

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/287537937>

A compression–extension interaction on the Siberian–Mongolian border. Preliminary analysis of recent and actual deformations in the Tunka basin

Article · January 2001

CITATIONS

17

READS

144

8 authors, including:



Christophe Larroque

Laboratoire Géoazur (CNRS-OCA-UCA)

109 PUBLICATIONS 1,998 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Jean-François Ritz

Université de Montpellier

163 PUBLICATIONS 3,994 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Vladimir San'kov

Institute of the Earth's Crust

123 PUBLICATIONS 1,870 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Anastasia Valentinovna Arzhannikova

Institute of the Earth's Crust

70 PUBLICATIONS 651 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



GNSS Atmospheric Remote Sensing [View project](#)



Ionospheric effects of meteorite falls [View project](#)

Interaction compression–extension à la limite Mongolie–Sibérie : analyse préliminaire des déformations récentes et actuelles dans le bassin de Tunka

Christophe Larroque^{a,b,*}, Jean-François Ritz^c, Jean-François Stéphan^a, Vladimir San'kov^d, Anastassia Arjannikova^d, Éric Calais^a, Jacques Déverchère^a, Lies Loncke^a

^a UMR 6526, « Géosciences Azur », CNRS–universités de Nice-Sophia Antipolis et Paris-6, 250, av. Albert-Einstein, 06560 Valbonne, France

^b Laboratoire de sciences de la Terre, université de Reims, CRA, 2, esplanade Roland-Garros, 51100 Reims, France

^c Laboratoire de géophysique, tectonique et sédimentologie, UMR 5573, université Montpellier-2, 34095 Montpellier cedex 5, France

^d Institut de la croûte terrestre, 128, avenue Lermontov, 6640033 Irkoutsk, Russie

Reçu le 9 octobre 2000 ; accepté le 15 janvier 2001

Présenté par Xavier Le Pichon

Abstract – A compression–extension interaction on the Sibirian–Mongolian border. Preliminary analysis of recent and actual deformations in the Tunka basin. The Tunka basin was initiated during Oligocene, under transtensional regime (normal-sinistral) as shown by large-scale structures and geomorphology. Nevertheless, a preliminary analysis of the most recent deformations allows us to evidence transpression on several sites within the basin. These tectonic features together with focal mechanisms and preliminary GPS data, suggest that the kinematics of the Tunka basin has undergone a very recent change, which could be due to the northward propagation of the India–Eurasia collisional strain field. © 2001 Académie des sciences / Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS

active tectonic / structural heritage / Mongolia / Baikal

Résumé – Le bassin de Tunka s'est développé depuis l'Oligocène dans un régime transtensif (normal sénestre) associé à l'ouverture du rift Baikal. Cependant, une analyse morphotectonique sur le terrain nous permet de caractériser un régime tectonique actuel transpressif dans plusieurs secteurs. L'examen de la déformation quaternaire suggère ainsi un changement récent de la cinématique des failles qui bordent le bassin de Tunka. Ce changement, qui va dans le sens d'une inversion des failles normales initiales, pourrait être lié à la propagation vers le nord du champ de déformation produit par la collision Inde–Eurasie. © 2001 Académie des sciences / Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS

tectonique active / héritage structural / Mongolie / Baikal

Abridged version

1. Introduction

The region between Mongolia and Lake Baikal (*figure 1*) is the meeting point between transpressional tec-

tonics that occur along Mongolia's large-scale strike slip faults [2, 7, 23, 27] and extensional deformations that affect the Baikal rift [9, 14]. South of this region, focal mechanisms attest a complex compressive state of stress while an extensive regime prevails in Lake Baikal area (*figure 1*).

* Correspondance et tirés à part.

Adresse e-mail : Larroque@faille.unice.fr (C. Larroque).

The P-axes of earthquakes trend roughly N30E south of the Hvosgol–Darkhat–Busingol system and turn towards east–west north of the Sayan Range. Numerous questions remain concerning the chronology of the tectonic events and the sharp change of stress regime in space and time. However, these questions are important to understand the distribution and the propagation of the deformation related to the India–Eurasia collision. In order to attempt to solve these questions, we have carried out a preliminary analysis of the recent and active tectonics in the Tunka basin, located to the west of Lake Baikal, at the edge of the Siberian craton.

2. Tectonic setting

The Tunka basin is a large east–west depression 150 km long and 30 km wide (*figure 2*). This basin, together with the Hovsgol–Darkhat–Busingol rift system to the west is at the junction between major structural features: the Sayan fault to the North, the Tsetserleg–Bolnay faults network to the South and the Baikal rift to the East. These active faults are several hundreds of kilometres long. The Siberian craton and the Sayan-Baikal Ranges are made of crystalline and sedimentary rocks from Precambrian to Neogene [26]. Tertiary and Quaternary deformations occur along a set of inherited structures, such as the Sayan fault [15].

The Tunka basin is a northward tilted half-graben filled with Oligocene to Quaternary sediments [14]. The mean thickness of the deposits is around 1 000 m, with a maximum of 2 500 m under the area of Khoytogol (*figure 2*) and their origin is alluvial or lacustrine. Neogene and Quaternary alkaline basalts outcrop in the western and eastern part of the basin respectively (*figure 2*, [18]). Two morphostructural highs, made of crystalline basement (the Elovsky and the Nilovsky spurs), divide the basin into three major parts (*figure 2*). The Tunka basin was formed contemporaneously with the Baikal rift, under sinistral strike-slip regime (σ_3 trending NW–SE, [21]). The northward and southward boundaries of the basin are the North- and the South-Tunka faults, respectively. The North-Tunka fault is morphologically well expressed: the vertical offset is around 2 000 m between the crest of the Tunkinski ranges and the basin mean surface, and the fault scarp is characterized by triangular facets (*figure 3A*). The kinematics of this fault is still controversial: normal-sinistral or pure normal [16, 25]. However, some kilometres north of Arshan (*figure 2*), Russian geologists described post-Miocene reverse fault with east–west orientation [20]. The South-Tunka fault is not so well characterized: the morphology associated with the fault scarp is smooth and its kinematics is unclear [8].

3. Preliminary analysis of the recent deformations

The major structures are the result of a transtensional regime that started 30 Myr ago [21, 26]. Nevertheless, recent deformations and morphostructures are not consistent with this scheme and attest for a present-day transpressional regime.

3.1. The uplifting areas

- In the vicinity of Mondy, three or more terraces are preserved on the left bank of the Irkut river. West of the village (*figure 2*), the lowest terrace, made of unconsolidated alluvial deposits (conglomerates and sands), lies 13 m above the present-day riverbed. Even if we cannot exclude major climatic events, we propose to consider this embankment as resulting of a tectonic uplift because numerous recent structures (such as pressure ridges, *en échelon* faults...) attest of compression and uplifting of terrains along the left-lateral Mondy strike-slip fault.

- Northwest of Turan (*figure 2*), the topography of the Nilovsky spur reveals a WNW–ESE palaeovalley perched up to 300 m above the basin surface. This palaeovalley is certainly an old course of the Ikhe-Oukghun river that is now eastward deflected before crosscutting southwards the Nilovsky spur through the Nilovka gorge.

- North of Kyren (*figure 2*), on the left side of the Irkut river, an east–west relief up to 150 m above the alluvial plain corresponds to a brachyantocline made of Middle to Upper Pleistocene fluvial and glacial deposits.

- In the East of the basin, near Bistraya (*figure 2*) the Irkut river turns abruptly to the North. This change, together with the presence of Upper Pleistocene alluvial deposits between Bistraya and Kultuk, propose that the ancient course of the Irkut river went directly to the Baikal [12]. The recent uplift of this area, would have produced the capture of the Irkut river by the Angara river.

3.2. The transpressional deformations

- North of Mondy, in the Ikhe-Oukgun valley (*figure 2*), Arjannikova and Arjannikov [1] described a NW–SE active fault scarp with a reverse-left lateral kinematics (*figures 2 and 3B*).

- In the Mondy valley (10 km east of the village, *figure 2*), an east–west cumulative scarp displays an apparent vertical offset of one hundred meters and forms a counter-slope at the foot of the northern side of the valley (*figure 3C*). Is this fault related to the 4 April 1950 seismic event? This $M = 6.7$ earthquake remains enigmatic, the focal mechanism being controversial: Doser [10] proposed a dextral movement on an east–west plane or a left-lateral movement on a north–south plane, while Misharina (pers. com.) favours a left-lateral movement on an east–west plane, with a small reverse component. These two solutions are poorly constrained, but taking into account the deformations observed in the Mondy valley (uplifted area, offset streams, left-lateral N80E to N110E fault planes), we support the solution of Misharina.

- In the South of the basin, near Kyren (*figure 2*), a N85E scarp offsets the boundary of an alluvial terrace. At one place, we measured a left-lateral offset around 20 m. This scarp is in the strike of the Mondy fault and displays the same kinematics; thus it could be the eastward prolongation of the Mondy fault. Farther east, we do not evidence any recent surface rupture.

• North of Tory (*figure 2*), in the prolongation of the North-Tunka fault, a N100E north-facing 2.5 m scarp dams the southward drainage (*figure 3D*). Trenches excavated along this scarp reveal a reverse component on a south-dipping fault [6].

3.3. The transtensional deformations

On the North-Tunka fault near Arshan (*figure 2*), the most recent coseismic event has been dated 1024–1400 BP and has a clear normal component [16, 24]. We have re-worked the quarry of Pleistocene sediments, and its surrounding, previously analysed by McCalpin and Khromovskikh [16]. Some kilometres west and east of Arshan, numerous recent structures (such as sag pond, stream offsets, *en échelon* faults) attest of a significant component of left-lateral movement on this fault.

4. Discussion and comparison with the seismological and GPS data

The preliminary field analyses of the most recent deformations show that the kinematics of the Tunka basin is complex (*figure 4A*). We focus on three major points: (i) in the central part of the basin, the most recent movements along the North-Tunka fault display both a normal and a left-lateral component thus indicating a transtensional regime; (ii) at the western and eastern edges of the basin, the structures attest to a transpressional regime; (iii) within the basin various uplifting zones are due to transpressional deformations.

At a regional scale, the inversion of the focal mechanisms shows a compressive regime associated with a maximum horizontal stress (S_{Hmax}) trending N30E in the north of Mongolia and an extensive regime with a minimal horizontal stress trending N–WSE in the south-Baikal area [13, 17].

In Mongolia and southern Baikal, recent GPS surveys reveal a general movement of the Amur–north China block towards ESE with respect to the Siberian platform [4, 5]. This regional kinematics implies left-lateral movements along the Sayan and Tunka faults; however the spatial sampling of the GPS network do not allow to precise the details of the tectonic regime in the Tunka basin.

How can we explain the recent and active compressional and extensional deformations in the Tunka basin? We propose that the extensional, compressional and left-lateral strike-slip structures are active and contemporaneous. The spatial juxtaposition of these structures could be interpreted as a result of rotation of blocks around vertical axes inside the basin (*figure 4B*). Therefore, the Tunka basin would be at the junction between the transpressional tectonic regime in Mongolia and the extensional regime of the Baikal rift. Further field studies, more specifically dedicated to sampling and trenching across active faults, will allow us to propose an age for this recent kinematics change.

5. Conclusion

Recent and present-day deformation of the Mongolia–Baikal area is partly driven by inherited structures. The major faults bounding the Tunka basin are inherited structures that have been reactivated in a transtensional tectonic regime since Oligocene times. Nevertheless, we observe that most of the recent deformations, inside and around the Tunka basin, are not consistent with this transtensional regime. On the contrary, these recent deformations attest of transpression and suggest a recent kinematics change. From these preliminary observations, associated with seismotectonic and geodetic data, we propose that the Tunka basin belongs now to the ‘Mongolia block’, where the compressional regime involved by the India–Eurasia collision prevails.

1. Introduction

La jonction entre la Mongolie et le lac Baïkal (*figure 1*) est une région particulière de la déformation active en Asie, à l’intersection entre la déformation transpressive intense le long de grands décrochements en Mongolie [2, 3, 7, 19, 23, 27] et l’extension le long des failles normales bordant le rift Baïkal [9, 14]. Les mécanismes aux foyers des séismes montrent un régime compressif au sud et au nord du rift Hovsgol, au sud du graben de Busingol, dans la chaîne de Sayan, ainsi qu’à quelques endroits dans le bassin de Tunka (*figure 1*). On trouve aussi plusieurs mécanismes en décrochement et en transpression près du fossé de Busingol, mais peu de mécanismes en transtension et en extension, sauf dans la partie sud du rift Baïkal et dans la partie ouest du rift Hovsgol. D’autre part, on note que la direction des axes P

passé de N30E au sud du système Hovsgol–Darkhat–Busingol pour prendre une direction NE–SW à est-ouest, au nord dans la chaîne de Sayan. Au voisinage des rifts Hovsgol–Tunka, la variété des mécanismes suggère que les directions des contraintes varient très rapidement dans l’espace.

De récents travaux de sismotectonique et de géodésie dans la région Mongolie–Baïkal [4, 13, 19, 22] ont apporté des éléments nouveaux concernant les vitesses de déformation des différents dispositifs structuraux. Ces résultats permettent de mieux comprendre la cinématique des déformations actuelles du système tectonique Mongolie–Baïkal. Cependant, la chronologie des déformations récentes reste mal établie. En particulier, le passage d’un régime tectonique compressif, en Mongolie occidentale, au régime extensif du rift Baïkal n’est pas encore compris, dans le temps comme dans l’espace. Cette question est pourtant cen-

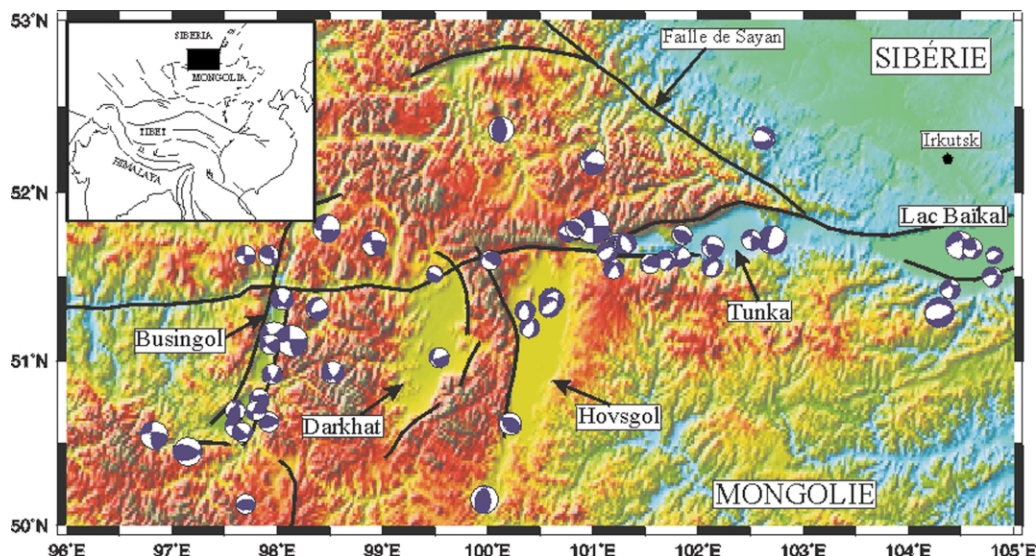


Figure 1. Topographie (altitudes du vert, ~ 500 m, au marron, ~ 3 000 m) et mécanismes au foyer (54) de la jonction Mongolie–Baïkal. Nous avons utilisé les mécanismes aux foyers sélectionnés par [17], excepté le séisme de Mondy (04/04/1950, $M = 6,7$, voir discussion dans le texte) et trois autres séismes ($4,5 < M < 5,5$), déterminés précisément dans la région de Busingol. À cette base de données ont été ajoutés 11 nouveaux mécanismes simples, aux magnitudes comprises entre 3,3 et 6,3, déterminés par les premiers mouvements relevés aux 35 stations du réseau permanent régional Baïkal–Mongolie, pour lesquels la position des nœuds est contrainte à $\pm 15^\circ$.

Figure 1. Topography (altitudes from green, ~ 500 m, to brown, ~ 3 000 m) and focal mechanisms of the Mongolia–Baikal area. We have used the focal mechanisms selected by [17], excepted the Mondy earthquake (04/04/1950, $M = 6,7$, see discussion in text) and three other events ($4,5 < M < 5,5$) determined in the Busingol area. We have added to this data set 11 new single focal solutions ($3.3 < M < 6.3$) determined by using first motions at 35 stations of the permanent seismological network of Mongolia–Baikal, for which fault planes are constrained at better than $\pm 15^\circ$.

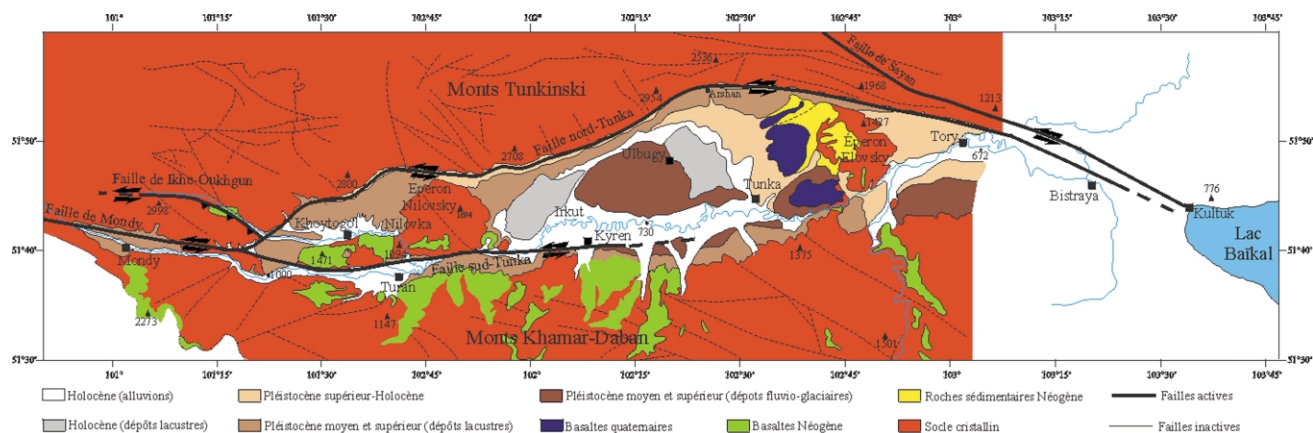


Figure 2. Carte structurale du bassin de Tunka (d’après la carte géologique de la Russie au 1:200 000).

Figure 2. Tectonic setting of the Tunka Basin (from the geological map of Russia, 1:200 000).

trale pour la compréhension de la distribution et de la propagation de la déformation liée à la collision Inde–Eurasie.

Pour répondre à cette question, nous avons entrepris une analyse de la tectonique récente et active dans le bassin de Tunka, situé à la pointe sud du craton sibérien, à l’intersection des structures compressives de la Mongolie occidentale, de celles de la Sibérie méridionale et des structures extensives du rift Baïkal.

2. Le contexte tectonique et la structure du bassin de Tunka

Le bassin de Tunka apparaît comme une dépression de direction est–ouest, d’environ 150 km de long pour 30 de large, située entre les rifts Hovsgol, Darkhat et Busingol à l’ouest et le rift Baïkal à l’est (figure 1). Dans le contexte régional, le bassin de Tunka et le système de rifts d’Hovsgol se trouvent au carrefour de

plusieurs dispositifs structuraux : au nord, la chaîne de Sayan, en contact avec la plateforme sibérienne le long du grand décrochement sénestre de Sayan, au sud, le système de failles Tsetserleg–Bolnay, qui bordent au nord le dôme de Hangay et à l'est le rift Baïkal. Ces trois structures majeures comprennent chacune des failles actives de plusieurs centaines de kilomètres de longueur.

Le craton sibérien et la chaîne de Sayan–Baïkal sont constitués par un assemblage de terrains cristallins ou sédimentaires, principalement d'âge Précambrien supérieur à Mésozoïque [26]. Les déformations tertiaires reprennent un ensemble de structures héritées et réactivent d'anciennes failles, telle que la faille de Sayan, le long de la bordure ouest du craton sibérien [15].

Le bassin de Tunka (*figure 2*) est interprété comme un demi-graben basculé vers le nord [14]. Sa surface se situe à une altitude moyenne comprise entre 1 200 m dans sa partie ouest et 600 m dans sa partie est. Il est drainé par la rivière Irkut, qui coule d'ouest en est. Son remplissage sédimentaire, d'origine essentiellement lacustre et alluviale, est d'âge Oligocène à Quaternaire. L'épaisseur de ce remplissage est de 1 000 m en moyenne et peut atteindre 2 500 m dans la partie centrale du bassin [14]. Les séries sédimentaires sont, par endroits, associées à des coulées de basaltes alcalins datées entre 16 et 5 Ma au sud et à l'ouest du bassin et d'âge Quaternaire à l'est (*figure 2*, [18]). Dans le bassin, deux blocs de socle cristallin forment des reliefs de quelques centaines de mètres (éperon Elovsky à l'est et éperon Nilovsky à l'ouest), qui le subdivisent en trois parties principales.

Le bassin de Tunka est contemporain de l'ouverture du rift Baïkal [15]. Il s'est formé en régime transtensif sénestre avec σ_3 orientée NW–SE [21]. Il est limité, au nord, par la faille nord-Tunka, un accident actif d'environ 200 km de long. Cette faille se prolonge vers l'ouest par la faille de Mondy et rejoint vers l'est la faille de Sayan, au niveau de la terminaison sud du lac Baïkal (*figure 2*). La faille nord-Tunka apparaît clairement dans la topographie par une dénivellée de près de 2 000 m entre les sommets de la chaîne Tunkinski, à 3 000 m d'altitude, et la surface du bassin, à environ 1 000 m d'altitude (*figure 3A*). Depuis l'Oligocène, le déplacement vertical cumulé sur la faille nord-Tunka atteint 5 000 m [26]. Cette faille est interprétée, suivant les auteurs, comme transtensive [25] ou purement normale [16]. Cependant, quelques kilomètres au nord d'Arshan (*figure 2*), les auteurs russes ont décrit des failles inverses post-Miocène d'orientation est–ouest [20].

La limite sud du bassin de Tunka est moins claire (*figure 2*) ; son contact avec les montagnes de Khamar-Daban n'apparaît pas très marquée dans la morphologie. Delvaux et al. [8] considèrent qu'un décroche-

ment initié au Pliocène jalonne cette limite. L'existence, l'extension et la géométrie de cet accident restent cependant à démontrer.

3. Analyse des déformations récentes

À l'échelle du bassin, les structures et la morphologie montrent clairement la cinématique normale-sénestre de la faille nord-Tunka. Dans le paysage, on y observe des facettes triangulaires, sur une hauteur d'environ 1 000 m de dénivellée (*figure 3A*) et

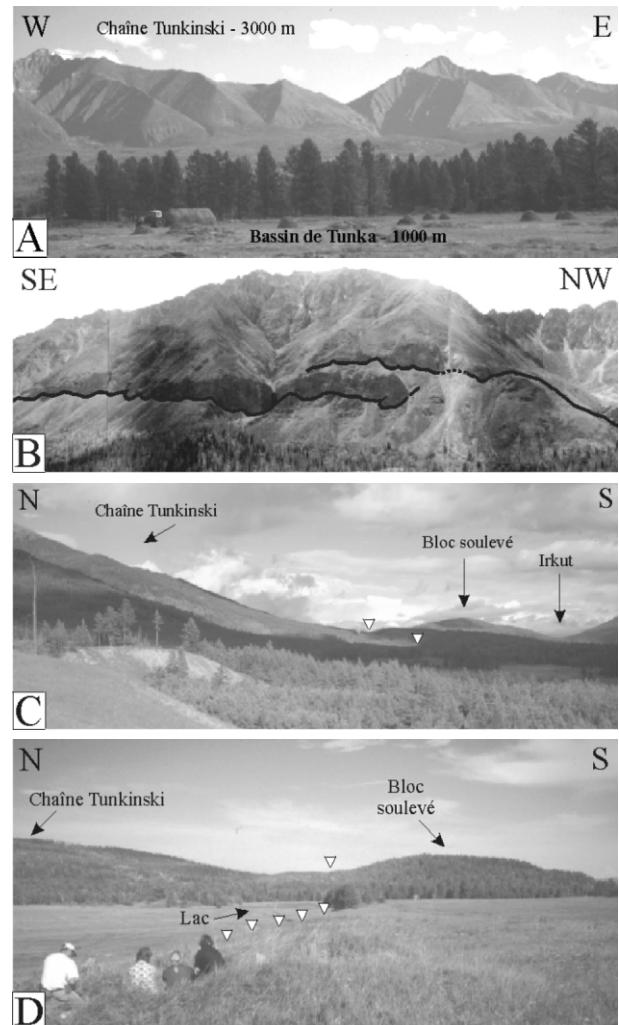


Figure 3. A. Vue panoramique de l'escarpement de la faille nord-Tunka souligné par l'alignement des facettes triangulaires (partie ouest du bassin). B. Rupture en faille inverse-sénestre dans le vallon d'Ikhe-Oukghun. C. Vue vers l'est de l'escarpement à contre-pente qui longe la vallée de Mondy. D. Escarpement le long de la faille nord-Tunka (au nord du village de Tory), formant une contre-pente vers le nord.

Figure 3. A. Panoramic view of the triangular facets along the north-Tunka fault scarp. B. Reverse-left lateral rupture in the Ikhe-Oukghun valley. C. Counter-scarp in the Mondy valley. D. Counter-scarp along the north-Tunka fault near Tory.

des décalages de rivières dans le sens senestre. Ce régime de déformation transtensif semble dominant depuis 30 Ma [8, 21]. Cependant, la morphologie et les structures les plus récentes (Pléistocène–Holocène), décrites ci-après, ne s'intègrent pas dans ce dispositif.

3.1. Les zones en surrection

- Près du village de Mondy (Ouest du bassin, *figure 2*), on observe des dépôts fluviatiles peu consolidés (conglomérats surmontés par des sables fins) d'environ 2,5 m d'épaisseur maximale, perchés par rapport au cours actuel de l'Irkut. L'analyse du site montre qu'il s'agit d'une terrasse alluviale, correspondant à un ancien méandre de l'Irkut, installé sur des conglomérats fluviatiles indurés d'âge Mio-Pliocène. Situés à environ 13 m au-dessus du cours actuel de la rivière, ces dépôts perchés traduisent un encaissement récent de la rivière. Cet encaissement est-il dû à une surrection tectonique ou à des événements climatiques ? Il semble que, dans tous les cas, on puisse exclure une variation du niveau de base de l'Irkut, car la dénivelée de 13 m entre son niveau actuel et la terrasse alluviale est supérieure aux variations du niveau marin lors du dernier interglaciaire [11]. En revanche, cette terrasse est associée à des déformations en transpression, qui jalonnent la vallée de Mondy et qui pourraient accompagner une surrection tectonique de cette zone (voir § 3.2). Cependant, il n'est pas encore possible de l'affirmer définitivement, car l'hypothèse d'un événement climatique majeur ne peut être exclue.

Au nord-ouest du village de Turan (*figure 2*), l'analyse de la topographie de l'éperon Nilovsky permet de mettre en évidence une ancienne vallée de direction WNW–ESE, maintenant perchée à 300 m au-dessus de la surface du bassin. Nous interprétons cette vallée comme l'ancien cours de la rivière Ikhe-Oukhgoun (affluent de l'Irkut), qui aurait été soulevée lors de la surrection de l'éperon Nilovsky. Le cours actuel de l'Ikhe-Oukhgoun, barré au sud par le relief de l'éperon, est drainé plus à l'est et traverse celui-ci au niveau des gorges de Nilovka, où la rivière s'encaisse dans le socle cristallin. À l'entrée des gorges, on trouve une terrasse alluviale récente, bien que non datée, perchée d'une dizaine de mètres au-dessus du cours actuel de la rivière.

- Au nord de Kyren (*figure 2*), les dépôts fluvioglaciers d'âge Pléistocène moyen à supérieur forment un vaste dôme brachyantoclinal. Son axe est est-ouest et il culmine à environ 150 m au-dessus de la surface du bassin.

À l'extrémité est du bassin, près de Bistraya, l'Irkut change brusquement de direction pour couler vers le nord (*figure 2*). La morphologie de paléovallée, corro-

borant la présence d'alluvions anciennes, suggère que la rivière se jetait auparavant dans le lac Baïkal en suivant la vallée Ilcha [12]. Le soulèvement de cette zone aurait provoqué la capture de l'Irkut vers le nord par l'Angara.

3.2. Les déformations en transpression

Dans la vallée de l'Ikhe-Oukhgoun (au nord de Mondy, *figure 2*), Arjannikova et Arjannikov [1] ont mis en évidence une rupture de surface de direction NW–SE, avec une cinématique inverse-sénestre (*figure 3B*). L'analyse de la rupture révèle un déplacement de plusieurs mètres lors du dernier événement.

Dans la vallée de Mondy (10 km à l'est du village, *figure 2*), un escarpement cumulé de direction est-ouest présente un rejet vertical apparent d'une centaine de mètres et forme une contre-pente au pied du versant nord de la vallée (*figure 3C*). Nous n'avons pas trouvé les traces de surface qui identifieraient cette faille à celle ayant joué lors du séisme du 4 avril 1950 ($M = 6,7$), dont l'épicentre se situe au voisinage du village de Mondy. Le mécanisme au foyer de ce séisme est en outre controversé. Doser [10], sur la base d'une modélisation des formes d'onde, propose un décrochement dextre sur un plan est-ouest ou un décrochement sénestre sur un plan nord-sud, tandis que Misharina (comm. pers.), sur la base des premiers mouvements aux stations, propose un mouvement sénestre, avec une faible composante inverse sur un plan est-ouest. Les deux solutions sont faiblement contraintes. L'analyse des structures récentes qui jalonnent la vallée (segments en échelon, rides de pression, décalages de rivières...) suggère une faille raide à pendage vers le sud, avec une cinématique sénestre-inverse.

- Au sud du bassin, dans la région de Kyren (*figure 2*), nous avons observé, sur le terrain, un escarpement qui se trouve dans l'alignement de la faille de Mondy. Un cône alluvial est décalé en sénestre par cet accident de direction N85E, qui semble donc avoir la même cinématique que la faille de Mondy et pourrait, de fait, en représenter le prolongement vers l'est. Plus à l'est, nous n'avons pas pu mettre en évidence de structure active dans la partie sud du bassin de Tunka.

- Au nord du village de Tory (*figure 2*), on observe un escarpement de direction N100E et d'environ 2,5 m de hauteur. Cet escarpement forme une contre-pente, qui barre le drainage descendant du nord et provoque la formation d'un petit lac et de marécages (*figure 3D*). Des tranchées, réalisées perpendiculairement à cet escarpement, permettent de déterminer qu'il s'agit d'une faille à composante inverse et à pendage sud [6].

3.3. Les déformations en transtension

Dans le secteur d'Arshan (*figure 2*), le long de la faille nord-Tunka, un escarpement de faille actif jalonne le relief de la chaîne Tunkinski. Les analyses paléosismologiques effectuées sur deux sites avaient permis de conclure à une cinématique essentiellement normale, avec un dernier événement sismique compris entre 1024 et 1400 BP [16, 24]. Nous avons analysé la carrière de sédiments pléistocènes, et ses alentours, étudiée par McCaig et Khromovskikh [16]. Nous avons constaté qu'une composante importante de décrochement sénestre (marquée par l'ouverture de petits bassins, par le décalage de cours d'eau...) est associée au jeu en faille normale. Ces observations sont corroborées par les traces de ruptures de surface disposées en échelon transtensifs sénestres, par des barrages de talwegs et les décalages sénestres de plusieurs cônes d'épandage, situés au pied de l'escarpement majeur de la faille nord-Tunka, à l'ouest d'Arshan. Ces structures en échelon sont visibles en continu sur environ 5 km, suivant une direction est-ouest.

4. Discussion et comparaison avec les données sismologiques et GPS

L'analyse préliminaire des déformations les plus récentes sur le terrain montre que la cinématique actuelle du bassin de Tunka est complexe (*figure 4A*).

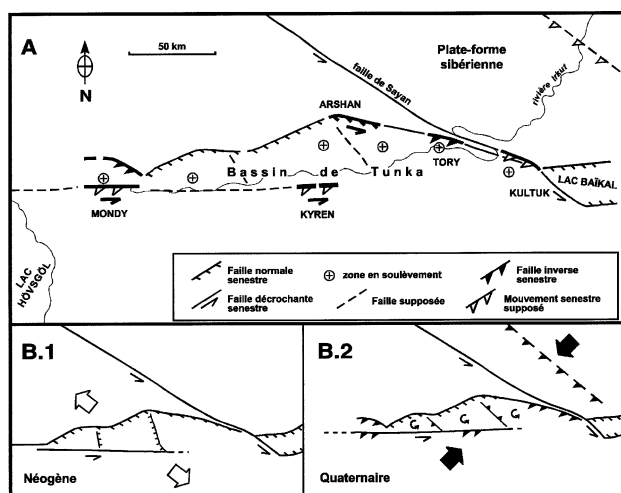


Figure 4. A. Schéma structural et cinématique du bassin de Tunka. Les points d'observation sont en gras, le reste de la structure est tiré de la bibliographie. **B.** Modèle cinématique interprétatif ; 1 : ouverture du bassin de Tunka en transtension au néogène et 2 : inversion récente en transpression et rotation de blocs à l'intérieur du bassin.

Figure 4. A. Structural and kinematic sketch of the Tunka Basin, observation points are bold. **B.** Kinematic model; 1: transtensive opening of the Tunka Basin during the Neogene and 2: recent inversion in a transpressive regime.

Trois points sont à souligner : (i) dans la partie centrale du bassin, le mouvement le plus récent relevé sur la faille nord-Tunka présente une forte composante décrochante sénestre sur le segment est-ouest étudié près d'Arshan, mais la déformation reste clairement transtensive ; (ii) aux extrémités sud-ouest et nord-est du bassin, les déformations caractérisent, au contraire, un régime transpressif ; (iii) on observe plusieurs zones en surrection dans le bassin et à ses limites ouest et est, auxquelles se trouvent associées les déformations transpressives.

À l'échelle régionale, le champ de contrainte actuel, déduit de l'inversion des mécanismes au foyer, montre dans le Nord de la Mongolie un régime compressif, avec une contrainte horizontale maximum (Shmax) orientée N30E et dans la partie sud-Baïkal un régime extensif avec une contrainte horizontale minimale (Shmin) orientée NW-SE [13, 17].

Des résultats de mesures GPS réalisées dans la partie sud du rift Baïkal et en Mongolie occidentale indiquent un mouvement général vers l'ESE du bloc Amour-Chine du Nord par rapport à la plate-forme sibérienne, à une vitesse de 4 à 6 mm·an⁻¹ [4, 5]. Cette cinématique régionale impose un fonctionnement en décrochement sénestre des failles de Sayan et de Tunka. La densité spatiale actuelle des mesures GPS ne permet cependant pas de préciser le détail du régime tectonique dans le bassin de Tunka et sur ses bordures.

Comment expliquer et rendre compatibles les déformations récentes à actuelles, aussi bien en faille normale qu'en faille inverse dans la région de Tunka ? Nous interprétons les structures extensives, compressives et décrochantes sénestres comme contemporaines et actuelles. La juxtaposition spatiale de ces déformations pourrait s'interpréter suivant un modèle de rotations de blocs autour d'axes verticaux à l'intérieur du bassin (*figure 4B*). Le bassin de Tunka réaliserait ainsi la jonction entre le régime tectonique transpressif en Mongolie occidentale et le régime extensif du rift Baïkal. Une future mission consacrée à l'échantillonnage et à l'excavation de tranchées doit nous permettre de proposer un âge pour ce changement cinématique, qui entraîne la reprise en compression du bassin de Tunka.

5. Conclusion

La déformation récente et actuelle de la région située entre la Mongolie et le rift Baïkal est contrôlée, pour partie, par des hétérogénéités d'échelle crustale et lithosphérique héritées d'épisodes tectoniques anciens. Ainsi, l'essentiel des failles limitant le bassin de Tunka sont des structures héritées, qui ont été réactivées dans un régime de déformation essentielle-

ment transtensif depuis l'Oligocène. Cependant, on observe que les déformations récentes et actives dans le bassin de Tunka et sur ses bordures ne s'inscrivent pas dans la continuité de ce régime en transtension. Au contraire, elles témoignent d'un régime transpressif, ce qui suggère un changement cinématique très

récent. Ces observations préliminaires associées aux mécanismes aux foyers et aux déformations géodésiques s'intègrent dans un modèle de reprise en compression du bassin de Tunka, qui appartiendrait maintenant au bloc « Mongolie », dans lequel le régime compressif imposé par la collision Inde–Asie domine.

Remerciements. Les auteurs remercient Peter Molnar pour la relecture de cet article, qui constitue la publication N° 347 de l'UMR « Géosciences Azur » (CNRS–Unsa–UPMC–IRD).

Références

- [1] Arjannikova A., Arjannikov S., Seismotectonic deformations in the western part of the Tunka Bald mountains and modern exogeodynamics, *Geol. Geophys.* 40 (1999) 232–235.
- [2] Baljinnyam I., Bayasgalan A., Borisov A., Cisternas A., Dem'yanivitch M., Ganbaatar L., Kochetkov V., Kurushin R., Molnar P., Philip H., Vaschilov Y., Ruptures of major earthquakes and active deformation in Mongolia and its surroundings, *Geol. Soc. Am. Mem.*, Vol. 181, 1993, 62 p.
- [3] Bayasgalan, Active Tectonics of Mongolia, PhD dissertation, University of Cambridge, UK, 1999, 182 p.
- [4] Calais E., Lesne O., Déverchère J., San'kov V., Luknev A., Miroshnichenko A., Buddo V., Levi K., Zalutsky V., Bashkuev Y., Crustal deformation in the Baikal rift from GPS measurements, *Geophys. Res. Lett.* 25 (21) (1998) 4003–4006.
- [5] Calais É., Amarjargal, New constraints on current deformation in Asia from continuous GPS measurements at Ulan Baatar, Mongolia, *Geophys. Res. Lett.* 27 (2000) 1527–1531.
- [6] Chipizubov A., Recent geodynamics of the SW segment of the Baikal rift zone on the basis of the paleoseismological data, Abstract volume, Rifting in Intracontinental setting: Baikal Rift System and other Continental Rifts, Irkutsk, Russie, 1999, p. 24.
- [7] Cunningham W., Windley B., Dorjnamjaa D., Badamgarov J., Saandar M., Late Cenozoic transpression in southwestern Mongolia and the Gobi–Altai Tien Shan connection, *Earth Planet. Sci. Lett.* 140 (1996) 67–81.
- [8] Delvaux D., Moyes R., Stapel G., Petit C., Levi K., Miroshnichenko A., Ruzhich V., San'kov V., Paleostress reconstructions and geodynamics of the Baikal region, Central Asia, Part 2, Cenozoic rifting, *Tectonophysics* 282 (1997) 1–38.
- [9] Déverchère J., Houdry F., Solonenko N., Solonenko A., San'kov V., Seismicity, active faults and stress field of the North Muya region, Baikal rift: new insights on the rheology of the extended continental lithosphere, *J. Geophys. Res.* 98 (1993) 19895–19912.
- [10] Doser D., Faulting within the western Baikal rift as characterized by earthquake studies, *Tectonophysics* 196 (1991) 87–107.
- [11] Hanson K., Wsting J., Lettis W., Kelson K., Mezger L., Correlation, ages, and uplift rates of Quaternary marine terraces: South-Central California, *Geol. Soc. Am. Special Paper* 292 (1994) 45–71.
- [12] Kononov E., Mats V., The history of the Baikal water runoff formation, *Izvestia Vuzov, Geologia i Razvedka* 6 (1986) 91–98 (en russe).
- [13] Lesne O., Dynamique de l'extension intracontinentale dans le rift Baïkal (Sibérie), apport de mesures GPS et modèles numériques, thèse, université Paris-6, 1999, 184 p.
- [14] Logatchev N., Zorin Y., Evidence and causes of the two-stage development of the Baikal rift, *Tectonophysics* 143 (1987) 225–234.
- [15] Logatchev N., History and geodynamics of the Baikal rift in the context of the Eastern Siberia rift system: a review, *Bull. Centres Rech. Explor.-Prod. Elf-Aquitaine* 17 (2) (1993) 353–370.
- [16] McCalpin J., Khromovskikh V., Holocene paleoseismicity of the Tunka fault (Baikal, Russia), *Tectonics* 14 (1995) 594–605.
- [17] Petit C., Deverchère J., Houdry F., San'kov V., Melnikova V., Delvaux D., Present-day stress field changes along the Baikal rift and tectonic implications, *Tectonics* 15 (1996) 1171–1191.
- [18] Rasskasov S., Magmatism related to the eastern Siberia rift system and the geodynamics, *Bull. Centres Rech. Elf. Explor.-Prod. Elf-Aquitaine* 18 (2) (1994) 437–452.
- [19] Ritz J.-F., Brown E., Boulrès D., Philip H., Schlupp A., Raisbeck G., Yiou F., Enkhtuvshin B., Slip rate along active faults estimated with cosmic-ray-exposure dates: application to the Bogd fault, Gobi Altaï, Mongolia, *Geology* 23 (1995) 1019–1022.
- [20] Ruzhich V., Sherman S., Tarasevich S., Nouvelles données sur les failles inverses dans la partie SW du rift Baïkal, *Doklady Academia Nauk USSR* 205 (1972) 920–923.
- [21] San'kov V., Miroshnichenko A., Levi K., Luknev A., Melnikov A., Delvaux D., Cenozoic stress field evolution in the Baikal rift zone, *Bull. Centres Rech. Explor.-Prod. Elf-Aquitaine* 21 (2) (1997) 435–455.
- [22] San'kov V., Déverchère J., Gaudemer Y., Houdry F., Filippov A., Geometry and rate of faulting in the North Baikal rift, Siberia, *Tectonics* 19 (2000) 707–722.
- [23] Schlupp A., Néotectonique de la Mongolie occidentale analysée à partir de données de terrain, sismologiques et satellitaires, thèse, université de Strasbourg, 1996, 172 p.
- [24] Smekalin O.P., Age and deformations of Arshan paleoearthquakes, in: Proceedings of international conference 'Problems of geodynamics, seismicity and mineragenie of mobile belts and platform areas of the lithosphere', Ekaterinenburg, 1998, pp. 161–163 (en russe).
- [25] Sherman S., Ruzhich V., Folds and faults of the basement: West Pribaikalia, Khamar–Daban and North Mongolia, *Nauka, Moscow*, 1973, pp. 24–35 (en russe).
- [26] Sherman S., Faults of the Baikal rift zone, *Tectonophysics* 45 (1) (1978) 31–39.
- [27] Tapponnier P., Molnar P., Active faulting and Cenozoic tectonics of the Tien Shan Mongolia and Baikal regions, *J. Geophys. Res.* 84 (1979) 3425–3455.