

PROGRAMME INTERNATIONAL DE COOPERATION SCIENTIFIQUE (PICS)

Rapport scientifique - Année 2003

N° PICS 1251

Déformations actives et structures lithosphériques en domaine intracontinental : étude intégrée du système tectonique Mongolie-Baïkal

Ce PICS avait pour objectif initial de mettre en œuvre trois principales opérations communes entre scientifiques mongols, russes et français, échelonnées sur 3 ans de la manière suivante :

- ⇒ **Année 1** : opérations d'échantillonnage sur le terrain (paléosismologie, traces de fission, paléomagnétisme).
- ⇒ **Année 2** : remesure du réseau GPS en Mongolie et densification éventuelle.
- ⇒ **Année 3** : expérience de sismologie large bande.

Nous présentons ici un bilan de l'Année 3, et des perspectives pour 2004, année pour laquelle nous demandons une aide complémentaire sous forme d'une prolongation nécessaire pour terminer l'analyse des données.

Année 3, réalisations et résultats

Outre l'expérience de sismologie large bande, cette année devait permettre de compenser le déficit d'informations lié à la première année en paléosismologie en raison d'un blocage administratif à la frontière russo-mongole (voir Rapport de l'Année 2002).

1. Mission en sismologie large-bande

Cette dernière année du PICS portait principalement sur la mise en place d'un grand transect sismologique (appelé MOBAL, voir Annexe) qui s'étend sur près de 1000 km à travers les structures du nord de l'Asie, entre le craton sibérien et la grande chaîne de l'Altaï (**Figure 1**). Il s'agit d'une des zones de déformation Cénozoïque les moins connues en Asie, qui absorbe pourtant plus d'un cm/an de raccourcissement N-S (*Calais et al.*, 2003, et références citées) et qui est marquée par l'existence de dômes topographiques majeurs et de manifestations volcaniques dont l'origine asthénosphérique est probable mais encore très controversée (*Petit et al.*, 2002, et références citées, voir aussi le dossier initial PICS). Cette approche méthodologique a été largement employée dans les dernières années en Asie centrale (Tibet par exemple) et s'est révélée très importante à la connaissance des structures profondes. En Mongolie, contrairement au rift Baïkal, des données de tomographie locale et de xénolithes mantelliques suggèrent la présence d'une asthénosphère anormalement chaude (+100°) en profondeur (>100km). Une modélisation gravimétrique 2D (*Petit et al.*, 2002) nous avait permis de mettre en évidence de fortes anomalies de compensation des reliefs. Les chaînons de l'Altaï et du Gobi-Altaï semblent liés à des surépaississements crustaux au voisinage des grandes failles. A l'inverse, le dôme de Hangaï n'apparaît pas directement lié à l'activité de ces failles; à cet endroit, notre modèle suggère la présence de manteau anormal en base de croûte. Nous pensons donc que: 1) de fortes variations latérales de rhéologie contrôlent la localisation de la déformation active; 2) il existe en Mongolie des phénomènes mantelliques dont l'influence sur la déformation (soutien de la topographie, forces de volume) est encore mal déterminée. Ces résultats ne permettaient pourtant de contraindre ni la rhéologie de la lithosphère dans la région Mongolie-Baïkal ni la profondeur et l'amplitude précise des sources d'anomalies, informations pourtant indispensables à la modélisation des processus en jeu. De nombreuses questions restaient donc en suspens : (1) Quelle est la structure lithosphérique actuelle entre le Gobi-Altaï et la plate-forme sibérienne ? (2) Les zones de faiblesse lithosphérique correspondent-elles aux grandes failles transpressives repérées dans le siècle ? (3) Comment les variations de la résistance lithosphérique se corrélient-elles aux phénomènes mantelliques (par exemple sous le dôme de Hangaï) ? (4) Quel est le degré et le mode de compensation des principaux reliefs (Gobi-Altaï, Mongolie-Altaï, dôme de Hangaï) et que nous apprennent-ils sur la dynamique mantellique, très mal connue ? (5) Quelle est l'influence de la structuration de la lithosphère et de sa rhéologie sur l'expression de la déformation, sur sa localisation, sur la propagation des failles ?

Le transect sismologique développé en 2003 visait donc à répondre à ces questions en complétant notamment les estimations de viscosité « court terme » du manteau supérieur et de la croûte inférieure obtenues par l'inversion du champ de vitesse GPS (*Vergnolle et al.*, 2003). Les buts premiers de cette étude étaient à la fois de déterminer la structure de la croûte et de la lithosphère sous la Mongolie et le craton sibérien par différentes méthodes (analyse de fonctions récepteurs, anisotropie SKS, tomographie des temps d'arrivée, courbes locales d'ondes réfractées Pn) et de détecter une activité sismique régionale.

En été 2002, outre la campagne GPS, 17 sites sismologiques avaient été préparés à l'avance (mission de J. Déverchère en Sibérie et de A. Deschamps en Mongolie), avec nos collègues sismologues russes et mongols (V. Mordvinova, T. Dugarma, M. Ulziibat), 7 en Russie, et 11 en Mongolie. Pour l'opération 2003, 18 stations sismologiques françaises (Réseaux du parc National et stations de Géosciences Azur) ont été utilisées entre avril et octobre (**Figure 2**). Il s'agissait de 4 stations complètes et un capteur du réseau RLBM (Réseau Large Bande Mobile de l'INSU), gérés par J-J. Lévêque à Strasbourg, 7 stations complètes de Géosciences Azur (qui fournissait aussi tous les éléments de relecture et sauvegarde des données à Irksustk et Ulan Bator), et 7 stations du réseau Lithoscope de l'INSU, gérées par A. Paul à Grenoble.

Le matériel a été expédié le 25 mars 2003 de Nice (voir Annexe). Le profil de **18 stations** a été installé fin avril 2003 en 10 jours entre la Sibérie et la Mongolie. Trois chercheurs de France participaient avec un fort soutien logistique des équipes locales. Toutes les stations ont été gardées par recrutement local de gardiens : nous constatons l'importance d'un tel choix. Les chercheurs locaux ont effectués seuls 2 visites intermédiaires pour relever les disques et contrôler le fonctionnement de l'instrumentation. Les

données étaient ensuite sauvegardées et copiées sur un disque dur de grande capacité accessible depuis la France par internet. Ceci a permis un contrôle rapide de la qualité des données, en particulier à la fin de la première période des enregistrements (juin). L'ensemble du matériel a été démonté à partir du 10 octobre 2003. Ont été enregistrés **80 séismes de magnitude supérieure à 6 et 25 de magnitude supérieure à 6.5 (Figure 3)**, dont les 3 séismes de l'Altaï des 27 sept et 1^{er} octobre de magnitude 7.2. 3400 séismes de magnitude supérieure à 3 se sont produits dans cette période (catalogue NEIS).

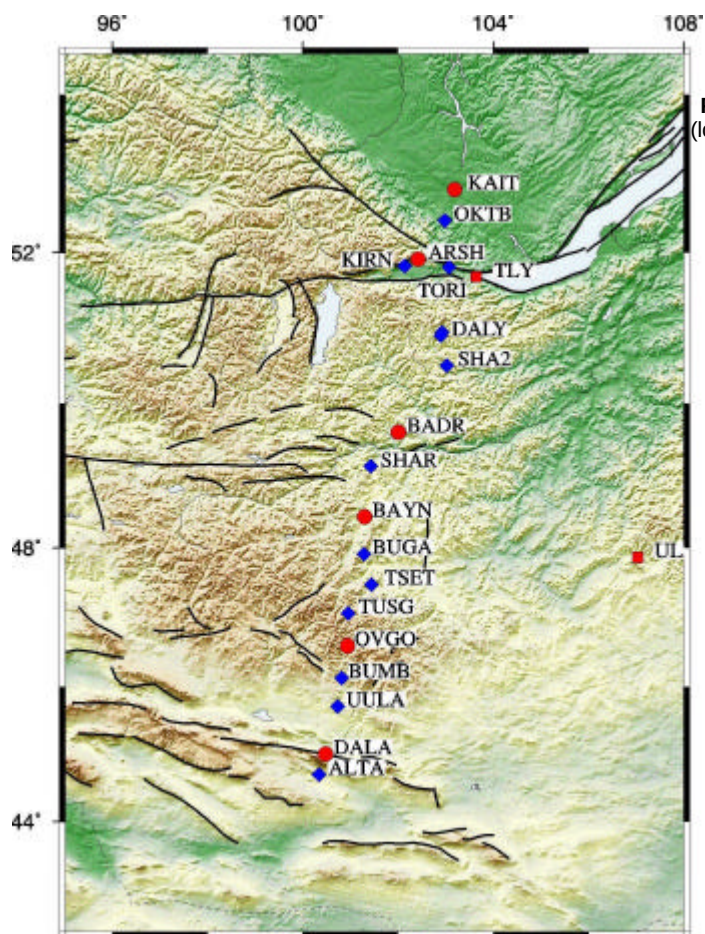


Figure 1. Carte des 18 sites sismologiques installés en 2003 (losanges bleus : stations avec capteurs Guralp CMG40, cercles rouges : stations avec capteurs Strekeisen STS2 ou Guralp CMG3T) dans le cadre du PICS. Les carrés rouges sont les stations permanentes large bande qui seront également utilisées dans l'étude.



Figure 2. Les 2 éléments d'une station type en Mongolie : l'enregistreur sous une yourte, le capteur (ici, STS2) enterré dans un bidon de plastique.

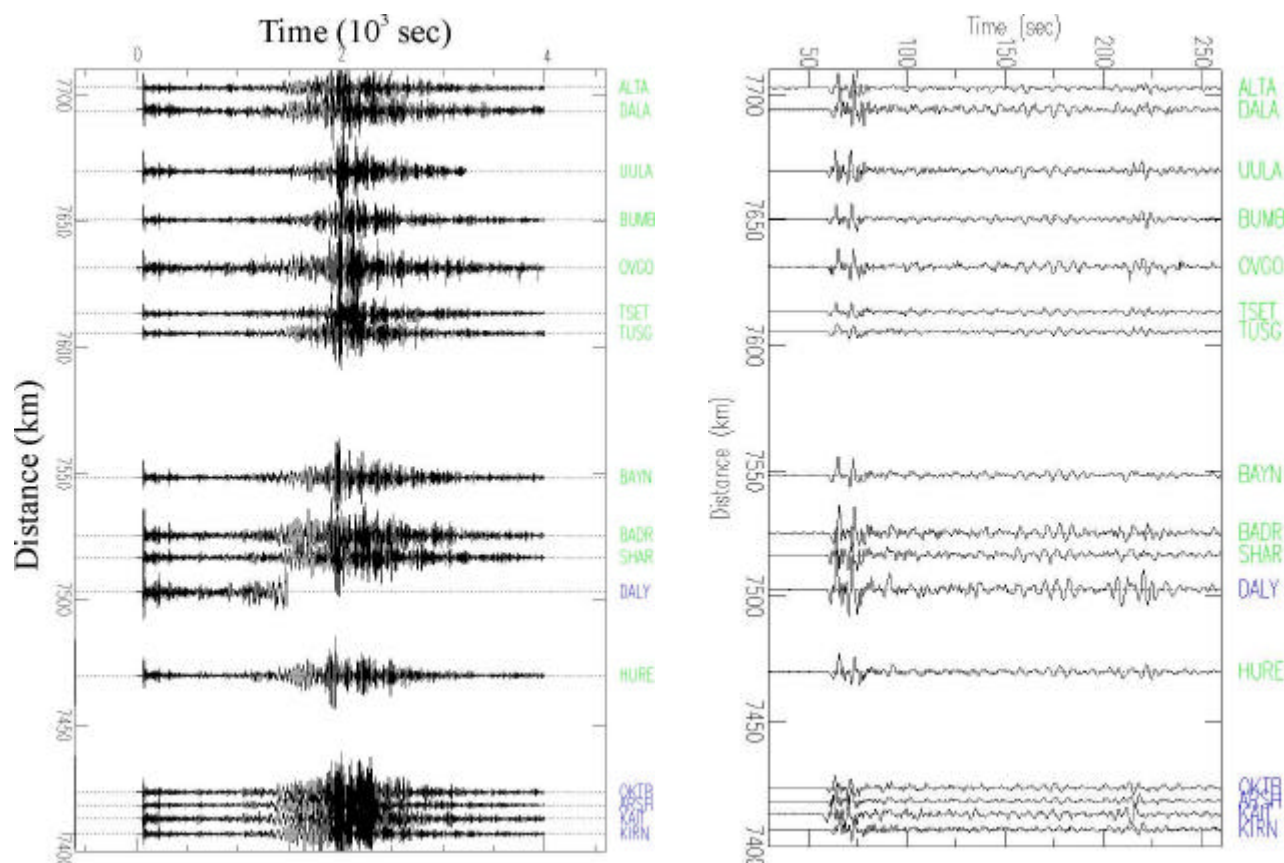


Figure 3. Exemples de sismogrammes (enregistrement global à gauche et zoom sur les P à droite) enregistrés sur la composante verticale aux stations du profil MOBAL (séisme d'Algérie, 21 mai 2003, de magnitude Mw 6.8). En vert les stations mongoles et en bleu les stations russes.

Une base de données (BDsis : logiciel mis au point pour les données du parc Lithoscope) des données globales est constituée et est en cours d'exploitation à Sophia Antipolis. Certaines données enregistrées en Russie ne sont pas encore disponibles en France, la réglementation russe rendant les échanges de données même scientifiques très difficiles. Dès que l'ensemble des données sera disponible, la base de données finale sera constituée et interrogeable à distance par l'ensemble des partenaires. En attendant, l'ensemble des partenaires dispose des données brutes et des logiciels (développés en France) pour faire l'extraction de données spécifiques concernant les séismes mondiaux. Les données téléseismiques sont en cours d'exploitation pour la détermination du modèle de vitesse crustale (fonctions récepteur, tomographie des ondes P, des ondes S). Cette étude est menée par Monro Ulziibat, chercheur du RCAG Oulan Bator, inscrit en thèse en France, sous la direction d'Anne Deschamps. Une recherche des séismes locaux observés sera entreprise sur les données du sud et les données de la région du Baïkal sud pour participer à une meilleure évaluation de la microsismicité de ces régions. L'installation soignée des stations est quantifiée par une évaluation du bruit sismique : pour beaucoup de sites le bruit raisonnable aux périodes intermédiaires est très faible (lorsque le capteur était adapté – STS2 du réseau RLBM) à basse fréquence.

A la suite des séismes d'Altaï (27 sept.-1^{er} Octobre 2003), nous avons décidé de suivre une partie des répliques en déplaçant 6 stations (3 en Russie, 3 en Mongolie) dès le 10 octobre, vers la zone épiscopale. L'opération a été soutenue par le DASE/LDG qui a fait installer 2 stations supplémentaires en Mongolie. Ces 6 stations ont enregistré pendant environ un mois un nombre important de répliques en cours de dépouillement (plus de 1000 séismes déjà localisés). Le traitement se fait au RCAG qui dispose de l'outil de dépouillement et de localisation du DASE adapté pour la Mongolie. Le prétraitement est coordonné par Anne Deschamps (Géosciences Azur). Nous avons besoin d'un support financier pour finaliser l'interprétation des données. Le retour du matériel en France s'est effectué le 8 décembre pour le matériel mongole, et début janvier 2004 pour le matériel de Sibérie.

2. Mission de terrain en paléosismologie

La mission de terrain qui s'est déroulée du 6 au 28 Août 2003 en Mongolie avait pour but de contribuer à mieux comprendre et quantifier la géodynamique récente des chaînes de transpression Mongoles. Parmi les grandes questions qui se posent du point de vue tectonique, il y a celle de la vitesse des failles et de la cyclicité des séismes (i.e. Calais et al., 2003 ; Ritz et al., 2003; Vassallo, DEA 2003 ; Chéry et al., 2002 ; Carretier et al., 2002) et celle de l'âge du début de la réactivation tertiaire de ces structures sous l'effet de la collision Inde-Asie. La mission de terrain de cet été s'inscrit dans cette deuxième problématique et rattrape l'expédition annulée en 2001 suite aux problèmes rencontrés à la frontière russe à Nauchky. Elle fait suite à la mission de reconnaissance réalisée par J-F Ritz et Todbileg au cours de l'été 2000, et constitue pour l'essentiel (sauf pour le glissement Baga Bogd) la première partie du travail de recherche de Riccardo Vassallo qui commence une thèse au Laboratoire « Dynamique de la Lithosphère » à l'Université Montpellier 2 (co-encadrement : J-F Ritz, M. Jolivet et R. Braucher).

Les participants à la mission de terrain étaient:

* Laboratoire Dynamique de la Lithosphère, Université Montpellier II: Jean-François Ritz, Marc Jolivet, Riccardo Vassallo (étudiant)

* Laboratoire CEREGE, Aix-en-Provence : Régis Braucher

* Laboratoire Géosciences Azur, Université de Sophia-Antipolis : Christophe Larroque

* Institut de Géologie de Neuchâtel (Suisse) : Christian Sue

* Mongolian University of Sciences and Technology : Todbileg et Java

Soit au total, 8 géologues et 2 chauffeurs pour un mini-bus 4x4 et une jeep et cuisinier.

Les autres collaborateurs à cette étude étaient: Sébastien Carretier (BRGM, Orléans), Didier Bourlès (CEREGE, Aix-en-Provence), Sanda Balescu (Laboratoire de Préhistoire, Univ. Lille1), et Bayasgalan (Mongolian University of Sciences and Technology).

Nos objectifs essentiels étaient: 1/ lever la topographie des terrasses alluviales soulevées le long des gorges de la rivière Bitut incisant le massif d'Ih Bogd (**Figure 4**), et les échantillonner en vue de datation ^{10}Be ; 2/ échantillonner le massif d'Ih Bogd le long d'un profil transverse et vertical depuis sa bordure jusqu'en son cœur et sommet, en vue de datation TF et U-Th/He sur apatites. Ces deux protocoles doivent nous renseigner sur l'âge de surrection du massif et son taux de soulèvement.

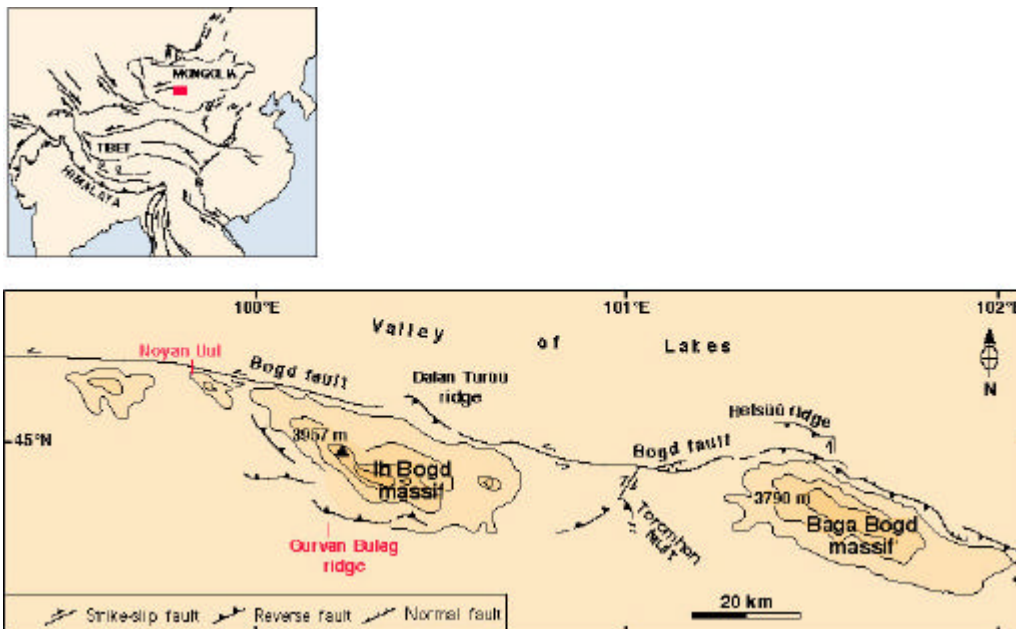


Figure 4. Localisation des massifs et failles étudiés en Mongolie (Ritz et al., 2003).

Rappel de la problématique: L'échantillonnage préliminaire réalisé en 2000 dans le massif d'Ih Bogd a permis une première estimation de l'âge de la surface sommitale à 130 Ma (M. Jolivet, *com. pers.*, in DEA Vassallo 2003). Par ailleurs, Ritz et al. (2003) encadrent l'âge de surrection tertiaire entre 2 et 15 ± 3 Ma avec un taux de surrection compris entre 1 et 0.14 mm/a d'après l'analyse morphotectonique des failles bordières.

Au-delà des problématiques générales d'âge de la réactivation en transpression de ces anciennes structures et de leur taux de soulèvement, se posent donc les questions de distribution de la déformation (existe-t-il d'autres failles actives que celles cartographiées actuellement ?) et de sa partition sismique/asismique. Ces mêmes problématiques se posent plus au Nord dans l'Altay – où l'on retrouve les mêmes surfaces plateaux sommitales - et la chaîne de Sayan (à l'Ouest de la plate-forme sibérienne) et constitueront l'objet d'une campagne de terrain en 2005 qui sera couplée dans le temps avec le workshop organisé par Bayasgalan et Kinugasa à l'occasion du centenaire du séisme de Bolnay (23 Juillet 1905).

Les mesures effectuées lors de la mission ont été: 1. **Site de Bitut**: échantillonnage ^{10}Be sur terrasses T1, T2, T3, T4 (au carotteur); « survey » topographique GPS RTK du site, au travers de la faille inverse au Sud-Est du cône de Bitut et des niveaux de base des terrasses T1, T2, T3 et T4; tranchées et échantillonnage des profils en profondeur; reconnaissance et échantillonnage TF le long de la rivière Bitut; échantillonnage ^{10}Be d'un lambeau de terrasse perché correspondant à l'une des surfaces alluviales les plus hautes encore visible dans le paysage (une ancienne surface de cône maintenant intégrée dans le relief); MNT « Bitut5 » le long de la faille de Bogd où ont été observés des rejets cumulés (3 m, 6 m, 12 m, 21 m sur la rupture de Bogd) suggérant une dislocation caractéristique le long de ce segment de faille 2. **Site de Ih Bogd**: échantillonnage TF depuis la rivière Bitut vers le plateau sommital correspondant à une relique de la surface d'érosion crétacée; 3. **Site de Baga Bogd**: Complément d'échantillonnage (mission 2000) des dépôts lacustres postérieur au méga-glissement de Baga Bogd [Philip and Ritz, 1999]; « Survey » GPS RTK de l'escarpement de faille normale au Sud-Est du méga-glissement et des talus de terrasses de part et d'autre de la rivière Züün Hanh Saih; Echantillonnage TF depuis la rivière Züün Hanh Saih vers les reliques de l'ancienne surface d'érosion perchées sur les sommets qui n'ont pu cependant être atteintes faute de temps.

En conclusion, les objectifs fixés au départ ont tous été atteints (sauf l'échantillonnage des surfaces-reliques sommitales de Baga Bogd à proprement parlé). L'effectif de l'équipe scientifique (8 puis 7 personnes, après le 18 août, suite au rapatriement sanitaire de C. Sue) a permis une grande efficacité sur le terrain. En 14 jours effectifs de travail, une centaine d'échantillons ont été collectés pour l'analyse Trace de Fission (~30) et l'analyse ^{10}Be (~70). A peu près la moitié des 73 échantillons collectés pour l'analyse ^{10}Be ont demandé l'usage du carotteur – dont notamment les « blanks » collectés en profondeur après excavation. Cinq modèles numériques de terrain (MNT) ont été acquis dont certains contiennent plus de 7000 points. L'ensemble des participants est d'accord pour planifier une deuxième expédition de ce type sur 1 ou 2 sommets de l'Altai mongol en 2005, à la suite du workshop célébrant le centenaire du séisme de Bolnay (coordination Bayasgalan). Cette expédition pourrait être couplée avec une mission à l'ouest de la chaîne de Sayan avec les collègues russes d'Irkoutsk.

3. Analyse - Modélisation

L'année 2003 a été surtout consacrée à la valorisation des résultats des années précédentes du PICS : nous avons ainsi utilisé les résultats GPS issus de la campagne de mesure de l'été 2002 pour reprendre les données existantes en Asie centrale et proposer un modèle de déformation actuel à l'échelle de l'Asie (**Calais** et al., 2003). Nous avons apporté par inversion des données GPS les premières contraintes sur la viscosité de la croûte inférieure et du manteau supérieur (**Vergnolle** et al., 2003). Ces résultats confirment sous la Mongolie un comportement « fluide » de la croûte inférieure, et dans une moindre mesure du manteau. Ils ont été utilisés par F. Pollitz, USGS, et M. Vergnolle (thèse soutenue fin 2003) pour évaluer le coefficient de friction sur les failles, la viscosité, et le rôle du transfert des contraintes dans la croûte inférieure et le manteau visco-élastique sur le déclenchement des séismes de magnitude 8 et plus en Mongolie et en Chine au 20^{ème} siècle (**Vergnolle** et al., 2003 ; **Pollitz** et al., 2003). Enfin, la note utilisant une technique d'inversion conjointe de la gravimétrie et de la sismologie sous le rift Baïkal et la Mongolie septentrionale a été publiée (**Tibéri** et al., 2003). Pour cette partie Analyse et Modélisation, quatre papiers au **J. Geophys. Research** ont donc été publiés en 2003 (**Calais** et al., **Tibéri** et al., **Vergnolle** et al., et **Pollitz** et al.). Enfin, le champ de vitesse GPS élargi au centre de l'Asie par une mise en référentiel commun (**Calais** et al., 2003) a servi de base à une interprétation cinématique de la déformation à l'échelle de l'Asie en utilisant le code SHELLS de Kong et Bird : il a notamment permis de mettre en évidence le rôle des subductions et de discuter la part prise par les failles actives dans l'évolution de la déformation intracontinentale (**Vergnolle**, 2004).

Perspectives

Nous demandons une prolongation du PICS en 2004 afin d'avoir la possibilité d'achever conjointement l'exploitation des données sismologiques et paléosismologiques recueillies en 2003. Ces deux analyses sont entamées mais nécessitent une lourde phase d'analyse des signaux sismologiques et des échantillons prélevés. Néanmoins, nous possédons les conditions de traitement et d'analyse qui doivent permettre d'en extraire les informations, de valoriser les résultats et de finaliser une interprétation dans l'année 2004. Nous demandons le soutien financier correspondant.

1. EXPLOITATION DES DONNEES : BESOINS ET ECHEANCES :

A. Sismologie :

Dans l'année qui vient, la quantité et la qualité des données recueillies sur le transect (**Figure 1**) va nous permettre d'obtenir pour la première fois des informations quantifiées sur la structure profonde de la lithosphère en Mongolie (vitesses sismiques, profondeur et amplitude des discontinuités aux interfaces par fonction récepteurs). Les données obtenues seront aussi utilisées comme un complément des études tomographiques (utilisation des ondes de surface pour vitesses de groupe et cartes d'atténuation des ondes Lg) et pour une analyse de l'anisotropie dans la lithosphère, paramètre qui peut entrer dans les modèles rhéologiques. Nous disposons par ailleurs de données gravimétriques très précises (pas de 8 km) couvrant l'ensemble de la région Mongolie-Baïkal, grâce à un accord de confidentialité avec GETECH (Leeds). Nous contraindrons en pseudo-3D, par une inversion conjointe gravimétrie et sismologie, la structure crustale et lithosphérique sur l'ensemble de la zone d'étude (méthode d'inversion conjointe de **Tibéri** et al., 2003, déjà employée sous le rift Baïkal) et déterminerons le comportement mécanique de la lithosphère (stratification verticale et variations latérales de rhéologie). Les étudiants impliqués sont Monro Ulzibat (thèse en France, Nice, en cours) et Delphine Appriou (DEA Brest en cours).

B. Paléosismologie et néotectonique :

Dans l'année qui vient, nous analyserons une grande partie des échantillons destinés aux datations ¹⁰Be et une première partie des échantillons « Trace de Fission » (TF). Ce travail fait l'objet de la thèse de R. Vassallo, inscrit à Montpellier. En ce qui concerne les datations ¹⁰Be, le broyage et tamisage des échantillons est effectué au Laboratoire Dynamique de la Lithosphère à Montpellier, la préparation des cibles ¹⁰Be est effectuée au CEREGE à Aix-en-Provence sous la direction de Régis Braucher et Didier Bourlès. La mesure des concentrations est effectuée au Tandetron de Gif-Sur-Yvette par Régis Braucher et Didier Bourlès. Nous espérons avoir les premiers résultats au début du Printemps 2004, ce qui nous permettra d'établir une première estimation du taux de soulèvement actuel du massif d'Ih Bogd (à comparer aux vitesses des failles bordières). Pour le moment, les frais d'analyse sont avancés par le CEREGE sur des fonds propres. Nous demandons une aide pour subvenir aux frais de préparation des cibles qui nécessite une chimie très coûteuse (300 € par échantillon en moyenne).

En ce qui concerne l'analyse Trace de Fission, une première sélection des échantillons a été effectuée sous la direction de M. Jolivet à Montpellier afin de procéder à une première analyse sur apatites d'ici la fin de l'année, c'est-à-dire une première estimation de l'âge de soulèvement du massif. Comparées aux données ¹⁰Be, ces données permettront de répondre à la question de la stabilité ou non dans le temps de la vitesse de soulèvement. Les besoins correspondent au frais d'envoi des apatites en Australie, de leur irradiation puis de leur rapatriement en France.

2. COMPLEMENTS FINANCIERS DEMANDES AU PICS POUR 2004 (Prolongation) :

- A – 2000€ : Financement pour M. Ulzibat (Mongolie, actuellement en France) : voyage retour en Mongolie en décembre 2004 - Financement pour inscription à l'EGU.
- B – 1800€ : Participation au financement pour Valentina MORDVINOVA pour venir en France (visite couplée EGU Nice pour présentation des résultats, et interprétation des fonctions récepteurs en France + congrès ESC en septembre à Potsdam). La Russie participe à ces missions pour moitié.
- C – 1000 € : financement d'une mission pour exploitation des données sismologiques entre Nice et Brest (étudiante en DEA: Delphine Appriou : dépouillement des sismogrammes via SAC)
- D - 2700€ : 1500 € pour le traitement de 30 échantillons ¹⁰Be (ce qui représente 17% du coût total de l'analyse), + 1200 € pour l'analyse préliminaire TF sur apatites (10 échantillons x 120 €).

TOTAL DEMANDE POUR 2004 : 7500 €

Publications 2001-2004 issues (au moins partiellement) de résultats du PICS (16 articles de rang A, 1 thèse soutenue)

- Arjannikova, N., C. Larroque, J.F. Ritz, J. Déverchère, J.F. Stéphan, S. Arjannikov, and V. San'kov, Geometry and kinematics of recent and active deformation at the southwesternmost Baikal rift zone (Mongolia-Siberia) from neotectonic and space imagery constraints, soumis en janvier 2004 à **Terra Nova**.
- Calais, E., M. Vergnolle, J. Déverchère, V. Sankov, A. Lukhnev, and S. Amarjargal, Are post-seismic effects of the M=8.4 Bolnay earthquake (July 12, 1905) still influencing GPS velocities in the Mongolia-Baikal area?, **Geophys. J. Int.**, 149, 157-168, 2002.
- Calais E., M. Vergnolle, V. San'kov, A. Lukhnev, A. Miroshnitchenko, S. Amarjargal, and J. Déverchère, GPS measurements of crustal deformation in the Baikal-Mongolia area, 1994-2002, **J. Geophys. Res.**, 108(B10), 2501, doi:10.1029/2002JB002373, 2003.
- Carretier S., JF Ritz, J. Jackson, and A. Baysagalan, Morphological dating of cumulative reverse fault scarp, examples from the Gurvan bulag fault system, Mongolia, **Geophys. J. Int.**, 148, 256-277, 2002.
- Chéry, J., S. Carretier, and JF. Ritz, Post-seismic stress transfer explains time clustering of earthquakes in Mongolia, **Earth Planet. Sci. Lett.**, 194, 277-286, 2001.
- Delouis B., J. Déverchère, V. Melnikova, N. Radziminovitch, L. Loncke, C. Larroque, J. Ritz, and V. San'kov, A reappraisal of the 1950 (Mw 6.9) Mondy earthquake, Siberia, and its relationship to the strain pattern at the southwestern end of the Baikal rift zone, **Terra Nova**, 14(6), 491-500, 2002.
- Déverchère J., Petit C., Gileva N., Radziminovitch N., Melnikova V., and San'kov V. Depth distribution of earthquakes in the Baikal rift system and its implications for the rheology of the lithosphere, **Geophys. J. Int.**, 146, 714-730, 2001.
- Larroque, C., J.-F. Ritz, J.-F. Stéphan, V.A. San'kov, A. Arzhannikova, E. Calais, J. Deverchère, and L. Loncke, Interaction compression-extension at the Mongolia-Siberia boundary: preliminary analysis of active and recent deformation in the Tunka basin, **C.R. Acad. Sci. Paris**, 332, 177-184, 2001.
- Prentice, C. S., K. J. Kendrick, K. Berryman, A. Bayasgalan, J. F. Ritz, and J. Q. Spencer, Prehistoric ruptures of the Gurvan Bulag fault, Gobi Altay, Mongolia, **J. Geophys. Res.**, 107(B12), 2321, doi:10.1029/2001JB000803, 2002.
- Petit, C., J. Déverchère, E. Calais, V. San'kov, and D. Fairhead, Deep structure and mechanical behavior of the lithosphere in the Hangai-Hövsngöl region, Mongolia: New constraints from gravity modeling, **Earth Planet. Sci. Letters**, 197, 133-149, 2002.
- Pollitz, F., M. Vergnolle, and E. Calais, Fault interaction and stress triggering of twentieth century earthquakes in Mongolia, **J. Geophys. Res.**, 108(B10), 2503, doi:10.1029/2002JB002375, 2003.
- Radziminovich, N., J. Déverchère, V. Melnikova, V. Sankov and N. Giljova, The 1999 Mw 6.0 earthquake sequence in the Southern Baikal rift, Asia, and its tectonic implications, soumis à **Geophys. J. Int.** en février 2004.
- Ritz, J.F., D. Bourlès, E.T. Brown, S. Carretier, J. Chéry, B. Enhtuvshin, P. Galsan, R.C. Finkel, T.C. Hanks, K.J. Kendrick, H. Philip, G. Raisbeck, A. Schlupp, D.P. Schwartz, and F. Yiou, Late Pleistocene and Holocene slip rates for the Gurvan Bulag thrust fault (Gobi-Altay, Mongolia) estimated with 10 Be dates, **J. Geophys. Res.**, 108(B3), 2162, doi :10.1029/2001JB000553, 2003.
- Tibéri, C., M. Diamant, J. Déverchère, C. Petit, V. Mikhailov, S. Tikhotsky, and U. Achauer, Deep structure of the Baikal rift zone revealed by joint inversion of gravity and seismology, **J. Geophys. Res.**, Vol. 108 No. B3 10.1029/2002JB001880, 2003.
- Vassalo R., JF Ritz, R. Braucher, and S. Carretier, Using in situ-produced 10Be to date alluvial fans in the Gurvan Bogd mountain range (Gobi-Altay, Mongolie) : climatic and tectonic implications, à soumettre en mars 2004 à **Terra Nova**.
- Vergnolle, M., Rhéologie et déformation de la lithosphère continentale : apport de mesures GPS en Asie et de modèles numériques, Thèse de doctorat, Univ. Nice Sophia-Antipolis, 17 déc. 2003.
- Vergnolle, M., F. Pollitz, and E. Calais, Constraints on the viscosity of the continental crust and mantle from GPS measurements and postseismic deformation models in western Mongolia, **J. Geophys. Res.**, 108(B10), 2502, doi:10.1029/2002JB002374, 2003.

ANNEXE: PRESENTATION DE L'ACTION DE TERRAIN 2003 MOBAl

MoBaL Transect Mongolian-Baikal Lithosphere seismological Transect

This work was proposed in the PICS "*Déformations actives et structures lithosphériques en domaine intra-continental: étude intégrée du système Mongolie-Baïkal*". It implies collaboration between CNRS (France), Academy of Sciences in Siberia and Academy of Sciences in Mongolia and can be divided into 3 parts :

- Prospecting for the definition and location of the seismic network : work done in summers 2001 and 2002.
- Installation and operation of 18 seismic stations (French instrumentation) in 2003 (April to October).
- Distribution of data, processing and interpretation.

The main participants are :

Anne Deschamps : Géosciences Azur, CNRS, Nice, France.

Jacques Déverchère, Julie Perrot : Domaines Océaniques, UBO/CNRS, Brest, France.

Valentina Modinova, Alexandre Artemiev, Institute of the Earth Crust, Irkutsk, Siberia.

Dugarmaa, Ulziibat, Urtnassan, RCAG, Ulan Bator, Mongolia.

The period of observation was chosen from 25 April to 15 October to have the longer observation duration and avoid winter problems at the stations.

I. Field experiment preparation:

The main instrumentation involved :

Siberia:

Sensors : 1 CMG3ESP, 1 STS2, 1 CMG3T (all with a similar response at 120 sec)

3 CMG40 (response at 40 sec)

digitizers : 6 titan3XT/minititan3XT (see photos), with titan GPS for time (see photos) which will be installed and on continuous power.

1 spare digitizer

14 hard disks for titan3XT or minititan3XT

7 battery chargers

2 laptop for maintenance (dos).

1 PC for data storage (+CROM writer) (windows)

1 PC for data processing

Mongolia:

Sensors : 4 STS2, 1 CMG3T (all with a similar response at 120 sec)

7 CMG40 (response at 40 sec)

digitizers : 4 titan6NT (see photos)

4 titan3XT (see photos)

4 minititan3XT (as titan3XT), all with GPS time (see photos).

13 hard disks for titan6NT, 17 hard disks for titan3XT or minititan3XT.

solar panels (2 per station)

2 laptop for maintenance (dos)

1 PC for data storage (+CROM writer) (windows)

1 PC for data processing

Tasks of each participant :

Instrumentation was prepared and tested at Geosciences Azur from 1st to 22 March. Instrumentation were sent by air to Siberia and Mongolia the last week of March as temporary exportation of scientific material with all the necessary documentation and some tools. A copy of the packing lists (content and serial numbers of instruments) will be sent by email to each local correspondent who will be charged to make all the necessary to get the instrumentation out from customs. Batteries were prepared in Irkutsk and Ulan Bator and also the connection to the instrumentation connectors. The French instrumentation belongs to the national

pool, so the connectors cannot be changed. We had to adapt a connection to the battery. A box where to put the instrumentation beside the sensor was prepared in Irkutsk and Ulan Bator for each station. The sensor cables vary from 12 m (few CGM40) to 20m (for the STS2). The digitizer was protected from the temperature variation as much as possible. Some protections for the sensor have been already prepared in the site prospection. Some polystyrene was added to increase the protection. In Mongolia, solar panels were installed in south direction with an angle of 45°. The location of the network was defined and sites have been prospected in summer 2002: 6 sites in Siberia, 11 sites in Mongolia. The local teams had to keep contact with the person in charge of the keeping of the site to be sure that site were occupied all during the period defined for the observation.

II. Installation of the instruments :

3 persons came from France. They arrived on 25th April in Irkutsk, Julie Perrot and Anne Deschamps fly as soon as possible to Ulan Bator. 3 teams for the installation were organised : one in Siberia with Jacques Déverchère, two in Mongolia with Anne Deschamps and Julie Perrot.

Principle of the installation of a BB station :

The sensor and the digitizers are protected as much as possible from temperature variations. The distance between sensor and digitizer is controlled by the length of the sensor cable which varies in the instruments that we have from 12 to 20 meters. The acquisition is composed by either 3 boxes (digitizer, disk, GPS receiver), either 2 boxes (digitiser + internal disk, GPS receiver - only in Mongolia) which should be at small distance from each other (less than 20 cm) as described in the documentation.

The power is given either by battery + charger on power supply (Siberia), either on battery + solar panels (2 flexibles panels of 1x1.2). The batteries should have at least 96Ah. Solar panels are installed in South direction with an angle around 45° from the horizontal. The digitizer is powered and distribute the power to GPS and sensor. The GPS is powered on every hour during the time necessary to catch 3 satellites and obtain the reference time. The antenna of the GPS must be at a place with a broad sky, almost horizontal. The cable from GPS receiver (next to the digitizer) to antenna is around 15 m, but a prolongation can be added up to 40m.

Record is made on hard disk (SCSI) connected to the digitizer (either internally for titan6NT - in Mongolia, either externally for titan3XT or minititan3XT). Stations allow only continuous recording. Parameterisation of the station is done with the software "TCS" on DOS. We select either 62.5 samples per sec (station with external disk), either 40 samples/sec (stations with internal disk).

Careful installation of all the instrumentation took around 4 hours for 2 persons, more in case of solar panels to fix. The sensors CMG3T, CMG3ESP, STS2 (response at 120 sec) are visited 24 hours after the first installation to verify the levelling of the horizontal components et to re-center the masses.

III. Stations maintenance.

2 visits were done to the instruments during the recording period (end June, end August). This work was taken in charge by Mongolian and Siberian colleagues. One visit consists mainly to test how the recorder is working, change the disk and write on the visit page all information necessary for the understanding of the data recorded. In case of 120sec sensor, the masses are recentered. Before the field trip, a set of hard disks is prepared.

VI. Data backup and preprocessing

Coming back from the field, the disk of each station was backup.

The station disks are SCSI disks. They can be read on a PC using a special cable which allows the connection to the SCSI card. The disks are splitted in partitions of 600Mo on which data are written sequentially. This allows a backup of the data on CDROMs (one partition for one CDROM). For a recording period of 6 weeks, we have 2 CDROMS per station. Each team received a complete data set, so that 3 copies

of each partition was prepared. This meant some time spent to do this work which was also at the charge of the Mongolian and Siberian teams.

After the backup, a visual inspection of the quality of the data was done using softwares developed on linux for "titan" format. Tests were done on time reception and quality of the seismic signal. Pre-processing of the data was also possible using a package of programs and shells that were pre-installed on a linux PC. This work is done on the CDROMs.

V. End of experiment

The instruments were recovered from 15 October to 25 October and send back to France at the end of December, after the backup of data. An other experiment should begin on 20 November. This was done by Mongolian and Siberian teams, which has avoided a travel from France.

Pre-processing of the data was achieved (from the point at which it will have been performed, at least from the last recording period) in Nice as soon as possible when the CDROMs arrive in France, i.e. end of January 2004.

2 data sets were extracted :

- ◆ One from the list of the teleseismic events, using a magnitude selection on the list of NEIC locations.
- ◆ One from the list of local and regional events given by Irkutsk and Ulan Bator centres. Later on there is a possibility to extract information from analysis of the continuous recording.

The data corresponding to these 2 data set will be finalised in Nice before end February 2004 and distributed to all the participants in the decided format (Sac, seed).

VI Scientific work performed

All the participants to the field work (from preparation to data pre-processing) have implication in the use of the recorded seismograms. A common paper on the experiment should be written as soon as possible to be submitted to EOS or/and to Orfeus letters. Anne Deschamps will extract information from the body waves (receiver function, anisotropy from SKS) together with V. Mordvinova, M. Ulziibat and D. Appriou. We can develop collaboration on this part which is very well adapted to the first aim of the experiment. Seismicity is exploited in the moment by M. Ulziibat.