

PROSPECTIVE INSU

EXPERIMENTATION EN SCIENCES DE LA

TERRE

Ce document préparatoire est établi à partir de l'expérience accumulée par le fonctionnement du groupe *ad hoc* équipements mi-lourds en expérimentation depuis 1997 et des discussions tenues sur l'avenir de l'expérimentation en Sciences de la Terre lors d'un atelier de prospective qui s'est tenu à Lyon en Octobre 2001, réunissant des représentants de différents laboratoires intéressés par ces thématiques.

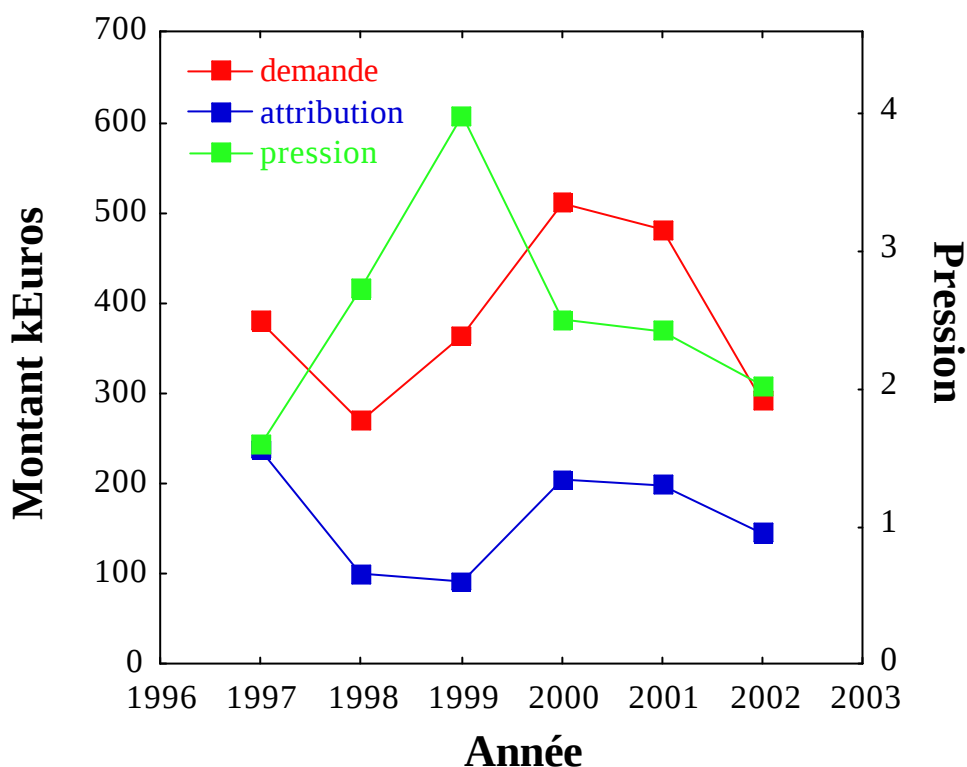
Fonctionnement du groupe *ad hoc* Expérimentation : bilan 1997-2002

But et cadre d'action du groupe Expérimentation

Ce groupe a pour but de financer des expériences originales et les méthodes d'observation *in situ* afférentes. Par expérimentation, on entend tout dispositif visant à reproduire dans des conditions contrôlées en laboratoire, à l'échelle ou à échelle réduite, des phénomènes naturels, et à les observer *in situ* par des techniques d'imagerie, de diffraction, de spectroscopie...

Evolution quantitative et qualitative des demandes et financements

Ce groupe *ad hoc* a été créé suite à la dernière prospective à Poitiers et son fonctionnement sur les six dernières années permet de jauger l'opportunité de cette création avec le recul nécessaire. L'évolution quantitative des demandes, financements et la pression correspondante sont reportés dans la figure ci-dessous.



Comme il pouvait être espéré, il y a eu une augmentation en flèche de la pression au cours des trois premières années, ce qui montre que la création du groupe répondait à une demande effective de la communauté. Cette augmentation coïncide avec une diversification importante des types de demandes qui sont détaillés ci-dessous. Cette augmentation n'a pu être gérée qu'avec une augmentation de l'enveloppe globale à travers le soutien du Fonds National de la Science à partir de 2000. A l'heure actuelle, on semble aller vers une stabilisation autour de 300-400 k€ pour les demandes, et le niveau actuel de financement de 150-200 k€ est une base de travail raisonnable.

Une partie importante des demandes émane naturellement des laboratoires “ de tradition expérimentale ” dans les domaines de l’étude des matériaux solides et fluides à haute pression et haute température. Cette communauté est bien structurée de par ses nombreuses collaborations internes mais aussi par ses liens avec des équipes des départements de physique et chimie. A ce titre, l’existence du réseau “ Hautes Pressions ” transverse aux différents départements du CNRS permet l’échange de compétences ou de matériel, et une plus grande efficacité dans l’implantation et le transfert de nouvelles techniques, les compétences des différents laboratoires étant clairement établies. L’autre part importante des demandes concerne les expériences analogiques, qu’il s’agisse de modélisation du comportement mécanique de la lithosphère ou des processus volcaniques à une échelle plus fine. L’ensemble de ces

expériences relevait, jusqu'à il y a cinq ans, principalement des thématiques "Terre profonde" ou les laboratoires demandeurs ont acquis une forte réputation. Cet état de fait est un signe du dynamisme et des fortes interactions au sein de la communauté expérimentation en France qui doit être soutenue à travers :

- 1) le renouvellement, l'amélioration des appareils disponibles et l'implantation d'expériences légères; ces opérations sont en général d'un coût relativement modique (financements INSU typiquement de l'ordre de 15 à 30 k€), et soutiennent souvent l'installation de jeunes chercheurs ou le développement d'expériences transportables sur les grands instruments (ESRF); ces demandes sont récurrentes avec une enveloppe annuelle de demande variant entre 150 et 250 k€ et un taux de financement de l'ordre de 1/2 à l'heure actuelle;
- 2) le développement de techniques nouvelles qui demande un effort financier plus important (presses de très haute pression ou de gros volume; méthodes spectroscopiques) et dont il est généralement souhaitable que le fonctionnement soit régi par le label "instrument national" (presse multi-enclumes à Clermont-Ferrand ; centre de spectroscopies in situ à Lyon) pour une plus large ouverture possible à la communauté et pour éviter les redondances.

L'articulation avec les thématiques de recherche "Enveloppes superficielles" s'est faite dans un premier temps à travers les activités expérimentales en volcanisme, qu'il s'agisse de pétrologie (e. g. expériences de dégazage des magmas) ou analogiques (dynamismes volcaniques). Les demandes émanant de laboratoires travaillant sur les systèmes de basse température (environnement, interactions vivant-minéral, ...), de géomorphologie (expériences analogiques sur la stabilité de terrains, l'érosion et le transport) étaient peu nombreuses jusqu'en 1999. *L'augmentation du nombre de demandes dans ces secteurs a été incité dans les appels d'offres* au vu de l'importance croissante qu'ils prennent dans les programmes de recherche en Sciences de la Terre. Tout comme dans le domaine des hautes pressions hautes températures, deux types de demandes étaient attendues :

- 1) celles couvrant des dispositifs expérimentaux dont le financement peut être géré dans l'enveloppe récurrente du groupe; ces actions (e. g. réacteurs biogéologiques terrestres ou aquatiques, expériences analogiques d'érosion) ont pu être soutenues sans que les domaines d'expérimentation traditionnels n'en pâtissent;
- 2) celles couvrant l'installation des nouvelles techniques coûteuses; on peut en particulier penser aux techniques d'analyse in situ de surface (XPS, microscopies de

champ proche, ...); pour ces demandes qui dépassent les capacités de financement du groupe, et souvent son seul domaine de compétence, la décision est à reporter lors de l'arbitrage de la CSST après avis positif du groupe *ad hoc*. Aucune demande de ce type n'est encore parvenue.

Au bilan, *l'ensemble des projets soutenus montre une diversité thématique importante qui est souhaitable pour un groupe dont l'intitulé n'est pas disciplinaire*. Cette diversité se marque aussi dans la variété des exposés qui ont été donnés lors de l'atelier de prospective à Lyon.

Instruments nationaux et actions marquantes

Il existe deux équipements labélisés "instrument national INSU" en expérimentation :

- la presse multi-enclumes à Clermont-Ferrand (Resp. : Tahar Hammouda)
- le centre de spectroscopie *in situ* à Lyon (Resp. : Bruno Reynard)

Le fonctionnement des deux instruments correspond aux critères d'ouverture requis avec une occupation par des utilisateurs extérieurs au laboratoire d'accueil d'environ 50%, une partie de ces utilisateurs appartenant à d'autres secteurs du CNRS (physique et chimie notamment). Le fonctionnement est en partie assuré par une dotation récurrente INSU qui couvre les frais d'expérience en consommables divers et contrats de maintenance, les missions restant à la charge des utilisateurs. Un comité de suivi des deux centres est assuré par le groupe des moyens mi-lourds expérimentation élargi aux responsables de centre. Il n'y a pour l'instant pas d'autres demandes d'ouverture d'instruments nationaux. La création d'un centre de calorimétrie a été suggérée au cours de l'atelier de prospective ; il pourrait prendre la forme d'un instrument national.

Outre les instruments nationaux, le comité a soutenu certaines actions de portée financière et/ou scientifique importante. Il s'agit des expériences :

- de géodynamo à Grenoble (H C Nataf, UMR 5569)
- de réacteurs biogéochimiques en contexte terrestre (T Bariac UMR 7618) ou aquatique (C Lécuyer UMR 5125)
- de la presse triaxiale et du piston-cylindre à l'ENS Paris (UMR 8538)

- du développement d'un centre d'expérimentation analogique sur l'érosion à Rennes (A Crave UMR 6618)
- du centre de synthèse à très hautes pressions statiques qui se met en place sur le site de Jussieu (G Fiquet UMR 7590).

Pour les actions plus "récurrentes", il s'agit de soutien au maintien des équipements et au développement d'expériences dans le champ des basses et moyennes pressions : calorimètre DSC, systèmes de décompression contrôlée, nébulotron ... ou des hautes pressions : CED à chauffage externe. Certaines de ces actions viennent en amont d'équipements lourds, il s'agit en particulier du financement de cellules, autoclaves ou autres enceintes de confinement qui sont utilisées pour des applications de techniques spectroscopiques, de diffraction ou d'imagerie X sur les synchrotrons (LURE à Orsay, ESRF à Grenoble).

Compte-rendu de l'atelier de prospective

La communauté expérimentation des sciences de la terre s'est réunie à l'ENS Lyon les 23 et 24 Octobre. Environ 70 à 80 personnes étaient présentes, représentant une part essentielle des laboratoires et des formes d'expérimentation. On a pu se rendre compte à cette occasion que cette communauté a été dans l'ensemble très nettement rajeunie. Une vaste gamme d'expérimentations a été présentée et discutée. On peut distinguer quelques grands domaines : l'expérimentation analogique, l'expérimentation *in situ*, l'expérimentation *ex situ*, le nouveau domaine des interactions entre organismes vivants et minéraux *sensu lato* ou géobiologie. Le climat général des discussions a été très serein et responsable, et pour tout dire très agréable. Un certain nombre de points a été évoqué au cours de ces deux jours :

- Il y a une forme de stabilité dans la communauté, les centres d'excellences fonctionnent bien, et l'on ne voit pas apparaître de nouveau centre sur les dernières années. Toutefois certains centres évoluent sur le plan technique ou thématique (abandon des hautes pressions à Nancy, développement de la volcanologie expérimentale à Orléans, démarrage de la géobiologie à Lyon et à Toulouse, de la géomorphologie à Paris et Rennes).

- Dans le domaine de l'expérimentation analogique, il y a à la fois des expériences "légères" en volcanologie et géomorphologie et une grosse expérience sur la dynamo. L'expérience dynamo a progressé et obtenu des résultats déjà impressionnants. Elle se poursuit de façon méthodique. Pour la modélisation en volcanologie et géomorphologie, on peut noter un couplage de plus en plus systématique avec la modélisation numérique, ce qui est une très bonne chose. Il apparaît une difficulté commune à beaucoup de chercheurs dans ce domaine qui est celui de la mesure et de l'imagerie. Comment fait pour avoir des images de qualité, comment mesurer des vitesses, des changements de morphologie ? Enfin, les acteurs privilégient un fonctionnement où les groupes assurent le développement de leurs propres dispositifs et mutualisent certains équipements de caractérisation des matériaux analogues (e. g. viscosimètre, densimètre, ...).

- Dans le domaine de l'expérimentation *in situ*, l'utilisation du rayonnement synchrotron s'est généralisée, et la palette de techniques utilisée s'est fortement diversifiée depuis les premières expériences de diffraction et de spectrométrie d'absorption. Les chercheurs des sciences de la terre sont fortement impliqués dans l'adaptation des techniques nouvelles (spectroscopies d'absorption et de fluorescence, diffusion inélastique, ...) et les multiples ressources de ces très grands instruments sont rapidement appliquées à des problèmes relevant des Sciences de la Terre. La communauté est très attentive aux évolutions futures des synchrotrons et participe activement à la définition des nouveaux programmes et équipements. Des techniques spectroscopiques basées sur l'utilisation de rayonnements lumineux ou proches (IR, UV) sont développées notamment au centre de spectroscopie de Lyon, où le seront sur les synchrotrons de Grenoble (ESRF) ou Saclay (SOLEIL), en particulier pour la caractérisation d'échantillons complexes (minéraux/microorganismes) et dans des conditions extrêmes. Le développement d'enceintes de confinement (pression, température, stérilité, quarantaine, mini-P4) permettant l'utilisation des techniques *in situ* est un corollaire nécessaire qui doit continuer à être soutenu activement.

- Dans le domaine des expériences *ex-situ* (analyses des produits après expériences), aucune révolution technique n'est apparue ces dernières années ni ne semble se dessiner. Le parc instrumental est en bon état et la presse multi-enclumes nationale fonctionne parfaitement. Dans ce domaine, c'est essentiellement la créativité des chercheurs qui assure le développement et le renouvellement des thématiques scientifiques.

- *La véritable révolution en cours est le développement de l'expérimentation impliquant le vivant.* Des champs entièrement vierges sont à défricher et plusieurs équipes d'expérimentateurs français ont commencé les études des systèmes minéraux/biologiques. L'utilisation des techniques in situ évoquées plus haut est évidente pour le développement de ce champ d'applications, en parallèle avec l'adaptation de techniques venues de la biologie/biochimie moléculaire (e. g. PCR).

- Enfin il est apparu qu'un effort devait être fait en faveur de la calorimétrie. Cette discipline est moribonde à l'échelle mondiale, mais il se trouve qu'il existe en France des compétences de haut niveau qu'il conviendrait de pérenniser, peut être sous la forme d'un outil national. Cela passe sans doute par l'ouverture du champ d'investigation aux matériaux finement divisés et complexes (composites minéraux ou minéral-organiques, ...) et impliquent une caractérisation fine et très précise de ces matériaux a priori et a posteriori.

La valorisation de chaque expérience passe dorénavant par un accroissement incontournable de l'utilisation des méthodes de visualisation et de mesures in situ :

- Pour la modélisation analogique, les besoins vont vers des méthodes d'imagerie visant à caractériser des formes et leur évolution dynamique avec une résolution spatiale et temporelle de plus en plus importante et dans des conditions de non-interaction avec le phénomène à visualiser ou des environnements agressifs (brumisation).

- Pour les caractérisations in situ, les progrès viendront également de la mise au point de méthodes de visualisation en 3D des échantillons sous les conditions expérimentales, qu'il s'agisse d'utiliser des techniques du visible (microscopie "classique" ou confocale), de surface (microscopie de force atomique) ou de rayons X (tomographie couplée à des techniques spectroscopiques variées).

Cette évolution nécessite un renforcement des collaborations avec d'autres secteurs ou les techniques d'imagerie sont utilisées et mises au point : à ce titre, le lancement d'un réseau technologique transdisciplinaire a été suggérée et devrait être fortement soutenu par la communauté. L'expérience du réseau Hautes Pressions est positive et peut sans doute être heureusement renouvelée.