, tous les éléments présents dans l'univers sont apparus par « nucléosynthèse », affirment

les théoriciens. • **NOYAUX.** Au sein de la « soupe primordiale » du Big Bang, puis dans l'espace interstellaire et dans le feu thermonucléaire des étoiles, des réactions plus ou

moins violentes ont permis aux noyaux atomiques de se combiner entre eux pour former, à partir de l'hydrogène et de l'hélium, des substances de plus en plus nombreuses.

Depuis deux décennies, les chercheurs français, Marc Chaussidon et François Robert, sont allés chercher la solution dans les chondrites, de minuscules billes que l'on trouve dans les météorites.

UNE PARTIE de la solution était cachée au sein de la nébuleuse d'Orion, à 15 millions de milliards de kilomètres de chez nous. L'autre se trouvait à portée de main, dans les échantillons de météorites qui dormaient dans leurs laboratoires. En assurant la jonction, deux chercheurs français ont, semble-t-il, pu résoudre une énigme sur laquelle la communauté des astrophysiciens bûnait depuis plus de deux décennies.

C'est le genre de question fondamentale qu'affectionnent les enfants, qui plongent leurs parents dans la perplexité et les scientifiques dans le ravissement : « Comment le fer, les carbones et tous les éléments présents dans l'univers sont-ils apparus ? »

Depuis la découverte de la radioactivité, les astrophysiciens ont réussi à se forger peu à peu une assez bonne image de la manière dont les choses se sont passées. Selon leur schéma, la bonne certaine différences actuellement connus sont tous nés par « nucléosynthèse », une série de réactions nucléaires plus ou moins violentes qui ont permis aux noyaux atomiques de se combiner entre eux pour former des substances de plus en plus complexes à partir de quelques éléments primordiaux.

Or, dans toutes les roches terrestres communes, on trouve approximativement quatre fois plus de bore 11 que de bore 10. Les théoriciens se seraient-ils trompés ?

Pour en avoir le cœur net, François Robert (laboratoire de minéralogie, Muséum d'histoire naturelle/CNRS) et Marc Chaussidon (Centre de recherches pétrographiques et géochimiques, CNRS Nancy) ont décidé de se pencher sur les météorites. Ou, plutôt, sur les chondrites - de minuscules billes de silicates d'un diamètre de millimètre à un millimètre de diamètre - qui sont enrobées de matière de roche venue des confins du système solaire, « les météorites sont les objets les plus primitifs que l'on connaisse, explique François Robert. Ils se sont formés il y a 4,55 milliards d'années et n'ont pas, contrairement aux roches terrestres, subi de réchauffement important depuis. » Les chondrites présentent, de surcroît, une structure et une composition très spéciales : « Dix fois moins en

même temps, elle apportait un argument supplémentaire contre le processus de spallation tel qu'il a été imaginé par les théoriciens. L'énigme résistait.

Depuis deux décennies, les chercheurs français, Marc Chaussidon et François Robert, sont allés chercher la solution dans les chondrites, de minuscules billes que l'on trouve dans les météorites.

chercheurs français, Marc Chaussidon et François Robert, sont allés chercher la solution dans les chondrites, de minuscules billes que l'on trouve dans les météorites.

### Isotopes à tout faire

Les isotopes sont des atomes d'un même élément chimique dont les noyaux possèdent le même nombre de protons, mais un nombre différent de neutrons. Les isotopes d'un même corps occupent la même place dans le tableau de Mendeleïev, sorte de répertoire de tous les éléments. Ils ont une masse très légèrement différente, mais des caractéristiques chimiques extrêmement voisines. Certains sont stables, d'autres radioactifs.

A l'exception du bore et de certains isotopes du lithium et du béryllium. Pour combler cette lacune, les physiciens ont imaginé, durant les années 70, un troisième processus de synthèse, la « spallation », qui se produit non plus au sein des étoiles, mais dans l'espace interstellaire, qui se comporte en l'occurrence comme un gigantesque collisionneur de particules naturel.

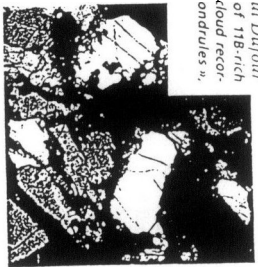
Les noyaux légers (essentiellement lithium et l'hydrogène) anciens à très grande vitesse qui compriment les rayons cosmiques, heurtent violemment d'autres noyaux plus lourds (d'oxygène ou de carbone). Des débris de la collision inclinent les noyaux mineurs, dans les processus nucléaires de nucléosynthèse.

Un problème de taille subsistait cependant : les règles de la physique nucléaire stipulaient qu'une réaction de ce type devait produire

des isotopes du bore et de certains isotopes du lithium et du béryllium. Pour combler cette lacune, les physiciens ont imaginé, durant les années 70, un troisième processus de synthèse, la « spallation », qui se produit non plus au sein des étoiles, mais dans l'espace interstellaire, qui se comporte en l'occurrence comme un gigantesque collisionneur de particules naturel.

des isotopes du bore et de certains isotopes du lithium et du béryllium. Pour combler cette lacune, les physiciens ont imaginé, durant les années 70, un troisième processus de synthèse, la « spallation », qui se produit non plus au sein des étoiles, mais dans l'espace interstellaire, qui se comporte en l'occurrence comme un gigantesque collisionneur de particules naturel.

des isotopes du bore et de certains isotopes du lithium et du béryllium. Pour combler cette lacune, les physiciens ont imaginé, durant les années 70, un troisième processus de synthèse, la « spallation », qui se produit non plus au sein des étoiles, mais dans l'espace interstellaire, qui se comporte en l'occurrence comme un gigantesque collisionneur de particules naturel.



Fragment de météorite : profil analytique réalisé par décomposition isotopique de l'hydrogène, du lithium et du bore.

quel dans la machine, il est bombardé par un faisceau d'ions d'oxygène et de césium. Les atomes arrachés à l'échantillon par le bombardement sont ionisés, triés à l'arrivée, analysés puis mesurés par des détecteurs de très haute sensibilité, capables de compter les ions un par un. Et le résultat de tous ces

carbone en passant par le fer et l'oxygène, tous les éléments présents dans l'univers sont apparus par « nucléosynthèse », affirment

les théoriciens. • **NOYAUX.** Au sein de la « soupe primordiale » du Big Bang, puis dans l'espace interstellaire et dans le feu thermonucléaire des étoiles, des réactions plus ou

moins violentes ont permis aux noyaux atomiques de se combiner entre eux pour former, à partir de l'hydrogène et de l'hélium, des substances de plus en plus nombreuses.

Depuis deux décennies, les chercheurs français, Marc Chaussidon et François Robert, sont allés chercher la solution dans les chondrites, de minuscules billes que l'on trouve dans les météorites.

Depuis deux décennies, les chercheurs français, Marc Chaussidon et François Robert, sont allés chercher la solution dans les chondrites, de minuscules billes que l'on trouve dans les météorites.

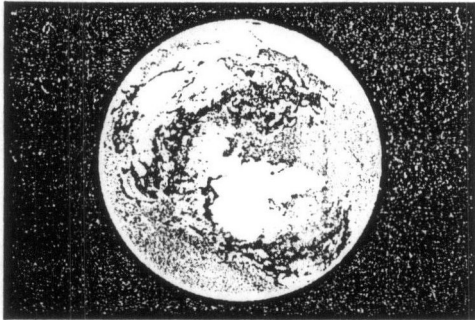
### SONDE IONIQUE

## L'infinitesimal au service des géosciences

Analyses des poussières interstellaires, identifier un seul grain de pollen dans une roche fossile de plusieurs millions d'années ou comprendre comment les vitraux du Moyen Âge se sont altérés au fil des siècles : ces projets scientifiques sont aujourd'hui réalisables, grâce à un nouvel instrument d'analyse installé depuis quelques mois au Centre de recherches pétrographiques et géochimiques (CRPG), à Vandœuvre, sur les hauteurs de Nancy. Cette sonde énorme, qui occupe tout un laboratoire, est pourtant d'une extrême sensibilité. Elle va permettre de mesurer, à l'échelle microscopique, les concentrations et les compositions isotopiques de tous les éléments chimiques connus, jusqu'à des teneurs extrêmement faibles, de l'ordre d'un milligramme par tonne. En outre, l'échantillon à analyser ne nécessite aucune préparation chimique. Placé tel

# La sonde de l'infiniment petit

*Un outil « fabuleux ». Unique au monde. Nancy inaugure aujourd'hui une « sonde ionique » qui permettra des analyses à l'échelle microscopique. Enjeu : des données sur les matériaux extra-terrestres, la vie, les océans, le soleil...*



Climat, pollution... : la sonde va contribuer à améliorer la connaissance des phénomènes.

« Fabuleux ». Appréciation d'un chercheur du Centre de recherche géochimique et pétrographique (la science des roches) de Nancy-Vandœuvre.

Cette unité propre du CNRS inaugure aujourd'hui une sonde ionique, un instrument qui analyse à l'échelle microscopique les concentrations et les compositions isotopiques de tous les éléments connus.

En clair : il franchit les frontières de l'atome pour aller déceler ne serait-ce que des traces dans des proportions de un pour un milliard. Et établir précisément leur nombre, leur énergie et leur masse.

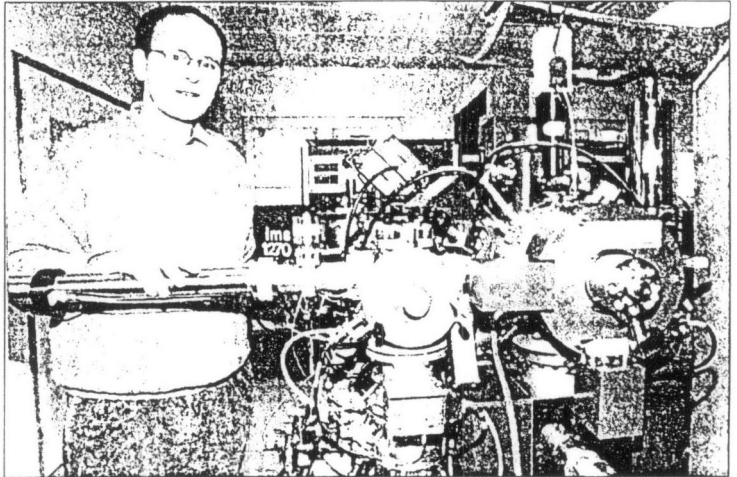
En autorisant une exploration très poussée de l'infiniment petit, cette sonde va

permettre de poursuivre et développer des recherches dans l'étude des matériaux extra-terrestres comme les météorites, les processus de formation des continents ou des océans, la constitution de l'atmosphère...

13 millions de francs ont été investis dans cet équipement conçu par la société française Cameca et dont il n'existe que cinq exemplaires dans le monde dont un seul autre en Europe, précisément en Suède.

## Avancée technologique

Mais l'appareil installé à Nancy avec l'appui financier des collectivités locales est unique avec un système de « multi-collection » qui permet l'analyse simultanée de plusieurs éléments. Véritable prototype ( « on



Etienne Deloule : « Une résolution cent fois supérieure ».

Photos Michel BEKHIRA

*l'a acheté alors qu'il n'existait pas ! »* », il sera d'ailleurs encore en phase de test pendant un an.

Il constitue une avancée technologique capitale comme le souligne le patron du CRPG, John Ludden dont l'origine anglaise traduit d'ailleurs le rayonnement international d'un pôle qui compte 120 personnes dont 30 chercheurs et autant de thésards. Et un matériel high-tech.

« Nous disposons déjà depuis dix ans d'une sonde ionique que beaucoup de laboratoires aimeraient

aujourd'hui encore posséder. Mais le nouvel équipement offre une résolution et une sensibilité cent fois supérieures ! » précise Etienne Deloule, un des chercheurs.

Le CRPG-CNRS qui partagera l'utilisation de cet équipement avec la communauté scientifique et universitaire française conforte en tout cas des capacités de recherches qui lui ont permis de développer des collaborations sur tous les continents.

Dossier : Ghislain UTARD



John Ludden : « Un an de développement ».

L'Est républicain - 27 Novembre 1997

L'Est républicain - 17 Juin 1994

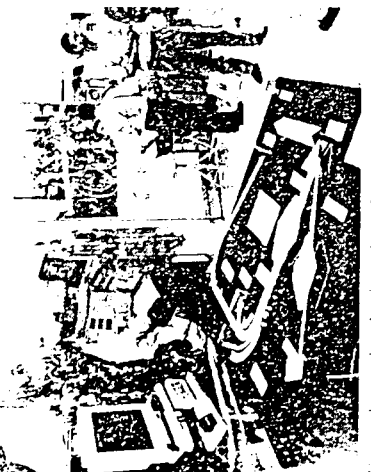
## Une sonde ionique surpuissante

Après Los Angeles, Nancy sera, à l'automne, la deuxième ville du monde à être équipée d'une surpuissante sonde ionique Cameca IMS 1270. Cette sonde est un instrument d'analyse permettant de mesurer à une échelle microscopique les concentrations et les compositions isotopiques de tous les éléments connus, même à des teneurs très faibles, jusqu'à un milligramme par tonne. Cette super-sonde nécessitera la construction d'un bâtiment spécial. Elle coûte 13 MF dont 9 sont pris en charge par l'Etat et le reste par les collectivités locales, dont le district pour une bonne part. Elle sera installée au CRPG (Centre de Recherche Pétrographique et Géochimique) à Vandœuvre. Des chercheurs du monde entier viendront l'utiliser, mais les chercheurs Nancéens auront droit à 50 % du temps d'accès. Le choix de Nancy est la reconnaissance de la qualité de ses laboratoires des sciences de la terre, retrouvés au sein de l'Institut Lorrain des Géosciences et à leur expérimentée dans l'analyse ionique.

Les capacités de la nouvelle sonde ionique permettent l'analyse détaillée de petits objets contenant des informations fondamentales pour les sciences de la Terre. Par exemple, les poussières intergalactiques présentes dans quelques météorites donnent des indications sur la formation du système solaire. Jean Cases, directeur du CRPG, affirme : « Cette sonde ionique permet de remonter à la période qui a suivi le Big Bang ». L'étude d'échantillons de diamants et de zircons et des inclusions qu'ils contiennent donnent des informations sur l'évolution de la Terre. C'est ainsi qu'on sait que la mousson a commencé il y a 7 millions d'années et pas avant. Il y a d'autres applications en matière de prospection pétrolière et géologique pour la sonde ionique nancéenne. Une sonde qui place la recherche nancéenne en « pole position » selon les termes méme du patron du CRPG.

## Après le Big Bang

La sonde ionique analyse des échantillons, places sous vide. Ceux-ci sont bombardés par un faisceau d'ions. Les particules, attachées à l'échantillon, sont



La sonde, qui n'a qu'un équivalent à Los Angeles, arrive à Nancy.

# Le futur des déchets

*Nucléaires ou ménagers, comment seront-ils dans mille ans ?*



Guy Libourel : « Stabiliser les polluants ».

La stabilisation des déchets nucléaires et des cendres de l'incinération est autant un délicat problème qu'une nécessité pour préserver l'environnement du futur. Et la vitrification est une des solutions adoptées pour traiter ces déchets ultimes en piégeant les polluants.

Reste à connaître leur tenue réelle dans le temps. Et sauf à attendre quelques siècles, il a fallu trouver d'autres techniques prospectives. L'équipe de Guy Libourel multiplie ainsi les recherches en planchant notamment sur les vitraux des cathédrales médiévales.

Colorés avec des métaux lourds (qui sont autant de polluants), ceux-ci présentent une analogie intéressante et un recul de plus de 1.000 ans pour les plus anciens.

Avec la sonde ionique, les Nancéens étudient ainsi leur capacité à maintenir les substances prisonnières en observant des « largages » infini-tésimaux.

Objectif : comprendre le processus pour élaborer un verre très stable dans le temps. Le CRPG travaille autant avec le Commissariat à l'énergie atomique qu'avec des grands groupes du déchet.

# De la Terre à la... médecine

*Les investigations microscopiques ont de multiples applications.*

L'analyse des roches, témoins de l'histoire lointaine ou récente de la Terre, est une des spécialités du CRPG. Elle contribue à la compréhension de la formation des océans et des continents, de l'apparition de la vie, de l'érosion des chaînes de montagne... Le tout grâce à une exploration des particules minérales ou organiques. La sonde ionique offre aussi un potentiel d'investigation dans le secteur médical. On n'en est certes qu'au stade de projets. Mais là où on utilise des produits traçeurs radioactifs (avec effet secondaire) pour comprendre des phénomènes cellulaires, on peut imaginer l'injection

de produits non toxiques que la sonde ionique pourra elle détecter grâce à son pouvoir d'investigation considérable. Quelques expériences à connotation médicale ont déjà été réalisées. Exemple : « On ne comprenait pas comment l'injection d'aluminium pratiquée jusqu'à il y a quelques années chez les dialysés du rein engendrait de l'arthrite. Les analyses chimiques n'ont pu que montrer la présence de cet aluminium au niveau de l'articulation. Avec la sonde on a découvert que cet aluminium était intégré dans des cristaux qui déchiraient alors les tissus et provoquaient des lésions ».

# Les dérives du climat

*La sonde va contribuer à analyser effet de serre et changement climatique.*

« On ne va pas résoudre le problème de l'effet de serre et d'un changement climatique aujourd'hui confirmé. Mais on peut apporter notre contribution à un domaine qui mobilise des milliers de chercheurs dans le monde ». Bernard Marty, patron du laboratoire de géochimie, résume ainsi un des défis des travaux engagés en matière d'environnement.

Avec la sonde ionique, les chercheurs explorent encore plus profondément « l'impact climatique des particules microscopiques émises dans l'atmosphère lors d'éruptions volcaniques, de feux de forêts ou d'activités humaines ». Des activités dont on se doute qu'elles riment avec des pollutions dont les plus infimes traces vont pouvoir être étudiées. Mieux : pistées et identifiées !

On va analyser ainsi le comportement et le temps de suspension dans l'air des fameux aérosols qui perturbent les



Bernard Marty : « Le climat change. Mais à quelle vitesse va-t-il évoluer ? »

processus naturels, voir leur composition isotopique et comprendre leur dispersion dans l'atmosphère mais aussi établir si les particules proviennent... d'une centrale thermique ou d'un volcan par exemple. Essentiel !

En fait, la sonde autorise la

poursuite de recherches sur la détection de particules microscopiques et polluantes dans l'eau, les sols, l'air, sur l'étude des variations climatiques au cours de l'histoire avec l'analyse de poussières prisonnières des glaces polaires ou des océans.

# Cosmos et météorites

*Des analyses des roches de mars sont prévues vers 2003.*

Ils ont déjà travaillé sur les roches lunaires. Ils sont désormais parfaitement armés pour être en mesure d'analyser les premières roches qui seront rapportées de Mars. Les chercheurs lorrains espèrent obtenir des échantillons vers 2003 et contribuer ainsi aux études de l'atmosphère martienne, de la formation de la planète rouge...

L'enjeu, on le sait, est clair : « Essayer de dire si les conditions de la vie ont été réunies » explique Marc Chaussidon dont les travaux ont permis en 95 de percer les derniers mystères de la nucléosynthèse, et par conséquent du big bang.

L'équipe nancéienne développe en tout cas ses compétences internationalement reconnues dans la cosmochimie et l'analyse de matériaux extra-terrestres comme les météorites dont les espèces dites primitives, véritable mémoire dans



Marc Chaussidon : « Dire si les conditions de vie ont été réunies ».

l'univers, fournissent de précieux renseignements sur la formation et la composition des planètes. La sonde ionique permet d'étudier les poussières interstellaires préservées dans quelques météorites ou encore les par-

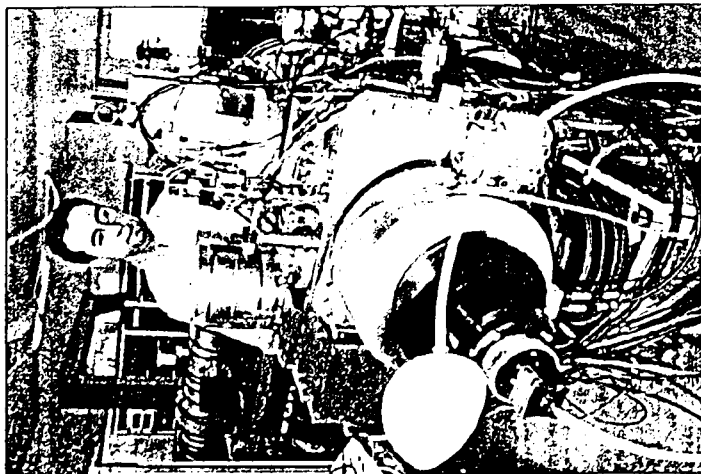
ticules qui, venant du soleil, ont bombardé les roches lunaires (non protégées par une atmosphère), laissant ainsi des empreintes riches en information sur notre astre, par définition difficile à approcher.

L'Est républicain - 27 Novembre 1997

L'Est républicain - 30 Décembre 1997

## Explorer le monde microscopique

*Unique au monde, la sonde ionique de Nancy contribuera à mieux connaître le climat, le futur des déchets les matériaux...*



Un appareil d'une complexité extrême qui permet de bombarder les échantillons analysés de faisceaux d'ions.

Portée sur les fonts baptismaux par un parterre de scientifiques le 27 novembre, la sonde ionique du Centre de recherche pétrographique et géochimique de Nancy-Villers ouvre de nouvelles perspectives. Au prix d'un investissement de 13 MF, cet appareil aux caractéristiques uniques au monde permet de mesurer à l'échelle microscopique les concentrations et les compositions isotopiques de tous les éléments connus, même à des teneurs très faibles. Une avancée technologique capitale qui, à travers l'analyse de fragments de météorites, de tissus, de roches... va contribuer à faire avancer la connaissance dans de multiples domaines : l'environnement, les océans, la formation des planètes, l'érosion des continents, les dérives du climat...



# La trajectoire étoilée d'une sonde

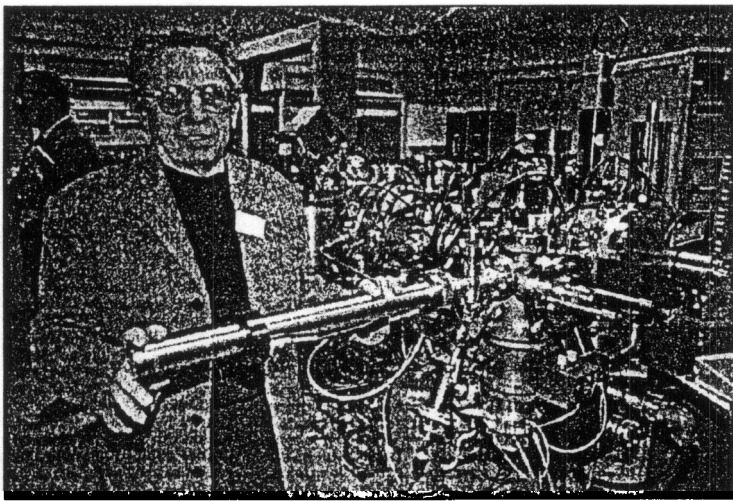
*Inauguration hier de la sonde ionique nancéienne. Avec la bénédiction de Cameca, la société conceptrice dont les instruments high-tech ont pour clients des géants comme Intel ou Sony. Histoire d'une étonnante réussite française.*

« Sur ce marché très pointu, vous êtes le premier et le meilleur ou vous n'êtes rien ! ». Propos éloquent signé Max Sarfati. Petite sacoche à la main, look plutôt décontracté, le Pdg de Cameca promenait hier sa silhouette discrète et son œil malicieux au Centre de recherches pétrographiques et géochimiques de Nancy-Vandœuvre. Il est vrai qu'on inaugurerait la sonde ionique conçue et fabriquée par cette société française : un instrument d'analyse exceptionnel qui, par ses capacités d'investigation à l'échelle microscopique, contribuera à améliorer les connaissances de l'environnement, des océans, des planètes... (notre édition d'hier).

Scientifiques et personnalités portaient ainsi sur les fonts baptismaux un équipement dont six exemplaires seulement ont été diffusés dans le monde (Japon, USA, et Suède avec l'appui financier du Danemark et de la Norvège) mais dont la version nancéienne est unique par ses performances.

## P'tit truc

Si cette machine ouvre de nouvelles perspectives aux chercheurs, elle couronne aussi l'étonnante réussite d'une entreprise rachetée il y a dix ans à Courbevoie par ses salariés sous l'impulsion du boss de l'époque : Max Sarfati déjà.



Max Sarfati : « Thomson a bien fait de se séparer de Cameca ».

Photo Alexandre MARCHI

Spécialisée dans l'instrumentation scientifique et technique, l'unité appartenait alors à Thomson qui recentrait ses activités sur les produits grand public et la défense. « La démarche du groupe était raisonnable. Il fallait se séparer des p'tits trucs merdeux qui gravitaient tout autour ! » analyse Max Sarfati avec un sérieux qui

n'empêche pas l'humour. Et d'ajouter tout sourire : « Je ne sais même pas si Thomson savait que Cameca existait ! ». Une décennie plus tard, Cameca, c'est quelque 200 personnes, une présence au Japon et aux USA, des actionnaires qui sont toujours des salariés (ou ex-salariés), un chiffre d'affaires de 250

MF, un bénéfice avant impôt de 25 ! Rentable, très rentable.

« On fait du matériel lourd et cher » résume le Pdg. Mais la sonde nancéienne baptisée IMS 1270, c'est évidemment le top du top ; le type de challenge « qui nous fait progresser techniquement ». « On souffre pour atteindre de

telles performances. Mais ça élève le niveau high-tech de la société. Et la performance, c'est la seule chance qu'on ait de vivre ».

## Usine de 3 milliards

L'essentiel de l'activité repose certes sur des produits de haute technologie mais un cran en dessous de l'IMS 1270. Ce sont des sondes ioniques ainsi que des sondes électroniques. Petit débouché : les sciences, la géologie. Colossal débouché : l'analyse des matériaux dans l'industrie, par conséquent le silicium, donc le semi-conducteur, et par définition les géants de l'électronique.

« Que représente le prix d'une petite version de sonde à 1,5 million dans une usine de 1,5 milliard de dollars ? » commente Max Sarfati. « C'est sans parler de la prochaine génération d'usines, à 3 milliards pièces... ».

Cameca a ainsi pour clients des noms comme Sony ou Intel ! Mais garde la tête froide : « Il nous faut être présent dans les pays qui font de l'électronique, notamment en Asie du Sud-Est. Mais il nous faut aussi sans cesse progresser, savoir quelles seront les attentes en 2002 ou en 2005 ».

Vous avez dit « p'tit truc merdeux »... ?

Ghislain UTARD

L'Est républicain - 28 Novembre 1997

## QUESTION DE TECHNIQUES

### Les Sherlock Holmes de la pollution

*Dotés d'une sonde ionique, les chercheurs de Nancy traquent toutes les particules de l'atmosphère.*

Jetez un coup d'œil en l'air. Vous ne verrez rien. Surtout pas les particules minérales et organiques en suspension dans l'atmosphère. Dommage, ou plutôt, tant mieux car certaines peuvent être toxiques, d'autres retombent sous forme de pluies acides. La Mecque des sciences de la terre, l'Institut Lorrain des Géosciences à Nancy-Brabois, décoré savamment toutes ces minuscules « choses » qui flottent autour de nous, avec sa première sonde ionique installée dans le saint des saints, le CRPG (Centre de recherches pétrographiques et géochimiques). Un travail de fourmi pour mieux comprendre notre environnement.

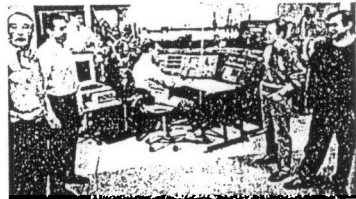
#### Unique au monde

Le CRPG s'apprête à recevoir, avant l'été, une nouvelle version de cette sonde ionique. Sa sensibilité a été multipliée par dix, et ses nouvelles possibilités d'analyse renvoient presque aux oubliettes ce qui existe jusqu'à présent. Cet outil détectera des concentrations ultra faibles, jusqu'à un milligramme par tonne, de tous les éléments connus. Pour identifier des pollutions atmosphériques ou aquatiques, localiser leur origine grâce à leurs signatures isotopiques, déterminer les durées et les distances de transport de particules dans l'atmosphère, évaluer l'impact climatique... « Avec cette invention

française, on pourra dater les zircons qui sont les minéraux les plus anciens que l'on puisse trouver, ce qu'on ne savait pas faire. Il sera possible d'avoir accès à des éléments que l'on ne pouvait pas bien mesurer. Nancy sera le seul site au monde à être équipé d'un système de mesure multicollection », déclare Etienne Delouie, chercheur au CRPG.

« Nous allons pouvoir effectuer un travail de fond pour comprendre les processus et les sources majeures d'aérosols sur un bassin comme Nancy, par exemple. Jusqu'à présent nous étions incapables d'analyser une particule individuelle » ajoute Christian France-Lanord, chargé de recherches au CNRS.

Cette technologie, c'est un boum par rapport à ce qui existe. En diminuant les échelles d'observation et en augmentant les sensibilités, on va pouvoir découvrir de nouveaux mécanismes », assure Guy Libourel, maître de conférence à l'université Henri Poincaré. Concrètement, cet appareil doit aboutir à des transferts de connaissances. Elles pourront être appliquées à la stabilisation des cendres volantes produites lors de l'incinération de déchets ménagers. Des cendres contenant de l'arsenic, du plomb, du zinc, etc. et qui sont vitrifiées. La question posée consiste « à savoir si le verre réalisé est stable. Une vitrification qui sert aussi à piéger des déchets



Inventée et fabriquée en France, cette future sonde ionique démontrera la notoriété nationale de Nancy pour les sciences de la terre.

radioactifs ». Un début de solution est fourni par l'étude des vitraux des cathédrales. Les verres potassiques construits au Moyen-Âge, que l'on croyait éternels, sont instables. Ils s'opacifient. Si les somptueux bleus de

Chartres du XIIe siècle n'ont pas bougé « c'est parce qu'ils sont riches en silice et pauvres en potassium ». Un sacrifice des Maîtres Verres qui ne sera pas inutile. Il servira au salut de l'humanité. Hubert PARUIT

L'Est républicain - 16 Avril 1996

## La reconnaissance du site nancéen

Le CNRS, dont les ressources se ratatinent comme une peau de chagrin, a « englouti » dans cette sonde la moitié du budget national consacré à l'équipement des sciences de la terre. Un investissement total de 13 MF, financé à parts égales par le CNRS, le Ministère de l'Éducation Nationale et de la Recherche et les collectivités territoriales.

sonde ionique a dû cheminer au travers des méandres politiques de ses successeurs. Le choix de Nancy confirme « 80 ans de tradition des sciences de la terre à Nancy ». Il s'explique aussi parce que les deux seuls chercheurs ayant les compétences pour s'en servir, Marc Chauvaud et Etienne Delouie, travaillent au CRPG. Revers de la médaille, Nancy devra laisser la moitié du temps d'utilisation de cette sonde ionique à la disposition de chercheurs venus d'ailleurs.

Dernier dossier signé par Hubert Currien, alors ministre de la Recherche, la

# Une sonde pour explorer l'infiniment petit

*Un instrument d'analyse unique au monde sera inauguré aujourd'hui à Nancy. Il contribuera à la connaissance de l'environnement, de la formation des planètes, de la pollution...*

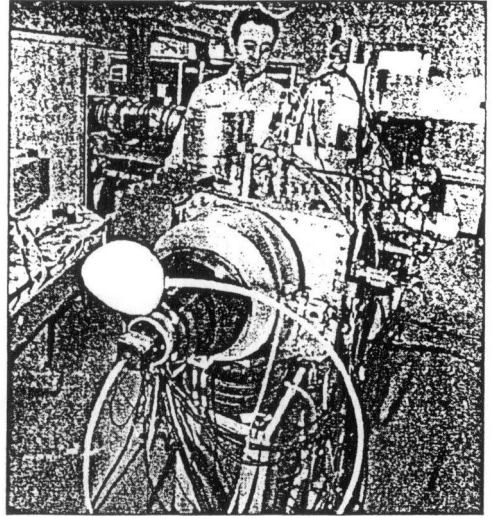
NANCY. - Un investissement de 13 MF soutenu par les collectivités locales. Et un équipement d'analyse que les chercheurs qualifient eux-mêmes d'exceptionnel. Le Centre de recherches pétrographiques (science des roches) et géochimique de Nancy-Vandœuvre inaugure aujourd'hui un équipement unique au monde : une sonde ionique multi-collection. Cet instrument de mesure conçu par la société française Cameca, diffusé à cinq exemplaires dans le monde mais

dont la version nancéienne, véritable prototype, est exclusive, permet d'explorer l'infiniment petit. Il autorise en effet à l'échelle microscopique la mesure de compositions et de concentrations isotopiques de tous les éléments connus. Dépassant les frontières de l'atome, il contribuera, à travers l'analyse de roches, de tissus, de fragments de météorites, d'échantillons, à fournir des données essentielles sur l'environnement, la pollution, la formation des océans, l'évo-

lution du climat, la stabilisation des déchets nucléaires, la formation des planètes...

Près d'un an sera encore nécessaire pour parvenir au terme de la phase de test. Mais le CRPG de Nancy, unité du CNRS, devrait après l'an 2000 contribuer à l'analyse des premiers échantillons de roches de Mars. Avec une question essentielle : si l'eau a existé, les conditions de la vie ont-elles pour autant été réunies ?

G. U.



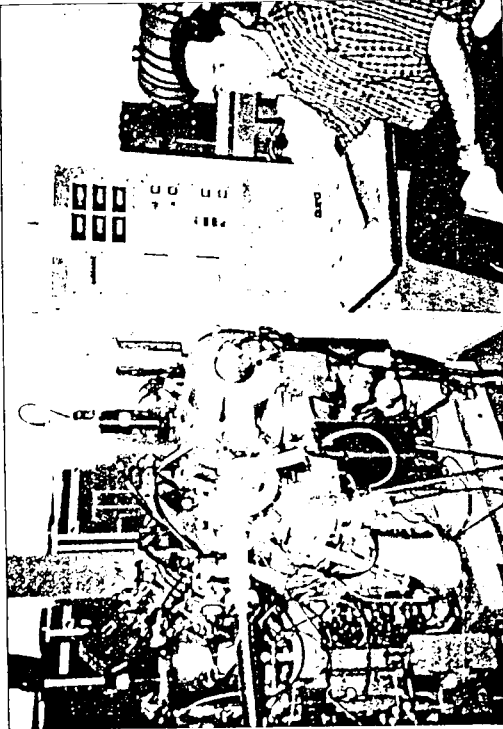
L'appareil permet d'explorer l'infiniment petit.

QUESTION DE TECHNIQUES

L'Est républicain - 16 Juillet 1997

# Faire parler les roches de Mars...

*En attendant des échantillons de la planète rouge, des scientifiques nancéiens se penchent sur des fragments des fameuses météorites martiennes. Explications sur l'art de faire parler les roches.*



Marc Chaussidon aux commandes de la sonde ionique (unique en France) : « Un des enjeux : trouver une roche sédimentaire ».

et la composition de ces planètes ». Les autres sont des roches produites par les planètes elles-mêmes.

Le stade d'analyse suivant porte sur la composition isotopique (structure atomique). « C'est elle qui, par exemple, contribue à cerner l'origine martienne des 12 météorites. Les chercheurs ont procédé par comparaison avec les analyses d'atmosphère réalisées par la sonde Viking de 76 : le gaz CO<sub>2</sub> de Mars avait ainsi deux isotopes de masse 12 et 13, une véritable signature que l'on retrouve dans les fragments solides ». Un deuxième argument a conforté l'hypothèse : leur datation à partir des isotopes radioactifs.

Les roches de Mars feront aussi l'objet d'une analyse de chimie organique pour y déposer des molécules carbonées (dont la présence dans une météorite a fait grand bruit en 96) : c'est évidemment toute la question de la vie qui est posée. « Le problème, c'est qu'une molécule organique n'est pas forcément signe de vie. Elle peut être produite par une bactérie, ou par un processus chimique, comme dans une raffinerie de pétrole, dont est capable le système enzymatique ». Le tout est donc de trouver des molécules, d'analyser leur composition et nombre pour en définir l'origine. Mais cette chimie du vivant est une autre histoire.

Les premières analyses de la sonde américaine Pathfinder et du petit robot Sojourner ont permis de confirmer la présence de traces de géochimie isotopique dirigée par Bernard Marty, Marc Chaussidon explique volontiers tous les enjeux d'une analyse de roche. « Une accouche en terres pécaniques ou sédimentaire. C'est important dans le cas de Mars : une formation sédimentaire sup-

pose que l'eau, dont on sait qu'elle a été présente, l'a été suffisamment longtemps pour qu'il y ait pu y avoir de la vie ». Bref que les traces de vie ne soient pas simplement le résultat d'une fonte météorites retrouvées sur terre sont des basaltes, des roches magmatiques ». Elles ne permettent pas de déterminer cette présence prolongée.

## Carbone et vie

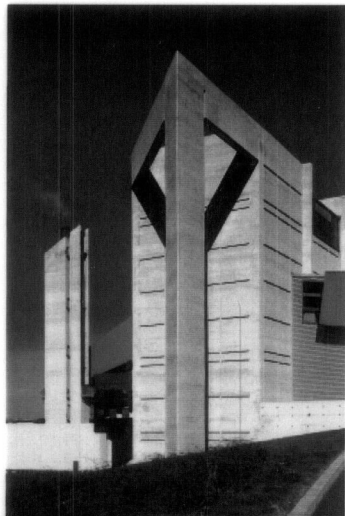
Leur analyse chimique, comme celle de toute roche qui reviendra de Mars, donne en revanche de précieux éléments.

## Le chiffre : 1,3

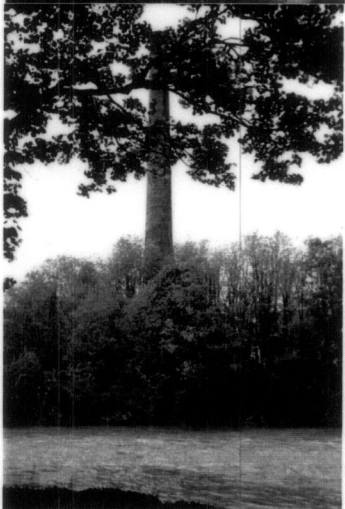
1,3 milliard d'années : c'est à l'exception près de Allan Hills 84001 qui comporte les molécules organiques, l'âge des météorites martiennes (le système solaire accuse 4,5 milliards d'années). A noter qu'il y a encore trente ans, on estimait impossible qu'un fragment de Mars ou de la Lune ait pu être arraché par un impact d'astéroïde pour ensuite retomber sur Terre. « Il a fallu attendre Apollo pour démontrer le contraire ».

Présence d'eau : l'analyse de la sonde américaine Pathfinder et du petit robot Sojourner ont permis de confirmer la présence de traces de géochimie isotopique dirigée par Bernard Marty, Marc Chaussidon explique volontiers tous les enjeux d'une analyse de roche. « Une accouche en terres pécaniques ou sédimentaire. C'est important dans le cas de Mars : une formation sédimentaire sup-

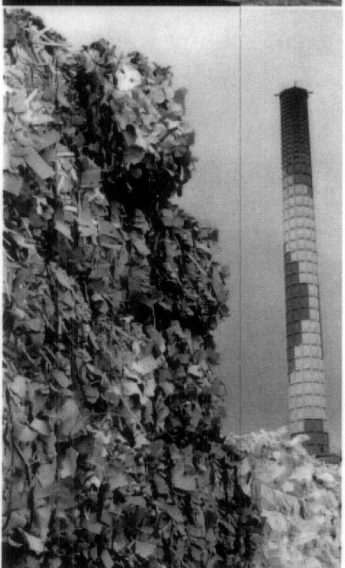
Balayées par des vents solaires qui ne recroquent aucun « bouchon » atmosphérique, les roches lunaires portent en elles les traces d'un bombardement de particules venues de notre étoile. Avant dire que l'analyse d'échantillons prélevés sur le sol du satellite fournit de précieuses informations sur un astre par définition difficile à approcher 28 ans après le contournement d'Almanac, les chercheurs ont découvert, avec des techniques toujours plus sophistiquées, l'existence d'une sonde ionique en France, elle permet d'analyser des compositions de l'ordre du microgramme, les spécialistes de la roche du CRPG Nancy (Centre de recherches pétrographiques et géochimiques) travaillent en ce sens, analysent aussi des très petits échantillons comme les poussières interstellaires présentes dans des météorites.



INCINÉRATEUR D'ORDURES MÉNAGÈRES (LUDRÈS, 54)



LE DOUBS TRAVERSANT UN SITE INDUSTRIEL



DÉCHETTERIE DE PAPIER

POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE URBAINE



LA TERRE :  
DU COSMOS AUX  
DÉCHETS ULTIMES.