



HAL
open science

Centre de recherches pétrographiques et géochimiques : rapport annuel 1997-2000

- Centre de Recherches Pétrographiques Et Géochimiques

► **To cite this version:**

- Centre de Recherches Pétrographiques Et Géochimiques. Centre de recherches pétrographiques et géochimiques : rapport annuel 1997-2000. [Rapport de recherche] CNRS. 2012, 239 p. hal-01358136

HAL Id: hal-01358136

<https://hal-lara.archives-ouvertes.fr/hal-01358136v1>

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

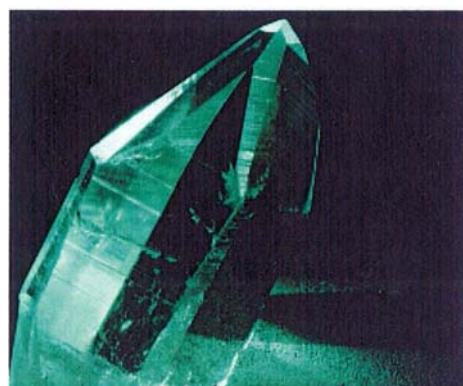
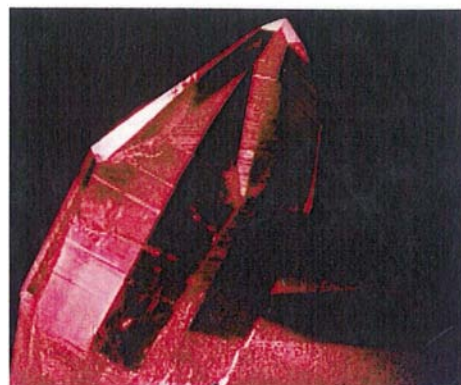
Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques

RAPPORT D'ACTIVITÉ

1997
-
2000



CENTRE NATIONAL
DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE



SOMMAIRE

3	LE BILAN
10	COSMOCHIMIE ET TERRE PRIMITIVE
18	GÉODYNAMIQUE INTERNE
27	INTERACTIONS EAU-ROCHE
39	ENVIRONNEMENTS ACTUEL ET ANCIENS
46	STABILISATION ET DISPERSION DES POLLUANTS
55	ORGANISATION INTERNE DU CRPG
63	LES PROSPECTIVES
71	LES QUATRE THÈMES DE RECHERCHE 2000-2004
73	COSMOCHIMIE ET PLANÉTOLOGIE
79	CINÉTIQUE ET BILAN DES PROCESSUS MAGMATIQUES
85	MODÉLISATION SPATIO-TEMPORELLE DE LA LITHOSPHERE
91	ENVIRONNEMENTS ET PALÉO-ENVIRONNEMENTS
97	LES ACTIVITÉS DES CHERCHEURS, ENSEIGNANTS-CHERCHEURS ET INGÉNIEURS DE RECHERCHE
127	LES DOCTORANTS, LES THÈSES SOUTENUES ET LES CHERCHEURS VISITEURS
139	LES PUBLICATIONS ET COMMUNICATIONS À CONGRÈS
173	LES CONTRATS DE RECHERCHE
179	LES SERVICES
181	LES SONDES IONIQUES
185	LE SARM
189	GEOSTANDARDS NEWSLETTER
199	LA FORMATION PERMANENTE
203	LE BILAN HYGIÈNE ET SÉCURITÉ
209	LE RAYONNEMENT DU CRPG



LE BILAN 1997 - 2000

LE BILAN DU CRPG-CNRS

1997-2000

LES ÉQUIPES ET LES THÈMES DE RECHERCHE

A la suite de sa restructuration en 1995, le CRPG s'est organisé sur la base de trois équipes de recherche 1) Dynamique de la Lithosphère et Modélisation, 2) Géochimie Isotopique, 3) Minéraux, Matériaux et Expérimentation. En 1998, lors de la dernière évaluation du centre, cette structure en équipes a été légèrement modifiée, chaque équipe ayant une approche analytique distincte (terrain et modélisation, analyse isotopique, expérimentation). Les équipes actuelles sont :

- Géodynamique et Modélisation
- Géochimie
- Pétrologie

La première de ces équipes avait pour but la poursuite des programmes de recherche traditionnels du CRPG, tout en ajoutant la modélisation faisant suite aux développements de la plate-forme graphique 3D 'gOcad'. Les deux autres équipes, grâce aux outils isotopiques et expérimentaux, 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 pour cette période, il s'agit de :

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

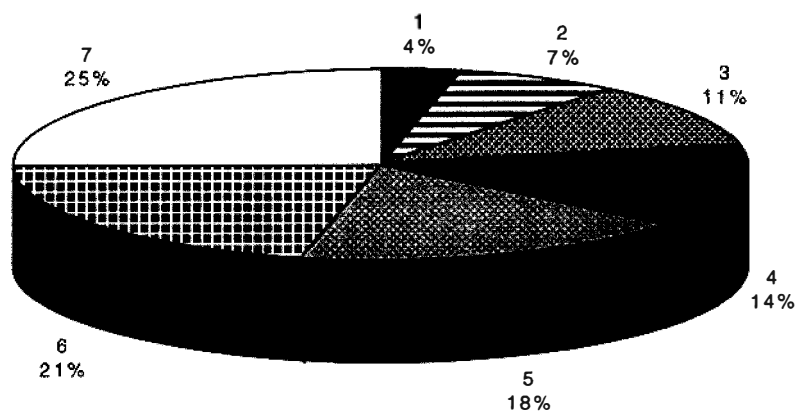
ACTIVITÉS SCIENTIFIQUES

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 « Bilan des thèmes de recherche » vous donne un résumé des activités, depuis janvier 1997. Les nouveaux projets de recherche qui seront entrepris entre 2001 et 2004 sont présentés dans la section Prospectives Scientifiques.

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.

Quatorze de nos articles paraissent dans les revues Nature, Science et Geology et globalement 80% de nos publications sont éditées dans les meilleures revues en pétrologie et géochimie et géologie.



- 1** NATURE (5), SCIENCE (4), GEOLOGY (5)
- 2** REVUES FRANCAISES (24) :
BULL. SOC. GÉOL. FRANCE (4), C.R.A.S. (18),
GEODIN. ACTA (2)
- 3** GEOCHIMIE (58) :
CHEM. GEOL (14), EARTH PLANET. SCI. LETT. (18)
GEOCHIM. COSMOCHIM. ACTA (20),
METEORITICS & PLANET. SCI. (6)
- 4** PETROLOGIE (37) :
AMER. MINERAL. (4),
CAN. MINERAL. (2), CONTRIB. MINERAL. PETROL. (8),
EUR. J. MINERAL. (6), J. METAMORPH. GEOL (1),
J. NON CRIST. SOLIDS (4), J. PETROL. (6), LITHOS (4),
MINERAL. MAG. (2)
- 5** GEOLOGIE STRUCTURALE ET GEOLOGIE ECONOMIQUE (12):
CAN. J. EART SCI (3), ECON. GEOL. (3), J. STRUCT. GEOL. (2),
MINER. DEPOS. (3), PRECAMBRIAN RES. (1)
- 6** GEOPHYSIQUE ET MODELISATION (16) :
GEOPHYSICS (2), J. GEOPHYS. RES. (4), MATH. GEOL. (3),
TECTONOPHYSICS(7)
- 7** DIVERS (36)

Répartition des publications de rang A du CRPG pour la période 1996-2000. Le nombre entre parenthèses, suivant le titre des revues, indique la quantité d'articles parus.

CONTRATS DE RECHERCHE

Durant la période 1997-2000, 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 1996 du rap-

port Fonds propres INSU/contrats de recherche. En moyenne depuis 4 ans, le CRPG a reçu ~ 600 KF/an en contrats de la CE, ~600 KF/an en contrats privés, ~800 KF/an en contrats publics. Le CRPG participe activement aux divers programmes de l'INSU avec en moyenne 400 KF/an accordés entre 1997 et 2000.

EQUIPEMENT

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

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. Il a bien sûr été nécessaire de développer les lignes associées d'extraction sous ultra-vide par broyage et par sonde laser CO₂ (ces lignes permettent d'obtenir des blancs très bas à hauteur de 1500 atomes pour ³He par exemple). Les sensibilités obtenues pour He, N et Ar sont respectivement de 7x10⁻⁴, 2,6x10⁻⁴ et 4x10⁻⁴ A mp/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 5x10⁻¹³ mole et analyse isotopique de 5x10⁻¹² mole d'¹⁴N₂ à ± 1Å) 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 d'une part, la construction d'une ligne automatique d'extraction des gaz rares des fluides afin de déterminer les paléotempératures et d'autre part, la jouvence d'un spectromètre ancien (1978) VG 603 pour l'Argon (transféré d'un laboratoire de Grenoble)

SONDE IONIQUE CAMECA IMS 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 multicollection. 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 ¹⁸O/¹⁶O sur des silicates et les carbonates. 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 ¹⁸O/¹⁶O, 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 multicollection (profondément remanié en juillet 1999) et (2) le développement de l'analyse isotopique de micro-particules par imagerie ionique.

LABORATOIRE DES RAYONS-X

Ce laboratoire est déplacé depuis 1999 sur le site du nouveau Pôle Eau à Vandoeuvre. Ce laboratoire ainsi que les deux agents ITA sont affectés à la Fédération de Recherche ILG. Un

diffractomètre rayons-X nouvelle génération a été mis au service de la FR-ILG dans le courant de l'été dernier.

ISOPROBE MICROMASS

L'installation au CRPG en octobre 1999 d'un ICP-MS à secteur magnétique et multicollecion (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'agricul-

ture (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 à un système de détection en multicollecion (12 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 2000 par un de nos partenaires, la société allemande 4D Ingenieuresellschaft für Technische Dienstleistungen.

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°C) sous atmosphère contrôlée (gamme de 20 unités log de fO₂ possible), ont été installés. Un protocole expérimental, unique en son genre, permettant

d'établir et de contrôler des pressions partielles d'alcalins (PK_g et PNa_g) à haute température et sous fO₂ 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, a été réalisée. Cet appareil reproduit expérimentalement les réactions d'évaporation, de condensation et photochimiques supposées régner lors de la formation de la nébuleuse protosolaire (T<2400°C, atmosphère contrôlée, pression variable entre 1bar et 10⁻⁴bar, flux UV).

SPECTROMÈTRE DE MASSE ISOTOPES STABLES

Le laboratoire des isotopes stables réalise depuis une vingtaine d'années les mesures des rapports isotopiques D/H, ¹³C/¹²C, ¹⁸O/¹⁶O et ³⁴S/³²S 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 sera installé en 2000 pour le développement des thématiques de recherche en environnement, paléoenvironnements 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

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 nancéenne. L'utilisation par les chercheurs de la fédération de recherche ILG représente plus de 50% du temps machine.

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 Géodynamique et Modélisation.

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 statut du centre a changé en 1998 pour devenir une EP afin de se mettre en phase avec la contractualisation. En 2000, le CRPG demandera le label Unité Propre

du CNRS avec associations par convention à l'INPL et à l'UHP-NancyI. Le centre héberge actuellement 8 enseignants chercheurs de l'INPL (6 professeurs, 2 maîtres de conférences), ainsi que 1 professeur et 2 maîtres de conférences de l'UHP-NancyI.

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 de l'analyse isotopique de l'hydrogène dans les systèmes eau - matière organique

LE BÂTIMENT

Grâce 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)

- THÈME I - COSMOCHIMIE - TERRE PRIMITIVE

INTRODUCTION

Les travaux réalisés ces 4 dernières années dans ce thème de recherche, initié au CRPG en 1994, ont trait à la formation du système solaire, son évolution, la formation des planètes et l'évolution primitive de la Terre jusqu'à l'apparition de la vie il y a environ 3.8 Milliards d'années. Ces thématiques scientifiques ont été abordées à travers l'étude des compositions minéralogiques, chimiques et isotopiques des roches et des minéraux extra-terrestres (roches lunaires, météorites, grains interplanétaires et grains cométaires) et des roches terrestres très anciennes (en particulier cherts archéens) par

des techniques (e.g. sonde ionique à grande sensibilité IMS 1270, spectrométrie de masse sous bombardement laser) pour lesquelles le CRPG est en pointe au niveau national et international. Une approche de simulation expérimentale (réactions solides-gaz à très haute température sous atmosphère contrôlée) a aussi été conduite pour modéliser les processus responsables de la formation des premiers solides dans le système solaire, c'est à dire étudier les processus de condensation-volatilisation et les fractionnements chimiques et isotopiques associés.

BILAN DES TRAVAUX CONDUITS LES 4 DERNIÈRES ANNÉES

Les principaux travaux conduits ces 4 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, (3) l'étude et la modélisation des compositions isotopiques primitives (B, N, gaz rares) de la Terre silicatée, (4) l'étude des compositions isotopiques du Si dans les cherts archéens, (5) l'étude expérimentale de la volatilisation/condensation dans les liquides silicatés sous pression de

vapeur d'alcalins (K) et de silicium, (6) la mesure de la composition isotopique du vent solaire (H, Li et N) implanté dans les sols lunaires et (7) la recherche des radioactivités éteintes du ^{10}Be dans les inclusions réfractaires des chondrites carbonées.

Nous avons choisi dans la suite de ne présenter de manière plus détaillée que les trois derniers points qui correspondent aux résultats les plus récents et qui couvrent une grande partie de nos activités. Ces résultats n'ont pu être acquis que grâce à des développements instrumentaux et analytiques conduits depuis plusieurs années.

1 - DÉVELOPPEMENTS INSTRUMENTAUX ET ANALYTIQUES

Nous avons conduit des développements sur deux fronts différents. D'une part des instruments (chauffage et condensation sous atmosphères contrôlés de K ou de Si par exemple) ont été construits pour simuler expérimentalement les processus s'étant produit lors de la formation des premiers solides dans le système solaire. D'autre part nous avons utilisé les performances de la sonde ionique IMS 1270, de l'ICP-MS et du spectromètre statique VG5400 couplé à une source laser, pour l'analyse isotopique d'échantillons de taille de plus

en plus petite (avec des résolutions analytiques de l'ordre de 10nm dans le cas du Li et de l'N solaire) ou de concentration de plus en plus faibles (avec des seuils de détection de l'ordre de 10 picogrammes d' N dans le cas de l'N extrait par chauffage laser).

Un des instruments développés dans le laboratoire d'expérimentation est le «nébulotron» (thèse de Laurent Tissandier, Fig 1) qui permet d'une part d'établir une température ponctuelle élevée (3000 K) dans un mélange gazeux dont les

pressions partielles, la température et le degré d'ionisation sont contrôlés et d'autre part, de récupérer à la fois les produits solides de l'évaporation et de la condensation en milieu fermé ou sous un vide dynamique poussé. Ce dispositif permet de tester la nature, la cristallinité, la composition chimique des espèces condensées et leur variabilité en fonction des conditions imposées ($T^{\circ}\text{C}$ condensation, P_{O_2} , P_v , rayonnement, ...). En d'autres termes, il est donc possible d'étudier les paramètres qui gouvernent une séquence de condensation minéralogique

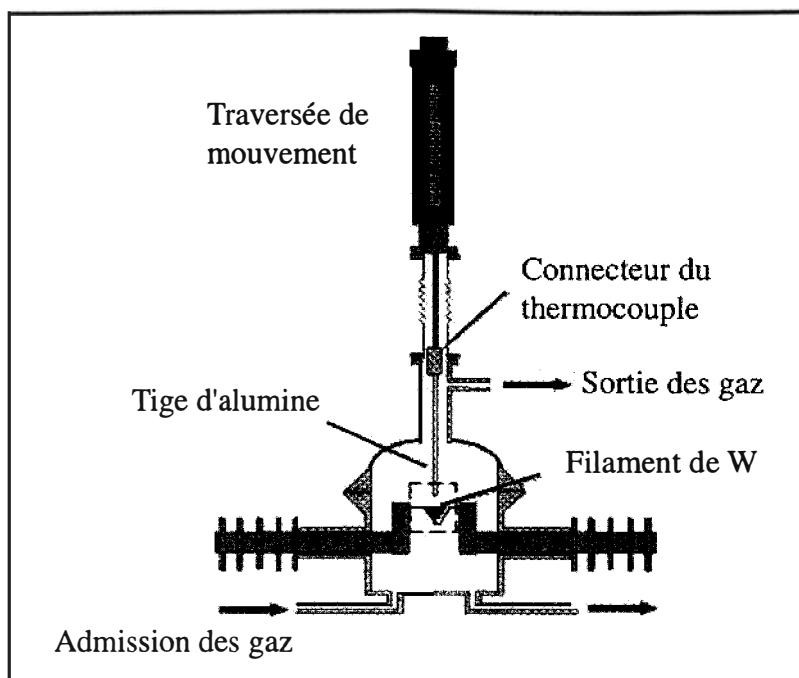
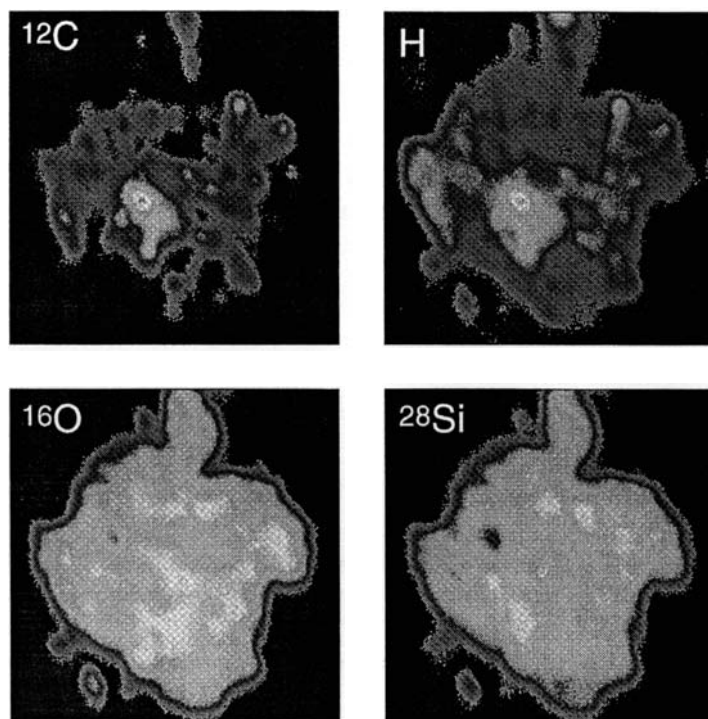


Figure 1: le «nébulotron» : dans ce dispositif, les condensats se redéposent au centre géométrique d'une décharge haute fréquence produite dans le gaz vecteur (rayonnement UV).

dans un gaz qui se refroidit et d'identifier l'influence d'un milieu ionisé ou non sur cette séquence. Cette approche expérimentale vise en fait à vérifier les modèles de condensation séquentielle du gaz protosolaire, condensation qui serait à l'origine de la diversité chimique des planètes du système solaire.

Une des applications de la sonde ionique ims 1270 est de permettre grâce aux capacités d'imagerie ionique (thèse de Jérôme Aléon) l'analyse isotopique de microparticules (cf description dans le thème IV). Un exemple de ces capacités est donné dans la Fig 2.

Figure 2 : Images de la distribution du ^{12}C , ^1H , ^{16}O et ^{28}Si dans une particule interplanétaire (IDP) de 25 microns. L'imagerie du D par exemple permet d'obtenir la distribution du rapport isotopique D/H dans cette particule.



31 μm

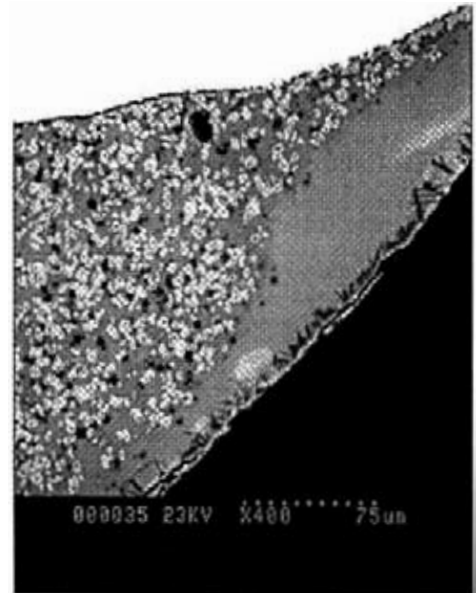
L2021K1

2 - ÉTUDE EXPÉRIMENTALE DE LA VOLATILISATION/CONDENSATION DU K ET DU SI

Les travaux récents sur les compositions chimiques et isotopiques des constituants minéralogiques des météorites primitives (CAI, chondres,...) font apparaître une remarquable hétérogénéité du système solaire au moment de sa formation. Toutefois, le manque de connaissance des processus de fractionnement chimique et isotopique ayant eu lieu dans la nébuleuse empêche, à l'heure actuelle, d'interpréter convenablement cette hétérogénéité et en conséquence de proposer un scénario cohérent pour la formation des objets les plus primitifs du système solaire. Pour progresser dans ce domaine, il est alors essentiel de pouvoir comprendre quels processus physiques occasionnent tels effets minéralogiques, chimiques et/ou isotopiques sur ces matériaux primitifs du système solaire. La plupart des efforts de la communauté scientifique ont porté jusqu'alors sur la compré-

hension des fractionnements élémentaires et chimiques lors des processus d'évaporation, et ont montré que des modèles d'évolution en système ouvert peuvent expliquer bon nombre des caractéristiques de ces objets primitifs, notamment en ce qui concerne le comportement des éléments volatils (S, Na, K,...) ou de certains éléments majeurs (Mg et Si). Cependant, dans ces scénarios en système ouvert, les processus de fractionnement liés à la condensation et aux réactions gaz-solide sont très peu abordés même si les observations (absence de fractionnement isotopique des espèces les plus volatils, $\delta^{41}\text{K}$ par exemple) comme les expériences suggèrent que ces processus peuvent jouer un rôle prépondérant.

Figure 3 : *Expérience sur un mélange synthétique de composition proche des CAI, à 1400°C et exposé pendant 2'30 à une atmosphère riche en SiO. On voit clairement apparaître une zonation minéralogique due au gradient de SiO₂, résultat des interactions avec la phase gazeuse. L'assemblage initial melilite + spinel (vers le centre de la charge) est progressivement déstabilisé au profit de l'anorthite (en extrême périphérie). Ce genre de zonation est fréquente dans les CAI naturels.*



Pour cela, nous nous sommes focalisés sur l'étude expérimentale à haute température du comportement du potassium (élément modérément volatil) et du silicium (élément majeur plus réfractaire) lors des processus de condensation. L'idée est ici de caractériser les cinétiques de condensation ainsi que les solubilités de ces éléments dans des liquides silicatés proches des CAI et des chondres en établissant expérimentalement des pressions partielles de potassium (P_K , Thèse P. Georges) et de silicium (P_{SiO} , Thèse L. Tissandier). Les résultats acquis à ce jour montrent que non seulement ces interactions gaz-solide sont certainement des processus clés responsables du fractionnement chimique et minéralogique de ces objets primitifs (zonation, texture, variations de composition chimique entre différentes classes

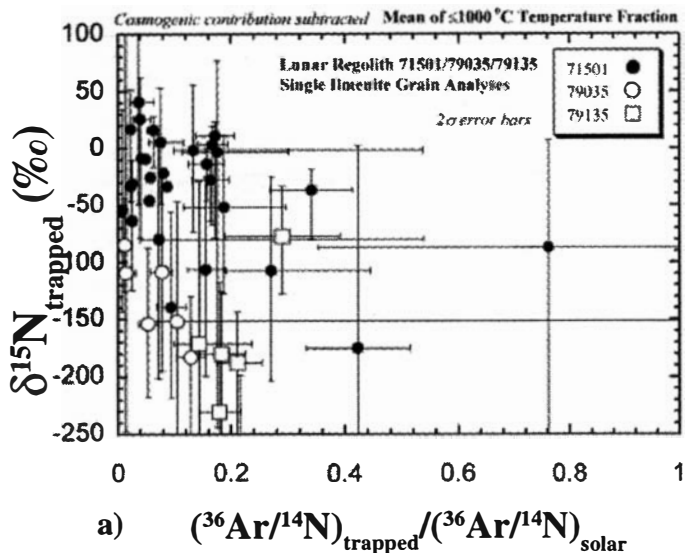
d'objets...), mais également que ce type d'approche permet de remonter de façon unique aux conditions physico-chimiques régnant dans la nébuleuse aux moments de la formation de ces objets (détermination des pressions partielles d'alcalins, d'oxygène et de SiO, rapport gaz/poussière, régime thermique, etc.). Les résultats obtenus sur le potassium montrent à titre d'exemple que l'incorporation du potassium à partir de la phase gazeuse permet d'expliquer les teneurs en alcalins des chondres ainsi que leurs signatures isotopiques en $\delta^{41}\text{K}$. Il est également possible de suggérer que les chondres se sont formés dans une nébuleuse hétérogène et que le scénario du Flash Heating généralement invoqué dans leur formation n'est absolument pas un pré-requis pour expliquer leur caractéristique.

3 - COMPOSITION ISOTOPIQUE DU VENT SOLAIRE (H, LI ET N)

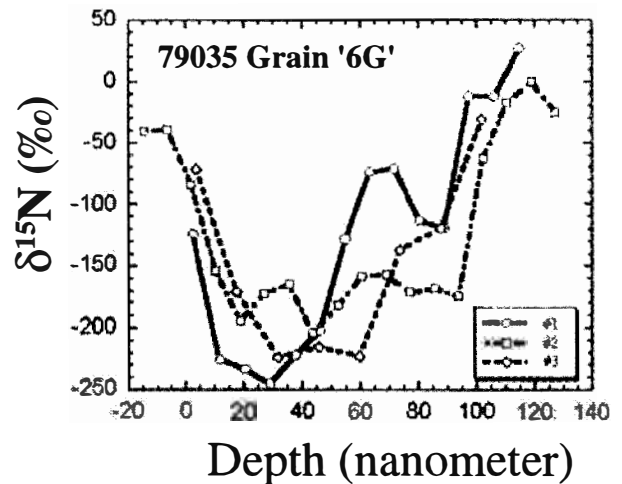
Nos travaux ont consisté à mettre au point des procédures nouvelles d'analyse, soit analyse grain par grain par extraction laser et spectrométrie de masse statique soit extraction par profil en profondeur avec la sonde ims 1270, pour extraire le vent solaire implanté dans les sols lunaires. Ces procédures, pour lesquelles le CRPG est leader au niveau mondial, ont été utilisées pour répondre à deux questions bien précises : (1) qu'elle est la composition isotopique de l'N du Soleil et (2) qu'elle est la composition isotopique du Li du Soleil ?

La problématique scientifique générale de N est de connaître la composition isotopique du gaz de départ du système solaire (pauvre ou riche en ^{15}N ?) pour ensuite pouvoir comprendre l'origine des différentes compositions isotopiques mesurées dans les différents objets du système solaire. Les sols lunaires sont bien connus pour présenter des variations isotopiques exceptionnelles, de l'ordre de 300 ‰, entre des sols ayant des antiquités différentes. L'interprétation classique est que ces variations reflètent celles de la composition isotopique de N dans le vent solaire au cours du temps. Cette explication est cependant difficile à récon-

cilier avec la physique du Soleil qui prédit un fonctionnement peu variable au cours du temps, et avec les compositions isotopiques des gaz rares dans le vent solaire constantes au cours du temps. L'autre école de pensée suggère que ces variations isotopiques reflètent des mélanges temporels entre plusieurs composantes d'N. Nos travaux (séjour sabbatique de Ko Hashizume) ont permis d'identifier pour la première fois la présence de plusieurs composantes d'azote dans les sols lunaires (vent solaire, atmosphère terrestre, produits de spallation, et une composante supplémentaire d'origine chondritique, cométaire, ou extra-solaire). L'analyse grain à grain par spectrométrie de masse statique a permis, pour la première fois, de mettre en évidence un pôle appauvri en ^{15}N associé à de l'argon du vent solaire. Les profils faits avec la sonde ionique ims 1270 (figure 4) montrent clairement la présence dans une gamme de profondeur de 30 à 100 nm d'azote ayant un $\delta^{15}\text{N}$ bas (≈ -200 ‰) associé à un δD typique du vent solaire ($\delta\text{D} = -980$ ‰). Cet N est interprété comme étant le vent solaire du fait de sa profondeur d'implantation correspondant à celle des ions ayant l'énergie du vent solaire.



a)



b)

Hashizume, Marty & Wieler (2000, in prep)

Figures 4 : a) analyse grain à grain de N (5×10^{-12} à 3×10^{-11} moles) et de Ar dans les sols lunaires. b) exemple de profils en profondeur du $\delta^{15}\text{N}$ dans un grain d'ilmenite lunaire.

La problématique scientifique dans le cas du Li est de connaître la composition isotopique du Soleil pour tester si les modèles de physique du Soleil, classiquement admis, sont corrects ou non. Les deux isotopes du lithium sont détruits efficacement dans les étoiles au cours des réactions de fusion thermonucléaire. Les températures de destruction nucléaire du lithium sont atteintes à proximité de la surface du Soleil pour le ^6Li (qui brûle à 0,8 millions de degrés) et à environ 30% de la profondeur totale du Soleil pour le ^7Li (qui brûle vers

2,5 millions de degrés). Cette profondeur correspond à celle atteinte par les mouvements de convection solaires. Il est donc logique de s'attendre à ce qu'une grande partie du lithium initialement présent dans le Soleil ait été détruit au cours des 4,5 derniers milliards d'années. Si tel était le cas, la faible quantité de lithium « survivant » dans le Soleil devait être presque uniquement du ^7Li (en fait avec un rapport $^7\text{Li}/^6\text{Li} > 10^6$) puisque le ^6Li est détruit à bien plus basse température que le ^7Li . Cette prédiction n'a jamais pu être testée car les

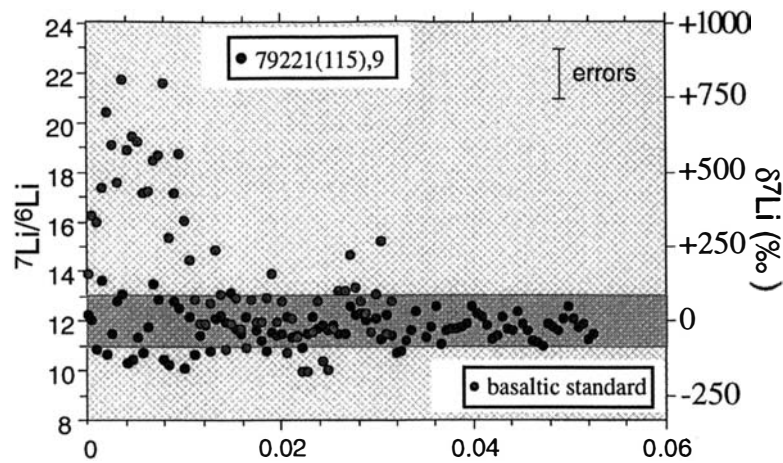


Figure 5 : Profil en profondeur dans un sol lunaire montrant la dominance dans les premiers 30nm de Li enrichi en ^7Li ($^7\text{Li}/^6\text{Li}$ allant jusqu'à ≈ 22) ajouté au Li magmatique lunaire ($^7\text{Li}/^6\text{Li} = 12,2$) et au Li de spallation in situ ($^7\text{Li}/^6\text{Li} = 2$). Le standard de MORB terrestre homogène (avec un rapport $^7\text{Li}/^6\text{Li}$ de 12,2 est montré par comparaison). Les calculs de mélange montrent que le rapport $^7\text{Li}/^6\text{Li}$ du vent solaire pur (présent dans la zone de surface enrichie en ^7Li) doit être de ≈ 31 .

techniques spectroscopiques ne permettent pas de mesurer séparément les concentrations du ^6Li et du ^7Li . C'est cette prédiction que nous avons voulu vérifier en mesurant le rapport $^7\text{Li}/^6\text{Li}$ du vent solaire. Nos analyses (*Nature* 1999, 402, 270-274) montrent que contrairement aux prédictions théoriques, le rapport $^7\text{Li}/^6\text{Li}$ du vent solaire vaut 31 ± 4 . Le Soleil est donc «riche» en ^6Li , ce qui reflète probablement un processus nucléaire de fabrication in-situ du ^6Li via l'interaction entre des parti-

cules de grande énergie issues de la profondeur du Soleil (les flares) et le gaz constituant l'atmosphère solaire. Outre son intérêt pour comprendre l'activité nucléaire du Soleil, la présence de ^6Li à sa surface démontre que la vitesse de fabrication du lithium est nécessairement plus rapide que celle de sa destruction par le recyclage en profondeur. Par conséquent, le rapport $^7\text{Li}/^6\text{Li}$ doit permettre aussi de préciser les vitesses des courants de convection solaire.

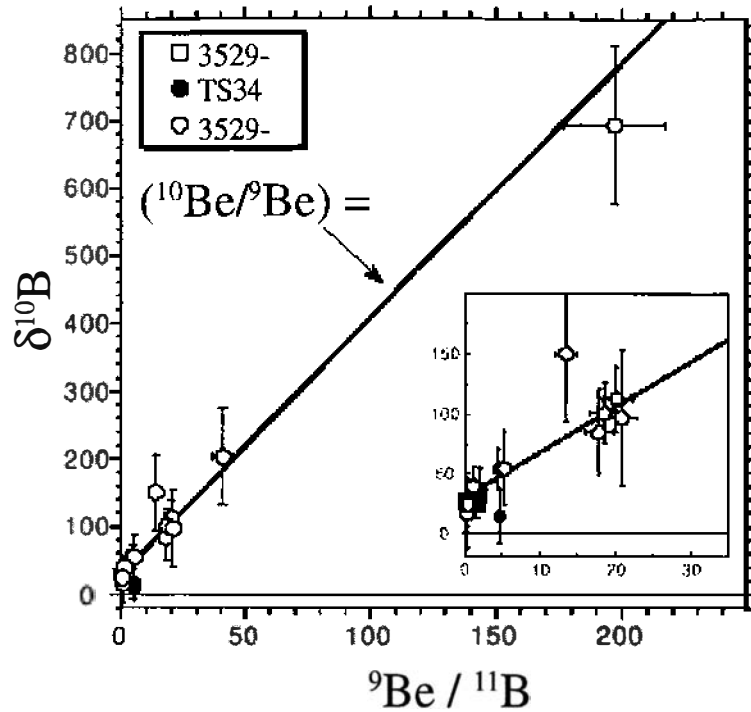
4 - RADIOACTIVITÉ ÉTEINTE DU ^{10}Be DANS LES INCLUSIONS RÉFRACTAIRES D'ALLENDE

L'origine des éléments radio-actifs de courte période (notamment ^{26}Al de demi période $T_{1/2} = 0,7\text{Ma}$), dont la présence dans le système solaire lors de sa formation est attestée par l'existence d'excès dans les inclusions réfractaires des isotopes stables fils (^{26}Mg dans le cas de l' ^{26}Al), est une des questions fondamentales de la cosmochimie qui n'est toujours pas résolue 25 ans après la découverte de ^{26}Al . Ces isotopes à courte période peuvent soit provenir de processus de nucléosynthèse s'étant produit dans différents environnements stellaires, soit être le produit de réactions nucléaires se produisant lors de collisions entre des particules accélérées à basse énergie et le gaz interstellaire ou nébulaire. Les implications astrophysiques de ces deux processus d'origine contradictoire sont profondément différentes.

Nous avons trouvé de grandes anomalies du rapport $^{10}\text{B}/^{11}\text{B}$ corrélées positivement au rapport $^9\text{Be}/^{11}\text{B}$ dans une inclusion réfractaire (CAI) de la météorite Allende (Fig 6, manuscrit soumis). Cette

relation démontre la présence dans le magma parent de cette inclusion réfractaire de l'isotope radioactif à courte période ^{10}Be ($T_{1/2} = 1,5\text{Ma}$) qui a été partagé lors de la cristallisation de l'inclusion entre les différentes phases minérales et concentré dans la mélilite. Comme le ^{10}Be n'est pas produit par la nucléosynthèse stellaire, sa présence nécessite des processus d'irradiation (de basse énergie d'après les rapports isotopiques du B) de la nébuleuse protosolaire. Cette irradiation se produit très probablement au cours de la formation du système solaire lors du stade Soleil jeune pendant lequel des flux intenses de rayonnement de basse énergie sont émis par le Soleil, flux qui pourraient à la fois produire le ^{10}Be par réactions de spallation mais aussi être directement responsables de la formation des inclusions réfractaires. Ce processus pourrait aussi produire les radioactivités éteintes du ^{41}Ca et du ^{53}Mn , mais il semble que la production de ^{26}Al , à la concentration «canonique» observée dans Allende, soit difficile.

Figure 6 :
 Diagramme
 «isochrone» du
 ^{10}Be montrant
 la présence
 lors de la cris-
 tallisation de
 la CAI 3529-41
 (météorite Al-
 lende) de ^{10}Be
 dans un rap-
 port $^{10}\text{Be}/^9\text{Be}$
 de 9×10^{-4}
 (Mac Keegan,
 Chaussidon et
 Robert, sou-
 mis).



CHERCHEURS, ÉTUDIANTS ET COLLABORATIONS IMPLIQUÉS

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).

Chondres N et gaz Condensation Terre Vent Radioactivités
 rares volatilisation primitive Solaire éteintes

Chercheurs

M. Chaussidon	X		X	X	X	X
E. Deloule	X		X			
G. Libourel	X	X	X			
B. Marty		X		X	X	X
M. Topliss			X			

Post Doc

K. Hachizume 1997 - 99					X	
------------------------	--	--	--	--	---	--

Thèses

P. Georges	1996-2000			X		
P. Hanon	1994- 1997	X				
F. Humbert	1994- 1998		X			
L. Tissandier	1997-2000	X		X		
N. Dauphas	1999-2001		X			X

PRINCIPALES PUBLICATIONS RÉCENTES

- Chaussidon M.** & Robert F. (1999) Lithium nucleosynthesis in the Sun inferred from the Solar wind $^7\text{Li}/^6\text{Li}$ ratio. *Nature* **402**, 270-274.
- Georges P., Libourel G. & Deloule E.** (2000) «Experimental constraints on alkali condensation in chondrule formation» accepté à *Meteoritics and Planetary Science*.
- Hanon P., **Chaussidon M.** & Robert F. (1999) Distribution of Li-Be-B in meteoritic chondrules. *Meteoritics Planet. Sci.* **34**, 247-258.
- Hashizume K., Chaussidon M., Marty B. & Robert F.** The nitrogen isotope composition of the Sun as recorded by the Lunar regolith (soumis)
- Hashizume K. & Marty B.** (1999) Nitrogen isotopic analyses at the sub-picomole level using an ultra-low blank laser extraction system. Sous presse dans «Recent advances in Stable Isotope Techniques».
- McKeegan K. D., **Chaussidon M.** & Robert F. Incorporation of short-lived ^{10}Be in a Calcium-aluminum-rich inclusion from the Allende meteorite. (soumis)
- Ozima M., Wieler R., **Marty B.** & Podosek F.A. (1998) Comparative studies of solar, Q-gases and terrestrial noble gases, and implications for the evolution of the solar nebula. *Geochim. Cosmochim. Acta* **62**, 301-314.
- Tissandier L., Libourel G. Robert F. & Chaussidon M.** (2000) SiO_2 condensation experiments and implications for protosolar materials. *31th Lunar Planet Sci. Conf.*
- Wieler R., **Humbert F. & Marty B.** (1999). Evidence for a non-solar origin of nitrogen in the lunar regolith revealed by single grain analyses. *Earth Planet. Sci. Lett.* **167**,47-60

- THÈME II - GÉODYNAMIQUE INTERNE

INTRODUCTION

Il s'agissait 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 a impliqué 14 chercheurs. Elle s'est répartie 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 V). 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

1 - LE CYCLE GÉOLOGIQUE DES ÉLÉMENTS VOLATILS : AZOTE ET GAZ RARES

Nos travaux ont porté sur la caractérisation des grands réservoirs terrestres pour les compositions isotopiques de N et Ar et autres gaz rares. Nous avons notamment une hétérogénéité isotopique majeure pour N dans le système Terre-Atmosphère (Marty et Humbert, 1997), apportant ainsi des contraintes fortes sur l'évolution précoce (période accréctionnelle) de ce système. Le rôle des panaches dans la géodynamique terrestre au cours du temps a été abordé grâce à l'étude isotopique de l'azote dans des échantillons de carbonatites et roches associées provenant de complexes annulaires permians de la péninsule de Kola (Russie ; voir grands chantiers). Nous avons montré que la

composition isotopique de N et le rapport N^{15}/N^{14} étaient compatibles soient avec un recyclage à grande profondeur de sédiments contenant de l'azote initialement incorporé sous forme de matière organique, soit d'échanges manteau-noyau au cours du temps (Dauphas et Marty, 1999). Nous poursuivons cette approche en analysant l'azote et l'argon dans des échantillons peu contaminés de points chauds (Hawaï, Islande, EPR à 18-20°S, Tahiti). Ces analyses pourront nous permettre de préciser le recyclage de la matière organique dans le manteau profond et les échanges manteau-surface au cours du temps..

2 - LA LITHOSPHERE SOUS-CONTINENTALE

Le centre aborde l'étude de la lithosphère et de la croûte continentale en mettant l'accent sur les caractérisations chimique et isotopique des réservoirs. Cette thématique fait intervenir l'étude isotopique de l'osmium dans des péridotites (Cordillère Canadienne, province éthiopienne, Massif Central français, sud-est de la Chine). Dans la plu-

part des cas, l'Os a un comportement conservateur dans le manteau, permettant la datation des processus d'appauvrissement de la lithosphère (Figure 1). Cependant, comme nos études ont permis de le préciser, l'Os peut, dans certaines circonstances, avoir un caractère mobile.

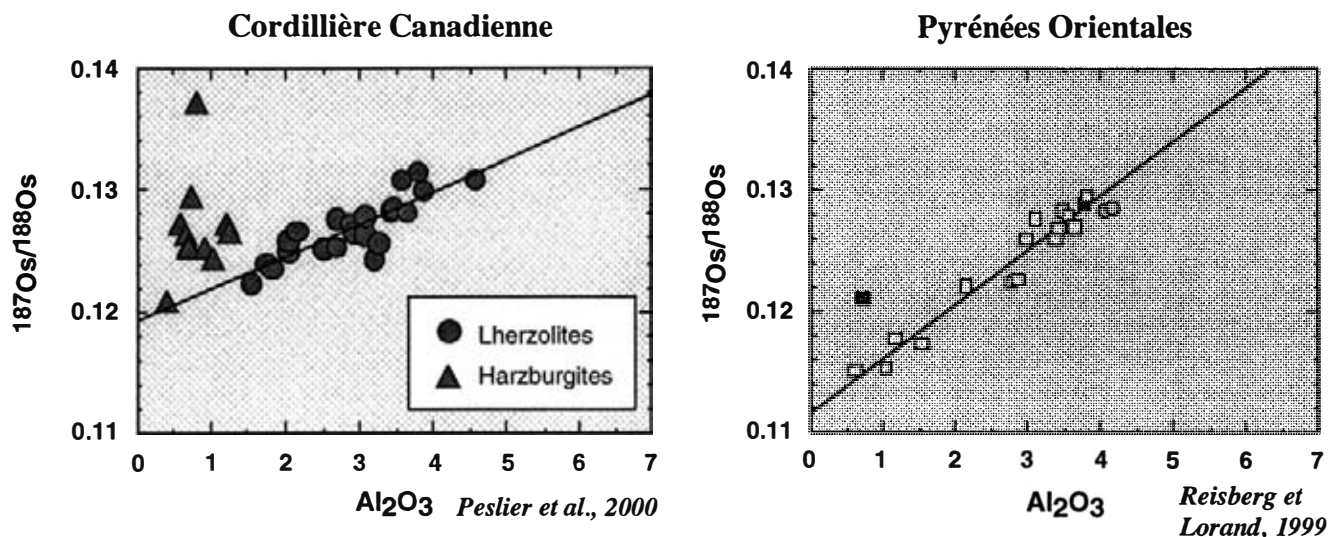


Figure 1: Comparaison des péridotites de la Cordillère Canadienne avec celles des Pyrénées Orientales. Dans les deux cas, les lherzolites montrent des corrélations nettes, analogues sans doute aux isochrones, entre les rapports isotopiques d'Os et les teneurs en éléments légèrement magmatophiles, tels que l' Al_2O_3 . Pour obtenir un âge modèle de l'extraction de la lithosphère, l'intercept «y» est comparé avec la courbe d'évolution du manteau. Les points correspondant aux harzburgites de la Cordillère Canadienne traduisent l'effet d'un métasomatisme récent lié à la présence d'une anomalie sismique dans le manteau sous-jacent.

L'étude de magmas immiscibles carbonatitiques et silicatés dans le manteau sous-continental (Chalot-Prat & Arnold, 1999) fait le lien entre les thèmes des Grands Réservoirs Terrestres et des Processus Magmatiques. Cette recherche essentiellement fondée sur une étude fine des textures et des minéraux présents dans des veines de xénolithes mantelliques

(manteau-sous-continental des Carpathes Orientales; Roumanie). Ces résultats apportent des informations importantes sur les conditions d'évolution de la composition chimique du manteau lithosphérique par recyclage de magmas ultrabasiques.

LES PROCESSUS MAGMATIQUES

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

1 - 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 épitaxiales 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_2O 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 ($\text{Fo} > 90$) 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.

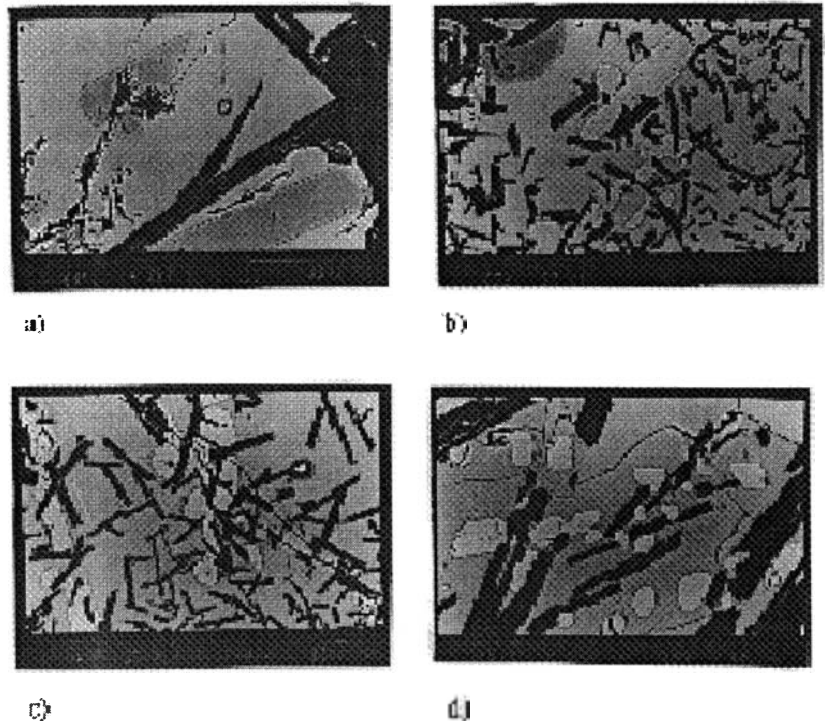
La composition des verres interstitiels et inclus dans les minéraux des boninites de Nouvelle Calédonie, des Mariannes, de Papouasie et des îles Bonin a été déterminée à la sonde électro-

que et à la sonde ionique pour leur teneur en eau. La teneur en eau peut être corrélée au degré d'évolution des verres. Les teneurs en eau sont de l'ordre de 1,2 à 1,5 % dans les verres les moins évolués de composition d'andésite magnésienne, de 4,5 à 5,5 % dans les verres de composition andésitique à dacitique, et finalement de 5,9 à 6,3 % dans les verres les plus évolués de composition dacitique à rhyodacitique. Ces fortes teneurs en eau seraient primaires. Elles auraient inhibé la nucléation du plagioclase, dont l'absence est une des caractéristiques des boninites (Ohnenstetter et Brown, 1996 ; Brown et Ohnenstetter, 1999).

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.

D'autres études expérimentales 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 2).

Figure 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.



2 - MISE EN PLACE DES MAGMAS GRANITIQUES

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

(a) Séquence et chronométrie de mise en place des magmas granitiques dans leur contexte tectonique régional. Cette recherche associant les approches pétrostructurales et géochimiques s'est

ancrée sur les programmes nationaux de cartographie de la Côte d'Ivoire au 1/ 200 000ème et du Maroc au 1/50 000ème. Le contrat ivoirien portait sur la carte de Dabakala où avaient été décrits des

gneiss migmatitiques. Ceci a fait l'objet de la thèse de Adou M'bé, soutenue en Mars 2000. Les principaux résultats de cette étude sont les suivants : (i) il n'existe pas de gneiss migmatitiques polyphasés comme antérieurement décrit, mais uniquement des granites syntectoniques birimiens, (ii) ces granites se répartissent en deux lignées magmatiques appartenant à deux groupes d'âges, la première de nature trondhjémitique datée à 2150-2170 Ma, la seconde de nature calco-alcaline datée à 2100 Ma, (iii) les deux phases tectoniques antérieurement décrites n'ont pas été retrouvées mais simplement une déformation progressive en régime tectonique transgressif, et (iv) la source des granites n'implique pas de matériel archéen, mais

(b) 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, s'est révélé fructueux pour aborder les mécanismes de mise en place des plutons granodioritiques superficiels. Parmi les résultats les plus intéressants citons : (i) l'absence d'interaction entre magma et encaissant au niveau de mise en place excluant tous les modèles de type «crustal

(c) 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 et des textures, avait pour objectif d'utiliser les réactions minéralogiques synchrones de la consolidation des plutons comme marqueur des derniers stades de

La recherche d'un modèle géodynamique pour expliquer l'activité récente synchrone de volcans basiques alcalins et calco-alcalins en contexte post-collision dans les Carpathes Orientales a mis en évidence le rôle majeur de la remontée d'un panache asthénosphérique suite à la délamination de la partie inférieure du manteau lithosphérique dans le déclenchement d'un soulèvement général et d'un découplage manteau-croûte initiateur de la fusion mantellique. Ces recherches sur la mise en place des magmas basiques en contexte continental post-collisionnel vont se poursuivre dans le cadre d'un projet Europrobe-INTAS sur le rift du Donbass.

3 - MÉTALLOGÉNIE

L'accent a été mis sur l'origine des minéralisations platinifères pauvres en sulfures de métaux de base à partir de l'étude d'objets naturels et de travaux expérimentaux. Ces derniers menés en collaboration avec l'Institut de Novossibirsk dans le cadre d'un PICS (PICS 568) portent sur la distribution des éléments du groupe du platine (EGP) entre sulfures de métaux de base, liquide sulfuré et minéraux propres (Peregoedova et Ohnenstetter, 1999).

au plus un matériel birimien précoce à 2300-2400 Ma. En ce qui concerne le Maroc, les principaux résultats sont les suivants : (i) la mise en place du magmatisme granitoïdique dans l'Anti Atlas occidental est polycyclique et appartient aux cycles éburnéens et panafricains, (ii) le massif de la Tagragra d' Akka est formé de plusieurs intrusions paléopropérozoïques sub-contemporaines, (iii) le magmatisme basaltique associé aux dépôts silico-clastiques turbiditiques néoprotozoïques de la boutonnière de Kelaat Mgouna (Anti-Atlas oriental) a les caractéristiques de tholéïtes continentales mise en place au cours des stades précoces de l'extension pré-panafricaine.

exchange» faisant intervenir des phénomènes de stoping significatifs (Paterson et al., 1996), et la nécessité d'avoir des chambres relais plus profondes où se font la différenciation et la contamination. Ce travail qui a pour cible le Pan-africain du Maroc, est en cours de publication (communication par poster à la Hutton conference en 99) et trouvera des prolongements dans le chantier «Ethiopie» (voir section «Chantiers»).

mise en place des magmas crustaux. Le résultat essentiel de ce travail (Barbey et al, 1999) a été de montrer que la formation de la cordiérite reflète l'ascension en masse du massif granitique et de son enveloppe migmatitique au moment de sa consolidation.

L'approche expérimentale (système Fe-Ni-Cu-S) a permis de comprendre le comportement de Pt, Pd et Rh dans un liquide sulfuré pauvre en soufre au cours du refroidissement (rapport Métal/Soufre voisin de celui de la pentlandite : 1,1). Le platine forme ses propres minéraux : PtFe, Pt₃Fe puis PtS avec l'augmentation de fS, qui cristallisent avant les sulfures de métaux de base porteurs de Pd. Ceci rend compte de la présence de minéralisations platinifères où Pt/Pd est souvent supérieur

à 1, comme dans les chromitites des ophiolites (Albanie) et l'horizon de pegmatites de pyroxénites du Merensky Reef (Bushveld) quand les alliages de platine sont prépondérants.

La liaison génétique entre la composition du magma silicaté et le dépôt de la minéralisation platinifère est encore ténue. Néanmoins la composition des chromitites semble être un bon marqueur des conditions régnant lors du dépôt des minéraux porteurs d'éléments du groupe du platine:

dans les ophiolites, les minéralisations avec des sulfures disséminés (pentlandite dominante; Pt/Pd <1) sont liés au premier magmatisme mis en place (tholéïte riche en Al et Ti); les minéralisations platinifères avec des alliages de platine (rares BMS; Pt/Pd >1) sont liés au dernier magmatisme de type boninitique (magma riche en Si mais pauvre en Al et Ti) (Neziraj et Ohnenstetter). Dans les complexes rubanés (Bushveld), le dépôt de la minéralisation en EGP -assez tardif- à partir d'un liquide sulfuré immiscible est lié à l'évolution d'un liquide différencié (intercumulus) issu de magmas plus riches en alcalins et éléments incompatibles que ceux des ophiolites (GDR métallogénie - travaux en cours).

De grandes variations de fO_2 accompagnent le dépôt des minéralisations en Pt et Pd. Le plus souvent il s'agit d'un processus d'oxydation reliant

la cristallisation des spinelles chromifères aux magnétites chromifères comme dans le Merensky Reef, les chromitites ou dunites à sulfures disséminés des ophiolites, les minéralisations arséniées (Gornostayev et al. soumis) mais des processus de réduction aussi existent localement comme lors du dépôt des alliages associés à des chromitites ophiolitiques. Des conditions très oxydantes peuvent conduire à la formation d'oxydes de platine comme dans les filons de quartz hydrothermaux de Naboomspruit, Afrique du Sud (200-300°C) (McDonald et al. 1999). L'altération météorique conduit aussi à la formation d'oxydes et d'hydroxydes dans les latérites (McDonald et al. 1999).

Les travaux à venir préciseront les conditions de dépôt des principaux types de minéralisations en Pt et Pd: celles à sulfures massifs, sulfures disséminés, arséniures ou alliages, en se basant sur des études fines portant sur les PGM mais aussi sur les phases associées: oxydes, minéraux hydratés ainsi que sur leurs relations texturales par rapport aux phases majeures. L'intégration des contraintes géodynamiques et du rôle des panaches ou des plaques subductées sur la nature des magmas et leur potentiel métallogénique doit permettre de déduire de meilleurs guides de prospection.

LES CHANTIERS

Les grands thèmes de recherche, support de l'activité de notre équipe depuis 4 ans, ont été poursuivis et développés dans le cadre de plusieurs chantiers.

1 - INTERACTIONS PANACHE-LITHOSPHERE : LE CHANTIER ETHIOPIEN

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 en 1997, les études se focalisent sur les axes suivants :

- Magmatisme acide associé aux Trapps. Cette étude était le sujet de thèse de Dereje Ayalew dont la soutenance a eu lieu en Septembre 1999. Elle

- Rifting et bombement du socle : relations avec le développement du panache Afar. Cette province magmatique est la plus jeune des grandes crises volcaniques (trapps continentaux : Deccan, Karoo, Parana, Groenland ...) qui jalonnent l'histoire du

complétait l'action menée sur la caractérisation géochimique des trapps et la nature de leur source. Deux publications sont en cours. Les principaux acquis de ce travail sont les suivants : (i) mise en évidence de l'origine des ignimbrites par différenciation à partir des basaltes, avec comme implication importante l'existence de larges chambres magmatiques et/ou de sous-placage, et (ii) caractérisation géochronologique des dépôts et analyse par sonde ionique des abondances de volatils dans des inclusions vitreuses, avec comme implication l'impact environnemental d'un panache via le volcanisme

début de la fracturation des continents et conduisent (?) à l'ouverture des océans. La Mer Rouge et le Golfe d'Aden n'étant qu'aux prémices du stade d'ouverture océanique, les relations géodynamiques entre les grands «acteurs» de la fracturation

de l'Afrique de l'Est (panache, trapps, rifts, marges, bombements) sont plus simples que pour les autres provinces, et sont donc plus intéressantes pour étudier les processus encore très débattus qui mènent à la fracturation d'un continent. Une grande partie des réponses à nos questions sur l'âge du début de la déchirure des plaques en Afrique de l'Est et les interactions potentielles entre le panache Afar et la lithosphère continentale passe par une étude thermochronologique fine du socle entourant le point triple. Préciser les relations entre bombement, rifting et volcanisme est un point clef dans la compréhension du mécanisme qui conduit à la fragmentation des continents puis à l'ouverture océanique. Dans ce contexte de soulèvement d'amplitude limitée, lié à un bombement régional ou localisé au niveau des épaulés des rifts, la pré-

- 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 ca-

- Plutons granitiques du Panafricain de Tigrée. Cette action qui vient de débuter fin 1999, s'inscrit non seulement dans la problématique générale de la métallogénie péri-batholitique dans le Panafricain, mais également dans les problématiques (i) de compréhension des mécanismes de transfert et mise en place des magmas en contexte d'accrétion et (ii) de reconstitution de l'évolution géodynamique des chaînes panafricaines et mozambicaines de l'Afrique de l'Est dont les relations restent mal comprises. Cette action vise à répondre à la demande éthiopienne de collaboration dans les

- Cinématique de l'extension récente : contraintes apportées par la datation (^3He 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

cision de la thermochronologie basse température (U+Th)/He devrait nous apporter des informations importantes pour déconvoluer la part des différents mécanismes de soulèvement associés à l'évolution géodynamique de cette région. Les premiers résultats concernent deux coupes effectuées dans le socle Ethiopien : (1) dans la vallée du Nil bleu, loin des rifts, où le socle n'a pas été dénudé depuis l'arrivée du panache Afar et (2) dans le Rift de Chew Bahir à la charnière entre le Rift Kenyan (NS) et le Rift Ethiopien (NE-SW) où les évidences de dénudation tectonique liée à l'évolution de cette jonction sont claires (Pik et al., 2000 ; Penrose Conférence). D'autres coupes sont envisagées en Erythrée sur la marge Mer Rouge et au Yemen dans les années à venir.

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

domaines de la cartographie en contexte cristallin et des ressources minérales et énergétiques. Une première mission de terrain a été effectuée en Octobre 1999 sur un pluton du domaine panafricain (échantillonnage ASM, géochimique et géochronologique). Les premiers résultats d'ASM viennent d'être acquis et sont très prometteurs. Une seconde mission va commencer en Avril pour étendre l'étude au domaine mozambicain. Une comparaison avec les granites panafricains du Maroc est également prévue.

tectoniques. Dans cette problématique la datation des surfaces géomorphologiques par les isotopes cosmogéniques, et notamment par ^3He , est un outil potentiel très puissant que nous avons commencé à développer pour permettre de préciser et de quantifier la cinématique récente de cette région-clé.

2 - 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 a eu 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, 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. Nous avons ainsi montré que ces intrusions résultaient de l'expression de surface de un ou plusieurs panaches mantéliques caractérisés par des enrichissements en ^3He par rapport au manteau convectif et des rapports isotopiques de Ne de type Loihi.

- 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.

- Le complexe de Monchegorsk est une intrusion de taille limitée (5km²) comportant des harzburgites, des orthopyroxénites et des gabbros-norites. Des dunités sont séparées de l'intrusion majeure par un contact. Des chromites, actuellement exploitées, sont associées aux dunités et un reef minéralisé en EGP, subéconomique, est situé dans les pyroxénites. Une minéralisation en EGP - avec localement de fortes anomalies - est aussi présente dans des roches contaminées au toit de l'intrusion. Le but est de relier les différents types de minéralisations (chromite et EGP) entre eux et à l'emplacement et au fonctionnement de la chambre. Un échantillonnage avec un maillage serré sera réalisé dans le reef pour suivre l'évolution de la composition des roches et des minéraux avec la

stratigraphie et déterminer ainsi les conditions de dépôt des platinoïdes : mélange de magmas, différenciation extrême, rôle de l'intercumulus.

- 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.

- Le massif de Ioko-Dovyren (Russie) est étudié en collaboration avec l'Université d'Ulan Ude et le centre Sibérien de l'Académie des Sciences de Novosibirsk (PICS 568). Le massif de Ioko Dovyren est un complexe lité, d'âge Protérozoïque supérieur, intrusif dans une séquence carbonatée détritique de la fosse d'Olokit (région Transbaïkale, Sibérie). L'intérêt de ce massif est de comporter une minéralisation de sulfures massifs à la base du complexe au contact des dolomies (analogue de Noril'sk), une minéralisation « off-set » (analogue de Sudbury), un reef en EGP dans les anorthosites (analogue du Reef de Stillwater), et une minéralisation disséminée dans les péridotites à la base du complexe (analogue de Noril'sk). Ce projet vise à caractériser les minéralisations platinifères pour déterminer leurs relations génétiques.

CHERCHEURS ET ÉTUDIANTS IMPLIQUÉS

	Reservoirs Terrestre	Processus Magmatiques	Chantiers
Chercheurs			
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-Transbaïkal-Bushveld
Daniel Ohnenstetter		X	Kola-Transbaïkal-Canada
Raphaël Pik		X	Kola/ Ethiopie
Laurie Reisberg	X		Kola/ Ethiopie/Chine
Mike Toplis		X	SWIR
Doctorants			
Dereje Ayalew		X	Ethiopie
Sylvie Decitre	X		SWIR
Franck Humbert	X		
Mbé Adou		X	
Asfawossen Asrat		X	Ethiopie
Anne Péslier	X		

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. PICS (568) entre Novosibirsk-Ulan Ude et le CRPG
Action intégrée Franco-marocaine Nancy-Orléans-Agadir-Fès

PRINCIPALES PUBLICATIONS

- Ait Malek H., Gasquet D., Leterrier J & Bertrand J.M.** (1998) - Géochronologie U-Pb sur zircon de granitoïdes éburnéens et panafricains dans les boutonnières protérozoïques du Kerdous, d'Igherm et du Bas Drâa (Anti-Atlas occidental, Maroc). C.R. Acad. Sci., Paris, 327, 819-826.
- Barbey P, Marignac C, Montel JM, Macaudière J, Gasquet D, Jabbari J,** 1999. Cordierite growth textures and the Conditions of Genesis and Emplacement of Crustal Granitic Magmas: The Velay Granite Complex (Massif Central, France). J. Petrology, 40, 1425-1441
- Chalot-Prat, F. and Arnold M,** 1999. Immiscibility between calcio-carbonatitic and silicate melts, and related wall-rock reactions in the upper mantle: a natural case study from Romanian mantle xenoliths. Lithos, 46/4, 627-659
- Cheilletz A., Ruffet G., Marignac C., Kolli O., Gasquet D., Féraud G., Bouillin J.P.** (1999). $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ dating of shear zones in the Variscan basement of the Greater Kabylia (Algeria). Evidence of an Eo-Alpine event at 128 Ma (Hauterivian-Barremian boundary): geodynamic consequences. Tectonophysics, 306, 97-116.
- Dauphas N. & Marty B.** (1999). Heavy nitrogen in the carbonatites of the Kola Peninsula : A possible signature of the deep mantle. Science, 286, 2488-2490
- Mc Donald I., **Ohnenstetter D., Ohnenstetter M., Vaughan D.J.** (1999a) Palladium oxides in ultramafic complexes near Lavatrafo, Western Andriamena, Madagascar. Min. Mag., 63, 345-352.
- Marty B., Tolstikhin I.N., Kamensky I.L., Nivin V., Balaganskaya E., and Zimmermann J.L.** (1998). Plume-derived rare gases in 380 Ma carbonatites from the Kola region (Russia) and the isotopic composition in the deep mantle. Earth Planet. Sci. Lett., 164, 179-192.
- Marty B., Upton B.G.J. and Ellam R.M.** (1998). Helium isotopes in early Tertiary basalts, northeast Greenland: Evidence for 58 Ma plume activity in the North Atlantic-Iceland volcanic province. Geology 26, 407-410.
- Marty B. & Zimmermann L.** (1999). Volatiles (He, C, N, Ar) in mid-ocean ridge basalts : Assessment of shallow-level fractionation and characterization of source composition. Geochim. Cosmochim. Acta 63, 3619-3634.
- Ohnenstetter D., Brown W.L.** (1996) Compositional variation and primary water contents of interstitial and included glasses in boninites. Contrib. Mineral. Petrol. , 123, 117-
- Ohnenstetter M., Johan Z., Cocherie A., Fouillac AM, Guerrot C., Ohnenstetter D., Chaussidon M., Rouer O., Makovicky E., Makovicky M., Rose-Hansen J., Karup-Møller S., Vaughan D., Turner G., Patrick RAD., Gize AP., Lyon I., Mc Donald I** (1999) - New exploration methods for platinum and rhodium deposits poor in base metal sulphides-NEXTPRIM. Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy. Section B. Applied Earth Science, 108, pp
- Peslier, A., L. Reisberg, J. Ludden, and D. Francis** (2000) Os isotopic systematics in mantle xenoliths: age constraints on the Canadian Cordillera lithosphere. Chem. Geol., 166, 85-101.
- Peslier, A., L. Reisberg, J. Ludden, and D. Francis.** (2000) Re-Os constraints on harzburgite and lherzolite formation in the lithospheric mantle: a study of Northern Canadian Cordillera xenoliths. Geoch. Cosmochim. Acta., *in press*.
- Pik. R., Deniel C., Coulon C., Yirgu G. & Marty B.** (1999). Isotopic and trace element signatures of Ethiopian flood basalts : Evidence for plume-lithosphere interactions. Geochim. Cosmochim. Acta 63, 2263-2279.
- Sano Y., Takahata N., Nishio Y. and **Marty B.** (1998). Nitrogen recycling in subduction zones. Geophys. Res. Lett. 25, 2289-2292.
- Toplis M.J.,** (1998) Energy barriers to viscous flow and the prediction of glass transition temperatures of molten silicates. American Mineralogist 83 : 480-490

- THÈME III -

INTERACTIONS FLUIDES-ROCHES

INTRODUCTION

L'eau est un élément clé dans l'évolution de notre planète. 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 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 (1997-2000)

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.

Ces trois problématiques ne sont pas indépendantes les unes des autres, et ne sont pas ressenties comme telles par les chercheurs du centre, mais ce découpage permet de structurer la présentation de notre activité sur la dernière période.

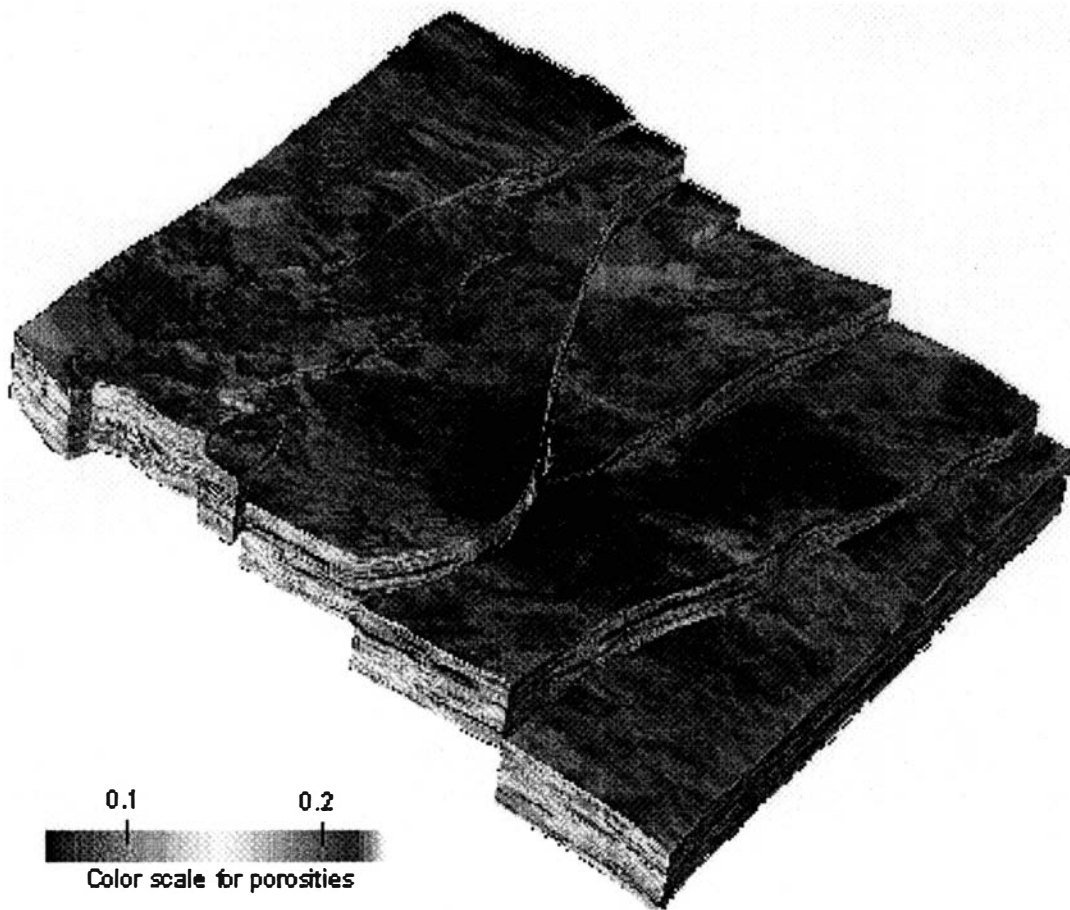
1 - L'ÉTUDE DES «RÉSERVOIRS»

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).

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, ...)



LA DÉTERMINATION DES PROPRIÉTÉS PÉTROPHYSIQUES

ESTIMATION INDIRECTE DES PERMÉABILITÉS.

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-sismiques, a été récemment proposée par Shapiro et al. (1999) et appliquée sur

les sites géothermiques de Soultz (France), Ogachi (Japon) et Fenton Hill (US). Elle a permis l'évaluation du tenseur de diffusivité hydraulique ainsi que ses directions principales. Ces paramètres ont été ensuite utilisés lors d'expériences numériques visant à estimer la durée de vie de ces réservoirs géothermiques lors de leur exploitation (Thèse ADEME de Pascal Audigane).

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DES RÉSERVOIRS

La caractérisation des propriétés physiques des réservoirs (lithologique, contenu fluide, porosité) est abordée à l'aide de méthodes géostatistiques indirectes utilisant les attributs sismiques. Le but est de reconstituer la lithologie (thèse de P. Fichtl) et les propriétés au-delà des puits de forage à partir des profils sismiques 3D. Cette Recherche entreprise en collaboration avec l'IFP a donné lieu à deux dépôts de brevet et s'intègre dans un programme de recherche plus vaste intitulé «Intégration des données sismiques dans les modèles

probabilistes de réservoir». Cette collaboration se poursuit dans le cadre d'une thèse (Thèse de Nivlet). Par ailleurs, une nouvelle méthode «Discrete Smooth Partition», récemment développée pour modéliser les faciès lithologiques à partir des données sismiques et des données de puits avec prise en compte de différentes contraintes (proportion de faciès, répartition spatiale, données sismiques) a été implémentée dans le logiciel gOcad. Elle est couramment utilisée pour l'étude des réservoirs.

L'étude des incertitudes constitue une étape indispensable dans la caractérisation des réservoirs. C'est un point fort du projet gOcad. En effet, les données disponibles pour la modélisation sont souvent indirectes, éparses et imprécises. Ces incertitudes concernent la géométrie du réservoir, la répartition des faciès et les propriétés des couches. Pour quantifier ces incertitudes, il est fait appel aux

méthodes de simulation numériques pour construire plusieurs modèles balayant l'étendue des solutions possibles. Plusieurs travaux ont été entrepris sur ce sujet d'une part, sur les incertitudes liées à la géométrie des failles [pendage, position] (thèse de M Lecourt et I Duvinage), d'autre part du point de vue théorique avec le développement de méthodes stochastiques originales (Mallet and Shtuka, 2000).

**LA RECONSTITUTION DE L'ÉVOLUTION TECTONIQUE DES RÉSERVOIRS :
LA GÉOLOGIE STRUCTURALE NUMÉRIQUE.**

DÉPLIAGE ÉQUILIBRÉ DES HORIZONS ET DES COUCHES

A cause de l'origine gravitationnelle des dépôts sédimentaires, il est généralement admis que les horizons étaient plats au moment de leur dépôt avant que les mécanismes de plissement et de faille n'interviennent au cours d'événements tectoniques successifs. D'une certaine manière, on peut considérer que la forme actuelle des horizons constitue un enregistrement de ces événements tectoniques. Afin de pouvoir «décoder» cet enregistrement, il est nécessaire de déplier ces horizons et ces couches car de ce dépliage, on peut déduire la distribution du tenseur des déformations. Dans cette perspective nous avons mis au point une nouvelle méthode mathématique permettant de déplier les horizons tout en préservant les aires et en minimisant les déformations (principe de minimum d'énergie). Comme le montre la Figure 2, cette

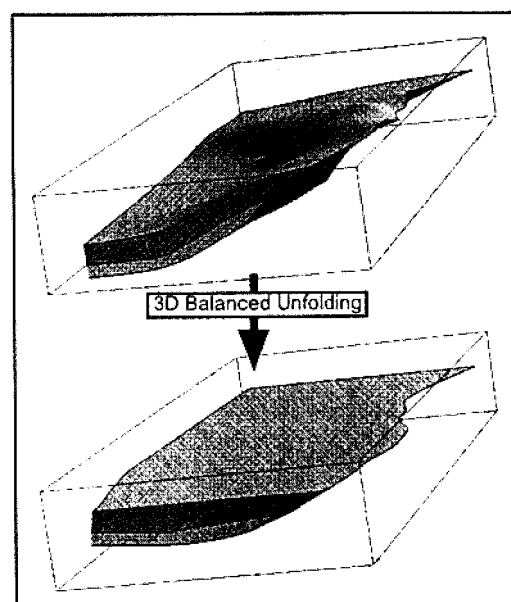
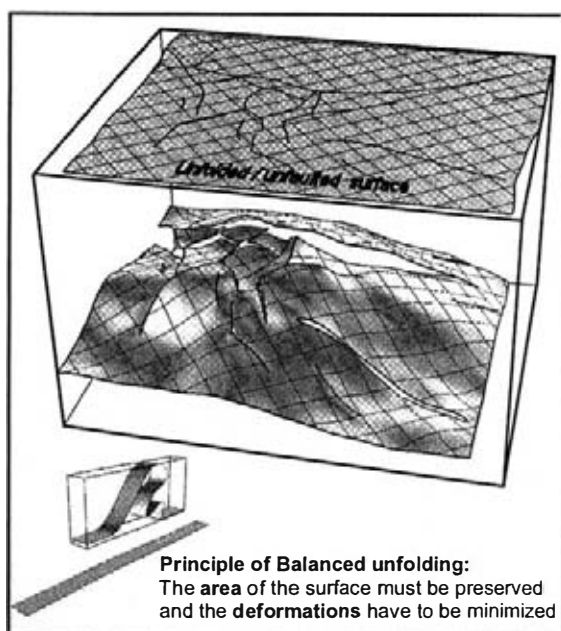


Figure 2 - Restauration équilibrée d'un modèle 3D. La surface de chaque horizon et le volume des couches sont conservés.



méthode entièrement nouvelle est maintenant totalement opérationnelle, y compris dans des contextes structuraux complexes. Nous sommes en train de développer une version volumique de cette méthode afin de déplier des couches tout en préservant les volumes et minimisant les déformations, les premiers résultats présentés sur la Figure 3 sont très prometteurs.

Figure 3 - Exemple de surfaces faillée triangulées restaurées et dépliées utilisant une méthode de paramétrisation globale : la surface des horizons est conservée avec une précision de 10^{-3} (Données Elf)

MODÉLISATION DES FAILLES

Dans le contexte du projet gOcad, les failles et les horizons sont modélisés sous forme de surfaces composées d'un ensemble de facettes triangulaires. Cependant, du fait de leur origine et histoire différentes, les failles et les horizons ont des propriétés géométriques différentes qu'il convient de prendre en compte dans le processus de modélisation. Par exemple chaque faille est adjacente à deux

blocks qui doivent avoir glissé l'un sur l'autre et seules les géométries compatibles avec ce glissement doivent être retenues. La détermination des lignes de glissement le long des failles et leur prise en compte dans la forme des failles a débouché sur la mise au point d'une méthode originale basée sur des concepts de géométrie (figure 4).

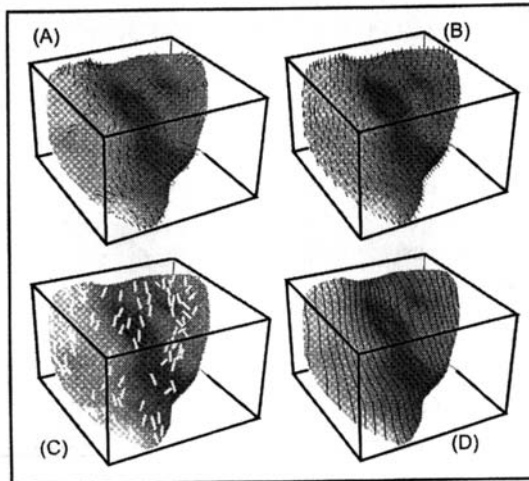


Figure 4 -
Reconstitution des directions de stries de faille à partir de sa géométrie : (A) stries brutes ; (B) stries filtrées ; (C) stries mesurées ; (D) lignes de glissement.

2 - LA 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, Geofrance 3D) dans la croûte continentale, ainsi que l'étude de la croûte océanique altérée.

SOULTZ

Soultz a été abordé sous deux aspects dans le cadre du projet ECOTECH-CEE - Géothermie Roches Sèches - Projet Soultz: 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 (= 15 % éq. NaCl) chaudes (~ 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).

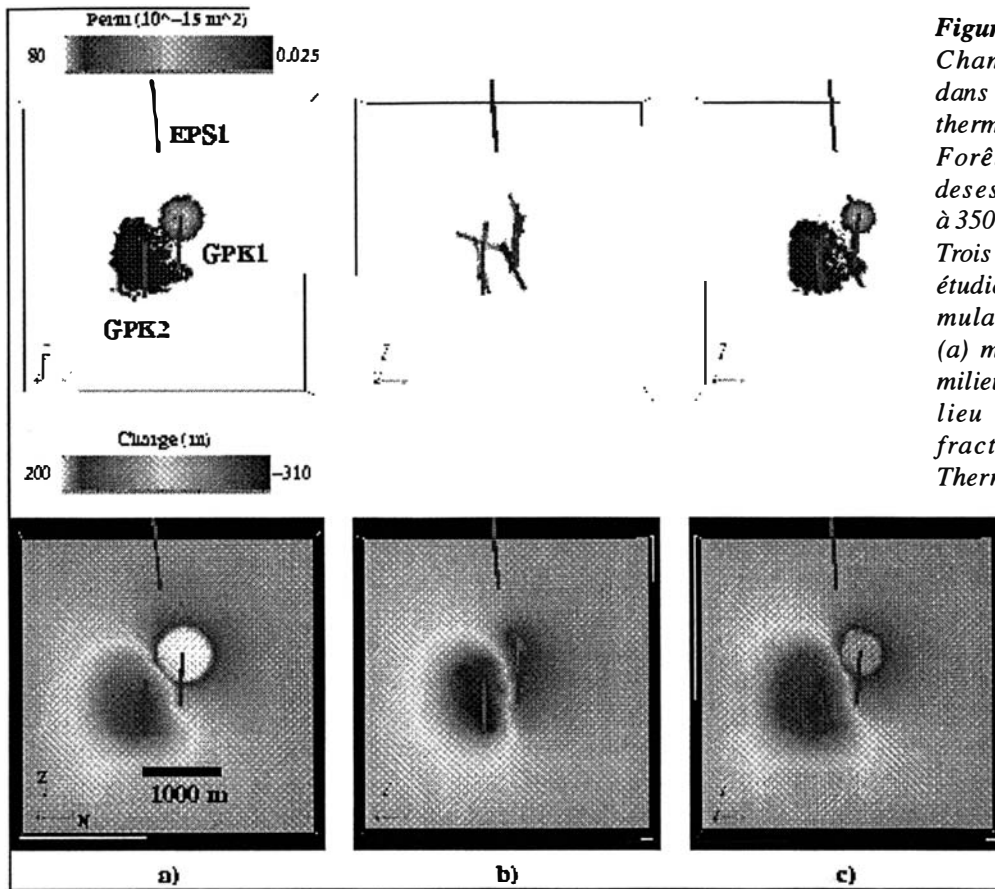


Figure 5- Champ de pression dans le réservoir géothermique de Soutz-s-Forêts (France) lors des essais de circulation à 3500m de profondeur. Trois hypothèses ont été étudiées pour cette simulation numérique: (a) milieu poreux; (b) milieu fracturé; (c) milieu mixte poreux et fracturé (Logiciel Thermass et gOcad)

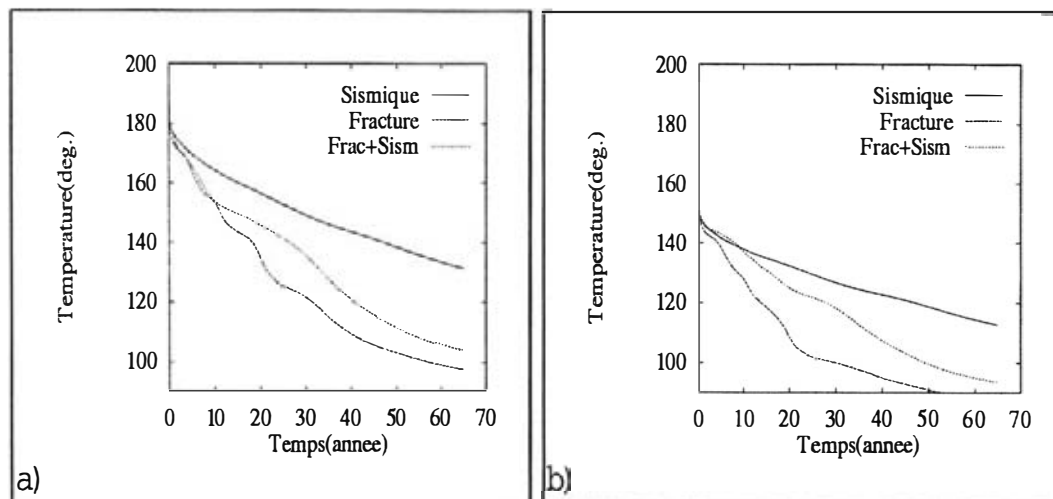


Figure 6- Température en fonction du temps des fluides extraits de deux réservoirs géothermiques situés à 5000m (gauche) et 3500m (droite). Trois hypothèses sont étudiées: (a) milieu poreux (sismique); (b) milieu fracturé; (c) milieu mixte. La durée de vie de l'échangeur géothermique de Soutz varie entre 25 et 70 ans selon les hypothèses admises et la profondeur du réservoir.

LARDERELLO

En collaboration avec le G2R (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 (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.

CIRCULATIONS DES FLUIDES SOUTERRAINS EN CONTEXTE SÉDIMENTAIRE : LE CAS DE L'EST DE LA FRANCE

Une étude de la géochimie des gaz rares et des isotopes stables dans les eaux des aquifères sédimentaires de l'Est du Bassin Parisien a été entreprise en 1996 pour le compte de l'ANDRA. Cette étude a permis de mieux comprendre les sources de gaz rares dans les eaux souterraines, les cinétiques d'échange eau-roche, et d'apporter des informations sur les transferts verticaux et horizontaux dans l'Est du Bassin à des échelles de temps géologiques. Les résultats de ces travaux sont exposés dans les rapports d'activité de l'ANDRA et dans le mémoire de thèse de Sarah Dewonck, soutenue le 24 Février 2000, qui a travaillé spécifiquement sur cette étude. Les principaux résultats sont :

La mobilité de He et Ar radiogéniques étudiée pour des échantillons de carottes sédimentaires montre la grande mobilité de He même à température ambiante et a permis d'identifier les phases hôtes des parents dans les argilites, ainsi que les cinétiques d'échange eau-roche ;

L'analyse des eaux du Trias des Grès Vosgiens montre des temps de résidence élevés, et le couplage entre la datation ^{14}C des eaux et les paléotempératures déduites des abondances des gaz rares atmosphériques enregistrées dans ces eaux montrent bien le contraste climatique important ($> 5^\circ\text{C}$) entre le dernier maximum glaciaire (> 15000 ans) et l'actuel;

L'analyse des isotopes de l'hélium permet de détecter la présence d'une composante d'hélium externe à l'aquifère. Les rapports $^3\text{He}/^4\text{He}$ ($^3\text{He}/^4\text{He} = 0.15 - 0.53 \text{ Ra}$; $\text{Ra} = ^3\text{He}/^4\text{He}$ atmosphérique) supérieurs à la production dans la roche réservoir ($\sim 0.02 \text{ Ra}$) sont en accord avec ceux mesurés par Griesshaber et al. (1992) dans le Graben

du Rhin et traduisent la présence d'hélium dérivé du manteau en relation avec la tectonique active du graben du Rhin. Ces analyses indiquent ainsi des transferts convectifs de grande ampleur, à l'échelle de la croûte. Les flux d'hélium-3 d'origine mantélique dans le Trias lorrain sont similaires à ceux établis pour les rides médio-océaniques, soulignant l'activité tectonique du graben du Rhin bien au delà de ce graben.

Dans les eaux du Dogger, l'hélium dérive essentiellement de la production radiogénique in-situ dans la roche réservoir ou dans les sédiments sous-jacents. Aucun apport d'hélium d'origine plus profonde (magmatique) n'a pu être décelé. Cette étude permet de proposer qu'une isolation efficace existe entre le Dogger et le Trias, constituée par les argiles du Lias. Cette isolation a permis de limiter quantitativement les transferts d'éléments traces entre les deux aquifères.

Un effort a été mené pour l'analyse isotopique H et O des eaux de porosité dans les formations argileuses à très faible porosité. L'objectif est de déterminer l'origine et la stabilité de l'eau présente dans les formations étudiées en vue du stockage. L'extraction de l'eau par des moyens classiques est impossible, nous avons donc développé une méthode d'analyse combinant écrasement sous vide de l'échantillon et déshydratation à température contrôlée ou équilibration eau- CO_2 . Ce protocole analytique a été appliqué sur les Sites EST et GARD de l'ANDRA et Tournemir et Mont Terri dans le cadre de projets ANDRA et FORPRO. Ils impliquent une origine météorique non modifiée de l'eau de porosité dans ces sites.

LA CROÛTE OCÉANIQUE

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 dD 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 H₂ lors de l'interaction océan-croûte.

Une approche géochimique globale (le cycle du lithium dans le système océan-croûte océanique) a 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. Des échantillons de péridotites serpentinisées ont été échantillonnés en août 1997 par la campagne océanographique EDUL sur la ride ouest-indienne. L'étude de la composition isotopique du Lithium dans ces échantillons montre l'extraction de cet élément par les fluides hydrothermaux à hautes températures dans les basaltes, et sa redéposition à plus basse températures lors de la formation des serpentines.

3 - 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. 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.

ORIGINE DES ÉMERAUDES ANCIENNES

Depuis l'antiquité, les émeraudes source de symbole, de pouvoir et de légende ont joué un rôle important dans l'histoire des civilisations. Malgré les nombreuses études fondées sur les archives historiques et sur les expertises gemmologiques, l'origine de la plupart des émeraudes anciennes demeure incertaine voire énigmatique. C'est le cas notamment des émeraudes, dites de « vieilles mines » (Ward, 1993; Forestier et Piat, 1998), qui furent taillées aux Indes à l'époque de la dynastie des Moghols et commercialisées, dès le XVII^e siècle, par les négociants indiens. Ces émeraudes, de qualités exceptionnelles, sont supposées provenir d'anciennes mines d'Asie du Sud-Est, alors que tous les gisements asiatiques n'auraient été officiellement découverts qu'au XX^e siècle. L'analyse isotopique de l'oxygène, sur la sonde ionique IMS 1270, a été appliquée à neuf émeraudes permettant de couvrir une large période historique,

depuis l'époque gallo-romaine jusqu'au XVIII^e siècle. L'analyse de la composition isotopique de l'oxygène a montré que ces émeraudes ont des compositions isotopiques variables avec des rapports isotopiques ¹⁸O/¹⁶O compris entre 7,5 pour mille (‰) et 24,7‰. Cette gamme de valeurs isotopiques recouvre l'intervalle de valeurs défini pour les gisements d'émeraude dans le monde, compris entre 6,2 et 24,8‰ (Giuliani et al., 1998). Elle reflète des variations dans la composition isotopique des fluides nourriciers de l'émeraude, le rapport ¹⁸O/¹⁶O du fluide étant contrôlé (i) par la composition des roches où a circulé le fluide, (ii) l'intensité des réactions entre le fluide et la roche et (iii) la température du fluide. Ces rapports isotopiques peuvent être combinés aux caractéristiques gemmologiques utilisées classiquement pour diagnostiquer l'origine des émeraudes (Zecchini et Maitrallet, 1998; Schwarz, 1987; 1998).

Les valeurs des rapports isotopiques $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$, obtenus sur les émeraudes « vieilles mines », nous indiquent qu'au cours du XVII^{ème} et XVIII^{ème} siècle, les fameux trésors présents actuellement en Inde, au Topkapi Sarayi Palace en Turquie et à la

Markazi Bank en Iran, n'ont pas été constitués seulement de pierres provenant du « Nouveau Monde » (constituant probablement la majeure partie) mais aussi, comme d'aucuns l'avaient présenté, d'Asie.

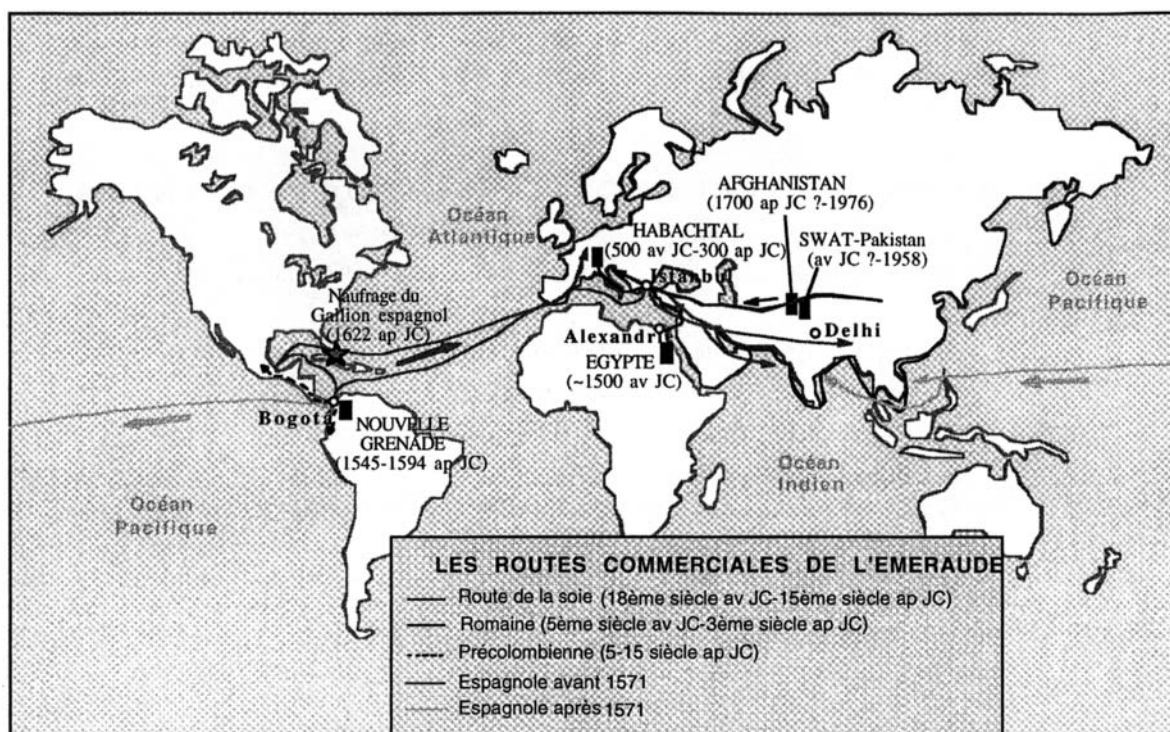


Figure 6 : Les routes commerciales des émeraudes. Les cinq routes définies suivant les données historiques sont reportées. Les gisements exploités depuis l'Antiquité jusqu'au XVIII^{ème} siècle sont représentés par des rectangles noirs et leurs dates supposées d'exploitation sont reportées entre parenthèses. Les rapports isotopiques $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ obtenus sur les neuf émeraudes étudiées démontrent que la route de la soie était utilisée pour commercialiser les émeraudes d'Egypte, du Pakistan et d'Autriche entre l'Asie, le Moyen-Orient et l'Europe. Puis, à partir du XVI^{ème} siècle, les espagnols établirent la commercialisation des émeraudes colombiennes en Asie, d'abord par la voie de l'Océan Atlantique et ensuite par la voie de l'Océan Pacifique.

GÉOFRANCE 3D « MODÉLISATION CARTOGRAPHIQUE 3D DES MINÉRALISATIONS DU LIMOUSIN. »

Ce projet en collaboration avec le BRGM, le MENRST et plusieurs universités (CREGU, Orléans, Lyon, Nice) avait pour objectifs la reconstitution du bloc crustal Limousin nord et sud (90 x 90 x 6 km) lors de la crise métallogénique 320-300 Ma. Cette synthèse 3D réalisée sous gOcad à l'échelle pluri-kilométrique à partir des informations de surface, des profils sismiques et des relevés gravimétriques montre que les minéralisations n'auraient pas de relation spatiale avec les granites biotite±cordiérite (type G, 360±10 Ma), en raison de leur faible potentialité en métaux, leur condition de mise en place à grande profondeur, un environnement compressif impliquant une faible

perméabilité crustal incompatible avec la circulation des fluides. A l'opposé, la plupart des gisements sont spatialement liés aux granites à 2 micas (type L, 320±10 Ma) intraplutoniques, à proximité de faciès riches en Sn ou d'intrusions endogranitiques pour U, et de leur apex pour W et de manière plus distale pour Au. Certaines minéralisations en W sont également liées à la présence de coupes granitiques cachées (Puy les Vignes, Moulin Barret, Brillac). La période namuro-westphalienne correspondrait à une phase d'extension syncollisionnelle précoce, caractérisée par des accidents décrochants régionaux associés à la mise en place des granites type L, bien visibles sur les

Figure 7 (page suivante) - Modélisation cartographique 3D sous gOcad du Limousin (90 x 90 x 6 km).

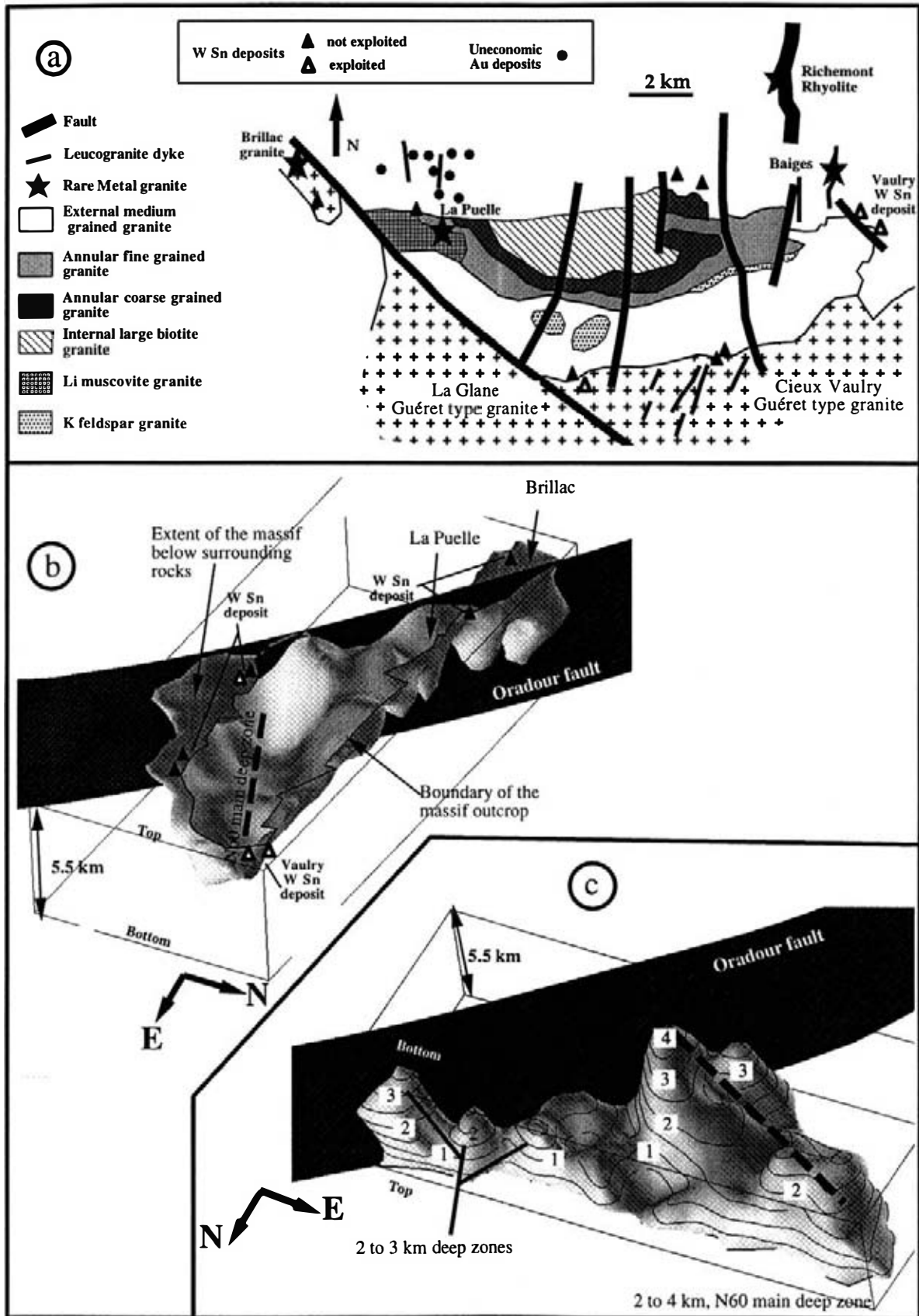


Figure 7 - Modélisation cartographique 3D sous gOcad du Limousin (90 x 90 x 6 km).

reconstructions 3D. Peu de minéralisations se forment pendant cette période, mais cette phase correspond à la formation de préconcentration métallifères et prépare les conditions favorables aux circulations fluides. Le passage à l'extension généralisée (310-290 Ma) est synchrone de la granulitisation BP-HT en base de croûte. Ces événements géodynamiques conduisent à

l'exhumation rapide de la croûte ductile qui permet le mélange des fluides profonds avec les fluides météoriques. Ces circulations se sont focalisées sur des réactivations en régime fragile de discontinuités structurales magmatiques ou ductiles antérieures, montrant le rôle métallogénique de ces discontinuités verticales dans le Limousin.

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. Firdaous, 1995) et les gisements de la zone de cisaillement Est-Ouzzaliennne 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 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.

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 (G2R) 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.

CHERCHEURS, ÉTUDIANTS ET POST-DOCTORANTS IMPLIQUÉS.

Chercheurs	Réservoirs			Circulations		
	a) géométrie	b) statique et dynamique	c) propriétés physiques	a) modalités	b) Age et durée	c) Source des métaux
Alain Cheilletz			X	X	X	X
Etienne Deloule		X		X	X	X
Christian France-Lanord			X			
Gaston Giuliani			X		X	X
Pierre Jacquemin	X					
Christian Le Carlier	X		X			
Jean-Laurent Mallet	X	X				
Christian Marignac				X	X	X
Bernard Marty			X		X	
Raphaël Pik				X	X	
Jean-Jacques Royer	X	X	X			
Sergeï Shapiro.	X	X	X			
Doctorants						
Pavel Alexandrov				X	X	
Pascal Audigane		X	X			
Yannick Branquet				X	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				
Post doctorants						
Richard Cognot	X					
Arben Shtuka.	X	X	X			

FINANCEMENT

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

PRINCIPALES PUBLICATIONS RÉCENTES

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

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.

Fichtl P. and Royer J.J. (1999) - Facies Based Sequential Indicator Cosimulation : Collocated Cokriging Approach for Integrating Seismic Data. *Proceedings of IAMG'99*, S.J. Lippard, A. Naess, R. Sinding-Larsen (Eds), Trondheim, Norway, 6-11 August 1999, 473-478.

- 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.
- Giuliani G., Chaussidon M., Schubnel H.J., Piat D.H., Rollion-Bard C., France-Lanord C., Giard D. de Narvaez D. et Rondeau B.**, (2000) Oxygen isotopes and Emerald trade routes since antiquity, Science, 287, 631-633.
- Guiziou J.L., **Mallet J.L.** and Madariaga R. 1996 - 3D seismic reflection tomography on top of the GOCAD depth modeler. Geophysics, vol. 61, No. 5, 1499-1510.
- Le Carlier de Veslud C., Royer J.J., Gérard B., Pagel 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.
- Lévy B. and Mallet J.L.** 1998 - Non-Distorted Texture Mapping For Sheared Triangulated Meshes. ACM-SIGGRAPH'98 Conf. Proc., Orlando, Florida, July, 343-352.
- Mallet J.L.** (1997) - Discrete Modelling of Natural objects. Math. Geology, v. 29, no 2, 199-219
- Mallet J.L. and Shtuka A.** 2000 - Blending Based Stochastic Simulators - Math. Geology, v. 32, no. 3., 367-379.
- 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.
- 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
- Samson O. and **Mallet J.L.** 1997 - Curvature Analysis of Triangulated surfaces in Structural Geology. Math. Geology, Vol. 29, NO. 3, 391-412.
- Shapiro S.A., Audigane, P. and Royer J.J.** (1999) - Large-scale in situ permeability tensor of rocks from induced microseismicity. Geoph. J. Int., 137, 207-213.
- Smith M.P., Savary V., Yardley B.W.D., Valley J. W., **Royer J.J.** and Dubois M. 1998 - The evolution of the deep flow regime at Soultz-sous-Forêts, Rhine Graben, eastern France: evidence from a composite quartz vein. JGR vol. 103, No. B11, 27 223-27 237.

- THÈME IV -

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 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. A l'origine, ce thème était essentiellement centré sur des objectifs directement liés à la sonde ionique 1270. Ces projets sont main-

tenant portés par 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 (1) l'étude des lichens et des pluies comme traceurs des transports atmosphériques et (2) le cycle bio-géochimique de l'azote.

PRINCIPAUX RÉSULTATS

1 - MICRO-MARQUEURS DE L'ENVIRONNEMENT

• MICROANALYSES DES COMPOSITIONS ISOTOPIQUES D'OXYGÈNE DES CARBONATES BIOGÉNIQUES (THÈSE CLAIRE ROLLION-BARD)

Afin de mieux comprendre de quelle manière les coraux enregistrent la composition isotopique de l'oxygène de l'eau de mer au niveau de leur squelette aragonitique, des mesures de $\delta^{18}\text{O}$ à la sonde ionique ont été entreprises. Une analyse à la sonde couvre environ 20 μm de diamètre, soit environ 5 jours de croissance corallienne. Ces mesures sont donc un enregistrement à l'échelle micrométrique des $\delta^{18}\text{O}$ de l'eau de mer. Elles permettent ainsi de mieux appréhender les variations possibles de l'effet vital au cours de la croissance du corail. L'effet vital est l'écart entre le fractionnement isotopique corail-eau mesuré et le fractionnement inorganique aragonite-eau à une température donnée.

Nous avons travaillé sur un corail moderne, du genre *Porites*, provenant de Nouvelle-Calédonie. Sur la figure 1 sont représentés (1) les $\delta^{18}\text{O}$ mesurés à la sonde ionique avec une précision sur

les standards de l'ordre de 0,5‰, (2) les gammes de variation des $\delta^{18}\text{O}$ mesurés de manière «classique» par spectrométrie de masse à l'échelle millimétrique et (3) des $\delta^{18}\text{O}$ calculés pour une aragonite précipitant à l'équilibre avec une eau de mer à 0‰ et des températures allant de 21 à 26 °C. Ces températures représentent le minimum et le maximum des températures de l'eau de mer enregistrées près du site de prélèvement.

Les variations enregistrées à l'échelle micrométrique sont 10 fois supérieures à celles qui sont mesurées à l'échelle millimétrique. Elles ne peuvent s'expliquer par des variations de la température car celles-ci seraient de l'ordre de 40 °C. Les variations de $\delta^{18}\text{O}$ semblent plutôt être dues à des changements dans le taux de croissance du corail. En effet, plus les taux de croissance sont faibles et plus le $\delta^{18}\text{O}$ doit se rapprocher de l'équi-

libre isotopique. C'est ce que nous observons pour nos données, puisque les $\delta^{18}\text{O}$ les plus élevés

mesurés à la sonde correspondent aux valeurs de l'aragonite précipitée à l'équilibre.

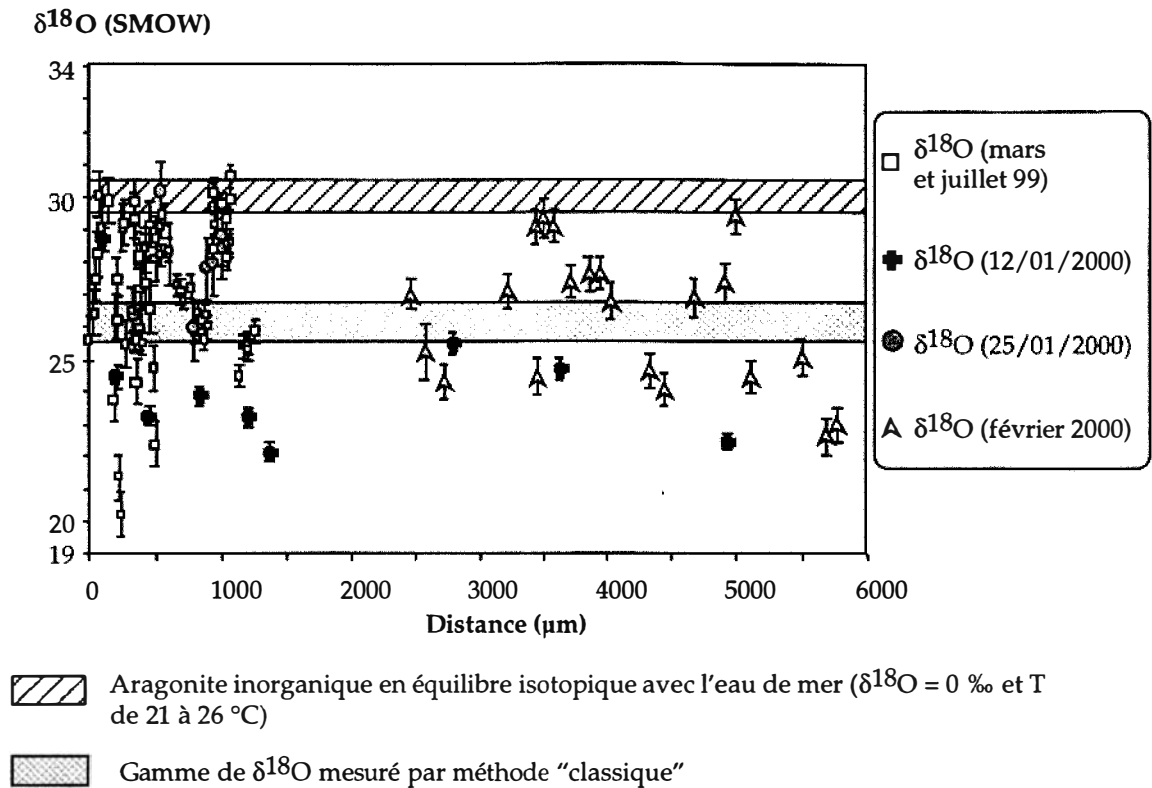


Figure 1 : $\delta^{18}\text{O}$ (‰ SMOW) mesurés à la sonde ionique pendant différentes sessions d'analyse. Les gammes des $\delta^{18}\text{O}$ mesurés par spectrométrie de masse et des $\delta^{18}\text{O}$ calculés pour une aragonite précipitée à l'équilibre sont indiqués pour comparaison.

• ANALYSE CHIMIQUE ET ISOTOPIQUE DE PARTICULES MICROMÉTRIQUES PAR IMAGERIE IONIQUE (THÈSE JÉRÔME ALÉON)

Ce projet a permis de développer l'étude chimique et isotopique (O et H mais aussi C, Si, N) de poussières micrométriques 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 à l'intérieur d'un même grain, offrent des perspectives très prometteuses en climatologie et en cosmochimie. Une première partie de l'étude est focalisée sur les poussières désertiques en suspension dans l'atmosphère. Ces données nouvelles auront des implications en ce qui concerne le traçage des sources des aérosols détritiques en relation avec les modèles de circulation atmosphérique. La seconde partie de l'étude concerne les poussières interplanétaires échantillonnées dans la stratosphère. La mesure de variations isotopiques intraparticulaires apportera un regard nouveau sur l'origine de ces poussières et leur lien avec les comètes.

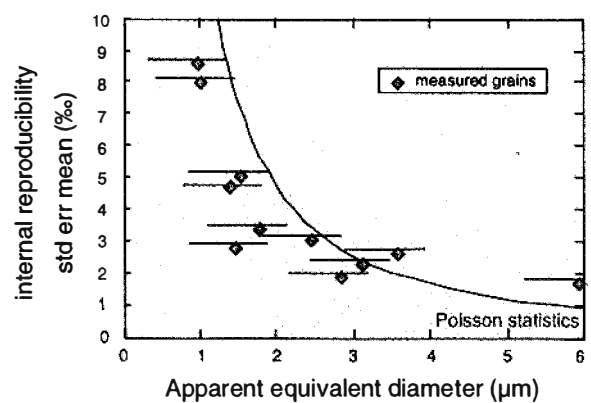


Figure 2 - Précision (erreur sur la moyenne) des mesures de $\delta^{18}\text{O}$ sur des grains de standards de magnétite en fonction de la taille des grains. La statistique de Poisson correspond à la meilleure précision théorique que l'on pourrait atteindre. Elle est calculée pour des grains sphériques.

2- ÉROSION HIMALAYENNE : (PROGRAMMES PROSE ET PNSE)

La chaîne himalayenne réunit à l'échelle continentale les reliefs les plus extrêmes et un régime de précipitation intense. Il en résulte le système d'érosion le plus important de la terre en termes de masses déplacées ($>10^9$ tonnes/an) et probablement de durée (≈ 40 Ma). L'impact de l'érosion himalayenne sur des processus globaux, tels que la mousson asiatique, la PCO_2 de l'atmosphère ou les traceurs océaniques des changements globaux (C, Sr, Os ...) est actuellement largement débattu dans la littérature. Il est certain que le rôle attribué à l'érosion himalayenne reste très mal estimé et parfois abusif. Ceci tient au fait que beaucoup d'études sont fondées sur une extrapolation des flux actuels qui ne sont pas nécessairement valables pour le passé et que les processus élémentaires d'érosion en Himalaya sont mal connus. Par exemple, l'érosion himalayenne n'engendre pas nécessairement une importante altération de silicates. Au-delà de son effet sur les changements globaux, le système d'érosion himalayen représente un des exemples les plus passionnant à étudier car

(1) il affecte une structure géologique relativement simple, (2) il concentre sur un même bassin une diversité unique de conditions climatiques depuis les glaciers à 5000m d'altitude au méga delta du Bangladesh en passant par la forêt tropicale humide, et (3) des forages dans le cône du Bengale et au Bangladesh et la surrection récente des Siwaliks qui exposent le bassin d'avant-chaîne permettent d'étudier des enregistrements sédimentaires en continu de l'érosion depuis l'Oligocène.

Sur la période 96-2000, un ensemble de recherches ont été menées dans le cadre des programmes PROSE puis PNSE. Ces recherches ont combiné la poursuite de l'étude de l'enregistrement sédimentaire de l'érosion déjà entreprise depuis 1992 avec une étude détaillée du système actuel d'érosion. Trois thèses ont été menées sur l'étude du géochimique de l'érosion au Népal Central et une thèse débute sur la quantification des vitesses d'érosion.

• EFFET GLOBAL DE L'ÉROSION HIMALAYENNE

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_2 atmosphérique expliquant le refroidissement global des climats depuis 40 Ma. L'augmentation très importante du rapport $^{87}Sr/^{86}Sr$ des océans témoignant d'une l'altération soutenue des silicates et la diminution de $\delta^{13}C$ des océans témoigne de l'érosion des réservoirs sédimentaires de carbone organique.

Dans le cône du Bengale, les minéraux pédogéniques (smectites, vermiculites) enregistrent les compositions isotopiques de Sr des eaux de la plaine Indo-Gangétique. Nous avons ainsi mis en évidence une variation considérable des rapports $^{87}Sr/^{86}Sr$ à 7 Ma dont les effets sur

la composition océanique de Sr sont tels qu'ils doivent être compensés par une baisse des flux de Sr des rivières himalayennes. Ces résultats impliquent des relations complexes, voire inverses, entre érosion et altération des silicates (*Derry et France-Lanord, 1996a*).

Le bilan chimique établi en comparant les dépôts sédimentaires et les roches sources (Fig. 3) démontre que l'érosion himalayenne se caractérise en fait par une très faible intensité des processus d'altération chimique.

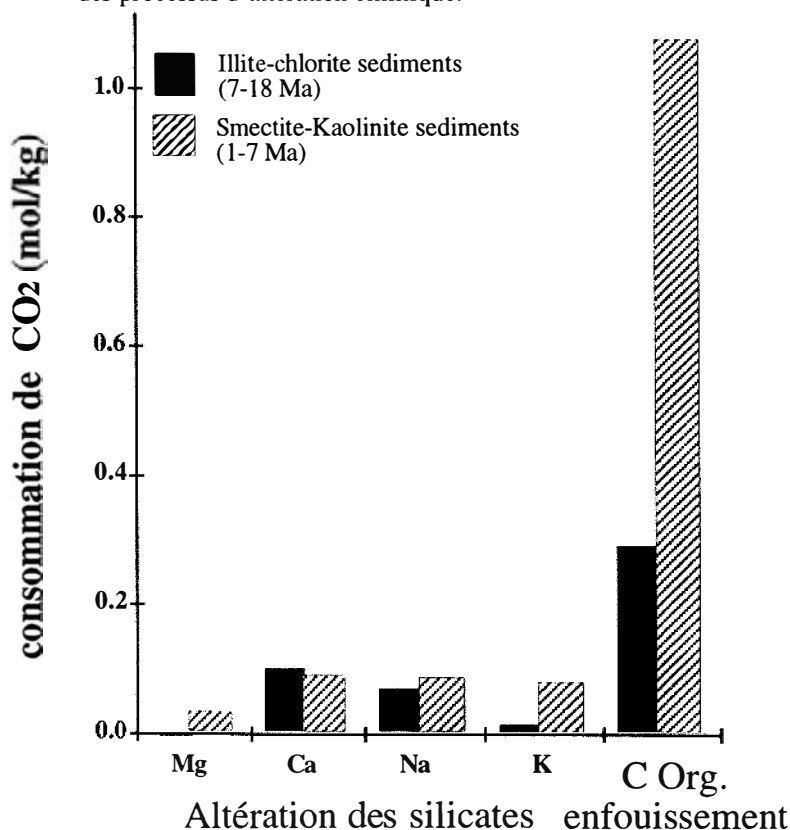


Figure 3 - Consommation de CO_2 atmosphérique par altération des silicates et enfouissement de matière organique établie par différence de composition chimique entre le matériel érodé (source himalayenne moyenne) et les sédiments accumulés dans le cône du Bengale. Le flux d'enfouissement du C organique représente un puits de CO_2 au moins trois fois plus important que l'altération des silicates pour l'érosion himalayenne (*France-Lanord et Derry, 1997*).

Cette altération touche essentiellement des silicates Na et K peu efficaces pour la consommation à long terme de $\text{CO}_{2\text{atm}}$. Le bilan réalisé conduit à une consommation de l'ordre de 0.2×10^{12} moles/an de $\text{CO}_{2\text{atm}}$ ce qui est modeste par rapport aux autres grandes rivières mondiales. En revanche le bilan de consommation de $\text{CO}_{2\text{atm}}$ est environ 3 fois plus important par enfouissement de matière organique (*France-Lanord et Derry, 1997*).

Les données acquises sur le système actuel de rivières en Himalaya et au Bangladesh

(*Thèse Galy, 1999; Galy et France-Lanord 1999*) confirment le faible flux d'alcalinité lié à l'altération des silicates et analyse en détail les processus qui limitent l'altération malgré un flux d'érosion majeur à l'échelle globale. C'est très probablement le transport et les précipitations qui interviennent comme de facteur limitant de l'altération. L'analyse comparée des flux d'altération et du flux de Sr dissous implique que le Sr ne peut pas être utilisé pour tracer l'altération des silicates sur le Néogène. Le bilan isotopique du Sr océanique est complètement dominé par le flux himalayen (*Galy et al. 1999*).

• DISTRIBUTION DE L'ÉROSION À L'ÉCHELLE DE LA CHAÎNE ET BILAN GÉOCHIMIQUE DE L'ÉROSION (THÈSE GALY, 1999)

Les données isotopiques acquises sur matériel particulaire mettent en évidence une répartition très hétérogène des taux d'érosion. Les zones de très forte érosion physique sont concentrées en flanc sud où la surrection est la plus importante, les précipitations sont les plus fortes et la surface englacée la plus grande. Les traceurs cosmogéniques, ^{10}Be in situ sur quartz et ^4He sur grenat confirment une très fort contraste des vitesses d'érosion entre le flanc nord et le flanc sud de la haute chaîne

(*Fleck et al., 1998*).

Le fractionnement minéralogique au cours du transport permet d'estimer un flux d'érosion total à partir des flux de MES (matières en suspension) mesurés au Bangladesh. Ce bilan suggère un flux total de 2 milliards de tonnes/ans, soit le double du flux de MES (*Galy et France-Lanord, soumis*). Ce flux additionnel correspond aux flux de la charge de fond des rivières et à l'accumulation de sédiments dans la plaine d'avant chaîne.

• LE BORE, TRACEUR DE L'ALTÉRATION (THÈSE E. ROSE, 1999)

Les compositions isotopiques de Bore sont des traceurs potentiels des processus d'altération dans la mesure où elles sont conditionnées par l'origine du bore dissous et le pH des eaux. Pour ce projet l'analyse isotopique du bore sur dépôt à la sonde ionique ims 3f a été mise au point. Les compositions isotopiques du bore des rivières varient d'environ 35‰ (*Rose et al., 2000*). Ces variations sont principalement conditionnées par l'altération des silicates en fonction des processus de dissolution et du pH des sols où les minéraux secondaires se forment (*Rose et al., soumis A*). D'importantes variations de la composition isotopique de bore du Gange et du Brahmapoutre entre les périodes de mousson et hors mousson ($\approx 15\%$),

soulignent l'extrême hétérogénéité des apports à l'océan, ce dont il faut tenir compte pour la compréhension de la composition isotopique de bore de l'eau de mer.

Les compositions isotopiques du bore des fractions argileuses ($< 0,1\mu\text{m}$ et $< 2\mu\text{m}$) de sédiments et de sols himalayens présentent une variabilité encore plus large que celle des rivières. Au sein d'un même échantillon, les variations restent très larges entre classes granulométriques d'argiles différentes. Les compositions isotopiques répondent probablement à des variations de conditions d'altération dans les sols entre périodes humides et sèches.

• L'OSMIUM, TRACEUR DE L'ÉROSION CONTINENTALE (THÈSE A. C. PIERSON-WICKMANN, 2000)

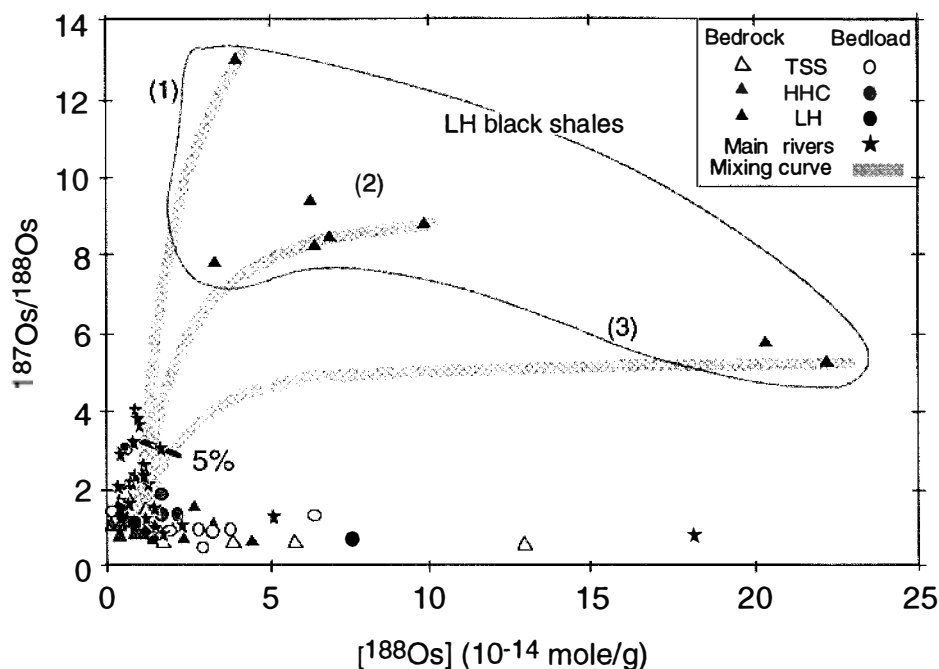
À l'instar du Sr, les compositions isotopiques d'Os marin montrent une augmentation marquée depuis une quinzaine de million d'année. Cette augmentation est le signe d'une augmentation de l'apport continental d'Os à l'océan et indique que l'Os est un traceur potentiel des flux d'érosion. Le cycle supergène de l'Os est encore largement méconnu et nous avons donc entamé une étude du cycle de l'Os et du Re lors de l'érosion de l'Himalaya. Le choix de ce bassin est justifié par le fait

que le Gange est une des rivières mondiales reconnues pour avoir une composition isotopique d'Os nettement plus radiogénique que la croûte continentale moyenne. Le rôle des rivières himalayennes en tant que source potentielle d'Os radiogénique aux océans (*Reisberg et al., 1997*) est confirmé par l'analyse des particules de rivières (Fig. 4). Le caractère radiogénique de l'apport himalayen apparaît lié à l'érosion des schistes noirs du Bas Himalaya qui ne représentent qu'une par-

tie très faible des formations érodées (Pierson-Wickman et al. 2000). Le bilan de flux d'érosion à l'échelle d'un bassin himalayen complet suggère

que d'autres sources d'Os radiogénique que les schistes noirs existent dans le bassin ou bien que l'érosion ne soit pas à l'état stationnaire pour l'Os.

Figure 4 - Compositions isotopiques d'Os et concentrations en ^{188}Os des sédiments de rivières et des principales formations géologiques dans le bassin de la Narayani au Népal Central (Pierson-Wickman et al., 2000). Les rivières principales à l'exutoire du bassin ont des rapports isotopiques de 2 à 4 essentiellement liés à l'érosion des schistes noirs.



3 - TRAÇAGE DES TRANSPORTS ATMOSPHÉRIQUES PAR LES LICHENS ÉPIPHYTES ET LES PLUIES.

Ces travaux consistent en l'étude de la chimie de l'atmosphère à travers différents enregistrements : 1) les pluies et les neiges qui sont des enregistrements instantanés et 2) les lichens épiphytes qui fournissent un enregistrement moyenné sur un à deux ans. Les lichens épiphytes vivant sur les branches d'arbres sont de bons «filtres» naturels de la matière atmosphérique à la fois pour le gaz, les eaux et les particules. Depuis environ quatre ans, nous mettons au point de nouvelles méthodes d'analyses pour le dosage de différents éléments en traces dans les lichens, que nous validons à l'aide d'échantillons de référence.

Dans les lichens, certains éléments, traceurs des aérosols silicatés (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. D'autres éléments, tels les halogènes, le bore et le sodium, sont au contraire des traceurs des apports atmosphériques marins.

La composition des lichens pour certains éléments traces dont les Terres Rares sont très semblables aux compositions des rivières et implique que les lichens enregistrent bien une moyenne continentale. Les âges modèles calculés à partir des compositions isotopiques de Nd sont compatibles avec ceux des roches des provinces géologiques caractéristiques des lieux d'échantillonnage. On observe une corrélation entre les rapports Sm/Nd et les âges modèles calculés qui peuvent être interprétés comme le reflet d'une variation séculaire du

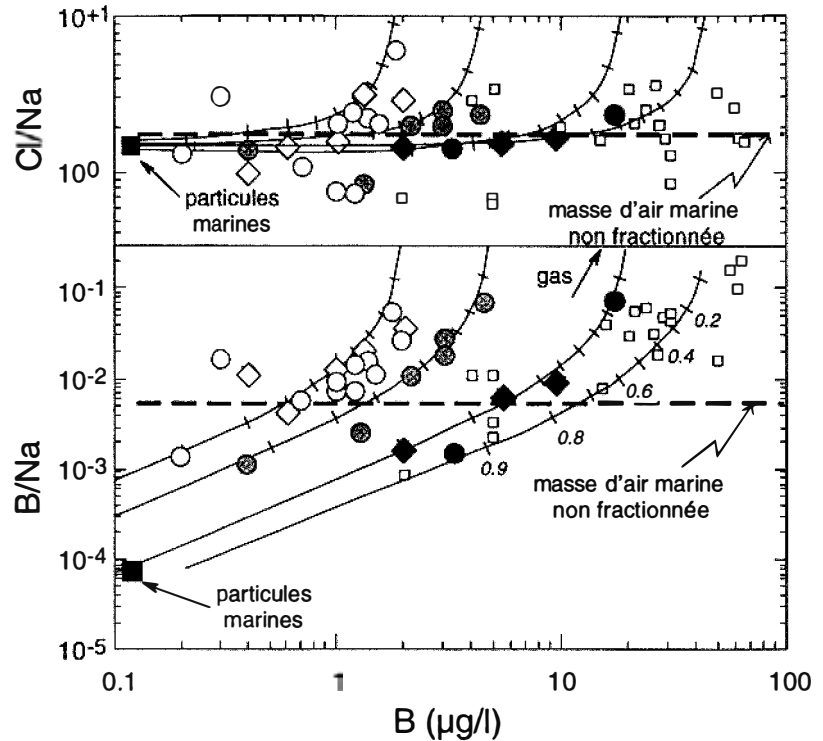
$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ de la croûte continentale en réponse au fractionnement Sm-Nd lors de la fusion partielle du manteau. Par contre, certains lichens, aérosols et loess se situent de part et d'autre de cette tendance générale dans le diagramme $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ vs $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$. Nous pensons que des fractionnements Sm-Nd peuvent avoir lieu lors des processus d'altération des roches, avant la formation des aérosols ou pendant le transport.

Les compositions en B, Na et halogènes dans les lichens sont identiques à celles des eaux météoriques locales moyennes. Elles tracent donc efficacement les apports atmosphériques gazeux et dissous de ces éléments. La chimie des eaux de pluie permet de mieux comprendre la distribution du B dans l'atmosphère et sont transféré à partir des océans (figure 5). Ces résultats nous ont permis d'estimer les proportions relatives et les temps de séjours relatifs des formes gazeuses et dissoutes de ces éléments dans l'atmosphère. Ces données apportent des informations sur les mécanis-

mes de transferts entre océan et atmosphère. Par exemple, l'iode est vaporisé directement à partir de la surface océanique alors que le bore et le chlore sont vaporisés dans l'atmosphère par dégazage des

embruns. Enfin, l'hétérogénéité chimique des eaux de précipitation a pu être modélisée en termes de mélange entre une fraction aérosol dégazée et une fraction gazeuse comme le montre la figure 5.

Figure 5 : Modèle de l'évolution des rapports B/Na et Cl/Na des précipitations en fonction de [B] en supposant que l'extraction sélective de B gazeux ou particulaire soit le mécanisme principal de contrôle de [B]. Les pluies mesurées ont été échantillonnées depuis la côte du Bangladesh jusqu'à près de 4000 m au Népal et des mesures à Calcutta de Handa (1969) sont également reportées. Les symboles différents correspondent aux différents lieux d'échantillonnage. Les données se séparent en différents groupes (symbolisés par les ombrages différents) suggérant que les masses d'air marin peuvent avoir des [B] très variables (i.e. ≈ 20 ppb à ≈ 0.2 ppb) lorsqu'elles atteignent le continent. (Rose et al., soumis B)



4 - CYCLE BIO-GÉOCHIMIQUE DE L'AZOTE

L'azote est un des traceurs isotopiques et chimiques les plus prometteurs des interactions entre les mondes inorganiques et organiques. Dans le monde inorganique, l'azote sous forme ammonium se comporte comme un élément trace compatible dans la structure des minéraux. Sa stabilité au travers de la diagenèse, du métamorphisme et de l'anatexie nous permet de tracer l'incorporation des sédiments dans la croûte. Ce processus a condi-

tionné les propriétés de l'atmosphère au cours du temps, notamment la proportion d'oxygène et le rapport N_2/O_2 . La synthèse de données existantes (Boyd, 2000) suggèrent que s'il n'y avait pas d'incorporation d'azote dans la croûte, le rapport N_2/O_2 serait 82.9/16.3, soit nettement supérieur au rapport actuel (78/21). Ces données montrent clairement les liens entre l'évolution de la biosphère et les processus géologiques.

5- 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	Azote	Lichens	ZAM
<i>Chercheurs</i>						
B. Boyd				X		
J. Carignan		X			X	X
M. Chaussidon		X	X		X	
C. France-Lanord		X	X			X
B. Marty		X	X			X
R. Pik		X				
L. Reisberg		X			X	X
J.J. Royer						X
<i>Thèses</i>						
J. Aléon	1997 -		X			
A. Galy	1994-98	X				
E. Gayer	1999 -	X				
C. Rollion-Bard	1996-		X			
E. Rose	1995-99	X			X	
AC P. Wickman	1996-00	X				
S. Singh (Post doc)	1999-00	X				

PRINCIPALES PUBLICATIONS

- Aléon J., Chaussidon M. and Marty B.** (2000) Isotopic ratios measurements in micron-sized single particles at a per mil scale. *Lunar Planet. Sci. Conf. XXXI*, #1574
- Boyd, S.** in press, Nitrogen in future biosphere studies. *Chem. Geol.*
- 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.
- Galy A. et France-Lanord C.** (1999) Processes of the Weathering in the Ganges-Brahmaputra basin and the riverine alkalinity budget. *Chem. Geol.* 159, 31-60.
- Galy A., France-Lanord C., et Derry L. A.** (1999) The Strontium Isotopic Budget of Himalayan Rivers in Nepal and Bangladesh. *Geochim. Cosmochim. Acta* 63, 1905-1925.
- 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
- Rose E., Chaussidon M., et France-Lanord C.** (2000) Fractionation of Boron isotope during erosion processes : the example of Himalayan river. *Geochim. Cosmochim. Acta* 64, 397-408.
- Pierson-Wickmann A.-C., Reisberg L., et France-Lanord C.** (2000) The Os isotopic composition of Himalayan river bedloads and bedrocks: Importance of black shales. *Earth Planet. Sci. Lett.* 176, 203-218.

- THÈME V -

STABILISATION ET DISPERSION DES POLLUANTS

INTRODUCTION

Initiée suite à la restructuration du centre, cette nouvelle thématique se propose, en utilisant une approche pluridisciplinaire basée sur les concepts développés en Sciences de la Terre, de contribuer à la quantification des effets de l'activité anthropique sur l'environnement afin d'évaluer les risques de pollution potentiels. Ces recherches, portant sur les caractérisations minéralogique, chimique et/ou isotopique des effluents (solides, liquides ou gazeux) de l'activité industrielle, 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.

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
- Comportement à long terme des matrices de confinement

Il est à noter que ces travaux de recherche, valorisant les potentialités analytiques et expérimentales du CRPG, sont menés le plus souvent en partenariat avec des groupes industriels dans le cadre de grands programmes nationaux.

DISPERSION ATMOSPHÉRIQUE DES POLLUANTS

Principalement dans notre hémisphère, l'activité anthropique (activité industrielle, trafic automobile, ...) affecte de façon considérable la composition chimique de l'atmosphère, notamment par des émissions importantes de métaux lourds. Les retombées de ces grandes quantités de métaux lourds dans notre environnement ($\approx 330\,000$ t/an) posent alors un problème majeur tant écologique que sanitaire, et ce d'autant plus que ces métaux,

principalement concentrés dans des aérosols submicrométriques, peuvent être transportés sur de très grandes distances et déposés sur des surfaces importantes de la Terre. Pour mieux comprendre ces processus de dispersion dans l'atmosphère à l'échelle continentale, nous étudions le comportement des métaux (Pb, Cd, Cu, Zn, ...) dans divers filtres naturels (lichens, neige et eau), en utilisant les isotopes du Pb comme traceurs des sources.

1 - LES LICHENS

Nous avons utilisé les végétaux comme filtres naturels de la matière atmosphérique et avons identifié les lichens épiphytes vivants 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, 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 échantillonnés. A titre d'exemple, des «régionalités isotopiques» ont été observées en France avec l'individualisation d'une composante

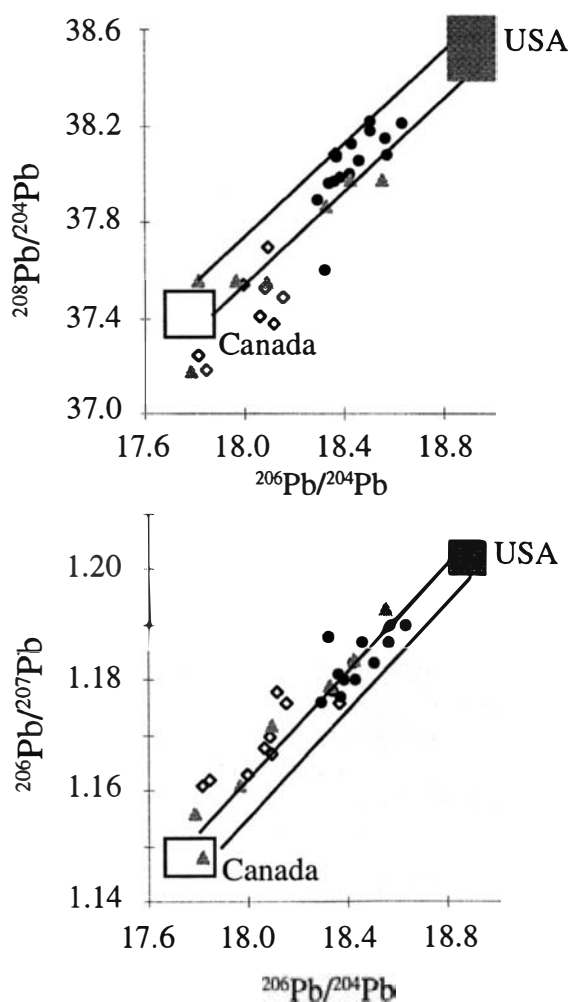
«engrais d'épandage - agriculture» à partir des relations obtenues entre les rapports isotopiques du Pb et les abondances relatives de Pb et de Cd dans les lichens. De plus, des mesures réalisées sur des lichens échantillonnés le long de transects en fonction de l'altitude dans les massifs des Alpes 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.

2 - LES PRÉCIPITATIONS

Afin d'augmenter la résolution temporelle, nous étudions aussi les précipitations (neige et pluie). Grâce à des travaux, consacrés à la composition des neiges pour une région donnée (Province de Québec, Canada), nous avons pu démontrer que, les sources anthropiques de Pb peuvent différer

selon la saison, en réponse aux différents systèmes climatiques et déplacements des masses d'air (Figure 1). Pour compléter ces études, nous échantillonnons systématiquement depuis 1995 des précipitations de la mousson asiatique (Népal et Bangladesh).

Figure 1 :
Isotopes du plomb dans des échantillons de neige de la Province de Québec (Canada) montrant les proportions relatives des sources anthropiques du plomb atmosphérique en Amérique du Nord (Simonetti et al., *Geochim. Cosmochim. Acta*, 2000)



CARACTÉRISATION DES RÉSIDUS DE L'ACTIVITÉ ANTHROPIQUE

L'activité anthropique produit des effluents variés, solides ou liquides (boues d'épuration, résidus d'incinération, scories, mâchefers, etc...) et 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 toute gestion de ces déchets ainsi qu'à l'optimisation des procédés de leur stabilisation.

1 - LES DÉCHETS ULTIMES

Dans le cadre de la fin du Programme de Recherche CNRS-SITA "Analyse et Inertage des déchets ultimes", nous avons caractérisé divers types de REFIOM (cendres d'électrofiltration, gâteau 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 cristallogénèse des métaux de transition et des métaux lourds.

2 - 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 «Paléométaballurgie 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 de la métallurgie ancienne 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 (sites de Brandes et Melle) ou de l'étain (Bretagne: St Renan, âge du bronze; Limerzel, haut moyen-âge) ont également commencé.

Outre, le côté archéologique, ces recherches ont montré l'analogie remarquable existant entre ces déchets paléométaballurgiques et ceux actuellement produits par les incinérateurs, notamment les mâchefers d'incinérations (MIOM), ou certains déchets nucléaires de type B (voir infra). Enfin, il faut noter qu'une étude sur la dispersion du plomb dans les sols à proximité d'exploitation minière et métallurgique ancienne (Mont Lozère, XI^e siècle) a été entreprise. Cette étude pluridisciplinaire, impliquant Sciences Humaines, Géologie, Sciences de la Vie, se focalise sur l'étude de l'impact des pollutions au plomb sur la végétation.

PROCÉDÉS DE SOLIDIFICATION ET DE STABILISATION

Plusieurs travaux de recherche ont également 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).

1 - 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

2 - LES PROCÉDÉS À CHAUD

Des études ont été également entreprises sur la caractérisation des vitrifiats de REFIOM (EDF, travaux post-doctoraux C. Mahé-Le Carlier), notamment pour localiser les éléments polluants dans les différentes phases cristallisées ou vitreuses, et évaluer l'incidence sur le relargage de ces éléments en conditions naturelles de réutilisation (remblais, sous-couche de route, etc). Enfin, nous nous som-

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

mes intéressés aux taux de volatilisation et aux rendements de piégeage des principaux éléments polluants (As, Cd, Pb, Cr, Zn, Pb, Hg) lors des processus de vitrification des REFIOM (travaux post-doctoraux L. Le Forestier) de façon à définir des stratégies concernant la composition des verres ainsi que la conduite des fours de vitrification.

COMPORTEMENT À LONG TERME DES VERRES DE CONFINEMENT

Afin de mieux appréhender la durabilité chimique de ces verres de confinement, point préalable à toute opération de stockage, deux types d'approches ont été menées. La première consiste à effectuer des expériences d'altération au laboratoire, la seconde réside dans l'étude d'analogues naturels (vitraux médiévaux, ou paléoscories).

1 - EXPÉRIENCES DE LIXIVIATION

Différents types d'expériences ont été conduits soit sur des verres, des vitrifiats 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, jouent 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

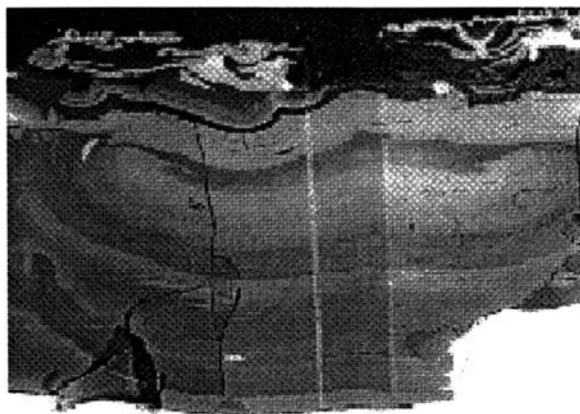
SON 68, collaboration CEA-EDF) par traçage isotopique en ^{29}Si et ^{18}O de la solution altérante a été mise au point. Elle a pour but, grâce à la réalisation de profils en profondeur réalisés à la sonde ionique (ims 3F), de mieux comprendre les mécanismes complexes d'altération des verres silicatés (hydrolyse, précipitation, recondensation), et de paramétrer 1) la mobilité des terres rares utilisées comme modèles des produits de fission et des actinides et 2) les cinétiques de dissolution en quantifiant notamment la diffusion du silicium dans le gel d'altération. Le propos de ces recherches est donc à la fois de modéliser l'altération du verre SON 68 pour qualifier celui-ci en tant que première barrière de confinement en vue du stockage profond de ces déchets et de modéliser la cinétique de relâchement des radionucléides confinés dans le verre afin de pouvoir l'intégrer dans des codes de sûreté prenant en compte la migration des radioéléments dans les différentes barrières.

2 - 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) et des vitraux médiévaux (thèse J. Sterpenich, figure 3). 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 dans les prochaines années. Dans l'avenir nous souhaiterions porter notre effort sur la caractérisation de l'environnement local des éléments dans les verres altérés (méthodes spectroscopiques) afin de mieux comprendre la lixiviation préférentielle de certains éléments.



200002 20KV X60.0 .50mm

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.

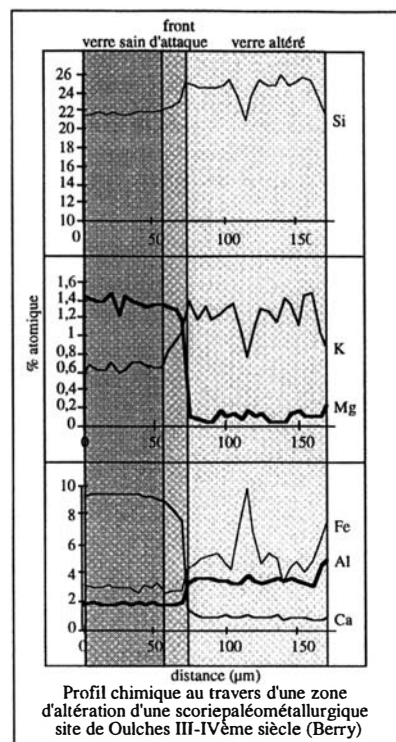


Figure 2: Etude des scories de la métallurgie ancienne

Figure 3 : Vue en section d'un vitrail daté du XII^{ème} 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

PARTENARIATS

CEA-Marcoule, CEA-Cadarache, EDF, TREDI, GDF, 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

THÈSES

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.

Catherine Maieron (2000) Etude physico-chimique de la pate de verre DAUM Collaboration Cristallerie DAUM - SAGEM, Vannes le Chatel. *Situation actuelle: CDI DAUM.*

Nathalie Valle (2000) Etude de l'altération du verre de confinement des déchets nucléaires SON 68 par traçage isotopique en ^{29}Si et ^{18}O . Bourse CEA-EDF.

	Dispersion des polluants	Résidus Anthropiques	Procédés de Stabilisation	Comportement à long terme
Chercheurs				
M. Arnold		X		
J. Carignan	X			
G. Libourel		X	X	X
A. Ploquin		X	X	X
Thèses (date de soutenance)				
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		

PRINCIPALES PUBLICATIONS

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.

Mahé C., Ploquin A., Pluzin P. et Fluck P. (1997) 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.

Le Forestier L., Libourel G. (1998) Characterization of flue gas residues from municipal solid waste combustors. *Environmental Science & Technology*. 32, 2250-2256

Mahé-Le Carlier C., Dieudonné-Glad N., Ploquin A. (1998) Un laitier obtenu dans un bas fourneau ? Étude chimique et minéralogique des scories de Oulches (Indre), *Revue d'Archéométrie*, 22, 91-101.

Libourel G., Sterpenich J., Barbey P., Chaussidon M. (1998) Caractérisation microstructurale, minéralogique et chimique de l'altération des vitraux. In: *«Le matériau vitreux: verre et vitraux»*. R.A. Lefevre et I. Pallot-Frossard ed., Edipuglia, 75-89.

Mahé-Le Carlier C., Ploquin A. (1999) Typologie et caractérisation des scories de réduction de la métallurgie du fer, *Revue d'Archéométrie*, 23, 59-69.

Simonetti A, Gariépy C, Carignan J (2000) Pb and Sr isotopic compositions of snowpack from Québec, Canada : inferences on the sources and deposition budgets of atmospheric heavy metals. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 64, 1, 5-20.

Mahé-Le Carlier C., Le Carlier De Veslud C., Ploquin A., Royer J.J. (2000) Altération naturelle d'analogues de déchets vitrifiés actuels : les scories de la métallurgie ancienne, "Comptes Rendus de l'Académie des Sciences", 330, 179-184.

Simonetti A, Gariépy C, Carignan J, Poissant L (2000) Isotopic evidence of trace metal sources and transport in Eastern Canada as recorded from wet deposition. *J. Geophys. Res. Atm.*,

Doucet F., **Carignan J.** (2000) Atmospheric Pb isotopic composition and trace metal concentration as revealed by epiphytic lichens : an investigation related to two altitudinal transects in eastern France. *Atmos. Environ.*,

Sterpenich J., Libourel G. (2000) Using stained glass windows to understand the durability of toxic waste matrices. *Chemical Geology*

ORGANISATION INTERNE



ORGANISATION INTERNE DU LABORATOIRE

L'organigramme ci-joint présente la structure opérationnelle du CRPG. Nous pouvons y distinguer les structures de recherche, les services, la structure administrative et les laboratoires communs de la fédération de recherche CNRS hébergés au CRPG.

Les agents ITA ou IATOS sont listés dans les différentes parties de l'organigramme. La liste des chercheurs et enseignants-chercheurs est présentée plus loin avec des icônes représentatives du thème majeur d'expression de chaque chercheur.

LE CONSEIL DE LABORATOIRE

Le CRPG a renouvelé son Conseil de laboratoire en Janvier 1999. Depuis, le conseil s'est réuni 11 fois. Il est composé de :

- Le Directeur - COLLÈGE ITA

Elus

X. FRAMBOISIER
C. LE CARLIER DE VESLUD
D. MANGIN
L. MARIN
C. ZIMMER

Nommés

J. CARIGNAN
J.C. DEMANGE

- COLLÈGE CHERCHEURS

Elus

P. BARBEY
M. CHAUSSIDON
C. FRANCE-LANORD
D. OHNENSTETTER
R. PIK
L. REISBERG
M. TOPLIS

Nommés

A. CHEILLETZ
M. FORD
G. LIBOUREL
B. MARTY

- COLLÈGE ETUDIANTS

Elus

L. TISSANDIER (suppléant J. ALÉON)

LA FÉDÉRATION DE RECHERCHE CNRS (ILG)

Le CRPG fait partie intégrante d'une Fédération de recherche CNRS constituée de :

- UPR 9046 (EP 2031) (Directeur John Ludden)
Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques (CRPG-CNRS)
- UPR 6831 (Directeur Jacques Berthelin) -
Centre de Pédologie Biologique (CPB-CNRS)
- UMR 7566 (Directeur Patrick Landais)
Géologie et Gestion des Ressources Minérales et Energétiques
(G2R- CNRS-UHP/INPL)
- UMR 7569 - (Directeur Jacques Yvon)
Laboratoire de l'Environnement et Minéralurgie (CNRS-INPL)
- UPRES-A1006 - (Directeur Jean-Louis Morel)
Laboratoire Sols et environnement (ENSAIA- INRA)

FÉDÉRATION DE RECHERCHE ILG - DIRECTEUR JOHN LUDDEN

CRPG - DIRECTEUR JOHN LUDDEN

SECRÉTARIAT DE DIRECTION
Chantal Lehmann (AI), Valérie Sourlier (T - 50%)

COMPTABILITÉ
Martine Noël (AI), Isabelle Geoffroy (T - 50%)

FORMATION
Michel Champenois (IE - 20%)

PÉTROLOGIE

Responsable :
Pierre BARBEY

GÉOCHIMIE

Responsable :
Marc CHAUSSIDON

GÉODYNAMIQUE ET MODÉLISATION

Responsable :
Mary FORD

SERVICE GÉNÉRAL ET TECHNIQUE
Responsable Jean-Claude Demange (IE-50%)
Jean-Marc Chaffaut (AGT)
Emmanuel Davy (AJT-50%)
Bruno Porcu (AJT-50%)
Caroline Zimmer (AJT)

BIBLIOTHÈQUE
Catherine Negre
Y Rossello (AI)

RÉSEAU INFORMATIQUE
Laurence Shengold (IE)

ATELIER MÉCANIQUE
André Mulot (T)

SECRÉTARIAT
Isabelle Geoffroy (T - 50%)

SECRÉTARIAT
IATOS INPL à nommer (T - 50%)
Valérie Sourlier (T -50%)

IMAGERIE - INFORMATIQUE
GEOSTATISTIQUES
Jean-Jacques Royer (IR)
Pierre Jacquemin (IR)
Christian Le Carlier de Veslud (IR)

EXPÉRIMENTATION
Alain Rouillier (IE)

ÉLECTRONIQUE
Jean-Claude Demange (IE - 50%)
Pascal Robert (IE)

SONDES IONIQUES
Michel Champenois (IE - 80%)

SONDES IONIQUES
Denis Mangin (AI)

GAZ RARES
Grégory Sauder (IATOS INPL)
Laurent Zimmermann (AI)

ISOTOPES RADIOGÉNIQUES
Xavier Framboisier (T)
Catherine Spatz (T)

ISOTOPES STABLES
Caroline Guilmette (IE)

SARM
Responsable : Jean Carignan (IR)

LABORATOIRE DE SPECTROCHIMIE
Delphine Yeguicheyan (IE)
Jacques Morel (IE)
Pascal Hild (AI)
Marie-Thérèse Noël (T)
Christine Blanchard (AJT)
Christiane Raigué (AJT)

LABORATOIRE DE CHIMIE
Luc Marin (IE)
Danielle Dole (AI)
Suzanne Boulmier (T)
Jitka Lhomme (T)

ATELIER DE BROYAGE
Emmanuel Davy (AJT-50%)

ORGANIGRAMME DU CRPG

13 Chercheurs CNRS
11 Enseignants-Chercheurs (3 UHP, 8 INPL)
1 Chercheur IRD

Équipe Technique - 36 ITA CNRS,
3 IATOS INPL (1 temps plein et deux postes à mi-temps)

Recherche 14
Services 11
SARM 11.5
Geostandards Newsletter 1.5

SERVICE NATIONAL SONDE IONIQUE
Etienne Deloule (CR)
Marc Chaussidon (DR)

Michel Champenois (IE)
Denis Mangin (AI)

GEOSTANDARDS NEWSLETTER
Ed Williams
Colette Gaudé (T)

LABORATOIRES COMMUNS ILG

LAMES MINCES
Bruno Porcu (AJT-50%)

IMPRIMERIE
Jacques Degeorge (T)
Christiane Parmentier (T)

LISTE DES CHERCHEURS, ENSEIGNANTS-CHERCHEURS ET INGÉNIEURS DE RECHERCHE

(L'ICÔNE INDIQUE LE THÈME DE RECHERCHE PRINCIPAL)



PIERRE BARBEY
Professeur Univ. H. Poincaré Nancy 1
Pétrologie



WILLIAM BROWN
Directeur de Recherche CNRS
Émérite - Pétrologie



FRANÇOISE CHALOT-PRAT
Maître de Conférence UHP-Nancy 1
Pétrologie



MARC CHAUSSIDON
Directeur de Recherche CNRS
Géochimie



ETIENNE DELOULE
Chargé de Recherche CNRS
Géochimie



MARY FORD
Professeur ENSG-INPL
Géodynamique et Modélisation



DOMINIQUE GASQUET
Maître de Conférence ENSG-INPL
Géodynamique et Modélisation



PIERRE JACQUEMIN
Ingénieur de Recherche CNRS
Géodynamique et Modélisation



STUART BOYD
Chargé de Recherche CNRS
Géochimie



JEAN CARIGNAN
Ingénieur de Recherche CNRS
Responsable SARM



BERNARD CHAROY
Maître de Conférence ENSG-INPL
Pétrologie



ALAIN CHEILLETZ
Professeur ENSG-INPL
Géodynamique et Modélisation



STÉPHANIE DUCHENE
Maître de Conférence UHP-Nancy 1
Pétrologie



CHRISTIAN FRANCE-LANORD
Directeur de Recherche CNRS
Géochimie



GASTON GIULIANI
Chargé de Recherche IRD
Géochimie


CHRISTIAN LE CARLIER DE VESLUD
Ingénieur de Recherche CNRS
Géodynamique et Modélisation



 **GUY LIBOUREL**
Professeur ENSG-INPL
Pétrologie

BÉATRICE LUAIS
Chargée de Recherche CNRS
Géochimie



 **JOHN LUDDEN**
Directeur de Recherche CNRS
Directeur du CRPG

JEAN-LAURENT MALLET
Professeur ENSG-INPL
Géodynamique et Modélisation



 **CHRISTIAN MARIGNAC**
Professeur EMN-INPL
Géodynamique et Modélisation

BERNARD MARTY
Professeur ENSG-INPL
Géochimie



 **DANIEL OHNENSTETTER**
Chargé de Recherche CNRS
Pétrologie

MARYSE OHNENSTETTER
Directeur de Recherche CNRS
Pétrologie



 **RAPHAËL PIK**
Chargé de Recherche CNRS
Géochimie

ALAIN PLOQUIN
Chargé de Recherche CNRS
Pétrologie

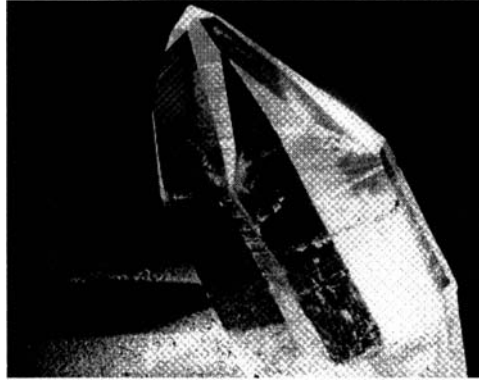


 **LAURIE REISBERG**
Chargée de Recherche CNRS
Géochimie

JEAN-JACQUES ROYER
Ingénieur de Recherche CNRS
Géodynamique et Modélisation



 **MIKE TOPLIS**
Chargé de Recherche CNRS
Pétrologie



LES PROSPECTIVES

PROSPECTIVES EN RECHERCHE 2001-2004

LE VISAGE DU CRPG EN 2001

Les activités de recherche du CRPG (CNRS-UPR A9046 jusqu'à la fin de 1998, puis EP 2031 en 1999-2000) ont été évaluées par le Département des Sciences de l'Univers du CNRS en 1998. Le Département a souhaité que le Centre se mette en phase avec la contractualisation de la région afin de pouvoir évaluer, au même moment, tout l'environnement de la recherche en géosciences à Nancy. Dans ce rapport nous ne présentons que des modifications mineures par rapport à celui de 1998. Néanmoins, nous soulignons quelques développements récents, notamment, une orientation encore plus forte en cosmochimie et en planétologie, la restructuration de la recherche en processus magmatiques, le développement des activités en géochimie isotopique appliquées à l'environnement, ainsi que l'augmentation de nos capacités en

modélisation pluridisciplinaire des processus tectoniques.

Nous entretenons des liens forts avec les Universités de Nancy (INPL et Nancy-I). Nous les renforcerons encore avec le développement de projets de recherche fédérateurs dans le cadre d'une Fédération de Recherche – CNRS, concernant nos partenaires nancéiens, dans les domaines des sciences de l'Eau, du Sol, et de la Terre.

Le Centre possède une infrastructure analytique et un parc instrumental de première importance ainsi que deux laboratoires nationaux, le Service d'Analyse des Roches et des Minéraux (*SARM*), et le Service National de la Sonde Ionique. Nous demanderons la reconnaissance du Centre en tant que Unité Propre du CNRS pour la période 2001-2004.

LES ÉQUIPES DE RECHERCHE

Le départ de huit chercheurs et enseignants chercheurs (voir tableau ci-après) et l'arrivée de sept nouveaux chercheurs ou enseignants-chercheurs au cours de ces 4 dernières années, imposent de fait la modification de la structure des équipes de recherche. Il faut également mentionner le fait que Maurice Pagel (CREGU) ainsi que Sergei Shapiro (ENSG) ont séjourné au laboratoire pendant 18 mois durant cette période.

CHERCHEURS CNRS

ARRIVÉES MUTATIONS

BOYD S.
LUAIS B.

NOUVEAUX POSTES

PIK R.
TOPLIS M.

DÉPARTS

DESMONS J.
LETERRIER J.
SAUPÉ F.
STUSSI J.
THOMAS A.
ZIMMERMANN J.L.

ENSEIGNANTS CHERCHEURS

ARRIVÉES

FORD M.
DUCHENE S.
à nommer MC-ENSG

DÉPARTS

MACAUDIÈRE J.
WEISBROD A.

Nous proposons pour janvier 2001 de poursuivre avec la structure en équipes que nous avons proposée en 1999 soit, une répartition en trois nouvelles équipes: **Géochimie, Pétrologie et Géodynamique et Modélisation**.

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 *Géodynamique et Modélisation* reflète l'émergence d'une composante spécialisée dans la modélisation pluridisciplinaire des objets et des structures.

Les équipes regroupent des chercheurs ayant une approche analytique commune (analyse géochimique ; expérimentation et caractérisation minéralogique des matériaux géologiques ; observations structurales et modélisation numérique). Les chercheurs de chaque équipe participeront à l'animation des quatre thèmes de recherche suivants :

**Cosmochimie-Planétologie
Cinétiques et bilans des processus magmatiques
Modélisation spatio-temporelle de la lithosphère
Environnements et paléo-environnements**

BESOINS EN RECHERCHE 1999-2003

POSTES DE CHERCHEURS ET/OU ENSEIGNANTS-CHERCHEURS

La réactualisation de nos activités dans le cadre des quatre thèmes de recherche, nécessite de nouveaux recrutements. Les profils de recherche sont présentés ici afin d'exploiter au maximum les thématiques et le potentiel analytique du Centre pour les quatre prochaines années. Tous ces postes sont nécessaires au bon déroulement de la recherche mais il est à souligner que l'embauche d'un chercheur en géochimie environnementale est urgente, étant donné le développement important dans ce domaine prévu au prochain quadriennal ainsi qu'au sein de la FR-EST (ILG).

GÉOCHIMIE ENVIRONNEMENTALE

Le domaine de recherche recouvre la géochimie et la biogéochimie appliquées aux processus de surface et sédimentaires, l'altération et l'érosion continentale, les échanges océans - continents. L'accent sera mis sur le développement et l'appli-

cation 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.

GÉOCHIMIE/COSMOCHIMIE 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).

MODÉLISATION GÉOCHIMIQUE

Bien que le CRPG doive assurer la présence d'un groupe de chercheurs-ITA autour des laboratoires analytiques, il serait très souhaitable de développer, au Centre, une approche de modélisation numérique. Le profil souhaité est celui d'un chercheur spécialisé dans la modélisation des cycles

géochimiques à l'échelle globale, en particulier des cycles de surface faisant intervenir les processus d'érosion, altération en couplage avec les conditions externes (atmosphère, climat, couvert végétal...).

PROCESSUS MAGMATIQUES

Expérimentation et modélisation des phénomènes de transfert thermique et chimique à petite échelle (cinétiques de nucléation et de croissance cristalline). Application à l'évolution des systèmes

magmatiques à grande échelle (évolution thermique et dynamique des assemblages liquides et cristaux).

MINÉRAUX-MATÉRIEAUX-VERRES

Caractérisations chimiques et structurales. Etudes expérimentales. Mécanismes et cinétiques de dissolution et de précipitation. Comportements élémentaires et isotopiques. Applications : Cinétique

chimique. Propriétés physico-chimiques des matériaux naturels et anthropiques. Durabilité chimique des matériaux anthropiques et dispersion des polluants dans la biosphère.

DÉVELOPPEMENT D'UN PÔLE DE RECHERCHE À L'ENSG : TECTONIQUE, ÉROSION - SÉDIMENTATION ET MODÉLISATION

Le CRPG soutient l'activité d'un groupe de recherche en tectonique, érosion, sédimentation et modélisation numérique à l'ENSG-INPL. L'arrivée d'un nouveau professeur de géologie structurale et celle d'un Maître de Conférences recruté cette année dans le domaine de la géologie numérique ainsi que le remplacement des départs prévus d'enseignants-chercheurs, nous font proposer, en collaboration avec le G2R, le développement de ce domaine. En ce qui concerne le CRPG les

embauches prévues, soit en tant qu'enseignants-chercheurs ou chercheurs CNRS, seront en accord avec notre stratégie de développement des applications de la modélisation structurale et de nouveaux outils géochimiques ou géochronologiques dans les domaines de la néotectonique, de la géomorphologie tectonique, des processus orogéniques et des processus de surface.

NOUVEAUX EQUIPEMENTS ANALYTIQUES

Le plan de développement analytique du CRPG s'insèrera dans le prochain Plan Etat-Région de sept ans de la Fédération de Recherche, déposé en 2000. Le SARM a présenté à son comité de gestion CNRS-INSU un plan quinquennal de jouvence et d'acquisition d'équipements qui sera évalué au coup par coup par le comité ad-hoc équipement de l'INSU dont un nouveau plan sera soumis pour 2002.

En ce qui concerne le CRPG, la réalisation des opérations suivantes est souhaitée :

SPECTROMÈTRE DE MASSE STATIQUE, GAZ RARES ET AZOTE (~ 1,5 MF)

Le but de cette demande prévue dans le Plan Etat-Région en 2003-2004, est de dédier un spectromètre à l'analyse des échantillons pauvres en gaz rares ou en azote. Le doublement du parc analytique pour l'analyse de ces traceurs permettra d'optimiser un spectromètre pour l'analyse grande précision (< 5 ‰) des rapports isotopiques de l'hélium atmosphérique. Ce type de performances, qui nécessitera un travail important de développement analytique, permettra d'envisager la détection de

faibles variations isotopiques de He dans l'air, avec pour but d'utiliser ce gaz rare comme traceur des circulations atmosphériques et des pollutions régionales. Le projet, également destiné à être présenté à la CEE, constitue un défi technologique exceptionnel car un tel analyseur pourrait révolutionner les études de pollution atmosphérique, en permettant la quantification des flux globaux d'émissions ainsi que le transport local et planétaire des polluants.

SYSTÈME D'ABLATION PAR LASER (UV/EXCIMER) (1 MF)

Installation d'un laser multi-usages à faisceaux UV et/ou Excimer.

Cet instrument servira à l'ablation des minéraux et verres et pourrait être interfacé (1) à l'ICP-MS-MC pour l'analyse des traces ainsi que les

isotopes ; (2) aux lignes d'extraction des gaz rares ; (3) aux lignes d'extraction des isotopes stables de l'O, C, D, S ; (4) en expérimentation pour la création d'atmosphères de compositions fixées.

SALLES DE SÉPARATION ET DE PRÉPARATION DES ROCHES ET MINÉRAUX COÛT ENVIRON 200 KF

Une partie importante de nos travaux concerne la séparation des minéraux, verres, argiles etc.. Nous devons dans un avenir très proche rénover

notre salle de séparation des minéraux, ainsi que procéder à l'équipement d'une salle de traitement de micro-échantillons.

STATIONS DE TRAVAIL (0,5 MF)

Dans la perspective de développement du 3D et la modélisation, et compte tenu des évolutions techniques actuelles deux types d'équipements nous semblent indispensables:

- Stations de travail rapide pour modélisation 3D
- un système d'environnement réalité virtuelle 3D

La première concerne la jouvence des équipements existant avec une remise à niveau compte tenu des évolutions techniques prévisibles dans les quatre années à venir. La seconde est un équipement supplémentaire permettant au géologue de percevoir, manipuler ou mettre au point directement le modèle 3D dans l'espace. Les interfaces logiciels sont déjà disponibles dans gOcad.

JOUVENCE DE LA SONDE-IONIQUE 3F (~ 1,0 MF) AVEC INTÉGRATION DANS LE SERVICE NATIONAL DE LA SONDE IONIQUE

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 la maintenance et le 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 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 jouven-

ces 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 d'environ 6MF 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 ≈100-200KF 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).

SERVICE D'ANALYSES DE ROCHES ET MINÉRAUX (SARM)

En 2000, le SARM présentera une demande à la commission mi-lourds de l'INSU (selon le plan quinquennal établi entre le SARM et l'INSU) pour l'achat d'un ICP-AES, en remplacement du JY 70 qui aura 14 ans l'année prochaine. la Société Jobin-Yvon n'assure plus de contrat d'entretien et ne

garantit pas les pièces de rechange pour le JY 70. Le même scénario aura lieu pour l'ICP-MS ELAN 5000 en 2003. Une demande de jouvence pour le spectromètre d'absorption atomique est prévu pour 2001-2002.

AIDE TECHNIQUE À LA RECHERCHE

Depuis 10 ans, le CRPG a vu son potentiel ITA diminuer de façon significative. En effet, de 1987 à 2000, 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. Nous soulignons 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.

de 1997 à 2000

<i>ITA-IATOS ARRIVÉES</i>	<i>ACTIVITÉS</i>	<i>ITA-IATOS DÉPARTS</i>	<i>ACTIVITÉS</i>
RECHERCHE			
GUILMETTE C. SAUDER G. ZIMMERMANN L.	Isotopes Stables Gaz rares Gaz Rares	COGET P. LEHMANN R. * JACQUIER B. * SANDRIN L. *	Isotopes Stables Lames minces Géochimie Isotopique Lames Minces
SERVICES			
DAVY E. GEOFFROY I. ** NEGRE Y ROSSELLO C. ** SHENGOLD L. SOURLIER V. ** à nommer 50%	Service Général Comptabilité-Secrétariat Bibliothèque Réseau Informatique Secrétariat Secrétariat ENSG	ANDREUX C. * BLANCHARD J.P. * BOYMOND E. CHRÉTIEN G. * JEANNOT A. MANSUY C. 50% PAGEL S.	Secrétariat Service Général Service Général Imprimerie Bibliothèque Secrétariat ENSG Comptabilité
SARM			
DOLE D. ** YEGHICHEYAN D.	Chimie Responsable Spectrochimie	MEVELLE G.	Responsable Spectrochimie
* n'a pas été remplacé			
** Poste AFIP			

Les besoins pour les prochains quatre ans sont estimés et indiqués ci-dessous. Ils sont difficiles à planifier étant donné que les départs ne sont pas toujours prévisibles.

IR (IATOS/ITA) sonde-ionique Création d'un poste en développement analytique des sondes-ioniques, gestion du Service National.

AJT Service Général - assurera la maintenance technique du centre et remplacera un agent qui assure, à mi-temps, la confection des lames minces depuis 1999.

IE Expérimentation - en remplacement du responsable technique (IE) - départ prévu vers la fin du quadriennal. Cet agent assurera la gestion et le développement du laboratoire d'expérimentation.

IE Electronicien : en remplacement, du responsable (IE) - départ prévu vers la fin du quadriennal. 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 pourrait être affecté à la FR-ILG au sein de laquelle un regroupement des ateliers serait envisagé.

IR (IATOS/ITA) Système d'Information Géographiques - Modélisation numérique.

SARM

Tel que décrit dans le rapport d'activité 1998-1999 du SARM, le nombre de postes effectifs au Service d'Analyse chutera de 11 à 8 d'ici 2004 (considérant une retraite à 60 ans pour les agents). Compte tenu d'une augmentation systématique du nombre d'échantillons analysés annuellement par le SARM (11.6% de 1997 à 2000, représentant 672 échantillons supplémentaires), ainsi qu'une

volonté de l'INSU pour que le Service développe l'analyse des éléments majeurs et traces dans les fluides, nous considérons que le nombre de postes affectés au SARM ne doit pas diminuer pendant les prochaines années. C'est pourquoi nous demandons un remplacement pour chacun des agents qui partiront en retraite d'ici 4 ans.

BÂTIMENT ET INSTALLATIONS ANNEXES

Malgré l'amélioration sensible de la structure 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). Son remplacement complet est même souhaitable, il n'est

plus en mesure, en cas de coupure de courant, d'assumer l'alimentation de toute l'instrumentation scientifique présente du Centre, à fortiori celle à venir.

Le programme de mise en conformité de la sécurité des machines du CRPG est presque terminé, il ne reste plus que les machines de l'imprimerie à équiper.

A la suite de 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.

A la suite de la rénovation de la clôture, et pour d'importants problèmes de sécurité en partie dus au parc à forte densité d'arbres (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. L'intervention d'un bureau d'études serait également souhaitable.

A la demande de l'INSU, il faut envisager la réalisation pour les visiteurs d'un accueil hôtelier de «bon standing»

Il serait souhaitable que l'entretien du parc ar-

boré et de la pelouse soit pris en compte car en saison c'est une importante charge qu'il nous est difficile d'assumer par manque de personnel au service général.

Les travaux forestiers nécessaires n'entrent pas dans la description des métiers du centre.

Le CRPG a commencé à transférer certaines activités sur d'autres sites de l'ILG. L'équipe "Géodynamique et Modélisation" est la première antenne du CRPG vers les autres structures de la FR-ILG puisqu'en effet, elle s'est installée sur le site de l'École de Géologie lors de la rentrée universitaire en octobre 1997. **Tout en demandant une reconnaissance en tant que Unité Propre du CNRS, nous demandons à l'INSU d'aider l'ENSG-INPL en assumant certaines des charges en infrastructure de cette antenne.**

CONCLUSIONS

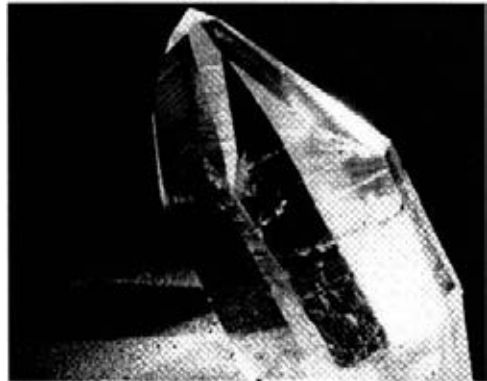
Le CRPG est, en ce moment, un des laboratoires les plus reconnus en géochimie et pétrologie. Il est l'un des centres les mieux dotés en appareils analytiques et tentera de continuer à améliorer son potentiel analytique actuel lors du prochain projet quadriennal. Il était donc important, lors du Plan État-Région, de placer 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. Il faut noter également la construction d'un «four centrifuge» en expérimentation (financé par l'INSU en 2000) qui servira à ouvrir de nouveaux chantiers en expérimentation appliquée à la genèse des magmas et à la formation des planètes.

La sonde-ionique 1270 est installée au CRPG depuis presque 3 ans, et nous avons mis en route des applications analytiques entre autres en U/Pb, en $^{16,17,18}\text{O}$ et en $^{87,86}\text{Sr}$. 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 publications est satisfaisant et les articles sont soumis, de façon quasi systématique, dans les meilleures revues scientifiques. Les nouveaux chantiers de recherche (Ethiopie, Kola, Alpes, microparticules, 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 nouveaux postes de chercheurs et enseignants 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 (biogéochimie, géochimie atmosphérique, exhumation tectonique etc.). Il est à noter, enfin, que la géologie de terrain garde toujours une place importante au sein de nos activités de recherche et nous tenons à un développement important d'un groupe de chercheurs à l'ENSG.

LES QUATRE THÈMES DE RECHERCHE 2000-2004





COSMOCHIMIE – PLANÉTOLOGIE

OBJECTIFS

L'objectif essentiel de ce thème au cours des quatre prochaines années est d'amplifier les recherches menées ces quatre dernières années (cf. bilan scientifique thème I) dans le domaine de la cosmochimie au sens large. Pour cela nous réaliserons de nouveaux développements analytiques, sonde ionique ims 1270, ICP MS secteur magnétique et spectrométrie de masse source gazeuse couplée à des lignes d'extraction de micro-échantillons. Ces développements seront faits dans le cadre de 4 chantiers de recherche essentiels : (1) la caractérisation et la datation de la différenciation métal-silicate dans les météorites, (2) l'étude des différents composants implantés dans les sols lunaires pour caractériser l'évolution au cours du temps d'une part de l'activité du Soleil et d'autre part du

bombardement cométaire et météoritique de la Lune et par conséquent de la Terre, (3) l'étude expérimentale de la dynamique chimique et isotopique de la nébuleuse protosolaire et enfin (4) la préparation à l'étude des échantillons martiens (et autres échantillons extra-terrestres à venir, échantillons de comètes et de planétésimaux) à travers plusieurs projets touchant à l'évolution de l'atmosphère, des océans et de la croûte de Mars. Dans plusieurs de ces projets la caractérisation d'objets naturels sera étroitement couplée à la simulation expérimentale dans des enceintes portées à haute température dans lesquelles les compositions chimique et isotopique de la phase vapeur et de la phase solide seront contrôlées.

CHANTIERS

1 - CARACTÉRISATION ET DATATION DE LA DIFFÉRENCIATION MÉTAL-SILICATE DANS LES MÉTÉORITES

Les deux projets principaux concernant l'étude de la différenciation métal-silicate font appel à des développements instrumentaux sur l'ICP MS à secteur magnétique ISOPROBE. Ces développements permettront de réaliser l'analyse isotopique et quantitative du Ge, Mo, Ru, et Tc dans des matrices ferreuses et/ou silicatées, ces analyses n'étant possibles en routine dans aucun laboratoire au monde à l'heure actuelle.

• FRACTIONNEMENTS ISOTOPIQUES DU GE DANS LES MÉTÉORITES DE FER ET LES CHONDRITES.

Le Ge est un élément sidérophile «classique» dont la distribution dans les météorites primitives est donc principalement liée aux processus de différenciation métal-silicate. De plus le Ge est l'élément clé de la classification des météorites de fer, sa concentration variant de 4 ordres de grandeur (0.03-1.21 ppm à 520 ppm) alors que celle du Ni ne varie que de 5 à 25 % tous groupes confondus. Des études récentes (Hirata, 1997) ont montré l'existence d'une différence de composition isotopique du Ge de l'ordre de 4 ‰ entre 5 météorites de fer du groupe IAB (les plus riches en Ge) et les valeurs terrestres. Ces données suggèrent la possibilité d'un fractionnement isotopique du Ge lors de la différenciation métal-silicate.

Ce projet vise à étudier d'une manière systématique ces fractionnements isotopiques et élémentaires de Ge dans les météorites de fer, les

chondrites et les achondrites afin de comprendre s'ils sont dus (1) au caractère volatil de Ge, (2) à des modifications lors de la différenciation du coefficient de partage du Ge entre phase métal et phase silicatée en fonction des conditions de température, pression et fugacité d'oxygène et (3) à l'hétérogénéité initiale de la composition des corps parents ou de la nébuleuse solaire. Comme aussi mentionné dans le thème 2, des études expérimentales seront menées pour tester l'influence de la fO_2 sur ces fractionnements. La détermination des processus responsables de ces fractionnements isotopiques permettront de comprendre les mécanismes de différenciation métal-silicate et les conditions physico-chimiques (variations discontinues de fugacité d'oxygène) de formation du noyau des planètes.

**• RADIOACTIVITÉS ÉTEINTES DU Tc : CHRONOLOGIE DE LA
DIFFÉRENCIATION MÉTAL-SILICATE**

Les nucléides ^{97}Mo , ^{98}Ru , et ^{99}Ru sont produits, entre autres, par la décroissance du ^{97}Tc ($T_{1/2}=2.6\text{Ma}$), du ^{98}Tc ($T_{1/2}=4.2\text{Ma}$) et du ^{99}Tc ($T_{1/2}=0.213\text{Ma}$), respectivement. Bien qu'il n'existe pas d'isotope stable du Tc, cet élément est observé dans les étoiles où se déroule une nucléosynthèse par capture neutronique lente active. Le Tc constitue donc une radioactivité éteinte potentielle dont la reconnaissance dans les isotopes du Mo et du Ru permettrait de préciser la chronologie du système solaire précoce ainsi que celle de la différenciation métal-silicate. Le fait que le Mo

ait un comportement différent des autres éléments sidérophiles (volatilisation de Mo sous forte fugacité en oxygène) ajoute à la complexité du système (possibilité de fractionnement isotopique associé à la volatilisation) mais augmente aussi le potentiel de ce système isotopique pour le traçage des processus de différenciation métal-silicate.

Enfin, la mesure des compositions isotopiques du Mo et du Ru permettrait de quantifier les contributions de ces différentes sources nucléosynthétiques au système solaire.

**2 - ÉTUDE DES DIFFÉRENTS COMPOSANTS IMPLANTÉS
DANS LES SOLS LUNAIRES**

Ces études font suite aux travaux réalisés récemment (cf. partie bilan du Thème I) sur les isotopes du Li et de l'N dans les sols lunaires. Nous allons poursuivre nos développements instrumentaux qui nous permettent, notamment grâce à l'utilisation de la forte sensibilité de la sonde ims 1270, d'extraire sélectivement et d'analyser isotopiquement les différents constituants du vent solaire implantés dans la peau amorphe de quelques dizaine de nanomètres qui recouvre les grains

des sols lunaires irradiés par le Soleil. Ces développements, couplés à ceux de l'analyse grain par grain par chauffage laser des isotopes de l'N et des gaz rares dans les sols lunaires, donneront accès pour la première fois à la variation, en fonction de l'âge d'exposition des sols lunaires, soit de l'activité du Soleil (e.g. isotopes du Li) soit du bombardement cométaire et météoritique de la Lune (e.g. isotopes de l'N).

**• LES ISOTOPES DU LI DANS LES SOLS LUNAIRES :
ENREGISTREMENT DE L'ACTIVITÉ SOLAIRE**

Sur la base d'analyses isotopiques du Li dans le vent solaire implanté à la surface des sols lunaires nous avons proposé récemment que le rayonnement solaire de haute énergie pouvait être à l'origine d'une fraction du Li solaire (Chaussidon & Robert, 1999). Ce Li serait produit par des réactions de spallation entre les flares (10-100 MeV) et l'atmosphère solaire. Cette production avait été négligée jusqu'à présent car les deux isotopes du lithium, le ^6Li et le ^7Li , sont détruits à l'intérieur du soleil par des réactions de fusion thermonucléaires avec l'hélium. Le rapport isotopique $^7\text{Li}/^6\text{Li}$ mesuré pour le vent solaire (31 ± 4) s'explique bien si l'on admet que du Li de spallation ($^7\text{Li}/^6\text{Li}=2$) est mélangé à du Li profond ($^7\text{Li}/^6\text{Li}=10^6$) ayant subi les réactions de fusion. Afin de préserver ce lithium de spallation de sa destruction nucléaire, il faut admettre que son temps de résidence dans l'at-

mosphère solaire soit supérieur à sa vitesse de destruction nucléaire, via les courants de convection descendants. Outre son intérêt pour préciser les processus nucléaires dans le soleil, la mesure du rapport $^7\text{Li}/^6\text{Li}$ dans le vent solaire permet donc de mieux comprendre la convection solaire.

Se projet vise à vérifier si l'état stationnaire actuel, le cycle de production-destruction du lithium, a toujours été semblable au cours de la vie du soleil. Pour cela nous analyserons différents objets ayant été exposés au vent solaire à différentes périodes de l'histoire du système solaire : des sols lunaires exposés récemment (dans les 150 derniers Millions d'années) et plus anciennement (il y a plus que 2,5 Milliards d'années) ainsi que des météorites riches en gaz solaire irradiées il y a 4,5 Milliards d'années.

**• LES ISOTOPES DE L'N DANS LES SOLS LUNAIRES : ENREGISTREMENT DES
APPORTS COMÉTAIRES ET MÉTÉORITIQUES À LA LUNE ET À LA TERRE**

Outre les impacts majeurs de bolides enregistrés dans la cratérisation lunaire, il existe un flux plus ou moins continu de particules extraterrestres sur la Terre et sur la Lune. Ce flux semble dominer, du moins à l'époque actuelle, le flux massique

extraterrestre. Sa composition semble susceptible d'amener en surface de la Terre une quantité non négligeable, voire prépondérante sur les autres sources, d'espèces chimiques formant les molécules organiques. Ces contributions sont potentiel-

lement très importantes pour le développement de la vie. Elles peuvent avoir apporté des éléments essentiels tels que les molécules organiques, l'eau, l'azote et le carbone, mais elles ont aussi probablement perturbé sévèrement l'environnement primitif terrestre. L'enregistrement au cours du temps de ce flux extraterrestre est effacé sur la Terre, mais il est disponible à la surface de la Lune puisqu'il existe dans les sols lunaires des minéraux ayant été exposés il y a (ou pendant) plusieurs Milliards d'années.

Le but de ce projet est d'identifier et de quantifier les flux de matière extra-terrestre microscopique déposée dans des sols lunaires exposés à plusieurs époques depuis 4 Ga. Nous espérons de cette

façon reconstruire l'histoire de la contribution extraterrestre diffuse en matière organique, ou, du moins, en C et N à la surface de notre planète. Les isotopes de l'N sont pour cela un très bon traceur. En effet, nos études précédentes permettent d'établir que le N solaire représente le pôle léger de N ($\delta^{15}\text{N}$ de l'ordre de -250‰) et que les variations isotopiques sont donc le résultat de la dilution de ce pôle par une ou des composantes d'azote lourd apportées par bombardement de matière exotique. Il devient alors possible de quantifier ce bombardement au cours du temps en combinant l'analyse de $\delta^{15}\text{N}$ dans des sols d'antiquités différentes et l'analyse de $\delta^{15}\text{N}$ dans des grains individuels dans ces sols.

3 - DYNAMIQUE CHIMIQUE ET ISOTOPIQUE DE LA NÉBULEUSE SOLAIRE PRIMITIVE

Les travaux récents sur les compositions chimiques et isotopiques des constituants minéralogiques des météorites primitives (CAI, chondres,...) font apparaître une remarquable hétérogénéité du système solaire au moment de sa formation. Toutefois, le manque de connaissance des processus de fractionnement chimique et isotopique ayant eu lieu dans la nébuleuse empêche, à l'heure actuelle, d'interpréter convenablement ces hétérogénéités et en conséquence de proposer un scénario cohérent pour la formation des objets les plus primitifs du système solaire. Pour progresser dans ce domaine, nous allons combiner (1) une approche expérimentale nouvelle visant à simuler les interactions gaz-solide ou gaz-silicate fondu dans la nébuleuse protosolaire et (2) une approche analytique visant à rechercher des anomalies isotopiques (radioactivités éteintes ou anomalies nucléosynthétiques) nouvelles dans les composants les plus primitifs des chondrites.

L'approche expérimentale sera conduite en utilisant un dispositif expérimental, le «Nébulotron» qui a été conçu pour établir une température ponctuelle élevée (3000 K) dans un mélange gazeux dont les pressions partielles, la température et le degré d'ionisation sont contrôlés. Ce dispositif autorise en plus la récupération des résidus solides de l'évaporation et des produits de la condensation, nos techniques de micro-analyse permettant de déterminer la nature, la cristallinité, la composition chimique et isotopiques de ces produits et donc d'avoir accès à leur variabilité en fonction des conditions imposées ($T^\circ\text{C}$ condensation, P_{O_2} , P_{H_2} , rayonnement, ...). Cette approche est originale car la plupart des efforts de la communauté scientifique ont porté jusqu'alors sur la compréhension des fractionnements élémentaires lors des processus d'évaporation, et ont montré que des modèles d'évolution en système ouvert peuvent expliquer bons nombres des caractéristiques de ces objets primitifs, notamment en ce qui concerne le

comportement des éléments volatils (S, Na, K,...) ou de certains éléments majeurs (Mg et Si). Cependant, dans ces scénarii en système ouvert, les processus de fractionnement liés à la condensation et aux réactions gaz-solide ont été très peu abordés même si les observations sur les météorites et les quelques expériences existantes suggèrent que ces processus peuvent jouer un rôle prépondérant.

L'approche de caractérisation d'objets naturels sera conduite en utilisant et en développant la mesure in situ par sonde ionique de nouveaux systèmes isotopiques (e.g. ^{10}Be -B) en association avec l'analyse de systèmes plus classiques (e.g. ^{26}Al ou 3 isotopes de l'O). Les compositions isotopiques sont en fait des marqueurs de choix puisque la plupart des processus mis en cause dans l'évolution du nuage moléculaire présolaire et de la nébuleuse protosolaire peuvent créer des fractionnements isotopiques qui sont par leur ampleur ou par leur nature absolument spécifiques de processus extra-terrestres. C'est le cas des phénomènes de nucléosynthèse présolaire, soit par collisions dans le nuage moléculaire entre particules accélérées et gaz H et He ambiants, soit dans les supernova qui précèdent l'individualisation de la nébuleuse protosolaire. C'est aussi le cas de certaines réactions entre solides et gaz lors de l'évolution chimique de la nébuleuse solaire pendant l'irradiation par le Soleil jeune. Jusqu'à présent les cosmochimistes se sont principalement consacrés à l'étude des anomalies isotopiques qui sont dues aux radioactivités éteintes (^{26}Al , ^{41}Ca , ...) pour essayer d'établir des chronologies relatives de formation des premiers solides dans la nébuleuse solaire. Le problème fondamental de toutes ces études est évidemment de relier ces informations chronologiques aux informations sur la composition et l'origine des différents composants mis en jeu dans la formation des premiers solides. Ceci constitue l'objectif à long terme de ce projet.

4 - PRÉPARATION À L'ÉTUDE DES ÉCHANTILLONS MARTIENS

Dans le cadre de l'amélioration de nos performances analytiques en vue de l'analyse d'échantillons martiens et/ou d'autres échantillons extra-terrestres (grains cométaires ou grains provenant de planétésimaux) qui seront peut être disponibles dans les dix ans à venir, nous développerons dans les quatre prochaines années plusieurs projets scientifiques, soit sur des analogues d'échantillons martiens (sols terrestres, aérosols terrestres) soit sur des micro-échantillons extra-terrestres déjà disponibles dans nos laboratoires tels que les sols lunaires (cf. section I.2.), les micro-météorites ou les particules interplanétaires (IDPs). Certains de ces projets ont des interactions avec des projets présentés dans le thème IV.

Nos études viseront surtout à développer l'analyse de grains micrométriques et à être capables sur un même grain d'obtenir des informations sur la nature minéralogique, la composition chimique (éléments majeurs et en trace), la composition isotopique et l'âge (âge de formation ou âge d'exposition, U/Pb, Rb/Sr, isotopes cosmogéniques de l'Ar et de l'N). En fait, la présence de poussières recouvrant la surface des roches martiennes a été observée entre autres lors de la mission Pathfinder.

Ces poussières qui se sont révélées être un facteur limitant pour l'analyse in situ des roches martiennes pourraient en fait être une chance extraordinaire dans le cadre de la mission de retour d'échantillons martiens puisque l'on peut espérer obtenir sur un site d'échantillonnage des grains provenant d'une très grande partie de la surface de Mars. D'après les études existantes, les poussières transportées sur de longues distances à la surface de Mars ont une taille comprise entre 2 et 40 μm . Un échantillon de 1mg de poussières martiennes contiendrait donc environ 10000 grains de 40 μm de diamètre ou 600000 grains de 10 μm de diamètre.

Plusieurs projets seront développés (d'un point de vue technique et sur des analogues) en vue de l'étude future des échantillons de Mars. Ces projets concernent essentiellement l'évolution de l'atmosphère martienne, l'évolution et la disparition des océans martiens et les processus d'altération à la surface de Mars. Même si ces projets concernent les processus d'altération, les interactions fluides-roches ou d'autres processus basse température, ils ne sont pas détaillés dans le thème «Environnement» car vus à partir d'un aspect «martien».

• ÉVOLUTION DE L'ATMOSPHÈRE MARTIENNE

Les analyses des sondes Viking et des SNC montrent que l'atmosphère de Mars est unique et caractérisée notamment (1) par la faible pression atmosphérique totale (7 mbar en moyenne, avec 95 % de CO₂) comparée à celles régnant sur Terre ou sur Vénus, (2) par un fractionnement isotopique important des isotopes stables, notamment un excès très important de ¹⁵N dont l'origine traduirait le fonctionnement unique de ce système atmosphérique, (3) par une composition spécifique des isotopes de l'H liée au cycle spécifique de l'eau sur Mars, par (4) l'abondance relative d'isotopes produits par les radioactivités éteintes (dont ¹²⁹Xe) et actuelles (dont ⁴⁰Ar), permettant de reconstituer l'histoire thermique et géologique de cette planète et (5) par l'abondance d'isotopes produits par spallation (notamment ²¹Ne et ³⁸Ar), traduisant une histoire irradiative intense.

Ces caractéristiques reflètent les processus

ayant conduit à la formation de cette atmosphère et à son évolution, et permettent d'étudier les problèmes importants tels que : processus d'accrétion et d'acquisition des volatils majeurs (CO₂, H₂O, N₂), échanges manteau-surface au cours du temps, liés au régime convectif et thermique de la planète en utilisant les isotopes produits par radioactivité, - et environnementale (évolution atmosphérique, devenir de l'eau et du CO₂ sur Mars), irradiation de la surface au cours du temps, et conditions environnementales actuelles de développement éventuel d'activité organique. Dans ce projet, en plus de l'analyse des échantillons d'atmosphère (gaz) ou d'atmosphère piégée dans les grains des sols, nous participerons à la conception et à la réalisation d'un dispositif de prélèvement d'atmosphère martienne pour analyse après retour sur Terre (coordination de la proposition correspondante déposée au CNES).

• HISTOIRE GÉOLOGIQUE DES OCÉANS MARTIENS

De nombreux indices (lits de rivières, deltas, lignes de rivage,...) montrent que de grandes quantités d'eau liquide ont été présentes à la surface de Mars tôt dans son histoire. Cette eau a aujourd'hui disparu, les 0,03% d'eau présents dans l'atmosphère correspondant à un film de quelques microns d'eau répartis sur toute la surface de Mars, l'eau présente avec le CO₂ dans les calottes polaires cor-

respondant quant à elle à une couche d'environ 40 mm d'épaisseur. Le but de ce projet est d'essayer de reconstituer l'histoire géologique de cette eau à partir de l'analyse isotopique de minéraux du cycle sédimentaire formés lorsque l'eau était encore présente à la surface de Mars.

Dans ce projet nous souhaitons étudier les compositions isotopiques (Li, B, C, O et S) des grains

micrométriques de carbonate, sulfate, phosphate ou sels. Les grandes questions scientifiques qui pourront être abordées par l'étude isotopique de ces grains concernent principalement la caractérisation de la diversité des roches sédimentaires présentes à la surface de Mars et donc de la diversité des environnements dans lesquels elles se sont formées. Nous chercherons à remonter à la composition chimique et isotopique des eaux, aux conditions de formation (température par exemple) et aux pro-

cessus de formation (évaporation par exemple). Ces données nous permettront de dire notamment si les eaux étaient chargées en sels et lesquels, si il existait plusieurs masses d'eau non mélangées de compositions différentes, si la composition de ces masses d'eau était plus contrôlée par des échanges avec le manteau ou avec la croûte de Mars, si les «océans» martiens se sont évaporés en précipitant de grandes quantités d'évaporites et si oui à quelle vitesse.

• LES PROCESSUS D'ALTÉRATION DE SURFACE : LA GÉOCHIMIE DU GE.

L'étude isotopique du Germanium et la détermination du rapport Ge/Si des grains de la surface de Mars permettront de caractériser les processus d'altération *s.l.* de la croûte martienne. Les images de la surface de Mars ont révélé l'existence de chenaux (caractéristiques d'érosion fluviale ?), la présence d'un sol rouge très oxydé, et une activité volcanique importante, ce qui laisse supposer des processus d'altérations continentale et hydrothermale intenses.

Ce que nous savons de la géochimie du Ge sur Terre en fait un traceur potentiel très puissant des processus d'érosion. Le Ge a un comportement chimique similaire à la silice, les minéraux mafiques étant enrichis en Ge par rapport à Si par rapport aux minéraux acides. Cette signature Ge/Si des différentes espèces minérales est fondamentale pour la compréhension des processus

d'érosion continentale et de circulation hydrothermale contribuant au budget géochimique des océans. L'érosion continentale par les eaux de rivières est le processus principal d'apport de Ge et Si dans l'eau de mer. L'altération préférentielle de silicates mafiques (à Ge/Si élevé) enrichit l'eau des fleuves et rivières en Ge et Si, qui vont ensuite précipiter sous forme d'opale en domaine marin. Le rapport Ge/Si des eaux ne reflètent pas cependant uniquement la nature du socle érodé, mais enregistre également l'incorporation possible de Ge par les particules d'hydroxides de fer néoformés (comportement sidérophile de Ge), ainsi que les variations saisonnières et climatiques. Les variations Ge/Si des opales précipitées vont donc être un traceur des climats et de l'érosion. Le fractionnement isotopique lié à cette altération est à documenter.

• CHRONOLOGIE MARTIENNE: ÂGES DES MINÉRAUX DES SOLS MARTIENS

La compréhension du processus de différenciation de Mars et de son évolution est un élément crucial pour comprendre l'évolution des différentes planètes telluriques. Pour décrire l'histoire de Mars, il est indispensable de pouvoir décrire l'évolution dans le temps des différents réservoirs. Dans le cas de Mars, le premier objectif à atteindre est de définir l'âge des échantillons ramenés sur terre. La majeure partie des échantillons que l'on peut espérer ramener au cours de ces premières missions sont des poussières ou des sédiments composites. Il s'avère donc indispensable de pouvoir effectuer des datations sur des grains isolés de tailles inférieures au millimètre. Nous proposons donc de dater une population de minéraux grains par grains, pour obtenir un histogramme des âges de formation des minéraux présents à la surface de Mars. Nous sélectionnerons pour cela des minéraux relativement riches en U, Th, ou Rb (quelques centaines de ppm), tel que zircons (rares hélas), sphènes, phosphates ou feldspaths.

L'obtention d'un histogramme d'âges permettra de définir les périodes d'activité principales de la planète.

La datation individuelle d'une population de minéraux ouvre un deuxième objectif, corrélé au premier. En déterminant la composition des éléments trace de ces grains datés, il devient possible de définir l'évolution géodynamique de la planète, en testant ainsi le degré de différenciation croûte-manteau qui a pu se développer au cours du temps. La définition de l'évolution dans le temps des systèmes U-Th-Pb et Rb-Sr pour les différents réservoirs martiens, définis par les éléments trace, permettra d'une part de décrire l'évolution géodynamique de Mars, et d'autre part de définir des courbes d'évolution des rapports isotopiques des éléments fils au cours du temps, et de pouvoir ainsi les utiliser pour déterminer des âges modèles pour les minéraux appauvris en parents (carbonate, sulfure, sulfate).

CHERCHEURS, ÉTUDIANTS ET COLLABORATIONS IMPLIQUÉS

	Différenciation métal-silicate	Sols lunaires	Nébuleuse Solaire	Mars
Chercheurs				
M. Chaussidon		X	X	X
E. Deloule	X			X
G. Libourel	X		X	
B. Luais	X			X
B. Marty	X	X		X
M. Topliss	X		X	
Thèses				
L. Tissandier 1997-2000			X	
N. Dauphas 1999-2001	X		X	
J. Aléon 1999-2001				X

Les collaborations sont sensiblement les mêmes que celles présentées dans la partie bilan du thème I. Parmi toutes ces collaborations la plus importantes est celle avec François Robert du MNHN de Paris qui participe à plusieurs des projets présentés.

MOYENS ACTUELS

Sonde ionique ims 1270 : analyses isotopiques de O, B, Li, C, N, Sr

MC-Hex-ICP-MS Isoprobe : analyses isotopiques de Fe, Ge, Mo, Ru

Laser-spectrométrie statique : analyses isotopiques des gaz rares (He, Ne, Ar, Kr, Xe) N

Salle de chimie : mise en solution et séparation de Fe, Ru, Ge, Mo, Ru

IMPLICATIONS DANS DES PROGRAMMES NATIONAUX ET INTERNATIONAUX

Groupe d'experts «Système Solaire et plasma spaciaux» du CNES : M. Chaussidon, membre.

Programme National de Planétologie, thèmes 1 (Mars) et 5 (objets primitifs, B. Marty, coordinateur) : financements acquis en 1998 et 1999, trois demandes faites en 2000.

Mars : - Comité Scientifique pour l'Etude des Echantillons Martiens (CSEEM), B. Marty, Membre

- AO préparation aux retour d'échantillons : 4 propositions ont été déposées.

Venus : Venus Atmospheric Measurement Probe (VAMP), proposition JPL-NASA (PI : Wes Huntress) de mesure in situ de l'atmosphère de Venus, B. Marty, Membre du comité scientifique



CINÉTIQUES ET BILANS DES PROCESSUS MAGMATIQUES

OBJECTIFS

Ce thème a pour objectif la quantification du rôle des processus magmatiques dans l'évolution du système Terre et des planètes au cours du temps. Nous associons une approche par bilans, essentielle pour localiser et quantifier les transferts thermiques et de masse dans les systèmes magmatiques, et une approche cinétique qui apparaît tout aussi fondamentale en ce qu'elle prend en compte le paramètre «temps». Même si les processus étudiés sont à grande échelle, la réalisation de bilans géochimiques fiables doit prendre en compte les mécanismes de transfert élémentaire qui ont lieu à petite échelle (liquides, cristaux). Ceci nécessite donc d'associer aux études sur roches totales (en tant que parties représentatives de réservoirs), une démarche d'observation et de mesure *in situ* à l'échelle des phases, particulièrement propice à la compréhension des partages élémentaires à l'équilibre et hors d'équilibre dans les magmas. Dans les assemblages de phases, l'équilibre global n'étant souvent pas réalisé, il y a là un biais pour approcher la cinétique des processus magmatiques

à travers la distribution des tailles, les textures et les gradients chimiques des phases. La simulation expérimentale et la modélisation thermodynamique complètent cette démarche en reliant la cinétique aux paramètres P, T, X ...

Nous disposons d'un important éventail de méthodes d'observation des textures à différentes échelles spatiales (microscopie optique, MEB, MET) et de caractérisation physico-chimique des phases (cathodoluminescence, MET, RPE, IR, Raman, Mössbauer). A cela s'ajoute un potentiel d'analyse *in situ* unique en France, permettant de déterminer tant les concentrations en éléments majeurs et traces, que les rapports isotopiques à l'échelle du cristal (sondes électroniques et ioniques, laser-ICP-MS, TIMS, spectromètres de gaz rares). En outre, l'équipement expérimental conçu pour l'étude des phénomènes à haute température et sous atmosphère contrôlée est particulièrement bien adapté à l'étude de l'évolution des propriétés physiques et thermodynamiques des liquides magmatiques et des produits de leur solidification.

ACTIONS

Notre projet est ciblé sur trois actions prioritaires: (i) dynamique des chambres magmatiques, (ii) processus de fractionnement dans les météorites, et (iii) interactions manteau-croûte-surface. Ces trois actions sont articulées autour de dénominateurs communs qui sont la mesure des partages élémentaires et des coefficients de diffusion, la compréhension des mécanismes de nucléation, croissance, dissolution et des (micro)textures qui en résultent, et l'étude couplée pétrographique et géochimique des échantillons naturels.

1 - DYNAMIQUE DES CHAMBRES MAGMATIQUES

Les chambres magmatiques, sont un relais important dans le transfert des magmas vers la surface. Notre objectif est de reconstituer les interactions liquide-cristaux dans le temps, dans l'espace réel et dans l'espace chémographique pour mieux cerner le fonctionnement d'une chambre au cours du temps, ainsi que son interaction avec son environnement. Nous étudierons pour cela les phases des

complexes lités et des plutons, notamment leur morphologie et leur taille, leurs structures internes (zonations chimiques et microtexturales) et leur répartition spatiale (litages magmatiques). L'étude des échantillons naturels sera complétée par la simulation expérimentale. Nous aborderons plus spécifiquement les points suivants:

EVOLUTION DU LIQUIDE ET TEXTURES DES MINÉRAUX DANS LES CHAMBRES BASALTIQUES.

Nos études sont focalisées sur deux cadres magmatiques et géologiques bien définis. Le premier est un lac de laves sur l'île d'Hawaï (Makaopuhi), où grâce à des forages qui ont échantillonné la croûte du lac en cours de cristallisation, il est possible de suivre en temps réel les étapes précoces de la cristallisation, ainsi que l'évolution du liquide résiduel. Les distributions des tailles des cristaux (CSD) dans ces échantillons seront confrontées à des CSD produits expérimentalement lors d'expériences effectuées à des taux de refroidissement contrôlés afin de confirmer ou infirmer les modèles proposés dans la littérature.

La deuxième cible est l'intrusion litée du Skaergaard (Groenland) exceptionnelle de par l'affleurement de la totalité des différents éléments structuraux (plancher, mur, toit). Nous nous

intéressons à l'évolution chimique du liquide lors de sa cristallisation et à la mobilité des liquides et cristaux au cours de la différenciation. Sur l'ensemble des roches de l'intrusion, nous étudierons à l'échelle du grain la répartition des éléments de coefficient de diffusion très différents (oxygène, cations divalents et trivalents, terres rares etc.) afin de déterminer la chronologie relative de la cristallisation et les interactions entre les cristaux «cumulus» et le liquide «piégé». Un aspect essentiel de cette action sera la comparaison des observations faites sur roches naturelles avec des résultats d'expériences menées en laboratoire, en particulier la différenciation assistée par centrifugation pour recréer la zone d'accumulation des cristaux dans une chambre magmatique avec des cristaux 'cumulus' et peu de liquide interstitiel.

STRUCTURES ET TEXTURES DE SOLIDIFICATION ASSOCIÉES À LA MISE EN PLACE DES PLUTONS.

Le premier axe de cette action consiste à étudier des textures de solidification lors de la mise en place des plutons à partir de cibles situées en Ethiopie, Finlande et Pyrénées. Un premier cas concerne les textures remarquables qui accompagnent les mélanges magmatiques (par exemple les vaugnérites et certains granites orbiculaires). Notre approche sera de comparer les textures produites lors des mélanges magmatiques aux textures obtenues lors du refroidissement contrôlé des lingots métallurgiques. Un deuxième cas concerne les textures réactionnelles qui apparaissent dans certains plutons au moment de leur consolidation, comme nous l'avons montré récemment sur l'exemple du Velay. L'objectif est d'une part de mieux cerner les mécanismes de croissance des minéraux sur différents types de plutons et d'autre part leur vitesse de croissance. Enfin la caractérisation des équilibres de phase devrait confirmer que ces textures sont des marqueurs de

phénomènes de décompression en fin d'orogénèse.

Le deuxième axe est centré sur les mécanismes de mise en place et d'interaction avec l'encaissant à partir de trois cibles situées au Maroc, en Ethiopie et dans les Pyrénées. L'objectif est (1) de montrer que dans le cas de nombreux plutons granodioritiques, les phénomènes d'interactions avec l'encaissant restent mineurs et que le modèle d'échange crustal proposé par certains auteurs n'est pas tenable, et (2) de déterminer la part de la différenciation in situ dans les plutons zonés. Notre approche sera d'étudier les interactions entre pluton et encaissant par la caractérisation de leurs modifications texturales, minéralogiques et géochimiques, couplée à une approche structurale (classique ou par ASM). Une retombée attendue de cette étude est une meilleure compréhension de la signification des grands domaines orogéniques dans la chaîne hercynienne.

MINÉRALISATIONS ASSOCIÉES AU MAGMATISME.

Notre premier axe de recherche concerne la formation de niveaux « Reefs » de sulfures disséminés riches en éléments du groupe du platine (EGP), interstratifiés dans les cumulats rubanés. Deux groupes de modèles s'affrontent pour expliquer leur formation: soit la concentration des EGP est provoquée par le mélange de deux magmas, soit elle est liée à la percolation du liquide intercumulus au sein des cumulats précédemment déposés. Afin de déterminer l'importance des réactions solide-liquide ou encore les réactions subsolidus sur le

dépôt des EGP trois cibles sont retenues: le Bushveld, l'intrusion porteuse des plus grands gisements de platine, avec le Merensky Reef, actuellement en cours d'étude, l'intrusion de Monchegorsk, Kola (à échantillonner en 2000) et celle de Iolo-Dovyren, Transbaïkal. Pour le Bushveld, les études dans le Merensky Reef sont focalisées sur la composition du matériel interstitiel qui semble directement lié à la précipitation des sulfures et des EGP associés. Pour les autres intrusions, on vise à caractériser les niveaux por-

teurs (étude géochimique et minéralogique) afin de déterminer l'origine des minéralisations et les conditions de dépôt.

L'étude des cibles minéralisées s'accompagne d'un volet expérimental où sont étudiées les conditions de partage des éléments du groupe du platine entre solutions solides de hautes températures, minéraux du groupe du platine et liquide sulfuré en fonction de la composition de départ du liquide sulfuré et de la fugacité en soufre (coll. Novossibirsk et Carlton University). La mise au point de l'analyse des EGP en traces dans les sulfures à l'ICP-MS par ablation laser sera réalisée pour déterminer les coefficients de partage des EGP dans les charges expérimentales et dans les échantillons naturels, la concentration en EGP des sulfures étant souvent inférieure au pour cent.

Un deuxième axe de recherche concerne les minéralisations associées aux magmas granitiques évolués. Par exemple, les anomalies en Li et Be se concrétisant par l'existence de phases minérales spécifiques, voire de concentrations minérales conséquentes. Nos études portent sur un certain nombre de cibles, en particulier des différenciations aplo-pegmatitiques au Nord Portugal. Leur comparaison avec les corps pegmatitiques voisins de la même province, mais stériles, permettra de comprendre les processus de concentration de ces éléments, ainsi que l'importance d'une phase volatile associée. Une meilleure compréhension de la succession des phénomènes devrait pouvoir déboucher sur de meilleures contraintes quant à la prospection de ces gisements.

2 - PROCESSUS DE FRACTIONNEMENT DANS LES MÉTÉORITES

La différenciation magmatique a participé également à la formation d'un très grand nombre d'objets du système solaire (chondrites, achondrites, météorites ferreuses). L'émergence d'un savoir-faire en expérimentation appliqué aux processus de différenciation, notamment avec l'utilisation du four centrifuge, va permettre l'application des modèles magmatiques terrestres aux problèmes de différenciation planétaires. Nos études sur les fractionnements chimiques et physiques seront complémentaires des mesures isotopiques effectuées dans le thème Cosmochimie pour déterminer les sources de ces mêmes objets. Dans le cadre de cette action en émergence, nous aborderons plus particulièrement :

DIVERSITÉ CHIMIQUE DES ACHONDRITES ET DIFFÉRENCIATION DANS UN OCÉAN MAGMATIQUE

Notre objectif principal est de comprendre les processus magmatiques qui ont pu donner naissance aux météorites d'origine astéroïdale (par ex. les 'howardite-eucrite-diogenite' suite HED) ou planétaire (par ex. les SNC). En effet, les textures et les compositions des achondrites ne permettent pas de déterminer, sans ambiguïté, le taux de fusion des corps parents. Or, ce paramètre détermine la ségrégation des minéraux par densité et en conséquence de la stratification du système manteau/croûte primitif d'une planète. L'expérimentation en four centrifuge que nous proposons va simuler la ségrégation de minéraux silicatés dans un océan

magmatique et permettre une quantification de l'efficacité de cette ségrégation. De plus, les produits des charges expérimentales seront analysés in situ au moyen des microsondes électronique et ionique pour déterminer leur composition et quantifier les gradients chimiques au sein des minéraux et entre eux. Ces résultats seront comparés à ceux obtenus sur des météorites SNC ou HED. Un autre aspect de cette démarche qui nous semble important est de faire le parallèle entre les météorites et leurs possibles équivalents terrestres que nous étudierons dans l'action «dynamique des chambres magmatiques» décrit ci-dessus.

CINÉTIQUE ET CONSÉQUENCES CHIMIQUES DE LA DIFFÉRENCIATION MÉTAL-SILICATE LORS DE L'ACCRÉTION PLANÉTAIRE

Alors que la ségrégation des noyaux métalliques au sein des corps parents est un des processus les plus importants lors de l'accrétion planétaire, les mécanismes et les conséquences chimiques de cette ségrégation restent encore mal compris. Notre premier volet consiste à mesurer expérimentalement les lois cinétiques qui gouvernent les transferts élémentaires (par exemple de Ni, Co, S, C) lors de la ségrégation métal-silicate. Le deuxième

volet de cette action est de déterminer l'équilibre thermodynamique entre métal et silicates en fonction de la fugacité d'oxygène à 1 bar, avec un effort particulier pour déterminer les coefficients de partage de certains éléments peu étudiés à l'heure actuelle, tel le Germanium (voir aussi thème 1). Un troisième volet utilisera le four centrifuge pour quantifier l'efficacité de la ségrégation métal-silicate à partir des mélanges minéraux-liquide.

3 - INTERACTIONS MANTEAU-CROÛTE-SURFACE

Cette action privilégie une étude à l'échelle des grands réservoirs terrestres bien adaptés à la réalisation de bilans géochimiques. Une quantification plus fine des échanges qui ont lieu lors du transfert des magmas vers la surface (échanges métasomatiques dans la lithosphère et lors de la subduction) est nécessaire pour réaliser des bilans fiables. Ce thème est lié avec le thème «Orogenèse» dans lequel sera traité, par exemple, l'aspect chronologique du processus de subduction. Trois actions spécifiques orientées vers les mécanismes de formation et de percolation des magmas ont été retenus:

FUSION DU MANTEAU ET PÉTROGÈNESE DES MORB

La fusion partielle sous les dorsales océaniques est la source la plus importante du magmatisme à la surface de la Terre. Même s'il existe des modèles pour comprendre les variations chimiques des liquides issus de cette fusion (les MORB) et leur résidus (les péridotites abyssales) ces modèles sont souvent élaborés à partir de données obtenues dans des régimes mantelliques «classiques». Nos études actuelles portent sur des cas moins classiques et les résultats permettent de tester la validité générale des modèles existants. Premièrement, nous considérons des dorsales à taux d'expansion ultra-lentes (thèse Meyzen), en particulier la dorsale sud-ouest indienne (SWIR) et la discordance australienne-antarctique (AAD), échantillonnées dans le cadre des projets EDUL et ODP respectivement.

Le premier volet consiste en la caractérisation géochimique des verres basaltiques en éléments majeurs, traces, et isotopes, qui sera suivi d'études expérimentales visant à quantifier le rôle de la différenciation magmatique et l'assimilation de la croûte océanique sur la composition des laves émises. Deuxièmement, nous considérons la fusion partielle d'un manteau déjà appauvri, donc à «basse» pression (<1 GPa). Ce projet va associer l'étude des textures et des compositions des péridotites abyssales aux expériences en laboratoire. Notre but est de quantifier les réactions de fusion pour ces conditions peu étudiées, afin de déterminer les compositions des liquides produits et mieux interpréter les variations de modes et de composition des minéraux dans les péridotites.

GENÈSE DE LA CROÛTE INFÉRIEURE

La relation exacte entre le manteau lithosphérique sous continental et la croûte inférieure surincombante reste peu connue. Nous aborderons ce problème par l'étude pétrologique, géochimique et isotopique d'échantillons de la croûte inférieure provenant d'endroits où sont connues la composition et l'histoire du manteau associé (Massif Central, Pyrénées, sud-est de la Chine, Ethiopie...). L'originalité de notre approche est de coupler l'analyse des éléments du groupe de platine (dont le système isotopique Re-Os) à celle des éléments majeurs et traces (dont les systèmes isotopiques Rb-Sr et Sm-Nd). De plus, caractériser la composition isotopique de l'Os de la croûte inférieure nous permettra d'aborder l'importante ques-

tion du bilan de masse terrestre pour cet élément. En effet, la composition isotopique de l'Os des péridotites abyssales, censée être celle de la source des MORBs, est nettement moins radiogénique que celle des péridotites lithosphériques fertiles. La teneur en Re de la croûte supérieure est trop faible pour expliquer cette différence. Il faut donc chercher un autre puits de Re dans la terre. Ce puits peut se trouver soit dans le manteau inférieur, soit dans la croûte inférieure, dont les teneurs en Re-Os-PGE sont quasiment inconnues. La résolution de ce problème aura des implications majeures pour la géodynamique de la terre, surtout en ce qui concerne l'importance du recyclage de la croûte subductée.

TRANSFERTS LORS DE LA SUBDUCTION

Dans le cadre du projet «Subduction Factory», deux sites en eau profonde ont été forés au cours de la mission en mer du programme ODP Leg 185 (chefs scientifiques: John Ludden et Terry Plank), l'un sur le versant océanique de la fosse des Mariannes (ODP site 801C) et l'autre sur celui de la fosse Izu-Bonin (Site 1149). Les principaux objectifs de cette campagne consistent à obtenir des bilans géochimiques (flux d'entrée et de sortie lors de la subduction) pour un certain nombre de traceurs (H, S, C, Li, B, Métaux en traces, U, Pb etc., thèse Rouxel). Nous contribuerons à cette

étude par la caractérisation de la composition géochimique d'une section type de croûte océanique entrant dans la fosse des Mariannes et de Izu-Bonin à partir d'échantillons composites. Un important travail analytique est en cours: il comprend principalement l'analyse des éléments en traces et en ultra-traces (métaux de transition, métaux précieux, métaux lourds et métalloïdes) et des isotopes de Os, Hf, S et Se. Les données de ces études seront intégrées à des programmes internationaux majeurs tel le *Geochemical Earth Reference Model* (GERM), et le programme *Margins*.

FINANCEMENT

- INSU, projet Corne d'Afrique, Océans, Dorsales
- INSU-PNRN, CSD dans les laves du Makaopuhi
- INSU-IT, programme UHP.
- ODP France.
- Géosciences marines, projet EDUL.
- Collaboration au Maroc avec le BRGM.
- CNRS Collaboration internationale (PICS), Afrique du Sud.
- CNRS Collaboration internationale PICS (568) Novosibirsk-Ulan Ude, Russie.
- GDR Métallogénie
- Action Intégrées franco-marocaines.

PARTICIPANTS ET CIBLES

<i>Chercheurs</i>	<i>Chambres magmatiques</i>	<i>Météorites</i>	<i>Croûte- manteau</i>	<i>Cibles</i>
Pierre Barbey	X			Ethiopie/Maroc/Pyrénées
William Brown.	X			Skaergaard
Françoise Chalot-Prat	X		X	Maroc/Bushveld
Bernard Charoy	X			Portugal
Etienne Deloule			X	Chine/Massif central
Stéphanie Duchêne.	X			Makaopuhi
Dominique Gasquet	X			Maroc/Alpes
Guy Libourel		X		Météorites
Béatrice Luais		X		Météorites
John Ludden			X	Kola/Ethiopie/SWIR/ODP leg 185
Daniel Ohnenstetter	X			Kola/Transbaïkal
Maryse Ohnenstetter	X			Kola/Transbaïkal/Bushveld
Laurie Reisberg			X	Kola/Ethiopie/Massif cent./ODP leg 185
Mike Toplis	X	X	X	SWIR/Skaergaard/Météorites
<i>Doctorants</i>				
Asfawossen Asrat	X			Ethiopie
Christine Meyzen			X	SWIR, AAD
Olivier Rouxel			X	ODP leg 185



MODÉLISATION SPATIO-TEMPORELLE DE LA LITHOSPHERE

OBJECTIFS ET APPROCHE

Les objectifs sont l'étude des processus lithosphériques en termes (a) de transferts de chaleur et de matière (solides et fluides) et (b) de couplage cinétique et cinématique, à l'aide d'une approche spécifique intégrant la pétrologie, la géochronologie, l'étude des fluides, la tectonique et les géomathématiques. C'est au moyen de la combinaison, exceptionnelle pour un centre de recherche, de ces différentes disciplines, que seront abordées trois actions prioritaires de recherche :

Le développement sur gOcad de la modélisation des objets géologiques,
Les modélisations thermiques, cinétiques et géochronologiques des orogènes,
La métallogénie et les gemmes.

Cette approche pluridisciplinaire repose sur l'observation de terrain et y associe des outils de laboratoire tels que la géochronologie, la modélisation géométrique sous gOcad, et la modélisation physique et thermique. Ces approches permettent des transferts d'expertise avec les autres groupes de recherches du CRPG, en particulier pour les aspects géochronologiques et géochimiques des roches et fluides.

ACTIONS

1 - LE DÉVELOPPEMENT SUR GOCAD DE LA MODÉLISATION DES OBJETS GÉOLOGIQUES

La modélisation numérique des objets géologiques, que ce soit leur géométrie, leurs propriétés et leurs déformations au cours du temps, est une démarche essentielle pour comprendre et quantifier les processus de transferts dans la lithosphère et les réservoirs.

Notre effort d'analyse portera sur plusieurs axes spécifiques :

- Modélisation des horizons et des failles: modélisation des propriétés des failles (transmissivité, rejet, critère de gouge) et de leur géométrie. Automatisation des tests de cohérence d'un réseau de failles.
- Maillages 3D structurés et non-structurés : construction automatique de maillages à partir d'un modèle 3D comprenant des failles, des horizons et des complexités internes (chenaux, lentilles,...). Généralisation des algorithmes d'interpolation de la géométrie et des propriétés (méthode DSI, géostatistique) sur les maillages non-structurés. Construction et optimisation de maillages non-structurés en vue de leur utilisation par des logiciels de simulation d'écoulements polyphasiques (projet Stancy, Thermass).
- Dépliage en 3D : dépliage équilibré d'horizons et de couches stratigraphiques. Application à la construction d'attributs structuraux globaux 3D.
- Incertitudes des modèles : incertitudes géométriques et volumiques sur les grilles faillées à partir de méthodes géostatistiques. Modélisation stochastiques des chenaux et des turbidites.
- Estimation des propriétés physiques des roches : relations entre sismique, lithologie et paramètres physiques. Détermination de la diffusivité hydraulique à partir de données de microsismique. Changement d'échelle en milieux hétérogènes et fracturés. Applications à la détermination de la perméabilité de milieux cristallins fracturés ou sédimentaires.
- Modélisation thermo-mécanique : développement d'outils de modélisation thermo-mécanique afin de simuler la rhéologie et les transferts de matières associés aux échelles

mégascopiques et macroscopiques (lithosphère, réservoir).

- Modélisation 3D à différentes échelles (du μm au m) des objets naturels : microscopie (confocal, AFM, tomographie, inclusions fluides, microfractures) application à l'environnement et à la caractérisation des propriétés des roches (coll. CPB, CREGU-G2R Nancy).

Les outils employés

cartes généralisées (Gmap), nouvelle topologie (gOcad)
méthodes géostatistiques avancées et simulation stochastique, arithmétique d'intervalle
méthodes de résolution des équations différentielles (logiciel Thermass)
développement de codes numériques spécifiques (gOcad)
cave de réalité virtuelle 3D pour représenter des structures géologiques pluri-échelles (en collaboration avec le LORIA)

Les résultats majeurs attendus pour les 4 ans à venir portent sur :

- La réalisation d'outils robustes de modélisation spatio-temporelle (3D et 4D), dans le cadre du logiciel gOcad, capables de s'adapter à la complexité et au volume élevé d'information rencontrée en géologie.
- La détermination du champ du tenseur de déformation et la corrélation avec les paramètres pétrophysiques.
- La modélisation de la distribution des faciès dans un réservoir.
- La meilleure compréhension des processus géodynamiques par modélisation numérique.
- La validation et valorisation des logiciels développés par leur application à des études de cas réels, dans le cadre de projets nationaux ou internationaux. Les retombées attendues se situent principalement dans les domaines de la géodynamique, la métallogénie, la gestion des réservoirs (pétrole, géothermie, eau) et l'environnement.

Principaux chantiers :

Projet GéoFrance 3D (Fossé rhénan et Gestion et modélisation des données), projet Urgent-EUCOR, Site géothermique de Soultz, Zone Atelier Moselle (ZAM).

2 - LES MODÉLISATIONS THERMIQUES, CINÉTIQUES ET GÉOCHRONOLOGIQUES DES OROGÈNES

Les systèmes orogéniques impliquent des interactions complexes entre d'une part les processus thermomécaniques et la déformation liés à l'épaississement de la lithosphère, et d'autre part les processus de surface (érosion, sédimentation). Ces processus contrôlent les flux de matière (y compris les fluides) entrant et sortant de la lithosphère épaissie à tous les stades de l'orogénèse. L'axe commun de ce thème est la quantification dans l'espace et dans le temps des transferts (érosion, fluides, sédimentation) et des déformations (tectonique profonde, tectonique superficielle). L'objectif est de faire un bilan global des transferts et mouvements de matière entre la profondeur et la surface dans une zone orogénique, et de modéliser les processus géodynamiques, en particulier les couplages entre les zones internes et externes d'un orogène. Cette action est aussi directement liée aux autres thèmes du CRPG (*Environnements et paléo-environnements, Cinétique et bilans des processus magmatiques*).

Notre effort d'analyse portera sur plusieurs axes spécifiques :

- Cinétiques et cinématiques d'exhumation, vitesses d'érosion et de subsidence: quantification de l'exhumation par les méthodes pétrologiques et géochimiques (géobaromètres, géothermomètres, géochronologie), quantification des composantes «érosion» et «déformation» de l'exhumation, flux de matière sortant en surface (cf. thème Environnements et Paléo-environnements), mise au point des bilans et modélisation des processus de transfert de matière entre la profondeur et la surface.
- Bilans quantitatifs des transferts de fluides: flux de matière entrant et sortant dans la croûte pendant l'orogénèse.

- Mécanismes de déformation et interactions sédimentation-déformation dans les systèmes orogéniques externes .
- Dynamique des bassins associés aux orogènes et transferts de fluides associés: chronologie des épisodes tectoniques et des circulations fluides en contextes flexuraux et distensifs.
- Evolution post-orogénique par une approche néotectonique et la géomorphologie tectonique.

Les outils employés

Observation sur le terrain : Le terrain est le laboratoire naturel où, à quatre dimensions, et sur une échelle qui peut aller de l'affleurement au continent, se déploient les problèmes étudiés. Géochronologie spécifique à Nancy (U-Th-Pb et Rb-Sr *in situ*, utilisation de la spectrométrie de masse à source plasma pour l'étude des micro-échantillons (Sm-Nd et Lu-Hf).

Analyses géochimiques (analyse chimique majeurs et traces, analyses isotopiques classiques ou *in situ* de nombreux traceurs isotopiques) pour faire les bilans de transferts afin d'aboutir à une modélisation XD de l'évolution de la croûte lors des processus majeurs de son évolution .

Pétrologie métamorphique -thermobarométrie, équilibres thermodynamiques et cinétique de diffusion pour les éléments majeurs.

Analyse structurale des plis, des failles et des fractures, paléocontraintes, microtectonique, profils équilibrés.

Inclusions fluides (propriétés V-X et géochimie)

Modélisation géométrique, physique et thermique via gOcad et Thermass, modélisation physique et thermique, modélisation chimique (bilans).

Modélisation thermo-mécanique.

Chantiers existants:

Orogène Cénozoïque: Chaînes alpines (Alpes, Pyrénées, Cyclades), Cordillère Orientale de Colombie.

Orogène Paléozoïque: Variscides (Massif Central, Irlande, Pyrénées, Dabie Chan).

Orogène Protérozoïque : cratons ouest Africains.

Chantier fédérateur : Chaînes alpines

Il est proposé de concentrer une grande partie des efforts sur un ou deux orogènes comme les chaînes alpines et plus particulièrement les Alpes occidentales . Dans ces dernières, les relations temporelles entre l'exhumation des zones internes et la formation des bassins flexuraux constitueront l'essentiel de nos préoccupations dans ce chantier . De plus les nouveaux résultats acquis lors du

projet Alpes de GéoFrance 3D et de NFP 20 en Suisse, fournissent une excellente base pour entreprendre cette recherche. Ce chantier a pour objet de fédérer la plupart des axes de recherche définis ci-dessus. Il servira de lieu de discussion, et de point de départ pour des collaborations au sein de projets nationaux et internationaux.

3 - LA MÉTALLOGÉNIE ET LES GEMMES

La compréhension des mécanismes de concentration des métaux nécessite en premier lieu la prise en compte de la dimension « terrain » du problème, dans le sens que le terrain constitue le lieu où se développent ces concentrations à trois dimensions et sur une échelle qui peut aller de l'affleurement au continent. C'est le croisement entre cette approche spécifique et l'utilisation complémentaire d'outils géochronologique, géochimique et de modélisation physique disponibles au CRPG qui constituent l'originalité de ce projet.

Notre effort d'analyse portera sur plusieurs axes spécifiques:

- Les crises métallifères (W-Sn-As-Au-Sb-Be) de la période tardi-varisque : relations entre les transferts de fluides minéralisateurs et les magmatismes, dévolatilisation des magmas acides différenciés et transition magmatisme-hydrothermalisme.
- Les gisements VMS (Cu-Pb-Zn-Au) et les relations entre les circulations fluides, le magmatisme et le métamorphisme hercynien.
- La métallogénèse des marges continentales actives (Ag-Au-Cu-Co) : estimation de la durée des épisodes minéralisateurs, relations entre les transferts de fluides et le volcanisme tardi-orogénique, identification des mécanismes tectoniques dominant dans le cadre de l'évolution crustale.
- Les transferts de matière et de fluides dans les couloirs de déformation ductile (décrochements et chevauchements) : applications aux gisements de rubis, de saphir et d'émeraude.
- Les gisements d'émeraude dans le monde : typologie et définition des métalotectes. Etablissement d'une banque de données permettant la caractérisation des modifications anthropiques

sur les gemmes (traitements) et les synthèses expérimentales.

Les outils employés à l'analyse de ces différents thèmes seront en premier lieu les méthodes de la géologie structurale, de la pétrographie, de la minéralogie et de l'analyse géochimique majeurs et traces. En second lieu, nous y ajouterons les méthodes d'analyse des fluides (inclusions fluides, géochimie des isotopes stables), du traçage des sources (géochimie des isotopes stables et radiogéniques) et de la modélisation chimique (bilan) des interactions fluides-roches.

Un développement particulier sera apporté dans le domaine de la géochronologie des événements minéralisateurs pour réduire toujours plus la gamme d'incertitude. Cet effort portera sur les phases associées (gangue) au moyen des méthodes K-Ar, Ar/Ar, ainsi que U-Th-Pb et Rb-Sr *in situ* (sonde ionique) et également sur les minéralisations elles-mêmes (Rb-Sr sur sphalérite, U/Pb sur scheelite et wolframite, Re-Os sur sulfures).

L'ensemble des observations acquises à plusieurs échelles, des mesures analytiques et des datations seront utilisées pour la construction de modèles

quantitatifs géodynamiques spatio-temporels. Les points suivants seront particulièrement étudiés: (i) la déformation des champs à fortes contraintes ayant conduit à la formation des drains préférentiels pour la circulation des fluides minéralisateurs (sujet en relation avec celui des *modélisations thermiques, cinétiques et géochronologiques des orogènes*), (ii) les transferts de chaleur par conduction ou advection dans la lithosphère lors de la déformation ou dans les fluides, y compris les magmas, (iii) l'origine des fluides minéralisateurs (traçage isotopique), leurs conditions X-P-T, leur stabilité thermodynamique et leur transport dans la lithosphère, (iv) la dissolution, le transport et le dépôt des métaux et gemmes, et la formation des minéralisations d'intérêt économique. L'objectif à terme est la construction de modèles numériques robustes intégrant tous les aspects ci-dessus pour mieux comprendre les processus sous-jacents aux mécanismes de formation des gisements, et fournir un outil global de prédiction lors des stratégies d'exploration. Pour atteindre ces objectifs, les outils de modélisation géométrique (gOcad), physique et thermique (Thermass), et chimique (Eq6) seront utilisés en collaboration avec les thèmes orogénèse et gOcad du CRPG, et les

groupes compétents reconnus dans ce domaine (voir ci-dessous).

Les résultats majeurs que nous visons pour les 4 ans à venir portent sur :

- un perfectionnement des modèles métallogéniques. Ceci devrait permettre au moyen du traçage des sources des métaux et des mécanismes de transferts de ceux-ci de mieux appréhender le couplage entre évolutions tectoniques profondes et superficielles et la modélisation 3D.
- l'optimisation des moyens analytiques du CRPG dans le domaine de la géochronologie (U-Th-Pb et Rb-Sr par sonde ionique notamment)
- la détermination des spéciations moléculaires des fluides pegmatitiques dans les minéraux à anneaux silicatés (exemple des émeraudes) au moyen de la spectroscopie infrarouge. Les conséquences de ces recherches en terme de traçage d'origine sont économiquement très importantes et devraient permettre de développer une action de valorisation de la recherche.
- l'extension de notre expertise sur l'origine des gemmes à partir de moyens analytiques avancés (isotopes stables, sonde ionique, infrarouge)

Principaux chantiers :

- domaines orogéniques hercyniens d'Europe et du Maghreb. Relations circulations fluides et tectonique à la fin du Carbonifère; granites à métaux rares
- domaine orogénique pan-africain (Maroc). Gisements épithermaux à Ag-Au-Co.
- zone de décrochement du Fleuve Rouge au Vietnam, gisements de rubis du Pakistan, Népal et Birmanie; source des métaux (Al, Cr, Fe, Ti, C) et des fluides dans le cadre de la genèse des gisements de rubis et de saphir. Caractérisation de la composition isotopique en oxygène des rubis et saphirs (traceur des sources géologique et géographique)
- les gisements d'émeraude dans le monde (Madagascar, Russie, Brésil, Zambie, Afghanistan, Colombie); établissement d'une banque de données géologique, minéralogique et géochimique des gisements.

COLLABORATIONS ACTIVES

Université de Stanford, USA ; Impérial College, UK; Univ. FU-Berlin, Allemagne; PUC Rio de Janeiro, Brésil; Univ. Freiberg, Allemagne; IFP (Paris), UMR G2R, BRGM, GDR ZAM, GéoFrance 3D, consortium gOcad (45 universités et 28 industriels), CPB Nancy ; GDF ; TOTAL-ELF-FINA ; CGG; Chevron (US); SOCOMINE ; Géosciences Azur (Université de Nice), Université de Rennes ; IPG Strasbourg ; Université de Liverpool, GB ; Université de Cork, Irlande ; IRD ; LEM-UMR 7569; SCNST-Institut de Géologie d'Hanoï, Vietnam; Geological Survey of Pakistan à Islamabad; Université de Katmandou, Népal; Institut de gemmologie Gubelin, Suisse ; Univ. de Wittwaterrand, Afrique du Sud; Univ. de Novossibirsk et de Ulan Ude, Russie; Kola Science Center, Russie; Univ. de Porto, Portugal.

FINANCEMENTS

TEMPUS (CEE), COFECUB (Comité Français d'Evaluation de la Coopération Universitaire avec le Brésil); ASGA (Consortium gOcad); GDF; IFP; TOTAL-ELF-FINA; Chevron (US); GéoFrance3D; ECODEV Soultz; GDR ZAM ; projet fédérateur UMR ; INSU Intérieur de la Terre (thème Ultra Haute Pression) ; DBT ECODEV projet Soultz-sous-Forêts ; Coopération Luso-française CRPG-INPL-Université Porto ; IRD : Projet rubis-Pakistan:- Ministère des Affaires Étrangères- Ambassade de France à Islamabad; Geological Survey of Pakistan; GéoFrance 3D, ANDRA; Société REMINEX et Ministère de l'Industrie; projet métallogénie de la marge mexicaine (Mexique-France); Société Mauboussin; GDR métallogénie (INSU), PICS Programme International de Coopération Scientifique (Novossibirsk, Russie - CNRS) ; Coopération Franco-Russe sur les PGE (Eléments du Groupe Platine) (CNRS- Académie des Sciences); PICS Programme International de Coopération Scientifique (Maroc Tunisie - CNRS).

CHERCHEURS ET ÉTUDIANTS IMPLIQUÉS

	<i>Le développement sur l'usage de la modélisation des objets géologiques</i>	<i>Les modélisations thermiques, cinétiques et géochronologiques des orogènes</i>	<i>La métallogénie et les gemmes</i>
Chercheurs			
B. Charoy			*
A. Cheilletz		*	*
E. Deloule		*	*
S. Duchêne		*	
M. Ford		*	
D. Gasquet		*	
G. Giuliani			*
P. Jacquemin	*		
C. Le Carlier	*	*	*
B. Luais		*	
J.L. Mallet	*	*	
C. Marignac		*	*
M. Ohnenstetter			*
L. Reisberg			*
J.J. Royer	*	*	*
Post-Docs			
P. Audigagne		*	
R. Cognot	*		
M. Diraison	*	*	
B. Levy	*		
S. Muller	*		
A. Shtuka	*		
Doctorants			
P. Alexandrov			*
M. Apfel		*	
G. Caumont	*		
S. Conreux	*		
M. Dazy	*		
C. Gallera	*		
O. Grosse	*		
T. Jérôme		*	
D. Ledez	*		
G. Levresse			*
J. Massot	*		
P. Nivlet	*		
B. Sabot			*
O. Voutay	*		



ENVIRONNEMENTS ET PALÉO-ENVIRONNEMENTS

Nos objectifs sont de comprendre et de quantifier les processus qui conditionnent les environnements anciens et actuels de la Terre, et notamment les effets de certaines activités anthropiques. Dans ce thème, les études viseront à décrypter, par le biais de traceurs chimiques et isotopiques, les informations sur les conditions environnementales délivrées aussi bien par les roches anciennes, les microfossiles et les paléofluides, que par les systèmes hydriques actuels, les filtres naturels de la matière atmosphérique, et les matériaux anthropiques. Conceptuellement, notre démarche est double: i) étudier les environnements actuels pour mieux comprendre les environnements anciens de notre planète, et ii) étudier l'ancien pour intégrer le temps dans les modèles physico-chimiques d'évolution des conditions environnementales. Pour cela, nos projets de recherche impliquent des échelles de temps diverses, allant de celles d'expériences en laboratoire à celles des ères géologiques, et font tous appel à des outils et des

raisonnements communs : l'utilisation des traceurs géochimiques pour l'identification des sources de matière, des conditions et des processus de leur formation ou transformation. Ces traceurs apportent des informations directes et ponctuelles qui peuvent être intégrées dans des modèles de cycles géochimiques à différentes échelles. Pour ces recherches nous nous attachons à développer de nouveaux traceurs chimiques et isotopiques spécifiques: (1) des conditions (paléo)environnementales, (2) de la dynamique de l'érosion, (3) des processus physico-chimiques de l'altération, et (4) de l'identification des sources dans les processus de transport, notamment dans le cas de pollutions. Ces développements, couplés aux approches minéralogique et expérimentale, s'appuient sur le potentiel analytique du CRPG, et portent principalement sur la microanalyse des isotopes stables et les isotopes cosmogéniques et radiogéniques de l'hélium. Nous présentons ici nos actions de recherche et les développements analytiques spécifiques engagés.

ACTIONS DE RECHERCHE

Les projets développés s'appuient sur les programmes nationaux de recherches fondamentales (PNSE, ECLIPSE, NOMADE...) et sur des programmes de recherches plus finalisés (ANDRA, FORPRO, CEA, EDF...). Ces recherches sont principalement menées dans le cadre de 7 actions :

1 - TRAÇAGE HYDRO-GÉOLOGIQUE AUTOUR DU LABORATOIRE SOUS-TERRAIN DE BURE (ANDRA).

La réalisation de ce laboratoire a débuté en 2000. Le stockage en profondeur de déchets radio-actifs suppose une connaissance détaillée de l'hydrologie de la formation hôte et du bassin en général. Les propriétés exceptionnelles de très faible porosité de la formation hôte font que jusqu'à présent l'hydrologie de ce type de roche n'avait jamais été étudiée. Nous sommes engagés sur le plan de l'analyse des fluides présents dans la porosité de ces roches. Il s'agit de développer des

protocoles fiables d'extraction de l'eau et des gaz en vue de leur analyse élémentaire et isotopique. Ces données permettront de déterminer l'origine de l'eau, les interactions eaux roches et donneront des indications importantes sur les temps de résidence de l'eau dans la formation. A l'échelle du bassin les analyses de gaz rares dissous dans les eaux permettront de déterminer les flux entre les différents aquifères qui interagissent avec la formation hôte.

2 - BASSINS VERSANTS ET BILANS HYDROLOGIQUES : ZONE ATELIER MOSELLE.

Dans ce projet multidisciplinaire qui réunit 14 laboratoires de la région Lorraine, nous sommes impliqués 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 géochimiques (éléments majeurs, isotopes stables, Sr, TR...). Les traceurs utilisés permettent d'une part de déterminer les sources de matériel dissous et d'autre part de quantifier des flux. Ces traceurs sont sélectionnés pour leurs caractères spécifiques. En particulier, l'eau de la Moselle à Nancy est très largement marquée par l'érosion des roches carbonatées qui forment la plupart de la partie basse

du bassin. Nous nous attachons à développer des traceurs spécifiquement influencés par la partie cristalline du bassin comme les terres rares. L'ensemble de ces données sera intégré dans un modèle hydrochimique destiné à déterminer les flux d'eau et les flux d'érosion dans les différents compartiments du bassin. En outre les recherches menées sur ce bassin relativement simple du point de vue géologique permettront d'aborder le problème du comportement isotopique de certains éléments comme le Li, B ou Ca dans les processus de surface et donc le développement de nouveaux traceurs de ces processus.

3 - STABILISATION ET DISPERSION DES POLLUANTS.

Outre la caractérisation chimique et minéralogique de divers effluents issus de l'activité anthropique (boues d'épuration, résidus d'incinération, scories, mâchefers, paléoméallurgie etc.), nous nous focalisons, dans cette action, sur l'étude des verres de confinement et leur comportement à long terme. Pour aborder ce problème de durabilité chimique des verres et mieux en comprendre les mécanismes, point préalable à toute opération de stockage, nous couplons 2 approches ayant pour but, l'une l'étude d'analogues naturels (vitreaux médiévaux, ou paléoscories), et l'autre l'étude de l'altération de verres modèles.

Sur ce dernier point, nous avons mis au point une nouvelle approche, basée sur l'altération expérimentale de verres modèles par traçage isotopique de la solution altérante en $^{18/17}\text{O}$, ^{29}Si et D, et sur l'étude de l'évolution des rapports isotopiques

dans le gel d'altération par la réalisation de profils en profondeur à l'aide des sondes ioniques du CRPG-CNRS (ims 3f et ims 1270). Ces expériences permettront d'acquérir des données capitales sur les mécanismes d'altération des verres et de formation du gel, tant en ce qui concerne les échanges réels gel-solution, que les cinétiques de dissolution, la mesure des zones d'inter-diffusion ou l'obtention des coefficients de diffusion du silicium dans l'eau interstitielle des pores du gel. Ces études, menées en collaboration avec le CEA et EDF, sont essentielles pour parfaire, par exemple, les codes de calcul de sûreté des verres de confinement des déchets nucléaires lors de leur stockage, de façon à modéliser au mieux leur comportement à long terme et les cinétiques de relâchement des radionucléides

4 - COUPLAGE CLIMAT-TECTONIQUE SUR L'EXEMPLE DE L'ÉROSION HIMALAYENNE.

Sur ce bassin nous avons engagé un ensemble de recherches combinant la connaissance des mécanismes actuels d'érosion et la lecture de l'enregistrement sédimentaire de l'érosion. Les axes suivis sont (1) la quantification des vitesses d'érosion à l'aide d'outils issus des applications chronologiques de la géochimie de l'hélium. L'objectif est de déterminer les vitesses d'érosion dans les différents compartiments structuraux de la chaîne. Ces données serviront à estimer l'importance des facteurs climatiques et tectoniques sur le contrôle de l'érosion, (2) la comparaison Himalaya occidental et oriental pour analyser le rôle du climat sur les processus d'érosion. La partie orientale de l'Himalaya est soumise à des précipitations nettement plus intenses que la partie occidentale. Nous avons engagé une étude du bassin du Brahmapoutre, qui

n'avait encore jamais été échantillonné pour déterminer quelles sont les différences de type d'érosion avec les bassins connus du Népal ou de la partie Ouest de l'Himalaya. (3) la recherche des variations du régime d'érosion en fonction des changements paléoclimatiques. Dans ce domaine il s'agit, à la suite des travaux réalisés sur le cône du Bengale, d'analyser comment varie le régime d'érosion en fonction des variations de la mousson et quelles sont les éventuelles rétroactions. Ces recherches portent sur les dernières variations glaciaire-interglaciaires qui sont bien connues du point de vue climatique et sur la transition du Miocène supérieur où des changements environnementaux majeurs interviennent mais où les variations climatiques sont énigmatiques.

5 - BIOMARQUEURS ET PALÉO-CLIMATS.

Le but de cette action est d'utiliser les développements analytiques des deux dernières années dans l'analyse ponctuelle des isotopes stables (en particulier rapport $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) pour développer les reconstructions paléo-environnementales à partir des compositions isotopiques de micro-fossiles. Deux types de travaux seront menés : (1) des études d'objets naturels (coraux et foraminifères) ainsi que de foraminifères cultivés en laboratoire pour mieux préciser les facteurs dont dépendent les fractionnements isotopiques entre calcite/aragonite et carbonate dissous et (2) des études de cas réels dans le but de reconstituer des paramètres paléoclimatiques sur des échelles de temps très différentes allant de l'échelle annuelle (bivalves des fumeurs hydrothermaux océaniques) au quaternaire récent, notamment les dernières glaciations (foraminifères benthiques et planctoniques), à l'échelle de plusieurs millions d'années (gastéropodes des

rivières). En ce qui concerne les glaciations récentes, deux types de problèmes seront abordés : d'une part comment ont varié les températures de surface de l'océan lors des périodes glaciaires et d'autre part quelles étaient les températures de l'océan profond pendant les phases glaciaires, ce qui a entre autres des implications sur la quantification des volumes des calottes glaciaires.

Un des facteurs limitant de ce type d'approche est l'existence d'un «effet vital» c'est à dire de processus qui modifient le fractionnement isotopique inorganique entre l'eau et les carbonates. Cet effet vital est spécifique pour chaque espèce et nos résultats sur les coraux montrent qu'il correspond en fait à une distribution complexe des compositions isotopiques des tests carbonatés à l'échelle micro-métrique. Une part importante de notre recherche consistera donc à mieux contrôler cet effet vital et à comprendre les mécanismes qui le déterminent.

6 - TRAÇAGE DES SOURCES DES AÉROSOLS ET CIRCULATIONS ATMOSPHÉRIQUES .

Des échantillons intégrant le signal atmosphérique sur différentes périodes de temps sont étudiés (simple précipitation et intégration de plusieurs événements ; carottes de neige ; lichens épiphytes). L'analyse des éléments majeurs et traces de ces échantillons nous permet de quantifier des flux de dépôt (des métaux lourds par exemple) et d'estimer les processus de transfert atmosphérique des

éléments entre différents réservoirs (océan-atmosphère par exemple). L'analyse isotopique nous permet d'identifier les sources des éléments d'origine naturelle (Sr, TR, B) et des éléments d'origine anthropique (Pb). Des chantiers sont en cours en Europe de l'Ouest, en Russie (Kola), en Asie (Népal-Bangladesh) et en Amérique du Nord (Nord-Est, Nord-Ouest et Californie).

7 - LES OCÉANS ET L'ATMOSPHÈRE ARCHÉENS : L'ENREGISTREMENT DES CHERTS.

La description du climat à cette période la plus reculée de l'histoire de la Terre (3,5 milliards d'années) repose essentiellement sur des modèles et peu de données géologiques convaincantes. Des problèmes du premier ordre ne sont pas réglés : (1) la température à la surface de la planète et dans les océans (2) la composition chimique des océans et de l'atmosphère (3) les métabolismes et les structures biologiques des premiers êtres vivants. Ces questions seront abordées à partir de l'étude des sédiments les mieux préservés de l'histoire primitive de la Terre que sont les «cherts» qui ont préservé des micro fossiles organiques, du kérogène et des inclusions fluides témoins des compositions

isotopiques de l'azote et du carbone précambrien. Nous étudierons (1) la composition isotopique en gaz rare et en azote des inclusions fluides et les compositions chimiques et isotopiques des éléments majeurs, notamment le B, l'O et le Si. Les compositions isotopiques de la silice et de l'oxygène doivent permettre de préciser la température des océans précambriens. La composition chimique en majeurs est un traceur de l'origine mantélique ou continentale de la silice qui les constitue. Les compositions isotopiques des inclusions fluides nous renseignent sur l'atmosphère précambrienne.

DÉVELOPPEMENTS ANALYTIQUES

1 - MICROANALYSE DES ISOTOPES STABLES

Dès 1947, Harold C. Urey a posé les principes de l'utilisation des isotopes stables comme indicateurs paléoclimatiques : les compositions isotopiques des éléments légers (H, C, O) des minéraux dépendent de celles du milieu de formation et de la température. Ce principe a été largement utilisé depuis 40 ans pour la reconstitution des climats à partir des compositions isotopiques du carbone et de l'oxygène de microfossiles océaniques. Le développement récent des techniques d'analyse permettent d'une part d'aborder des éléments peu utilisés jusque là (B, Li, Si...) et d'autre part d'affiner notre échelle d'investigation en particulier grâce aux sondes ioniques.

Nous avons largement engagé les développements de la microanalyse des compositions isotopiques de éléments légers à la sonde ionique ims 1270. La faisabilité des analyses sur carbonate et silicate est démontrée avec des précisions proches de celles des techniques classiques. Les développements envisagés portent (1) sur l'analyse de la matière organique sous diverses formes : pollens

pour l'information paléoclimatique, kérogène pour le suivi de la maturation organique, (2) sur des micro-particules tels que les argiles pour la reconstitution des milieux de pédogenèse ou les aérosols, (3) sur l'analyse de profils en profondeur dans des pellicules d'altération de verres (Si, O et D) pour comprendre les mécanismes d'altération des verres et quantifier leurs cinétiques.

Avec l'acquisition d'un nouveau spectromètre de masse au laboratoire des isotopes stables en 2000 nous développerons l'analyse isotopique couplée d'hydrogène et d'oxygène de très petits échantillons organiques ou minéraux en flux continu. Ceci se fera par le biais d'un couplage entre un spectromètre de masse à gaz et un analyseur élémentaire. Cette technique est rendue possible grâce à la nouvelle génération de spectromètre de masse qui permet d'analyser les compositions isotopique d'Hydrogène même sous un flux important d'He. Les applications porteront en particulier sur la matière organique fossile pour la reconstitution des conditions environnementales.

2 - LES POTENTIELS CHRONOLOGIQUES DES ISOTOPES DE L'HÉLIUM

L'hélium possède un chronomètre radiogénique ${}^4\text{He}$ (particule α), qui est un produit de décroissance de l'uranium et du thorium. La particularité de ce chronomètre est que l'élément fils (${}^4\text{He}$) diffuse très facilement dans les minéraux à basse température. Cette diffusion est favorisée par la nature inerte de ce gaz, son petit rayon atomique, et les traces a et de fission produites durant la décroissance de U et Th. ${}^4\text{He}$ est ainsi très facilement libéré dans les fluides crustaux ce qui en fait un outil très adapté à leur datation. Cependant, les potentialités chronologiques les plus importantes de ${}^4\text{He}$ ont été mises en évidence et calibrées très récemment. En effet, la méthode de datation (U+Th)/He s'avère être un des thermochronomètres les plus fiable qui permet, grâce à la très basse température de blocage dans l'apatite (80°C), d'avoir accès à des refroidissements très superficiels liés à des soulèvements d'amplitude limitée ou à des variations de la géomorphologie de surface comme la position des grands réseaux de drainage. Nous développons cette technique au CRPG pour étudier entre autres : la dynamique «soulèvement/érosion» dans le système himalayen et l'évolution de la morphologie des plateaux et des rifts du point triple Est-Africain au cours des 30 derniers Ma.

De plus, l'hélium possède un deuxième chronomètre potentiel, de nature cosmogénique. En

effet, certains éléments ont la particularité de produire des atomes d' ${}^3\text{He}$ lorsqu'ils sont exposés au bombardement des particules cosmiques. La quantité d' ${}^3\text{He}$ cosmogénique accumulée dans les roches est donc proportionnelle aux temps d'exposition de ces roches à la surface de la Terre. Nous disposons ainsi d'un chronomètre très intéressant pour dater les surfaces morphologiques (structurées par l'érosion ou par une activité tectonique plus directe) et les sédiments en cours de transport. Cette technique est, elle aussi, un outil de choix dans notre étude du système érosif himalayen que ce soit pour la datation des surfaces glaciaires dans la haute chaîne ou pour l'estimation du temps de transport des particules érodées. De plus, en couplant cette méthode avec certaines datations radiogéniques, il semble possible de mettre au point un paléo-altimètre absolu, que nous tenterons d'appliquer à la surrection des grands plateaux autour du globe (Ethiopie, Tibet, Andes) depuis quelques dizaines de Ma et à leurs effets potentiels sur les circulations atmosphériques globales ou régionales.

D'autres part, l'importance relative des deux isotopes de l'hélium varie de plusieurs ordres de grandeurs dans le système Terre, ce qui donne des signatures très différentes pour le manteau (3-32 Ra, où Ra est le rapport ${}^3\text{He}/{}^4\text{He}$ atmosphérique),

l'atmosphère (1 Ra) et la croûte continentale (0.005-0.05 Ra). De tels contrastes permettent de tracer facilement l'origine et les interactions des fluides crustaux, que ce soit dans les bassins sédimentaires ou dans les fluides hydrothermaux. Nous utilisons, entre autre, la mesure des isotopes de l'hélium dans les eaux des aquifères (nappes du Bassin de Paris par exemple) comme traceurs très sen-

sibles des transferts horizontaux et verticaux ou comme témoin des interactions eau/roche (étude du site de stockage de déchets nucléaires de l'Est de la France). Les gaz rares, et en particulier l'hélium, constituent donc autant d'outils (traceurs et chronomètres) pour aborder les problèmes de transfert de fluide et de matière au sein, et à la surface, de la croûte continentale.

3 - GÉOCHIMIE / BIOGÉOCHIMIE DE L'AZOTE DANS LA CROÛTE

Parmi les volatils des roches sédimentaires, l'azote présente un caractère unique car sa forme de haute température (l'ammonium) est compatible avec les structures cristallines des minéraux silicatés (micas et les feldspaths). L'ion ammonium étant très stable (il peut survivre à des processus de haute température : anatexie, assimilation) il est donc un traceur potentiel de l'implication du matériel sédimentaire dans les processus crustaux. Il peut être utile dans de nombreux domaines comme la biogéochimie, l'évolution atmosphérique, l'activité hydrothermale, l'exploration pétrolière, la paléontologie isotopique et les sciences du sol.

Cependant, sa nature compatible implique des relations étroites entre la quantité d'ammonium, la

minéralogie et la pétrologie des roches hôtes. Il peut être facilement détecté par microscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) mais les bandes d'absorption n'ont pas été calibrées. Quand ces microscopes auront été étalonnés, ils pourront être utilisés pour la détermination en routine des quantités d'ammonium dans les roches crustales.

L'étude de l'azote crustal, dans un futur immédiat, comprend la clarification de la géochimie de base de l'ammonium dans les roches crustales (coefficients de partage, relations entre la minéralogie et la pétrologie, chimie des relations entre les éléments traces et les majeurs, préservation des structures sédimentaires etc.), la calibration des microscopes FTIR et la préparation de standards.

4 - TRACEURS ISOTOPIQUES : ANALYSE DES ISOTOPES STABLES DU Pb, Mo ET Se AVEC LE MC-ICP-MS

La venue de spectromètres de masse à source plasma équipés d'une multi-collection a permis l'analyse de la composition isotopique de façon beaucoup plus précise qu'à l'aide de technique conventionnelle (TIMS) pour un bon nombre d'éléments comme les lanthanides et actinides, les métaux de transition, ainsi que les éléments légers comme Ca, Mg et Li. Nous développons actuellement à l'analyse isotopique du Pb, Mo et Se afin de pouvoir utiliser ces systèmes pour identifier des sources de métaux et/ou des processus physico-chimiques et biologiques responsables des fractionnements isotopiques naturels. Bien que les isotopes du Pb soient déjà utilisés comme traceurs des sources anthropiques dans différents milieux, l'avantage de l'analyse par MC-ICP-MS par opposition à l'analyse par TIMS, réside dans le fait d'une amélioration possible d'un facteur 10-20 au niveau de la précision des rapports isotopiques mesurés. Cette précision nous permettra de distinguer des sources d'émission possédant des compositions isotopiques de Pb très voisines. La géochimie isotopique du Se est beaucoup moins connue. Bien que des fractionnements isotopiques naturels aient été documentés (Krouse et Thode, 1962), les cause

de ces fractionnements sont peu connues. Le fractionnement biogénique et les changements des conditions redox sont certainement des processus favorables (Johnson et al. 1999). Nos analyses préliminaires montrent que nous pouvons mesurer les isotopes du Se avec le MC-ICP-MS avec une reproductibilité comparable à celle des mesures par NTIMS (Johnson et al. 1999), mais en utilisant une préparation chimique relativement simple, sans le recours d'un double traceur. La géochimie isotopique du Mo est totalement inconnue. Certaines études ont démontré un comportement géochimique du Mo particulier associé à la présence importante de matière organique et aux variations des conditions redox dans des sédiments. Nous pensons que ces conditions peuvent induire des fractionnements isotopiques naturels du Mo. Les isotopes du Mo sont donc des traceurs potentiels de certaines conditions environnementales. Nos analyses préliminaires avec le MC-ICP-MS montrent une reproductibilité possiblement suffisante pour observer des variations isotopiques naturelles du Mo. Dans un premier temps, nous testerons cette hypothèse sur différents matériaux géobiologiques.

CHERCHEURS, ÉTUDIANTS IMPLIQUÉS

	Andra	ZAM	Polluants	Érosion	Micro	Aérosol	Cherts	Azote
<i>Chercheurs</i>								
S. Boyd								X
J. Carignan		X	X			X		
M. Chaussidon				X	X	X	X	
E. Deloule	X		X					
C. France-Lanord	X	X		X	X			
G. Libourel			X					
B. Marty	X	X		X		X	X	
R. Pik	X			X				
A. Ploquin			X					
L. Reisberg		X		X				
J.J. Royer	X	X						
<i>Thèses</i>								
J. Aléon	1997 -					X		
E. Gayer	1999 -			X				
A. Pierson-Wickmann	1997-2000			X				
C. Rollion-Bard	1997 -				X			
N. Valle	1998 -		X					
S. Singh (Post doc)	1999-00			X				
C. Mahé (Post doc)	1999-00		X					

MOYENS ANALYTIQUES ACTUELS

Sondes ioniques ims 1270 et ims 3f : analyses isotopiques de O, B, Li, C, N, Sr

MC-Hex-ICP-MS Isoprobe : analyses isotopiques de Mo, Se, Pb

Spectrométrie de masse statique : analyses isotopiques des gaz rares (He, Ne, Ar, Kr, Xe) N

Spectrométrie de masse et couplage analyseur élémentaire : isotopes stable H, C, O, N, S

Spectrométrie de masse à thermoionisation : isotopes Sr, Nd, Os, Pb.

Salles de chimie : séparation chromatographique des éléments



**LES ACTIVITÉS DES
CHERCHEURS,
ENSEIGNANTS-CHERCHEURS
ET INGÉNIEURS DE
RECHERCHE**



Professor, section 35 CNU

Petrology group
33 (0)3 83 59 42 34
barbey@crpg.cnrs-nancy.fr

Research interests and active projects

Genesis and emplacement of granitic melts
Role of granites in the genesis and evolution of the continental crust
Mineral reactions during emplacement and consolidation of granites
Amazonian craton, Palaeoproterozoic of West Africa, Ethiopia, Variscan belt of western Europe

Teaching and supervision

Teaching :

Magmatic and metamorphic petrology, phase diagrams
DEA «Physique et Chimie de la Terre» (co-chairman) ; Scientific Council of the Henri Poincaré University (elected member)

Education and career

Doctorat, University Nancy I (1974)
Doctorat d'Etat, University Nancy I (1982)
Assistant (1973-1980)
Assistant Professor (1980-1989)
Professor University H. Poincaré-Nancy I (1989 ->)

Selected recent publications

- 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.
- Vigneressse J. L., **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.
- Barros C. E. M., Dall' Agnoll R., **Barbey P.**, Boullier, A. M. (1997). Geochemistry of the Estrela Granite Complex, Carajás Region, Brazil: an example of an Archaean A-type granitoid. *J. South Amer. Earth Sci.*, 10: 321-330.
- Barbey P.**, Marignac C., Montel J. M., Macaudière J., Gasquet D., Jabori J., (1999). Cordierite growth textures and the Conditions of Genesis and Emplacement of Crustal Granitic Magmas: The Velay Granite Complex (Massif Central, France). *J. Petrology*, 40, in press.



CNRS Research scientist, CR1 section 13

Geochemistry group
33 (0)3 83 59 42 21
sboyd@crpg.cnrs-nancy.fr

Research interests and active projects

Biogeochemical cycle of nitrogen and its interaction with the continental crust.
Role of geological processes in the evolution of the biosphere.

Education and career

1984-1987 : Ph.D thesis at the Open University, England. Development of static vacuum mass spectrometry. A study of carbon and nitrogen isotopes in diamonds.
1988-1991 : Research Fellow, Open University. Continued development of analytical techniques. Studies of nitrogen in crustal rocks and minerals.
1991-1992 : Associated Researcher, University of Paris. Design and construction of an extraction line for studying nanomole quantities of nitrogen in rocks and minerals.
1992-1997: CNRS researcher at Paris. Continued construction of extraction line and development of new analytical techniques. Calibration of FTIR bands in Type IaA and Type IaB diamonds. A study of Proterozoic metamorphic sediments from Scotland. Integration of biology and geology
1997-now: CNRS researcher at CRPG, Nancy. Continued integration of biology with geology.

Selected recent publications

- 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.** and Phillipot P. (1998) Precambrian ammonium biogeochemistry: a study of the Moine metasediments, Scotland.
- Boyd S.R.** (1997) Determination of the ammonium content of potassic rocks and minerals by capacitance manometry: a prelude to the calibration of FTIR microscopes. *Chem. Geol.*, 137, 57-66.
- 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.**, 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.**, 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



Emeritus research scientist

Petrology group

33 (0)3 83 59 42 34

billbr@crpg.cnrs-nancy.fr

Research interests and active projects

Microstructures and microtextures of rock-forming minerals, especially feldspars

Mechanisms and kinetics of crystallization of magmas

Differentiation of layered intrusions (especially Skaergaard, East Greenland)

Education and career

1948-1952 University of Edinburgh, B.Sc. Honours, Chemistry

1952-1954 University of Edinburgh, B.Sc. Honours, Geology

1955-1958 Swiss Federal Institute of Technology, Zurich (ETH). Dr.Sc.Nat. Thesis on the feldspars under the direction of F Laves

1959-1960 Research associate in Mineralogy, Pennsylvania State University, USA

1960-1962 Lecturer in Mineralogy, Swiss Federal Institute of Technology, Zurich

1962-1966 Lecturer in Geology, University of Manchester, England

1966-1969 Maître de Conférences associé, Faculté des Sciences, Paris

1969-1973 Professeur associé, University of Paris 6

1973-1984 Professeur associé, University of Nancy 1

1984-1997 Research scientist, CNRS, CRPG

1997- Emeritus research scientist, CNRS, CRPG

Selected recent publications

Parsons I., **Brown W. L.**, Smith J. V. (1999) $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ thermochronology using alkali feldspars: real thermal history or mathematical mirage of microtexture? *Contrib Mineral Petrol* 136: 92-110

Lee M. R., Waldron K. A., Parsons I., **Brown W. L.** (1997) Feldspar—fluid interactions in braid microperthites: pleated rims and vein microperthites. *Contrib Mineral Petrol*, 127: 291-304

Brown W. L., Lee M. R., Waldron K. A., Parsons I., (1997) Strain-driven disordering of low microcline to low sanidine during partial phase separation in microperthites. *Contrib Mineral Petrol*, 127: 305-313

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

Brown W. L. (1993) Fractional crystallization and zoning in igneous feldspars: ideal water-buffered liquid fractionation lines and feldspar zoning paths. *Contrib Mineral Petrol* 113: 115-125.

Smith J. V., **Brown W. L.** (1988) *Feldspar minerals*, Springer Verlag, Heidelberg, 828 p.



CNRS Research Engineer, IR

Director of the S.A.R.M.

33 (0)3 83 59 42 17

carignan@crpg.cnrs-nancy.fr

Research interests and active projects

Major and trace element analytical chemistry

Isotope geochemistry

Analytical development and characterisation of geostandards

Atmospheric chemistry (precipitations, lichens, ...), pollution dispersion, aerosol sources

Chemical and isotopic composition of the eroding crust

Hydrochemistry : tracing of erosion processes

Teaching and supervision

Teaching :

Analytical geochemistry, atmospheric chemistry

Supervision :

Supervisor for graduate students in trace element and isotope geochemistry

Education and career

1992 - Ph.D. in isotope geochemistry (Univ. du Québec à Montréal - UQAM)

1993-1994 - post-doc Université de Montréal and Carnegie Institution of Washington (DTM)

1995 - research associate GEOTOP-UQAM and McGill University.

1996-present - Research Engineer at CRPG-CNRS. Head of the National Analytical Service

Selected recent publications

Doucet F. and **Carignan J.** Atmospheric Pb isotopic composition and trace metal concentration as revealed by epiphytic lichens: an investigation related to two altitudinal transects in eastern France (submitted to Atmospheric Environment).

Rose E.F., **Carignan J.** and Chaussidon M. Transfert of atmospheric Boron from oceans to continents : an investigation using precipitation waters and epiphytic lichens. (submitted to JGR-Atmosphere)

Simonetti A., Gariépy C. and **Carignan J.** (1999) Pb and Sr isotopic compositions of snowpack from Québec, Canada: inferences on the sources and deposition budgets of atmospheric heavy metals. Geochim. Cosmochim. Acta (in press).

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. and 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, No 21, pp. 4427-4433.



Assistant Professor, section 35 CNU

Petrology group

33 (0)3 83 59 42 48

chalot@crpg.cnrs-nancy.fr

Research interests and active projects

Dynamic of volcanic eruptions and petrogenesis of silicated basic and acid magmas
Relationships between volcanic and sedimentary processes, and deformation of the lithosphere
Formation of continental and oceanic lithospheric mantle and mantle-crust relationships
Petrogenesis of immiscible carbonatitic and silicated liquids

Teaching and supervision

Teaching :

Mapping and Petrography of volcanics in old and recent areas, Volcanology (Lectures and practicals), Magma and Mantle Petrology (Lectures and practicals)
Programs for 4 years and annual schedules in Earth Sciences for students interested in becoming teachers in Geology and Biology in High Schools and Colleges

Education and career

1976 : PhD of the University of Caen (France) : «Cambrian rhyolitic volcanism in the eastern part of the Armorican Massif (Ecouves and Multonne Massifs): volcanology and petrology»
1976-1979 : Post-Doc at the Polytechnic School of Montréal (CANADA)
1981-1988 : Lecturer at the University of Fès (MOROCCO)
1989 until now : Lecturer at the University of Nancy (FRANCE)
1990 : PhD of the University Pierre et Marie Curie of Paris VI (France) : «Petrogenesis of an intracontinental late-orogenic hercynian volcanism: study of the Tazekka carboniferous volcanic complex and similar volcanic zones in Mekkam and Jerada areas (Eastern Morocco)

Selected recent publications

- Chalot-Prat, F.** and Arnold M, 1999. Immiscibility between calcio-carbonatitic and silicate melts, and related wall-rock reactions in the upper mantle: a natural case study from Romanian mantle xenoliths. *Lithos*, 46/4, 627-659
- Chalot-Prat, F.** et Bouillier AM 1997 Metasomatism in the subcontinental mantle beneath the Eastern Carpathians (Romania): new evidence from trace element geochemistry, *Contr. Miner. Petrol.* , 129, 284-307.
- 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. Magnetostratigraphy and timing of the Oligocene Ethiopian traps. *Earth Planet. Sci. Lett.*, Vol. 164, pp 497-510.



Assistant Professor, section 35 CNU

Petrology group

33 (0)3 83 59 42 38

bcharoy@crpg.cnrs-nancy.fr

Research interests and active projects

Hydrothermal alterations

Petrology of granitic rocks

Petrology of granitic rocks

Sn mineralization

Teaching and supervision

Teaching :

Crystallography, mineralogy of silicates, field on folded terranes

Education and career

Associate Professor at Ecole Nationale Supérieure de Géologie in Nancy (France)

Selected recent publications

- Charoy B.**, Lhote F., Dusausoy Y. and Noronha F. (1992): The crystal chemistry of spodumene in some granitic aplite-pegmatite of Northern Portugal. *Can. Mineral.*, 30, 639-651.
- 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, 919-962.
- Charoy B.**, Chaussidon M. and 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.
- 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 Pinto-Coelho C. (1996): Channel occupancy in an alkali-poor beryl from Serra Branca (Goias, Brazil): spectroscopic characterization. *Am. Mineral.*, 81, 395-403.
- Charoy B.** (1999): Beryllium speciation in evolved granitic magmas: phosphates versus silicates. *Eur.J. Mineral.*, 11, 135-148.



CNRS Research Director, DR2 section 13

Director of the Geochemistry group

33 (0)3 83 59 42 25

chocho@crpg.cnrs-nancy.fr

Research interests and active projects

Stable isotope study by ion microprobe of melt inclusions in mantle rocks and of inclusions in mantle minerals (source compositions, interactions with the crust)

B isotope fractionation in the surface cycle, in particular during weathering processes in soils

Environmental changes on the Earth during the archaean from the isotopic study of archaean metasediments

Isotopic studies of SNC meteorites related to their petrogenesis

Cosmochemistry of Li-Be-B elements with a special emphasis on their presolar and solar nucleosynthesis

Irradiation processes in the early solar system (Li, B, C and N isotopic composition of the Solar wind, isotopic studies of refractory inclusions in chondrites and of iron meteorites)

Teaching and supervision

Teaching :

Cosmochemistry, geochemistry, mass spectrometry

Supervision :

Jerome Aléon (with Dr. Bernard Marty) : Oxygen isotopic geochemistry of atmospheric aerosols

Claire Rollion-Bard (with Dr. Christian France-Lanord) : Stable isotope (B, C, O) studies of paleoenvironmental proxies

Education and career

1985 : ingénieur géologue de l'Ecole Nationale Supérieure de Géologie de Nancy

1988 : Ph-D thesis at Institut National Polytechnique de Lorraine (CRPG-CNRS): «Geochemistry of sulfur in the mantle and the oceanic crust: in situ isotopic analysis by ion microprobe». Advisors S.M.F. Sheppard and F. Albarède

1988-present : CNRS researcher at CRPG, Nancy

Selected recent publications

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.

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.

Chaussidon M. & Robert F. (1998) $7\text{Li}/6\text{Li}$ and $11\text{B}/10\text{B}$ variations in chondrules from the Semarkona unequilibrated chondrite. *Earth Planet. Sci. Lett.* 164, 577-589.

Hanon P., **Chaussidon M.** & Robert F. (1999) Distribution of Li-Be-B in meteoritic chondrules. *Meteoritics Planet. Sci.* 34, 247-258.

Rose E. F. R., **Chaussidon M.** & France-Lanord C. Fractionation of boron isotopes during erosion processes : the example of Himalayan rivers. *Geochim. Cosmochim. Acta.* (in press)

Chaussidon M. & Robert F. Lithium nucleosynthesis in the Sun inferred from the Solar wind $7\text{Li}/6\text{Li}$ ratio. *Nature* (in press)



Professor, section 35 CNU, section 11 CNRS

Geodynamics group

33 (0)3 83 59 42 33

cheille@crpg.cnrs-nancy.fr

Research interests and active projects

Orogenic processes, metallogenesis, geochronology and thermochronology

Metallogeny, mineralogy and gems: identification of atomic and molecular tracers for characterising silicate ring-structure minerals such as beryl. Determination of the authenticity and origin of emeralds.

Metallogeny of active margins: study of the mechanisms controlling mass transport in the continental lithosphere by means of Ag-Au-Co-Hg concentrations in active margin environments

Geochronology: K-Ar, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ and U-Th-Pb methods; development of analytical techniques and their application to Earth sciences

Teaching and supervision

Teaching:

Courses and field courses in igneous petrology, metallogeny and geodynamics (INPL-ENSG)

Supervision of Ph-D theses :

Pavel Alexandrov : $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology of the Caledonian and Hercynian segments of the Variscan chain, Haut Limousin and eastern Pyrénées, France

Bruno Sabot (with P de Donato, LEM) : Geology, mineralogy and geochemistry of emerald deposits of the world

Gilles Levresse (with D. Gasquet) : Metallogeny of the Imiter Ag-Hg deposit of the Moroccan Anti-Atlas

Education and career

Ph-D 1984, INPL-ENSG : Contribution à la géologie du district polymétallique (W-Mo-Cu-Pb-Zn-Ag) du Djebel Aouam (Maroc Central). Application à la prospection des gisements de tungstène

1975 - 1998 : Lecturer, Assistant Professor at INPL-ENSG

1989 - 1990 : Sabbatical year at Queen's University, Ontario, Canada

1998 - : Professor at INPL-ENSG

Elected member, CNU section 35.

Associate Editor, Mineralium Deposita

Selected recent publications

Cheilletz A., Féraud G., Giuliani G. and Ruffet G. (1993). Emerald dating through $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ step-heating and laser spot analysis of syngenetic phlogopite. *EPSL* 120 (1993), pp.473-485.

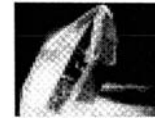
Scaillet S., **Cheilletz A.**, Cuney M., Farrar E., Archibald D. A. (1996) Cooling pattern and mineralization history of the Saint Sylvestre and western Marche leucogranite pluton, French Massif Central : I. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ isotopic constraints. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol 60, No 23, pp. 4653-4671.

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

Cheilletz A., Giuliani G. (1997). La double origine des émeraudes (1997). *La Recherche*, N° 303, pp. 48-52.

Cheilletz A., Ruffet G., Marignac C., Kolli O., Gasquet D. and Féraud G. (1999). $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of shear zones in the Variscan basement of Greater Kabylia (Algeria). Evidence of an Eo-Alpine event at 128 Ma (Hauterivian-Barremian boundary) : geodynamic consequences. *Tectonophysics*, 306, 97-116.

Branquet Y., Laumonier B., **Cheilletz A.**, Giuliani G. (1999). Emeralds in the Eastern Cordillera of Colombia : Two tectonic settings for one mineralization. *Geology*, V27, 7, 597-600.



CNRS Research scientist, CR1 section 13

Geochemistry group, in charge of ion microprobes analysis

33 (0)3 83 59 42 21

deloule@crpg.cnrs-nancy.fr

Research interests and active projects

Origin of water in the solar system and water behavior in the condensation process .

Water Cycle and exchange between mantle - crust and ocean

Budget of the hydrothermal alteration of the oceanic crust and Li cycle: analysis of Li content and isotopic ratio on basalt glasses and oceanic peridotites.

Datation of hydrothermal circulations : development of U-Pb and Rb-Sr datations by ion microprobe or LA-ICP-MS on accessory minerals of hydrothermal deposits.

Trace elements and stable isotopes behavior and budget in subduction process: geochemical study of the eclogitic massive of Dabie Shen.

TECHNICAL : development of trace elements and isotopic ratios measurements and of datations by ion microprobe.

Teaching and supervision

Teaching :

High level courses in Isotope Sciences (Metz University),

Supervision :

Sylvie Decitre thesis : Lithium behavior during hydrothermal alteration of the oceanic crust and the lithium global cycle.

Peggy Georges thesis : experimental study of potassium condensation in silicate melt and its implication for the meteoritic chondrules formation process.

Natalie Valle thesis : experimental isotopic tracing of hydrothermal alteration processes of nuclear wastes confining matrix.

Education and career

First Thesis at the University Paris VII (1981).

Doctorat ès Sciences, Nancy, (1991).

1981-1982 : Assistant-professor at the University Paris VII, in the Geochemistry Cosmochemistry laboratory (Professor Allègre)

1982-1988 : CNRS Researcher. Geochemistry Cosmochemistry laboratory, Institute of earth physics of Paris and University Paris VII. Research : isotopic signatures to study ore deposits

1988- present : CNRS Researcher at CRPG (Center for Petrographic and Geochemical Research), Nancy. Research : Water distribution and exchange in the Earth mantle and in meteorites.

Oct. 1992- May 1993 : Visiting associate at Caltech, div. of Geological and Planetary Sciences, laboratory of Pr. G. Wasserburg.

1988-1990 : Consulting for Cameca, ion and electron microprobe builder.

Selected recent publications

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

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.

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.

Deloule E., Robert F., and Doukhan J.C., :Interstellar hydroxyls in meteoritic chondrules : implications for the origin of water in the inner solar system, 1998, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 62, 3367-3378.



Assistant Professor, section 35 CNU

Petrology group

33 (0)3 83 59 42 24

duchene@crpg.cnrs-nancy.fr

Research interests and active projects

Sm-Nd and Lu-Hf geochronology
Chemical diffusion of major and trace elements in minerals
Crystal growth and textures of magmatic rocks
Exhumation kinetics of HP rocks in mountain belts
Crystallisation kinetics in lava lakes

Teaching and supervision

Teaching :

Lectures and Practicals at the Université Henri Poincaré - Nancy I. Isotope geochemistry, Metamorphic, Geology, Thermodynamics

Education and career

1993-1997 : Ph-D thesis at the University Claude Bernard, Lyon I, in the Earth Science Laboratory of the Ecole Normale Supérieure de Lyon : A geochronological and kinetic approach to the exhumation of eclogites in mountain belts
1997-1999 : ATER University Pierre and Marie Curie, Paris VI
1999- present : Assistant Professor at the Université Henri Poincaré - Nancy I

Selected recent publications

- Duchêne S.**, Blichert-Toft J., Luais B., Lardeaux J. M., Télouk P., Albarède F. (1997) The Lu-Hf Dating of Alpine Eclogites, *Nature*, vol 387, p 586-589
- Duchêne S.**, Lardeaux J. M., Albarède F. (1997) Exhumation of eclogites: insights from depth-time path analysis, *Tectonophysics*, vol 280, p 125-140
- Duchêne S.**, Albarède F., Lardeaux J. M. (1998) Mineral zoning and exhumation history in the Münchberg eclogites (Bohemia), *American Journal of Science*, vol. 298, p 30-59
- Duchêne S.** and Albarède F. (1999) Simulated garnet-clinopyroxene geothermometry of eclogites, *Contributions to Mineralogy and Petrology*, vol 135 p, 75-91



Professor, section 35 CNU

Director of the Geodynamics group

33 (0)3 83 59 64 53

mford@crpg.cnrs-nancy.fr

Research interests and active projects

Extensional basin evolution and inversion geometries, Variscan fold belt, SW Ireland
Kinematic evolution of the Western Alpine arc
Fault propagation folds and thrusting, external French Alps
Interaction of orogenic wedges and flexural foreland basins
Tectonic evolution of the Upper Rhine Graben (BRGM, Region, European Project)
Evolution of the Tertiary foreland basin around the western Alpine Arc
Integrated study of growth structures, 3D modelling of growth folds, SE Pyrenees, with GOCAD

Teaching and supervision

Teaching :

Dynamic Earth, Structural geology; Geological mapwork, Orogens, Basin geodynamics, Deformation of high grade terrains: metamorphic textures and fabrics, Techniques in structural geology for exploration geologists, Field mapping, Alpine geotraverse.

Responsible for the Petroleum Option at ENSG.

Ph-D supervision :

Thomas Jérôme : Three dimensional modelling of fault propagation growth folds. A study of the Sant Llorenç de Morunys growth fold pair, SE Pyrenees using GOCAD

Education and career

1998-present: Professor of Structural Geology and Tectonics, Ecole Nationale Supérieure de Géologie, Nancy, France

1999: Habilitation, ETH, Zurich, Switzerland : Foreland basin systems: an Alpine Perspective.

1990-1998: Oberassistent (Lecturer, Assistant Professor), Geological Institute, ETH, Zurich, Switzerland

1986-1990: Lecturer and Senior lecturer, Department of Geological Sciences, Plymouth Polytechnic, U.K.

1985-1986: Senior Demonstrator, Department of Earth Sciences, University of Liverpool, U.K.

1985: Doctorate (PhD) National University of Ireland, University College Cork. Title: Structural studies along a transect through the Variscides of west County Cork, Ireland.

Selected recent publications

Ford, M., Lickorish, W.H. & Kusznir, N.J. 1999. Tertiary foreland sedimentation in the Southern Subalpine Chains, SE France: a geodynamic appraisal. *Basin Research*, 11, 315-336.

Bürgisser, J. & Ford, M. 1998. Overthrust shear deformation of a foreland basin: structural studies south-east of the Pelvoux massif, SE France. *Journal of Structural Geology*, 20, 11, 1455-1475.

Ford, M., Williams, E.A., Artoni, A., Vergés, J. & Hardy, S. 1997. Progressive evolution of a fault propagation fold pair as recorded by growth strata geometries, Sant Llorenç de Morunys, SE Pyrenees. *Journal of Structural Geology*, 19, 3-4, 413-441.

Hardy, S. & Ford, M. 1997. Trishear above a propagating thrust: implications for fault propagation folding. *Tectonics*, 16 (5), 841-854.

Lickorish, W.H. & Ford, M. 1998. Sequential restoration of the Southern Subalpine Chain, SE France: implications for late Alpine tectonics. In: *Cenozoic foreland basins of western Europe*, Mascle, A., Puigdefàbregas, C., Luterbacher, H.P. & Fernandez, M. (eds), *Geological Society of London Special Publication*, 134, 189-211.

Williams, E.A., Artoni, A. Ford, M & Vergés, J. 1998. Alluvial gravel sedimentation in a contractional growth fold setting, Sant Llorenç de Morunys, South-eastern Pyrenees. In: *Cenozoic Foreland Basins of Western Europe*, Mascle, A., Puigdefàbregas, C., Luterbacher, H.P. & Fernandez, M. (eds), *Geological Society of London, Special Publication* 134, 69-106.



CNRS Research Director, DR2 section 11

Geochemistry group

33 (0)3 83 59 42 20

cfl@crpg.cnrs-nancy.fr

Research interests and active projects

Stable isotope geochemistry - Geochemistry of surface processes

Climate and tectonic interaction. Mountain building interactions with climate via a variety of processes including atmospheric CO₂ uptake by silicate weathering and organic carbon burial, changes in land/sea distribution which control the dynamic of the atmosphere and erosion which drives uplift in preferential areas.

Himalayan erosion processes. Using a variety of mineralogical and geochemical tools we characterize erosion processes active in the different parts of the range and we quantify the distribution of the erosion.

Proxies of paleo-environmental conditions using stable isotope and micro-analyses techniques.

Water budget in sedimentary formations. Water distribution and water-rock interactions

Teaching and supervision

Teaching :

Geochemistry of Stable isotopes. Carbon cycle and geochemical proxies of global changes. Himalayan orogeny.

Ph-D supervision :

Albert Galy: - Érosion et altération de l'Himalaya. Étude du système actuel au Népal central et enregistrement continental des Siwaliks. Doctorat de l'INPL 1999.

Estelle Rose (Co-dir. Marc Chaussidon) - Géochimie isotopique du bore dans les cycles supergènes d'altération. Doctorat de l'INPL 1999.

Anne-Catherine Pierson-Wickmann : (Co-dir. Laurie Reisberg) - Géochimie isotopique de l'O₂ dans le système d'érosion himalayen.

Claire Rollion-Bard:(Co-dir. Marc Chaussidon) - Développement de l'analyse isotopique C et O à la sonde ionique Cameca 1270 : application aux micromarqueurs des paléoenvironnements.

Education and career

1983-87 : PhD - INPL at CRPG-CNRS Nancy, Dirs. Simon MF Sheppard and Patrick Le Fort. Chevauchement, Métamorphisme et Magmatisme en Himalaya du Népal Central. Étude isotopique H, C, O.

1988 : Chargé de Recherches at CNRS - CRPG Nancy

1997-98 : Sabbatical at Cornell University. Ithaca NY - USA.

1998 : Directeur de Recherches at CNRS - CRPG Nancy.

Selected recent publications

Galy A. and **France-Lanord C.** (1999) Processes of the Weathering in the Gange-Brahmaputra basin and the riverine alkalinity budget. *Chem. Geol.* 159, 31-60.

Giuliani G., **France-Lanord C.**, Coget P., Schwarz D., Cheilletz A., Branquet Y., Giard D., Martin-Izard A., Alexandrov P., and Piat D. H. (1998) Oxygen isotope systematics of emerald: relevance for its origin and geological significance. *Miner. Depos.* 33, 513-519.

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

Derry L. A. and **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.

Derry L. A. and **France-Lanord C.** (1996) Neogene Himalayan weathering history and river 87Sr/86Sr: Impact on the marine Sr record. *Earth Planet. Sci. Lett.* 142, 59-74.

France-Lanord C. and Derry L. A. (1994) $\delta^{13}C$ 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.

France-Lanord C. and Sheppard S. M. F. (1992) Hydrogen isotope of pore waters and interlayer water in sediments from the Central Western Pacific. *Proc. ODP, Sci. Res.* 129, 295-302.

Dominique GASQUET



Assistant Professor, section 35 CNU

Geodynamic group

33 (0)3 83 59 42 43

gasquet@crpg.cnrs-nancy.fr

Research interests and active projects

Structural Petrology

Magmatism

Granitoids emplacement

Proterozoic tectonics

Teaching and supervision

Teaching :

Cartography, Structural analysis, Structural analysis

Education and career

Doctorat ès Sciences- Nancy (1991)

Ph Thesis- Grenoble (1979)

1980-1987 assistant professor at the Faculty of Sciences (Earth Sciences department) of Marrakesh (Morocco)

1987 - present : Associate professor, ENS Geology Nancy

Selected recent publications

Gasquet D., Leterrier J., Mrini Z. & Vidal Ph. (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.

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.

Aït Malek H., **Gasquet D.**, Leterrier J. & Bertrand J.M. (1998) - Géochronologie U-Pb sur zircon de granitoïdes éburnéens et panafricains dans les boutonnières protérozoïques du Kerdous, d'Igherm et du Bas Drâa (Anti-Atlas occidental, Maroc). *C.R. Acad. Sci., Paris*, 327, 819-826.

Cheilletz A., Ruffet G., Marignac C., Kolli O., **Gasquet D.**, Féraud G., Bouillin J.P. (1999). ³⁹Ar/⁴⁰Ar dating of shear zones in the Variscan basement of the Greater Kabylia (Algeria). Evidence of an Eo-Alpine event at 128 Ma (Hauterivian-Barremian boundary): geodynamic consequences. *Tectonophysics*, 306, 97-116.



IRD Research Director, DR2

Geochemistry group

33 (0)3 83 59 42 38

giuliani@crpg.cnrs-nancy.fr

Research interests and active projects

Fluid inclusions and stable isotopes applied to metallogeny
Geology and genesis of gemstones deposits (emerald and rubis)
Archeology of emerald artifacts by isotopic analyses

Teaching and supervision

Teaching :

Geology of ore and gem deposits, Fluid inclusions

Education and career

Ph D, 1982, CRPG/CNRS and INPL Nancy, France
Enabling to manage research, thesis, 1997, CRPG/CNRS and INPL, Vandoeuvre, France
Senior researcher of the Institute of Research for the Development (IRD/Paris), 1985
Directeur de Recherche at the Institute of Research for the Development (IRD), 1999

Selected recent publications

- 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*, 33, 513-519.
- Branquet Y., Cheilletz A., **Giuliani G.**, Laumonier B., (1999): Fluidized hydrothermal breccia in dilatant faults during thrusting: the Colombian emerald deposits case: Geological Society of London, Special Publication, 155, 183-195.
- Branquet Y., Laumonier B., Cheilletz A., **Giuliani G.**, (1999): Emeralds in the Eastern Cordillera of Colombia: Two tectonic settings for one mineralization. *Geology*. (in press)
- Giuliani G.**, Bourlès D., Massot J., Siame L.L. (1999): Colombian emerald reserves inferred from their hosting black shale leached beryllium. *Exploration and Mining Geology*. (in press)
- Giuliani G.**, Chaussidon M., France-Lanord C., Rollion C., Mangin D., Coget P. (1999) : Application de l'analyse isotopique par spectrométrie de masse et sonde ionique de l'oxygène des émeraudes naturelles. *Analisis* (sous presse).
- «L'émeraude». *Connaissances actuelles et perspectives futures*. Edition Association Française de Gemmologie, CNRS et ORSTOM. Editeur : D. Giard; Co-éditeurs : **G. Giuliani**, A. Cheilletz, E. Fritch, B. Gonthier, 248 p.



LE CARLIER DE VESLUD

CNRS Research Engineer, IR

Geodynamics group

33 (0)3 83 59 64 27

carlier@crpg.cnrs-nancy.fr

Research interests and active projects

Theoretical and numerical modeling of heat and mass transfers on geological objects

Applied mathematics

Application to real case studies (Oklo natural fission reactor, Soultz geothermal site, French Massif Central ore deposits, quantification of uplift rates)

Teaching and supervision

Teaching :

Numerical Analysis and Modeling at the Ecole Nationale Supérieure de Géologie (ENSG), Nancy

Education and career

1987: Ingénieur en Mécanique du Solide de l'Ecole Nationale Supérieure d'Electricité et de Mécanique de Nancy

1991: Ph-D Thesis (INPL, Mécanique-Energétique), «Création de logiciels d'éléments finis sur micro-ordinateur : Maillage automatique , Résolution auto adaptative de problèmes de Mécanique utilisant les méthodes multigrilles.» - Pr. G. Maurice, advisor

1992 - present: Research Engineer at CRPG, Nancy

Selected recent publications

Gérard B., Royer J.J., **Le Carlier de Veslud C.**, 1995, «Modelling heat and fluid transfers during natural nuclear reaction in the Oklo uranium deposit (Gabon)» in «4th joint EC-CEA progress and final meeting held in Saclay, France», June 1995.

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». *Geochim. & Cosmochim. 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)». *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 169, 1, pp 81-89.

Gérard B., Royer J.J., **Le Carlier de Veslud C.**, Pagel M., 1998, «Modélisation 3D des transferts thermiques et des fluides autour d'un réacteur naturel (Oklo, Gabon)». *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 169, 3.

Mahé-Le Carlier C., **Le Carlier de Veslud C.**, Ploquin A., Royer J.J., 2000. L'altération naturelle des scories de la métallurgie ancienne: un analogue de déchets vitrifiés. *C.R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la Terre et des planètes*. 330, 179-184.



Professor ENSG-INPL, section 35 CNU, section 11 CNRS.

Petrology group

33 (0)3 83 59 42 12

libou@crpg.cnrs-nancy.fr

Research interests and active projects

Experimental petrology on glass, melt and phase relationships at high temperature under controlled atmosphere. Structures, compositions and isotopic signatures of the condensed materials under UV sources: application to the interstellar medium and to the formation of the solar system

Evaporation, condensation and gas-melt interaction experiments at high temperature (K and SiO₂) and their bearing on the formation of the primitive objects of the solar system (CAI and chondrules)

Mineralogy, petrology and phase relations of chondrules

Simulating atmospheric entry conditions for micrometeorites

The study of vitrified wastes in order to:

- 1) characterize the chemistry and mineralogy of anthropogenic waste products (original and final wastes),
- 2) determine the chemical durability of vitrified wastes using leaching experiments and isotope tracing
- 3) compare their kinetics of leaching with historical analogues (medieval stained glasses) so as to model the long term behavior of vitrified wastes and of their polluting elements (e.g., heavy metals, radioactive elements).

Teaching and supervision

Teaching :

Thermodynamic, Petrology, Glass and melt, Waste management

Supervision :

Peggy Georges (with Dr. E. Deloule): Potassium condensation in silicate melts

Catherine Maieron: Color and redox conditions in lead enriched glass

Laurent Tissandier (with Dr. M. Chaussidon): Gas-melt interactions and the formation of protosolar materials

Nathalie Valle (with Dr. E. Deloule): Alteration of nuclear waste glasses: isotope tracing using ²⁸Si, ¹⁸O and D.

Education and career

1985 PhD thesis at the Université Paul Sabatier de Toulouse «Petrogenesis of the lower crust in central Corsica» advisor M. Durand-Delga

1986-1988 Post-doctoral fellow URA 10 Clermont-Ferrand (France)

1989-1990 Alexander von Humboldt fellow: Bayerisches Geoinstitut (D)

1990-1997 Maître de Conférences, UHP Nancy 1

1995 Bronze medal award of the CNRS, section 11

1997-present Professor at ENSG-INPL and researcher at CRPG (Nancy)

Selected recent publications

Le Forestier L. and Libourel G. (1998) - Characterization of flue gas residues from municipal solid waste combustors. *Environmental Science & Technology*. 32, 2250-2256

Libourel G. (1999) - Systematics of calcium partitioning between olivines and silicate melts: implications for melt structure and calcium content of magmatic olivines. *Contrib. Mineral. Petrol.* 136, 63-80.

Lemelle L., Guyot F., Leroux H. and Libourel G. (in press) - An experimental study of the external reduction of olivine single crystals *Amer. Mineralogist.*

Sterpenich J. and Libourel G. (in press) - Using stained glass windows to understand the durability of toxic waste matrices. *Chemical Geology*

Georges P., Libourel G. and Deloule E. (in press) - Experimental constraints on alkali condensation in chondrule formation. *Meteoritics & Planetary Science.*



CNRS Research scientist, CR1 section 13

Geochemistry group

33 (0)3 83 59 42 24

luais@crpg.cnrs-nancy.fr

Research interests and active projects

- Plasma source mass spectrometry: Isoprobe (Micromass) analytical development
- The Archaean: genesis of continental crust from Pb, Nd and Hf isotopes. Example from 2.9-3.5Ga granitoids from South Zimbabwe. Mantle evolution and mantle heterogeneities in the Archaean from U-Pb systematics
- Origin of subduction-related K-rich lavas: a study from U-Th isotopes in shoshonitic rocks from Stromboli
- Chemical and isotopic variations during fluid-rock interaction
- High-resolution Sr and Nd isotopic stratigraphy of Piton de la Fournaise (Reunion Island, Indian Ocean). Origin of short-term geochemical and isotopic variations
- Nd isotopic disequilibrium in eclogites: research interests based on UHP eclogites from Norway
- Cosmochemistry: isotopic variations of Ge in iron meteorites with inferences on core formation

Education and career

- 1986: PhD in Petrology-Geochemistry (University of Montpellier II) Thesis title: «Pétrologie et Géochimie (Elements Traces et rapports isotopiques du Sr) du magmatisme aux zones de subduction: exemples du Bassin Méditerranéen (Santorin, Arc Egéen; Stromboli, Arc Eolien) et des Iles de la Sonde (Mérapi, Java)»
- November 1988 - February 1989: Visitor position at the Open University, UK (Prof C.J. Hawkesworth).
- February 1989 - Juillet 1991: Post-Doctoral research position at the Departement of Earth Sciences, Open University, UK (Prof C.J. Hawkesworth). EEC financial support. Genesis of continental crust during the Archaean: study from trace element modeling of 3.5-2.9Ga granitoids of South Zimbabwe
- 1991-1999: CNRS position at the Ecole Normale Supérieure de Lyon (France)
- 1999 - present: CNRS researcher at CRPG Nancy (France)

Selected recent publications

- Luais B.**, Hawkesworth C.J. (1994) - The generation of continental crust: an integrated study of crust-forming processes in the Archaean of Zimbabwe. *J. Petrology*, 35(1), 43-93.
- Albarède F., **Luais B.**, Fitton G., Semet M., Kaminski E., Upton B.G.J., Bachèlery P., Cheminée, J.L., (1997). The geochemical regimes of the Piton de la Fournaise volcano (Réunion island, Indian Ocean) during the last 530 000 years. *J. Petrology*, 38(2), 171-201.
- Duchêne S., Blichert-Toft J., **Luais B.**, Télouk Ph., Lardeaux J.M., Albarède F. (1997). The Lu-Hf dating of Alpine eclogites. *Nature*, 387, p. 586-589.
- Luais B.**, Télouk Ph. and Albarède F. (1997). High-precision Nd isotopic measurements using Plasma-source mass spectrometry. *Geochim. Cosmochim. Acta*, Vol 61 (22), p. 4847-4854.
- Luais B.**, Hawkesworth C.J. (1998). Nd isotopic constraints on the genesis of Archaean tonalitic gneisses from Southern Zimbabwe. *Mineral. Mag.* 62A, p. 913-914.
- De Sigoyer J, Chavagnac V, Baldwin J, Blichert-Toft J, Costa M, Guillot S, **Luais B**, Mascle G (sous presse) Dating Indian continental subduction and collisional thickening in NW Himalaya : multichronometry of the Tso Morari eclogites. *Geology*,



CNRS Research Director, DR1 section 11

Director of CRPG

33 (0)3 83 59 42 13

ludden@crpg.cnrs-nancy.fr

Research interests and active projects

Crustal evolution, mafic magmatism through time, early Earth processes
Co-chief scientist, ODP Leg 185, «The Subduction Factory»
Transect leader, Abitibi-Grenville LITHOPROBE project
Geochemical Earth Reference Model, GERM

Teaching and supervision

Teaching :

DEA Geosciences and final year, Ecole Nationale Supérieure de Géologie, Nancy; courses in early Earth processes

Ph-D supervision :

Christine Meyzen (with Mike Toplis) : Petrology and geochemistry of MORB from the SWIR
Olivier Rouxel : Stable isotopes and trace element geochemistry in hydrothermal systems

Education and career

Director, FR-CNRS, Institut Lorrain des Géosciences (1996 - present)
Directeur de Recherche 1ère classe CNRS (1995 - present)
Associate Researcher, Géosciences, Rennes, France (1994 - 95)
Associate Researcher, LDEO, Columbia University, USA (1985 - 86)
Professor Université de Montréal, Canada (1978 - 1996)
Post-doctoral Fellow, WHOI, USA (1976 - 1978)
PhD University of Manchester, UK, 1976, Igneous Petrology

Selected recent publications

- Ludden J.N.** and Hynes A. (in press) The Abitibi-Grenville Lithoprobe project: Two billion years of crust formation and recycling in the Precambrian Shield of Canada. Abitibi-Grenville Lithoprobe, synthesis volume, Can J. Earth Sciences.
- Francis D., **Ludden J.N.**, Johnstone R. and Davis W. (1999) Picrite evidence for more Fe in Archaean mantle reservoirs. Earth Planet Sci Lett., 167, 197-214.
- Calvert A.J. and **Ludden J.N.** (1999) Archaean Continental assembly in the Southeastern Superior Province of Canada. Tectonics, 18, 412-429.
- Dunphy J.M. and **Ludden J.N.** (1998) Petrological and geochemical characteristics of a Paleoproterozoic magmatic arc (Narsajuaq terrane, Ungava Orogen, Canada) and comparisons to Superior Province granitoids, Precam Res., 91, 109-142.
- Shi L., Francis D., **Ludden J.N.**, Frederiksen A. and Bostock M. (1998) Xenolith evidence of lithospheric melting above anomalously hot mantle under the northern Canadian Cordillera. Contr. Mineral. Petrol., 131, 39-53.



Professor, INPL-ENSG

Geodynamics group

33 (0)3 83 59 64 20

mallet@crpg.cnrs-nancy.fr

Research interests and active projects

Director of the gOcad research consortium

Teaching and supervision

Teaching :

Numerical geology and computer science at the Ecole Nationale Supérieure de Géologie, Nancy

DEA in geosciences and DEA in computer science, Nancy

Ph-D supervision :

Supervisor of 6 PhDs and 3 Post-Doctoral researchers

Education and career

Professor classe exceptionnelle at INPL (2000)

Professor 1ere classe at INPL (1990-2000)

Professor 2eme classe at INPL (1981-1990)

Research engineer at the CNRS (1968-81)

Graduated from the Ecole Nationale Supérieure de Géologie, Nancy

Distinctions : Italgas prize (1997), Anthony Lucas Gold Medal (2000), Award du meilleur article paru dans le «Journal of Mathematical Geology» pour 'Discrete Modeling for Natural Objects'

Selected recent publications

Mallet, J.L. and Shtuka, A. (2000) Blending Based Stochastic Simulator, Journal of Math. Geology, Vol.32, No 3, pp 367-379

Levy, B. and **Mallet, J.L.** (1998) Non-Distorted Mapping for Sheared Triangulated Meshes, Proceedings SIGGRAPH 98, pp 343-352

Mallet, J.L. (1997) Discrete Modeling for Natural Objects, Journal of Math. Geology, Vol.29, No 2, pp 199-219

Samson, P. and **Mallet, J.L.** (1997) Curvature Analysis of Triangulated Surfaces in Structural Geology, Journal of Math. Geology, Vol.29, No 3, pp 391-412

Guiziou, 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. (1992) Discrete Smooth Interpolation in Geometric Modeling, Journal of CAD (Computer Aided Design), Vol.24, No 4, pp 178-191



Professor, section 35 CNU

Geodynamics group

33 (0) 3 83 59 42 12

marignac@crpg.cnrs-nancy.fr

Research interests and active projects

Metallogenesis of the middle and upper crust (magmatic-hydrothermal and hydrothermal systems), with focus on Au and Sn-W deposits: space-time interplay of hydrothermal systems and tectonics, identification of the sources of fluids and metals, metallogenesis of collision belts. Main tools: structural analysis, mineralogy, fluid inclusions. Multidisciplinary collaborations with tectonicians and geochemists.

Fluid circulation and gold deposition at the scale of the 10 km in S. Limousin (part of the GéoFrance3D program)

Remobilization of gold in VMS deposits of the South Iberian Pyrite Belt (part of the GDR Metallogeny program)

Coordination of PICS 45 (Maroc), centered on precious metals (Au, Ag: Iourirne, Imiter, Bou Azzer, Haut-Atlas) and VMS (Jebilet-Guemassa) deposits, with also MVT and rare metal (granite related) targets

Coordination of a cooperative program with Algerian teams, mainly on rare metal granites (Hoggar & N Algeria), centered on the problem of the magmatic to hydrothermal transition and particularly the behaviour of Ta

Metallogenesis of the Maghrebide belt and comparison with collision belts: programs with Algeria and Tunisia

Teaching and supervision

Teaching :

Ecole de Mines de Nancy and Université Henri Poincaré : Endogenous processes; Ore Geology and Metallogenesis

Supervision of Ph-D thesis :

Mustapha SOUHASSOU, The Late Carboniferous fluids associated with the gold deposits and showings of S. Limousin and Argentat Fault (French Massif Central): a fluid inclusions study at the regional scale.

associate supervisor: Bocar DIAGANA, The tectono-metamorphic remobilization in the South Iberian VMS deposits (Tharsis and La Zarza): the gold connection.

Florence LE HEBEL, Nature and evolution of fluid flows associated with Late Carboniferous extension, on the example of Vendée (France).

Education and career

Engineer of the Ecole Nationale Supérieure de Géologie (ENSG): 1966

Docteur d'Etat INPL: 1985

Professor at the Ecole de Mines de Nancy

Selected recent publications

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

Dubois M., **Marignac C.**, (1997). The H-O-NaCl-MgCl ternary phase diagram with special application to fluid inclusion studies. *Econ. Geol.*, 92, 114-119.

Cheilletz A., Ruffet G., **Marignac C.**, Kolli O., Gasquet D., Féraud G., Bouillin J.P. (1999). $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ dating of shear zones in the Variscan basement of the Greater Kabylia (Algeria). Evidence of an Eo-Alpine event at 128 Ma (Hauterivian-Barremian boundary): geodynamic consequences. *Tectonophysics*, 306, 97-116.

Marignac C., Cuney M. (1999). Ore deposits of the French Massif central: insight into the metallogenesis of the Variscan collision belt. *Mineralium Deposita*, 472-504.

Ruggieri G., Cathelineau M., Boiron M.-C., **Marignac C.** (1999). Boiling and fluid mixing in the chlorite zone of the Larderello geothermal system. *Chemical Geology*, 154, 237-256.

Barbey P., **Marignac C.**, Montel J.M., Macaudière J., Gasquet D., Jabbari J. (1999). Cordierite growth textures and the conditions of genesis and emplacement of crustal granitic magmas: The Velay Granite Complex (Massif Central, France). *J. of Petrol.*, 40, in press.

Lecuyer C., Dubois M., **Marignac C.**, Gruau G., Fouquet Y. and Ramboz C. (1999). Phase separation and fluid mixing in subseafloor back-arc hydrothermal systems: a microthermometric and oxygen isotope study of fluid inclusions in the barite-sulfide chimneys of the Lau Basin. *J. Geophys. Res.*, in press.



Professor, section 35 CNU

Geochemistry group

33 (0)3 83 59 42 22

bmarty@crpg.cnrs-nancy.fr

Research interests and active projects

Volatile (C, N, rare gases) isotope geochemistry

Primitive Earth, evolution of the mantle and the atmosphere (notably, volatiles in MORB and in ancient mantle-derived rocks and minerals);

Plume-lithosphere interactions (notably, the Afar province)

Cosmochemistry of volatile elements (SNC, PI for Lunar samples)

Environmental geochemistry : Isotope tracing of fluid circulations in basins, cosmogenic rare gas isotopes

Teaching and supervision

Teaching :

Cosmochemistry and Geochemistry, Isotope Geochemistry, Paleoclimates and Global Change (1st and 2nd years at Ecole Nationale Supérieure de Géologie, Maîtrise, Univ. Nancy, DEA, approx. 150 h/year)

Supervision :

Franck Humbert (1998) (with Prof. G. Libourel) : The solubility of nitrogen in silicate melt under varying fO_2

Dereje Ayalew (with Prof. P. Barbey) : Origin, timing, and environmental impact of Ethiopian LIP ignimbrites

Sarah Dewonck : Rare gas geochemistry of fluids and sediments of the Eastern Paris Basin

Jérôme Aléon (with Dr. M. Chaussidon) : Oxygen isotope geochemistry of atmospheric aerosols

Nicolas Dauphas (with Dr. Laurie Reisberg) : Nitrogen isotope geochemistry of Plumes

Education and career

3rd cycle thesis, Univ. Toulouse (1976-1979) : «K-Ar dating of quaternary samples without spike»

Post doc, Univ. Tokyo (1981-1984) : «rare gases and carbon in volcanic gases and MORB (Prof. M. Ozima)»

Engineer, Geothermal Energy dept., French Geological Survey (1984-1986)

Research Engineer, L'air Liquide (1986)

Research associate (CR1), National Center for Scientific Research (Laboratoire MAGIE, Prof. A. Jambon, Univ. P. M. Curie) (1986-1992)

Thèse de Doctorat d'Etat, Univ. P. M. Curie, Paris : Rare gases in oceanic basalts and volcanic gases : implications for the origin and cycle of terrestrial volatiles

Professor, Ecole Nationale Supérieure de Géologie (ENSG), Nancy (1992-present).

Head, Isotope Geochemistry Group, CRPG (1992-1999)

Director of studies, ENSG (1998-present)

Selected recent publications

Marty B. and Humbert F. (1997). Nitrogen and argon isotopes in oceanic basalts. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 152, 101-112.

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

Marty B., Upton B.G.J. and Ellam R.M. (1998). Helium isotopes in early Tertiary basalts, northeast Greenland: Evidence for 58 Ma plume activity in the North Atlantic-Iceland volcanic province. *Geology* 26, 407-410.

Tolstikhin I.N. and **Marty B.** (1998). The evolution of terrestrial volatiles: a view from helium, neon, argon and nitrogen isotope modelling. *Chem. Geol.* 147, 27-52.

Marty B., Tolstikhin I.N., Kamensky I.L., Nivin V., Balaganskaya E., and Zimmermann J.L. (1998). Plume-derived rare gases in 380 Ma carbonatites from the Kola region (Russia) and the isotopic composition in the deep mantle. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 164, -192.

Wieler R., Humbert F. and **Marty B.** (1999). Evidence for a non-solar origin of nitrogen in the lunar regolith revealed by single grain analyses. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 167, 47-60.



CNRS Research scientist, CR1 section 11

Petrology group

33 (0)3 83 59 42 37

dohnen@crpg.cnrs-nancy.fr

Research interests and active projects

Platinum Group Minerals (PGM) in basic-ultrabasic complexes
Cathodoluminescence (CL) of synthetic minerals (apatites, zircons, anhydrites, etc)
CL of natural apatites and zircons
Boninites
Alkaline and carbonatitic complexes

Teaching and supervision

Teaching :

Interaction electron - matter (DEA)

Education and career

1975: Thèse de Spécialité Pétrologie et Géochimie:» Le puzzle ophiolitique corse. Un bel exemple de paléodorsale océanique.»
1990: Thèse de Doctorat d'Etat ès Sciences Naturelles: «Minéralisations associées aux complexes mafiques-ultramafiques en domaine océanique et continental.»

Selected recent publications

- 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 tthe Meugeur-Meugeur, 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.
- Ohnenstetter D.**, Watkinson D. (1998) Low-temperature evolution of the platinum-group mineralogy, Two Duck Publications St Petersburg- Athenes, 116-128
- Ohnenstetter D.**, Giuliani G., Bustos O. (1998) Emeraude trapiches colombiennes. in «L'émeraude» Connaissances actuelles et prospectives. Assoc. Fr. Gemmologie, Paris, 119-124
- Mc Donald I., **Ohnenstetter D.**, Ohnenstetter M., Vaughan D.J. (1999) Palladium oxides in ultramafic complexes near Lavatrafo, Western Andriamena, Madagascar. *Min. Mag.*, 63, 345-352.



CNRS Research Director, DR1 section 11

Petrology group

33 (0)3 83 59 42 46

mohnen@crpg.cnrs-nancy.fr

Research interests and active projects

Genesis of chromite and platinum mineralization
Evolution of the intercumulus minerals in the Merensky Reef
Platinum Group Minerals (PGM) in basic-ultrabasic complexes
Chemical evolution of chromite in ophiolites

Education and career

1975: Thesis in Petrology and Geochemistry:» Le puzzle ophiolitique corse. Un bel exemple de paléodorsale océanique.»
1977: CNRS position at the University of Nancy
1982: Thèse de «Doctorat d'Etat ès Sciences Naturelles» : «Importance de la nature et du rôle des discontinuités au sein des ophiolites lors du développement d'une orogène.»
1983: CNRS position in Johan's CNRS lab in Orléans
1989-95: Project leader in BRGM on chromite and PGE mineralization
1995: CNRS position in CRPG, Nancy.

Selected recent publications

Ohnenstetter M. - Diversity of PGE deposits in basic-ultrabasic intrusives - single model of formation. In Petrology and Geochemistry of magmatic suites of rocks in the continental and oceanic crusts. A volume dedicated to Professor Jean Michot. Demaiffe D. ed. Université Libre de Bruxelles. Royal Museum for central Africa (Tervuren). p 337-354.
Mc Donald I., Ohnenstetter D., **Ohnenstetter M.**, Vaughan D.J. (1999) Palladium oxides in ultramafic complexes near Lavatrafo, Western Andriamena, Madagascar. *Min. Mag.*, 63, 345-352.



CNRS Research scientist, CR2 section 11

Geochemistry group

33 (0)3 83 59 42 27

rpik@crpg.cnrs-nancy.fr

Research interests and active projects

Noble gas geochemistry. Igneous petrology and geochemistry

Origin and nature of mantle sources involved in the generation of Continental Flood Basalts. Research aspect focused on the Ethiopian volcanic province

Volcanic and tectonic evolutions in rifted areas : implications of plume impingement on rift evolution and localisation, volcano-tectonic chronological relationships, rates of rift flanks uplift.... Research aspects based on low temperature (U+Th)/He thermochronology and surface exposure datings (cosmogenic ^3He). Targets : East African Rift and Rhine Graben

Uplift and Erosion rates of Himalaya : thermochronology and cosmogenic datings

Nature and origin of dissolved noble gas in groundwater : hydrodynamic implications, recharge paleo-temperatures, tectonic implications. Targets: Albian aquifer in the Paris Basin, geothermal fluids from Mediterranean areas

Teaching and supervision

Teaching :

Geochemistry, igneous petrology & rift geodynamics

Supervision :

Ph-D thesis of Eric Gayer : « Relationships between climate-tectonics-erosion-transport in the himalayan system : use of new thermochronologic and cosmogenic methods of dating»

Education and career

1993-1997 : Ph-D thesis at CEREGE, Univ-Aix-Marseille III. Dir. C. Coulon. Pétrologie et Géochimie des trapps d'Ethiopie : un exemple d'interactions panache lithosphere.

1997-1998 : Post-doc at CRPG Nancy, financial support EC. Mantle and Crustal flux in seismic zones. Evidence from Helium isotopes.

1998- present : CNRS researcher at CRPG, Nancy.

Selected recent publications

Pik R., Deniel C., Coulon C., Yirgu G. and Marty B. (1999). Isotopic and trace element signature of Ethiopian Flood Basalts : Evidence for Plume-Lithosphere interactions. *Geochim. Cosmochim. Acta.* Vol. 63, pp. 2263-2279.

Pik R., Raoult Y., Kipfer R. and Marty B., (1998). Noble gases in groundwater from the Albian aquifer (Paris Basin): fluid dynamics and paleoclimatic record. In: J. Schott (Editor), V.M. Goldschmidt Conference. *Mineralogical Magazine*, Toulouse, pp. 1180-1181.

Rochette P., Tamrat E., Féraud G., **Pik R.**, Courtillot V., Ketefo E., Coulon C., Hoffmann C., Vandamme D. and Yirgu G. (1998). Magnetostratigraphy and timing of the Oligocene Ethiopian traps. *Earth Planet. Sci. Lett.*, Vol. 164, pp 497-510.

Pik R., Deniel C., Coulon C., Yirgu G., Hofmann C. and Ayalew D. (1998). The Northwestern Ethiopian Plateau flood basalts : classification and spatial distribution of magma types. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, Vol. 81, pp 91-111.

Hofmann C., Courtillot V., Féraud G., Rochette P., Yirgu G., Ketefo E. and **Pik R.**, (1997). Timing of the Ethiopian flood basalt event and implications for plume birth and global change. *Nature*, Vol. 389, pp 838-841.

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



Chercheur CNRS, CR1 sections 11- (32)

33 (0)3 83 59 42 45

ploquin@crpg.cnrs-nancy.fr

Research interests and active projects

Paléométaballurgie : archéométrie du minerai à l'objet. Application des approches pétrographiques et géochimiques à l'étude des déchets et vestiges des activités métallurgiques anciennes pour la reconstitution des processus et procédés, ateliers et filières.

Stabilité de ces matériaux, application à l'analogie avec le comportement des déchets actuels ou avec leurs matrices de piégeage.

Etude et mise en valeur culturelle (scientifique, pédagogique et touristique) du domaine minier et métallurgique des Hurtières (Savoie).

Teaching and supervision

Teaching :

Séminaires et formations en paléométaballurgie.

DESS Archéosciences (Univ. Dijon)

Ph-D supervision :

Encadrement de travaux universitaires, paléométaballurgie

Conseil scientifique (sites miniers et métallurgiques anciens), Études et mise en valeur

Education and career

Ingénieur géologue ENSG (1961-1964), CNRS (depuis 1964), thèse d'état (1975) : Géologie (cartographie, pétrographie, géochimie) des socles anciens et polycycliques (précambrien scandinave, calédonno-hercynien français), base de données géochimiques Artémise.

Depuis 1982-85 : application à des matériaux archéologiques liés aux arts du feu (construction et, surtout, métallurgie)

Selected recent publications

Dunikowsky C., Leroy M., Merluzzo P., **Ploquin A.** - L'atelier de forge gallo-romain de Nailly (Yonne) : contribution à l'étude des déchets de production. Rev. archéol. de l'Est, 1996, 47, 97-121. (parution 98)

Jarrier C., Andrieux P., Domergue C., Pieraggi B., **Ploquin A.**, Tollon F. - Elaboration du fer par réduction directe : essais de reproduction des procédés antiques. Revue de métallurgie-CIT/Science et Génie des matériaux, Mai 1997, 691-704.

Mahé -Le Carlier C., Dieudonné -Glad N., **Ploquin A.**- Des laitiers obtenus dans un bas-fourneau ? Etudes chimiques et minéralogiques des scories du site d'Oulches (Indre), Revue d'Archéométrie, 1998, 22, p.91-101.

Le Carlier-Mahe C., **Ploquin A.**, Le Carlier de Veslud C., Royer J.J., Arnold M. - 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.

Ploquin A. - L'analyse chimique en paléosidérurgie, p.16-23. In La sidérurgie ancienne de l'Est de la France dans son contexte européen. Archéologie et archéométrie, Actes du Colloque de Besançon, 10-13 nov. 1993, Paris, Les Belles Lettres 1994 (ALUB, 536, Archéologie 40), 426 p., MANGIN M. (dir)

Ploquin A., Orzechowski S. et Briand B. Paléométaballurgie à Mleiha, une première approche, pp. 171-190 in Mleiha, T.1, Environnement, stratégies de subsistance et artisanats, sous la direction de M.Mouton, Travaux de la Maison de l'Orient méditerranéen 29, 292 p.



CNRS Research scientist, CR1 section 11

Geochemistry group

33 (0)3 83 59 42 49

reisberg@crpg.cnrs-nancy.fr

Research interests and active projects

Radiogenic isotope geochemistry, especially Re-Os, Sm-Nd and Rb-Sr systems

Evolution of the subcontinental lithosphere (projects in Ethiopia, French Massif Central, Eastern China, Canadian Cordillera)

Plume-lithosphere interactions (especially the Afar province)

Himalayan erosion and its influence on the Os isotopic composition of seawater

Teaching and supervision

Teaching :

Mantle Geochemistry (part of a course on geochemical cycles for Masters level students)

Supervision of Ph-D thesis :

Anne-Catherine Pierson-Wickmann (with Dr. C. France-Lanord) : «Contribution of rivers to the evolution of oceanic $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ based on samples from the Bay of Bengal and the Himalaya»

Sylvie Decitre (with Dr. E. Deloule) : «Behavior of Li during hydrothermal alteration of the crust: Implications for the Li cycle»

Nicolas Dauphas (with Prof. B. Marty) : «Nitrogen isotope geochemistry of plumes»

Education and career

1987 Ph.D. Columbia University : «The isotopic and geochemical systematics of the Ronda Ultramafic Complex of Southern Spain» (Prof. A. Zindler)

NATO post-doc, Institut de Physique du Globe Paris (Prof. C-J Allegre and Prof. J-M Luck), 1988-1989

Post-doctoral researcher, Lamont-Doherty Geological Observatory, New York, 1989-1992

CNRS research scientist, CRPG, 1992-present

Selected recent publications

Reisberg L. and Lorand J-P. (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 **Reisberg L.** (1995). Os isotopic systematics of altered abyssal peridotites. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 136, 723-733.

Brueckner H.K., Elhaddad M.A., Hamelin B., Hemming S., Kroner 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.

Kumar N., **Reisberg L.** and 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.

Molzahn M., **Reisberg L.** and Worner G. (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., France-Lanord C. and Pierson-Wickmann A.-C. (1997) Os isotopic compositions of leachates and bulk sediments from the Bengal Fan, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 150, 117-127.



CNRS Research Engineer, IR1, section 11

Geodynamics group

33 (0)3 83 59 64 28

royer@crpg.cnrs-nancy.fr

Research interests and active projects

Numerical modeling of heat and mass transfers in reservoirs
Characterization of rock properties using seismic attributes.
Advanced geostatistics for quantifying spatial variability and uncertainty of natural objects
Modeling fluids and thermal transfers at the Soultz geothermal site (CEE, ECODEV Projects)
Fluid circulation and crustal cooling at large scale in S. Limousin (GéoFrance3D program)
Modeling alteration using archeometallurgic slags as natural analog of vitrified wastes (CEA)
Developing 3D numerical methods for modeling thermal and mass transfers in reservoirs (THERMASS projects) in connection with gOcad

Teaching and supervision

Teaching :

Geostatistics at the Ecole Nationale Supérieure de Géologie (ENSG), Nancy
Statistical Processing of Exploration Data at CESEV - ENSG
Transfers in the crust at the DEA - Université Henri Poincaré

Supervision of Ph-D thesis :

Pascal Audigane : Microseismicity characterisation of fractured rock massifs. Thermo-hydraulic modeling of reservoirs. Application to the geothermal Soultz HDR concept.
Philippe Nivlet : Characterization and management of uncertainty in quantitative interpretation of lithology (in coll. with IFP)
Nicolas Voutay : Lithoseismic interpretation of AVO data using multivariate geostatistical approach (in coll. with IFP)
Marcus Apel : Integrating GIS functionality to GOCAD for modeling the Modanubian zone of the Variscan belt. Application to thermal modeling (co-directed with Prof. H. Schaeben from the Freiberg University, Germany)

Education and career

1976 - present : Research Engineer CNRS at CRPG
1988: Thèse d'Etat (INPL, Nancy, Géostatistique) : "Multivariate Analysis and Filtering of Regionalized Data."
Advisor : Prof. J.L. Mallet
1974 : Graduated as Ingénieur Civil des Mines de Nancy (ENSMIN)

Selected recent publications

Shapiro S. A., Audigane, P. and **Royer J.-J.** (2000) - Reply of the Authors on Comment on 'Large-scale In-situ Permeability Tensor of Rocks from Induced Microseismicity, Geoph. J. Int. 137, 207-213, Shapiro S.A., P. Audigane and J.J. Royer; 1999' by Cornet F.H. Geoph. J. Int., 140, 470-473.
Mahé-Le Carlier C., Le Carlier de Veslud C., Ploquin A., **Royer J.-J.** (2000) - L'altération naturelle des scories de la métallurgie ancienne: un analogue de déchets vitrifiés. C.R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la Terre et des planètes. 330, 179-184.
Shapiro S. A., Audigane, P. and **Royer J.-J.** (1999) - Large-scale in situ permeability tensor of rocks from induced microseismicity. Geoph. J. Int., 137, 207-213.
Gérard B., **Royer J.-J.**, Le Carlier de Veslud C., Pagel M. (1998) - Modélisation 3D des transferts thermiques et des fluides autour d'un réacteur naturel (Oklo, Gabon).Bull. Soc. Géol. Fr., 169, 3.
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). Bull. Soc. Géol. Fr., 169, 1, pp 81-89.
Smith M.P., Savary V., Yardley B.W.D., Valley J.W., **Royer J.-J.**, Dubois M. (1998) - The evolution of the deep flow regime at Soultz-sous-Forets, Rhine Graben, eastern France: Evidence from a composite quartz vein. JGR , vol. 103, No. B11, 27 223-27 237.



CNRS Research scientist, CR2 section 13

Petrology group

33 (0)3 83 59 42 27

mtoplis@crpg.cnrs-nancy.fr

Research interests and active projects

Accretion and differentiation of planetesimals in the Solar system.

Structure and dynamics of silicate glasses and melts

Teaching and supervision

Teaching :

Thermodynamics and phase diagrams in the Earth sciences, experimental studies in the Earth sciences, structure and properties of silicate glasses, scientific english

Supervision :

Ph-D thesis of Christine Meyzen (co-directed with J. Ludden): «Petrology and geochemistry of MORB from SWIR»

Education and career

1990 : A. (Hons) Natural Sciences (University of Cambridge, UK)

1990 - 1994 : PhD (University of Bristol, UK) «The origin of iron-rich igneous rocks: An experimental study.»

1994- 1996 : European Community Personal Fellowship, Bayerisches Geoinstitut, Bayreuth, Germany.

1997- present : Chargé de recherche (CNRS), CRPG-CNRS, Nancy, France.

Selected recent publications

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 O 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

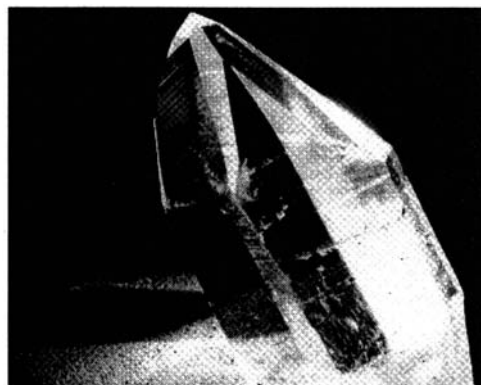
Toplis M.J., Dingwell D.B., Hess K-U., Lenci T. (1997) Viscosity, fragility, and configurational entropy of melts along the join SiO -NaAlSiO . *American Mineralogist* 82: 979-990.

Toplis M.J., Dingwell D.B., Lenci T. (1997) Peraluminous viscosity maxima in Na O-Al O -SiO liquids: The role of triclusters in tectosilicate melts. *Geochim. Cosmochim. Acta* 61: 2605-2612. ^{2 3 2}

Toplis M.J., Schaller T. (1998) A ³¹P MAS NMR study of glasses in the system xNa O-(1-x)Al O -2SiO -yP O . *Journal of Non-Crystalline Solids* 224 : 57-68 ^{2 2 3 2 2 5}

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

LES DOCTORANTS ET LES CHERCHEURS VISITEURS



**ETUDIANTS INSCRITS EN THESE AVEC RATTACHEMENT
À UNE DES THÉMATIQUES SCIENTIFIQUES DU CENTRE**

**NOM DE L'ÉTUDIANT, DIRECTEUR(S) DE THÈSE, SUJET DE LA THÈSE, ANNÉE
PRÉVUE POUR LA SOUTENANCE, NATURE DE LA BOURSE**



ALÉON JÉRÔME (Dir. : Marc CHAUSSIDON et Bernard MARTY)
Caractérisation géologique et isotopique des aérosols atmosphériques par
sonde ionique. - 2000 - Bourse MENRT

ALEXANDROV PAVEL (Dir. : Alain CHEILLETZ)
Thermochronologie Ar/Ar du batholite Limousin dans le cadre du
programme Géofrance 3D - 2000 - Bourse INPL



ASFAWOSSEN ASRAT (Dir. : Guy LIBOUREL) Mise en place du pluton
de Negash (Tigray, Éthiopie). Structures et textures de solidification liées
aux mélanges acides-basiques - 2002 - Bourse CROUS

CAUMON GUILLAUME (Dir. : Jean-Laurent MALLET)
Construction et mise à jour de Modèles géologiques 3D - 2002 - Salarié
ASGA



CONREAUX STÉPHANE (Dir. : Jean-Laurent MALLET)
Topologie 4D - 2000 - Bourse INPL

DAUPHAS NICOLAS (Dir. : Bernard MARTY et Laurie REISBERG)
Cosmochimie isotopique du Ruthénium. Implications sur l'évolution
précoce du système solaire - 2001 - Bourse MENRT



DAZY MATTHIEU (Dir. : Jean-Laurent MALLET)
Génération automatique de maillages 3D - 2001 - Bourse MENRT

DUVINAGE ISABELLE (Dir. : Jean-Laurent MALLET)
Supervised automatic fault modeling from autopicked horizons - 2000 -
Bourse INPL



EULER NICOLAS (Dir. : Jean-Laurent MALLET)
Edition rapide de modèle 3D - 2000 - Salarié T-Surf

GALERA CYRIL (Dir. : Jean-Laurent MALLET)
Construction dans Gocad de Blocs Géologiques 3D cohérents.
Représentation en multirésolution - 2001 - Bourse IFP



GAYER ERIC (Dir. : Christian FRANCE-LANORD et Raphaël PIK)
Étude des relations climat-tectonique-érosion-transfert
dans le système himalayen. - 2002 - Bourse MENRT



GROSSE OLIVIER (Dir. : Jean-Laurent MALLET)

Mise en cohérence automatique d'un modèle géologique 3D légèrement perturbé - 2001 - Bourse CIFFRE

JÉRÔME THOMAS (Dir. : Jean-Laurent MALLET et Mary FORD)

Modélisation 3D de plis par propagation de failles synsédimentaires - 2002 - Bourse MENRT



LECOUR MAGALI (Dir. : Jean-Laurent MALLET)

Failles : études des incertitudes concernant leur position, leur forme et leur rejet - 2000 - BDI CNRS

LEDEZ DAVID (Dir. : Jean-Laurent MALLET)

Modélisation de surfaces à partir de données sismiques brutes - 2002 - Salarié ASGA



LEVRESSE GILLES (Dir. : Alain CHEILLETZ et Dominique GASQUET)

Les gisements d'Ag (Au, Cu et Co) de l'Anti-Atlas Marocain : contribution à l'établissement d'un modèle génétique - 2001 - Bourse INPL/Industrie

LEVY BRUNO (Dir. : Jean-Laurent MALLET)

Modélisation des propriétés attachées à des surfaces et volumes complexes - 1999 - BDI CNRS

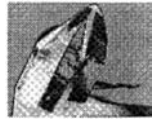


LIMA ALEXANDRE (Dir. : Bernard CHAROY)

Structure, minéralogie et pétrogenèse des filons aplopegmatitiques à spodumène de la région de Arto Tâmega (Nord Portugal) - 2001 - Bourse portugaise

MASSOT JÉRÔME (Dir. : Jean-Laurent MALLET)

Restauration équilibrée tridimensionnelle de couches géologiques. - 2001 - Bourse INPL



MEYZEN CHRISTINE (Dir. : John LUDDEN et Mike TOPLIS)

Transferts et bilans dans une dorsale ultra-lente : la dorsale Sud-Ouest Indienne. Approche géochimique, expérimentale et par sonde ionique - 2001 - Bourse MENRT

NIVLET PHILIPPE (Dir. : Jean-Laurent MALLET)

Caractérisation et gestion des incertitudes en interprétation lithosismique quantitative (en collaboratio avec l'IFP) - 2001 - Bourse IFP



PIERSON-WICKMANN ANNE-CATHERINE (Dir. : Christian FRANCE-LANORD et Laurie REISBERG)

Contribution des rivières à l'évolution du rapport isotopique d'osmium des océans - 2000 - Bourse MENRT puis ATER

ROLLION-BARD CLAIRE (Dir. : Christian FRANCE-LANORD
et Marc CHAUSSIDON)

Analyse isotopique (B, C, O) à la sonde ionique Caméca IMS 1270 :
développement de nouveaux marqueurs paléoenvironnementaux. - 2000 -
BDI CNRS puis ATER



ROUMET-MAIERON CATHERINE (Dir. : Guy LIBOUREL)

Etude de la coloration et de l'état d'oxydo-réduction dans la pâte de verre
DAUM - 2000 - CDI DAUM

ROUXEL OLIVIER (Dir. : John LUDDEN et Yves FOUQUET)
Géochimie du Soufre et du Sélénium dans les processus
hydrothermaux océaniques - 2001 - Bourse INPL



SABOT BRUNO (Dir. : Alain CHEILLETZ et Philippe de DONATO)

Identification de traceurs atomiques et moléculaires pour la caractérisation
de minéraux à anneaux silicatés de type beryl - 2001 - Bourse CIFFRE

SOUHASSOU MUSTAPHA (Dir. : Christian MARIGNAC)

Les fluides de la faille d'Argentat (Limousin) dans le cadre du programme
Géofrance 3D - 2000 - Bourse INPL



TISSANDIER LAURENT (Dir. : Guy LIBOUREL et Marc CHAUSSIDON)

Structure et composition des silicates condensés sous rayonnement
ultra-violet : application au milieu interstellaire et à la formation
du système solaire - 2000 - Bourse INPL

VALLE NATHALIE (Dir. : Guy LIBOUREL)

Traçage isotopique de l'altération du verre de confinement des déchets
nucléaires par ^{29}Si et ^{18}O - 2000 - CDD CEA/EDF



UISEUR SOPHIE (Dir. : Jean-Laurent MALLET)

Simulation stochastique de sédiments fluviaux - 2000 - Bourse INPL

THÈSES SOUTENUES

2000

- Adou M** (2000) Cartographie de la feuille «Dabakala» (Centre Nord de la Côte d'Ivoire) à 1/200 00ème. Nature, âge et origine des granitoïdes. Thèse : I.N.P.L., Nancy. Dir. Thèse : D. Gasquet
- Alexandrov P.** (2000) Géochronologie U/Pb et 40Ar/39Ar de segments calédoniens et hercyniens de la chaîne varisque : Haut Limousin et Pyrénées Orientales. Thèse : I.N.P.L., Nancy. Dir. Thèse : A. Cheilletz
- Audigane A** (2000) Caractérisation microsismique des massifs rocheux fracturés. Modélisation thermo-hydraulique. Application au concept géothermique de Soultz. Thèse : INPL, Nancy. 474 p. Dir. Thèse : J. J. Royer
- Decitre S** (2000) Variations de la composition isotopique du lithium dans les périorites océaniques serpentinisées et dans le manteau - Implications pour le cycle du lithium. Thèse : I.N.P.L., Nancy. Dir. Thèse : E Deloule.
- Dewonck S** (2000) Géochimie isotopique des gaz rares dans les roches sédimentaires et les eaux souterraines de l'Est du bassin parisien. Contribution aux transferts massiques intrabassinaux. Thèse : Nancy, INPL. 247 p. Dir. Thèse : B. Marty
- Duvinage I.** (2000) Supervised automatic fault modeling from autopicked horizons. Thèse : Nancy, INPL.. Dir. Thèse : J. L. Mallet
- Georges P** (2000) Volatilisation et condensation du potassium dans les silicates fondus : approche expérimentale et thermodynamique. Applications cosmochimique et sidérurgique. Thèse : U.H.P., Nancy. Dir. Thèse : E. Deloule et G. Libourel.
- Lecour M.** (2000) Failles : études des incertitudes concernant leur position, leur forme et leur rejet. Thèse : Nancy, INPL. . Dir. Thèse : J. L. Mallet
- Pierson-Wickmann A. C.** (2000) Le cycle de l'osmium et du rhénium pendant l'érosion himalayenne. Thèse : INPL Nancy. Dir. Thèse : C. France-Lanord et L. Reisberg
- Valle N.** (2000) Traçage isotopique (29Si et 18O) des mécanismes de l'altération du verre de confinement des déchets nucléaires : SON 68 Thèse : INPL, Nancy. Dir. Thèse : G. Libourel.

1999

- Barbarand J** (1999) Cinétique de cicatrization des traces de fission dans les cristaux d'apatite et histoire thermique de la bordure sud-est du Massif Central. Thèse : Nancy I. 440 p. Dir. Thèse : M. Pagel
- Branquet Y** (1999) Etude structurale et métallogénique des gisements d'émeraude de Colombie : contribution à l'histoire tectono-sédimentaire de la Cordillère Orientale de Colombie. Thèse : I.N.P.L., Nancy. Dir. Thèse : A. Cheilletz et G. Giuliani.
- Dereje A** (1999) Pétrologie et géochimie des ignimbrites Alaji des hauts plateaux éthiopiens : source, chronologie et impact environnemental. Thèse : I.N.P.L., Nancy. Dir. Thèse : B. Marty et P. Barbey
- Galy A** (1999) Etude géochimique de l'érosion actuelle de la chaîne himalayenne. : INPL, Nancy. 464 p. Dir. Thèse : C. France-Lanord et M. Chaussidon
- Peslier AH** (1999) Pétrologie et géochimie isotopique de xénolites mantelliques de la Cordillère Canadienne. Thèse de doctorat : Université de Montreal. 224 p. Dir. Thèse : J. N. Ludden
- Rose E** (1999) Géochimie isotopique du bore dans les cycles supergènes. Thèse : I.N.P.L. Nancy. Dir. Thèse : M. Chaussidon.

1998

- Chaussidon M.** (1998) Cosmochimie et géochimie du bore. Habilitation à Diriger des Recherches : I.N.P.L., Nancy. 262p.
- Fichtl P** (1998) Cosimulations de lithofaciès et de propriétés réservoirs associées contraintes par les données sismiques. Thèse : I.N.P.L., Nancy. Dir. Thèse : J. J. Royer.
- 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.
- Humbert F** (1998) Solubilité de l'azote dans les silicates liquides. Influence de la fugacité d'oxygène et de

- la composition. Thèse : Nancy 1. 234 p. Dir Thèse : G. Libourel B. Marty
- Pairazian K** (1998) Modélisation 3D des réservoirs pétroliers par l'intégration des données sismiques et géologiques : approches quantitatives multivariées. Thèse : I.N.P.L., Nancy. Dir. Thèse : J. L. Mallet.
- 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.
- Seconds D** (1998) Paramétrisations surfaciques et volumiques. : I.N.P.L., Nancy. Dir. Thèse : J. L. Mallet.
- Sterpenich J.** (1998) Altération des vitreaux médiévaux. Contribution à l'étude du comportement à long terme des verres de confinement. Thèse UHP - Nancy 1.

1997

- Aïssa DE** (1997) Les minéralisations tertiaires de l'Edough (NE Algérie) : métallogénie d'un «metamorphic core complex» Miocène. Thèse : I.N.P.L., Nancy. 306p. Dir. Thèse : C. Marignac
- 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. Dir. Thèse : D. Gasquet
- 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. Dir. Thèse : AM Boullier, JP Burg .
- 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. Dir. Thèse : M. Arnold
- De Mesquita Barros CE** (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. Dir. Thèse : P. Barbey et A.M. Boullier
- 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. Dir. Thèse : JJ Royer
- Giuliani G** (1997) Genèse des gisements d'émeraude du Brésil et de Colombie. Habilitation à diriger des Recherches : INPL, Nancy. 147p. + annexe.
- 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. Dir. Thèse : M. Chaussidon
- Libourel G** (1997) Verres et liquides silicatés. Exemples de recherches fondamentales et appliquées. Habilitation à Diriger des Recherches : Nancy 1.
- 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. Dir. Thèse : A. Ploquin , M. Arnold
- 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 cristallogénie de la phlogopite sur la rétention de l'argon. Thèse : I.N.P.L., Nancy. 214p. Dir. Thèse : A. Cheilletz
- Somot S** (1997) Radium, uranium et métaux dans les résidus de traitement dynamique, acide et alcalin, de minerais d'uranium. Thèse : Nancy. Dir. Thèse : M. Pagel.

DEVENIR DES ÉTUDIANTS

ADOU M'BÉ	Retour sur son poste au Ministère des Mines de Côte d'Ivoire
AISSA Djamal	Enseignant Université sciences et techniques à Alger
AIT-MALEK Halima	En attente d'un poste Université Marocaine
ALEXANDROV Pavel	Post-Doc à Queen's University (Kingston, Canada)
ARNAUD Florence	Prolongation de contrat BRGM
AUDIGANE Pascal	Post-Doc ENSG, puis Imperial College London
BARBARAND Jocelyn	Post-Doc Imperial College (Angleterre)
BRANQUET Yannick	ATER Univ. Clermont-Ferrand puis MC Univ. Orléans
CHAROY Nathalie	CDI au SIAAP (Syndicat Interdépartemental de l'Assainissement de l'Agglomération Parisienne)
DECITRE Sylvie	ATER Université de Besançon
DE MESQUITA BARROS Carlos	Maître de Conférence Université Belem(Brésil)
DEREJE Ayalew	Enseignement Supérieur à l'Univ. d'Addis Abeba (Ethiopie)
DEWONCK Sarah	CDI ANDRA
DUVINAGE Isabelle	CDI T-Surf France
EULER Nicolas	CDI T-Surf
FICHTL Patrick	CDD société SMEDVIG Technologies (Londres)
GALY Albert	CDD université d'Oxford, puis Lecturer Cambridge University (U.K.)
GEORGES Peggy	CDI CRITT Matériaux LNE Est. Starsbourg
GERARD Benoît	CDI ingénieur informaticien modélisateur chez GDF-DETN La plaine StDenis
HANON Pascal	Post-Doc au Japon de 07/97-07/98 puis à Berne depuis 09/98
HUMBERT Franck	CDI Ingénieur Process chez CFC DAUM (Vannes le Chatel -54)
KOLLI Omar	Retour sur son poste d'enseignant chercheur Univ. Alger
LE CARLIER DE VESLUD Cécile	CDD CNRS / CRPG puis enseignant secondaire
LECOUR Magali	CDI T-Surf USA
LEVY Bruno	CDD GOCAD
MARIEZ Olivier	CDD GOCAD
PAIRAZIAN Karen	CDD GOCAD
PESLIER Anne Hélène	Post-Doc Carnegie, University of Washigton
PIERSON-XICKMANN A. C.	Post-Doc à Queen's University (Kingston, Canada)
RAJABZADEH Mohammad	Retour sur son poste Université Téhéran (Iran)
RAKOTOMANANA Dominique	Retour sur son poste d'ingénieur à l'OMNIS Madagascar
RIBEIRO ALTHOFF Ana Maria	Contractuel Université de Sao Leopoldo (RS - Brésil)
ROSE Estelle	Post-doc Woods Hole Ocean. Inst. puis CR CNRS ENS Lyon.
SEGONDS David	CDD GOCAD
SOMOT. Stéphanie	CDD au Canada
STERPENICH Jérôme	ATER UHP-Nancy 1, CDD Lorinfo puis CDD CNRS
VELTEN Wolfgang	CDD Sté MOBIL aux U.S.A.

LES CHERCHEURS VISITEURS

COSMOCHIMIE- PLANETOLOGIE

Sergei Assonov (Responsable Bernard Marty)

Organisme de rattachement : Vernadsky Institut of Geochemistry – Académie des Sciences de Russie

Séjour : du 11/99 au 05/2000

Statut : chercheur boursier EGID (anciennement CIES)

Double projet : (1) composition isotopiques de N et Ar dans le régolite jeune échantillonné par la sonde russe Luna 24 : origine et variation temporelle des source; (2) essai d'identification de l'azote indigène lunaire dans les laves lunaires et dans les verres orangés de Shorty Crater (Apollo 17)

Ko Hashizume (Responsable Bernard Marty)

Organisme de rattachement : Université d'Osaka, Japon

Séjour du 03/98 au 02/99 en post-doc

et Séjour du 03/99 au 08/1999 en tant que chercheur associé CNRS

Composantes de N dans les régolites lunaires «jeunes» et «vieux» analyse grain à grain par spectrométrie de masse statique et par sonde ionique : mise en évidence de la composition légère de N dans le vent solaire

Igor Tolstikhin (Responsable Bernard Marty)

Organisme de rattachement : Geological Institut of Kola Science Center, Académie des Sciences de Russie
du 03/1998 au 05/1998

du 16/02/00 au 29/02/00 en tant que chercheur visiteur

Modélisation couplée gaz rares-volatils majeurs de l'évolution précoce du système Terre-Atmosphère
Flux globaux de CO₂ volcanique

PROCESSUS MAGMATIQUES

Anna Peregodova (Responsable : Daniel Ohnenstetter)

Organisme de rattachement : Institut de Minéralogie et Pétrographie de l'IUGGM – Novosibirsk – Russie
Séjour du 03/1999 au 06/1999 et du 4 décembre au 4 janvier 2000

Dans le cadre du PICS franco-russe n° 568, nous avons accueilli quatre chercheurs russes.

Le Dr Anna Peregodova, de l'Institut de Géologie, de Géophysique et de Minéralogie du Département Sibérien de l'Académie des Sciences de Russie à Novosibirsk (IUGGM) a effectué trois séjours au CRPG durant ces quatre dernières années: la première fois en 1995 pour une durée de six mois, et les deux autres fois en 1999 (18 mars - 4 juin et 4 décembre - 4 janvier 2000). Elle a effectué durant ses différents séjours des expériences dans le système Fe-Ni-Cu-S avec une composition de départ Méta/Soufre correspondant à celui de la pentlandite (M9S8) et en faisant varier la proportion des métaux de base. Les produits résultant des charges expérimentales ont été analysés à la microsonde électronique et aux rayons X. Un article en commun concernant ces travaux est déposé au Canadian Mineralogist, avec des implications quant à la formation des gisements de Pt.

Les Drs **E.F. Sinyakova** de l' IUGGM et **N.V. Peregodova** de la bibliothèque scientifique et technique du département sibérien de l'Académie des Sciences de Russie ont séjourné au CRPG **du 4 décembre au 4 janvier 2000**. Le Dr. Sinyakova a analysé à la sonde électronique des pentlandites de synthèse. Le Dr. N. Peregodova a traduit en français les articles russes concernant le projet PICS.

Félix Mitrofanov (responsable D. Ohnenstetter)

R. Latypov

Liferovich

Drs N. Kudryashov, F.P. Mitrofanov et V.F.Smolkin,

Organisme : Geological Institut of Kola Science Center, Russian Academy of Sciences – Russie

Dans le cadre du programme d'échanges entre l'Académie des Sciences de Russie et le CNRS, nous

avons accueilli plusieurs scientifiques du Centre des Géosciences de Kola d'Apatity (région de

Murmansk). Nous avons eu la visite au CRPG :

- des Drs R. Latypov, R.P. Liferovich, F.P. Mitrofanov et A.N. Vinogradov du 27 mars au 10 avril 1999 et des Drs N. Kudryashov, F.P. Mitrofanov et V.F.Smolkin, du 1er au 15 avril 2000.

Nous avons élaboré un nouveau projet de coopération scientifique entre le CRPG et l'Institut de Kola sur l'origine des minéralisations nickélicifères, chromifères et platinières du complexe basique-ultrabasique de Monchegorsk et l'impact sur l'environnement de leur exploitation.

Le **Dr. E.V. Kislov** du « Laboratory of magmatic ore-formation » de l'Institut Géologique Buryate de l'Université Ulan-Ude a effectué un séjour d'un mois au CRPG (**mars 2000**) pour analyser les échantillons minéralisés en EGP du massif de Ioko Dovyren (région transbaïkale).

Endale Ketefo (B. Marty, R. Pik, L. Reisberg, J. Ludden)

Organisme : Université d'Addis Abeba, Ethiopie

Séjour : du 07/1999 au 12/1999

Petrologie des basaltes des trapps d'Ethiopie

Yirgu Gezahegn (B. Marty, R. Pik, L. Reisberg, J. Ludden)

Organisme : Université d'Addis Abeba, Ethiopie

Séjour : du 07/1998 au 09/1998 et du 07/1999 au 10/1999

Petrologie et géochimie des basaltes à la transition Trapps – volcanisme central de l'Ethiopie

George Jenner (J. Ludden, M. Ohnenstetter, D. Ohnenstetter)

Developpement de projets petrologiques en intrusions litées, et l'application de l'analyse par laser-ICP pour les verres bonninitiques, et les Elements du groupe de platine (EGP)

MODÉLISATION SPATIO-TEMPORELLE DE LA LITHOSPHERE

Zicheng Peng (Responsable E. Deloule)

Séjour : du 28/06 au 01/09/1999

Organisme : Div of Geochemistry, dep. Of Earth Space sciences, Univ. des sciences et de la technologie – HEIFEI

Analyse U-Pb zircon dans les zones d'exhumation à haute pression du Dabie Shan en Chine

Kurtis Kyser (Responsable J. Ludden)

Organisme : Queens University Kingston, Canada

Séjour : du 09/1998 au 12/1998

Séjour : du 10/1999 au 03/2000

Recyclage des volatiles dans le manteau dans les zones de subduction – le bilan de l'hydrogène, de l'oxygène, du fluor et du Li.

Solomon Tadesse (Responsables : B. Marty, R. Pik, L. Reisberg, J. Ludden)

Organisme : Université d'Addis Abeba

Séjour du 09/1999 au 12/1999

Etude de la minéralisation en or et en métaux rares du Panafricain de l'Ethiopie

ENVIRONNEMENT ET PALEO-ENVIRONNEMENTS

R. Pik (Responsable Bernard Marty)

Organisme de rattachement : université de Marseille

Séjour du 09/97 au 09/98 en post-doc

Distribution des isotopes de l'hélium dans les zones sismogéniques européennes;

les gaz rares dans les eaux souterraines de l'Albien du Bassin parisien : contraintes sur les vitesses de circulation et les mélanges, implications paléoclimatiques.

Sunil SINGH (Responsable: Christian France-Lanord)

Organisme de rattachement : Physical Research Laboratory, Ahmedabad, Inde

Séjour du 11/99 11/2000

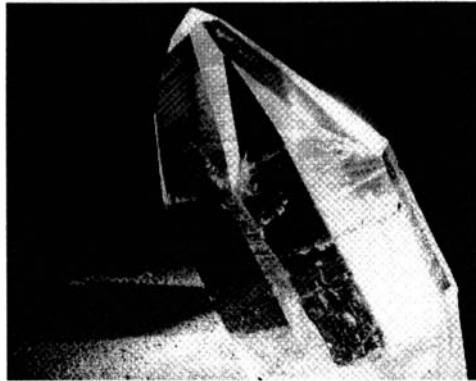
Statut : chercheur Post-doc

Hoang Quang VINH (Responsable : Gaston GIULIANI - IRD)

Organisme de rattachement : Institute of Geological Science, Hanoi, Vietnam

Séjour : du 01/99 au 06/99

La caractérisation des phases fluides occluses dans les rubis et la détermination de la composition isotopique (O, C) des marbres à rubis ainsi que l'origine du carbone des graphites associés.



LES PUBLICATIONS ET COMMUNICATIONS À CONGRÈS

PUBLICATIONS DE RANG A

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 example of the Manalu granite and Tibetan Slab migmatites in central Nepal. *Lithos*, 38, 63-79.
- 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.
- Cheilletz 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-
- 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.
- Demars C, Pagel M, **Deloule E**, Blanc P (1996) Cathodoluminescence of quartz from sandstones : interpretation of the UV range by determination of trace element distributions and fluid-inclusion *P-T-X* properties in authigenic quartz. *Amer. Mineral.*, 81, 891-901.
- 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 J**, 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.
- 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.
- Gurenko AA**, Hansteen TH, Schmincke HU (1996) Evolution of parental magmas of Miocene shield basalts of Gran Canaria (Canary islands): constraints from crystal, melt and fluid inclusions in minerals. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 124, 422-435.
- 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, 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 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.
- Leroy M, **Ploquin A** (1996) Approche archéométrique de la pro-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.
- Marignac C**, Semiani A, Fourcade S, Boiron MC, Joron JL, Kienast JR, Peucat J-J (1996) Metallogenesis of the Late Pan-African gold-bearing East Ouzzal shear zone (Hoggar, Algeria). *J. Metamorph. Geol.*, 14, 783-801.
- Martinez-Serrano R, **Jacquier B**, **Arnold M** (1996) The $\delta^{34}\text{S}$ composition of sulfates and sulfides at the Los humeros geothermal system, Mexico and their application to physicochemical fluid evolution. *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, **Cheilletz 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, Verpaelst 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 Archean komatiite. *Science*, 273, 93-95.
- Ritz M, **Brown WL**, Moreau C, **Ohnenstetter D** (1996) An audiomagnetotelluric study of the Meugueur-Meugueur ring structure, Air, Niger: ring dyke or cone sheet ? *J. Appl. Geophys.*, 34, 229-236.
- Scaillet 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 : I. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ isotopic constraints. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 60, 4653-4671.
- Scaillet 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) H_2O concentrations in primary melts from supra-subduction zones and mid-ocean ridges : implications for H_2O 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 P_2O_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, **Deloule 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.

1997

- Albarède F, Goldstein SL, **Dautel D** (1997) The neodymium isotopic composition of manganese nodules from the Southern and Indian oceans, the global oceanic neodymium budget, and their bearing on deep ocean circulation. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 61, 1277-1291.
- 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 (**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.
- Boyd SR**, Wright IP, Pillinger CT (1997) Stepped-heating of carbonates and carbon-bearing quartz grains. *Chem. Geol.*, 134, 303-310.
- Boyd SR** (1997) Determination of the ammonium content of potassic minerals by capacitance manometry. *Chem. Geol.*, 137, 57-66.
- 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'europium : 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.
- 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 $\delta^{11}\text{B}$ value 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, 321-326.
- Cheilletz A**, **Giuliani G**, **Branquet Y**, Laumonier B, Sanchez M, Féraud G, **Arhan T** (1997) Datation K-Ar et $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Ar à $65 \pm 3\text{Ma}$ 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), série II*, 324, 369-377.
- Dubois M, **Marignac C** (1997) The H₂O-NaCl-MgCl₂ 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°C) H₂O-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.
- Hardy S, **Ford M** (1997) Thishear above a propagating thrust : implications for fault propagation folding. *Tectonics*, 16, 841-854.
- Henry P, **Deloule 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.
- Hofmann C, Courtillot V, Féraud G, Rochette P, Yirgu G, Ketefo E, **Pik R** (1997) Timing of the Ethiopian flood basalt event and implications for plume birth and global change. *Nature*, 389, 838-841.
- 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**, Ildefonse 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 braid micropertthites : pleated rims and vein micropertthites. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 127, 291-304.
- Mallet JL** (1997) Discrete modeling for natural objects. *J. 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.
- Pagel M**, Braun JJ, Disnar JR, Martinez L, Renac C, Vasseur G (1997) Thermal history constraints from studies of organic matter, clay minerals, fluid inclusions, and apatite fission tracks at the Ardeche paleo-margin (BA1 Drill Hole, GPF Program), France. *J. Sediment. Res.*, 67, 235-245.
- 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 A-C** (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 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. *Geoph. J. int.*, 131, F15-F18.
- Shapiro SA**, Treitel S (1997) Multiple scattering of seismic waves in multilayered structures. *Phys. Earth Planet. Interiors*, 104, 147-159.
- Somot S, **Pagel M**, Thiry J (1997) Spéciation du radium dans les résidus de traitement acide du minerai d'uranium de L'Ecarpière (Vendée, France). *C. R. Acad. Sci. (Paris), série II*, 325, 111-118.
- 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 Na₂O-Al₂O₃-SiO₂ 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 SiO₂-NaAlSi₃O₈. *Amer. Mineral.*, 82, 979-990.²

- Ait Malek H, Gasquet D, Leterrier J**, Bertrand JM (1998) Géochronologie U-Pb sur zircon de granitoïdes éburnéens et panafricains dans les boutonnières protérozoïques du Kerdous, d'Igherm et du Bas Drâa (Anti-Atlas occidental, Maroc). *C. R. Acad. Sci. (Paris), série II*, 327, 819-826.
- Almeida A, **Leterrier J**, Noronha F, Bertrand JM (1998) U-Pb zircon and monazite geochronology of the Hercynian two-mica granite composite pluton of Cabeceiras de Basto (Northern Portugal). *C. R. Acad. Sci. (Paris), série II*, 326, 779-785.
- Aquilina L, Baubron J-C, Defoix D, Dégranges P, Disnar J-R, **Marty B**, Robé M-C (1998) Characterization of gases in sedimentary formations through monitoring during drilling and core leaching (Balazuc borehole, deep Geology of France Programme). *Appl. Geochem.*, 13, 673-686.
- Boullier AM, **Firdaous 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**, Wright IP, Alexander CMOD, Pillinger CT (1998) High resolution stepped-combustion mass spectrometry : application to the detection and analysis of fine-grained diamond in meteorites and rocks. *Geostandard. Newslett.*, 22, 71-83.
- Boyd SR**, Phillipot P (1998) Precambrian ammonium biogeochemistry: a study of the Moine metasediments, Scotland. *Chem. Geol.*, 144, 257-268.
- Chaussidon M**, Robert F (1998) $^7\text{Li}/^6\text{Li}$ and $^{11}\text{B}/^{10}\text{B}$ variations in chondrules from the Semarkona unequilibrated chondrite. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 164, 577-589.
- Dias G, **Leterrier J**, Mendes A, Simoes P, Bertrand JM (1998) U-Pb zircon and monazite geochronology of post-collisional Hercynian granitoids from Central Iberian Zone (Northern Portugal). *Lithos*, 45, 349-369.
- Dunphy JM, **Ludden JN** (1998) Petrological and geochemical characteristics of a Paleoproterozoic magmatic arc (Narsajuaq Terrane, Ungava Orogen, Canada) and comparisons to Superior Province granitoids. *Precambrian Res.*, 91, 109-142.
- Giuliani G, France-Lanord C, Coget P**, Schwartz D, **Cheilletz A, Branquet Y**, Giard F, Martin-Yzard A, Alexandrov P, Piat DH (1998) Oxygen isotope systematics of emerald : relevance for its origin and geological significance. *Miner. Depos.*, 33, 513-519.
- 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.
- Hashizume K**, Sugiura N (1998) Transportation of gaseous elements and isotopes in a thermally evolving chondritic planetesimal. *Meteoritics & Planet. Sci.*, 33, 1181-1195.
- Kamijo K, **Hashizume K**, Matsuda J (1998) Noble gas constraints on the evolution of atmosphere-mantle system. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 62, 2311-2321.
- Le Forestier L, Libourel G** (1998) Characterization of flue gas residues from municipal solid waste combustors. *Environ. Sci. Technol.*, 32, 2250-2256.
- Mahé-Le Carlier C**, Dieudonné-Glad N, **Ploquin A** (1998) Des laitiers obtenus dans un bas-fourneau ? Etudes chimique et minéralogique des scories du site d'Oulches (Indre). *Rev. Archéom.*, 22, 91-101.
- Marty B, Tolstikhin IN** (1998) CO_2 fluxes from mid-ocean ridges, arcs and plumes. *Chem. Geol.*, 145, 233-248.
- Marty B, Tolstikhin IN**, Kamesnky IL, Nivin V, Balaganskaya L, **Zimmermann JL** (1998) 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.*, 164, 179-192.
- 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.
- Pinti DL, **Marty B** (1998) Separation of noble gas mixtures from petroleum and their isotopic analysis by mass spectrometry. *J. chromatogr. A*, 824, 109-117.
- Ritter JRR, **Shapiro SA**, Schechinger B (1998) Scattering parameters of the lithosphere below the Massif central, France, from teleseismic records. *Geoph. J. int.*, 134, 187-198.

- Rochette P, Tamrat E, Féraud G, **Pik R**, Courtillot V, Ketefo E, Coulon C, Hoffmann C, Vandamme D, Yirgu G (1998) Magnetostratigraphy and timing of the Oligocene Ethiopian traps. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 164, 497-510.
- Roselieb K, **Chaussidon M**, **Mangin D**, Jambon A (1998) Lithium diffusion in vitreous jadeite ($\text{NaAlSi}_2\text{O}_6$). *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.
- Ruggieri G, Cathelineau M, Boiron MC, **Marignac C** (1998) Boiling and fluid mixing in the chlorite zone of the Larderello geothermal system. *Chem. Geol.*, 154, 237-256.
- Sano Y, Nishio Y, Gamo T, Jambon A, **Marty B** (1998) Noble gas and carbon isotopes in Mariana through basalt glasses. *Appl. Geochem.*, 13, 441-449.
- Sano Y, Takahata N, Nishio Y, **Marty B** (1998) Nitrogen recycling in subduction zones. *Geophys. Res. Lett.*, 25, 2289-2292.
- 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.
- Smith MP, Savary V, Yardley BWD, Valley JW, **Royer JJ**, Dubois M (1998) The evolution of the deep flow regime at Soultz-sous-Fo-rêts, rhine Graben, eastern France : evidence from a composite quartz vein. *J. Geophys. Res.*, 103, 27,223-27,237.
- Sugiura N, Kiyota K, **Hashizume K** (1998) Nitrogen components of primitive ordinary chondrites. *Meteoritics & Planet. Sci.*, 33, 463-482.
- 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 ^{31}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.
- 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. *Geoph. J. Int.*, 132, 363-373.
- Yamamoto T, **Hashizume K**, Matsuda J, Kase T (1998) Distinct indigenous nitrogen isotopic components co-existing in ureilites. *Meteoritics & Planet. Sci.*, 33, 857-870.

1999

- Barbey P**, **Marignac C**, Montel JM, **Macaudière J**, **Gasquet D**, Jabbori J (1999) Cordierite growth textures and the conditions of genesis and emplacement of crustal granitic magmas : the Valey Granite complex (Massif Central, France). *J. Petrol.*, 40, 1425-1441.
- Baumer A, Blanc P, Lapraz D, **Ohnenstetter D**, Cesbron F, Panczer G, **Prévost H** (1999) L'instabilité des ions Eu^{3+} provoquée par le bombardement électronique dans les minéraux synthétiques observée par luminescence. *C. R. Acad. Sci. (Paris), série II*, 329, 629-635.
- Branquet Y**, Laumonier B, **Cheilletz A**, **Giuliani G** (1999) Emeralds in the Eastern Cordillera of Colombia : two tectonic settings for one mineralization. *Geology*, 27, 597-600.
- Calvert AJ, **Ludden JN** (1999) Archean continental assembly in the southeastern Superior Province of Canada. *Tectonics*, 18, 412-429.
- Cannat M, Briais A, Deplus C, Escartin J, Georgen J, Lin J, Mercouriev S, **Meyzen C**, Muller M, Pouliquen G, Rabain A, da Silva P (1999) Mid-Atlantic Ridge-Azores hotspot interactions : along-axis migration of a hotspot-derived event of enhanced magmatism 10 to 4 Ma ago. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 173, 257-269.
- Chalot-Prat F**, **Arnold M** (1999) Immiscibility between calcio-carbonatitic and silicate melts, and related wall-rock reactions in the upper mantle : a natural case study from Romanian mantle xenoliths. *Lithos*, 46, 627-659.
- Chalot-Prat F**, Girbacea R (1999) Mantle-crust decoupling in a uplift context, a triggering mechanism for volcanism and basin formation: a new geodynamic model for the Pliocene-Quaternary evolution of the southern Eastern Carpathians, Romania. *Tectonophysics*

- Charoy B** (1999) Beryllium speciation in evolved granitic magmas : phosphates versus silicates. *Eur. J. Mineral.*, 11, 135-148.
- Chaussidon M**, Robert F (1999) Lithium nucleosynthesis in the Sun inferred from the solar-wind $^7\text{Li}/^6\text{Li}$ ratio. *Nature*, 402, 270-273.
- Cheilletz A**, Ruffet G, **Marignac C**, Kolli O, **Gasquet D**, Féraud G, Bouillin J (1999) $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of shear zones in the Variscan basement of Greater Kabylia (Algeria). Evidence of an Eo-Alpine event at 128 Ma (Hauterivian-Barremian boundary) : geodynamic consequences. *Tectonophysics*, 306, 97-116.
- Cobbold PR, **Diraison M**, Rossello EA (1999) Bitumen veins and Eocene transpression, Neuquen Basin, Argentina. *Tectonophysics*, 314, 423-442.
- Dauphas N**, **Marty B** (1999) Heavy nitrogen in carbonatites of the Kola Peninsula : a possible signature of the deep mantle. *Science*, 286, 2488-2490.
- Deloule E**, Robert F, Doukhan J-C (1999) Interstellar hydroxyls in meteoritic chondrules : implications for the origin of water in the inner solar system. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 62, 3367-3378.
- Engrand C, **Deloule E**, Robert F, Maurette M, Kurat G (1999) Extraterrestrial water in micrometeorites and cosmic spherules from Antarctica : an ion microprobe study. *Meteoritics & Planet. Sci.*, 34, 773-786.
- Francis D, **Ludden J**, Johnstone R, Davis W (1999) Picrite evidence for more Fe in Archean mantle reservoirs. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 167, 197-213.
- Galy A**, **France-Lanord C** (1999) Weathering processes in the Ganges-Brahmaputra basin and the riverine alkalinity budget. *Chem. Geol.*, 159, 31-60.
- Galy A**, **France-Lanord C**, Derry LA (1999) The strontium isotopic budget of Himalayan Rivers in Nepal and Bangladesh. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 63, 1905-1926.
- Giuliani G**, **Chaussidon M**, **France-Lanord C**, **Rollion C**, **Mangin D**, **Coget P** (1999) Application de l'analyse isotopique par spectrométrie de masse et sonde ionique de l'oxygène des émeraude naturelles. *Analysis*, 27, 203-206.
- Hanon P**, **Chaussidon M**, Robert F (1999) Distribution of lithium, beryllium, and boron in meteoritic chondrules. *Meteoritics & Planet. Sci.*, 34, 247-258.
- Jouanne F, Mugnier JL, Pandey MR, Gamond JF, Le Fort P, Serrurier L, Vigny C, Avouac JP, **Galy A** (1999) Oblique convergence in the Himalayas of western Nepal deduced from preliminary results of GPS measurements. *Geophys. Res. Lett.*, 26, 1933-1936.
- Lécuyer C, Dubois M, **Marignac C**, Gruau G, Fouquet Y, Ramboz C (1999) Phase separation and fluid mixing in subseafloor back arc hydrothermal systems : a microthermometric and oxygen isotope study of fluid inclusions in the barite-sulfide chimneys of the Lau basin. *J. Geophys. Res.*, 104, B8, 17,911-17,927.
- Lécuyer C, Dubois M, **Marignac C**, Fouquet Y, Gruau G, Ramboz C (1999) Unmixing and seawater mixing in deep-sea hydrothermal systems : a microthermometric and oxygen isotope study of fluid inclusions in the barite-sulfide chimneys of the Lau basin. *J. Geophys. Res.*
- Libourel G** (1999) Systematics of calcium partitioning between olivine and silicate melt : implications for melt structure and calcium content of magmatic olivines. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 136, 63-80.
- Mahé-Le Carlier C**, **Ploquin A** (1999) Typologie et caractérisation de scories de réduction de la métallurgie du fer. *Rev. Archéom.*, 23, 59-69.
- Marignac C**, Cuney M (1999) Ore deposits of the French Massif Central : insight into the metallogenesis of the Variscan collision belt. *Miner. Depos.*, 34, 472-504.
- Marty B**, **Zimmermann L** (1999) Volatiles (He, C, N, Ar) in mid-ocean ridge basalts : assessment of shallow-level fractionation and characterization of source composition. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 63, 3619-3633.
- McDonald I, **Ohnenstetter D**, **Ohnenstetter M**, Vaughan DJ (1999) Palladium oxides in ultramafic complexes near Lavatrafu, Western Andriamena, Madagascar. *Mineral. Mag.*, 63, 345-352.
- Mungall JE, Dingwell DB, **Chaussidon M** (1999) Chemical diffusivities of 18 trace elements in granitoid melts. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 63, 2599-2610.
- Parsons I, **Brown WL**, Smith JV (1999) $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ thermochronology using alkali feldspars : real thermal history or mathematical mirage of microtexture? *Contrib. Mineral. Petrol.*, 136, 92-110.
- Pik R**, Deniel C, Coulon C, Yirgu G, **Marty B** (1999) Isotopic and trace element signatures of Ethiopian flood basalts : evidence for plume-lithosphere interactions. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 63, 2263-2279.
- Schaller T, Rong C, **Toplis M**, Cho H (1999) TRAPDOR NMR investigations of phosphorus-bearing aluminosilicate glasses. *J. Non-Cryst. Solids*, 248, 19-27.
- Shapiro SA**, **Audigane P**, **Royer J** (1999) Large-scale *in situ* permeability tensor of rocks from induced microseismicity. *Geoph. J. Int.*, 137, 207-213.

- Trumbull RB, **Chaussidon M** (1999) Chemical and boron isotopic composition of magmatic and hydrothermal tourmalines from the Sinceni granite-pegmatite system in Swaziland. *Chem. Geol.*, 153, 125-137.
- Vitali F, Blanc G, Gauthier-Lafaye F, **France-Lanord C** (1999) Formation temperatures of clays from the volcanoclastic series of site 841 ODP : an oxygen isotopic record of a paleothermal flux into the Tonga forearc. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 134, 364-369.
- Wieler R, **Humbert F, Marty B** (1999) Evidence for a predominantly non-solar origin of nitrogen in the lunar regolith revealed by single grain analyses. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 167, 47-60.

2000

- Althoff F, **Barbey P, Boullier AM.** (2000) 2.8-3.0 GA plutonism and deformation in the SE Amazonian craton : the Archaean granitoids of Marajoara (Carajas Mineral Province, Brazil). *Precambrian Research.*, 104, 3-4, 187-206.
- Alexandrov P, Cheilletz A, Deloule E, Cuney M** (2000) 319 +/- 7 Ma crystallisation age for the Blond granite (northwest Limousin, French Massif Central) obtained by U-Pb ion-probe dating of zircons. *C. R. Acad. Sci. (Paris), série II. Earth and Planetary Sciences*, 330, 1-7.
- Banks DA, **Giuliani G, Yardley BWD, Cheilletz A** (2000) Emerald mineralisation in Colombia : fluid chemistry and the role of brine mixing. *Miner. Depos.*, 35, 699-713.
- Bertrand JM, Guillot F, **Leterrier J** (2000) Age Paléozoïque inférieur (U-Pb sur zircon) de métagranophyres de la nappe du Grand-Saint-Bernard (*zona interna*, vallée d'Aoste, Italie). *C. R. Acad. Sci. (Paris), série II*, 330, 7, 473-478.
- Chalot-Prat F, Girbacea R** (2000) Partial delamination of continental mantle lithosphere, uplift-related crust-mantle decoupling, volcanism and basin formation : a new model for the Pliocene-Quaternary evolution of the southern East-Carpathians, Romania. *Tectonophysics*, 327, 83-107.
- Dauphas N, Robert F, Marty B** (2000) The late cometary and meteoritic bombardment of Earth as recorded in water D/H ratio. *Icarus*, 148, 508-512.
- Dereje A.** (2000) Origin by fractional crystallization of transitional basalt for the Asela-Ziway pantellerites. Crustal control in the genesis of Plio-Quaternary bimodal magmatism of the Main Ethiopian Rift (MER) : geochemical and isotopic (Sr, Nd, Pb) evidences by Trua et al. *Chem. Geol.*, 168, 1-2, 1-3
- Diraison M** (2000) Cenozoic crustal thickening, wrenching and rifting in the foothills of the southernmost Andes. *Tectonophysics*, 316, 91-119.
- Fluzin P, **Ploquin A, Serneels V.** (2000) Archéométrie des déchets de production sidérurgique : moyens et méthodes d'identification des différents éléments de la chaîne opératoire directe. *Gallia.*, 57, 101-121.
- Georges P, Libourel G, Deloule E.** (2000) Alkali condensation in chondrule formation. *Meteoritics & Planet. Sci.*, 35, 6, 1183-1188.
- Giuliani G, Chaussidon M, Schubnel HJ, Piat DH, Rollion-Bard C, France-Lanord C, Giard D, De Narvaez D, Rondeau B** (2000) Oxygen isotopes and emerald trade routes since the Antiquity. *Science*, 287, 631-633.
- Giuliani G, France-Lanord C, Cheilletz A, Coget P, Branquet B, Laumonier B.** (2000) Sulfate reduction by organic matter in Colombian emerald deposits : chemical and stable isotope (C, O, H) evidence. *Econ. Geol.*, 95, 5, 1129-1154.
- Hashizume K, **Chaussidon M, Marty B, Robert F.** (2000) Solar wind record on the moon : deciphering presolar from planetary nitrogen. *Science.*, 290, 1142-1145.
- Kerrick R, **Ludden JN.** (2000) The rôle of fluids during formation and evolution of the Superior Province lithosphere : an overview. *Can. J. Earth Sci.*, 37, 2-3, 135-164.
- Kong P, **Deloule E, Palme H** (2000) REE-bearing sulfide in Bishunpur (LL3.1), a highly unequilibrated ordinary chondrite. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 177, 1-2, 1-7.
- Ludden J, Hynes A.** (2000) The Lithoprobe Abitibi-Grenville transect : two billion years of crust formation and recycling in the Precambrian shield of Canada. *Can. J. Earth Sci.*, 37, 2-3, 459-476.
- Ludden JN, Hynes A.** (2000) The Abitibi-Grenville lithoprobe transect part III : introduction. *Can. J. Earth Sci.*, 37, 2-3, 115-116.

- Mc Keegan K, **Chaussidon M**, Robert F. (2000) Incorporation of short-lived ^{10}Be in a calcium-aluminium-rich inclusion from the Allende Meteorite. *Science*, 289, 5483, 1334-1337.
- Mahé-Le Carlier C, Le Carlier de Veslud C, Ploquin A, Royer J** (2000) Altération des scories de la métallurgie ancienne : un analogue de déchets vitrifiés. *C. R. Acad. Sci. (Paris), série II*, 179-184.
- Perseil AE, Blanc P, **Ohnenstetter D**. (2000) As-bearing fluorapatite in manganiferous deposits from St Marcel-Praborna, Val d'Aosta, Italy. *Canadian Mineralogist.*, 38, 101-117.
- Peslier A, **Reisberg L, Ludden JN**, Francis D (2000) Re-Os systematics in mantle xenoliths, age constraints on the Canadian Cordilleran lithosphere. *Chem. Geol.*, 166, 85-101.
- Peslier A, **Reisberg L, Ludden J**, Francis D. (2000) Re-Os constraints on harzburgite and lherzolite formation in the lithospheric mantle : a study of Northern Canadian Cordillera xenoliths. *Geochim. Cosmochim. Acta.*, 64, 17, 3061-3071.
- Pierson-Wickmann A-C, Reisberg L, France-Lanord C**. (2000) The Os isotopic composition of Himalayan river bedloads and bedrocks : importance of black shales. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 176, 203-218.
- Polyak BG, Tolstikhin IN, Kamensky IL, Yarovlev LE, **Marty B**, Cheshko AL. (2000) Helium isotopes, tectonics and heat flow in the Northern Caucasus. *Geochim. Cosmochim. Acta.*, 64, 11, 1925-1944.
- Porcher F, Dusausoy Y, **Souhassou M**, Lecomte C (2000) Epitaxial growth of zeolite X on zeolite A and twinning in zeolite A : structural and topological analysis. *Mineral. Mag.*, 64, 1, 1-8.
- Rose EF, Chaussidon M, France-Lanord C** (2000) Fractionation of boron isotopes during erosion processes : the example of Himalayan rivers. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 64, 397-408
- Sajona F, Maury R, Pubellier M, **Leterrier J**, Bellon H, Cotten J. (2000) Magmatic source enrichment by slab-derived melts in a young post-collision setting, central Midanao (Philippines). *Lithos.*, 54, 3-4, 173-206..
- Shapiro SA, Audigane P, Royer J** (2000) Reply to comment by F.H. Cornet on "Large-scale in situ permeability tensor of rocks from induced microseismicity. *Geoph. J. Int.*, 140, 470-473.
- Simonetti A, Gariépy C, **Carignan J** (2000) Pb and Sr isotopic compositions of snowpack from Québec, Canada : inferences on the sources and deposition budgets of atmospheric heavy metals. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 64, 5-20.
- Simonetti A, Gariépy C, **Carignan J**, Poissant L. (2000) Isotopic evidence of trace metal sources and transport in Eastern Canada as recorded from wet deposition. *J. Geophys. Res. Atm.*, 105, D10, 12, 263-12, 278.
- Tissandier L, Libourel G**, Robert F (2000) Experimental silica condensation and its bearing on chondrule formation. *Meteoritics & Planetary Science.*, 35, 5, A156-A157.
- Toplis MJ**, Kohn SC, Smith ME, Poplett JF. (2000) Fivefold-coordinated aluminium in tectosilicate glasses observed by triple quantum MAS NMR. *Amer. Mineral.*, 85, 10, 1556-1560.
- Toplis MJ**, Reynard B (2000) Temperature and time dependent changes of structure in phosphorus containing aluminosilicate liquids and glasses : In-situ Raman spectroscopy high temperature. *J. non-cryst. solids*, 263-264, 123-131.
- Toplis M**, Richet P. (2000) Equilibrium density and expansivity of silicate melts in the glass transition range. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 139, 672-683.

SOUS PRESSE

- Le Carlier de Veslud C**, Cuney M, **Royer J**, Floch' h JP, Améglio L, Vignerresse JL, Chevremont P, Itard Y (sous presse) 3D modelling of the relationships between granitoids and mineral deposits : the example of the Variscan Limousin Province (NW french Massif Central). *Trans. Roy. Soc. Edinb- Earth Sci.*,
- Lemelle L, Guyot F, Leroux H, **Libourel G** (sous presse) Mechanism of precipitation of (Fe, Ni) alloys in olivine single crystals under reducing conditions. *Geophys. Res.*,
- Ludden JN**, Hynes A (sous presse) The Abitibi-Grenville lithoprobe transect. In : Ludden JN, Hynes A (Eds), *Can. J. Earth Sci.* **Mallet JL**, **Shtuka A** (sous presse) Blending based stochastic simulator. *J. Math. Geol.*,

- Marty B, Sano Y, France-Lanord C** (sous presse) Water-saturated lavas from the Manus Basin : volatile behaviour during assimilation-fractional crystallisation-degassing (AFCD). *J. Volcanol. Geotherm. Res.*,
- Peregoedova A, **Ohnenstetter M**, et al. (sous presse) High temperature collectors of platinum group elements during the crystallization of Fe-Ni-Cu sulfide melts : experimental data. *Canadian Mineralogist*.
- Sterpenich J. and **Libourel G.** (in press) - Using stained glass windows to understand the durability of toxic waste matrices. *Chemical Geology*
- 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*,
- Toplis M** (sous presse) Quantitative links between microscopic properties and viscosity of liquids in the system SiO₂-Na₂O. *Chem. Geol.*,
- Wagner C, Mokhtari A, **Deloule E**, Chabaux F (sous presse) Mineralogical, geochemical and isotopic data from the hidden alkaline pyroxenite - carbonatite complex in Taourirt (Morocco) : implications for carbonatite genesis. *J. Petrol.*,

PUBLICATION A DES CHERCHEURS NOUVELLEMENT ARRIVÉS

- Bürgisser J, Ford M** (1998) Overthrust shear deformation of a foreland basin : structural studies south-east of the Pelvoux massif, SE France. *J. Struct. Geol.*, 20, 1455-1475.
- De Sigoyer J, Chavagnac V, Baldwin J, Blichert-Toft J, Costa M, Guillot S, **Luais B**, Mascle G (sous presse) Dating Indian continental subduction and collisional thickening in NW Himalaya : multichronometry of the Tso Moriri eclogites. *Geology*,
- Duchêne S, Albarède F** (1999) Simulated garnet-clinopyroxene geothermometry of eclogites. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 135, 75-91.
- Duchêne S, Albarède F, Lardeaux J M** (1998) Mineral zoning and exhumation history in the Münchberg eclogites (Bohemia). *Amer. J. Sci.*, 298, 30-39.
- Duchêne S, Blichert-Toft J, Luais B, Lardeaux JM, Télouk P, Albarède F** (1997) The Lu-Hf dating of Alpine eclogites. *Nature*, 387, 586-589.
- Duchêne S, Lardeaux JM, Albarède F** (1997) Exhumation of eclogites : insights from depth-time path analysis. *Tectonophysics*, 280, 586-589.
- Ford M** (sous presse) The significance of growth structures in foreland basin development. *Geol. Soc. Amer. Bull.*,
- Ford M, Lickorish WH, Kusznir NJ** (sous presse) Tertiary foreland basin evolution in the southern Subalpin chains SE France basin. *Basin Research*,
- Ford M, Lickorish WH, Podladchikov Y** (Sous presse) Foreland basin evolution around the western alpine arc. *Basin Research*,
- Ford M, Williams EA, Artoni A, Vergés J, Hardy S** (1997) Progressive evolution of a fault propagation fold pair as recorded by growth strata geometries. *J. Struct. Geol.*, 19, 413-441.
- Luais B, Télouk P, Albarède F** (1997) High-precision Nd isotopic measurements using plasma-source mass spectrometry. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 61, 22, 4847-4854.
- Séward D, Ford M, Williams EA, Meckel LD, Bürgisser J** (1999) Preliminary report on fission track studies in the Pelvoux area, SE France. *Memorie di Scienze Geologiche (Università de Padoue)*, 51, 1, 25-31.
- Williams EA, Artoni A, Ford M, Vergés J** (1998) Alluvial gravel sedimentation in a contractional growth fold setting, Sant Llorenç de Morunys, South-eastern Pyrenees. *Geological Society of London Special Publication*, 134, 69-106.
- Williams EA, Ford M, Stössel I, Sergeev SA** (1997) An Eifelian U-Pb zircon date for the Enagh Tuff Bed from the Old Sandstone of the Munster Basin in NW Iveragh, SW Ireland. *J. Geol. Soc. London*, 154, 189-193.

PUBLICATIONS DE RANG B ET CHAPITRES DE LIVRES

1996

- Colardelle M, Forrières C, Verdel E, **Ploquin A**, Merluzzo P (1996) La métallurgie dans l'habitat fortifié de Colletière à Charavines (XIe siècle). *Le monde alpin et rhodanien*, 2/4, 135-147.
- Gasquet D**, **Stussi JM**, Nachit H (1996) Les granitoïdes hercyniens du Maroc dans le cadre de l'évolution géodynamique régionale. *Bull. Soc. géol. France*, 167, 517-528.
- Jarrier C, Domergue C, Pieraggi B, **Ploquin A**, Tollon F (1996) Archéologie et archéométrie de la sidérurgie romaine dans la Montagne Noire au 1er siècle avant J.-C. le cas des Martys (Aude). *Bulletin de la Société d'Etudes Scientifiques de l'Aude*, XCVI, 11-22.
- 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.
- 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.
- Robert F, Boullier AM, **Firdaous K** (1996) Geometric aspects of a large extensional vein, Donalds deposit, Rouyn-Noranda, Quebec. *Geological Survey of Canada, Current Research C*, 147-155.
- 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.

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.
- 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. -
- Bardinet C, **Royer JJ** - Geoscience and water resources : Environmental Data Modeling. Berlin : Springer Verlag, 1997. 293p.
- 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.
- Choukroune P, **Ludden JN**, Chardon D, Calvert AJ, Bouhallier H (1997) Archean 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.
- Fortes PTFO, **Cheilletz A**, **Giuliani G**, Féraud G (1997) A Brasiliano Age (500± 5 Ma) for the Mina III gold deposit, Crixás Greenstone Belt, Central Brazil. *Int. geol. rev.*, 39, 449-460.

- Giuliani G, Cheillettz A, Zimmermann JL, Ribeiro-Althoff AM, France-Lanord C, Féraud G** (1997) Les gisements d'émeraude du Brésil : genèse et typologie. *Chron. rech. min.*, 526, 17-61.
- Giuliani G, France-Lanord C, Zimmermann JL, Cheillettz A, Arboleda C, Charoy B, Coget P, Fontan F, Giard D** (1997) Fluid composition, δD of channel H_2O , and $\delta^{18}O$ 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 néoprotozoïques 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.
- 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 Dalías (South East Spain). In : Bardinnet C, Royer JJ (Eds), *Geosciences and Water Resources : Environmental Data Modeling*, Springer : Berlin, 63-76.
- Leroy M, Casarotto JT, Hamon B, merluzzo P, **Ploquin A** - La sidérurgie en Lorraine avant le haut fourneau : l'utilisation du minerai de fer oolithique en réduction directe. : CNRS Editions, 1997. 306 p.
- 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.
- Ribeiro-Althoff AM, Cheillettz A, Giuliani G, Féraud G, Barbosa Camacho G, Zimmermann JL** (1997) $^{40}Ar/^{39}Ar$ and K-Ar geochronological evidence for two periods (≈ 2 Ga and 650 to 500Ma) of emerald formation in Brazil. *Int. geol. rev.*, 39, 924-937.
- Royer JJ, Shtuka A** (1997) Stochastic imaging of environmental data. In : Bardinnet C, Royer JJ (Eds), *Geosciences and Water Resources : Environmental Data Modeling*, Springer : Berlin, 101-114.
- Sterpenich J, Libourel G** (1997) Les vitraux médiévaux : caractérisation physico-chimique de l'altération. *Technique*, 6, 70-78.
- Stettler EH, Beer (de) JH, Eberle D, **Ludden J**, Mareschal M (1997) Geophysics and deep structures. In : Witt (de) M, Ashwal LD (Eds), *Greesnstone belts*, Clarendon Press : Oxford, 339-375.
- 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 Flocc. *ACS Journal of Surfaces and Colloid*, 13, 35-40.
- Zimmermann JL, Giuliani G, Cheillettz A, Arboleda C** (1997) Mineralogical significance of fluids in channels of Colombian emeralds : a mass-spectrometry study. *Int. geol. rev.*, 39, 425-437.

1998

- 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. *Geodyn. Acta*, 11, 33-49.
- Bielenin K, Mangin M, Orzechowski S, Fluzin P, **Ploquin A** (1998) La sidérurgie ancienne et l'exploitation minière dans les montagnes Sainte-Croix (Petite Pologne) III Archéométrie et histoire : les montagnes Sainte-Croix et les régions productives européennes (fin de l'Age du Fer - début du Moyen Age). *Dialogues de l'histoire ancienne*, 24, 139-193.
- Charoy B** (1998) Cristallogéologie du béryl : l'état des connaissances. In : Giard D, Giuliani G, Cheillettz A, Fritsch E, Gonthier E (Eds), *L'émeraude. Connaissances actuelles et prospectives*, Association Française de Gemmologie : Paris, 47-54.
- Charoy B, Cheillettz A, Giuliani G** (1998) Quelques points de repère. In : Giard D, **Giuliani G, Cheillettz A**, Fritsch E, Gonthier E (Eds), *L'émeraude. Connaissances actuelles et prospectives*, Association Française de Gemmologie : Paris, 221-225.
- 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.

- Cheillettz A** (1998) La géologie des gisements d'émeraudes. In : Giard D, **Giuliani G**, **Cheillettz A**, Fritsch E, Gonthier E (Eds), *L'émeraude. Connaissances actuelles et prospectives*, Association Française de Gemmologie : Paris, 33-42.
- Cheillettz A** (1998) Les gisements d'émeraudes d'Inde. In : Giard D, **Giuliani G**, **Cheillettz A**, Fritsch E, Gonthier E (Eds), *L'émeraude. Connaissances actuelles et prospectives*, Association Française de Gemmologie : Paris, 197-199.
- Clowes RM, Cook FA, **Ludden JN** (1998) Lithoprobe leads to new perspectives on continental evolution. *GSA Today*, 8, 1-7.
- 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.
- Diraison M**, Cobbold PR, Rossello EA, Amos AJ (1998) Neogene dextral transpression due to oblique convergence across the Andes of northwestern Patagonia, Argentina. *J. S. Amer. Earth Sci.*, 11, 519-532.
- 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.
- Gajurel AP, Huyghe P, **France-Lanord C**, Mugnier J, Upreti BN, Le Fort P (1998) Seismites in the Kathmandu basin, Nepal. *Nepal geol. Soc.*,
- Gérard B**, **Royer JJ**, **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*, 169, 459-466.
- Giard D, **Giuliani G**, **Cheillettz A**, Fritsch E, Gonthier E - *L'émeraude*. Paris : Association française de gemmologie, 1998. 235p.
- Giuliani G** (1998) La rétrospective bibliographique de l'émeraude des années 90. In : Giard D, **Giuliani G**, **Cheillettz 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**, Schwartz D, Notary F, **Cheillettz 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**, **Cheillettz A**, Fritsch E, Gonthier E (Eds), *L'émeraude. Connaissances actuelles et prospectives*, Association Française de Gemmologie : Paris, 55-70.
- Hashizume K**, Sugiura N (1998) Isotopes analyses of gaseous elements and their isotopes in a thermally evolving chondritic planetesimal. *J. Jpn. Soc. Planet. Sci.*, 7, 44-58.
- Huyghe P, **Galy A**, Mugnier JL (1998) Micro-structures, clay mineralogy and geochemistry of the clay size fraction (<2 μm) of thrust zones (Karnali area, Siwaliks of Western Nepal). *J. Nepal geol. Soc.*, 18, 239-248.
- Le Carlier de Veslud C**, **Royer JJ**, **Gérard B**, **Pagel 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.
- 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.
- Lickorish WH, **Ford M** (1998) Sequential restoration of the Southern Subalpine Chain, SE France : implications for late Alpine tectonics. *Geological Society of London Special Publication*, 134, 189-211.
- Ludden J** (1998) Image sismique d'une suture du manteau dans la province du Supérieur (Canada), indice de l'existence de la tectonique des plaques dès l'Archéen Supérieur. *Géochronique*, 67, 13-15.
- Ohnenstetter D**, **Giuliani G**, Bustos O (1998) Emeraude trapiches colombiennes. In : Giard D, **Giuliani G**, **Cheillettz A**, Fritsch E, Gonthier E (Eds), *L'émeraude. Connaissances actuelles et prospectives*, Association Française de Gemmologie : Paris, 119-124.
- Ohnenstetter D**, Watkinson D (1998) Low-temperature evolution of the platinum-group mineralogy, Two Lake intrusion, Coldwell complex, Ontario, Canada. In : *International Platinum*, Theophrastus Publications St Petersburg, Athenes : 116-128.
- Pinti DL, **Marty B** (1998) The origin of helium in deep sedimentary aquifers and the problem of dating very old groundwaters. In : Parnell J (Ed.) *Dating and duration of fluid flow and fluid-rock interactions*, (Special Publication. 144). Geological Society : London, 53-68.
- Plank T, **Ludden J**, Leg 185 Proponents (1998) Drilling input to the Mariana-Izu subduction factory : ODP Leg 185. *Margins Newslett.*, 1, 15-19.
- Zimmermann JL**, **Giuliani G**, **Cheillettz A** (1998) Les fluides dans les émeraudes : leur étude par spectrométrie de masse. In : Giard D, **Giuliani G**, **Cheillettz A**, Fritsch E, Gonthier E (Eds), *L'émeraude. Connaissances actuelles et prospectives*, Association Française de Gemmologie : Paris, 97-101.

- Aïssa DE, Marignac C, Cheilletz A, Gasquet D** (1999) Le skarn à scheelite de Karezas (Annaba, Nord-Est Algérie) : un skarn polycyclique d'âge burdigalien. *Bulletin du Service Géologique de l'Algérie*, 10, 3-53.
- Beuchat S, Moritz R, Chiaradia M, Fontignie D, **Gasquet D**, Hunziker J (1999) The sulphide-siderite St-Georges d'Hurtières deposit, external crystalline massifs of the French-Alps : a result of overprinting hydrothermal events. *Mineral Deposits processes to processing*, 1247-1250.
- Branquet Y, Cheilletz A, Giuliani G, Laumonier B, Blanco O** (1999) Fluidized hydrothermal breccia in dilatant faults during thrusting : the Colombian emerald deposits. *Geological Society of London Special Publication*, 155, 183-195.
- Charoy B, Noronha F** (1999) Rare-element (Li-Rich) granitic and pegmatitic plutons : a primary or superimposed signature ? *Rev. Brasil. Geoci.*, 29, 3-8.
- Dereje A, Yirgu G, Pik R** (1999) Geochemical and isotopic (Sr, Nd and Pb) characteristics of volcanic rocks from southwestern Ethiopia. *J. Afr. Earth Sci.*, 29, 2, 381-391.
- Desmons J, Compagnoni R, Cortesogno L, Frey M, Gaggero L** (1999) Pre-Alpine metamorphism of the internal zones of the Western Alps. *Schweiz. Mineral. Petrog. Mitt.*, 79, 23-39.
- Desmons J, Compagnoni R, Cortesogno L, Frey M, Gaggero L, Dallagiovanna G, Seno S, Radelli L** (1999) Alpine metamorphism of the Western Alps : II. High P/T and related pre-greenschist metamorphism. *Schweiz. Mineral. Petrog. Mitt.*, 79, 111-134.
- Fekak A, Pouclet A, Ouguir H, Badra L, **Gasquet D** (1999) Le groupe du Néoprotérozoïque inférieur de Kellat Mgouna (Saghro, Anti-Atlas, Maroc) : témoin d'un stade précoce de l'extension pré-panafricaine. *Bull. Soc. géol. France*, 170, 789-797.
- Frey M, **Desmons J**, Neubauer F (1999) The new metamorphic map of the Alps : introduction. *Schweiz. Mineral. Petrog. Mitt.*, 79, 1-4.
- Giuliani G, Chaussidon M, Schubnel HJ, Piat DH, Rollion-Bard C, France-Lanord C, Giard D, de Narvaez D, Rondeau B** (1999) Historique des gisements d'émeraude et identification des émeraudes anciennes (1ère partie). *Revue de Gemmologie*, 138-139, 22-23.
- Lima A, **Charoy B**, Noronha F, Farinha J (1999) Exploration for lithium deposits in the Barroso-Alvão area, Northern Portugal. *Mineral Deposits : Processes to Processing*, 1113-1116.
- Mahé-Le Carlier C, Ploquin A, Le Carlier de Veslud C, Royer J** (1999) Une nouvelle famille d'analogues pour les déchets vitrifiés actuels : les scories de la métallurgie ancienne. In : *Stabilisation des déchets et environnement 99, Lyon, Villeurbanne, 13-16 April, 1999*, Méhu J, Keck G, AN (Eds), 434-439.
- Mahé-Le Carlier C, Ploquin A, Royer J** (1999) Caractérisation minéralogique et chimique de vitrifiats de REFIOM : importance de la localisation des éléments polluants. *Déchets Sciences et Techniques*, 14, 5-9.
-  **McDonald I, Ohnenstetter D, Rowe JP, Tredoux M, Patrick RAD, Vaughan DJ** (1999) Platinum precipitation in the Waterberg deposit, Naboomspruit, South Africa. *S. Afr. J. Geol.*, 102, 184-191.
- Ohnenstetter M, Johan Z, Cocherie A, Fouillac A, Guerrot C, Ohnenstetter D, Chaussidon M, Rouer O, Makovicky E, Makovicky M, Rose-Hansen J, Karup-Moller S, Vaughan D, G, Patrick R, Gize A & al.** (1999) New exploration methods for platinum and rhodium deposits poor in base metal sulphides-NEXTPRIM. Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy. Section B. *Applied Earth Science*, 108,
- Ploquin A, Mahé-Le Carlier C, Royer J** (1999) Caractérisation pétrographique et chimique de Vitriifiats de REFIOM. In : *Stabilisation des déchets et environnement 99, Lyon, Villeurbanne, 13-16 April, 1999*, Méhu, J Keck, GNavarro A(Eds), Proceedings waste stabilization and environment 99, 41-45.
- Ploquin A, Orzechowski S, Briand B** (1999) Paléoméallurgie à Mleiha : une première approche, p.171-190. In : *Mleiha, T.1, Environnement, stratégies de subsistance et artisanats, sous la direction de M. Mouton, Travaux de la Maison de l'Orient méditerranéen*, 29), : 292 p.
- Roger S, Dautria JM, Coulon C, **Pik R**, Yirgu G, Michard A, Legros P, **Ayalew D** (1999) An insight on the nature, composition and evolution of the lithospheric mantle beneath the north-western Ethiopian plateau : the ultrabasic xenoliths from the Tana Lake Province. *Acta vulcanologica*, 11, 161-168.

- Serneels V, Chardron-Picault P, **Ploquin A** (1999) Les vestiges sidérurgiques : le travail du fer. In : l'homme Mdsd (Ed.) *Un quartier antique d'artisanat métallurgique à Autun (Saône et Loire) : le site du lycée militaire*, Documents d'archéologie française, série archéologie préventive), : Paris, 201-288.
- Seward D, **Ford M**, **Williams EA**, Meckel LD, Bürgisser J (1999) Preliminary report on fission track studies in the Pelvoux area, SE France. *Memorie di Scienze Geologiche (Università de Padoue)*, 51, 25-31.

2000

- Abrams L., Alt J, Armstrong R, Barr S, Bartolini A, Cairns G, Scutia C, Fisk M, Guerin G, Haveman S, Hirono T, Honnorez J, Kelley K, Larson R, Lozar F, **Ludden J**, Murray R, Plank T, Plesch T, Pockalny R, **Rouxel O** et al (2000) Drilling imput to the subduction factory : ODP Leg 185. *MARGINS Newsletter.*, 4, 7-9.
- Arnold M**, Febvay-Choffel L, Lam BT, Durécu S, **Ohnenstetter D** (2000) La roche artificielle : une solution aux problèmes de la rétention, à l'échelle des temps géologiques, de métaux lourds issus de l'activité anthropique. *Déchets Sciences et Techniques*, 19-23.
- Barros CEM, **Barbey P**. (2000) Significance of garnet-bearing metamorphic rocks in the Archaean supracrustal series of the Carajás Mining Province, northern Brazil. *Rev. Brasil. Geociencias.*, 30, 367-370.
- Bastos Leite PR, Bertrand JM, De Lima ES, **Leterrier J** (2000) Timing of granitic magmatism in the northern Borborema Province, Brazil : a U-Pb study of granitoids from the Alto Pajeu Terrain. *J. S. Amer. Earth Sci.*, 13, 549-559.
- Blanc P, Baumer A, Cesbron F, **Ohnenstetter D**, Panczer G, Remond G (2000) Systematic cathodoluminescencespectral analysis of synthetic doped minerals : anhydrite, apatite, calcite, fluorite, scheelite and zircon. In : Pagel M, Barbin V, Blanc P, Ohnenstetter D (Eds), *Catholuminescence in Geosciences*, Springer Verlag : 127-160.
- Bertrand JM, Pidgeon RT, **Leterrier J**, Guillot F, **Gasquet D**, Gattiglio M. (2000) SHRIMP and IDTIMS U-Pb zircon ages of the pre-Alpine basement in the Internal Western Alps (Savoy and Piemont). *Schweiz. Mineral. Petrog. Mitt.*, 80, 225-248.
- Brown ET, Trull TW, Jean-Baptiste P, Raisbeck G, Boulès D, Yiou F, **Marty B**. (2000) Determination of cosmogenic production rates of ^{10}Be , ^3He and ^3H in water. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 172, 873-883.
- Eddif A, **Gasquet D**, Hoepffner C, Ait Ayad N. (2000) Les intrusions de Wirgane (Haut Atlas occidental, Maroc) : témoins d'un magmatisme syn- à tardi-cinéétique hercynien ? *J. Afr. Earth Sci.*, 31, 3-4, 483-498.
- Giuliani G**, Boulès D, Massot J, Siame L. (2000) Colombian emerald reserves inferred from leached beryllium of their host black shale. *Explor. Mining Geol.*, 8, 1-2, 109-116.
- Giuliani G**, Heuzé M, Chaussidon M. (2000) La route des émeraudes. *Pour la Science*, 277, 58-65.
- Ludden J**, Plank T, Escutia C. (2000) Drilling the imput to the subduction factory : ODP Leg 185. *Joides Journal*, 25, 2, 14-19.
- Mallet JL**, **Shtuka A**. (2000) Blending-based stochastic simulator. *Journal of Mathematical Geology.*, 32, 3, 367-379.
- Mortaji A, Ikenne M, **Gasquet D**, **Barbey P**, Stussi JM. (2000) Les granitoïdes paléoprotérozoïques des boutonnières du Bas Drâa et de la Tagragra d' Akka (Anti-Atlas occidental, Maroc) : un élément du puzzle géodynamique du craton ouest-africain. *J. Afr. Earth Sci.*, 31, 3-4, 523-538.
- Ngnoutie T, Nzenti J-P, **Barbey P**, Tchoua F-M. (2000) The Ntui-Betamba high-grade gneisses : a Northward extension of the Pan-African Yaoundé gneisses in Cameroon. *J. Afr. Earth Sci.*, 31, 369-381.
- Pagel M, Barbin V, Blanc P, **Ohnenstetter D**. (2000) Cathodoluminescence in Geosciences : an overview and perspectives. In : Pagel M, Barbin V, Blanc P, Ohnenstetter D (Eds), *Catholuminescence in Geosciences*, Springer Verlag : 1-21.
- Quattrocchi F, **Pik R**, Angelone M, Barbieri M, Conti A, Guerra S, Lombardi S, **Marty B**, et al (2000) Geochemical changes at the Bagni di Triponzo thermal spring during the Umbria Marche 1997-1998 seismic sequence. *Journal of Seism.*, 4, 4, 567-587.
- Maurette M, Duprat J, Engrand C, Gounelle M, Kurat G, Matrajt G, **Toppani A**. (2000) Accretion of neon, organics, CO₂, nitrogen and water from large interplanetary dust particles on the early Earth. *Planet. and Sp. Sci.*, 48, 1117-1137.

Rose E, Carignan J, Chaussidon M. (2000) Transfer of atmospheric boron from the oceans to the continents : an investigation using precipitation waters and epiphytic lichens. *Geochemistry Geophysics Geosystems G3*, 1, 2000GC00007

SOUS PRESSE

Boyd S. Determination of the abundance and isotopic composition of trace quantities of C and N in geological samples : the practice and principles of stepped-heating at high resolution. *Tech. Stable Isotopes*.

Doucet F, **Carignan J.** Atmospheric Pb isotopic composition and trace metal concentration as revealed by epiphytic lichens : an investigation related to two altitudinal transects in eastern France. *Atmos. Environ.*

Ford M. The significance of growth structures in foreland basin development. *Geol. Soc. Amer. Bull.*

Ford M, Lickorish WH, Podladchikov Y. Foreland basin evolution around the western alpine arc. *Basin Research*.

Gelinsky S, **Shapiro SA,** Müller T, Gurevich B. Dynamic poroelasticity of thinly layered structures. *Int. J. Solids Struct.*

Marty B, Sano Y, **France-Lanord C.** Water-saturated lavas from the Manus Basin : volatile behaviour during assimilation-fractional crystallisation-degassing (AFCD). *J. Volcanol. Geotherm. Res.*

Ouarhache D, Charriere A, **Chalot-Prat F,** El Wartiti M. Sédimentation detritique continentale synchrone d'un volcanisme explosif dans le trias terminal infralias du domaine atlastique (Haute Moulouya, Maroc). *J. Afr. Earth Sci.*

Xia QK, Chen DG, **Deloule E,** Zhi XC. Heterogeneity of hydrogen isotope composition of mantle-derived mica megacryst : ion probe study. *Chinese Science Bulletin*.

Xia QK, Chen DG, **Deloule E,** Zhi XC. Hydrogen isotope compositions of mantle-derived amphibole megacrysts from Qilin and oy's tectonic significance. *Chinese Science Bulletin*.

COMMUNICATIONS À CONGRÈS

RÉSUMÉS ETENDUS : LUNAR AND PLANETARY SCIENCE CONFERENCE PROCEEDINGS

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.

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. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 167, 47-60.

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.

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.

- 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 p. 819-820.
- Deloule E, Doukhan J-C, Robert F** (1997) An interstellar isotopic signature recorded in altered pyroxene chondrules. In : *28th Lunar and Planetary Science Conference, Houston, , Lunar and Planetary Institute, 1144*.
- Humbert F, Wieler R, Marty B** (1998) Nitrogen and argon in individual mineral grains of lunar soil : evidence for a major non-solar component. In : *30th Lunar and Planetary Science Conference, Houston, Texas, March 15-19, Abstracts p. 1034-1035*.
- Marty B, Zimmermann L, Pik R** (1998) Nitrogen and argon isotopes in individual mineral grains of SNC meteorites : a CO₂-laser step-heating analysis. In : *29th Lunar and Planetary Science Conference, Houston, Texas, March 16-20, 1998, Abstracts, p. 1672*.
- Chaussidon M, Robert F, Rose E** (1998) ⁷Li/⁶Li and ¹¹B/¹⁰B ratios of solar wind trapped in lunar soils. In : *29th Lunar and Planetary Science Conference, Houston, Texas, March 16-20, 1998, Abstracts, p. 1580*.
- Hashizume K, Marty B, Wieler R** (1999) Single grain analyses of the nitrogen isotopic composition in the lunar regolith-in search of the solar wind component. In : *30th Lunar and Planetary Science Conference, Houston, Texas, March 15-19, 1999, Abstracts, p. 1567*.
- Chaussidon M, Robert F** (1999) ⁷Li/⁶Li and ¹¹B/¹⁰B ratios of SNC meteorites. In : *30th Lunar and Planetary Science Conference, Houston, Texas, March 15-19, 1999, Abstracts p. 1592*.
- Humbert F, Marty B, Libourel G** (1999) Enhanced solubility of nitrogen in basaltic melt under reducing conditions : a way to enrich nitrogen relative to rare gases during planetary formation. In : *30th Lunar and Planetary Science Conference, Houston, Texas, March 15-19, 1999, Abstracts, p. 1955*.
- Georges P, Libourel G, Deloule E** (1999) Potassium condensation experiments and their bearing on chondrules formation. In : *30th Lunar and Planetary Science Conference, Houston, Texas, 15-19 March, 1999, Abstracts, p 1744*.
- Robert F, **Hanon P, Chaussidon M** (1999) A summary of the LI-BE-B isotopic compositions and elemental ratios in chondrites : implications for light element nucleosynthesis. In : *30th Lunar and Planetary Science Conference, Houston, Texas, 15-19 March, 1999, Abstracts p. 1188*.
- Wieler R, Humbert F, Marty B** (1999) Evidence for a predominantly non-solar origin of nitrogen in the lunar regolith revealed by single grain analyses.
- Aléon J, Chaussidon M, Marty B** (2000) Isotopic ratios measurements in micron sized single particles at a per mil scale. In : *31th Lunar and Planetary Science Conference, Houston, Texas, March 13-17, 2000, Abstracts p. 1574*.
- Chaussidon M, Robert F** (2000) The lithium isotopic composition of the sun as recorded by lunar soils. In : *31th Lunar and Planetary Science Conference, Houston, Texas, March 13-17, 2000, Abstracts p. 1320*.
- Hashizume K, Chaussidon M, Marty B** (2000) Nitrogen isotope analyses of lunar regolith using an ion microprobe - in search of the solar wind component. In : *31th Lunar and Planetary Science Conference, Houston, Texas, March 13-17, 2000, Abstracts p. 1565*.
- Marty B, Perron C, Fiéni C** (2000) Vesicles in Bencubbin : evidence for shock-induced mobilization of heavy nitrogen and rare gases. In : *31th Lunar and Planetary Science Conference, Houston, Texas, March 13-17, 2000, Abstracts p. 1489*.
- McKeegan KD, **Chaussidon M, Robert F** (2000) Evidence for the in situ decay of ¹⁰Be in an Allende CAI and implications for short-lived radioactivity in the early solar system. In : *31th Lunar and Planetary Science Conference, Houston, Texas, March 13-17, 2000, Abstracts p. 1999*.
- Nazarov MA, **Chaussidon M, Kurat G** (2000) Trace element patterns of phosphorian sulfides from the cold bokkeldveld (CM) chondrite. In : *31th Lunar and Planetary Science Conference, Houston, Texas, March 13-17, 2000, Abstracts p. 1662*.
- Tissandier L, Libourel G, Robert F, Chaussidon M** (2000) SiO₂ condensation experiments and implications for protosolar materials. In : *31th Lunar and Planetary Science Conference, Houston, Texas, March 13-17, 2000, Abstracts p. 1553*.

RÉSUMÉS ÉTENDUS - GOLDSMIDT CONFERENCE, MINERAL. MAG.

- Abraham A-C, Francis D, Polvé M, Ludden JN** (1998) Source differences and terrane dependence in recent alkaline basaltic magmas across the accreted terranes of the northern Canadian Cordillera. In : *8th V.M. Goldschmidt Conference, Toulouse, August 30-September 3, 1998*, Mineral. Mag., Abstracts Volume, 1, 7-8.
- Alard O, Pearson NJ, Reisberg L, Lorand JP, Griffin WL, O'Reilly SY** (2000) Os isotope systematics of the Massif Central mantle lithosphere : in-situ and whole-rock studies. In : *V.M. Goldschmidt Conference, Oxford, UK, September 3rd-8th, 2000*, Journal of Conference Abstracts, vol. 5, n. 2, 130.
- Aléon J, Chaussidon M, Marty B, Jaenicke R, Schütz L** (2000) 18O/16O Ratios of quartz grains as a proxy for source areas of atmospheric detritic dust : the case of the eolian erosion of Sahara desert. In : *th V.M. Goldschmidt Conference, Oxford, UK, September 3rd-8th, 2000*, Journal of Conference Abstracts, vol. 5, n. 2, 132-133.
- Alexandrov P, Ruffet G, Cheilletz A, Féraud G** (2000) Saddle shaped 40Ar/39Ar age spectra and muscovite recrystallization. In : *V.M. Goldschmidt Conference, Oxford, UK, September 3rd-8th, 2000*, Journal of Conference Abstracts, vol. 5, n. 2, 135-136.
- Bouhedja M, Deloule E, Reisberg L, Wagner C** (2000) Evidence for equilibrium crystallization of amphiboles and clinopyroxenes in mantle-modally-metasomatized peridotite xenoliths from French Massif Central. In : *V.M. Goldschmidt Conference, Oxford, UK, September 3rd-8th, 2000*, Journal of Conference Abstracts, vol. 5, n. 2, 235.
- Carignan J, Ludden JN, Francis D** (1996) The isotopic composition of the subcontinental mantle lithosphere in Yuko, Canada, as inferred by ultramafic nodules and alkaline lavas. In : *Sixth VM Goldschmidt Conference, Heidelberg, March 31-April 4, 1996*, Abstracts, p. 96.
- Chabaux F, Riotte J, Clauer N, France-Lanord C** (2000) U fluxes of the Himalayan rivers : implications for the U oceanic budget. In : *V.M. Goldschmidt Conference, Oxford, UK, September 3rd-8th, 2000*, Journal of Conference Abstracts, vol. 5, n. 2, 293.
- Chalot-Prat F, Boullier AM** (1998) Genetic relationships between lithospheric mantle, alkaline and calcalkaline basic volcanoes in the Eastern Carpathian (Romania) : evidences for trace element and Nd-Sr isotope geochemistry. In : *8th V.M. Goldschmidt Conference, Toulouse, August 30-September 3, 1998*.
- Dauphas N, Marty B, Reisberg L** (2000) In search of live 97Tc in the early solar system. In : *V.M. Goldschmidt Conference, Oxford, UK, September 3rd-8th, 2000*, Journal of Conference Abstracts, vol. 5, n. 2, 332.
- Decitre S, Deloule E, Reisberg L, James R, Mevel C, Agrinier P** (2000) Li behaviour during serpentinisation of oceanic peridotites. In : *V.M. Goldschmidt Conference, Oxford, UK, September 3rd-8th, 2000*, Journal of Conference Abstracts, vol. 5, n. 2, 343.
- Deloule E, Robert F** (1996) Origin of water in the solar system : ion-probe determinations of D/H ratios in chondrules. In : *Sixth VM Goldschmidt Conference, Heidelberg, March 31-April 4, 1996*, Abstracts, p. 126.
- Dereje A, Marty B, Barbey P, Gezaghien Y, Reisberg L, Pik R** (1998) Genesis and timing of ignimbrites (Alaji ignimbrites) associated to trap basalts from the northern Ethiopian plateau. In : *8th V.M. Goldschmidt Conference, Toulouse, August 30-September 3, 1998*, .
- Fleck S, France-Lanord C, Marty B** (1998) Cosmogenic ³He accumulation in alluvial garnets in bedload from Central Nepal rivers : Implications for cosmic-ray exposure dating of Himalayan erosional processes. In : *8th V.M. Goldschmidt Conference, Toulouse, August 30-September 3, 1998*, Mineral. Mag., Abstracts Volume, 1, 458-459.
- France-Lanord C, Galy A, Gajurel A, Derry L, Evans M, Hurtrez JE, Riotte J, Pierson-Wickmann AC, Rose E** (2000) Erosion processes and fluxes in the Central Himalaya from geochemical constraints. In : *V.M. Goldschmidt Conference, Oxford, UK, September 3rd-8th, 2000*, Journal of Conference Abstracts, vol. 5, n. 2, 407.

- France-Lanord C, Reisberg L** (2000) Os, Sr and Nd isotopic constraints on the sources of sediments of the Brahmaputra river systems. In : *V.M. Goldschmidt Conference, Oxford, UK, September 3rd-8th, 2000*, Journal of Conference Abstracts, vol. 5, n. 2, 931.
- France-Lanord C, Derry L, Galy A** (1998) Continental erosion and CO₂ uptake. Inferences from the Himalayan system. In : *8th V.M. Goldschmidt Conference, Toulouse, August 30-September 3, 1998*, Mineral. Mag., Abstracts Volume, 1, 466-467.
- France-Lanord C, Derry LA** (1996) The seawater Sr record and processes of erosion and weathering in Himalaya. In : *Sixth VM Goldschmidt Conference, Heidelberg, March 31-April 4, 1996*, Abstracts, p. 176.
- France-Lanord C, Galy A** (1999) How the Himalayan-Tibet uplift affects the carbon cycle. In : *9th V.M. Goldschmidt Conference*, , 971, 89.
- Galy A, France-Lanord C** (2000) Higher erosion rates in the Himalaya : geochemical constraints on riverine fluxes. In : *V.M. Goldschmidt Conference, Oxford, UK, September 3rd-8th, 2000*, Journal of Conference Abstracts, vol. 5, n. 2, 423.
- Galy A, France-Lanord C, Hurtrez JE** (1998) Distribution of physical erosion in Himalaya from river particle geochemistry. In : *8th V.M. Goldschmidt Conference, Toulouse, August 30 - September 3, 1998*, Abstracts, p. 493.
- Giuliani G, France-Lanord C, Chaussidon M** (1998) The ¹⁸O/¹⁶O isotopic card of natural and synthetic emeralds: geological and archeological implications. In : *8th V.M. Goldschmidt Conference, Toulouse, August 30-September 3, 1998*, Mineral. Mag., Abstracts Volume, 1, 525-526.
- Guyot F, Lemelle L, Leroux H, Doukhan J-C, **Libourel G** (1998) Experimental study of disequilibrium effects in metal-silicate interactions : possible consequences for core composition. In : *8th V.M. Goldschmidt Conference, Toulouse, August 30-September 3, 1998*, Mineral. Mag., Abstracts Volume, 1, p. 557.
- Humbert F, Libourel G, Marty B, France-Lanord C** (1997) Nitrogen solubility in silicate melt under oxidized and reduced conditions using laser extraction / static mass spectrometry analysis. In : *7th V.M. Goldschmidt Conference, Tucson, Arizona, June 2-6*, 101-102.
- Humbert F, Libourel G, Marty B, France-Lanord C** (1998) Nitrogen solubility in silicate melts as a function of oxygen fugacity and melt composition. In : *8th V.M. Goldschmidt Conference, Toulouse, August 30 - September 3, 1998*, Abstracts, p. 667.
- Libourel G, Guyot F, Leroux H** (1998) High temperature reduction of San Carlos Olivines and role of kinetics on metal/silicate interactions. In : *8th V.M. Goldschmidt Conference, Toulouse, August 30-September 3, 1998*,
- Luais B** (2000) Primary metal-silicate differentiation of planetesimals : isotopic fractionation of germanium in iron meteorites and in the earth crust. In : *V.M. Goldschmidt Conference, Oxford, UK, September 3rd-8th, 2000*, Journal of Conference Abstracts, vol. 5, n. 2, 652-653.
- Ludden J** (1998) The creation and preservation of Archaean continental crust. In : *8th V.M. Goldschmidt Conference, Toulouse, 30 août-3 septembre*, Abstracts, p. 917.
- MacKeegan KD, **Chaussidon M**, Robert F (2000) Short-lived ¹⁰Be in a refractory inclusion from the Allende meteorite : a case for intense irradiation of the protosolar nebula ? In : *V.M. Goldschmidt Conference, Oxford, UK, September 3rd-8th, 2000*, Journal of Conference Abstracts, vol. 5, n. 2, 697.
- Marty B** (1998) Cosmogenic ³He accumulation in alluvial garnets in bedload from Central Nepal rivers : implications for cosmic-ray exposure dating of Himalayan erosional processes. In : *8th V.M. Goldschmidt Conference, Toulouse, August 30-September 3, 1998*, .
- Marty B** (1998) Genesis and timing of ignimbrites (Alaji ignimbrites) associated with trap from the northern Ethiopian plateau. In : *8th V.M. Goldschmidt Conference, Toulouse, August 30-September 3, 1998*, .
- Marty B** (1998) Nitrogen solubility in silicate melts as a function of oxygen fugacity and melt composition. In : *8th V.M. Goldschmidt Conference, Toulouse, August 30-September 3, 1998*, .
- Marty B** (1998) Volatiles (He, C, N, Ar) in the mantle : assessment of shallow-level assimilation and fractionation, and evaluation of source composition. In : *8th V.M. Goldschmidt Conference, Toulouse, August 30-September 3, 1998*,

- Marty B, Dauphas N** (2000) Nitrogen isotope systematics of the mantle and the fate of organic matter through time. In : *V.M. Goldschmidt Conference, Oxford, UK, September 3rd-8th, 2000*, Journal of Conference Abstracts, vol. 5, n. 2, 672-673.
- Morrison J, **France-Lanord C, Pierson-Wickmann A** (1999) Oxygen-sulphur isotopic measurement in continuous flow mode. Application to origin of dissolved sulphate in Himalayan rivers using EA-IRMS. In : *9th V.M. Goldschmidt Conference, Cambridge, Massachusetts, , Mineralogical Magazine*.
- Peslier A, **Reisberg L, Ludden J**, Francis D, Chauvel C (1998) The mantle lithosphere beneath the Canadian Cordillera : constraints from Re-Os, Sm-Nd and Lu-Hf systematics of xenoliths. In : *8th V.M. Goldschmidt Conference, Toulouse, 30 août-3 septembre*, Abstracts, p 1155.
- Pierson-Wickmann AC, Reisberg L, France-Lanord C** (2000) Another source of radiogenic Os in the Himalays : the Lesser Himalaya carbonates. In : *V.M. Goldschmidt Conference, Oxford, UK, September 3rd-8th, 2000*, Journal of Conference Abstracts, vol. 5, n. 2, 799.
- Pierson-Wickmann A, Reisberg L, France-Lanord C** (1999) The osmium budget of himalayan river sediments and soils : importance of black shale erosion. In : *9th V.M. Goldschmidt Conference, Cambridge, Massachusetts, ,*
- Pierson-Wickmann A-C, Reisberg L, France-Lanord C, Galy A** (1998) Re-Os isotopic characteristics of Himalayan river sediments and source rocks. In : *8th V.M. Goldschmidt Conference, Toulouse, August 30-September 3, 1998*, Abstracts, p. 1178.
- Pik R**, Raoult Y, Kipfer R, **Marty B** (1998) Noble gases in groundwater from the Albian aquifer (Paris Basin) : fluid dynamics and palaeoclimatic record. In : *8th V.M. Goldschmidt Conference, Toulouse, August 30-September 3, 1998*,
- Reisberg L**, Lorand JP, Bedini RM, Bodinier JL (2000) Os isotopic and PGE results from spinel peridotites of the East African Rift. In : *V.M. Goldschmidt Conference, Oxford, UK, September 3rd-8th, 2000*, Journal of Conference Abstracts, vol. 5, n. 2, 837.
- Reisberg L, France-Lanord C** (1996) Diagenesis of Himalayan-derived sediments : a source of radiogenic Os to seawater. In : *Sixth VM Goldschmidt Conference, Heidelberg, March 31-April 4, 1996*, Abstracts, p. 505.
- Reisberg L, Marty B, Deniel C, Pik R, Ayalew D, Spatz C** (1998) Os isotopic results from rift and flood basalts of Ethiopia and Djibouti. In : *8th V.M. Goldschmidt Conference, Toulouse, August 30-September 3, 1998, .*
- Richard D, **Marty B, Chaussidon M**, Arndt N (1996) Primitive helium in depleted Archean komatiite. In : *Sixth VM Goldschmidt Conference, Heidelberg, March 31-April 4, 1996*, Abstracts, p. 508.
- Rollion-Bard C, Chaussidon M, France-Lanord C, Bard E** (1999) Micrometer scale variations of $\delta^{18}\text{O}$ in corals. In : *9th V.M. Goldschmidt Conference, Cambridge, Massachusetts, August 22-27, 1999*, Mineralogical Magazine, .
- Rose E, Chaussidon M, France-Lanord C** (1998) B analysis in natural waters by ion microprobe : a new technique for the study of B transfer from the continent to the ocean. In : *8th V.M. Goldschmidt Conference, Toulouse, August 30-September 3, 1998*, Mineral. Mag., Abstracts Volume, 3, 1287-1288.
- Rouxel O, Ludden J, Fouquet Y, Carignan J** (2000) Natural variations of selenium isotopes determined by multicollector plasma source mass spectrometry : application to seafloor hydrothermal systems. In : *V.M. Goldschmidt Conference, Oxford, UK, September 3rd-8th, 2000*, Journal of Conference Abstracts, vol. 5, n. 2, 858-859.
- Ruffet G, Féraud G, **Cheilletz A**, Castonguay S (1998) Effects of deformation and recrystallization on the K-Ar isotopic system of white micas : a model for interpretation. In : *8th V.M. Goldschmidt Conference, Toulouse, August 30 - September 3, 1998*, Abstracts, p. 1301.
- Sano Y, Nishio Y, Gamo T, Jambon A, **Marty B** (1997) Noble gas and carbon isotopes in Mariana through basalts glasses. In : *7th V.M. Goldschmidt Conference, Tucson, Arizona, June 2-6*, p. 184.
- Sensarma S, Palme H, **Deloule E**, Mukhopadhyay D (2000) Evidence of silicate liquid immiscibility in the early proterozoic andesitic rock, Dongargarh supergroup, Central India and possible tectonic implication. In : *V.M. Goldschmidt Conference, Oxford, UK, September 3rd-8th, 2000*, Journal of Conference Abstracts, vol. 5, n. 2, 904-905.
- Shi L, Francis L, **Ludden J** (1996) Trace element constraints on the nature of metasomatising agents in the lithospheric mantle beneath the northern Canadian Cordillera. In : *Sixth VM Goldschmidt Conference, Heidelberg, March 31-April 4, 1996*, Abstracts, p. 562.

- Simonetti A, Garièpy C, **Carignan J** (1998) Tracing sources of atmospheric aerosols using Pb and Sr isotopic composition and elemental concentrations of precipitation from Northeastern North America. In : *8th V.M. Goldschmidt Conference, Toulouse, August 30-September 3, 1998*, .
- Sterpenich J, Libourel G** (1998) Crystal-chemistry of alteration products of medieval stained-glasses. In : *8th V.M. Goldschmidt Conference, Toulouse, August 30-September 3, 1998*, .
- Toplis M** (1998) Adam-Gibbs theory and the prediction of glass transition temperatures : the join $\text{Na}_2\text{Si}_2\text{O}_5\text{-NaAlSi}_2\text{O}_6$. In : *8th V.M. Goldschmidt Conference, Toulouse, August 30-September 3, 1998*, .
- Valle N, Libourel G** (1998) Alteration of glasses : isotope tracing using ^{29}Si and ^{18}O . In : *8th V.M. Goldschmidt Conference, Toulouse, August 30-September 3, 1998*, Abstracts, p. 1561.
- Vennemann TW, O'Neil JR, **Deloule E, Chaussidon M** (1996) 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. In : *Sixth VM Goldschmidt Conference, Heidelberg, March 31-April 4, 1996*, Abstracts, p. 648.
- Wagner C, Mokhtari A, **Deloule E**, Chabaux F (2000) Complex clinopyroxene assemblage in carbonatite and alkaline xenoliths from Moroccan Camptonites : evidence for an open-system evolution. In : *V.M. Goldschmidt Conference, Oxford, UK, September 3rd-8th, 2000*, Journal of Conference Abstracts, vol. 5, n. 2, 1064.

AUTRES CONGRÈS

Depuis 1996, les chercheurs du CRPG ont participé à 360 communications à congrès (autres que **Lunar and Planetary Science Conference** et **Goldschmidt Conference**). Seules sont listées, ici, les présentations à congrès des années 1999 et 2000 (les années précédentes sont détaillées dans le rapport d'activité 1995-1998 du centre).

1999

- Adou M, Gasquet D, Barbey P** (1999) Crustal growth in the Palaeoproterozoic from the West Africa : the case study of the Birimian granitoids from the Dabakala area (Ivory Coast). In : *IV Hutton Symp., Clermont-Ferrand, 20-25 September, 1999*, Documents du BRGM, 290 Abstract p.122.
- Afalfiz A, **Marignac C** (1999) Preliminary microthermometry data on neogene metallic concentrations in the cratophyllian massif of Lesser Kabylia, ALgeria. In : *XVth Symposium European Current Research on Fluid Inclusions (ECROFI XV)*, , Terra Nostra, Abstracts, 1-3.
- Aïssa D, **Marignac C** (1999) On the occurrences of tourmaline in the Edough Block (Annaba, NE Algeria). In : *Interactions fluides-minéraux dans la croûte, 2nd European Workshop on Tourmaline and Borosilicates, 14-15 octobre, Paris*, , Bulletin de Liaison de la Société Française de Minéralogie et de Cristallographie, 1999, vol. 11, n°3, p. 110.
- Aïssa E, **Marignac C, Cheilletz A** (1999) Caractérisation des phases fluides du Skarn à Cheelite de Karezas (N.E. Algérie). In : *Interactions fluides-minéraux dans la croûte, 2nd European Workshop on Tourmaline and Borosilicates, 14-15 octobre, Paris*, , Bulletin de Liaison de la Société Française de Minéralogie et de Cristallographie, 1999, vol. 11, n°3, p. 64.
- Afalfiz A, **Marignac C** (1999) Preliminary microthermometry data on neogene metallic concentrations in the cratophyllian massif of Lesser Kabylia, ALgeria. In : *XVth Symposium European Current Research on Fluid Inclusions (ECROFI XV)*, , Terra Nostra, Abstracts, 1-3.
- Aïssa DE, **Marignac C** (1999) Fluid behaviour in the epithermal Zn-Cu-Sb-As-Au occurrences of the Sembout district (Edough, NE Algeria). In : *XVth Symposium European Current Research on Fluid Inclusions (ECROFI XV)*, , Terra Nostra, Abstracts 4-5.

- Aléon J, Chaussidon M, Marty B, Champenois M, Mangin D** (1999) Isotopic imaging of individual aerosol microparticles with the Cameca IMS 1270 ion probe. In : *Xth Meeting of European Union of Geosciences (EUG 10)*, Strasbourg, 28th March-1st April 1999, .
- Aléon J, Chaussidon M, Marty B, Champenois M, Mangin D** (1999) Determination of oxygen ratios in tropospheric aerosols by quantitative isotopic imaging. In : *12th International Conference on Secondary Ion Mass Spectrometry and Related Topics*, Brussels, September 5-10, 1999, .
- Alexandrov P, Cheilletz A, Royer J, Le Carlier C** (1999) Cooling pattern by $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of the blond granite, French Massif Central. In : *Xth Meeting of European Union of Geosciences (EUG 10)*, Strasbourg, 28th March-1st April 1999, .
- Arnold M, Ploquin A** (1999) La réduction des oxydes de fer, un autre point de vue. In : *Colloque d'Archéométrie du Groupe des Méthodes Pluridisciplinaires Contribuant à l'Archéologie (GMPCA)*, Lyon, avril 1999, résumé
- Audigane P, Royer J, Le Carlier de Veslud C** (1999) Modeling the Soultz site in 3D microseismic emission. In : *Xth Meeting of European Union of Geosciences (EUG 10)*, Strasbourg, 28th March-1st April 1999, .
- Audigane P, Royer J, Shapiro S** (1999) Using microseismicity to characterise the permeability tensor of a fractured granitic medium : application to fluid flow modelling of the Soultz-sous-Forêts geothermal site. In : *Workshop on Fluids and Fractures in the Lithosphere.*, Nancy, March 1999, .
- Audigane P, Shapiro S, Royer J** (1999) Estimating permeability of fractured rock using microseismicity : application to the 3D modeling of fluid flow transfers at the geothermal soultz site. In : *Xth Meeting of European Union of Geosciences (EUG 10)*, Strasbourg, 28th March-1st April 1999, .
- Ayalew D, Marty B, Barbey P, Yirgu G, Reisberg L, Ketefo E** (1999) Ethiopian ignimbrites : relation with oligocene continental flood basalts and potential impact on the atmosphere. In : *Xth Meeting of European Union of Geosciences (EUG 10)*, Strasbourg, 28th March-1st April 1999, .
- Azevedo M, Martins M, **Leterrier J**, Nolan J, Valle Aguado B, Medina J, Tassinari C, Pinto M (1999) Discrepancies between whole-rock Rb-Sr ages and U-Pb zircon ages in late-post tectonic hercynian granitoids from the Fornos. In : *IV Hutton Symp., Clermont-Ferrand, 20-25 September, 1999*, Documents du BRGM, 290 Abstract p.202.
- Barros C, Barbey P** (1999) Contact metamorphism and hydraulic in Archean greenstone belts from the Carajas Mining Province. In : *VII Simp. Nacion. Est. Tect., Bahia, , Soc. Bras. Geol. Anais, Ext. Abstracts 52-54.*
- Barros C, Barbey P** (1999) Metamorfismo de contato e nucleação de porfiroblastos de granada - Considerações petrológicas e tectônicas. In : *Symposium Geol. Amazonia, Manaus, , Ext. Abstracts 515-518.*
- Barros C, Barbey P** (1999) Química mineral do complexo granítico estrela. Provincia mineral de Carajas. In : *VI Symposium Geol. Amazonia, Manaus, , 543-546.*
- Batanova V, Seck H, Sobolev A, Klein M, **Chaussidon M** (1999) CO_2 rich high pressure melts included in minerals from Olivine Pyroxenite Xenoliths (West Eifel, Germany) : an experimental and ion probe study. In : *Xth Meeting of European Union of Geosciences (EUG 10)*, Strasbourg, 28th March-1st April 1999, .
- Beuchat S, Moritz R, **Gasquet D** (1999) The sulfide-siderite St-Georges d'Hurtières deposit, French Alps : a result of overprinting hydrothermal events. In : *Xth Meeting of European Union of Geosciences (EUG 10)*, Strasbourg, 28th March-1st April 1999, .
- Blanc G, Audry S, Anschutz P, **France-Lanord C**, Kastner M (1999) Fluid origin and carbonate diagenesis at the Costa Rica convergent margin. In : *Xth Meeting of European Union of Geosciences (EUG 10)*, Strasbourg, 28th March-1st April 1999, .
- Bouchot V, **Alexandrov P**, Monié P, Morillon AC, **Cheilletz A**, Ruffet G, Roig JY, Charonnat X, Chauvet A, Faure M, **Le Carlier C**, Cuney M, Becq-Giraudon JF, Truffert C, Ledru P & al. (1999) The W-As-Au-Sb metalliferous peak : a «instantaneous» marker of the late-orogenic evolution of the Variscan belt at 310-305 Ma. *Colloque GéoFrance 3D : results and perspectives*, Document BRGM, 33-36.

- Boushaba A, **Marignac C** (1999) Zoned tourmalines of the Ment pluton (Central Morocco) : insight on fluid mixing? In : *Interactions fluides-minéraux dans la croûte, 2nd European Workshop on Tourmaline and Borosilicates, 14-15 octobre, Paris*, Bulletin de Liaison de la Société Française de Minéralogie et de Cristallographie, 1999, vol. 11, n°3, p. 111.
- Boutaleb M, Pironon J, **Marignac C**, Aïssa DE, Touahri B (1999) Hydrocarbon inclusions in fluorite from MVT deposits : the Pb-Zn district of the Hodna Mts (Algeria). In : *XVth Meeting of European Current Research on Fluid Inclusions (ECROFI XV), Terra Nostra, Abstracts 55-57*, .
- Branquet Y, Cheilietz A**, Cobbold PR, Baby P, Laumonier B, **Giuliani G** (1999) Andean transpressive tectonics at the eastern edge of the Cordillera Oriental, Columbia (Chivor-Guavio area). In : *ISAG 99, Göttinger, October 4-6, 1999*, p. 103-105.
- Branquet Y, Cheilietz A, Laumonier B, Giuliani G** (1999) Fluidization during tectonics : the hydrothermal Breccias in Colombian emerald deposits. In : *Fluids and fractures in the lithosphere, Nancy, March 26-27, 1999*, p. 61.
- Branquet Y, Cheilietz A, Laumonier B, Giuliani G** (1999) Fluidization during tectonics : the hydrothermal Breccias in Colombian emerald deposits. In : *Xth Meeting of European Union of Geosciences (EUG 10), Strasbourg, 28th March-1st April 1999*, .
- Brown WL, Ohnenstetter D** (1999) Boninites from the Western Pacific : normative classification, disequilibrium liquid lines of descent water and the inhibition of plagioclase nucleation, and possible parental magmas. In : *Komatiites, Norites, Boninites, Basalts, The School of Earth, Environmental and Physical Sciences. University of Portsmouth, 16-17 th December, 1999*, 19-21.
- Carignan J, Tardif H** (1999) The rare earth elements fractionation in water along the Moselle River, France. In : *Xth Meeting of European Union of Geosciences (EUG 10), Strasbourg, 28th March-1st April 1999*, .
- Chabiron A, Alyoshin A, Cuney M, **Deloule E**, Golubev V, Velitchkin V, Poty B (1999) Geochemistry and the Rhyolitic magmas associated with the Streltsovka uranium deposits (Transbaikalia, Russia) : a magmatic-inclusion study. In : *Xth Meeting of European Union of Geosciences (EUG 10), Strasbourg, 28th March-1st April 1999*, .
- Chalot-Prat F** (1999) Genesis of silica-saturated and calcio-carbonatitic melts by immiscibility and wall rock reactions in the upper mantle : a natural case study in mantle xenoliths (Persani Mts, Romania). In : *Xth Meeting of European Union of Geosciences (EUG 10), Strasbourg, 28th March-1st April 1999*, .
- Chalot-Prat F, Gîrbacea R** (1999) Crust-mantle decoupling in an uplift context : triggering mechanism for plio-quaternary alkaline and calc-alkaline volcanism and basin formation (south Eastern Carpathians, Romania). In : *Xth Meeting of European Union of Geosciences (EUG 10), Strasbourg, 28th March-1st April 1999*, .
- Chalot-Prat F, Lombard A, Lagabrielle Y** (1999) Petrogenetic relationships between peridotites, gabbros, albitites and basalts in Alpine ophiolites (Vanoise and Briançonnais) : trace element and isotopic (Nd, Sr) evidences. In : *Third International Workshop on orogenic lherzolites and mantle processes (workshop and field excursion), Pavia (Italy), 12-21 September 1999*, .
- Chalot-Prat F, Skilling I** (1999) Eruption and emplacement mechanisms of the Loskopdam volcanism (Rooiberg group, Bushveld Complex) : preliminary results. In : *Bushveld-Loskopdam Workshop, Pretoria (South Africa), July 6-9 1999*, .
- Cheilietz A, Royant J, Royer J, Branquet Y** (1999) Geochemical evidences for fluid-rock interactions in the Chivor Emerald deposit, Colombia. In : *Xth Meeting of European Union of Geosciences (EUG 10), Strasbourg, 28th March-1st April*, .
- Cuney M, **Stussi J** (1999) The origin of two main types of Variscan pre-luminous granitoids from the French Massif Central. In : *IV Hutton Symp., Clermont-Ferrand, 20-25 September, 1999*, Documents du BRGM, 290 Abstract p.207.
- Dauphas N, Marty B, Tolstikhin I** (1999) Nitrogen and argon isotopes in carbonatites from the Kola peninsula (Russia), an open window on the deep mantle. In : *Xth Meeting of European Union of Geosciences (EUG 10), Strasbourg, 28th March-1st April 1999*, .
- Decitre S, Deloule E** (1999) Determination of Li contents and isotopic compositions in various oceanic basalts by ion microprobe : implication for the Li geochemical cycle. In : *Xth Meeting of European Union of Geosciences (EUG 10), Strasbourg, 28th March-1st April, 1999*, .

- Dewonck S, Marty B, Tolstikhin I, Aranyosy J** (1999) Helium and argon mobility in sedimentary rocks. In : *Xth Meeting of European Union of Geosciences (EUG 10), Strasbourg, 28th March-1st April, 1999, .*
- Diagana B, **Marignac C**, Boiron M, Marcoux E, Deschamps Y, Cathelineau M (1999) The effect of Hercynian metamorphism on «Stockwork» Ores in VMS deposits (La Zarza, Tharsis) of the South Iberic Pyritous Belt : mineralogical and fluid inclusion data. In : *Xth Meeting of European Union of Geosciences (EUG 10), Strasbourg, 28th March-1st April 1999, .*
- Diagana B, **Marignac C**, Banks D, Boiron MC, Fourcade S, Cathelineau M, Deschamps Y, Marcoux E (1999) Metamorphic reworking of the «stockwork» ores in the VMS deposits of the South Iberian Pyrite Belt : a fluid inclusion and 18O study at the Tharsis deposit. In : *XVth Meeting of European Current Research on Fluid Inclusions (ECROFI XV), Terra Nostra, Abstracts 77-79, .*
- Dias G, Simoes P, Mendes A, **Leterrier J** (1999) Sr-Nd isotopic constraints on the genesis of hercynian granitoids from the Central Iberian Zone, Northern Portugal. In : *IV Hutton Symp., Clermont-Ferrand, 20-25 September, 1999, Documents du BRGM, 290 Abstract p.208.*
- Essarraj S, Hibti M, **Marignac C**, Cathelineau M, Boiron MC, Dubessy J (1999) Hercynian metamorphism of the Hajjar Pb-Zn-Cu massive sulfide deposit, Guemassa, Morocco : preliminary results from fluid inclusion study. In : *XVth Symposium European Current Research on Fluid Inclusions (ECROFI XV), , Terra Nostra, Abstracts, 95-96.*
- Fichtl P, **Royer J** (1999) Facies based sequential indicator cosimulation : collocated cokriging approach for integrated seismic data. In : *Proceedings of IAMG '99, Trondheim, Norway, 6-11 August, 1999, Lippard SJ, Naess A, Sinding-Larsen R (Eds), 473-748.*
- Ford M**, Lickorish H, Podladtchikov Y (1999) Foreland basin evolution around the Western Alpine Arc. In : *Xth Meeting of European Union of Geosciences (EUG 10), Strasbourg, 28th March-1st April 1999, .*
- Fournier F, Penna R, **Royer J** (1999) Spatial behavior of kriging error for model-based stratigraphic inversion. In : *EAGE/SPE Symposium on Petroleum Geostatistics, Toulouse, 20-23 April, 1999, Paper 32, 2 p.*
- France-Lanord C, Galy A**, Aucour A, Derry L (1999) Impact of the Himalayan erosion on the carbon cycle. In : *Xth Meeting of European Union of Geosciences (EUG 10), Strasbourg, 28th March-1st April 1999, .*
- France-Lanord C, Galy A**, Derry L, Aucour A (1999) Modern erosion in Himalaya estimated from Brahmaputra and Ganges fluxes and river particle geochemistry. In : *Xth Meeting of European Union of Geosciences (EUG 10), 4, Jour. Conf. Abst., 185.*
- Frey M, **Desmons J**, Neubauer F (1999) The new metamorphic map of the Alps. In : *Xth Meeting of European Union of Geosciences (EUG 10), Strasbourg, 28th March-1st April 1999, .*
- Galy A, France-Lanord C** (1999) Modern erosion in Himalaya estimated from Brahmaputra and Ganges fluxes and river particle geochemistry. In : *Xth Meeting of European Union of Geosciences (EUG 10), Strasbourg, 28th March-1st April 1999, .*
- Giuliani G**, Vinh H, Trinh P, **France-Lanord C, Coget P** (1999) Carbon isotope study on graphite and coexisting calcite-graphite pairs in marbles from the Luc Yen and Yen Bai ruby districts, North of Viet Nam. In : *Interactions fluides-minéraux dans la croûte, 2nd European Workshop on Tourmaline and Borosilicates, 14-15 octobre, Paris, , Bulletin de Liaison de la Société Française de Minéralogie et de Cristallographie, 1999, vol. 11, n°3, p. 80.*
- Gurenko A, **Chaussidon M**, Schmincke H (1999) S and O isotopes in Cpx-Hosted glass inclusions from miocene submarine hyaloclastites of Gran Canaria (Canary Islands) : constraints on magma degassing and contamination. In : *Xth Meeting of European Union of Geosciences (EUG 10), Strasbourg, 28th March-1st April 1999, .*
- Kolli O, **Saupe F, Marignac C, Cheilletz A, Gasquet D** (1999) The Ba-F-(Pb-Cu) vein-type and replacement ore deposits in the western Djurdjura, Algeria : structural setting, fluid inclusions and sulphur isotopes. In : *Mineral deposits : processes to processing. Proceeding of the Fifth Biennial SGA Meeting and the quadrennial IAGOD meeting., London, 22-25 August 1999, Stanley Cea (Ed.) Balkema AA., Rotterdam, 877-880.*
- Kolli O, **Saupe F, Marignac C, Cheilletz A, Gasquet D** (1999) The Ba-F-(Pb-Cu) vein-type and replacement ore deposits in the western Djurdjura, Algeria : structural setting, fluid inclusions and sulphur isotopes. In : Stanley Cea (Ed.) *Mineral deposits : processes to processing, : Balkema, Rotterdam, 877-880.*

- Kurat G, **Chaussidon M**, Nazarov MA, Brandstätter F (1999) Silica-bearing objects in Bali (CV3) : trace element data. In : *61th Annual Meeting of the Meteoritical Society, Johannesburg, South Africa, 1999, 11-16 juillet*, Meteoritics & Planet. Sci., 34, 4, supp.
- Lattard D, Partzsch G, **Toplis M** (1999) Differentiation of ferro-basaltic magmas in systems closed to oxygen : anew/old experimental approach. In : *Xth Meeting of European Union of Geosciences (EUG 10), Strasbourg, 28th March-1st April 1999*, Terra Abstracts, 11 p.787.
- Laumonier B, **Branquet Y**, **Cheilletz A**, **Giuliani G** (1999) Structural setting and age of the Colombian Emerald deposits : implications for the tectonic evolution of the Cordillera Oriental. In : *ISAG 99, Göttinger, October 4-6, 1999*, p. 422-423.
- Le Carlier de Veslud C**, **Royer J**, Cuney M, Floc'h J, Chevremont P, Vignerresse J, Ameglio L, Lespinasse M (1999) 3D modelling of the relationships between granitoids and mineral deposits : the example of the Variscan Limousin Province, NW French Massif Central. In : *IV Hutton Symp., Clermont-Ferrand, 20-25 September, 1999*, Documents du BRGM, 290 Abstract p.235.
- Le Carlier de Veslud C**, **Royer JJ**, Cuney M, Floc'h J, Chevremont P, Vignerresse J, Ameglio L, Lespinasse M (1999) 3D modelling of the Limousin Crustal Block (Massif Central GeoFrance 3D Program). In : *Xth Meeting of European Union of Geosciences (EUG 10), Strasbourg, 28th March-1st April 1999*, .
- Mahé-Le Carlier C**, **Ploquin A**, **Le Carlier de Veslud C**, **Royer J** (1999) Une nouvelle famille d'analogues pour les déchets vitrifiés actuels : les scories de la métallurgie ancienne. In : *Stabilisation des déchets et environnement 99, Lyon, Villeurbanne, 13-16 April, 1999*, Méhu J, Keck G, AN (Eds), 434-439.
- Libourel G** (1999) Calcium partitioning between olivine and melt : implications for refractory forsterites and chondrule olivines from primitive meteorites. In : *61th Annual Meeting of the Meteoritical Society, Johannesburg, South Africa, 1999, 11-16 juillet*, Meteoritics & Planet. Sci., 34, 4, supp.
- Lickorish W, **Ford M**, Bürgisser J, Cobbold P (1999) Arcuate thrust systems as produced by sand-box modelling : a comparison to the external arc of the Western Alps. In : *Xth Meeting of European Union of Geosciences (EUG 10), Strasbourg, 28th March-1st April 1999*, .
- Ludden J** (1999) Seismic images of a Late-Archaean crustal collision zone. In : *Xth Meeting of European Union of Geosciences (EUG 10), Strasbourg, 28th March-1st April 1999*, .
- Mahé-Le Carlier C**, **Ploquin A** (1999) Microstructure de verres des scories paléométallurgiques composition de pyroxène. In : *Le verre : matériau du XXIème siècle, Montpellier, Montpellier, 29-30 novembre 1999*, . Bulletin de Liaison de la Société Française de Minéralogie et de Cristallographie, 1999, vol. 11, n°4, p. 157.
- Mahé-Le Carlier C**, **Ploquin A** (1999) Modalités d'altérations des scories paléométallurgiques : vers une application aux pollutions anciennes et actuelles. In : *Deuxièmes rencontres internationales de Liessies, Technique et Environnement, Liessies, 29-31 mars*, .
- Mahé-Le Carlier C**, **Ploquin A**, **Le Carlier de Veslud C**, **Royer J** (1999) A new analog family for vitrified wastes : paleometallurgic slags. In : *Xth Meeting of European Union of Geosciences (EUG 10), Strasbourg, 28th March-1st April 1999*, .
- Mahé-Le Carlier C**, **Ploquin A**, Leroy M (1999) Spéciations du phosphore lors du processus de réduction de la minette de Lorraine en bas et en haut fourneau. In : *Colloque d'Archéométrie du Groupe des Méthodes pluridisciplinaires contribuant à l'archéologie, Lyon*, . résumé.
- Mallet J** (1999) Discrete 3D numerical geomodeling : the gOcad project. In : *Xth Meeting of European Union of Geosciences (EUG 10), Strasbourg, 28th March-1st April 1999*, .
- Martins H, Almeida A, Noronha F, **Leterrier J** (1999) U-Pb zircon and monazite geochronology of hercynian composite granite plutons, Northern Portugal. In : *IV Hutton Symp., Clermont-Ferrand, 20-25 September, 1999*, Documents du BRGM, 290 Abstract p.215.
- Martins H, Noronha F, **Leterrier J** (1999) Post-thickening collision related granites from Northern Portugal. In : *IV Hutton Symp., Clermont-Ferrand, 20-25 September, 1999*, Documents du BRGM, 290 Abstract p.163.
- Marty B** (1999) Volatiles in the terrestrial mantle at the earth's surface : clues to early environmental conditions of the earth. In : *Xth Meeting of European Union of Geosciences (EUG 10), Strasbourg, 28th March-1st April 1999*, .

- Moutarda S, Moreau C, **Ohnenstetter D** (1999) Evolution of Ca-carbonatites from Tamazert complex (Morocco) : role of magmatism and metasomatism. In : «*Mineral deposits : process to processing. SGA Meeting, 22-25 August, 1999, .*
- Nachit H, Pons J, **Barbey P** (1999) Structure and geochemistry of a zoned granodioritic pluton. What about magma-host interactions during emplacement? In : *IV Hutton Symp., Clermont-Ferrand, 20-25 September, 1999, Documents du BRGM, 290 Abstract p.103.*
- Ohnenstetter D**, Verhulst A, Blanc P, Balaganskaya Y, Kimarsky Y, Demaiffe D (1999) The carbonatite suites of the Kola peninsula : a cathodoluminescence study. In : *Xth Meeting of European Union of Geosciences (EUG 10), Strasbourg, 28th March-1st April 1999, .*
- Page M**, Orberger B, Clauer N, De Windt L, Cabrera J (1999) Calcite veins in the Toarcian shales of the Tournemire Tunnel (Aveyron, France) : open vs closed system. In : *Xth Meeting of European Union of Geosciences (EUG 10), Strasbourg, 28th March-1st April 1999, .*
- Penna E, Fournier F, **Royer J** (1999) Spatial behavior of Kriging error for model-based stratigraphic inversion. In : *EAGE/SPE International Symposium on Petroleum Geostatistics, Toulouse, 20-23 April,*
- Pierson-Wickmann A**, **Reisberg L**, **France-Lanord C** (1999) Tracing Himalayan erosion with Os isotopes. In : *Xth Meeting of European Union of Geosciences (EUG 10), Strasbourg, 28th March-1st April 1999.*
- Pik R**, **Marty B** (1999) (U+Th)/He thermochronometry : extension of the method to more U-bearing minerals. In : *American Geophysical Union 1999 (AGU) Fall Meeting, 46, 80, 1169.*
- Pik R**, **Marty B**, **Carignan J** (1999) (U+Th)/He thermochronometry of the Ethiopian basement. In : *Xth Meeting of European Union of Geosciences (EUG 10), Strasbourg, 28th March-1st April 1999, Terra, Abstracts, vol. 4, p.801.*
- Ploquin A**, **Mahé-Le-Carlier C**, Kraus F, **Royer J** (1999) Caractérisation pétrographique et chimique de vitrifiats de REFIOM. In : *Stabilisation des déchets et environnement 99, Lyon, Villeurbanne, 13-16 avril, .*
- Raimbault L, **Alexandrov P**, Nong LX (1999) Behaviour of indium and gallium in hydrothermal cassiterites. In : *Mineral deposits : processes to processing. Proceeding of the Fifth Biennial SGA Meeting and the quadrennial IAGOD meeting., London, 22-25 August 1999, Stanley CJea (Ed.) Balkema AA., Rotterdam, 421-424.*
- Reisberg L**, **Marty B**, Deniel C, **Pik R**, Ayalew D, **Spatz C** (1999) Os isotopic data from Ethiopian and Djiboutian basalts. In : *Xth Meeting of European Union of Geosciences (EUG 10), Strasbourg, 28th March-1st April 1999, Terra Abstracts, 344.*
- Riotte J, Chabaux F, **Galy A**, **France-Lanord C** (1999) Sources of U in the Himalayan rivers : evidence from the Narayani watershed. In : *Xth Meeting of European Union of Geosciences (EUG 10), Strasbourg, 28th March-1st April 1999.*
- Rollion-Bard C**, **Chaussidon M**, **France-Lanord C**, **Bard E**, **Mangin D** (1999) Oxygen isotopic measurements in corals with a Camera ims 1270 ion probe. In : *Xth Meeting of European Union of Geosciences (EUG 10), Strasbourg, 28th March-1st April 1999.*
- Rose E**, **Carignan J**, **Galy A** (1999) Sources of Boron in rain waters of Nepal and Bangladesh. In : *Xth Meeting of European Union of Geosciences (EUG 10), Strasbourg, 28th March-1st April 1999.*
- Rose E**, **Chaussidon M**, **France-Lanord C** (1999) Boron isotopic fractionations during weathering processes : impact on the $\delta^{11}\text{B}$ of seawater. In : *Interactions fluides-minéraux dans la croûte, 2nd European Workshop on Tourmaline and Borosilicates, 14-15 octobre, Paris, , m.*
- Rouxel O**, Fouquet Y, **Boyd S**, **Chaussidon M** (1999) Mineralogy and sulphur isotope geochemistry of the logatchev sulphides, Mid Atlantic Ridge 14°45'N. In : *Xth Meeting of European Union of Geosciences (EUG 10), Strasbourg, 28th March-1st April 1999, .*
- Royer J** (1999) Information and knowledge management in geophysical information system. In : *CODATA Euro-American Workshop, Management of Data, Information and Knowledge, June 1999, .*
- Royer J**, Cuney M, Floc'h J, Chevremont P, Vignerresse J, Ameglio L, Lespinasse M (1999) 3D modelling of the Limousin crustal block (Massif Central GeoFrance 3D Program). In : *Xth Meeting of European Union of Geosciences (EUG 10), Strasbourg, 28th March-1st April 1999, .*
- Royer J**, Gérard B, **Le Carlier de Veslud C** (1999) 3D modeling of transferts in sedimentary basins : the example of the Oklo site. In : *Workshop on Fluids and Fractures in the Lithosphere, Nancy 1999, March, .*
- Royer JJ**, **Audigane P**, **Le Carlier de Veslud C** (1999) Characterizing the Soultz-sous-Fo-rêts geothermal site in 3D. In : *Xth Meeting of European Union of Geosciences (EUG 10), Strasbourg, 28th March-1st April 1999.*

- Sant'Ovaia H, Martins H, Bouchez J, Leblanc D, Noronha F, **Leterrier J** (1999) Zoning and emplacement kinematics of the post-tectonic Vila Pouca sz Aguiar Biotite-Granite pluton (Northern Portugal) : multidisciplinary approach. In : *IV Hutton Symp., Clermont-Ferrand, 20-25 September, 1999*, Documents du BRGM, 290 Abstract p.110.
- Shapiro S, Audigane P, Royer J** (1999) Reservoir-scale in-situ permeability tensor from induced microseismicity. In : *Coll. WIT Consortium, Karlsruhe University 1999, Fevrier 1999*, 18 p.
- Shapiro SA, Audigane P, Royer JJ, Fehler M** (1999) An inversion for the permeability tensor by using emission. In : *SEG, Houston, October, 1999*, 4 p.
- Sobolev A, Hofmann A, Nikogosian I, Shimizu N, **Chaussidon M** (1999) New evidence for oceanic crust recycling in the Hawaiian Plume : trace elements and isotopes of Melt inclusions in Olivines from Mauna Loa Lavas. In : *Xth Meeting of European Union of Geosciences (EUG 10), Strasbourg, 28th March-1st April 1999*, .
- Souhassou M** (1999) Fluid circulation in metamorphic formations hosting Au (As)-mineralized faults (Bourneix-Laurières District, French Massif Central). In : *Xth Meeting of European Union of Geosciences (EUG 10), Strasbourg, 28th March-1st April 1999*, .
- Souhassou M, Cathelineau M, Marignac C** (1999) Regional fluid circulation around shear-zone gold deposits : a fluid inclusion study in the Bourneix area (Limousin, France). In : *XVth Symposium European Current Research on Fluid Inclusions (ECROFI XV)*, , Terra Nostra, Abstracts, 200-292.
- Sterpenich J, Libourel G** (1999) Kinetics of pollutant element release during glass alteration. In : *Xth Meeting of European Union of Geosciences (EUG 10), Strasbourg, 28th March-1st April, 1999*, .
- Toplis M** (1999) Quantitative links between structure and viscosity of silicate melts. In : *6th Silicate Melts Workshop*, , 13-17 avril 1999.
- Toplis M** (1999) Reconstructing the liquid line of descent of the Skaergaard intrusion. In : *Xth Meeting of European Union of Geosciences (EUG 10), Strasbourg, 28th March-1st April 1999*, Terra Abstracts, 11, 776.
- Toplis M, Brown W** (1999) Calculating liquid lines of descent of layered igneous intrusions : application to the Skaergaard intrusion, East Greenland. In : *EOS*, .
- Toplis M, Dingwell D** (1999) The influence of TiO₂ on viscosities of melts of variable Alkali/Aluminium ratio. In : *6th Silicate Melt Workshop*, , 13-17 avril 1999, .
- Toplis M, Gottsmann J, Knoche R, Dingwell D** (1999) Heat capacities of haplogranitic glasses and liquids. In : *American Geophysical Union 1999 (AGU) Fall Meeting*, , .
- Toplis M, Reynard B, Schaller T, Fayon F, Massiot D** (1999) The structural role of P in aluminosilicate glasses and melts. In-situ studies at high temperature. In : *15th International congress of glass*, , .
- Trumbull R, **Chaussidon M** (1999) Chemical and boron isotopic composition of magmatic and hydrothermal tourmalines from the Sinceni granite-pegmatite system in Swaziland. In : *Interactions fluides-minéraux dans la croûte, 2nd European Workshop on Tourmaline and Borosilicates, 14-15 octobre, Paris*, , Bulletin de Liaison de la Société Française de Minéralogie et de Cristallographie, 1999, vol. 11, n°3, p. 120.
- Truffert C, Courrioux G, Bitri A, Roig JY, Bellot JP, Martelet G, Charonnat X, **Le Carlier C**, Delos V, Faure M, Diament M, Bouchot V, Milesi JP, Cuney M, Ledru P (1999) 3D crustal modelling of the Massif Central. *Colloque GéoFrance 3D : results and perspectives*, Document BRGM, 37-45.
- Vallance J, Boiron M, Fourcade S, Cathelineau M, **Marignac C** (1999) Fluid migration in granites associated with W-Sn-(Au) ores : the example of the Vaulry deposit in the Blond rare metal granite (NW French Massif Central). In : *Xth Meeting of European Union of Geosciences (EUG 10), Strasbourg, 28th March-1st April 1999*, .
- Williams E, Sergeev S, Stössel I, **Ford M**, Higgs K (1999) U-Pb Zircon geochronology of silicic tuffs from the Old Red Sandstone of the Dingle and Munster Basins (SW Ireland) : refining the Devonian time scale. In : *Xth Meeting of European Union of Geosciences (EUG 10), Strasbourg, 28th March-1st April 1999*, .

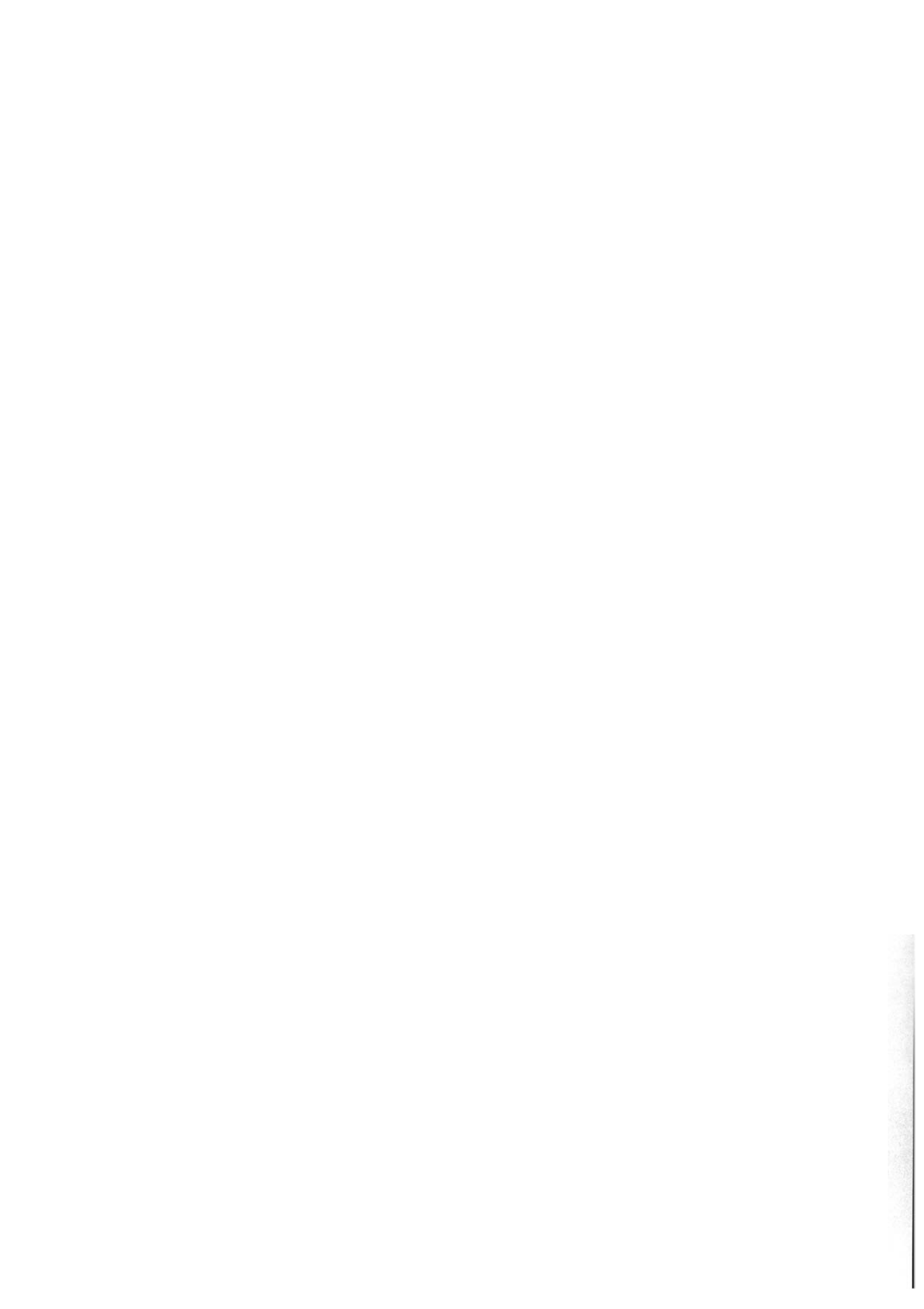
- Abia EH, Nachit H, **Marignac C**, Ibhi A, Ait Saadi S (2000) Le district minier de Bou-Madine : environnement tectonique et concentration BPGC A AG et AU (Jbel Ougnat, Anti-Atlas oriental, Maroc). In : *Métallogénie 2000 : bilan et perspectives, Nancy, 8-9 décembre 2000*, Abstracts, p. 1-2.
- Aïssa DE, Kesraoui M, Kehal A, **Marignac C** (2000) Magmatisme peralumineux et potentiel en métaux rares dans l'est Algérien. In : *Métallogénie 2000 : bilan et perspectives, Nancy, 8-9 décembre 2000*, Abstracts, p. 3-4.
- Aléon J**, Engrand C, Robert F, **Chaussidon M** (2000) Isotopic study of the potential carriers of deuterium excesses in interplanetary dust particles. In : *63rd Annual Meeting of the Meteoritical Society, Chigaco, Illinois, August 28 - September 1, 2000*, Meteoritics & Planetary Science, 35, 5, suppl, A19-A20.
- Alexandrov P**, **Cheilletz A**, **Deloule E**, Cuney M (2000) Datation à 319 ± 7 Ma par la microsonde ionique du granite de Blond (NW du Massif Central). In : *18ème Réunion des Sciences de la Terre, Paris, 17-20 avril 2000*, Abstracts, p. 68.
- Audigane P**, **Royer JJ**, **Le Carlier de Veslud C** (2000) Modélisation hydraulique et thermique du site géothermique de Soultz-sous-Forêts. In : *18ème Réunion des Sciences de la Terre, Paris, 17-20 avril 2000*, Abstracts, p. 71.
- Baraka A, **Marignac C**, Boiron MC, Cathelineau M, Bouabdelli M (2000) Fluid circulation associated to the gold mineralization in the Ourika (Atlas of Marrakech, Morocco). In : *Métallogénie 2000 : bilan et perspectives, Nancy, 8-9 décembre 2000*, Abstracts, p. 15-16.
- Barros C, **Barbey P** (2000) Carajás mining Province : shear belt or plutono-metamorphic belt? In : *31th Intern. Geol. Cong., Rio de Janeiro, Brazil, Abstract vol.*, .
- Barros C, **Barbey P** (2000) Flame perthites and albite-sphene symplectites : evidence for coaxial deformation in the Estrela Granite Complex, Carajás region, Brazil. In : *31th Intern. Geol. Congr., Rio de Janeiro, Brazil, Abstract vol.*, .
- Bertrand JM, Guillot F, **Macaudière J**, Mercier D, Delval T (2000) Structure du Houiller de la Vallée de l'Arc : du front Briançonnais à la cicatrice de Chavière (Alpes de Savoie). In : *18ème Réunion des Sciences de la Terre, Paris, 17-20 avril 2000*, Abstracts, p. 85.
- Bouchot V, **Alexandrov P**, Monié P, Morillon AC, **Cheilletz A**, Ruffet G, Charonnat X, Chauvet A, Faure M, **Le Carlier C**, et al (2000) La crise métallifère W-Au-Sb datée à 310-305 ma : un marqueur instantané de l'évolution tardiorogénique de la chaîne varisque (programme GéoFrance 3D). In : *18ème Réunion des Sciences de la Terre, Paris, 17-20 avril 2000*, Abstracts, p. 92.
- Branquet Y, Laumonier B, **Cheilletz A**, **Giuliani G** (2000) Detachment, collapse structures and evaporite dissolution in the eastern emerald deposits of Colombia : associated breccias, structures and sandbox analogue experiments. In : *Métallogénie 2000 : bilan et perspectives, Nancy, 7-8 décembre, 2000*, Abstracts, p.29-30.
- Buschaert S, Cathelineau M, Fourcade S, **Deloule E** (2000) Origine des ciments de fractures et géodes de la série mésozoïque de l'Est du bassin de paris : approches isotopiques (^{13}C , ^{18}O) et analyse ponctuelle en $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (IMS1270). In : *18ème Réunion des Sciences de la Terre, Paris, 17-20 avril 2000*, Abstracts, p. 97.
- Cathelineau M, Boiron MC, Banks D, Vallance J, Fourcade S, **Marignac C** (2000) Fluid mixing and gold deposition during the uplift of the Hercynian belt. In : *Métallogénie 2000 : bilan et perspectives, Nancy, 8-9 décembre 2000*, Abstracts, p. 33-34.
- Chabaux F, Riotte J, Clauer N, **France-Lanord C** (2000) Tracing of the U fluxes in the Ganges-Brahmaputra river system. In : *XIth Meeting of European Union of Geosciences (EUG 11), Strasbourg, 8-121 avril, 2001*, .
- Champenois M**, **Mangin D**, **Deloule E** (2000) Datations U/Pb sur zircons à la microsonde ionique. In : *18ème Réunion des Sciences de la Terre, Paris, 17-20 avril 2000*, Abstracts, p. 103.
- Cheilletz A** (2000) La datation des émeraudes. In : *Métallogénie 2000 : bilan et perspectives, Nancy, 7-8 décembre, 2000*, Abstracts, p.37.
- Cheilletz A**, Azizi-Samir MR, **Gasquet D**, Zyadi R, **Levresse G**, Ennaciri A, Archibald D, Ouguir H (2000) Le gisement Ag-Hg d'Imiter (Maroc) : Age (U-Pb et $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$) et contrôle structural des minéralisations. In : *Métallogénie 2000 : bilan et perspectives, Nancy, 7-8 décembre*, Abstracts, p.39-40.

- Cuney M, **Le Carlier de Veslud C**, **Cheilletz A**, **Alexandro P**, Ameglio L, Ruffet G, **Royer JJ**, Raimbault L, Vignerresse JL, et al (2000) Coupled-magmatic-metallogenic and thermochronologic evolution of the North-Limousin province (Massif Central, France). In : *A Geode-Geofrance 3D Workshop on orogenic gold deposits in Europe, with emphasis on the variscides, Orléans (BRGM), 7-8 novembre 2000*, Documents du BRGM, 297, 62-65.
- Dauphas N**, Zanda B, Dubouloz Y, Allemand J, Sangely L (2000) A new H5/S3/W1 brecciated meteorite from France. In : *63rd Annual Meeting of the Meteoritical Society, Chicago, Illinois, August 28 - September 1, 2000*, Meteoritics & Planetary Science, 35, 5, suppl, A46-A47.
- Dauphas N**, **Marty B**, **Reisberg L**, **Spatz C**, **Framboisier X**, **Carignan J**, **Ludden J** (2000) Chemical separation of molybdenum and its isotopic analysis by MC-ICP-Hex-MS. In : *4th International Conference on the Analysis of Geological and Environmental Materials, Pont-à-Mousson, France, August 29-September 1, 2000*
- Diagana B, Cathelineau M, **Marignac C**, Boiron MC (2000) Remobilisation des métaux de base et évolution tectono-métamorphique dans les amas sulfurés de la province pyriteuse sud-ibérique. In : *18ème Réunion des Sciences de la Terre, Paris, 17-20 avril 2000*, Abstracts, p. 121.
- Diagana B, **Marignac C**, Cathelineau M, Boiron MC, Banks D, Fourcade S, Martineau F (2000) Post-deformation metamorphic fluids and metal transfer in the VMS deposits of the South Iberian pyrite belt : a fluid inclusion and d18O study. In : *Métallogénie 2000 : bilan et perspectives, Nancy, 8-9 décembre, 2000*, Abstracts, p. 51-52.
- Diraison M**, **Ford M**, **Le Carlier de Veslud C** (2000) Cinématique cénozoïque dans le Sud du fossé rhénan (Bassin de Dannemarie). In : *18ème Réunion des Sciences de la Terre, Paris, 17-20 avril 2000*, Abstracts, p. 122.
- Essaifi A, Ballegré M, **Marignac C** (2000) Les ilménites zincifères : des marqueurs de la circulation de fluides hydrothermaux minéralisants dans les Jebilet Centrales (Hercynien, Maroc). In : *18ème Réunion des Sciences de la Terre, Paris, 17-20 avril 2000*, Abstracts, p. 127.
- Ford M**, Meckel LD, Bürgisser J, Lickorish H, Seward D (2000) L'évolution cinématique de l'arc externe des Alpes occidentales. In : *18ème Réunion des Sciences de la Terre, Paris, 17-20 avril 2000*, Abstracts, p. 132.
- Fournier F, Perdrizet T, **Royer JJ** (2000) Determining consistently the a priori information weight in a stratigraphic inversion. In : *2000 Society of Petroleum Engineers International, Dallas, Texas, 1-4 October, 2000*, .
- France-Lanord C** (2000) Le bilan isotopique du Sr océanique et l'impact de l'érosion de l'Himalaya. In : *18ème Réunion des Sciences de la Terre, Paris, 17-20 avril 2000*, Abstracts, p. 134.
- France-Lanord C** (2000) Uplift and erosion of the Himalaya. In : *European ODP Forum, La Grande Motte, 10-11 avril, 2000*, Abstracts, p. K-4.
- France-Lanord C**, Bourlès D (2000) 10Be concentration in quartz from Himalayan river sand : implication for erosion distribution and time of transport. In : *XXVI Gen. Assemb., EGS*, .
- Galy A, **France-Lanord C**, Hurtrez JE (2000) Distribution de l'érosion dans la chaîne Himalayenne. In : *18ème Réunion des Sciences de la Terre, Paris, 17-20 avril 2000*, Abstracts, p. 138.
- Gayer E**, **Humbert F**, **Libourel G**, **Marty B** (2000) Spéciation de l'azote dans les verres et liquides silicatés. In : *18ème Réunion des Sciences de la Terre, Paris, 17-20 avril 2000*, Abstracts, p. 141.
- Giuliani G**, **Garnier V**, **Onhenstetter D**, Schwarz D, **France-Lanord C**, Dubessy J, Maluski H, Kausar AB, Khan T, Malik RH, Trinh PT, Vinh HQ (2000) Marble-hosted ruby deposits in South-East Asia : a review. In : *Métallogénie 2000 : bilan et perspectives, Nancy, 7-8 décembre*, Abstracts, p.67-68.
- Guillot F, Bertrand JM, Schaltegger U, **Leterrier J** (2000) Complémentarité entre Dilution isotopique et Sonde ionique : datation U-Pb de socles polycycliques alpins. In : *18ème Réunion des Sciences de la Terre, Paris, 17-20 avril 2000*, Abstracts, p. 151.
- Le Carlier de Veslud C**, Cuney M, **Royer JJ**, Améglio L, Vignerresse JL, Chèvremont P, Itard Y (2000) Relations entre granites et minéralisations : modélisation 3D du bloc crustal Limousin Nord. In : *18ème Réunion des Sciences de la Terre, Paris, 17-20 avril 2000*, Abstracts, p. 173.
- Libourel G** (2000) Olivine-melt partition coefficients of chondrules and their bearing on chondrule formation processes. In : *63rd Annual Meeting of the Meteoritical Society, Chicago, Illinois, August 28 - September 1, 2000*, Meteoritics & Planetary Science, 35, 5, suppl, A97-A98.

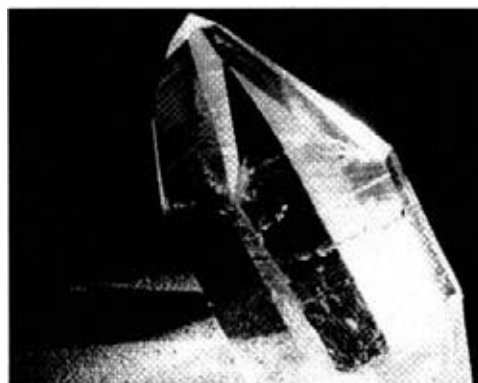
- Ludden J**, Plank T, **Rouxel O**, Honnorez J, et al (2000) Flux géochimiques des marges actives du Pacifique Occidental, résultats préliminaires du Leg ODP 185. In : *18ème Réunion des Sciences de la Terre, Paris, 17-20 avril 2000*, Abstracts, p. 183.
- Mallet JL**. 2000. Géologie numérique : apports de gOcad (geology Oriented computer aided design). De la matière grise à l'or noir. In : *Géologues-Paris*, 127, : 48-51.
- Marignac C**, Cathelineau M, Boiron MC, Fourcade S, Vallance J, **Souhassou M** (2000) The Q-Au lodes of W Europe : towards the definition of a Variscan-type of shear-zone hosted gold deposits. In : *A Geode-Geofrance 3D Workshop on orogenic gold deposits in Europe, with emphasis on the variscides, Orléans (BRGM), 7-8 novembre, 2000*, Documents du BRGM, 297, 82-85.
- Marignac C**, Cathelineau M, Noronha F (2000) The nature of ore-forming fluids in SN-W deposits. In : *Métallogénie 2000 : bilan et perspectives, Nancy, 8-9 décembre, 2000*, Abstracts, p. 93-96.
- Meyzen C**, Humble E, **Ludden J**, Mével C, **Toplis M** (2000) Géochimie des verres basaltiques de la dorsale sud-ouest indienne. In : *18ème Réunion des Sciences de la Terre, Paris, 17-20 avril 2000*, Abstracts, p. 196.
- Ohnenstetter M** (2000) PGE mineralizations in ophiolites : classification and key factors in their genesis. In : *Métallogénie 2000 : bilan et perspectives, Nancy, 8-9 décembre 2000*, Abstracts, p. 125-126.
- Pierson-Wickmann AC**, **Reisberg L**, **France-Lanord C** (2000) Les isotopes d'Os dans les roches et sédiments himalayens : bilan des sources. In : *18ème Réunion des Sciences de la Terre, Paris, 17-20 avril 2000*, Abstracts, p. 212.
- Rouxel O**, Fouquet Y (2000) Le site hydrothermal de Lucky Strike près du Point Triple des Açores : facteurs contrôlant la géochimie des isotopes du Soufre. In : *18ème Réunion des Sciences de la Terre, Paris, 17-20 avril 2000*, Abstracts, p. 227.
- Rouxel O**, **Ludden J**, Honnorez J, Plank T, Kelley K, Alt J, Barr S (2000) Drilling the input to the West Pacific subduction factory. In : *European ODP Forum, La Grande Motte, 10-11 avril, 2000*, Abstracts, p. PIV-4.
- Rouxel O**, **Ludden J**, **Carignan J**, **Marin L**, Fouquet Y (2000) Natural variations of selenium isotopes determined by multicollector plasma source mass spectrometry. In : *4th International Conference on the analysis of geological and environmental materials, Pont-à-Mousson, France August 29-September 1, 2000*.
- Royer JJ**, Gérard B, **Le Carlier de Veslud C**, Pagel M (2000) Modélisation 3D dans les Bassins Sédimentaires : l'exemple du site d'Oklo. In : *18ème Réunion des Sciences de la Terre, Paris, 17-20 avril 2000*, Abstracts, p. 228.
- Semiani A, **Marignac C** (2000) L'or du Hoggar (Algérie) : une métallogénie liée à la fin de l'orogénèse panafricaine. In : *Métallogénie 2000 : bilan et perspectives, Nancy, 8-9 décembre 2000*, Abstracts, p. 147-148.
- Singh S**, **France-Lanord C**, Galy A (2000) Is the Eastern Himalaya eroding faster than the Western Himalaya? In : *XXVI Gen. Assemb., EGS, , .*
- Souhassou M**, Boiron MC, Cathelineau M, **Marignac C** (2000) Regional fluid circulation around shear-zone hosted gold deposits : the relationships between the St-Yrieix gold-district and the Argenta fault (French Massif Central). In : *Métallogénie 2000 : bilan et perspectives, Nancy, 8-9 décembre, 2000*, Abstracts, p. 155-156.
- Souhassou M**, **Marignac C** (2000) Fluides et minéralisations dans le système de la faille d'Argentat (Sud Limousin) : premiers résultats. In : *18ème Réunion des Sciences de la Terre, Paris, 17-20 avril 2000*, Abstracts, p. 235.
- Tissandier L**, **Libourel G**, Robert F (2000) Experimental silica condensation and its bearing on chondrule formation. In : *63rd Annual Meeting of the Meteoritical Society, Chicago, Illinois, August 28 - September 1, 2000*, Meteoritics & Planetary Science, 35, 5, suppl, A156-A157.
- Toppani A**, **Libourel G**, Engrand C, Maurette M (2000) Experimental simulation and modeling of atmospheric entry of micrometeorites. In : *63rd Annual Meeting of the Meteoritical Society, Chicago, Illinois, August 28 - September 1, 2000*, Meteoritics & Planetary Science, 35, 5, suppl, A158.
- Vallance J, Boiron MC, Cathelineau M, Fourcade S, **Marignac C** (2000) Early fluid migration and P-T-x conditions in the Moulin de Cheni gold deposit (St Yrieix District, French Massif Central). In : *Métallogénie 2000 : bilan et perspectives, Nancy, 8-9 décembre 2000*, , Abstracts, p. 163-164.
- Vallance J, Boiron MC, Cathelineau M, Fourcade S, **Marignac C** (2000) Fluid mixing and W-Sn ore deposition at Vaulry (Blond Granite, NW French Massif Central). A fluid inclusion and stable isotope study. In : *Métallogénie 2000 : bilan et perspectives, Nancy, 8-9 décembre 2000*, , Abstracts, p. 165-166.

Vallance J, Cathelineau M, Boiron MC, **Marignac C**, Fourcade S (2000) Fluides, minéralisations et évolution P-t d'un segment de croûte continentale : exemple du district de St Yrieix la Perche (NW du Massif Central). In : *18ème Réunion des Sciences de la Terre, Paris, 17-20 avril 2000*, Abstracts, p. 246.

Zanda B, **Libourel G**, Blanc P (2000) Blue luminescing olivine-fassaite-spinel chondrules in the Allende meteorite. In : *63rd Annual Meeting of the Meteoritical Society, Chigaco, Illinois, August 28 - September 1, 2000*, Meteoritics & Planetary Science, 35, 5, suppl, A176.



LES CONTRATS



DE RECHERCHE

LES CONTRATS DE RECHERCHE

CONTRATS CEE

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

Gestion : CNRS

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

Gestion : CNRS

Montant total : 600 KF

Durée : 15/03/96 au 14/07/98

Titre : The genesis of Colombian emerald deposits : contribution of the structural geology and geochemistry; impact of mining exploitation on environment

Programme :

Responsable scientifique : Alain CHEILLETZ

Gestion : CNRS

Montant total : 550 KF

Durée : 1/02/95 au 31/01/97

Titre : Development of high precision isotope ratio measurement methods using multi-collector ICP-MS (PRISMS)

Programme : Standards, Measurements and Testing

Responsable scientifique : John LUDDEN

Gestion : CNRS

Montant total : 1100 KF

Durée : 1/05/98 au 1/05/2001

CONTRATS PRIVES

Titre : Identification de traceurs atomiques et moléculaires pour la caractérisation de minéraux à anneaux silicatés de type Beryl

Responsable scientifique : Alain CHEILLETZ

Société Participante : Joalliers Mauboussin

Gestion : INPL

Montant total : 330 KF

Durée : 3 ans à partir de 07/98

Titre : Etude structurale, minéralogique et géochimique de la minéralisation argentifère du district minier d'Imiter, Anti-Atlas Oriental.

Responsable scientifique : Alain CHEILLETZ

Société Participante: SMI-REMINEX Groupe ONA - MAROC

Gestion : INPL

Montant total : 85 KF

Durée : 3 ans à partir de 01/99

Titre : Intégration des données sismiques dans les modèles probabilistes de réservoir.

Responsable scientifique : Jean-Jacques ROYER

Société participante : I.F.P.

Gestion : INPL

Montant total : 140 KF

Durée : 01/01/98 au 31/12/99

Titre : Préparation et certification d'échantillons de référence fournis par la société

Responsables scientifiques : Jean CARIGNAN et Jacques MOREL

Société participante : SITA

Gestion : CNRS

Montant total : 214 KF

Durée : 01/08/96 au 31/01/97

Titre : Etude et caractérisation d'échantillons fournis par la société
Responsables scientifiques : Jean CARIGNAN et Jacques MOREL
Société participante : CREGU
Gestion : CNRS
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
Gestion : CNRS
Montant total : 57 KF
Durée : 01/09/97 au 1/01/98

Titre : Etude et caractérisation d'échantillons fournis par la société
Responsables scientifiques : Jean CARIGNAN et Jacques MOREL
Société participante : TREDI
Gestion : CNRS
Montant total : 200 KF
Durée : 01/09/97 au 31/12/98

Titre : Etude minéralogique fine d'un certain nombre de produits
Responsables scientifiques : François LHOTE
Société participante : ANALYS
Gestion : CNRS
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
Gestion : CNRS
Montant total : 172 KF
Durée : 13/04/94 au 31/03/98

Titre : Analyse par diffraction au rayon X de différents échantillons
Responsables scientifiques : François LHOTE
Société participante : IRH ENVIRONNEMENT
Gestion : CNRS
Montant total : 120 KF
Durée : 1/03/96 au 28/02/98

Titre : Etude minéralogique et géochimique des résidus de traitements des minerais d'uranium de la COMUF (Gabon)
Responsables scientifiques : Maurice PAGEL
Société participante : ALGADE
Gestion : CNRS
Montant total : 84 KF
Durée : 17/01/97 au 16/07/97

Titre : Etude relative à la cristallographie et la structure des apatites
Responsables scientifiques : Maurice PAGEL
Société participante : ELF
Gestion : CNRS
Montant total : 90KF
Durée : 25/07/97 au 24/07/98

Titre : Evaluation de procédés de concentration de métaux lourds contenus dans les scories et fines de dépolluage des fours d'incinération de déchets industriels
Responsables scientifiques : Michel ARNOLD
Société participante : TREDI
Gestion : CNRS
Montant total : 285 KF
Durée : 1/07/95 au 30/06/97

Titre : Recherches relatives au développement du procédé Pétrifix
Responsables scientifiques : Michel ARNOLD
Société participante : TREDI
Gestion : CNRS
Montant total : 95 KF
Durée : 1/01/97 au 31/12/97

Titre : Etude analogique entre les scories paléométallurgiques et les vitrifiats de REFIOM
Responsables scientifiques : Alain PLOQUIN
Société participante : EDF
Gestion : CNRS
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
Gestion : CNRS
Montant total : 110 KF
Durée : 15/12/96 au 14/01/97

Titre : Caractérisation chimique et minéralogique des déchets industriels et leur produit de stabilisation
Responsables scientifiques : Guy LIBOUREL
Société participante : SITA
Gestion : CNRS
Montant total : 125 KF
Durée : 1/07/97 au 30/06/98

Titre : Identification de traceurs atomiques et moléculaires pour la caractérisation de minéraux à anneaux silicatés de type béryl.
Responsable scientifique : Alain CHEILLETZ
Société participante : MAUBOUSSIN JOAILLERS
Gestion : CNRS
Montant total : 66 KF
Durée : 01/09/98 au 31/08/2001

Titre : Détermination des éléments constitutifs de carottes de sondage.
Responsables scientifiques : SARM
Société participante : PEG SA
Gestion : CNRS
Montant total : 134,5 KF
Durée : 26/01/99 au 25/01/2001

Titre : Etude et caractérisation d'échantillons
Responsables scientifiques : SARM
Société participante : CRISTAL LASER
Gestion : CNRS
Montant total : 30 KF
Durée : 30/05/99 au 29/05/2000-01-25

Titre : Etude et caractérisation d'échantillons
Responsables scientifiques : SARM
Société participante : MIGEON
Gestion : CNRS
Montant total : 50 KF
Durée : 12/05/99 au 11/05/2000

CONTRATS PUBLICS

Titre : Géochimie Isotopique des gaz rares dans les roches sédimentaires et les eaux souterraines de l'Est du Bassin Parisien : contribution aux transferts massiques intrabassinaux.
Responsable scientifique : Bernard MARTY
Etablissement participant : ANDRA
Gestion : INPL
Montant total : 519,5KF
Durée : 18 mois à partir de 10/98

Titre : Etude géochimique des isotopes du soufre des dépôts hydrothermaux océaniques
Responsable scientifique : John LUDDEN
Etablissement participant : IFREMER
Gestion : INPL
Montant total : 44KF
Durée : 12 mois à partir de 12/99

Titre : Protection de la ressource «Eau» : La Zone Atelier Moselle
Responsable scientifique : Jean-Jacques ROYER
Etablissement participant : NANCIE
Gestion : INPL
Montant total : 98 KF
Durée : 01/12/99 au 31/12/2000

Titre : Modélisation cartographique 3D des minéralisations du Limousin à 300 ± 30 Ma.
Responsable scientifique : Jean-Jacques ROYER
Société participante : BRGM GEOFRANCE3D
Gestion : INPL
Montant total : 200 KF
Durée : 01/12/97 au 31/12/99

Titre : Mesure, Caractérisation et Modélisation de l'État et du transport de polluants - Projets Fédérateurs de Recherche Eau et Environnement
Promoteur du Projet : Pr. François COLIN Association STELOR
Responsable scientifique de la partie «Modélisation numérique du transport dans les sols et sous-sols contaminés»: Jean-Jacques ROYER
Établissement participant : Communauté Urbaine du Grand Nancy, Conseil Général de Moselle, CNRS et UHP, LCPE, NANCIE, IRH
Gestion : INPL
Montant total : 140 KF
Durée : 01/12/99 au 31/12/2000

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
Gestion : CNRS
Montant total : 191 KF
Durée : 05/03/96 au 04/01/99

Titre : Etude sur la pellicule d'altération du verre R7T7 à l'aide de traceurs isotopiques
Responsable scientifique : Guy LIBOUREL
Etablissement participant : CEA
Gestion : CNRS
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
Gestion : CNRS
Montant total : 190KF
Durée : 1/07/97 au 6/01/98

Titre : Etude et caractérisation de 310 échantillons

Responsable scientifique : Jacques MOREL
Etablissement participant : MINISTERE DE LA CULTURE
Gestion : CNRS
Montant total : 118 KF
Durée : 19/11/96 au 18/11/97

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
Gestion : CNRS
Montant total : 564 KF
Durée : 06/06/96 au 30/04/98

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
Gestion : CNRS
Montant total : 92 KF
Durée : 01/02/97 au 31/01/2000

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
Gestion : CNRS
Montant total : 415 KF
Durée : 12/03/98 au 11/03/99

Titre : Etude et caractérisation de 250 échantillons

Responsable scientifique : SARM
Etablissement participant : MINISTERE DE LA CULTURE
Gestion : CNRS
Montant total : 82,5 KF
Durée : 15/07/98 au 15/07/99

Titre : Etude isotopique du soufre pour les sites "Lucky Strike" et "Rainbow"

Responsable scientifique : John LUDDEN
Etablissement participant : IFREMER
Gestion : CNRS
Montant total : 40 KF
Durée : 01/12/98 au 30/07/99

Titre : Etude de scories paléométallurgiques et de leur altérabilité comme analogues des déchets vitrifiés de type A et B.

Responsable scientifique : Alain PLOQUIN
Etablissement participant : CEA
Gestion : CNRS
Montant total : 200 KF
Durée : 02/08/99 au 01/08/2000

Titre : La faisabilité du système d'information du projet du Fossé-Rhénan

Responsable scientifique : Mary FORD
Etablissement participant : BRGM
Gestion : CNRS
Montant total : 485 KF
Durée : 06/09/99 au 31/03/2001

Titre : Bilan isotopique de l'oxygène et de l'hydrogène des eaux de porosité dans les roches argileuses à faible porosité du Callovo-Oxfordien des sites EST.

Responsable scientifique : Christian FRANCE LANORD
Etablissement participant : ANDRA
Gestion : CNRS
Montant total : 415 KF
Durée : 05/10/99 au 30/05/2000

PROGRAMMES INSU INTÉRIEUR TERRE, DYNAMIQUE DES TRANSFERTS, PROSE, PNRH

Titre : Intérieure 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 : Intérieure Terre
thème "Conséquences chimiques de la différenciation metal-silicate"

Responsable scientifique : Mike TOPLIS
Montant total : 90 KF
Durée : 19/09/97 au 31/12/99

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 : 135 KF
Durée : 22/10/97 au 31/12/99

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 National de Recherches en Hydrologie
thème **“Astronomie”**
Responsable scientifique : Bernard MARTY
Montant : 40 KF
Durée : 1998

Titre : Programme PROSE PR 63
thème **“Erosion himalayenne”**
Responsable scientifique : Christian FRANCE LANORD et coordinateur
Montant : 520 KF
Durée : 09/07/97 au 31/12/99

Titre : Programme Intérieure Terre
thème **“Programme Corne de l’Afrique”et Dynamique d’un point chaud**
Responsable scientifique : Bernard MARTY
Montant : 300 KF
Durée : 1998-1999

Titre : Programme Dorsales
thème **“Pétrogénèse des MORBs”**
Responsable scientifique : Mike TOPLIS et coordinateur
Montant : 70 KF
Durée : 1998

Titre : Programme 78- LEG 185
thème **“Bilan chimique des Marges actives du Pacifique occidental”**
Responsable scientifique : John LUDDEN
Montant : 130 KF
Durée : 1999

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

ACTIONS SPECIFIQUES

Titre : **Mise en service d’une sonde ionique à très haute sensibilité à haute résolution de masse**
Responsable scientifique : John LUDDEN
Montant : 80 KF
Gestion : INPL
Durée : 1998

LES SERVICES



LES SONDES IONIQUES ET LE SERVICE NATIONAL

Les projets scientifiques menés sur les deux sondes ioniques du CRPG (IMS 1270 et IMS 3f) sont de deux ordres : d'une part des projets de recherche propres aux chercheurs du centre et à leurs collaborations directes et d'autre part, uniquement pour la sonde IMS 1270, des projets dépendant de chercheurs de la communauté scientifique française qui seront effectués dans les périodes affectées au service national grands instruments de l'INSU. Nous vous donnerons séparément les intitulés des projets 'CRPG' et des projets 'Service National' tout en gardant à l'esprit que les phases de développements auront servi à l'un comme à l'autre type de projet de recherche.

LA GESTION DES SONDES

Les sondes ioniques sont gérées par un groupe de 5 agents CNRS :

- 2 chercheurs responsables scientifiques (Etienne Deloule et Marc Chaussidon)
- 2 techniciens pour les analyses, les développements et la maintenance (Michel Champenois et Denis Mangin)
- 1 électronicien (Pascal Robert) qui partage son temps entre les sondes ioniques et les autres spectromètres de masse du CRPG

Le groupe 'Sonde Ionique' a réalisé en décembre 1999 son premier rapport annuel d'activités et les renseignements donnés à la suite sont tirés de ce document, ce qui explique qu'il sera fréquemment fait référence à l'année 1999.

Ce groupe gère le planning d'utilisation des deux sondes ainsi que les crédits nécessaires au fonctionnement et au développement des deux instruments. Le budget global pour l'année 1999 a été de 544 kF réparti de la façon suivante :

63% en dépenses propres à la sonde IMS 1270
25% en dépenses propres à la sonde IMS 3f
12% en dépenses communes aux deux sondes

L'utilisation des deux sondes pendant l'année 1999, peut s'exprimer ainsi :

IMS 1270	36% Recherche CRPG
	17% Service National+Atelier Formation Permanente
	17% Pannes
	10% Maintenance
	20% Développements
IMS 3f	88% recherche CRPG
	2% Atelier Formation Permanente
	2% Pannes
	8% Maintenance

LES DÉVELOPPEMENTS ET LES PROJETS DE RECHERCHE

Il va de soi que les phases de développement concernent plus la sonde 1270. Le temps consacré au développement peut paraître important (20%), mais il est fondamental pour être capable d'obtenir la meilleure qualité possible des mesures mais également afin d'exploiter au maximum les capacités uniques de la sonde IMS 1270. Ces développements ont été conduits par les membres du groupe 'sondes ioniques' ou par des utilisateurs du service national en collaboration avec un contact au CRPG.

Les développements s'entendent autant dans le domaine technique que dans le domaine analytique. C'est ainsi que des améliorations ont été amenées au vide en ajoutant une pompe turbo-moléculaire sous la chambre-échantillon, que le système de détection en multi-collection a été changé en 1998 et que le logiciel de pilotage de l'instrument a été débogué et amélioré à plusieurs reprises.

Les développements analytiques concernent :

la détermination des compositions isotopiques du Sr (Resp. Etienne Deloule)

la mesure des rapports isotopiques de l'Oxygène (Resp. Claire Rollion-Bard et Marc Chaussidon)

la mesure simultanée des compositions isotopiques du Carbone et de l'Azote (Resp : Ko Hashizume et Marc Chaussidon)

les datations U/Pb dans les zircons (Resp. Etienne Deloule)

l'imagerie isotopique quantitative sur des microparticules (Resp : Jérôme Aléon et Marc Chaussidon)

Les différents projets scientifiques, menés sur les deux sondes ioniques, ont donné lieu, entre 1997 et 2000, à 22 publications dans des revues scientifiques internationales de rang A que l'on pourra retrouver dans la liste globale des travaux du CRPG. Une des dernières publications en date a obtenu de faire la couverture de la revue américaine Science (Giuliani et al., 2000).

LE SERVICE NATIONAL

Les activités en service national n'ont réellement débutées qu'en 1998. Depuis cette date 24 projets ont été déposés auprès du Comité des instruments nationaux de géochimie de l'INSU et 18 d'entre eux ont pu être abordés, un d'entre eux est terminé (projet de J. P. Girard) et a donné lieu à publication. Ces projets en cours de réalisation concernent en majorité les datations U/Pb sur zircons en grains séparés (10 projets). Ce type d'analyses se déroule en routine, un projet est en cours de développement, il s'agit de la datation de

la datation U/Th/Pb sur des monazites (initiateur Franck Poitrasson dans le cadre du service national, Resp. Etienne Deloule)

Les projets scientifiques menés sur les sondes par les chercheurs du centre sont intégrés aux grandes thématiques affichées par le CRPG et donc décrits dans les chapitres se rapportant aux thèmes. On peut toutefois rappeler qu'ils peuvent se regrouper dans 5 domaines différents :

Cosmochimie

Manteau

Environnement

Datation

Divers

Dans cette dernière rubrique, il est intéressant de noter que certains projets sont des applications au domaine industriel directement issues de problématiques fondamentales. On peut citer comme application réalisée sur la sonde IMS 3f, l'étude de la pellicule d'altération de verres utilisés comme matrice de confinement de déchets. Pour la sonde IMS 1270, il s'agit de la détermination de l'origine des émeraudes antiques par leur composition isotopique en Oxygène.

monazites à l'aide du système radiométrique U-Th-Pb.

Les autres projets formulés concernent les déterminations de rapports isotopiques d'éléments non radiogéniques principalement l'oxygène dont les phases de développement sont maintenant terminées. Certains projets nécessitent encore des périodes de mises au point, c'est le cas de la détermination du rapport isotopique du carbone ou de l'azote.

L'ATELIER FORMATION PERMANENTE "MICROSONDES IONIQUES"

Le groupe sonde ionique a organisé, en collaboration avec le service formation permanente de la délégation Nord-Est, un atelier intitulé 'Microsonde ionique' qui s'est déroulé du 13 au 17 septembre 1999. Cet atelier était ouvert à tous les utilisateurs ou futurs utilisateurs des deux sondes ioniques mises en service national par l'INSU (IMS 5f de Montpellier et IMS 1270 de Nancy). 18 personnes ont participé à cette action de formation construite autour de trois axes principaux :

- la présentation de la spectrométrie de masse d'ions secondaires, des principes physiques mis en œuvre par cette méthode d'analyse et les principales caractéristiques des différents types de microsondes ioniques.

- la description des principales applications déjà développées dans les Sciences de la Terre : analyse des éléments en traces, analyse isotopique (H, Li, B, C, O, Si, S, U-Pb, ...), profil en profondeur et imagerie en 2 ou 3 dimensions.

- la mise en œuvre des microsondes ioniques IMS 3f et IMS 1270 : préparation des échantillons, choix des conditions analytiques, réglage et alignement, qualification de standards.

Ces différents points ont été abordés lors de conférences données par des spécialistes internationaux de l'analyse SIMS, lors de travaux dirigés et lors de séances de manipulations pratiques sur les instruments.

CONCLUSIONS

1999 a vu paraître les premières publications scientifiques réalisées grâce à des données provenant de la sonde ionique IMS 1270 et deux thèses vont arriver à terme courant 2000 (Claire Rollion-Bard et Jérôme Aléon).

En ce qui concerne le fonctionnement et la partie service national, les objectifs que nous souhaiterions atteindre pour l'avenir sont principalement (1) de réduire le temps «perdu» à cause des pannes et (2) d'épurer durant l'année 2000 l'essentiel des demandes déjà faites en service national. Si le nombre de demandes continue au rythme actuel, il risque de devenir nécessaire de mettre un ordre de priorité dans ces demandes.

Les développements analytiques majeurs prévus dans les quatre prochaines années concernent principalement, l'analyse isotopique de micro-particules, la datation U/Pb en multicollection et les mesures de composition isotopique de Sr.

Sur le plan recherche CRPG, nous concrétisons un certain nombre de projets de première importance pour nous, tels que notamment, (1) la compréhension des causes des variations isotopiques $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ à petite échelle dans les coraux, (2) la reconstitution des paléoenvironnements archéens par l'étude isotopique (B, O, N, Si) des cherts archéens, (3) la reconstitution haute résolution des circulations fluides par leurs rapports $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ et leurs âges Rb/Sr, (4) la reconstitution cinématique d'une zone de subduction - exhumation à partir de géochronologie U/Pb sur zircons, (5) le traçage isotopique (O) de l'origine des aérosols désertiques, (6) la détermination de la composition isotopique de Li, B, C, N et O dans le vent solaire, (7) la distribution de ^{10}Be et de ^{26}Al dans les chondrites primitives, (8) l'origine cométaire ou astéroïdale des IDPs et (9) l'origine des fractionnements isotopiques se produisant dans la nébuleuse protosolaire.

LE SERVICE D'ANALYSE DES ROCHES ET DES MINÉRAUX (SARM) DE L'INSU : AU SERVICE DES CHERCHEURS FRANÇAIS... ET DES AUTRES.

Tél. : 03 83 59 42 41 ; e-mail : rocanalyse@crpg.cnrs-nancy.fr ;

Internet : <http://www.crpg.cnrs-nancy.fr/SARM/index.html>

Directeur du SARM : Jean Carignan (IR1).

Le Service d'Analyse des Roches et des Minéraux (SARM) est un service national de l'INSU qui fait partie du Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques (CRPG) de Vandoeuvre-lès-Nancy. Le SARM est un laboratoire de service à la recherche qui fut fondé en 1972, pour mettre le potentiel analytique du CRPG à la disposition de la communauté géochimique nationale. Le SARM est composé de 2 laboratoires : le laboratoire de Spectrochimie et le laboratoire de Chimie. Le SARM dispose d'une équipe d'une dizaine de techniciens et ingénieurs, et possède une capacité analytique de plus de 6000 échantillons par an. Les méthodes d'analyse employées au SARM sont appliquées à des domaines de recherche variés tels que:

Sciences de la Terre : roches, minerais, minéraux, sols, ...

Sciences de l'Environnement : résidus d'incinération, mâchefers, cendres, REFIOM, inertage de déchets, lixiviations, eaux naturelles, ...

PRESTATIONS ANALYTIQUES

Le nombre d'échantillons reçus au SARM en 1999 oscille entre 300 et 900 / mois avec une moyenne mensuelle de 540 échantillons. Par rapport à l'année 1998 (504 éch./mois), le nombre d'échantillons reçus a augmenté de façon significative (approximativement 10 %). Plus de 800 échantillons par an ont bénéficié du service de broyage en 1998 et 1999, ce qui représente respectivement 14 % et 12 % des échantillons reçus au SARM pour ces 2 années.

Alors que le laboratoire de Spectrochimie offre quatre types de " menus " analytiques, le laboratoire de Chimie offre plutôt un menu d'analyse " à la carte ", c'est-à-dire élément par élément (voir Tableau 1).

Tableau 1. Analyses offertes par le SARM*

Laboratoire de Spectrochimie

(incluant perte au feu):

q Analyse spectrométrique (ICP-AES) majeurs et mineurs seuls (10 éléments)

M Analyse des traces par (ICP-MS) - (43 éléments)

QM Analyse complète (ICP-AES - ICP-MS) - (53 éléments)

X Analyses particulières : petite quantité d'échantillon, pré-concentration, minéraux séparés, analyses élémentaires spécifiques, analyses de solutions, etc... Ententes préalables nécessaires avec le SARM.

Laboratoire de Chimie

C Analyses chimiques complètes par voie humide (13 éléments)

(Si, Al, Fe^{II}, Fe^{III}, Mn, Mg, Ca, Na, K, P, Ti, CO₂, H₂O tot.)

CE Analyses complémentaires

Alcalins, alcalino-terreux, métaux, H₂O tot., H₂O⁺, H₂O⁻, C tot., C org., Fe^{II}, S tot.,

Hg, Se, anions (B, F, Cl), perte au feu²

* : Les tarifs sont disponibles sur notre site Internet et varient selon l'origine du demandeur.

LES CLIENTS DU SARM

Bien que le SARM aît pour principale vocation l'analyse de matériaux géologiques pour la communauté française des Sciences de la Terre, un pourcentage non négligeable des échantillons analysés provient d'autres organismes publics de recherche et de sociétés privées.

Tableau 2. Récapitulatif de l'évolution de l'origine des demandeurs d'analyses au SARM depuis 1997.

	1997	1998	1999
CNRS-Universités	66%	70%	78%
Autres publics français	7%	5%	3%
Secteur privé	13%	11%	7%
Public - étrangers	14%	14%	12%

L'augmentation des demandes CNRS-Universités durant ces dernières années semble être liée à la participation du SARM à des manifestations nationales ou internationales comme les conférences de l'EUG (Strasbourg – 1997), Journée de l'Andra (Bar-le-Duc – 1998), RST (Brest – 1998 et Paris - 2000) et Goldschmidt (Toulouse – 1998). Le SARM poursuit cette politique de " visibilité " nationale et internationale en l'an 2000.

RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT

Depuis deux ans, le SARM a beaucoup développé son réseau informatique par l'élaboration de logiciels de pilotage d'appareils ainsi que de logiciels de gestion de banques de données. Ces actions ont pour but d'optimiser la productivité du service et surtout d'améliorer le contrôle-qualité

et la traçabilité. Ces développements ont pu se faire principalement grâce à la participation de stagiaires en informatique. Le SARM a encadré 6 stagiaires (IUT ; BTS) en 1998-1999 pour des durées variant entre 6 et 8 semaines.

ANALYSE DU SÉLÉNIUM

Récemment, le laboratoire de Chimie a développé le dosage du Se par absorption atomique en testant la méthode sur plus de 60 géostandards. Ce service est maintenant offert aux clients. En 1999, plus de 100 échantillons ont été dosés en service,

principalement pour le CRPG.

Suite à une demande particulière, le laboratoire de Chimie développe actuellement le dosage de l'or par absorption atomique.

ANALYSES DES ÉLÉMENTS EN TRACES DANS LES SOLUTIONS

Le SARM a récemment développé les procédures d'analyse pour le dosage d'éléments présents en ultra-traces dans les solutions, à l'aide de son nouvel ICP-MS Elan 6000. Pour la majorité des éléments dosés (alcalins, alcalino-terreux, métaux de transition, B, U), les résultats obtenus sur des matériaux de référence possédant des valeurs cer-

tifiées nous indiquent de bonnes justesse et reproductibilité.

Le dosage, en traces et ultra-traces, de ces éléments dans des solutions naturelles (eaux continentales de précipitation, rivières et autres) et d'expérimentation (lixiviation) est maintenant offert en service.

COUPLAGE DE LA CHROMATOGRAPHIE LIQUIDE ET DE L'ICP-MS

Un des projets analytiques important, en relation avec le nouvel ICP-MS, est l'implantation d'un système de séparation chromatographique en ligne. Le système comprend une colonne en téflon, une pompe péristaltique et deux vannes commandées par ordinateur. L'extraction de la matrice à l'aide de la chromatographie liquide permet à la fois d'éviter les effets de suppression de signal dues à une matrice trop chargée, d'éliminer certaines interférences isobariques et d'obtenir un effet de pré-concentration de l'échantillon. Jusqu'à maintenant,

nous avons pu développer les analyses de Terres Rares (REE) dans les eaux naturelles et dans les roches à très faibles teneurs ou contenant des concentrations très importantes en Ba (BaO interfère sur Sm et Eu). Nous avons aussi développé l'analyse du thorium et de l'uranium dans des roches à très faibles teneurs ou simplement en utilisant des micros quantités d'échantillons (0,5 à 1,5 mg). La limite de détermination de la méthode pour U et Th est de l'ordre de 1,5 ppb dans la roche, avec un blanc de fusion du même ordre de grandeur. L'in-

certitude associée (incluant justesse et reproductibilité) est de l'ordre de 5% pour des concentrations de 14 ppb U et 31 ppb Th (géostandard de USGS BIR-1). L'analyse des REEs et de Th-U par

ICP-MS après séparation chromatographique en ligne est un service qui fonctionne maintenant en routine.

ÉTALONS GÉOCHIMIQUES : GEOSTANDARDS

Sous la responsabilité de K. Govindaraju, de 1963 à 1994, le SARM, en collaboration avec différents groupes de travail, prépare, caractérise et distribue des étalons géochimiques, dont la reconnaissance est internationale. Le nouveau tarif est de 100 francs par sachet, incluant les frais de port. Certains échantillons, initiés et caractérisés par des membres de l'ancien groupe de travail (IWG-GIT), sont restés sous la politique de distribution précédente, soit une facturation de 100 francs par commande, nonobstant le nombre d'échantillons demandés. Cette nouvelle distribution est toujours

limitée à un sachet de chaque géostandard par année et par laboratoire. De plus, vu son caractère exceptionnel, le géostandard " zircon 91500 " est distribué à 1000 francs la capsule de 1 gramme, à raison d'une capsule par laboratoire et par 3 ans minimum. Les recettes sont utilisées pour maintenir la collection avec la préparation de nouveaux lots mais aussi pour le démarrage de nouveaux géostandards. Tous les renseignements figurent sur notre site Internet :

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

NOUVEAUX ÉCHANTILLONS DE RÉFÉRENCE

Afin de poursuivre une campagne de caractérisation du calcaire CAL-S, nous avons inclus cet échantillon à l'intérieur d'un tour " GeoPT* " organisé par Phil Potts (Open University, U.K.) et l'IAG**. Les données récoltées devraient servir de base pour une autre campagne destinée aux calculs de valeurs de concentrations recommandées et ainsi faire du CAL-S un géostandard. Un autre projet de nouveau géostandard est en cours, il s'agit

de la caractérisation d'une komatiite provenant de la ceinture de roche verte de l'Abitibi (Canada). Ce projet se fera en collaboration avec le Dr Steve Shirey du Carnegie Institution of Washington et du Professeur Nick Arndt de Grenoble. La participation du SARM sera de broyer et d'homogénéiser l'échantillon, de faire les pré-tests d'homogénéité chimique et d'orchestrer la campagne de caractérisation.

*GeoPT : Geochemical Proficiency Test

**IAG : International Association for Geoanalysts

ÉVÉNEMENTS

Le CNRS et le SARM organisent deux événements pour les analystes en Sciences de la Terre et Environnement à la fin du mois d'août 2000. Le premier est un atelier national, ISOTRACE (28-29 août), qui regroupe les utilisateurs de TIMS, ICP-MS et maintenant MC-ICP-MS, et SIMS. Lors de cet atelier, nous aurons, entre autres, les opinions de différents géoanalystes tels que Jean-Louis Birck (IPGP) pour le TIMS NEPTUNE, Albert Galy (Cambridge) pour le MC-ICP-MS de NU, Philippe Telouk (Lyon) pour les lasers, ainsi que des chercheurs du CRPG pour le MC-ICP-MS ISOPROBE. Les personnes intéressées à participer à cet atelier doivent contacter Delphine Yeghicheyan au SARM (yeghi@crbg.cnrs-nancy.fr).

Le second événement est une conférence internationale, GEOANALYSIS 2000 (30 août au 1er septembre) à l'Abbaye des Prémontrés de Pont-à-Mousson entre Nancy et Metz. Cette conférence regroupe une centaine de chercheurs analystes et a pour but de discuter de différents problèmes et nouveautés analytiques. Tous les détails sont disponibles sur notre site Internet

<http://www.crbg.cnrs-nancy.fr/NEWS/Geoanalysis-2000/index.html>

Une demande d'inscription tardive pour participer à GEOANALYSIS 2000 doit être faite à Jean Carignan ou Patricia Maruejol (geoanalysis-2000@crbg.cnrs-nancy.fr).

DEMANDES D'ANALYSES

Le SARM a élaboré un formulaire de demande d'analyse. Ce formulaire au format Excel est téléchargeable à partir du site Internet du SARM (<http://www.crbg.cnrs-nancy.fr/SARM/Tarifs.html>). Il demande aux clients de bien spéci-

fier la nature de leurs échantillons et de nous indiquer s'il existe des éléments particuliers à forte teneur. L'avantage est un grand gain de temps au niveau de l'enregistrement et du traitement des échantillons. Ces formulaires nous parviennent en géné-

ral par courrier électronique, avant les échantillons. Jacques Morel, le chargé de clientèle, peut ainsi anticiper les demandes pour la préparation.

Le SARM est à la disposition de la communauté géoscientifique française pour tout ce qui concerne l'analyse et la caractérisation

géochimique de matériaux géologiques et environnementaux. N'hésitez pas à nous contacter, pour une simple demande de prestation d'analyses ou pour une étude spécifique de caractérisation. Vous pouvez aussi consulter notre site Internet : <http://www.crbg.cnrs-nancy.fr/SARM/index.html>

Personnes à contacter:

Jean Carignan (Directeur du Service)

Tél.: 03 83 59 42 17

e-mail: carignan@crbg.cnrs-nancy.fr

Jacques Morel (Responsable - Service Clientèle)

Tél.: 03 83 59 42 41

e-mail: jamor@crbg.cnrs-nancy.fr

Marie-Thérèse Noël (Distribution - Géostandards)

Tél.: 03 83 59 42 19

e-mail: mtnoel@crbg.cnrs-nancy.fr

Vol. 23 – N°2

12
99

GEOSTANDARDS NEWSLETTER

**The Journal of Geostandards
and Geoanalysis**

**GEOSTANDARDS NEWSLETTER: THE JOURNAL OF
GEOSTANDARDS AND GEOANALYSIS
EDITORIAL TEAM 2000**

EDITORS-IN-CHIEF

Philip J. Potts
Department of Earth Sciences,
The Open University,
Walton Hall,
Milton Keynes,
MK7 6AA, UK

Mireille Polvé,
UMR-CNRS 5563,
Université Paul Sabatier,
38 rue des Ponts,
31400 Toulouse, France.

REGIONAL EDITORS

Kym E. Jarvis
NERC ICP-MS Facility,
Centre for Earth and Environmental
Science Research,
Kingston University,
Penrhyn Road,
Kingston upon Thames,
Surrey, KT1 2EE

Klaus-Peter Jochum
Max Planck-Institut für Chemie,
Abteilung Geochemie,
Postfach 3060,
D-55020 Mainz, Germany.

Jean S. Kane
Robert J. Kane Associates Inc.,
HCR 4, Box 231,
Brightwood, VA 22715, USA

EDITORIAL ADVISORY BOARD

Jean Carignan,
CRPG,
B.P. 20,
15 rue Notre Dame des Pauvres,
54501 Vandoeuvre-les-Nancy, France.

Richard W. Hinton,
Department of Geology and Geophysics,
University of Edinburgh,
West Mains Road,
Edinburgh, EH9 3JW

Bruce W. Chappell
Earth Sciences,
Macquarie University,
Sydney, 2109 Australia

Lev Petrov,
Institute of Geochemistry,
Siberian Branch of Russian Academy of
Sciences,
PO Box 4019,
Irkutsk 664033, Russia

Jacinta Enzweiler
Instituto de Geociencias,
UNICAMP, CP 6152
Campinas, SP,
CEP 13083-970, Brazil

Philip Robinson,
School of Earth Sciences,
University of Tasmania
GPO Box 252-79
Hobart, Tasmania, 7001, Australia

Ernest S. Gladney,
ESH-17, Air Quality Group, MS J978,
Los Alamos National Laboratory,
Los Alamos,
New Mexico 87545, USA

Iwan Roelandts,
Laboratoires associés de Géologie, Pétrologie et
Géochimie,
Batiment B 20,
Université de Liege,
B-4000 Sart Tilman, Belgium.

D. Conrad Gregoire,
Geological Survey of Canada,
601 Booth Street,
Ottawa, Ontario,
CANADA K1A 0E8

Paul J. Sylvester,
Dept of Earth Science,
300 Prince Philip Drive
Memorial University of Newfoundland,
St. John's, NF A1B 3X5, Canada

Phillipe Telouk,
Ecole Normale Supérieure de Lyon,
46 Allée d'Italie,
69364 Lyon Cedex 07, France

Shigeru Terashima,
Geological Survey of Japan,
Higashi 1-1-3,
Tsukuba,
Ibaraki 305, Japan.

Michael Thompson,
Department of Chemistry, Birkbeck College,
Gordon House,
29 Gordon Square,
London WC1H 0PP,

James P. Willis,
Department of Geology,
University of Cape Town,
Rondebosch, South Africa 7700.

Stephen Wilson,
US Geological Survey,
Box 25046 MS 973,
Denver Federal Center,
Denver, Colorado 80225, USA

Yin Ming,
Institute of Rock and Mineral Analysis,
Chinese Academy of Geological Sciences,
26 Baiwanzhuang Road,
Beijing 100037, P.R. China

FOUNDING EDITOR

K. Govindaraju

MANAGING DIRECTOR

John N. Ludden,
Director, CRPG,
B.P. 20,
15 rue Notre Dame des Pauvres,
54501 Vandoeuvre-les-Nancy,
France.

BUSINESS AND PUBLICATION MANAGER

Ed Williams (Publication Office)

PRODUCTION SECRETARY

Colette Gaudé (Publication Office)

PUBLICATION OFFICE

Geostandards,
CRPG,
B.P. 20,
15 rue Notre Dame des Pauvres,
54501 Vandoeuvre-les-Nancy,
France.

RETIRING MEMBERS

Henry Longerich
Gerard Manhes
Iwan Rubeska
Xie Xuejing



GEOSTANDARDS NEWSLETTER

The Journal of Geostandards and Geoanalysis

Contents

Guest Editorial - **Jean S. Kane.** › 5

Special Issue Section

A History of the Development and Certification of NIST Glass SRMs 610-617
Jean S. Kane. › 7

An Assessment of the Suitability of NIST Glass SRM Literature Data for the
Derivation of Reference Values
Jean S. Kane. › 15

Major and Trace Element Composition and Homogeneity of Microbeam
Reference Material: Basalt Glass USGS BCR-2G
Alexander Rocholl. › 33

Platinum-Group Elements and Gold Determination in NiS Fire Assay Buttons
by UV Laser Ablation ICP-MS
**Alexandre P. de S. Jorge, Jacinta Enzweiler, Elisa K. Shibuya,
Jorge E.S. Sarkis and Ana Maria G. Figueiredo.** › 47

A Perspective on the Evolution of Geoanalytical Techniques for Silicate Rocks
Philip J. Potts. › 57

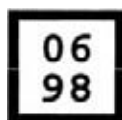
Regular Issue Section

High Resolution Stepped-Combustion Mass Spectrometry:
Application to the Detection and Analysis of Fine-Grained
Diamond in Meteorites and Rocks
**Stuart R. Boyd, Ian P. Wright, Conel M. O'D. Alexander
and C.T. Pillinger.** › 71

The Need for a Common Framework for Collection
and Interpretation of Data in Platinum-Group
Element Geochemistry
Iain McDonald. › 85

Determination of Platinum-Group Elements
(PGEs) and Gold in Geological Matrices by
Inductively Coupled Plasma-Mass
Spectrometry (ICP-MS) after Separation with
Selenium and Tellurium Carriers
Jean Amossé. › 93

Vol. 22 – 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

Directeur de la publication ›
J. N. Ludden

dépôt légal n° 445
issn 0150-5505

continued
overleaf

Contents (cont.)

Mineralogical Associations of Arsenic and Antimony in Thirty Five Geochemical Reference Materials by Sequential Extraction with Hydride Generation and Atomic Absorption Spectrometry Shigeru Terashima and Masahiro Taniguchi.	› 103
Preparation of Two New GSI Geochemical Reference Materials: Basalt JB-1 b and Coal Fly Ash JCFA-1 Shigeru Terashima, Masahiro Taniguchi, Masumi Mikoshiba and Noboru Imai.	› 113
The Preparation of Marine Geological Certified Reference Materials - Polymetallic Nodule GSPN-1 and Marine Sediment GSMS-1 from the Central Pacific Ocean Guofang Chen and Jiwu Wang.	› 119
GeoPT2. International Proficiency Test for Analytical Geochemistry Laboratories - Report on Round 2 Michael Thompson, Philip J. Potts, Jean S. Kane, Peter C. Webb and John S. Watson.	› 127
Guide aux auteurs	› 157
Announcements	› 161

Cover Design BB communication
CAP Colette Gaudé

Copyright 1998 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

Precise Determination of Cadmium, Indium and Tellurium
Using Multiple Collector ICP-MS
Wen Yi, Alex N. Halliday, Der-Chuen Lee and Mark Rehkämper. › 173

Iodine (and Other Halogens) in Twenty Six Geological Reference Materials by ICP-MS
and Ion Chromatography
Bernhard Schnetger, Yasuyuki Muramatsu and Satoshi Yoshida. › 181

Determination of the Platinum-Group Elements and Gold in Twenty Rock
Reference Materials by Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry
(ICP-MS) after Pre-Concentration by Nickel Sulfide Fire Assay
Hans-Gerrit Plessen and Jörg Erzinger. › 187

Determination of Platinum-Group Elements and Gold in Two Russian
Candidate Reference Materials SCHS-1 and SLg-1 by ICP-MS after Fire
Assay Preconcentration
Chunseng Li, Chifang Chai, Xiaolin Li and Xueying Mao. › 195

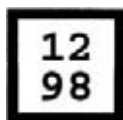
Determination of Iodine in Thirty Two International Geochemical
Reference Materials
Joy E. Rae and Salim A. Malik. › 199

The Influence of Chlorine on the Determination of Combined
Water: An Investigation of a Correction Procedure
Jile Li and Wenzhang Liu. › 203

SIPVADE: A New Computer Programme with Seventeen
Statistical Tests for Outlier Detection in Evaluation of
International Geochemical Reference Materials and its
Application to Whin Sill Dolerite WS-E from England
**Surendra P. Verma and
Leonides Javier Orduna-Galvan.** › 209

Platinum-Group Element Geochemical
Certified Reference Materials (GPT1-7)
**Mingcai Yan, Chunshu Wang, Tiexin Gu,
Qinghua Chi and Zhong Zhang.** › 235

Vol. 22 – N° 2



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.)

A Preliminary Study on the Preparation of Four Pacific Ocean Polymetallic Nodule and Sediment Reference Materials: GSPN-2, GSPN-3, GSMS-2 and GSMS-3 Yimin Wang, Daihong Luo, Yushu Gao, Haowei Song, Jiayi Li, Weiyue Chen, Yunye Teng and Shiguang Zhou.	› 247
GeostandaRef Corner Geochemical Reference Sample Bibliography for 1997 Iwan Roelandts.	› 257
Index Volume 22, 1998	› 285
Announcements	› 287

Cover Design BB communication
CAP Colette Gaudé

Copyright 1998 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

Tribute

D. Conrad Grégoire. › 5

Determination of Zirconium, Niobium, Hafnium and Tantalum at ng g⁻¹ Levels in Geological Materials by Direct Nebulisation of Sample HF Solution into FI-ICP-MS
Akio Makishima, Eizo Nakamura and Toshio Nakano. › 7

Boron Determination in Twenty One Silicate Rock Reference Materials by Isotope Dilution ICP-MS
Massimo D'Orazio. › 21

Determination of Scandium, Yttrium and Rare Earth Elements in Rocks by High Resolution Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry
Philip Robinson, Ashley T. Townsend, Zongshou Yu and Carsten Münker. › 31

Determination of Rare Earth Elements in Geological Reference Materials: A comparative study by INAA and ICP-MS
Fung Dai Kin, M. Isabel Prudêncio, M. Ângela Gouveia and Erik Magnusson. › 47

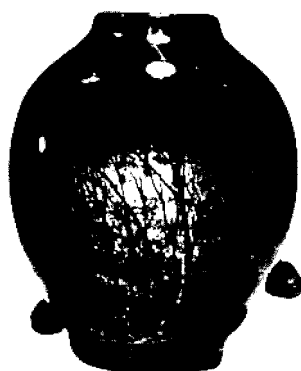
Determination of Forty Four Major and Trace Elements in GPMA Magmatic Rock Reference Materials using X-ray Fluorescence Spectrometry (XRF) and Instrumental Neutron Activation Analysis (INAA)
Mohammed El Maghraoui, Jean-Louis Joron, Joël Etoubleau, Pierre Cambon and Michel Treuil. › 59

SIMS Determination of µg g⁻¹-Level Fluorine in Geological Samples and its Concentration in NIST SRM 610
Paul W. O. Hoskin. › 69

New Reference Material of Dunite Rock, NGRI-UMR: Preparation and Evaluation
Pradip K. Govil and B. L. Narayana. › 77

GeoPT3. International Proficiency Test for Analytical Geochemistry Laboratories - Report on Round 3
Michael Thompson, Philip J. Potts, Jean S. Kane and Bruce W. Chappell. › 87

Announcements › 122

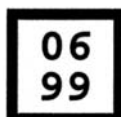


"la forêt sous la pluie"

Daum

© Musée des Beaux-arts de Nancy
Cliché Ville de Nancy

Vol. 23 – 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

Directeur de la publication ›
J. N. Ludden

dépôt légal n° 445
issn 0150-5505



GEOSTANDARDS NEWSLETTER

The Journal of Geostandards and Geoanalysis

Contents

Editorial › 135

Determination of Molybdenum, Antimony and Tungsten at sub $\mu\text{g g}^{-1}$ Levels in Geological Materials by ID-FI-ICP-MS
Akio Makishima and Eizo Nakamura. › 137

Determination of Zr and Hf in a Flux-Free Fusion of Whole Rock Samples using Laser Ablation Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (LA-ICP-MS) with Isotope Dilution Calibration
Joy E. Reid, Ingo Horn, Henry P. Longerich, Lance Forsythe and George A. Jenner. › 149

Determination of Incompatible Trace Elements in Mantle Clinopyroxenes by LA-ICP-MS: A Comparison of Analytical Performance with Established Techniques
Paul R.D. Mason, Kym E. Jarvis, Hilary Downes and Riccardo Vannucci. › 157

Preparation of Synthetic Calibration Materials for Use in the Microanalysis of Oxide Minerals by Direct Fusion in High-Purity Graphite Electrodes: Preliminary Results for Quartz and Rutile
Magne Ødegård. › 173

Precise Quantitative Determination of Niobium at Low Level Concentrations in Geological Samples by WD-XRF
Joël Etoubleau, Pierre Cambon, Henri Bougault and Jean-Louis Joron. › 187

NIST SRM 610, 611 and SRM 612, 613 Multi-Element Glasses: Constraints from Element Abundance Ratios Measured by Microprobe Techniques
Richard W. Hinton. › 197

An Interpretation of ISO Guidelines for the Certification of Geological Reference Materials
Jean S. Kane and Philip J. Potts. › 209

1998 Compilation of Analytical Data for Five GSJ Geochemical Reference Samples: The "Instrumental Analysis Series"
Noboru Imai, Shigeru Terashima, Shiro Itoh and Atsushi Ando. › 223

Additional Provisional Elemental Values for LKSD-1, LKSD-2, LKSD-3, LKSD-4, STSD-1, STSD-2, STSD-3 and STSD-4
John Lynch. › 251

GeostandaRef Corner
Geochemical Reference Sample Bibliography for 1998
Iwan Roelandts. › 261

Index Volume 23, 1999 › 282

Announcements › 284



"la forêt sous la pluie"
Daum
© Musée des Beaux-arts de Nancy
Cliché Ville de Nancy

Vol. 23 – N° 2

12
99

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

LA FORMATION PERMANENTE



LA FORMATION PERMANENTE

À chaque année de cette période 1997-2000, le CRPG a rédigé des plans de formation adaptés aux besoins du moment, exprimés par les agents lors d'entretiens avec les animateurs des équipes de recherche ou avec les chefs de service. La grande majorité des demandes formulées dans les plans a été satisfaite et les quelques cas n'ayant pas abouti sont principalement dus à des problèmes de planning (permanences à assurer dans certains services, mi-temps incompatible avec les horaires des actions de formation).

Les besoins en formation permanente s'expriment de façon de plus en plus précise et les demandes sont justement argumentées ce qui permet

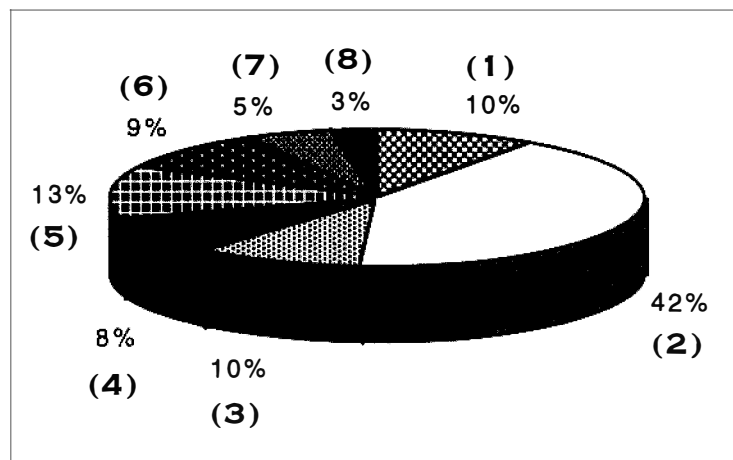
de mieux caractériser les actions de formation.

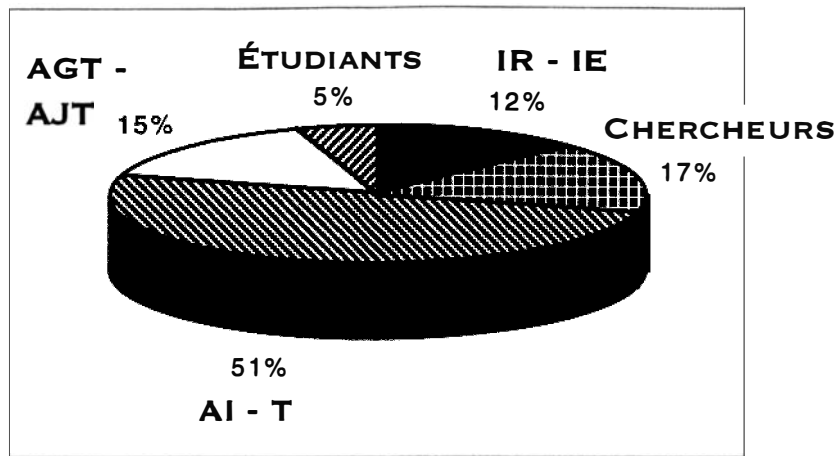
En réponse à cela et pour les actions récurrentes principalement en bureautique, la Délégation propose des stages de courte durée (une journée ou une demi-journée) au programme très ciblé avec des pré-requis clairement définis. Pour ce qui est des formations plus spécifiques touchant aux domaines techniques ou scientifiques, l'initiative est laissée au laboratoire (par l'intermédiaire des agents demandeurs ou du correspondant formation) de trouver les organismes capables de dispenser les formations envisagées et d'adresser, ensuite, un dossier à la Délégation.

Sur les quatre dernières années, le nombre d'actions de formation est en progression : 51 pour 1997, 55 pour 1998, 63 pour 1999 et déjà 57 au premier semestre 2000. Par contre, le nombre d'agents concernés par les actions de formation reste globalement constant autour de la trentaine.

La figure suivante vous présente la répartition des actions de formation par catégories :

- (1) : Hygiène et Sécurité
- (2) : Bureautique
- (3) : Informatique (logiciels spécialisés et langages de programmation)
- (4) : Langues
- (5) : Formation Individuelle (formations diplômantes, accueil au CNRS, préparation à la retraite, préparation aux concours internes...)
- (6) : Techniques (vide, soufflage de verre, soudage, habilitation électrique...)
- (7) : Scientifique
- (8) : Communication (conduite de réunions, direction





La répartition par catégories de personnel montre une nette disparité entre les ITA (83% des stages) et les chercheurs et étudiants. Cependant, depuis deux années les demandes provenant de chercheurs sont en nette augmentation orientées vers les ateliers technico-scientifiques organisés à l'occasion de grandes réunions internationales. Il demeure, néanmoins, un problème d'accès des IATOS et des étudiants à la formation permanente prise en charge par le CNRS (sauf pour les boursiers BDI). De nombreuses demandes se sont vues refusées concernant les langues ou certains logiciels de

programmation et, à force, il s'instaure une autocensure de la part des étudiants détenteurs de bourses autres que BDI. Avec la cellule formation permanente de la délégation Nord-Est, nous étudions les possibilités de collaboration et/ou d'échanges avec les services formation des universités nancéiennes dont dépendent les étudiants. Des arrangements ont déjà été trouvés avec l'INPL (Institut National Polytechnique de Lorraine) mais les choses semblent beaucoup plus compliquées avec l'Université Henri Poincaré-Nancy1.

Le groupe 'Sondes Ioniques' du CRPG a organisé, en collaboration avec le service formation de la Délégation CNRS Nord-Est, du 13 au 17 septembre 1999, un atelier intitulé « Microsonde Ionique ». Cet atelier était ouvert aux utilisateurs et futurs utilisateurs des sondes ioniques (1270 à Nancy et 5f à Montpellier) mises en service nationale par l'INSU. Il a regroupé 18 personnes pour des conférences données par des spécialistes internationaux de l'analyse SIMS, pour des travaux dirigés et pour des séances de manipulation sur les instruments. Il est question que cet atelier soit organisé à intervalles réguliers (chaque année? tous les deux ans?)

LE BILAN HYGIÈNE ET SÉCURITÉ



LE BILAN SUR L'HYGIÈNE ET LA SÉCURITÉ AU CRPG

Les risques rencontrés au CRPG sont de types et de natures différents et peuvent être classés de la sorte: chimiques, électriques, mécaniques, incendie/intrusion

RISQUES CHIMIQUES

Le CRPG abrite plusieurs laboratoires qui, de par leurs activités de recherche ou d'analyses, utilisent un certain nombre de produits chimiques de dangerosité plus ou moins importante.

1 - SERVICE D'ANALYSE DES ROCHES ET DES MINÉRAUX (SARM)

Le laboratoire de chimie minérale faisant partie du service d'analyse des roches et minéraux et qui fait lui-même partie du service national d'analyse utilise principalement des acides forts : acide fluorhydrique, acide perchlorique, acide nitrique ainsi que quelques solvants organiques. Ces produits sont stockés dans des locaux réservés à cet effet. Le laboratoire est équipé de sorbonnes à extraction totale de différents modèles pour un stockage des produits dangereux sur le site. Le laboratoire doit prochainement être équipé d'armoires

de stockage ventilées.

Le laboratoire de spectrochimie, l'autre composante du SARM, n'utilise pas de produits particulièrement toxiques, à part des acides, comme de l'acide chlorhydrique et nitrique. Ce laboratoire est également équipé de sorbonnes et autres dispositifs de travail avec aspiration mais comme celui de chimie minérale ne possède pas encore d'armoire de stockage ventilées. Cette situation doit également être résolue dans un avenir très proche.

2 - LABORATOIRE DE GEOCHIMIE ISOTOPIQUE

C'est le plus important laboratoire du centre tant en personnel qu'en moyens techniques, il est, exclusivement, un laboratoire de recherche fondamentale.

C'est dans ce laboratoire que se trouve concentré la majorité des risques chimiques. En effet, on utilise couramment des acides forts concentrés comme l'acide fluorhydrique, l'acide perchlorique, l'acide chlorhydrique, l'acide nitrique puis redistillés sur place pour des besoins de propreté. Pour de nouvelles méthodes d'analyses isotopiques, on utilise également des produits dangereux tels que le brome liquide, des sels de chrome VI, ainsi que des solvants ou alcools.

Le laboratoire dénommé « isotopes stables »,

composante du laboratoire de géochimie, utilise dans son processus expérimental un très puissant oxydant, extrêmement dangereux, le penta fluorure de brome (BrF_5). La présence et l'emploi de ce produit sont connus de l'inspecteur hygiène et sécurité de la délégation ainsi que des pompiers, il a fait l'objet de recommandations quant à son stockage et son utilisation. Nous possédons la fiche toxicologique de ce produit et les manipulations le mettant en jeu ne sont faites que par un personnel très qualifié conscient du risque potentiel.

L'installation devrait être isolée du reste du laboratoire, mais nous ne disposons malheureusement pas de la place nécessaire pour le faire.

3 - LABORATOIRE D'EXPÉRIMENTATION

Ce laboratoire utilise en routine des gaz dangereux, le monoxyde de carbone et de l'hydrogène. Les bouteilles sont stockées à l'extérieur et ce laboratoire est équipé de détecteurs de concentration

de gaz dans l'atmosphère avec alarmes sonore et visuelle. L'alimentation en CO est maintenant équipée d'un système de fermeture automatique par électrovanne commandé par les détecteurs de gaz.

4 - STOCKAGE ET ÉLIMINATION DES DÉCHETS D'ORIGINE CHIMIQUE

Pour 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 ELECTRIQUES

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 sept ans . Les installations nouvelles et les modifications du réseau interne se font conformément à la législation en vigueur et sont réalisées par un personnel 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. Conformément à la loi en vigueur, nous avons mandaté un organisme agréé (APAVE) pour un contrôle complet de notre installation électrique. Cette visite est imminente.

En fait, la majorité des risques électriques du centre se retrouve sur l'appareillage analytique qui

fait notre spécificité à savoir : spectromètres de masse divers et sondes ioniques. Pour les utilisateurs, en fonctionnement normal, il n'y a bien sûr aucun risque, mais il n'en est pas de même pour le personnel de maintenance. Celui ci peut être confronté à des potentiels pouvant aller jusqu'à 20KV, en cas de pannes, il est obligatoire de travailler sécurités enlevées, ce qui n'est pas sans risque. 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.

Il est à noter que le personnel, devant faire face à d'éventuels risques électrique, à suivi récemment un stage d'habilitation ce qui lui permet légalement d'intervenir sur toute l'installation basse tension du centre.

RISQUES MECANIQUES

1 - ATELIER DE MÉCANIQUE

Au CRPG, nous possédons un atelier de mécanique équipé de machines outils classiques : tour, fraiseuse, perceuse radiale, tourets à meuler divers, postes de soudure....Ces machines ou

appareillages, qui ne sont utilisés que par un mécanicien professionnel, ont dernièrement tous été remis aux normes de sécurité.

2 - IMPRIMERIE.

Quelques machines utilisées par l'imprimerie du CRPG, presses offset, massicot, encolleuse demandent une petite amélioration au point de vue de

leur sécurité d'utilisation. Ceci doit être fait prochainement.

3 - ATELIER DE BROYAGE DES ROCHES ET DES MINÉRAUX.

Dans cet atelier se trouvent des broyeurs à mâchoires et à cylindres qui sont des machines potentiellement dangereuses de par leur type de fonctionnement. Elles ont toutes fait l'objet d'une remise à niveau de la sécurité pour les opérateurs, mais, juste avant, nous avons eu à déplorer un accident avec un broyeur à cylindres. Un étudiant étranger n'a pas suivi la procédure de nettoyage pourtant indiquée par pictogramme et a eu une phalange écrasée. Heureusement pour lui il a été soigné à l'hôpital de Toul qui est une référence mondiale dans les accidents de la main. Il ne devrait pas avoir de séquelles.

Le recrutement d'un technicien à mi temps pour cet atelier sécurise plus encore l'usage de ces machines.

Le CRPG étant un laboratoire de recherches à vocation géologique, il est équipé d'autres machines orientées sur cette activité.

On peut citer : Scies à pierre à disques diamantés, polisseuses, lapidaires, carotteuses à trépan diamantés.

Ces machines déjà peu dangereuses d'utilisation ont été également mises aux normes de sécurité.

RISQUES D'INCENDIE ET D'INTRUSION

Le centre est entièrement équipé d'un système de détection d'incendie et d'intrusion avec télétransmission des alertes sur un service spécialisé. Cette installation a prouvé son utilité et son efficacité en septembre 1999 en signalant un début d'incendie en pleine nuit dans une armoire électrique. La société de télésurveillance a relayé aux pompiers qui sont intervenus et ont ainsi limité les effets d'un feu qui aurait pu causer un sinistre bien plus conséquent sur le local de distribution générale basse tension du CRPG voire au centre tout entier. Une armoire a néanmoins été totalement détruite et le local a nécessité l'intervention d'une entreprise spécialisée pour son nettoyage.

Le système de détection d'intrusions qui date de 1993 est, non seulement pas très pratique à gérer de part sa technologie d'hier, mais également par ses possibilités réduites qui ne permettent pas la surveillance de nouvelles zones. C'est le cas

actuellement où un certain nombre de laboratoires ont été créés ou dédoublés mais ne peuvent pas être surveillés de manière indépendante.

Les extincteurs en place sont adaptés aux risques majeurs d'incendie rencontrés à leur proximité. Ils font l'objet d'un contrôle régulier dans le cadre d'un contrat d'entretien par la société SICLI. Des portes coupe feu asservies par un système automatique de fermeture en cas d'incendie vont être prochainement installées au centre. De même pour un appareillage de désenfumage de la trémie centrale d'escalier.

Lors du remplacement de la chaufferie en 1997, 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, quelque 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 permanent de niveau requis. Dans les deux dernières années, nous n'avons pas eu d'incident ou d'accident à déplorer autre que celui du doigt écrasé à l'atelier de broyage des roches.

PERSONNELS DE SECURITE

La cellule sécurité du centre est sous la responsabilité d'un ACMO niveau ingénieur d'études. Une partie du personnel a suivi d'autres stages en matière de sécurité: personne compétente en radio-protection, risques chimiques, risques d'incendie et maniement d'extincteurs, secourisme.

Ainsi que déjà évoqué, un certain nombre d'agents vient de suivre un stage d'habilitation

électrique pour pouvoir intervenir sur l'installation électrique basse tension. Notre politique en matière de sécurité nous incite à faire suivre par un maximum de personnes toutes les formations susceptibles d'améliorer la sécurité des personnels et de biens. Dans le futur, il est prévu de réunir le CHS avec le médecin et l'inspecteur régional d'hygiène et de sécurité.

PROBLÈMES DE SECURITE REMANENTS

1 - INTÉRIEURS

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 eu à constater depuis de nombreuses années qu'un seul accident corporel. 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 limite

maintenant seulement à l'imprimerie. Il serait nécessaire de doter les laboratoires de hottes à lavage pour la manipulation des acides forts. Ils sont sur le point d'être équipés d'armoires ventilées pour leur stockage en toute sécurité. Pour l'équipe de géochimie isotopique, nous avons réalisé une salle blanche selon des normes appliquées en biologie à savoir : salle climatisée en surpression d'air ultrafiltré, sol étanche avec relevés formant bac de rétention. Cette opération très coûteuse, mais vitale pour le CRPG, a été entièrement financée sur nos fonds propres, sans subvention.

2 - EXTERIEURS

Dans un tout autre domaine et suite à une recrudescence de dégradations et de vols, la clôture a été complètement remplacée en 1998. Le centre est situé dans un environnement forestier à conifères majoritaires, proche d'une zone urbaine sensible. La clôture datant de l'origine du CRPG (40 ans), son état de délabrement incitait à la délinquance, les nombreuses ouvertures qu'on pouvait y voir en donnait confirmation.

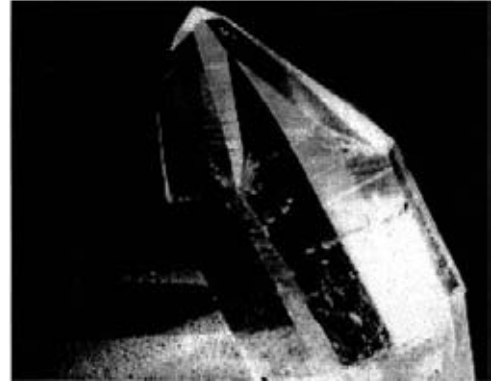
Notre environnement forestier a été en partie détruit par la tempête de décembre 1999. Les arbres abattus ont couché plus de la moitié de la clôture qui n'a pas encore pu être remise en état. Le centre est accessible la nuit en toute impunité et sans obstacle sur une bonne centaine de mètres.

Il serait également nécessaire pour contenir les

incursions nocturnes et pour améliorer la sécurité d'effectuer une coupe des broussailles 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, le long de la clôture, aurait un effet dissuasif sur cette forme de délinquance. L'éclairage existait à l'origine, mais pour cause de coût n'a pas été rénové en 1994 quand le réseau électrique interne l'a été totalement. Il a même au contraire été complètement déconnecté car en court circuit sur son parcours souterrain.

LE RAYONNEMENT DU CRPG



Au plan local

**INSTITUT
NATIONAL
POLYTECHNIQUE
DE LORRAINE
(INPL)**

Conseil d'Administration de l'Institut National Polytechnique de Lorraine

Membres élus : *Bernard Charoy*
Dominique Gasquet (depuis 1999)
Christian Marignac
John Ludden (depuis 1999)

Membre élu du Conseil Scientifique :

Dominique Gasquet (1997-1999)

Membre du Comité Valorisation de la Recherche :

Guy Libourel

Membre du Conseil des études doctorales de l'INPL

Pierre Barbey

Responsable de l'Axe Géosciences

Bernard Marty

Président de la Commission des Spécialistes sections 34-35-36

Bernard Marty

Membres des Commissions de Spécialistes :

Sections 35 et 36 - INPL :

Alain Cheilletz (1991-2001)

Dominique Gasquet (depuis 1998)

John Ludden

Jean-Laurent Mallet

Bernard Marty

**UNIVERSITÉ
HENRI POINCARÉ -
NANCY 1
(UHP-Nancy1)**

Responsable «Jeune Equipe» JE249, président du jury Licence Sc. de la Terre (jusqu'en septembre 1998 et co-responsable du DEA "Physique et Chimie de la Terre" :

Pierre Barbey

Membre du Conseil Scientifique de l'UHP-Nancy1 :

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-Nancy1)

Guy Libourel

Pierre Barbey

Membre de l'Unité de Formation et de Recherche en Sciences et Techniques des Matériaux et Procédés,

Présidente du jury Licence Biologie Générale et Sc. de la Terre,

Responsable "Programme et Emploi du Temps" du module Géologie en Préparation aux concours du CAPES et de l'Agrégation :

Françoise Chalot-Prat

**UNIVERSITÉ
HENRI POINCARÉ -
NANCY 1
(UHP-Nancy1)
-suite-**

Membres des Commissions de Spécialistes :

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

**DÉLÉGATION
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

Représentant syndical SNCS à la Commissions Régionale pour la
Formation Permanente (CRFP), à la Commission Régionale Hygiène
et Sécurité et à la Commission Régionale d'Action Sociale (CORAS)

Alain Ploquin

**ÉCOLE NATIONALE
SUPÉRIEURE DE
GÉOLOGIE (ENSG)**

Conseil d'Administration de l'ENSG

Élu : *Dominique Gasquet* (depuis 1997)

En tant qu'invités : *John Ludden* (Directeur du CRPG)

Jean Macaudière (Directeur des études ENSG)

Bernard Marty (Directeur du Laboratoire
GEO3 puis directeur des Études)

Vice-Président du Conseil des Études et de la Vie Universitaire
(CEVU) :

Bernard Charoy

Directeur des Études *Bernard Marty*

Membre de la Commission Enseignement

Guy Libourel

Membre du Comité de rédaction du Bulletin d'information interne de
l'ENSG :

Dominique Gasquet

Membre de la Commission de Choix des Enseignants de l'ENSG :

Alain Cheilletz (1991-1998)

Dominique Gasquet (1991-1998)

Responsable de la Commission "Relations Internationales"

Guy Libourel

**FÉDÉRATION DE
RECHERCHE CNRS
(ILG - Institut Lorrain
des Géosciences)**

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)

**FÉDÉRATION DE
RECHERCHE CNRS
(ILG - Institut Lorrain
des Géosciences)
-suite-**

Co-responsable du regroupement des services chimiques

Jean Carignan

Responsable du Bulletin d'information interne de l'ILG :

Michel Champenois

Responsable «Animation Scientifique»:

Marc Chaussidon

Co-responsable scientifique du projet fédérateur "Couplage chromatographie en phase gazeuse - spectrométrie de masse pour l'analyse isotopique de l'hydrogène sur des hydrocarbures naturels" :

Christian France-Lanord

Responsable scientifique du projet fédérateur "Déchets et Risques Environnementaux" : *Guy Libourel*

Responsable du groupe "Métallogénie" :

Maryse Ohnenstetter

**ÉCOLE DES MINES
DE NANCY (EMN)**

Membre du Conseil d'Administration de l'Ecole des Mines de Nancy (EMN) jusqu'en 1999 : *Christian Marignac*

AUTRES

Membre du Conseil Scientifique et Pédagogique de l'IUFM-Lorraine

Pierre Barbey

Intervenant scientifique dans des collèges et lycées (Académie de Nancy-Metz)

Jean Carignan

Membre de REVELOR (Recherche Verre Lorraine) - Pôle d'Excellence Verrier

Guy Libourel

Membre du Conseil d'Administration de l'ADRAL (Association pour le Développement de l'Archéologie en Lorraine)

Alain Ploquin

Au plan national

CNRS

Organisateur de l'atelier national ISOTRACE 2000 dans le cadre des actions de Formation Permanente

Membre du jury de préselection du Festival des films chercheurs 2000 de Nancy

Jean Carignan

Membre élu à la Section 13 du Comité National de la Recherche Scientifique : *Etienne Deloule* (secrétaire de la section)

INSU-CNRS (INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES DE L'UNIVERS)

Membre du Comité de Gestion des Équipements nationaux géochimiques : *Jean Carignan*

Membre du groupe «Géochimie» de la commission d'équipement mi-lourd : *Marc Chaussidon*

Christian France-Lanord

Membre du Comité Scientifique du Programme National Sol-Erosion (PNSE) : *Christian France-Lanord*

Membre du Comité Scientifique du Programme de soutien aux actions à la mer (OCEAN) : *Christian France-Lanord*

Membre du Comité Scientifique du Programme Paléo-climats et Paléo-environnements (ECLIPSE) :

Christian France-Lanord

Responsable de l'action spécifique « Les verres et leur durabilité»

Guy Libourel

Membre du comité de rédaction «Prospectives en Sciences de la Terre»

John Ludden

Membre du Comité Scientifique "Intérieur de la Terre" (1997-1998)

John Ludden

Membre du Comité ad hoc "Océans" (1995-1999)

Bernard Marty

Membre du Comité Scientifique "Dynamique et transferts terrestres" (1997-1998)

Bernard Marty

Co-responsable de la section "Géochimie et Pétrologie" du programme INSU-MAE "Ethiopie 2000" :

Bernard Marty

Co-responsable, thème Matière Primitive, Programme National de Planétologie

Bernard Marty

Animateur du groupe «Pétrogenèse des MORBs - données expérimentales» du programme DORSALES :

Mike Toplis

Secrétaire du GDR "Métallogénie"

Maryse Ohnenstetter

**ENSEIGNEMENT
SUPÉRIEUR ET
RECHERCHE**

Membres de la section 35 du Conseil National des Universités
*Alain Cheilletz (élu : 1992-1995 puis
1999-2003 ; nommé : 1995-1999)
Dominique Gasquet (élu 1998-1999
puis 1999-2003)
Christian Marignac (élu : 1999-2003)*

Membre de la section 36 du Conseil National des Universités
Christian France-Lanord

Membres des Commissions de Spécialistes :

Sections 35 et 36 - Université de Franche Comté, Besançon
Alain Cheilletz

Sections 35 et 36 - Université de Clermont-Ferrand
Christian Marignac

Sections 35 et 36 - Université Louis Pasteur, Strasbourg
Bernard Marty (suppléant)

Membre du Comité Scientifique pour l'Etude des Échantillons Martiens,
MERT-CNES *Bernard Marty*

**OCEAN DRILLING
PROGRAM (ODP)**

Membres du Comité Scientifique ODP-France :
*Christian France-Lanord
John Ludden (Président depuis 1997)*

AUTRES

Membre du groupe ad-hoc "Système solaire et plasmas spatiaux" du
CNES : *Marc Chaussidon*

Correspondant pour la Société Géologique de France à l'ENSG et au
CRPG : *Alain Cheilletz*

Membre du Conseil Scientifique de l'Ecomusée des Hurlières (Sa-
voie) depuis 1995 : *Dominique Gasquet*

Président du Comité IFREMER-évaluation des programmes de fora-
ges océaniques : *John Ludden (1996-1997)*

Expert auprès du Groupement d'Intérêt Public «Hydrosystèmes»

Responsable du groupe Atmosphère du programme PREMIER (retour
d'échantillons atmosphériques de Mars)

Bernard Marty

Membre du Conseil des Sociétés Savantes : SGA (Société de Géolo-
gie Appliquée) jusqu'en 1999 et SFMC (Société Française de Minéra-
logie et de Cristallographie) depuis 2000

Christian Marignac

Conseil Scientifique de l'Ecomusée St Georges d'Hurlières et des
Forges de Montagney et

Membre du bureau de l'AAEMM (Association Archéologique
pour l'Etude des Mines et de la Métallurgie)

Alain Ploquin

Trésorier du comité CODATA France :

Jean-Jacques Royer

Expert pétrologue pour les sondages du site de stockage de la Vienne,
projet ANDRA/CREGU-CRPG :

Jean-Marc Stussi

Au plan international

Fonctions dans des organismes internationaux

- Participation au projet ETHIOPIE 2000 *Pierre Barbey*
- Participation au projet CORNE de l'AFRIQUE
- Membre du Conseil de l'Association Internationale des Géoanalystes *Jean Carignan*
 - Membre de l'American Geophysical Union (AGU)
 - Membre fondateur-organisateur d'un GDR international (France-Allemagne-Luxembourg) sur la spectrométrie de masse et ses applications
- Membre du Conseil Scientifique de la sonde ionique d'Edinburgh (NERC) *Marc Chaussidon*
- Secrétaire de la Commission IUGS sur la nomenclature des roches métamorphiques *Jacqueline Desmons*
- Représentant français au panel schématique «Sediment and Geochemical Processes» de ODP (Ocean Drilling Program) *Christian France-Lanord*
- Membre du groupe PPG "Climate and Tectonic" pour la réflexion sur les forages océaniques
- Responsable français d'une Action Intégrée de coopération avec les Universités marocaines d'Agadir et Meknès (AI 163/STU/98). *Dominique Gasquet*
- Président du panel «Lithosphère» de Ocean Drilling Program (1996) *John Ludden*
 - Membre du Comité Scientifique ODP (depuis 1997)
 - Co-direction scientifique du Leg 185 ODP (depuis 1998)
 - ESF Future of Scientific Ocean Drilling Europe - Cochair.
 - Directeur du groupe de Recherche Géosonde (Univ. Montréal / Ecole Polytechnique de Montréal)
 - Membre de la Commission Internationale "Igneous and Metamorphic Petrology", IUG (depuis 1992)
 - Directeur du projet Abitibi-Grenville, Lithoprobe, Canada (depuis 1989)
 - Membre de la Commission Européenne "European Research Infrastructures " (depuis 2000)
 - Membre du Comité d'évaluation de la Commission Européenne "Marines Geosciences " (depuis 2000)
- Directeur du Consortium International GOCAD (30 compagnies et 45 universités) *Jean-Laurent Mallet*
- Direction d'un accord-programme (96MDU360) avec l'USTHB-Alger (fini en 1999) *Christian Maignac*
- Direction d'un Programme International de Coopération Scientifique «Métallogénie» (PICS 45) avec le Maroc (1998-2000)

- Membre, Mars Sample Handling Committee, NASA-CNES *Bernard Marty*
- Membre, Venus Atmosphere Measurement probe (VAMP) science team, JPL-NASA
- Expert auprès de l'Université de Canberra dans le cadre de la restructuration de la Research School of Earth Sciences
 - Participation au projet ETHIOPIE 2000
- Responsable du Programme International de Coopération Scientifique «Fractional crystallization of PGE-bearing sulfide melts : evidence from experimental and natural analogs (Ioko-Dovyren layered massif, Transbaikal, Russia)» PICS n° 568 RFBR-CNRS 98-05-22020 (1998-2000) *Maryse Ohnenstetter*

Participation aux Comités d'organisation de Colloques Internationaux

- Organisation de "3D Modelling", 4 et 5 juin 98 et des "gOcad Meeting" bi-annuels à Nancy et à Houston. *Christian Le Carlier, Pierre Jacquemin, Jean-Laurent Mallet, Jean-Jacques Royer et Sergueï Shapiro*
- Organisateur de la Conférence "Management of Data Information and Knowledge", Museum d'Histoire Naturelle, Paris, 28 - 30 Juin 1999. *Jean-Jacques Royer*
- Membre du CODATA Executive Committee et du Comité scientifique de la 17th Conference Internationale CODATA " Data and Information for the Coming Knowledge Millennium", 15-19 October, 2000 Baveno Italy.
- Organisateur (chair) de la conférence internationale GEOANALYSIS 2000 (Préfontaines, Pont-à-Mousson) *Jean Carignan*

Distinctions

- Médaille Houtermans attribuée par l'Association Européenne de Géochimie (1995) *Marc Chaussidon*
- American Association of Petroleum Geologists, Visiting Lecturer, Europe (2000) *Mary Ford*
- Médaille de bronze du CNRS (1995) *Guy Libourel*
- Prix Science et Application de l'Association Professionnelle des Géologues et des Géophysiciens du Québec (1996) *John Ludden*
- Prix de la compagnie italienne Italgas pour la recherche scientifique et technologique (1997) *Jean-Laurent Mallet*
- Médaille d'or Anthony Lucas (2000)

Editions

- Membre du conseil éditorial de la revue «Geologische Rundschau» (depuis 1994) *Pierre Barbey*
- Membre du bureau d'édition de la revue internationale Geostandards NewsLetter *Jean Carignan*
- Éditeur associé de "Mineralium Deposita" *Alain Cheilletz*
- Éditeur associé de "Chemical Geology" *Christian France-Lanord*
- Éditeur associé de "Terra Nova"
- Membre du conseil éditorial de la revue «Bulletin de la Société Géologique de France» *Guy Libourel*
- Editorial board Precambrian Research (depuis 1996) *John Ludden*
- 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
- Editeur Invité de Canadian Journal of Earth Sciences (1998-1999)
- Éditeur associé de "Geochemical Journal" *Bernard Marty*
- Co-éditeur des actes du congrès «Third Codata on Geomathematics and Geostatistics», Enschede (NL) *Jean-Jacques Royer*
- Editeur d'un volume spécial «Environmental issues, micro and macro data modelling»
- Éditeur associé de "The American Mineralogist" *Mike Toplis*

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
Sciences et Avenir
Le Monde |
| <i>Etienne Deloule</i> | Est Républicain |
| <i>Christian France-Lanord</i> | Est Républicain |
| <i>Guy Libourel</i> | Industrie et Techniques
Est Républicain
La Recherche |
| <i>John Ludden</i> | New York Times
Toronto Globe and Mail
Canadian Geographic
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 de la Recherche, Paris, Juin 1997

REVUE DE PRESSE

QUESTION DE TECHNIQUES

Faire parler les roches de Mars...

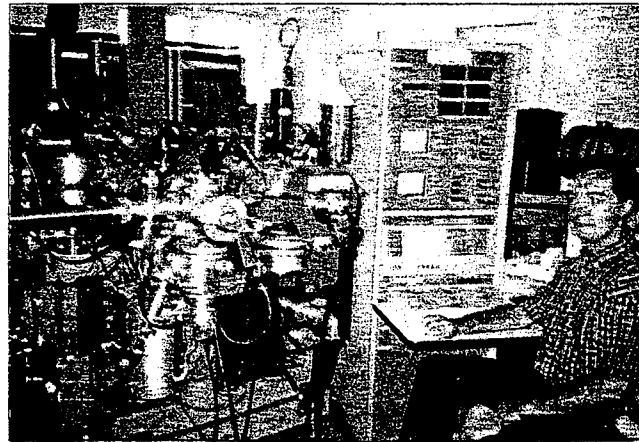
En attendant des échantillons de la planète rouge, des scientifiques nancéiens se penchent sur des fragments des fameuses météorites martiennes. Explications sur l'art de faire parler les roches.

Balayées par des vents solaires qui ne rencontrent aucun « bouclier » atmosphérique, les roches lunaires portent en elles les traces d'un bombardement de particules venus de notre étoile. Autant 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 pas d'Armstrong, la Lune continue donc d'alimenter les recherches et découvertes, avec des techniques toujours plus sophistiquées.

Armés d'une sonde ionique (unique en France, elle permet d'analyser des compositions de l'ordre du micromètre), les spécialistes de la roche du CRPG Nancy (Centre de recherches pétrographiques et géochimiques) travaillent en ce sens, analysant aussi des très petits échantillons comme les poussières interstellaires préservées dans quelques météorites.

Présence d'eau

DANS cette unité propre du CNRS dont les découvertes ont percé en 95 les derniers mystères de la nucléosynthèse (donc du Big Bang) on rêve volontiers de l'après 2005 : retour sur Terre de premiers prélèvements de la planète rouge. Mais on se penchera dans les prochains jours sur des échantillons des fameuses météorites martiennes dont l'origine semble confortée par



Marc Chausseidon aux commandes de la sonde ionique (unique en France) : « Un des enjeux : trouver une roche sédimentaire ».

les premières analyses de la sonde américaine Pathfinder et du petit robot Sojourner. Chercheur au laboratoire de géochimie isotopique dirigé par Bernard Marty, Marc Chausseidon explique volontiers tous les enjeux d'une analyse de roche. « Une découpe en lames permet de voir si la roche est volcanique 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 fleuves ne soient pas simplement le résultat d'une fonte torrentielle de glaces. « Les météorites retrouvées sur terre sont des basaltes, des roches magmatiques ». Elles ne permettent pas de déterminer cette présence prolongée !

Leur analyse chimique, comme celle de toute roche qui reviendra de Mars, donne en revanche de précieux éléments.

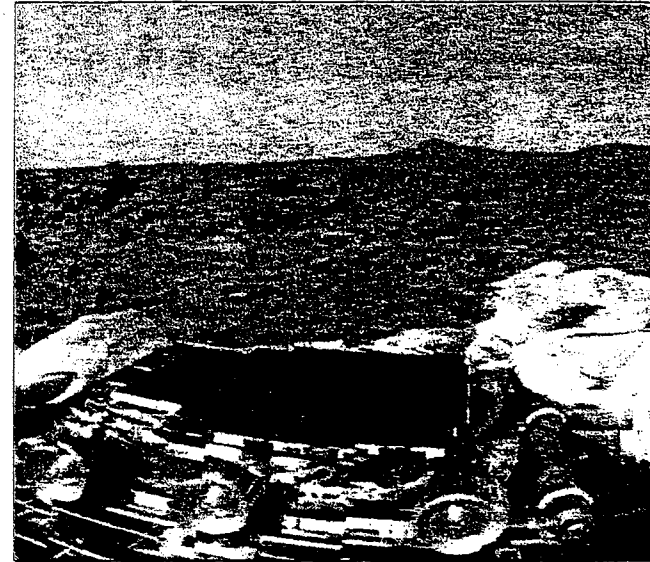
Carbone et vie

Les météorites dites primitives sont au rang des constituants qui se sont homogénéisées pour former les planètes : « Elles sont une mémoire et nous renseignent par exemple sur la naissance

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 a par exemple contribué 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 CO₂ 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 détecter des molécules carbonées (dont la présence dans une météorite a fait grand bruit en 98 !) : 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 interstellaire ! ». Le tout c'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 !



Comme sur la Terre ou la Lune, les roches de Mars contiennent une mine d'informations... à dépiéster.

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 ».

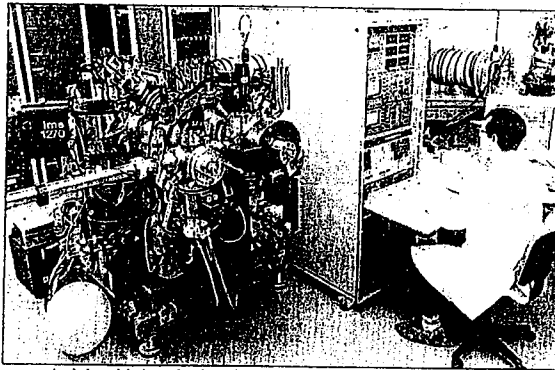


Contact

La rubrique hebdomadaire Question de techniques s'interrompt avec la période estivale. Rendez-vous à la rentrée. Contact : Ghislain UTARD, L'Est Républicain, 1 boulevard Foch, 54.000 Nancy. Tél : 03.83.59.80.54.

Remonter à la source des émeraudes

Le laboratoire français de gemmologie est en mesure de déterminer l'origine de toutes les pierres vertes.



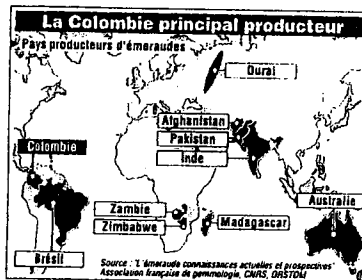
Après les météorites et les pierres lunaires, le sonde ionique du laboratoire de Nancy va piéger les secrets de l'émeraude. (D.R.)

Le laboratoire français de gemmologie créé par la Chambre de commerce de Paris va-t-il retrouver la notoriété qu'il connaissait avant la Seconde Guerre mondiale ? En l'espace de quelques années, il s'est doté des meilleurs outils d'expertise qui ont fait la réputation des officines suisses et anglaises. Depuis lundi, il est le seul laboratoire au monde capable de déterminer l'origine géographique de toutes les émeraudes de la planète. Le laboratoire parisien a en effet signé un contrat d'exclusivité avec le Centre de recherches pétrographiques et géochimiques du CNRS de Vandœuvre-lès-Nancy, en Meurthe-et-Moselle. Un rapprochement exemplaire à un moment où la recherche fondamentale se doit aussi d'avoir des retombées économiques concrètes.

« Quand nous avons analysé l'émeraude qui orne le lys frontal de la couronne de Saint Louis, la pierre était tellement grosse que nous avons dû démonter la chambre dans laquelle l'échantillon est enfermé sous vide », rapporte Marc Chauséidon, responsable du programme sonde ionique au Centre de recherches pétrographiques et géochimiques du CNRS de Vandœuvre-lès-Nancy (Meurthe-et-Moselle). C'est la première fois que ce gros instrument de 15 millions de francs accueillait un spécimen aussi précieux car il est utilisé habituellement pour analyser des fragments de la croûte terrestre, de météorites ou de pierres lunaires.

Le joyau royal faisait partie d'un lot d'une dizaine d'autres gemmes exceptionnelles parmi lesquelles une émeraude retrouvée dans l'épave d'un navire espagnol, quatre pierres vertes du trésor du roi indien Nizam d'Hyderabad et une autre plus modeste qui ornait une boucle d'oreilles gallo-romaine. Ces pierres avaient pu être empruntées sans difficulté car la technique est non destructive, un centième de nanogramme de matière suffisant à mener à bien les travaux.

Avec cette série d'analyses, les chercheurs voulaient valider la détermination de l'origine géographique et géologique des émeraudes par sonde ionique mise au point par Gaston Giuliani, géologue à l'IRD (Institut de recherche



pour le développement). Ce dernier a en effet dressé une carte d'identité des gisements de la planète basée sur le rapport des différents isotopes d'oxygène (^{16}O , ^{17}O et ^{18}O), ce gaz entrant pour moitié dans la composition de l'émeraude (nos éditions du 1^{er} juin 1998). À partir d'échantillons qu'il a lui-même collectés sur place en Colombie, au Brésil à Madagascar et ailleurs, Gaston

les historiens. En revanche, le fait que l'émeraude gallo-romaine provienne des mines du Pakistan est beaucoup plus étonnant. On ignorait qu'à cette époque, de tels échanges existaient entre l'Empire romain et l'Asie. Quant à la pierre de l'épave du navire espagnol qui avait sombré en 1622 au large de la Floride, elle provient de la mine colombienne de Muzo qui avait com-

Un diamant nommé Pegasus

Aux Rendez-vous gemmologiques de Paris, il a beaucoup été question de l'affaire des diamants Pegasus. Elle a démarré le 1^{er} avril de cette année, quand le géant américain General Electric et la société LKI (Lazare Kaplan International), un célèbre tailleur de diamant américain, ont annoncé au cours d'une conférence de presse qu'ils avaient mis au point un traitement indétectable du diamant et qu'ils allaient arroser le marché avec ce nouveau produit commercialisé par la Pegasus Overseas Ltd. L'affaire s'est corsée quand certains laboratoires d'expertise se sont fait piéger et n'ont pas réussi à repérer la moindre trace de traitement sur ces diamants. L'émotion soulevée a été considérable. Emmanuel Fritsch, professeur au laboratoire de physique cristalline de l'Institut des matériaux de Nantes, a toutefois annoncé que deux diamants Pegasus avaient été récemment analysés en Suisse et que les experts avaient relevé « des inclusions très particulières ». Une information qui demande encore à être validée. Y. M.

Giuliani a découvert que la pierre verte se caractérisait par une grande variation isotopique d'une mine à l'autre, mais qu'à l'intérieur du même gisement les différences étaient extrêmement faibles.

Restait à attendre le verdict du formidable outil d'analyse que constitue la sonde ionique. La pierre de la couronne de Saint Louis provient des mines d'Hebachtal, en Autriche. Une conclusion sans surprise pour

mencé à être exploitée par les conquistadores en 1595. C'est dire si les Espagnols avaient été prompts à exporter les richesses minières de leur nouvelle colonie.

La sonde ionique n'a sans doute pas fini d'apporter de nouvelles révélations historiques. L'accord signé lundi à l'occasion des Rendez-vous gemmologiques de Paris entre le CRPG de Vandœuvre-lès-Nancy et le laboratoire de la Chambre de commerce de Paris stipule que c'est ce dernier qui assurera la promotion de cette nouvelle expertise.

Certes, on peut s'imaginer que les clients seront peu nombreux et que l'origine géographique des émeraudes n'intéressera que les musées ou les clients fortunés. Le coût n'a pas encore été chiffré mais il est certain qu'il dépassera celui d'une analyse par spectromètre infrarouge qui renseigne sur la qualité de chaque pierre verte. Le laboratoire français

Un traitement stable

Le marché de l'émeraude se relève d'une crise très grave. En 1994, les exportations de la Colombie, premier producteur mondial, représentant 434 millions de dollars. En 1998, elles étaient tombées à 84 millions. Cette dégringolade est due au fait que des laboratoires colombiens traités

parente peuvent faire qu'elle vieillisse mal. Pour que les acheteurs reprennent confiance, Didier Giard, président de l'Association française de gemmologie, préconise à la fois une meilleure formation des professionnels et une plus grande transparence du marché. De tout temps,

La vie peut-elle se développer dans l'espace ?

Conférence d'exception jeudi à Nancy. Avec Marc Chaussidon, un scientifique qui fait « parler » les météorites martiennes ou la poussière lunaire. Et Christian Dournon, le « père » des salamandres actuellement sur Mir.

L'un travaille sur des échantillons de météorites ou de roches lunaires. Pour y détecter les indices d'une formation sédimentaire qui trahirait la présence passée d'une eau indispensable à la vie. Ou pour analyser le fonctionnement d'un soleil dont les vents de particules balayent notre satellite depuis des millions d'années.

L'autre est un spécialiste de biologie de l'espace dont les salamandres, actuellement sur

Mir, contribuent à cerner les possibilités de développement de la vie en micropesanteur.

En réunissant jeudi les deux scientifiques nancéiens que sont Marc Chaussidon (Centre de recherche pétrographique de Vandœuvre) et Christian Dournon (Université Poincaré), la MJC Pichon offre une conférence d'exception. Sur le thème « La vie peut-elle se développer dans l'espace ? ».

« On a de bons indices pour

affirmer que certaines vies sont effectivement capables de se développer en microgravité. Comme celles d'insectes, d'animaux non vertébrés, de mouches, de poissons... (NDLR : et de batraciens !). Mais la réponse est partielle. Limitée à la durée des missions spatiales, de 15 jours à 6 mois. Au delà, on pense que ça devrait marcher. Mais seule l'expérience le montrera ».

« C'est mathématique »

Entre 0 (apesanteur) et 1 « g » (gravité terrestre), Christian Dournon estime le développement a priori possible. Ce qui, sans parler de l'environnement, rendrait par exemple un terrain lunaire favorable. Mais pose le problème de planètes à la gravité plus élevée. « A 2 ou 3 g, il faudra vérifier. Mais ça peut se tester au sol avec des centrifugeuses. Ce que nous faisons déjà avec les pleurodèles. Nous observons des phénomènes différents. L'ultrastructure des cellules est par exemple modifiée. Mais pas forcément altérée ».

Dans un registre voisin, le chercheur nancéien répond en tout cas « oui » à une possibilité d'existence de vie extra-terrestre. « Il y a des milliards de galaxies. Il est mathématiquement difficile d'imaginer le contraire. C'est davantage un problème de date : a-t-elle existé, est-elle en cours d'apparition... ? ».

Vaste question qui rejoint les travaux de Marc Chaussidon. Qui se penche par exemple sur des fragments de Shergotty, Nakla et Chassigny, les météorites dites martiennes qui auraient été arrachées à la planète par un impact d'astéroïde avant de retomber sur Terre. Il s'agit là avant tout d'analyser et



Christian Dournon : « Certaines espèces peuvent se développer dans l'espace ».

comprendre des processus géologiques et chimiques.

Poussières interstellaires

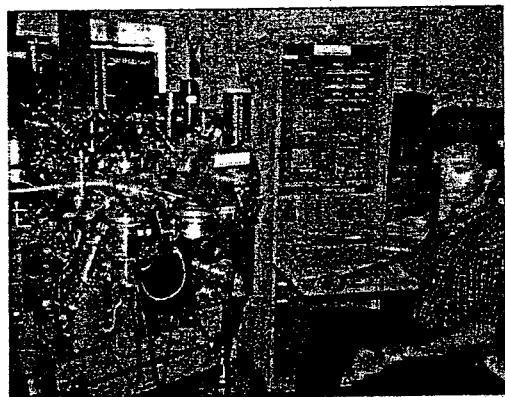
Mais une analyse de matériaux extra-terrestres peut par exemple montrer une formation sédimentaire révélatrice d'une présence d'eau prolongée, donc favorable à une vie qui aurait pu exister. « On a aussi observé dans des météorites et dans des poussières interstellaires des molécules carbonées nécessaires à la formation de la vie. Ce qui tend à prouver qu'en dehors de notre système solaire des réactions chimiques peuvent fabriquer de telles molécules. Des réactions chimiques qui sont donc au cœur des travaux de Marc Chaussidon. Comme celles qui gouvernent le soleil. Et qu'on tente de comprendre à partir d'échantillons de la lune bombardée par les particules des vents

solaires qui ne rencontrent là aucun bouclier atmosphérique. Et qui sont autant de témoins du passé.

Bref, des recherches qui ne sont pas en prise directe sur la chimie du vivant. Mais apportent de précieuses informations. « On n'a toujours aucune preuve d'une vie extra-terrestre. Mais entre la découverte de planètes extrasolaires, de molécules carbonées, de la possibilité pour des petites planètes de conserver des quantités d'eau importantes, ce qui a changé, c'est que qu'on n' imagine plus la Terre comme une exception ! ».

CONTACT

« Question de techniques », rubrique hebdomadaire du mardi, Ghislain UTARD, L'Est Républicain, 1, boulevard Joffre, 54.000 Nancy. Tél : 03.83.59.80.54. E-mail : er-redaction.nancy@wanadoo.fr



Marc Chaussidon : « La Terre n'est plus considérée comme une exception ».

Le chiffre : 2

Deux expériences sur trois avec les salamandres : c'est ce qu'a bouclé pour l'instant le spationaute Jean-Pierre Haigneré à bord de la station Mir. Une mission sur laquelle Christian Dournon fera le point jeudi à 20h45 à la MJC Pichon à l'occasion de la conférence organisée avec le CNRS.

On se souvient que des incidents avait conduit au décès des batraciens mâles acheminés sur la station orbitale. Et à la fin prématurée de la troisième expérience. Laquelle pourrait redémarrer début juin dans une version écourtée. Un vaisseau Progress doit, en effet, ravitailler Mir dont la mission est prolongée. Il emportera du coup au moins deux spécimens mâles. À noter aussi la foire exposition de Nancy évoquera cette mission Perseus. Avec le concours du Museum aquarium. Et celui du CNES qui présentera une exposition.

Les poussières de lune « éclairent » le soleil

En analysant des poussières lunaires des missions Apollo, un laboratoire nancéien vient de bousculer les théories sur le fonctionnement du soleil et des étoiles. Découverte.

La découverte est de taille. Elle bouscule certaines théories sur le soleil. Et influencera par conséquent l'étude des étoiles. Elle donne lieu à une publication dans la revue de référence scientifique « Nature ». Le CRPG-CNRS (Centre de recherche pétrographique et géochimique) de Nancy-Vandœuvre vient en effet de démontrer, en analysant de la poussière lunaire (1), que la physique interne de l'astre solaire et ses courants de convection (les mouvements de fluides et chaleur qui se traduisent par les fameuses tâches) ne fonctionnaient pas comme on le pensait.

Au centre de cette découverte : le lithium, un des quelques éléments produits lors du Big Bang avec l'oxygène et l'hydrogène. Et que l'on rencontre donc sur le soleil.

« Il est généralement admis que le lithium est détruit au cours des réactions de fusion thermonucléaire du soleil »

explique Marc Chaussidon, directeur de recherche. Une destruction qui dure depuis 4,5 millions d'années (l'âge de notre astre). Et qui suppose donc que les concentrations de lithium sont beaucoup plus faibles que lors de sa naissance. Le fait a été vérifié par des analyses de lumière.

Des millions de degrés

Mais le lithium de notre étoile a la particularité de se présenter sous deux formes isotopiques (même atome mais nombre de neutrons différents) : le lithium « 6 », qui brûle à une température de 0,8 millions de degrés. Et le « 7 » qui est détruit à 2,5 millions de degrés ; un niveau que l'on rencontre à 30 % de la profondeur du soleil. Le lithium y est entraîné par les courants de convection. Il est d'ailleurs, au même titre que d'autres substances comme

le bore ou le béryllium, utilisé comme « traceurs » pour suivre ces mouvements. D'où les enjeux liés aux découvertes le concernant. Logiquement, les scientifiques estimaient qu'il devait rester sur le soleil davantage de lithium « 7 » que de « 6 » puisque sa destruction nécessitait de plus hautes températures. Il n'en est rien. Marc Chaussidon et François Robert du Muséum d'histoire naturelle de Paris en ont fait la découverte... sur la lune!

Bombardement

Il était évidemment impossible d'effectuer des analyses sur le soleil. Les chercheurs se sont donc intéressés au vent solaire qui, porteur de gaz et d'éléments lourds comme le lithium, balaye l'espace. Bombardant de ses atomes et particules une lune qui ne connaît ni atmosphère, ni érosion. « Ses poussières ont ainsi accumulé le vent solaire. Elles sont une mémoire, un enregistrement de l'activité et des caractéristiques du soleil ». Cet enregistrement est inscrit dans la « peau » de ces poussières, dans une épaisseur de 30 milliardième de mètre. Il n'est donc lisible que par des outils hautement performants comme la sonde ionique du CRPG. Dont on sait qu'il dispose de fragments lunaires des missions Apollo. Les chercheurs ont ainsi démontré que les proportions isotopiques étaient différentes de celles attendues. Mais les volumes de lithium aussi! Il faut donc corriger les théories sur le fonctionnement du soleil. Et de ses sœurs les étoiles...

Ghislain UTARD



Marc Chaussidon : des investigations dans le monde du milliardième de mètre!



Les poussières lunaires : une « mémoire » qui conduit à revoir des théories sur le soleil. Photo Michel FRITSCH

Vent solaire

D'où vient ce lithium inattendu qui, par sa présence, remet en cause les principes des mouvements de convection du soleil? Par quel mécanisme peut-il être produit plus vite qu'il n'est détruit par des courants ne durant que quelques heures? Marc Chaussidon et François Robert ont tenté de percer le mystère. Et élabore une hypothèse : en remontant des profondeurs, le vent solaire viendrait casser les atomes d'oxygène de l'atmosphère, générant ainsi du lithium. Les recherches vont se poursuivre. Mais elles démontrent

tout l'intérêt d'échantillons lunaires que le CRPG a réussi à obtenir auprès de la NASA. Et qu'il conserve précieusement dans un coffre-fort. En espérant y adjoindre peut-être vers 2007 quelques fragments de Mars!

Mais la découverte illustre aussi l'importance de l'étude d'un vent solaire qui, dès les premières missions Apollo avait suscité le plus vif intérêt des Américains. « A un tel point qu'en 1969 ils avaient installé un système de captation des particules solaires avant même de planter leur drapeau » souligne Marc Chaussidon!

13
et
at

La lune fait parler le soleil

Des analyses de poussières lunaires réalisées à Nancy remettent en cause des théories sur le soleil.

Une équipe de chercheurs de Nancy et de Paris vient de démontrer, grâce à l'analyse de poussières lunaires, qu'il fallait revoir certaines théories sur le fonctionnement et l'activité interne du soleil.

Marc Chaussidon du Centre de recherche pétrographique et géochimique de Nancy-Vandœuvre (CRPG-CNRS), et François Robert du Muséum d'Histoire Naturelle, ont ainsi découvert que du lithium est non seulement produit par le soleil mais que les deux isotopes attendus (des formes de lithium comportant un même atome mais des nombres de neutrons différents) sont présents dans des proportions qui, elles, sont inattendues. Ces résultats

modifient les idées élaborées autour des courants de convection du soleil, ces mouvements de fluides et chaleur qui se traduisent notamment par les fameuses tâches. Le lithium, dont les deux isotopes ont la particularité de brûler à des températures donc à des profondeurs solaires différentes, contribue en effet à des étudier ces mouvements, sa présence jouant en quelque sorte le rôle de traceur.

Les résultats des recherches remettent aussi en cause la théorie selon laquelle le soleil ne fait que détruire le lithium depuis sa naissance il y a 4,5 milliards d'années. Il en produirait apparemment à l'occasion de projections de par-

ticules d'énergie, rem de la profondeur pour percuter les atomes d'ne de son atmosphère

Marc Chaussidon et François Robert ont effectué découverte en analysant poussières de lune ramassées par les missions Apollo. Les poussières sont bombardées depuis des millions d'années par les particules du vent solaire qui reflète l'activité et les caractéristiques de notre astre. Non seulement l'érosion, elles constituent une mémoire. Que seuls instruments high-tech permettent de déchiffrer ce langage, l'on travaille dans le domaine du milliardième de

Ghislain U

px
sit
s
vc
ar
-7

L'an 2000 selon... Marc Chaussidon

Protéger la terre, découvrir l'univers

Pour le chercheur Marc Chaussidon, l'environnement « terrestre et extraterrestre » est l'enjeu du prochain millénaire.



Marc Chaussidon :
« Le développement de l'exploration extra-terrestre ».

Photo Michel FRITSCH

L'an 2000 ? Il ne l'a jamais vraiment « imaginé » ! Ni avec des soucoupes volantes, ni comme un paradis futuriste et très technologique. Pas même quand il était enfant. Échéance trop proche ? Peut-être.

A 38 ans, Marc Chaussidon est en tout cas un des brillants chercheurs du Centre de recherche pétrographique et géochimique de Nancy-Vandœuvre, spécialisé dans l'étude des roches. Ses investigations scientifiques sur les météorites ont contribué à faire avancer les théories sur le Big Bang. Et

il a récemment démontré, avec des analyses de poussières lunaires rapportées par les missions Apollo, que le fonctionnement interne du soleil n'était pas vraiment celui que l'on croyait.

Eau, air...

Avec le prochain millénaire qui pointera le bout de son nez à la fin 2000, ce chercheur qui tutoie l'univers, nourrit un espoir : celui de pouvoir analyser vers 2007 un échantillon de la planète Mars.

En attendant, le virage des

trois zéros ne le bouleverse pas ! « Je n'ai rien prévu de spécial. Mais c'est vrai que je m'en souviendrai ». En fait, pour lui, les grands enjeux du prochain siècle sont déjà plus que palpables. C'est l'environnement.

Terrestre d'abord. « Eau, air... : l'homme le modifie à une vitesse incroyable. Un des défis de la science, ça va être de contrôler ces phénomènes, de protéger notre planète ».

Extraterrestre ensuite. « Grâce aux sondes, on a déjà des images très précises de notre système. Cette explo-

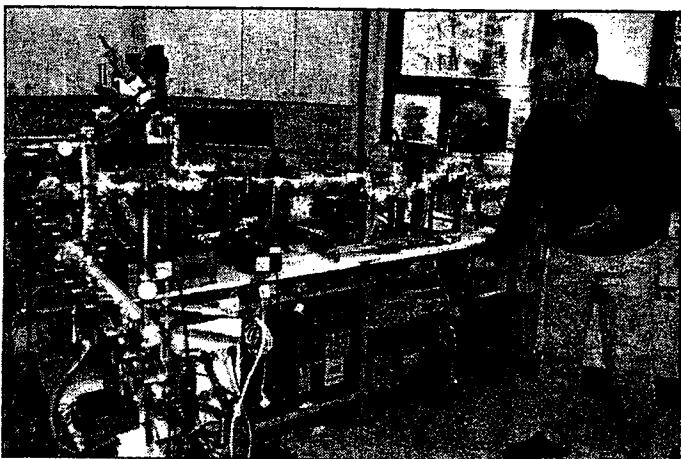
ration a connu et va connaître des développements importants ».

Sans sombrer dans un quelconque pessimisme, Marc Chaussidon estime pourtant qu'il y a dans cette dualité un risque : « Il ne faudrait pas que l'idée que l'homme puisse un jour quitter la terre occulte la nécessaire défense de cet environnement ». Vision lointaine ? Peut-être. Celle d'un prochain millénaire. Mais il y a seulement cent ans, l'aviation ne faisait que décoller...

G. U.

Découverte dans les entrailles de la Terre

En étudiant la formation de l'atmosphère, des chercheurs nancéiens viennent de démontrer que la vie influence le manteau terrestre dans ses grandes profondeurs ! Découverte.



Bernard Marty : « L'azote métabolisé par la vie est capable de redescendre vers le noyau de la Terre ! »

Photos Michel FRITSCH

A plus de 660 km

En analysant les bulles de gaz des carottages de la péninsule de Kola, les chercheurs nancéiens ont en quelque sorte plongé à plus de 660 km sous la surface de la planète, au-delà de la limite entre les manteaux inférieur et supérieur. Pour récupérer et analyser les gaz piégés, Nicolas Dauphas et Bernard Marty ont utilisé le laser pour faire fondre les échantillons. Ou la technique du broyage. Le tout réalisé dans des conditions d'ultravide. En fait, les chercheurs ont dû adapter ou concevoir dans les locaux du CRPG leurs propres matériels high-tech.

C'est inattendu ! L'activité biologique à la surface de la Terre laisse des traces dans les profondeurs de la planète. Et pour être plus imagé : la matière organique, issue par exemple des organismes morts qui se décomposent au fond des océans, entre dans le cycle géologique du manteau terrestre. C'est la découverte que viennent de signer deux chercheurs nancéiens du Centre de recherche pétrographique et géochimique de Nancy-Vandœuvre (CRPG-CNRS). Certes, les cycles sont particulièrement longs. Et peuvent durer un milliard d'années (la vie est apparue il y a 3,5 milliards). Mais ces recherches qui donnent lieu à une publication dans la réputée revue Science bousculent bien des idées.

Vénus, Mars...

Professeur à l'École supérieure de Géologie, Bernard Marty et son équipe travaillent au CRPG à l'évolution des « volatiles terrestres » comme l'eau, le gaz carbonique, les gaz rares... Et l'azote, principal élément de l'air. Objectif : voir comment s'est formée l'atmosphère (donc

comment et quand s'est développée la vie). Par quels phénomènes de dégazage de la planète ? Avec des comètes ? Des gaz de la nébuleuse présolaire ?... L'équipe s'intéresse ainsi à l'évolution des atmosphères planétaires, y compris Vénus et surtout Mars dont les Nancéiens espèrent vers 2008 obtenir des échantillons. L'étude de l'atmosphère passe en effet et inévitablement par la formation des planètes donc la géologie. Et le manteau terrestre en l'occurrence. Nicolas Dauphas, thésard au CRPG, et Bernard Marty ont ainsi analysé des carottages effectués dans la Péninsule de Kola (Russie). Particularité : les massifs de ces prélèvements sont constitués de laves alcalines.

Forme primitive

Des carbonatites ; des laves très rares et spéciales qui sont riches en inclusions fluides. En clair : elles ont piégé à grande profondeur (des dizaines de km) des bulles de gaz qui, elles, remontaient de plusieurs centaines de kilomètres, voire de la région du noyau... Autant dire que c'est là une « mémoire » des

entrailles terrestres. Les Nancéiens se sont intéressés à l'azote et à l'argon « enregistrés » dans ces laves. Et notamment à leurs formes isotopiques (noyaux d'un même élément mais dont le nombre de neutrons est dissemblable). Lesquelles diffèrent entre la surface, le manteau superficiel et le manteau inférieur, en profondeur. Des profondeurs qui a priori ont piégé des éléments primitifs, c'est-à-dire datant de la formation de la Terre.

Les analyses des carbonatites ont pourtant démontré la présence d'un azote en quelque sorte enrichi, distinct des compositions isotopiques du manteau superficiel de la terre. Les chercheurs en ont déduit que « quelque chose redescend » de la surface vers les grandes profondeurs. En l'occurrence « un azote métabolisé par la vie ». Issu des matières organiques. Il réussirait à migrer dans les entrailles terrestres via le jeu de la tectonique des plaques. En dépit d'une volatilité qui faisait logiquement penser qu'il ne pouvait que monter vers l'atmosphère !

Les profondeurs de la terre



Nicolas Dauphas : « Des bulles de gaz ont été piégées à grande profondeur dans cet échantillon ».

portent en tout cas la signature d'un héritage biologique ! Et pas seulement géologique. C'est aussi la preuve d'échanges complexes entre la surface de la terre et ses entrailles. De quoi ouvrir bien d'autres perspectives de recherches.

Ghislain UTARD

A la poursuite des diamants verts

Des chercheurs nancéiens ont défini un nouveau critère d'authentification des émeraudes. Ils sont aujourd'hui capables d'identifier l'origine géographique des trésors anciens.

Sale coup pour les faussaires. Bonne nouvelle pour les conservateurs de musées et les gemmologues du monde entier. Gaston Giuliani, chercheur à l'Institut de recherche pour le développement (IRD) à Vandœuvre, Marc Chaussidon et Christian France-Lanord du CRPG-CNRS (1), ont mis au point une nouvelle technique d'identification des émeraudes. Non seulement, ils sont aujourd'hui capables de retrouver l'origine géologique de la pierre, mais parviennent

à déterminer avec précision son lieu d'extraction. Tout commence quand, dans le cadre d'un programme d'études sur la formation des gisements d'émeraudes avec d'autres chercheurs de l'INPL, ces géologues ont voulu pousser leurs investigations. « Est-ce qu'on ne pourrait pas trouver des critères pour différencier les émeraudes de Colombie, du Brésil et les plus grands gisements du monde? » se sont-ils alors interrogés.

Carte d'identité

Une première différence entre les émeraudes réside dans la présence de minéraux solides microscopiques et de fluides inclus dans les pierres. Si les inclusions des émeraudes de Colombie sont uniques, elles sont par contre identiques entre les pierres du Brésil et la plupart des gisements des autres continents.

Les chercheurs sont donc allés plus loin dans leurs études. En définissant la composition des isotopes de l'oxygène d'un cristal (2), laquelle est caractéristique de la roche et du fluide à partir desquels la pierre a cristallisé « on s'est aperçu qu'il y avait une très grande différence entre l'émeraude de Colombie et du Brésil. On pouvait même préciser l'origine de la mine en Colombie » explique Gaston Giuliani. Alors pourquoi ne pas étudier les gisements du monde entier? « On a déve-

loppé des collaborations scientifiques avec l'association française de gemmologie qui possède des échantillons de chaque pays. Et aujourd'hui, on est capable de discriminer les gisements d'Égypte, les premiers exploités dans l'Antiquité, les gisements d'Autriche, exploités par les Celtes puis les Romains, et les mines d'Afghanistan, du Pakistan... et surtout de Colombie ».

Sonde ionique

A partir de cette différence d'isotopes d'oxygène, les chercheurs ont pu établir une carte d'identité des émeraudes issues de 62 gisements dans 19 pays.

Et commencé à retracer les routes empruntées par le commerce des émeraudes, suivant trois grandes époques : durant l'Antiquité, lors de l'exploitation des mines colombiennes par les conquistadors du 16^e siècle et enfin lors de l'exploitation des émeraudes dites « vieilles mines », des pierres taillées en Indes entre le 17^e et le 19^e siècle.

Reste que pour étudier ces isotopes, il est nécessaire de plonger au cœur de l'émeraude. Une première technique consiste à détruire de 2 à 5 milligrammes de cristal, un procédé difficilement applicable sur les pierres de musée, de très haute valeur. Une seconde technique fait appel à une sonde ionique : « A l'ai-



L'utilisation d'une sonde ionique permet d'extraire une quantité infinitésimale de matière sans altérer l'émeraude.

de d'un faisceau d'ions, on fait une micro-cavité de 20 microns sur quelques angstroms de profondeur. Un trou invisible à l'œil nu, même sous la loupe » explique Gaston Giuliani.

Un procédé qui constitue un tournant important dans l'expertise des pierres précieuses et dans l'origine des trésors anciens.

Gisèle MOUGEOT

● Les résultats des chercheurs nancéiens sont publiés dans le dernier numéro de la revue « Science », sorti aujourd'hui.
- (1) INPL, Institut national polytechnique de Lorraine. CRPG, Centre de recherches pétrographiques et géochimiques. CNRS, Centre national de recherches scientifiques.
- (2) Éléments chimiques identiques, mais de masse atomique différente.



Gaston Giuliani, de l'IRD au CRPG de Vandœuvre : « Pour les émeraudes de Colombie, on peut même discriminer l'origine de la mine ».

La couronne de Saint-Louis

En étudiant une émeraude provenant d'une boucle d'oreille d'époque gallo-romaine trouvée en 1997 dans l'Ain, les chercheurs espéraient trouver une origine autrichienne « mais on a trouvé des valeurs isotopiques identiques aux valeurs du Pakistan, dans la vallée du Swat. Une vallée qui fait partie intégrante de la route de la soie, partant de la Mongolie jusqu'à Istanbul ». Gaston Giuliani en conclut « qu'à une époque gallo-romaine, il y eut des échanges de pierres entre l'Asie et l'Europe ».

Les chercheurs nancéiens ont également travaillé sur une émeraude qui ornait le lys frontal de la couronne de Saint-Louis (XIII^e siècle). « On atteste que cette émeraude provient de l'exploitation antique d'Habachtal en Autriche ».

Autre recherche sur une pierre provenant d'une cargaison d'un galion qui a fait naufrage en 1622 près de la Floride et retrouvé par des plongeurs en 1985. « On a déterminé qu'elle avait été extraite de la mine de Muzo en Colombie, une des premières exploitées par les Indiens ».

CES Une légende indienne que Sessa, le roi des serala la bile du démon Vaia et squé par Garura, le roi des il la rejeta en un endroit où,

depuis, se trouvent les émeraudes. ● LA VÉRITÉ est moins belle. Les émeraudes, gemmes rares, sont le fruit de puissantes convulsions tectoniques et leur couleur verte tient à la

présence de chrome dans la roche qui les a enfantées. ● DEPUIS DES SIÈCLES, on connaît la richesse des mines colombiennes, égyptiennes et celtiques. Mais on avançait l'existence

de « vieilles mines », aujourd'hui disparues, productrices de pierres historiques. ● LA PHYSIQUE vient de trancher et de remettre en cause cette légende. Elle a aussi permis de mon-

trer que des mines pakistanaises et afghanes redécouvertes au XX^e siècle produisaient déjà dans le passé et alimentaient les caravanes qui suivaient la Route de la soie.

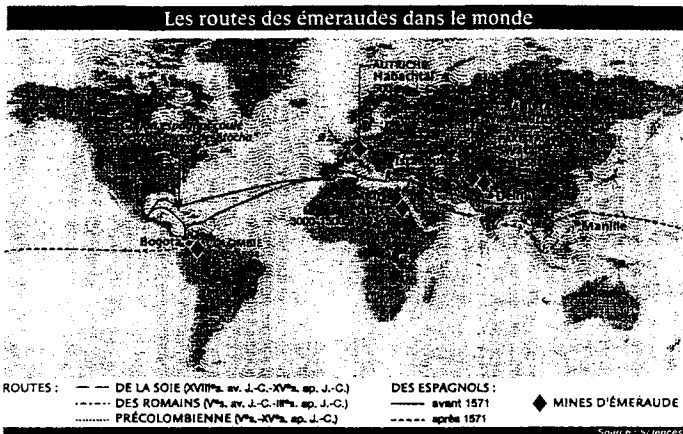
Le mystère des vieilles mines d'émeraude enfin dissipé

ce à la sonde ionique, un instrument sophistiqué permettant d'analyser les pierres sans les détériorer, les physiciens sont désormais capables d'en déterminer l'origine. Ces recherches, fatales à certaines légendes, révèlent l'ancienneté des échanges avec la Colombie

ÉSAR, dit-on, les collectionneurs leurs vertus curatives Quint en aurait disséminées quelques-unes à des fins de salut. La cause américaine toujours la légende, romphé au XVIII^e siècle la vente d'un magnifique émeraudes le « Collier de (lire ci-dessous) donné à Franklin par une colonaise.

ce collier, toutes les émeraudes ont une histoire. Les qui n'existent pas, énorme pierre dans la nuit ait été taillé le Saint s, au-delà des légendes, des gardent aussi - ou laient - le secret de leurs rop souvent, on ignorait nce des pierres accumulées le XVI^e siècle dans les des musées du Caire, de Istanbul, de Moscou, de Washington ou de Patentes situées les mines qui produites ? Les rumeurs train, et courait depuis icelle une légende sur de certaines « vieilles : l'Asie du Sud-Est au- disparues qui auraient rtains trésors d'Asie.

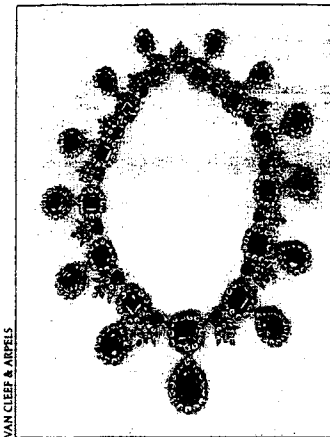
tie du mystère vient par une équipe de chercheurs nationale de la re- tentifique (CNRS), de s recherche pour le dé- nt (IRD), du Muséum naturelle et de l'Associa- e de gemmologie. La e bafouillaient, ils ont fait physique des isotopes, e à mesurer le rapport spèces d'oxygène (oxy- oxygène 18) présentes ierre. De tels travaux à été menés il y a quel- s au Brésil et en Colom- aston Guiliani (IRD) ur différencier les cris- ts de ces gisements. ode a ensuite été appli- principales mines d'éme- monde (62 gisements de our attribuer une carte



d'identité à chaque site. « Chaque gisement a en effet sa signature propre », précise Gaston Guiliani. Le problème, c'est que ces analyses entraînent la perte d'une partie de l'échantillon examiné (2 à 5 milligrammes). Cela n'est pas gênant pour des échantillons extraits de la mine, « mais un contrôle aussi destructif ne peut être envisagé sur des pierres historiques qui seules

peuvent nous conter l'histoire de leurs origines », ajoute le chercheur. Le procédé d'analyse a donc été modifié en conséquence, et une sonde ionique - il en existe seulement cinq au monde - permettant aussi de mesurer le rapport des isotopes de l'oxygène a été mise au point. Son atout : elle ne réclame pour faire son analyse que peu de matière - 200 millièmes de mil-

ligramme - et creuse dans la pierre à caractériser « un cratère si minuscule qu'on ne le voit pas à l'œil nu ». Forts de ces certitudes, les propriétaires de certaines collections d'émeraudes ont accepté de les ouvrir à la recherche, grâce à la diligence d'Henry-Jean Schubnel (Muséum d'histoire naturelle) mais aussi de Daniel Plat et de Didier Giard (Association française de gemmologie). Neuf pierres historiques ont été extraites de leur trésor et confiées aux physiciens. Neuf pierres couvrant une large période historique allant de l'époque gallo-romaine jusqu'au XVIII^e siècle. Neuf pierres qui, si leur origine était précisément déterminée, permettraient peut-être d'en savoir plus sur la route des émeraudes au cours des âges. La revue scientifique *Science* du 27 janvier vient de publier les résultats obtenus par cette équipe pluridisciplinaire. Les surprises ne manquent pas. Jusque'à présent, on considérait que les mines d'Égypte, exploitées



Le « Collier de la liberté », acheté par Van Cleef & Arpels en 1925, « se compose de trente-neuf émeraudes facetées, de forme poire ou carrée, entourées de brillants anciens, accompagné d'une paire de pendants, d'oreilles faits chacun de deux émeraudes carrées facetées, de deux petites émeraudes carrées facetées et de deux importantes émeraudes brillantes taillées en diamants taille ancienne ».

par les pharaons de 3000 à 1500 avant J.-C., et celles d'Habatchal (Autriche), découvertes par les Celtes, étaient les seules sources d'émeraudes de l'Ancien Monde. Du moins jusqu'au pillage à partir du XVI^e siècle des mines colombiennes par les conquistadors. Mesures faites, l'analyse pratiquée sur une émeraude de 51,5 carats montée en 1226 sur ordre de Saint Louis sur le lys central de la Sainte Couronne de France atteste l'origine autrichienne de la pierre. De même, deux autres pierres étudiées en 1806 par le fondateur de la minéralogie, l'abbé Haüy, proviennent l'une d'Égypte et l'autre d'Autriche.

DE RICHES ROYAUMES

Rien de bouleversant. Mais ce qui l'est plus, c'est l'origine pakistanaise d'une boucle d'oreille gallo-romaine dont l'émeraude - la plus ancienne des neuf étudiées - vient sans conteste de mines situées dans la vallée de Swat et découvertes à la fin des années 50. Aberration chronologique ? Certainement pas. De riches royaumes existaient dans toutes ces vallées (Swat, Peshawar et Kaboul) situées le long de la Route de la soie qui exploitaient ces mines trop longtemps oubliées. De même la caractérisation de quatre pierres du trésor de Nizam d'Hyderabad (Inde) censées provenir des fameuses vieilles mines asiatiques a tordu le cou à la légende. Trois sont d'origine colombienne et une, de très haute qualité, provient d'un gisement afghan redécouvert au début des années 70 et prospecté par les Soviétiques en 1976.

Quant à la pierre brute trouvée parmi 2 300 autres sur l'épave d'un galion espagnol, le *Nuestra Señora de Atocha*, coulé au large de la Floride en 1622, le verdict de la sonde ionique démontre sans aucun doute son origine colombienne (mine de Muzo) et confirme ce que l'on savait, la mainmise des Espagnols sur le marché des émeraudes dès le début du XVI^e siècle. Pas seulement en Europe, mais aussi au Moyen-Orient (via Istanbul) et en Inde (via Manille et les lapidaires indiens). Ainsi, les émeraudes des vieilles mines seraient, pour la plupart, d'origine colombienne, attestant

l'existence de routes de l'émeraude tout autour de la planète et, pour quelques autres, d'origine moyen-orientale, « comme certains l'avaient pressenti ».

Mais ces premiers travaux ne sont que des indices que les chercheurs français aimeraient bien étoffer. Gaston Guiliani et Henri-

Les rubis birman d'Ishtar

Les émeraudes ne sont pas les seules pierres précieuses dont les physiciens, les chimistes, les historiens et les collectionneurs veulent retracer les origines. On connaît des routes pour l'améthyste et la turquoise en Égypte, pour la coralline en Inde. Mais pas pour les pierres rouges. Récemment, des incrustations minéralogiques roses - les deux yeux et le nombril - d'une statuette du Louvre représentant la déesse Ishtar ont livré des secrets.

Longtemps considérées comme de la pâte de verre, on ignorait si ces pierres étaient contemporaines de la fabrication de la statue ou rajoutées par la suite. Les analyses menées avec l'accélérateur de particules du laboratoire de recherche des Musées de France ont permis de démontrer qu'elles étaient des rubis de la plus belle eau. Mieux, la signature des gemmes obtenues par fluorescence X a montré que les rubis sri-lankais et birman avaient un air de famille avec ceux de la déesse de l'Amour et de la Guerre.

Jean Schubnel rêvait de soumettre au verdict de la sonde ionique les pierres du trésor de Topkapı (Istanbul), celles de la collection de la Banque Markazi (Téhéran), les pièces gallo-romaines d'un musée lyonnais et quelques magnifiques gemmes de collections privées. En attendant, ils offrent à qui le souhaite, aux termes d'un contrat signé en septembre 1998 avec la Chambre de commerce et d'industrie de Paris, le CNRS et l'IRD, la possibilité d'identifier l'origine de leurs pierres.

Jean-François Augereau

French Researchers Find Way to Trace Emeralds' Origins

By NICHOLAS WADE

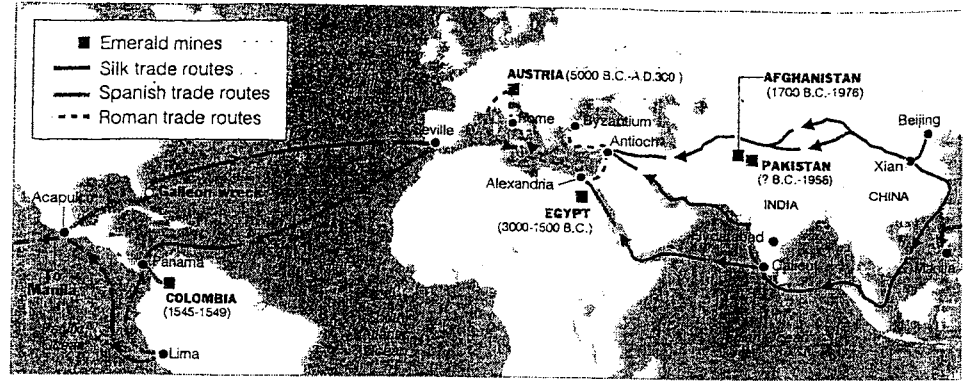
Emeralds, the precious stones sought after for centuries to grace maharajahs' and sultans' turbans and the crowns of European kings, have yielded an insight about their origins to a team of French researchers.

By analyzing inherent traces of the water from which the stones crystallized eons ago, the researchers say they can identify the country and even the individual mine from which an emerald came.

The French method has helped delineate the routes by which emeralds were traded in the ancient world, and may also influence present-day prices for the stones, which are often deemed more valuable if their provenance is known.

The only sources of emeralds before the discovery of the New World were thought to be Cleopatra's mine in Egypt and a small mine discovered by the Romans in the Austrian Alps. But analysis of the emerald in a Roman earring found in France showed that the stone must have come from a mine in what is now Pakistan, perhaps from the ancient kingdom of Gandhara, and would have reached Europe along the Silk Road, the French scientists say in a report in today's Science.

The emerald analysis method was developed by Dr. Gaston Giuliani of the Center for Petrographical and Geochemical Research in Vandoeuvre-lès-Nancy and colleagues elsewhere. It depends on vaporizing a small sample from the surface of the stone so as to measure the ratio



Emeralds were traded centuries ago by the Spanish and the Romans and over the silk routes of Asia.

of oxygen isotopes. The oxygen is derived from the hot waters out of which the emeralds crystallized, and each of the few known mines in the world seems to have had water with different isotope ratios. Isotopes are atoms of the same element that differ in the number of neutrons.

The vaporization leaves a minute pit in the emerald's surface. Even though the pit is invisible to the naked eye, the method is to that extent destructive. Dr. Giuliani said the director of the Museum of Natural History in Paris let him experiment first on two emeralds owned by the Abbé Hauy, the founder of mineralogy, which turned out to come from the old Roman mine in the Alps.

Dr. Giuliani's team was then allowed to test a precious relic, the

emerald set on the central jewel lily of the Holy Crown of France by Louis IX. That emerald also proved to have come from the Austrian mine.

A new source of emeralds was opened up when the Spanish, after much torture and protracted fighting, discovered the Colombian mines that were the source of the emeralds found in Mexico and Peru.

Dr. Giuliani tested a smuggled emerald — it was not listed on the manifest — salvaged recently from the Spanish treasure galleon Nuestra Señora de Atocha, which founded off Key West in 1622. The oxygen isotope test showed that the emerald came from the Tequendama mine of the Muza district of Colombia.

Having gained the Colombian mines, the Spanish started to develop

buyers for emeralds and found considerable interest among the rulers of India, Persia and Turkey.

"So sultans, shahs and maharajahs were the principal market," said Fred Ward, a gemologist and author of the book "Emeralds" (Gem Book Publishers, 1996).

The Spanish at first shipped the emeralds from Spain and then sent them via the Philippines. In India, the Philippines was long believed to be the stones' source of origin, Mr. Ward said.

Dr. Giuliani's team tested four emeralds from the treasure of the Nizam of Hyderabad in India. He reported that three of the emeralds came from Colombia, each from a different mine, and the fourth probably came from the Panjshir Valley of present-day Afghanistan.

Mr. Ward described the French method as a "dramatic innovation" that could affect the emerald market because of owners' interest in the stones' provenance.

"If someone can say definitively an emerald is from a certain mine, it may cause the emeralds to be more pricey," he said.

Emeralds are currently sourced by a battery of visual and spectroscopic tests that are indicative rather than definitive.

"We regard origin as a professional opinion rather than a scientific fact," said Dr. Kenneth Scarratt, director of the testing laboratory at the American Gem Trade Association in New York.

Dr. Scarratt praised the French team's study but said more samples would be needed to validate the method. Even if it proved reliable, the fact that even a minuscule part of the stone had to be destroyed might deter clients who did not want to take the risk, he said.

12 FRIDAY, JANUARY 28, 2000

Scientists uncover the secret life of emeralds

By Roger Highfield, Science Editor

SCIENTISTS have developed an "atomic birth certificate" for emeralds that has revealed ancient trading routes, the surprising extent of Spanish trade in Colombian gems, and a "lost" mine in Asia.

Emeralds have been treasured as a symbol of immortality for more than four millennia and have been traded since the days of the pharaohs.

But their origin has been obscure.

Now, by analysing oxygen that has been "clipped" from the gems with a beam of atoms, scientists can identify their place of origin. This has revealed that some of Europe and Asia's most historically valuable emeralds arrived in the Old World soon after they were plundered from New World mines by Spanish conquistadors.

The detective work, which could help authenticate gems and reveal long-lost mines, is reported today in the journal Science by the French and Colombian geologists Dr. Gaston Giuliani, Dr. Marc Chausson.

With their colleagues, they sought the origins of nine historic emeralds, part of an earring from the Gello-

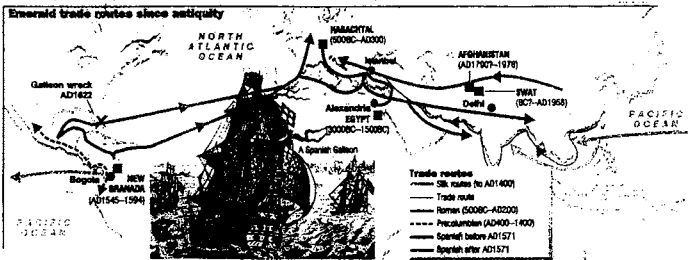
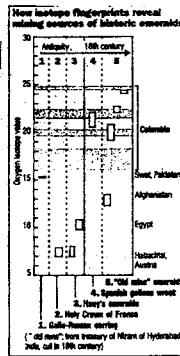
there by the crusading Louis IX in the 1200s; 18th century emeralds from the treasury of the Nizam, princely rulers of the former state of Hyderabad in India; emeralds studied by French founding mineralogist Abbé Hauy for his definitive description of the gemstone in 1806; and one recovered from the wreck of the Spanish treasure galleon, the Nuestra Señora de Atocha, which sank in a hurricane off Florida in 1622.

The researchers were spurred on by the discovery that deposits from each region — and often from individual mines — are characterized by very specific oxygen isotope levels.

Isotope values of the gems — a form of beryl — have a narrow range in each site, reflecting the composition and temperature of the fluids that eventually crystallized to form the emerald, as well as the composition and temperature of the rocks that the fluids journeyed through before their consolidation into gemstone.

When used with traditional techniques, such as studying the optical properties and the inclusion of other materials, researchers

THE DAILY TELEGRAPH



measure the isotope values, Dr. Claire Rollier-Bard used a technique in which the emerald is bombarded with a beam of charged caesium ions, which dislodges oxygen from the crystal for analysis. This makes microscopic

priceless gems that their study would not cause irreparable harm. Before this work Egypt and Austria were thought to be the only sources of gem-quality emeralds in the ancient world. The researchers did find that the Holy Crown and Hauy

first known description of an alpine deposit by 500 years. Surprisingly, they traced the Mirabel earring stone — the oldest — to the Swat-Mingora district of Pakistan, a previously unrecognized source of emeralds in antiquity, rather than Egypt

known as "old mine" emeralds for their supposed source in lost mines of Asia, were shown to have come from three separate mines in Colombia, indicating that the trade in emeralds from the New World made rapid and significant inroads into

Señora de Atocha reveals it is also a Colombian gem. The researchers speculate that many of the emeralds held in large museum collections were the qualities that the Spanish, and the rest of the world, were interested in.

ing stones with richer colour clarity and bigger crystals than most deposits," Dr. Giuliani said. "We imagine that these were the qualities that the Spanish, and the rest of the world, were interested in."

The next task for the

SCIENCES

Les émeraudes perdent un peu de leur mystère

Une sonde ionique peut désormais révéler leur origine exacte.

L'émeraude d'une boucle d'oreille gallo-romaine visible au Muséum d'histoire naturelle de Paris provient du Pakistan, d'un gisement redécouvert au XX^e siècle déjà exploité au XVIII^e. Celle de la couronne royale que portait Saint Louis est d'origine autrichienne. Celle retrouvée à bord du célèbre trésor du galion espagnol, le *Nuestra Señora de Atocha* qui coula à cause d'un ouragan près de la côte de Floride en 1622 alors qu'il venait de Carthagène, est d'origine colombienne. «*Les Espagnols ont redécouvert les gisements colombiens, ils emmenaient les pierres en galion pour en faire commerce avec l'Europe et l'Inde*», explique le géologue Gaston Giuliani. La légende des vieilles mines perdues d'Asie en prend un coup puisque l'on sait aujourd'hui que certaines émeraudes du trésor de Nizam d'Hyderabad en Inde proviennent non pas de ces mines mystérieuses mais de Colombie et d'Afghanistan. C'est ce qu'on apprend dans le dernier numéro de la revue *Science* (1). Symbole d'immortalité, prisée par les Egyptiens, les Romains, (Néron portait un monocle en émeraude), les Aztèques et les têtes couronnées d'Europe, l'émeraude avait perdu ses origines dans les méandres de l'histoire. Elle les retrouve en partie grâce à une méthode mise au point par des géo-



L'émeraude de la Sainte Couronne que portait Saint Louis provient d'une mine autrichienne.

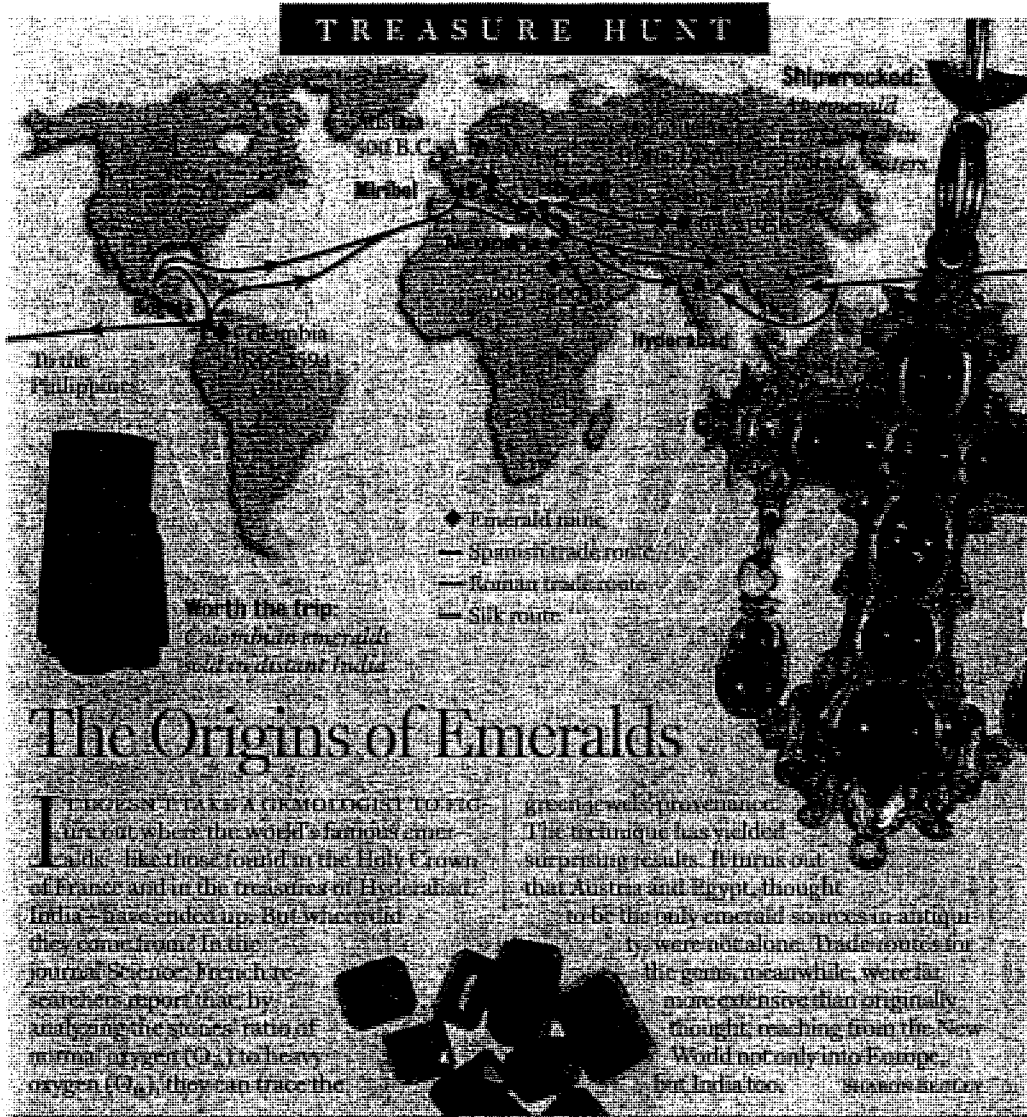
logues. Au prix d'une journée hors de leurs écrins, coffres-forts ou vitrines, neuf émeraudes historiques célèbres ont pris le chemin de Nancy pour y être examinées de près par des géologues curieux, notamment Gaston Giuliani, de

l'IRD-CNRS (1) et Marc Chaussidon du centre de recherches pétrographiques et géochimiques. Pour déterminer leur provenance, ils disposent d'un instrument fort rare et très coûteux: une sonde ionique (il n'en existe que cinq

ou six au monde dont une en France, à Nancy). Elle permet d'étudier l'oxygène que contiennent les silicates avec des quantités infinitésimales, invisible à l'œil nu, sans abîmer les pierres. La méthode classique, elle, détruit une partie de la pierre, ce qui n'est pas gênant lorsque l'on travaille dans la mine, mais hors de question pour les pierres historiques. Au départ Gaston Giuliani travaillait pour l'IRD au Brésil sur la genèse des gisements d'émeraudes: ils sont en effet nombreux dans ce pays et en Colombie: «*Dans le cadre de ce programme, nous avons abordé l'étude des isotopes sur les minéraux et les émeraudes et nous avons constaté une différence très nette entre les émeraudes du Brésil et celles de Colombie. En 1998, nous avons publié une carte d'identité isotopique des gisements d'émeraude dans le monde, on pouvait distinguer celle du Pakistan, d'Afghanistan ou de Colombie.*» Avec l'aide d'Henri-Jean Schubnel, directeur de la galerie de minéralogie au Muséum, les chercheurs ont poursuivi leur programme en se penchant sur des pierres précieuses. Ils ont d'ailleurs l'intention d'identifier l'origine d'autres pierres si leurs propriétaires le désirent ●

SYLVIE BRIET

(1) *Science* du 27 janvier
(2) IRD: Institut de recherche et développement.

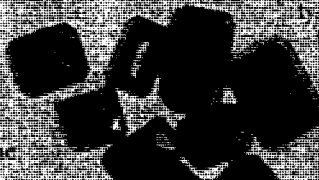


SOURCE: SCIENCE. GRAPHIC BY STANFORD APT—REYNOLDS

The Origins of Emeralds

LARGEST TAKE A GEMOLOGIST TO FIGURE OUT where the world's famous emeralds, like those found in the Holy Crown of France and in the treasures of Hyderabad, India—have ended up. But where did they come from? In the journal Science, French researchers report that by analyzing the strange ratio of normal oxygen (O₁₆) to heavy oxygen (O₁₈), they can trace the

greenie well into antiquity. The technique has yielded surprising results. It turns out that Austria and Egypt, thought to be the only emerald sources in antiquity, were not alone. Trade routes for the gems, meanwhile, were far more extensive than originally thought, reaching from the New World not only into Europe, but India too.



Le Figaro - 28 janvier 2000

GEMMOLOGIE

Carte d'identité pour émeraudes

Des scientifiques français exposent cette semaine dans la revue *Science* une méthode d'authentification de l'origine géographique des émeraudes (*Le Figaro* du 8 septembre 1999). Des chercheurs de l'Institut de recherche pour le développement (IRD, ex-Orstom) et du Centre de recherches pétrochimiques et géochimiques de Nancy (CNRS) parviennent à déterminer l'origine naturelle ou synthétique des gemmes en mesurant le rapport de deux isotopes de l'oxygène (oxygène-16 et oxygène-18) ainsi que leur provenance, parmi les 62 principales mines du monde (*Science* du 28 janvier 2000).

Sciences et médecine

GEMMOLOGIE Dans les mines de la cordillère des Andes et les laboratoires de Bogota, les mille facettes de la pierre verte

A la découverte des émeraudes colombiennes

Depuis une dizaine d'années, les scientifiques et gemmologues français ont fait des avancées considérables dans la connaissance de l'émeraudisme. Leurs travaux ont éradiqué l'incertitude des Colombiens qui exportent près de 75 % de la production mondiale de qualité. C'est ainsi que l'Association française de gemmologie (AFG) et des représentants de la bijouterie et joaillerie française ont été accueillis récemment dans ce pays afin de découvrir la façon dont sont organisées la production et la commercialisation. La France, qui n'absorbe que 3 % des exportations, pourrait devenir un partenaire de premier plan dans le domaine de l'expertise et de la formation.

Bogota :
de notre envoyé spécial
Yves Méziery

L'émeraudisme est une affaire de montagne. A 2 000 mètres d'altitude, la mine de Muzo est encore exploitée à ciel ouvert mais les pics, la dynamique et les bulldozers ont raboté les montagnes couleur d'ardoise dont une grande partie a dégringolé au bas des pentes. A certains endroits, l'accumulation des gravats peut atteindre une centaine de mètres de hauteur. On découvre par dizaines ces terribles effondrements et lussant que la végétation tropicale n'a pas encore recolonisé. La mine était déjà connue

avant l'arrivée des Espagnols qui l'ont « découverte » en 1537. Aujourd'hui, les émeraudes sont devenues rares. Au début des années 90, les hommes ont dû creuser des galeries à la recherche de nouvelles veines de calcite blanche, là où se sont formées les gemmes il y a 38 millions d'années. Mais ils ne sont pas tous partis au fond, on voit encore dans les coulées de graviers ou dans les lits des rivières des centaines de galets - c'est le nom que l'on donne aux pierres diaboliques qui restent obstinément avec leurs pelles des massifs de calcite noirs à la recherche de la pierre miraculeuse qu'ils ne voudront qu'à un modeste prix à un acheteur venu de Bogota. En

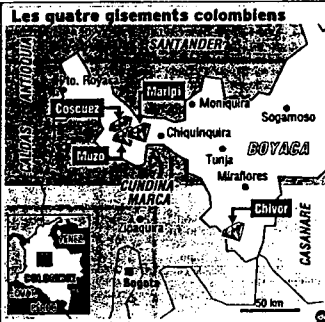
guenilles et chaussés de bottes en caoutchouc, on trouve parmi quelques enfants et de très vieilles femmes. Ils ont plusieurs dizaines de milliers il y a encore quelques années, mais la misère et les propriétaires des concessions ont commencé à les chasser. Les équipements lourds et les technologies sophistiquées ne sont pas parvenues jusqu'aux mines de Muzo, Cosquez ou Chivor parce que la guerre des clans pour la possession des mines a dévasté le pays jusqu'en 1990, faisant près de 5 000 morts, et aussi parce qu'elles se trouvent dans l'une des zones les plus isolées du département de Boyaca, à 150 kilomètres de la capitale Bogota. Seul le nouveau gisement de la Pita à Maripí échappe à la règle : son exploitation est financée par des Canadiens et sa production ne cesse de grimper. Pas de route et des pistes impraticables. On se déplace en 4 x 4 ou en hélicoptère. Il pleut tous les jours et il n'est pas question de circuler sans être armé ou escorté. Les puits sont entourés de grillages et surveillés par des

hommes armés. A - 80 mètres de fond, le chalumeau peut atteindre 45° C dans une atmosphère surchargée d'humidité et de poussière. L'exploration est sommaire : quelques lampes électriques et un type de plastique percé qui court tout en haut des parois et souffle un peu d'air tiède venu de l'extérieur. Avec pics, marteaux pépère et bâtons de dynamite, les mineurs travaillent huit heures par jour pendant vingt jours d'affilée et bénéficient de dix jours de congé. Chacun touche 13 % des trésors qu'il arrache à la montagne. La silice et les oxydants font partie de l'ordinaire, comme dans toutes les autres mines du monde. C'est le chef d'équipe qui conduit l'exploration : la difficulté consiste à retrouver les failles de calcite blanche dans lesquelles ont poussé les gemmes. Pourdrues comme de la neige ou extrêmement dures, nombreuses sont les veines qui se trouvent sans cristal. Care à court qui pourraient être tentés de distordre leurs trouvailles. La moindre pierre est immédiatement recobée par un représen-

tant des concessionnaires. Les débris sont chargés dans des voignets et remontés jusqu'à la surface où, le soir, ils sont triés sur un tapis roulant. A travers un vaste soupirail, les cailloux redégringolent à un autre niveau où ils sont triés une nouvelle fois à la pelle. Le quartier des émeraudes - calle Jimenez - est un labyrinthe minuscule à l'intérieur de Bogota, la capitale qui s'étend du nord au sud sur près de 40 kilomètres. Selon Adolfo Pacheco, président de Fedemeraidas, la pierre fait vivre près de 300 000 personnes dans le pays. Ce chiffre est appelé à fondre, en effet, les producteurs veulent maîtriser la totalité de la filière afin de pouvoir garantir la qualité des produits aux négociants étrangers. Les prix peuvent varier de 5 à 200 000 F hors taxes. Les petits commissionnaires, qui patientent sur le trottoir ou font la navette entre les propriétés et les éventuels acheteurs s'arrêtent de travailler au milieu de l'après-midi quand la soleil oblique empêche les acheteurs de juger de la vraie qualité du cristal, seront les

premiers à en faire les frais (de 6 000 en 1996, ils sont passés à 2 000 aujourd'hui). La Fédération a trois projets : découvrir de nouveaux gisements, garantir la qualité des traitements des pierres grâce à la création d'un laboratoire de contrôle doté d'un spectromètre à infrarouge qui pourrait être installé par le Français Pierre Zechini, du laboratoire de cristallographie de Besançon (École nationale supérieure d'ingénieurs de mécanique et de microtechniques) et mettre en place une Bourse des émeraudes. Enfin, grâce à une aide parafiscale à l'exportation de développement, visant pour la première fois des mines de Muzo,

peuvent émettre un programme de formation des lapidaires. Dans ce pays grand comme deux fois la France, il devient de jour en jour de plus en plus difficile de circuler en raison de la pandémie qui quadrille les campagnes. Dans chaque immeuble, la moindre petite atelier de taille et de traitement est protégé par des grilles et des hommes en armes. Jean-Claude Micholou, négociant à Bogota et organisateur de ce voyage, se félicite qu'à la suite de la délégation française, un membre du gouvernement, le ministre colombien du Développement, vienne pour la première fois des mines de Muzo.



Une pierre paradoxale

« L'émeraudisme est une pierre qui ne devrait pas exister ». Seules d'une formation géologique exceptionnelle ont présidé à sa formation car elle est composée de deux éléments qui en théorie ne devraient jamais se rencontrer : le berylle qui se trouve dans l'écorce terrestre à 5-10 kilomètres de profondeur et le chrome vient de beaucoup plus profond, à 80 kilomètres dans le manteau de notre planète. Parmi les trois grands types de gisements d'émeraudes, les pierres colombiennes réputées pour l'éclat et la transparence de leur cristal, forment une catégorie tout à fait à part. Alain Chaillet, professeur au Centre de recherches pétrographiques et géochimiques (CNRS, Vandœuvre-Nancy), a montré que leur formation est liée au cycle de la matière organique du bassin sédimentaire de la cordillère des Andes (1). On sait aujourd'hui que la minéralisation de cette gemme est due aux échanges entre un Dudaé (des saumures portées à de hautes températures - > 300° C) et une roche très schistes noirs riches en matières organiques et en nombreux éléments chimiques comme le fer, le calcium, le beryllium, le chrome et le vanadium. Cette origine explique pourquoi, en Colombie, les gisements d'émeraudes sont géographiquement proches des champs pétrolifères et des dépôts salins (Zapueca) et au colébre calchaquí utilisé à même le sel).

(1) L'Émeraudisme, éd. AFG/ORTON/CNRS.



L'exploitation des mines d'émeraudes à ciel ouvert est aujourd'hui abandonnée au profit des galeries souterraines. (Photo Macove/REA)

Les pierres andines des rois indiens

Les mines d'émeraudes péruuviennes ont été presque immédiatement exploitées après leur découverte par les Espagnols au milieu du XVI^e siècle. Gaston Giuliani, géologue à l'Institut de recherche pour le développement (Centre de pétrographie et de géochimie de Vandœuvre-Nancy), vient de montrer (1) que la commercialisation des pierres avait débuté plus tôt qu'on l'imaginait et que l'exportation de la production colombienne vers l'Asie était dès cette époque une pratique courante. Le chercheur français a révélé que certaines émeraudes remarquables, connues sous le nom d'« old mine » (vieille mine) et que l'on croyait originaires de mines asiatiques plus ou moins mythiques, étaient en fait des pierres colombiennes. L'analyse isotopique de trois des spécimens appartenant au trésor du roi Nizán O'Hoyabab (Inde) a en effet permis de reconnaître la signature caractéristique des gisements andins. Ce type d'étude non destructive (seuls

Le casse-tête de l'embellissement

Le problème de l'embellissement des pierres de couleur et des pierres précieuses se pose avec acuité pour l'émeraudisme. Dès l'Antiquité, on utilisait l'huile de cèdre pour raviver l'éclat des cristaux et remplir les cavités d'inclusions présentes dans les pierres brutes. Au début des années 90, certains laboratoires de Bogota ont eu recours à des résines de synthèse afin d'effacer ce que, dans le jargon gemmologique, on appelle des grises. Au bout de quelque temps, certaines de ces pierres traitées ont changé de couleur. Le cristal a été sali et a perdu sa transparence. Pire, les résines ont durci au point que les tâches sont devenues irréversibles et impossibles à nettoyer. On dit même que certaines pierres ont éclaté sous la pression de ces produits. Le résultat de ces manipulations a été catastrophique : le marché des émeraudes colombiennes s'est effondré. Il commence à peine à se relever. En France, ces pratiques ont effrayé les consommateurs et aussi l'en-

semble de la fibre du bijou à un moment où la transparence sur les traitements subis par les pierres, à l'exemple de ce qui se passe aux Etats-Unis, devenait une question d'actualité. A trop informer, on risque de faire fuir l'acheteur, telle avait été pendant longtemps la règle non formulée appliquée par de nombreux négociants, fabricants ou détaillants. Mais l'engagement en octobre 1999 d'une chaîne de grande distribution d'informer les acheteurs sur les traitements des pierres commercialisées et la révision attendue de la loi du 29 novembre 1998 sur les conditions de commercialisation des pierres précieuses et de couleur, ont fait évoluer les choses. Initialement prévue en 1998, la sortie de ce texte est sans cesse retardée mais on sait de toute façon qu'il ira dans le sens d'une harmonisation européenne et que l'information de l'acheteur sera vraisemblablement très exhaustive. A Barne, en avril 1999, le congrès de la Cibjo (Confé-

ration internationale de la bijouterie, joaillerie et orfèvrerie) avait recommandé aux professionnels de spécifier les traitements subis par chaque pierre au moment de la vente. « Si une femme se maquille ou se fait une crème casse-tête pour au moins d'être une femme ? Est-ce qu'un meuble Louis XV perd son authenticité dès qu'on le creuse ? », demande Gérard Alban, président de la Fédération des horlogers, bijoutiers, joailliers et orfèvres. La transparence sur l'embellissement subi par les pierres suscite l'inquiétude de nombreux détaillants. Faute de formation et de connaissances, certains d'entre eux redoutent d'avoir à dire que les pierres sont embellies avant d'être serties dans un bijou, comme s'ils craignaient d'éveiller la méfiance du consommateur. « Ils sont discrets parce qu'ils ont peur de perdre la vente », estime Eric Ruskonen, lapidaire et délégué pour l'Europe de l'Ifga (Association mondiale des pierres des pierres de couleur).

« Si le consommateur doit savoir ce qu'il achète, c'est au producteur de maîtriser la qualité de sa production, assure Didier Roux, président de la Fédération française des bijoutiers, joailliers et orfèvres. Il faut rapidement faire le tri entre les techniques d'embellissement et retenir celles qui sont stables et réversibles. » Ces informations concernant les techniques d'embellissement ne risquent-elles pas d'apparaître comme totalement sibyllines aux consommateurs ? Sans doute. Une fois qu'elles seront passées dans les mœurs, il sera peut-être temps de réaliser que les procédés d'embellissement utilisés forment des risques d'abuser à la production d'émeraudes standardisées. Et Pierre Vuillet, négociant français à Genève, de rappeler qu'au siècle dernier les inclusions - ce que l'on appelait les jardins - étaient particulièrement recherchées dans les émeraudes.

(1) Science, 28 janvier 2000.

Des chercheurs de Nancy percent le secret des émeraudes



Photo Patrice SAUCOURT

Des chercheurs nancéiens de l'Institut de recherche pour le développement et du CRPG-CNRS ont mis au point une nouvelle technique d'authentification des émeraudes. En définissant les isotopes de l'oxygène contenu dans la pierre, ils sont aujourd'hui capables de retrouver l'origine géographique des trésors anciens. Et de reconstituer ainsi la route des émeraudes au cours du temps.

■ **En Actualités 54, l'article de Gisèle MOUGEOT**

GÉOLOGIE

La route des émeraudes redessinée

En 1997, une boucle d'oreille gallo-romaine en or est découverte à Miribel, dans l'Ain. Une émeraude orne le bijou. Pour les historiens, cette pierre précieuse ne peut provenir que de l'une des deux régions d'extraction connues à l'époque : l'Égypte, dont les mines furent exploitées par les pharaons entre 3000 et 1500 ans av. J.-C., ou Habachtal, en Autriche, dont les gisements découverts par les Celtes vers 500 av. J.-C. ont été abandonnés vers 300 ap. J.-C.

Erreur. « *L'émeraude provient en fait de mines préhistoriquement découvertes à la fin des années 1950 et situées dans la vallée de Swat, au Pakistan* », affirme Gaston Giuliani, géomologue à l'Institut de recherche pour le développement (IRD,

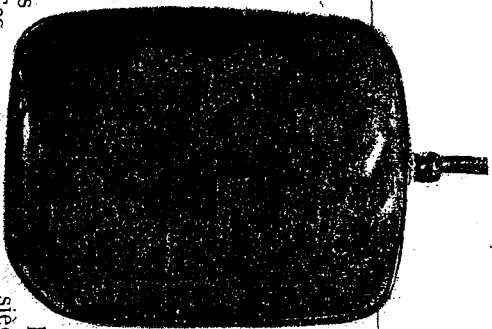
ex-Orstom). Avec son équipe du laboratoire de recherches pétrographiques et géochimiques, il avait proposé il y a deux ans le tout premier modèle de formation de cette précieuse variété de béryl (voir *Sciences et Avenir* n° 611). Cette année, il dresse un nouveau tracé des routes des émeraudes.

Pour établir ces cartes, ces apprentis historiens font appel à un procédé de leur cru qui authentifie l'origine des pierres. La technique repose sur la mesure de la concentration des isotopes ^{18}O et ^{16}O , cachés dans les molécules d'oxygène. Molécules qu'une sonde ionique prélève avec délicatesse sous la surface du cristal. Le rapport isotopique $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ obtenu caractérise systématiquement un gisement. Ainsi,

la valeur trouvée dans la pierre de la boucle d'oreille gallo-romaine renvoie aux mines pakistanaïses de Swat.

Ce gemme est le plus vieux des neuf étudiés par l'équipe de Gaston Giuliani. Les plus récentes, quatre pierres datées du XVIII^e siècle, constituent le joyau du trésor de Nizam d'Hyderabad (Inde). Selon la tradition, elles avaient été extraites de « vieilles mines », situées dans le Sud-Est asiatique. En fait, trois d'entre elles sont originaires de Colombie. La quatrième, enfin, provient de mines afghanes, redécouvertes au début des années 1970.

Si la nouvelle carte remet en question certaines idées reçues en matière d'émeraude, elle confirme le rôle majeur joué par



Emeraude dite de saint Louis qui ornait le lys central de la couronne des rois de France.

les pierres lombiennes dès le début du XVI^e siècle. Un rôle déjà attesté par les analyses réalisées sur un gemme brut, sorti de l'épave d'un galleon espagnol ayant sombré au large de la Floride en 1622. □

ILLUSTRATION : J. LOSSÉL/COLL. D. B.

QUESTION DE TECHNIQUES

Coup de chaud sur le climat

*Trois chercheurs ce soir à la MJC Pichon-Nancy.
Pour évoquer « le réchauffement de la Terre ».
Et forcément l'évolution du climat. Sujet que la tempête
de décembre n'a rendu que plus « palpable »...!*

Forêt de Haye dévastée, bâtiments littéralement éventrés dans l'agglomération nancéienne... : la tempête de décembre n'en a rendu que plus palpables les enjeux du climat ! Alors, des arbres déracinés de la Lorraine jusqu'au réchauffement de la Terre par effet de serre, il y a un lien de cause à effet bien tentant... D'autant que l'année 99 a amené son lot de catastrophes, des coulées de boue du Vénézuéla à la sécheresse en Indonésie en passant par les cyclones dévastateurs.

Les chercheurs se gardent pourtant bien de conclusions péremptoires ! Ne sachant trop bien que l'histoire du climat se mesure aussi à l'échelle de celle de la Terre. Et qu'une poignée d'années n'offre pas le recul nécessaire.

Des chercheurs américains viennent d'ailleurs de mettre en évidence, par l'analyse de micro-organismes fossiles prisonniers d'une carotte de sédiments datée de 60.000 ans, l'existence de quatre périodes de réchauffement sérieux.

Gaz carbonique

C'est dire la complexité et les multiples aspects d'un sujet qu'aborderont ce soir à Nancy trois chercheurs de l'Est de la France à travers leurs spécialités. Jean-Pierre Besancenot est directeur de recherche CNRS au Laboratoire Climats et santé

Le chiffre : 1

Depuis un siècle, l'augmentation de température constatée est inférieure à un degré. Le chiffre peut paraître faible. Il est en réalité d'importance. Comme l'expliqueront sans doute les chercheurs lors de la conférence-débat de ce mardi soir à la MJC Pichon. Rendez-vous 7, boulevard du Recteur Senn à Nancy à 18 h.



Des tempêtes de décembre au réchauffement climatique, un lien tentant. Pas si simple !
Photo archives ER. Alexandre MARCHI

de Dijon. Marc Chaussidon et Jérôme Aléon sont chercheurs au Centre de recherche pétrographique et géochimique de Nancy où l'on planche autant sur les roches lunaires ou météorites que sur les émissions de composés dans l'atmosphère ou les effets liés à l'activité humaine.

Certitude: la composition chimique de l'atmosphère a changé en quelques décennies. « Le taux de gaz carbonique a augmenté de 40 %

depuis le début de l'ère industrielle ». Sans parler du CFC ou des oxydes d'azote, le taux de méthane a été multiplié par deux. Un méthane dont des recherches récentes estiment d'ailleurs qu'il pourrait expliquer des réchauffements climatiques comme celui qui s'est produit il y a 55 millions d'années.

Quelques degrés

Bref, les modifications chimiques de l'atmosphère pèsent vraisemblablement sur l'augmentation d'une température qui devait atteindre un à quatre degrés d'ici un demi-siècle. Les conséquences sont évidemment d'envergure. Hervé Le Treut, un climatologue du CNRS, évoque par exemple des « pluies plus intenses

dans les régions déjà humides et des sécheresses plus importantes dans des régions déjà très arides ». Avec les effets qu'on peut imaginer sur l'activité ou la santé.

Mais le risque, c'est aussi une élévation du niveau de la mer de quelques dizaines de centimètres. Suffisant pour mettre en péril par exemple les habitants d'îlots coralliens.

CONTACT

« Question de techniques », rubrique hebdomadaire du mardi, Ghislain UTARD, L'Est Républicain, 1, boulevard Joffre, 54000 Nancy. Tél: 03.83.59.80.54. E-mail: er-redaction.nancy@wanadoo.fr

La composition de notre étoile revue et corrigée par deux chercheurs français

Les secrets du Soleil dans les poussières de Lune

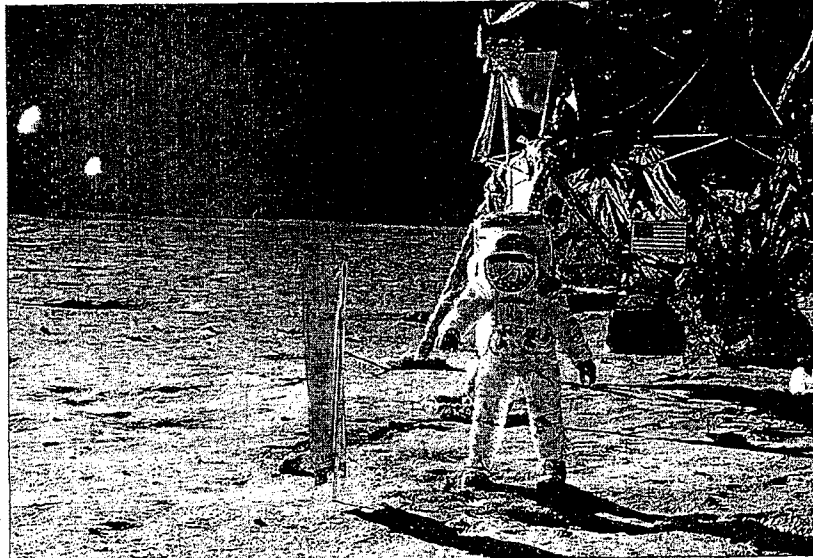
Dans un laboratoire de Nancy, l'étude des pierres rapportées de la Lune par Neil Armstrong en 1969 révèle que la physique du Soleil n'est pas celle que l'on croyait jusqu'alors.

Analyser des poussières lunaires pour mieux connaître le Soleil ? L'idée peut paraître farfelue, mais c'est pourtant ce qu'ont fait ensemble deux géochimistes français, Marc Chaussidon et François Robert. Plus précisément, ils se sont servis des roches lunaires comme d'un piège à vent solaire, ce mystérieux flot ininterrompu d'atomes et de particules électrisées par le Soleil. Les deux chercheurs publient aujourd'hui leurs premiers résultats dans la prestigieuse revue *Nature* (1) : ils annoncent des rapports isotopiques du lithium dans le vent solaire très différents de ceux qui étaient attendus. Les spécialistes de la physique du Soleil vont devoir revoir leurs modèles théoriques.

VANDŒUVRE-
LÈS-NANCY :
de notre envoyé spécial
Cyrille VANLERBERGHE

Le vent solaire, qui est en fait bien plus une pluie de matière qu'un courant d'air, est bien mal compris par les astronomes, ils ne savent d'ailleurs pas bien comment il est formé par le Soleil. Le sujet intéresse d'ailleurs tellement les scientifiques que lors de la première mission lunaire en 1969, l'astronaute Buzz Aldrin mit en place l'expérience de récupération de vent solaire avant même d'ériger le drapeau américain. Chaque minute comptait pour l'expérience : il fallait qu'un maximum d'éléments s'incrustaient dans la petite feuille d'aluminium. En masse totale, le flux est important, mais à 150 millions de kilomètres du Soleil, cela ne représente plus beaucoup d'atomes par mètre carré.

Marc Chaussidon, un grand gaillard costaud et tranquille, un jean et chemise à carreau, explique avec modestie l'intérêt d'étudier la surface lunaire : « Comme il n'y a pas de tecio-



Buzz Aldrin en 1969, avant même de déployer le drapeau américain, installe une voile d'aluminium afin de piéger le maximum de particules du vent solaire. (Photo Nasa)

son confrère François Robert, du Muséum d'histoire naturelle de Paris, pour connaître leur composition chimique, Marc Chaussidon est donc parti à la recherche de pierres lunaires. Après des démarches compliquées auprès de la Nasa, (notre encadré) il a finalement obtenu quelques échantillons.

Dans le bureau du jeune directeur de recherche, derrière une rangée de livres poussiéreux, se cache un petit coffre-fort contenant les précieuses poussières lunaires. Les quelques dizaines de grammes obtenus par Marc Chaussidon sont bien à l'abri dans de petites capsules métalliques. D'après le

chercheur, la roche lunaire n'est pas très impressionnante : « Ce n'est qu'une poussière grisâtre. » Mais il avoue tout de même avoir été plus excité lorsqu'il a reçu les premiers échantillons, sachant qu'ils avaient été ramenés de la Lune près de trente ans plus

tôt, par un certain Neil Armstrong !

A échantillons exceptionnels, machine exceptionnelle. Dans le sous-sol (pour éviter les vibrations) de l'immeuble du Centre de recherches pétrographiques et géochimiques (CRPG), se cache l'une des plus puissantes machines d'analyse pour la chimie des solides : une sonde ionique fabriquée par la société Cameca à Courbevoie (Hauts-de-Seine), dont il n'existe que six exemplaires dans le monde. L'engin semble directement sorti de l'imagination d'un savant fou : un impressionnant pupitre de commande, des tubes métalliques et des file-

Mesure inattendue

Pour les spécialistes, les analyses de Marc Chaussidon et François Robert sont très étonnantes. Ils ont en fait mesuré le rapport entre deux isotopes du lithium (des atomes ayant des nombres différents de neutrons) le lithium 7 et le lithium 6, et ont trouvé qu'il y avait beaucoup plus de lithium 6 que prévu. Une mesure très inattendue puisque le ce dernier est beaucoup plus facilement détruit que le 7 dans le Soleil.

François Robert, géologue du Muséum d'histoire naturelle de Paris, émet l'hypothèse que des quantités de lithium 6 sont produites dans le Soleil, comme conséquence de violentes éruptions solaires. Sylvaine Turck-Chièze, astronome spécialiste de l'intérieur du soleil, admet que « si l'on se fie aux mesures de Chaussidon et Robert, il faut trouver de nouvelles explications sur la physique interne du soleil. L'hypothèse de François Robert sur la synthèse de lithium 6 dans

Des cailloux par la valise diplomatique

La Nasa garde jalousement les quelques 387 kg de roches et poussières lunaires que ses astronautes ont ramenés lors des six missions Apollo. La moitié du butin a été mise de côté, comme réserve, et ne sera jamais distribuée.

fluent n'est jamais superflue. Les échantillons, mesurés en millièmes de grammes, sont alors prêts pour une durée de 3 ans, et doivent être retournés s'ils ne sont pas tous distribués lors des analyses.

« Cette politique ultra-conservatrice est

Dans le ciel et dans l'espace

Où quand la science lorraine explore l'univers.

ETOILES

La nuit des étoiles en forêt de Haye le 6 août est une ultime répétition avant le rendez-vous du 11 août avec une autre étoile : le Soleil ! L'éclipse suscite un énorme intérêt. Mais génère aussi quelques dérapages. Des dizaines de milliers de lunettes défectueuses sont retirées de la circulation à travers la France. Incompréhension des usagers : elles portaient la certification CE, délivrée par l'unité de Neuves-Maisons de l'Institut national de recherche et de sécurité. Qui explique avoir travaillé sur des échantillons. Lesquels répondaient à des exigences non respectées ensuite par les fabricants.

LES SALAMANDRES COSMONAUTES

Les fameuses salamandres nancéennes de l'équipe de biologie de l'espace du Pr Doumon continuent à écrire des pages de l'histoire spatiale ! De nouveaux spécimens s'arrachent à l'attraction terrestre pour rejoindre début avril la station Mir à bord d'un vaisseau russe Progress. Elles retrouvent ainsi le spationaute Jean-Pierre Haigneré, chargé de conduire des expériences de reproduction et de dévelop-

pement en micro-gravité. S le programme scientifique est sérieusement perturbé par des incidents, les prochains cosmonautes n'en participent pas moins au derniers mois de la station Mir.

PLANÈTE TERRE

« Du Big Bang à demain » c'est l'intitulé d'une exposition exceptionnelle proposée d'avril à août par le Muséum Aquarium de Nancy qui retrace ainsi une grande aventure, de la naissance de la Terre à celle de l'homme et passant par les origines de la vie. Reproduction de fameux appareils de Miller fragments de météorite, encore spécimens vivants de limules (des animaux qui n'ont pratiquement pas changé depuis 500 million d'années) ponctuent cette exposition.

LUNE ET SOLEIL

En analysant des poussières lunaires des missions Apollo le laboratoire CRPG-CNR de Nancy vient bousculer les théories sur le fonctionnement du soleil et des étoiles. Bombardés par les vent solaires, les fragment lunaires sont en effet un véritable mémoire de la vie du soleil. Que les chercheurs ont exploité et fait parler.



L'étude des poussières lunaires remet en cause des théories sur le fonctionnement du soleil. Photo Michel FRITSC

