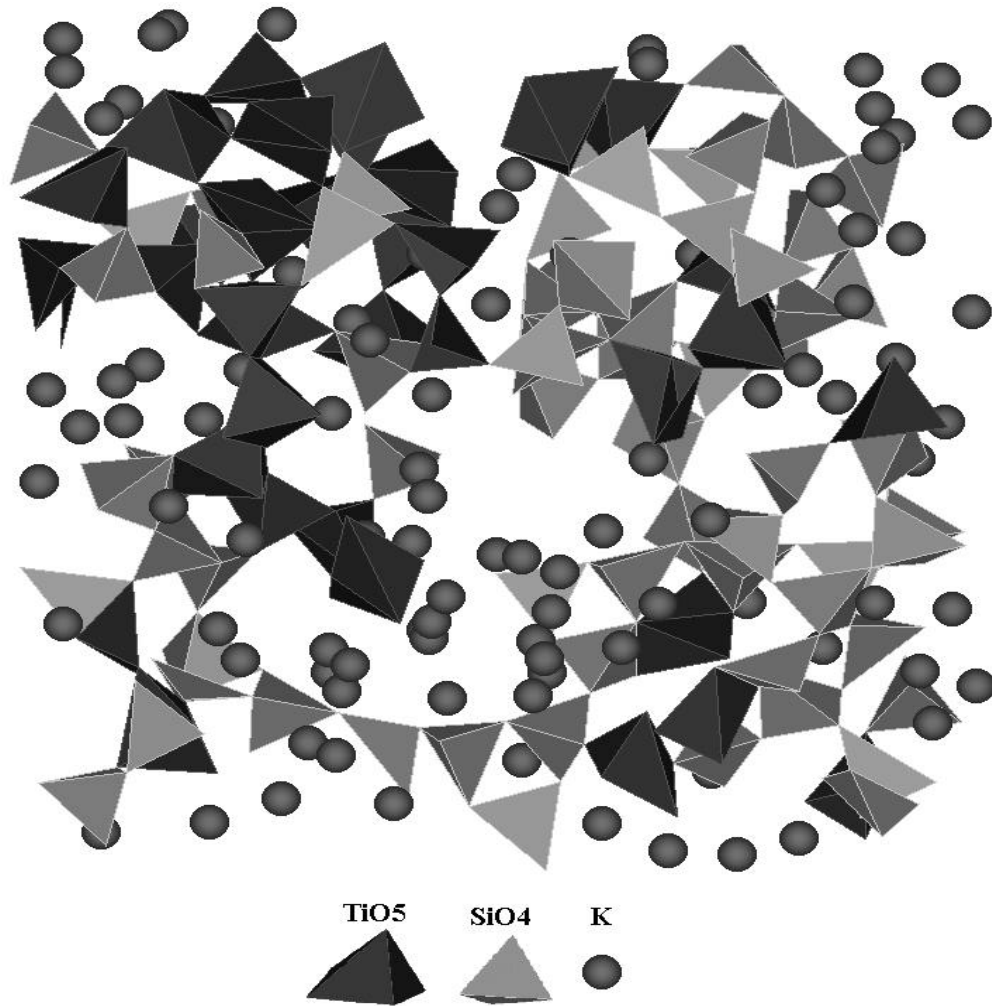


# ORGANISATION STRUCTURALE DES MINERAUX ET DES VERRES



Modèle atomique obtenu par Monte Carlo Inverse sur des données de diffusion des neutrons avec substitution isotopique du verre  $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{TiO}_2 \cdot 2\text{SiO}_2$

## Participants :

*Permanents, chercheurs et enseignants chercheurs* : M.A. Arrio, D.Cabaret, G. Calas, L. Cormier, L. Galois, F. Guyot, Ph. Ildefonse, G.Morin, A. Ramos,

*ITA* : D. Demaille, Y. Wang

*Doctorants et post-docs* : K. Benzerara, B. Boizot, Y. Le Frère, M.Le Grand, L. Lemelle, C. Lemaire, E. Pelegrin, S. Rossano, R. Wulf.

## **-I- COMPORTEMENT STRUCTURAL DES CATIONS DANS LES VERRES NATURELS ET SYNTHETIQUES**

*M.A. Arrio, G. Calas, L. Cormier, D. Demaille, L. Galois, Y. LeFrère, A. Ramos, S. Rossano*

Le rôle structural des cations dans les verres n'est encore que très partiellement compris. Leur environnement est en effet moins bien défini que celui des principaux formateurs de réseau comme le silicium ou le bore, et leur étude demande la mise en oeuvre de méthodes spectroscopiques ou de diffraction des rayonnements chimiquement sélectives. Cependant, leur nature et leur concentration déterminent de nombreuses propriétés physico-chimiques des verres et liquides silicatés, comme les propriétés de transport (conduction ionique, rhéologie...), les propriétés thermodynamiques, les propriétés optiques, la coloration des verres ou la nucléation cristalline...

Etant un des thèmes majeurs de l'équipe, l'étude structurale du comportement des cations dans les verres silicatés se poursuit en utilisant de nombreuses méthodes complémentaires, utilisées conjointement afin de mieux cerner les effets de désordre qui limitent fortement les informations structurales disponibles. La dynamique moléculaire peut également être utilisée pour mieux comprendre la signification structurale des sites occupés par les principaux cations.

### **Ia. L'environnement du fer**

Le fer reste l'élément de transition qui joue le rôle le plus important, que ce soit dans les verres technologiques ou dans les verres naturels comme les verres volcaniques ou les tectites. Les verres volcaniques sont le résultat de la trempe de magmas et sont donc des témoins de la dynamique éruptive. Les verres d'impact ou tectites sont actuellement considérées comme provenant d'impacts de météorites sur la croûte terrestre. Les verres volcaniques (obsidiennes ou verres basaltiques) servent d'indicateurs des conditions de trempe et des interactions entre les fluides (eau et CO<sub>2</sub>) et les magmas. Ces interactions peuvent être suivies par des spectroscopies du solide: modifications de la structure des verres, du degré d'oxydation du fer, de la géométrie des sites occupés par le fer ferreux et ferrique ainsi que la présence de nanophases d'oxydes Fe-Ti. La spectroscopie d'absorption optique, la spectroscopie Mössbauer et la spectroscopie d'absorption des rayons X (au LURE et à l'ESRF) nous permettent de déterminer l'environnement local autour du fer ainsi que la connectivité avec le réseau silicaté.

#### **Fe<sup>2+</sup>**

L'environnement du fer ferreux est discuté en raison de la contradiction des résultats obtenus à partir des principales méthodes spectroscopiques. Nous avons combiné plusieurs approches complémentaires : données EXAFS dépouillées à l'aide du code GNXAS, qui donne accès à des fonctions de distribution de paires partielles, spectrométrie Mössbauer couplée à une analyse des effets de distribution de sites, modélisation de la structure du verre par dynamique moléculaire, spectrométrie de seuils K et L associée à une analyse des effets de champ cristallin. Trois types de données récentes ont été obtenues dans l'équipe :

-- mise en évidence d'une distribution continue de sites, entre des coordinences 4 et 5, montrée par spectrométrie Mössbauer, montrant la difficulté de définir de façon précise, pour un élément donné, un site cationique unique dans les verres oxydes.

-- confirmation des coordinences 4 et 5 à la fois par simulation numérique et par dépouillement des données EXAFS, correspondant respectivement à des sites tétraédriques distordus et à une bipyramide trigonale. C'est cette approche qui confirme également l'existence d'une distribution continue et non d'une distribution bimodale des environnements du fer entre ces deux extrêmes. Cette distribution continue résulte des déplacements atomiques qui se produisent dans le silicate fondu et qui sont à la base des propriétés rhéologiques de ces composés, le fer représentant donc bien une image figée du liquide fondu.

-- confirmation d'une coordinence faible du fer ferreux dans les verres silicatés par spectrométrie XANES haute résolution, la structure fine des prépics indiquant l'absence de fer ferreux en coordinence octaédrique.

#### **Fe<sup>3+</sup>**

La spectroscopie Mössbauer et l'analyse EXAFS au seuil K du Fe ont permis de montrer que le fer ferrique se place majoritairement en site de coordinence 4 dans les verres synthétiques de silicate alcalin. Cependant, la présence de Fe<sup>3+</sup> en coordinence 6 dans les verres synthétiques de silicate alcalino-terreux est également connue. Cette coordinence élevée est favorisée lorsque le redox est supérieur à 0.5. Plus récemment, grâce à la spectroscopie XANES à haute résolution (prépics) nous avons pu déterminer l'état redox du fer dans des verres volcaniques avec une précision de 10% par rapport aux analyses chimiques. Nous avons pu montrer que des verres basaltiques contenant plus de 6% en poids de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> montrent une fraction importante de Fe<sup>3+</sup> en coordinence 6 alors que des verres plus siliceux contiennent essentiellement du Fe<sup>3+</sup> en coordinence 4. Ceci implique que la détermination des états redox dépend fortement des informations obtenues sur les sites occupés

par les deux degrés d'oxydation du fer.

L'ensemble des données obtenues dans notre équipe depuis quatre ans montre que le fer ferreux à un comportement structural similaire à celui observé pour le nickel divalent dans les verres d'oxydes, avec en particulier l'absence de sites octaédriques par opposition à ce qui est observé dans les phases cristallisées. Le lien reste encore cependant à faire avec les spectres d'absorption optique du fer ferreux dans les verres, spectres qui semblent n'indiquer qu'une faible proportion de sites tétraédriques. Un travail est donc en cours pour essayer de résoudre cette contradiction apparente (thèse de Yannick Lefrère). Sur la base de ces informations, obtenues sur des verres volcaniques concentrés et les verres synthétiques, des études sont actuellement menées pour déterminer l'environnement du fer dans des verres naturels (tectites et obsidiennes) plus dilués. Etant donné le mélange de différents états redox du Fe ainsi que de plusieurs coordinences, la spectroscopie XANES à haute résolution (prépics) est une méthode qui s'avère particulièrement adaptée à la détermination quantitative de l'environnement local du Fe<sup>2+</sup> et du Fe<sup>3+</sup> dans ces verres.

### **Ib. L'environnement des autres cations de transition**

Le titane est un cation fortement chargé, qui donne aux verres silicatés des propriétés remarquables, comme une expansion thermique très faible, et qui perturbe de façon importante les propriétés rhéologiques et thermodynamiques. Il joue également un rôle nucléant dans certaines compositions vitreuses. Nous avons étudié la structure d'un verre silicaté de composition  $K_2O-TiO_2-2SiO_2$  en utilisant la diffraction de neutrons avec substitution isotopique, couplée avec des simulations Monte-Carlo inverse. Cette composition montre une anomalie importante de chaleur spécifique à la température de transition vitreuse, interprétée comme un excès d'entropie de configuration dans les systèmes titanosilicatés par rapport aux verres silicatés alcalins. La qualité des données obtenues sur le diffractomètre SANDALS sur la source à spallation d'ISIS a permis d'obtenir des fonctions d'interférence s'étendant jusqu'à  $50 \text{ \AA}^{-1}$ . Il a été ainsi possible d'obtenir une bonne description structurale de ce verre, en particulier au niveau de l'environnement à moyenne distance autour du titane. Cet élément se trouve dans des sites de coordinence 5, formant une pyramide à base carrée, avec un oxygène non portant appartenant à une liaison titanyl. Les fonctions de deuxième différence, qui donnent directement accès à la distribution Ti-Ti, montrent une distribution hétérogène du titane dans la structure du verre. L'interprétation des données expérimentales dans des verres multicomposants étant difficile, notamment à grande distance, nous avons réalisé des simulations par Monte Carlo Inverse à l'aide du code RMCA fourni par R.L. Mc Greevy (Uppsala). Un modèle a ainsi été obtenu à partir des données de diffusion de neutrons. Ces simulations ont confirmées la structure inhomogène du verre, avec une première distance Ti-Ti en accord avec celle obtenue expérimentalement. Les sites contenant du titane sont ainsi connectés par leurs quatre oxygènes pontant à deux tétraèdres silicatés et à deux autres sites contenant du titane. Ceci explique comment le titane contribue à la polymérisation du réseau vitreux silicaté. Les liaisons par sommets entre ces différents polyèdres montrent que les régions enrichies en titane ont un caractère bidimensionnel, les atomes de potassium servant à compenser l'excès de charge sur les oxygènes non pontant participant à la liaison titanyl. Ceci explique la grande stabilité de ces verres enrichis en titane, alors que le titane joue un rôle nucléant à des concentrations beaucoup plus faibles dans de nombreuses compositions silicatées et aluminosilicatées.

Nous avons repris l'étude de l'environnement du nickel dans des verres boratés faiblement alcalins. Dans ces compositions, en effet, le nickel se trouve dans des sites octaédriques, coordinence rarement observée pour des éléments de transition divalents dans les verres oxydes. Les spectres EXAFS, obtenus à LURE à basse température, ont été interprétés en incorporant une analyse des processus de diffusion multiple. Il existe un ordre radial étendu autour du nickel, avec notamment l'existence d'un pic à  $6 \text{ \AA}$  lié à la présence de paires Ni-Ni. Ces verres montrent l'existence de domaines tridimensionnels enrichis en nickel, dans lesquels les octaèdres réguliers contenant du nickel sont associés par sommets et par arêtes, malgré la faible concentration en nickel (1.8 %mol). La présence de ces domaines enrichis est probablement associée à la géométrie rigide des groupes boratés présents dans ces verres alcalins, indépendamment de la nature de l'alcalin présent en faible concentration. Leur présence explique la faible activité du nickel dans ces verres à faibles taux d'alcalins, contrairement aux verres contenant des concentrations plus importantes en alcalins dans lesquels la solubilité du nickel divalent augmente fortement.

### **Ic. L'environnement d'autres cations**

Le lithium est un alcalin de faible taille qui joue un rôle très important dans de nombreux matériaux vitreux silicatés, permettant d'élaborer des vitrocéramiques à faible coefficient d'expansion thermique et des conducteurs ioniques rapides à haute température. L'environnement du lithium dans un verre de composition  $LiAlSiO_4$  a été étudié par diffusion des neutrons avec substitution isotopique du lithium et modélisation par méthode de Monte-Carlo inverse. Ce verre, dont l'équivalent cristallisé est la  $\beta$ -cryptite, possède une structure tridimensionnelle. Les atomes de lithium se trouvent dans des sites tétraédriques distordus, associés par arêtes

avec les tétraèdres aluminosilicatés, permettant ainsi d'assurer une compensation de charge locale pour l'aluminium tétraédrique. Les distances lithium -- lithium sont d'environ 5 Å, une valeur plus grande que celle observée dans les verres silicatés, 3.1 Å. Dans ce dernier cas, des distances faibles indiquent une distribution non aléatoire des atomes de lithium à l'intérieur de la matrice silicatée, alors que le rôle du lithium comme compensateur de charge de l'aluminium amène une distribution plus homogène de cet alcalin. Des simulations par Monte Carlo Inverse ont également montrées que les distances Li-(Si/Al) étaient significativement supérieures à celles observées dans les silicates. Ces distances traduisent des associations entre tétraèdres (LiO<sub>4</sub> et (Si,Al)O<sub>4</sub>) par arêtes. Ces différences expliquent une énergie d'activation plus faible pour la migration du lithium dans les verres aluminosilicatés par rapport aux verres silicatés, en relation avec une conduction ionique rapide.

La différence de comportement des cations entre verres silicatés et aluminosilicatés a été également étudiée dans le cas du strontium. Nous avons comparé les données obtenues par diffusion anormale des rayons X (thèse de Sophie Creux, 1996) et par diffusion des neutrons, en assimilant ces données par méthode de Monte-Carlo inverse. Il n'existe pas en effet d'isotope du strontium qui donne des contrastes suffisants pour utiliser la méthode de substitution isotopique. Les sites occupés par cet élément ne sont pas les mêmes dans les verres silicatés et aluminosilicatés, les distances Sr-O étant plus grandes dans le verre aluminosilicaté (2.7 Å) que dans le verre silicaté (2.55 Å). Ceci indique un rôle structural différent du strontium dans les deux verres, cet élément passant du rôle de modificateur dans le verre silicaté à celui de compensateur de charge dans le verre aluminosilicaté. Les distances strontium-strontium, environ 4 et 7 Å, sont plus courtes que ce que l'on attendrait la composition chimique associée à une distribution aléatoire : ceci indique une distribution hétérogène des cations dans les deux types de verres, ce qui implique une distribution inhomogène de l'aluminium dans le verre aluminosilicaté. Ces distances indiquent, comme dans le cas d'autres cations alcalino-terreux, l'existence de domaines bidimensionnels dans les verres oxydes.

## **-II- AUTRES ETUDES STRUCTURALES SUR LES VERRES SILICATES**

*G. Calas, L. Cormier, A. Ramos, R. Wulf.*

### **IIa. Etude par diffraction de l'organisation à moyenne distance dans les verres silicatés**

Les spectres de diffraction des neutrons et des rayons X de matériaux amorphes présentent généralement un pic à bas moment de transfert ( $Q < 2 \text{ \AA}^{-1}$ ). Ce pic est associé à une organisation à moyenne distance dont l'origine demeure très controversée. Nous avons utilisé des données de diffraction des neutrons et des rayons X obtenus sur des verres silicatés et aluminosilicatés contenant du Sr. En collaboration avec Philip Gaskell (Universités de Cambridge), les spectres expérimentaux obtenus sur les verres ont été comparés à des spectres simulés à partir de structures cristallines de compositions voisines. Nous avons ainsi mis en évidence que les spectres simulés présentent des pics proches (en position et en intensité) de ceux observés expérimentalement à faible Q et que ces pics simulés dépendent de la corrélation de paire cation-cation. L'organisation structurale des cations et des interférences constructives ou destructives entre les paires Sr-Sr et le réseau (alumino-) silicaté sont des facteurs importants pour expliquer les spectres à faible Q (un ou plusieurs pics, épaulement). Ces résultats suggèrent que les pics à faible Q dans les verres ont une origine proche de ceux obtenus sur des cristaux de compositions similaires. En particulier, ils pourraient provenir de l'existence dans les verres de pseudo plans de Bragg, fortement distordus et de taille réduite, sans pour autant impliquer un modèle de cristallites. Ces résultats indiquent que la structure à moyenne distance et l'arrangement structural entre les cations dans les verres sont proches de ceux des cristaux de composition équivalente.

### **IIb. Processus d'incorporation des gaz rares dans les verres : le cas du krypton**

La dissolution des espèces volatiles dans les verres et liquides silicatés est un sujet d'intérêt commun aux Sciences de la Terre et à la Science des Matériaux. Les processus de dissolution physique d'espèces neutres comme les gaz rares restent en particulier très controversés. Il est couramment admis cependant que les propriétés de transport des gaz rares dans les liquides et les verres silicatés sont contrôlées par la taille des cavités ménagées par le milieu. Nous avons, à l'occasion du séjour post-doctoral de R. Wulf (programme européen Capital Humain et Mobilité), pu déterminer l'environnement du krypton dissout dans un verre de silice synthétisé sous 7 kbars. Les spectres d'absorption X montrent un environnement exceptionnellement bien organisé, avec des voisins oxygène situés à 3.45 Å. Ces distances se situent à la limite supérieure des tailles des cavités présentes dans la silice, ce qui suggère un environnement dont la géométrie a été forcée lors de la diffusion sous pression du krypton dans la silice surfondue, étant compatible avec la formation d'un environnement compact, donnant une structure locale de type clathrasil.

### **IIc. Etude du réseau polymérique de verres aluminosilicatés**

Le système SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-CaO est particulièrement attractif en raison des nombreuses applications

possibles de ces matériaux qui possèdent une nature réfractaire importante, des propriétés optiques et mécaniques intéressantes pouvant trouver des applications comme fibres de transport, capteurs infrarouge ou matériaux composites d'infrastructures.

Les verres contenant de faible teneur en silice présentent un maximum dans leur température de transition vitreuse,  $T_g$ , vers 10%mol  $\text{SiO}_2$ . Ce comportement, qui traduit une modification importante de la structure en fonction de la composition, n'était jusqu'à présent pas compris. Nous avons entrepris avec Daniel Neuville (CR, IPGP) l'étude de ces verres par spectrométrie Raman, diffusion des neutrons (sur la source de spallation anglaise d'ISIS) et diffusion des rayons X (sur un diffractomètre de laboratoire avec une source au Mo). Ces différentes techniques permettent d'obtenir des informations à la fois sur le réseau polymérique (le réseau aluminosilicatés) et sur l'environnement autour de Ca, en apportant des informations à la fois locale (sites de coordination de chaque élément) et à moyenne distance (enchaînement des unités structurales de base,  $\text{SiO}_4$  ou  $\text{AlO}_4$ ).

Une analyse détaillée des données de diffusion a permis de montrer que, contrairement aux propositions avancées jusqu'à présent pour expliquer les variations de  $T_g$  en fonction de la teneur en  $\text{SiO}_2$ , le rôle de Si n'était pas déterminant. Son introduction entraîne une évolution progressive de la structure sans modifications brutales. Nous avons montré que la polymérisation du réseau aluminat, en fonction de la teneur en CaO, permettait de comprendre ces variations de  $T_g$ . De forte teneur en CaO favorise un réseau aluminat en couche, qui devient progressivement plus polymérisé avec une diminution de la teneur en CaO. Ces résultats sont également en accord avec des mesures par RMN et spectrométrie Raman.

#### **-IV- LES ELEMENTS EN TRACES ET MINEURS DANS LES OXYDES ET MINERAUX SILICATES**

*L. Galoisy, G. Calas, S. Rossano*

La phase spinelle est une des phases majeures du manteau supérieur terrestre. Le spinelle nickelifère est un analogue du spinelle naturel ( $\gamma$ - $(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$ ). Le spinelle de  $\text{Ni}^{2+}$  ( $\gamma$ - $\text{Ni}_2\text{SiO}_4$ ) a été synthétisé et étudié par réflectance diffuse afin de mettre en évidence les paramètres de champ cristallin et les variations de distance interatomique Ni-O à la transformation de phase olivine-spinelle. Ce minéral a également servi de référence spectroscopique pour des études spectrales de localisation du nickel dans les structures minérales. A partir de cette étude, une réflexion a été menée sur les distributions intracristalline de certains éléments dans les minéraux. Ce travail a permis de montrer la complémentarité entre la diffraction qui donne des informations moyennes et les méthodes spectroscopiques, qui permettent d'obtenir des informations spécifiques sur le site occupé par ces éléments traces.

L'influence de la nature des ligands et des seconds voisins a été étudiée sur une série de phyllosilicates chromifères. L'intensité du paramètre de champ cristallin  $\Delta$  suit bien une relation en  $1/r^5$ , à l'intérieur de chaque famille dioctaédrique et trioctaédrique. L'influence majeure provient de la nature des seconds voisins, divalents ou trivalents qui modifient de façon très importante tant le paramètre  $\Delta$  que le paramètre de Racah, lié à la covalence des liaisons Cr-O. En revanche, la nature des ligands, oxygène ou hydroxyle, est secondaire. Ce comportement explique la stabilité du chrome dans des structures de type clinocllore, où il se trouve dans les feuillets brucitiques (Platonov et al., 1997).

#### **-V- MINÉRALOGIE SOUS TRÈS HAUTE PRESSION**

*F. Guyot*

L'effort entrepris au cours du contrat précédent pour la détermination d'équations d'état de minéraux de la Terre profonde a été poursuivi, ce qui a permis d'obtenir données et modèles sur l'olivine (Guyot et al. 1996), la perovskite calcique (Wang et al. 1996), la magnésite (Zhang et al. 1997), la sidérite (Zhang et al. 1998), la silice (Andrault et al. 1998), le fer et les alliages fer-silicium (Guyot et al. 1997; Zhang and Guyot 1999 a et b). Par ailleurs, nous avons construit des modèles thermodynamiques originaux sous haute pression de l'olivine (Guyot et al. 1996, Gillet et al. 1997), de la wadsleyite (Reynard et al. 1996), de la perovskite magnésienne (Gillet et al. 1996, Gillet et al. 2000) et obtenu des données dynamiques sur des perovskites analogues des matériaux profonds (Thèse Pierre Emmanuel Petit au laboratoire géomatériaux, Petit et al. 1997). Une approche nouvelle a permis l'incorporation d'effets fréquentiels dans la thermodynamique de la Terre profonde (DEA A. Dewaele, Dewaele and Guyot, 1998) et une application a été entreprise sous le bouclier nord américain (Vinnik et al. 2000). Par ailleurs, des mesures de structures et d'équations d'état ont été effectuées pour la première fois sur des

liquides (fer et alliages) sous haute pression à l'ESRF (Thèse C.Sanloup à l'ENS Lyon, Sanloup et al., 1998; Sanloup et al. 2000). La possibilité d'obtenir des équations d'états sur les liquides géophysiques sous pression ouvre des perspectives importantes pour contraindre la composition du noyau terrestre, du noyau martien, ainsi que les mécanismes de différenciation planétaire. Tous ces efforts d'acquisitions de données s'inscrivent dans une perspective internationale soutenue par le programme SEDI visant à obtenir un modèle quantitatif de la Terre profonde. Une synthèse en français de ce champ de recherches a été réalisée (Guyot et al. 2000).

Les mécanismes de transitions de phases responsables des transitions de 400 km et 660 km dans la Terre profonde et donc de leurs caractéristiques sismiques fines ont été précisés (Petit et al., 1996, Reynard et al., 1996; Wang et al., 1996; Martinez et al. 1997). Par ailleurs, les éléments de transition sont de précieux marqueurs des processus géochimiques et des traceurs de l'origine des minéraux. Leur cristalochimie constitue un axe majeur de recherche de l'équipe de minéralogie. Nous avons étudié leur distribution entre les phases du manteau inférieur de la Terre pour mieux contraindre sa composition chimique et avons développé un modèle cristalochimique prédictif (Martinez et al., 1997, Malavergne et al., 1997). Par ailleurs, nous nous sommes intéressés à leur comportement lors des échanges métal-silicates avec pour objectif de discriminer entre différents modèles de formation du noyau et de différenciation de la Terre (Malavergne et al. 1999). Enfin, un développement important a permis de mesurer la distribution fer II; fer III entre les deux phases majeures du manteau inférieur de la Terre par spectroscopie de pertes d'énergie d'électrons au microscope électronique (Gloter et al. 2000).

#### **-VI- MINERALOGIE EXTRA-TERRESTRE**

*F. Guyot, L. Lemelle, K. Benzerara*

La différenciation métal/silicates dans le système solaire et la Terre primitifs a été étudiée en collaboration avec l'équipe de Lille par microscopie électronique analytique en transmission dans des objets naturels (chondrites ordinaires de type 6; Leroux et al. 1996; Leroux et al. 2000). Ces études ont permis de montrer l'importance des phénomènes de choc pour expliquer certaines microstructures observées ainsi que la distribution d'éléments chimiques entre métal et silicates dans les météorites. Une approche expérimentale des processus de réduction de l'olivine conduisant à la formation de nanophases métalliques dans des conditions pertinentes pour la nébuleuse solaire primitive a également été menée (Thèse Laurence Lemelle soutenue en décembre 1998, Lemelle et al. 1998, Lemelle et al. 2000) en collaboration avec Guy Libourel de Nancy pour une partie du travail (un article soumis et deux articles en préparation). Ces études ont permis d'interpréter en termes de processus plusieurs microstructures observées dans de nombreux objets naturels (dusty olivines des chondres et ureilites) et de donner des indications nouvelles sur la cinétique des événements thermiques brefs se produisant dans la nébuleuse solaire primitive. Enfin, motivé par la mise en place du programme d'exploration de Mars, une action méthodologique en vue de la recherche et l'imagerie de traces de vie dans des échantillons à biomasse faible a été entreprise et a conduit à développer, en collaboration avec nos collègues de l'ENS Lyon et du CEA Cadarache des méthodes d'imagerie d'assemblages bactéries-minéraux (Thèse Karim Benzerara au laboratoire, Gillet et al. 2000)

#### **-VII- MINERALOGIE DES AMIANTES**

*F. Guyot, C. Lemaire, Y. Wang*

Dans le cadre de la thèse de Céline Lemaire co-financée par le BRGM et l'ADEME, nous avons mis au point un test fiable par spectroscopies vibrationnelles couplées (Raman et IR) de présence d'amiante dans des matériaux de construction réels, par ailleurs difficile à évaluer par des méthodes classiques (dans le cas présent dalles vinyles amiantées). L'article correspondant est en cours de rédaction. Par ailleurs, plusieurs études fondamentales de la spectroscopie vibrationnelle des amiantes ont été entreprises (Lemaire et al. 2000 soumis; Mellini et al. soumis), ainsi qu'une évaluation critique des méthodes de détermination de pollution aérienne par l'amiante (Besson et al., 1999). Un contrat industriel a été passé pour évaluer scientifiquement un procédé d'inertage d'amiante proposé par la société Inertec.