

Histoire des rivières d'Asie centrale depuis deux millions d'années : certitudes et spéculations

René Létolle et Monique Mainguet



Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/asiecentrale/707>
ISSN : 2075-5325

Éditeur

Éditions De Boccard

Édition imprimée

Date de publication : 1 janvier 2004
Pagination : 317-341
ISBN : 2-7449-0429-5
ISSN : 1270-9247

Référence électronique

René Létolle et Monique Mainguet, « Histoire des rivières d'Asie centrale depuis deux millions d'années : certitudes et spéculations », *Cahiers d'Asie centrale* [En ligne], 11/12 | 2004, mis en ligne le 23 juin 2009, consulté le 14 novembre 2019. URL : <http://journals.openedition.org/asiecentrale/707>

© Tous droits réservés

Histoire des rivières d'Asie centrale depuis deux millions d'années : certitudes et spéculations

René Létolle et Monique Mainguet***

Introduction

Le réseau hydrographique du bassin de l'Aral, malmené depuis un demi siècle par l'activité des hommes, a une histoire complexe. Depuis les premières explorations illustrées par les récits et les cartes du début du XVIII^e siècle, on sait que le cours des deux grands tributaires alimentant le grand lac Aral, l'Amou Darya et le Syr Darya, ont subi de nombreuses vicissitudes. L'exemple le mieux connu est celui de l'Ouzboy, ancien lit de l'Amou Darya vers la Caspienne avant sa capture par l'Aral, et dont on commence à bien connaître l'évolution depuis quelques millénaires¹.

On peut, par l'interprétation raisonnée des topographies et de la nature des sédiments fluviatiles issus de la ceinture montagneuse du bassin [Fig. 1], avoir un aperçu des modifications profondes subies par les chenaux de ces cours d'eau. Aux facteurs « superficiels », érosion hydrique par l'eau et éolienne par le vent, alluvionnement et colmatage, apport de sédiments éoliens (dunes et loess²), s'ajoutent, dans une région tectoniquement active, des modifications sensibles de la topographie qui peuvent atteindre verticalement un centimètre par an et dépasser horizontalement 3 cm. À l'échelle du millénaire, dans une région plate, de telles actions ont des répercussions très importantes sur le cours des rivières, supérieures à ce que peut produire une modification du climat³. Des éléments d'appréciation fondamentaux ont été apportés

* Département de géologie appliquée, Université P. M. Curie, Paris ;
rene.letolle@wanadoo.fr

** Département de géographie zonale, Université de Reims ;
monique.mainguet@univ-reims.fr

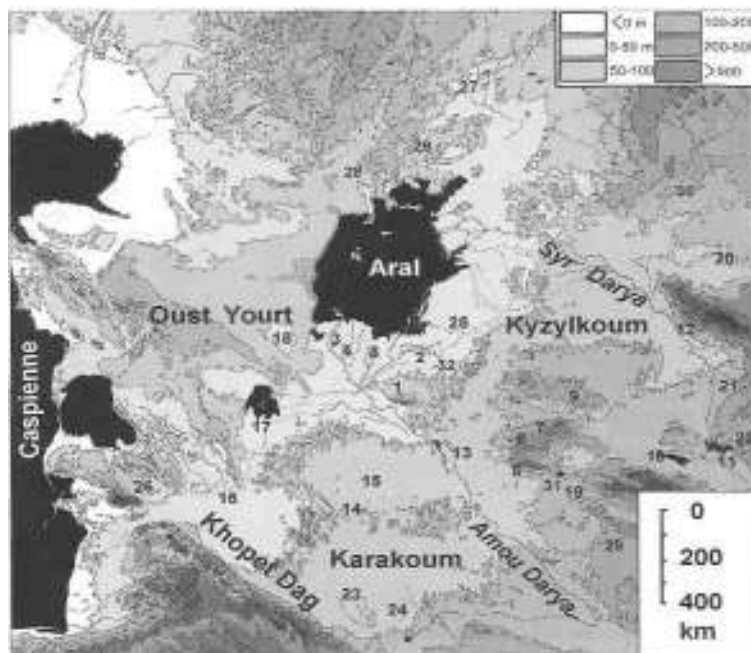


Fig. 1 : Carte générale du relief de l'Asie centrale avec, par ordre alphabétique : Akcha Darya [32] ; Amassai, dépression [10] ; Arys, rivière [21] ; Ayakajitma, dépression [31] ; Barsakelmes, dépression [18] ; Barsouki (Petit), erg [28] ; Barsouki (Grand), erg [29] ; Beltaou, chaînon [2] ; Boukentaou, chaînon [9] ; Chardara, lac [11] ; Grand Balkhan, chaîne [26] ; Irdir, chaînon [8] ; Kachka Darya, rivière [29] ; Karataou, chaîne [12] ; Kyzyl Adjar [3] ; Kouchkanataou, chaînon [4] ; Kouldjouktou, chaînon [5] ; Mourgab, rivière [24] ; Oungouz, dépression [14] ; Ouzboy, vallée [16] ; Sangroundtaou, chaînon [7] ; Sary Kamyh, dépression [17] ; Sary-Sou, rivière [30] ; Soultan Ouiz Dag, chaîne [26] ; Tamdytaou, chaînon [6] ; Tchirchik, rivière [22] ; Tedjen, rivière [23] ; Tourgai, dépression [27] ; Touyamoyoun, massif [13] ; Tchou, vallée [20] ; Yani Darya, rivière [25] ; Zaoungouz, plateau [15] ; Zerafchan, vallée [19].

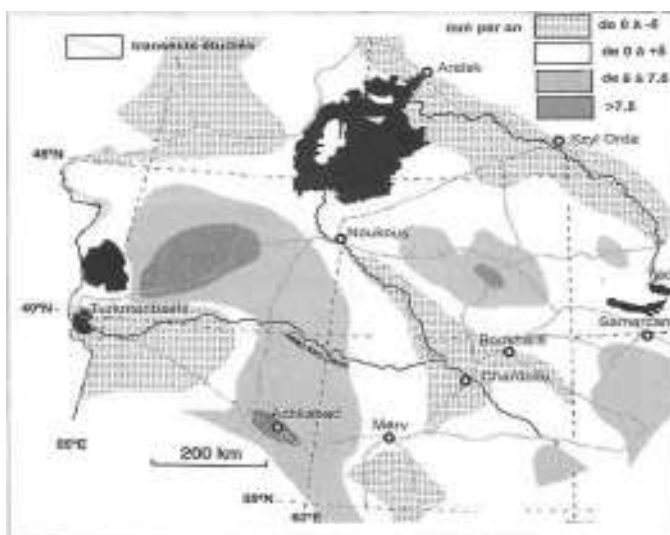


Fig. 2 : Variations du niveau du sol par rapport au site de Turkmenbashi (Krasnovodsk), d'après Thomas et al. 1999 :

- [a]- transects utilisés ;
- [b] - variations négatives (jusqu'à 5 mm par an) ;
- [c] - variations de 0 à 5 mm par an ;
- [d] -variations de 5 à 7,5 mm par an ; [e] - au dessus de 7,5 mm (max. 13).

Fig. 3 :
Importance des
surrections
au Quaternaire
(Dodonov, 1980).

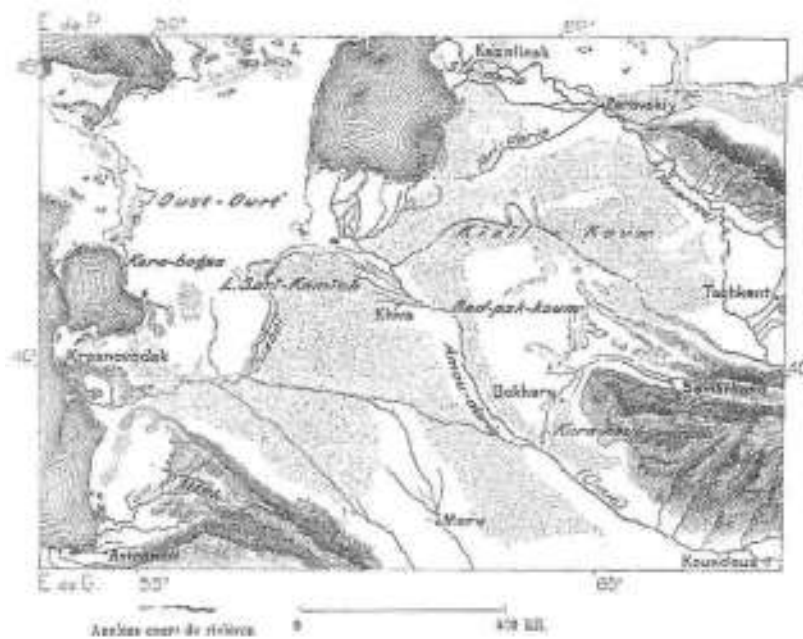
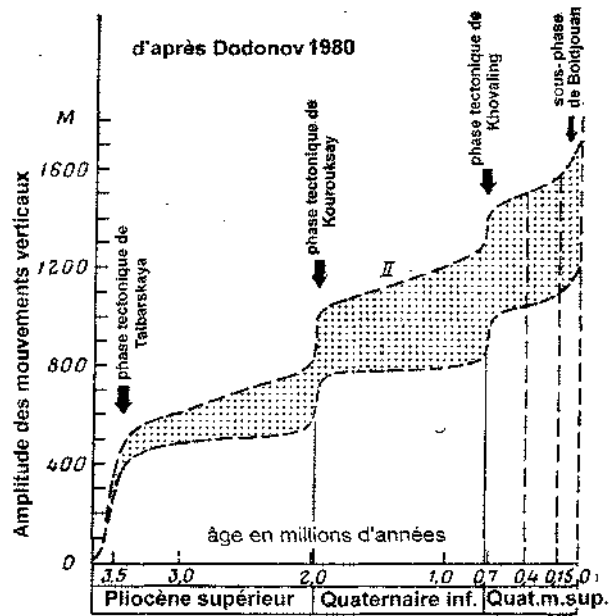


Fig. 4 : Carte des rivières anciennes (E. Reclus, Nouvelle géographie universelle : Asie russe, 1881)

récemment sur ce point par Thomas et al. (1999), qui ont fait la synthèse de résultats topographiques russes très précis obtenus pendant plus d'un demi-siècle sur divers transects d'Asie centrale [Fig. 2]. Ces données indiquent un relèvement important du Khopet Dag, des chaînons anciens qui parsèment le Kyzylkoum et un basculement global du plateau de l'Oust Yourt vers le nord. Inversement, la vallée moyenne du Syr Darya (de Chardara à la mer d'Aral), celle du Mourgab, de l'Amou Darya (de Repetek jusqu'aux gorges de Touyamoyoun) se sont abaissées. Ces mouvements verticaux s'accordent avec ceux, beaucoup plus importants, connus dans les chaînes du SE [Fig. 3⁴] et, plus loin encore, jusqu'au Tibet, où des relèvements de plus de 2 000 m sont admis, pour le Quaternaire, par la plupart des géologues⁵.

Cadre de l'étude

En Asie centrale, où les climats secs persistent depuis des centaines de milliers d'années, beaucoup de chenaux anciens ont subsisté, souvent fossilisés sous le sable d'origine éolienne. Du caractère de leur lit, méandrique ou à chenaux anastomosés (*braided channels*), on peut déduire si l'ancien cours d'eau avait atteint son profil d'équilibre, c'est-à-dire si la référence topographique (le « sol ») est stable ou si, au contraire, ce profil est soumis à des contraintes tectoniques⁶. On peut aussi, par la morphologie des chenaux, la nature et la granulométrie des sédiments, estimer les caractéristiques hydrauliques des dits chenaux.

Nous proposons ici un essai sur l'histoire du réseau hydrographique depuis environ deux millions d'années – ce qui représente à peu près la durée de l'ère quaternaire – telle qu'on peut la reconstituer aujourd'hui [cf. Tableau p. 322]. L'évolution de la couverture sédimentaire d'origine éolienne (sables et loess), qui s'est développée sur la même période a été évoquée précédemment⁷ et ne sera pas considérée dans cet article.

Nous avons déjà donné plusieurs articles relatifs à l'évolution du bassin de l'Aral⁸. Nous tentons ici une synthèse plus large, dont le cadre phénoménologique fut tracé pour l'Asie centrale russe dès 1905 par Davis (1907). Les articles consacrés à la paléohydrologie de la région touranienne sont très rares, ce qui s'explique par une connaissance encore insuffisante des caractères sédimentologiques des cours d'eau, et des traces de l'érosion fluviale. Nous ne traiterons pas d'événements de l'époque holocène (moins de quinze mille ans), qui ont fait l'objet de synthèses récentes⁹.

D'après l'étude de la partie centrale de la cuvette touranienne, en aval des piémonts de la ceinture montagneuse et de leur couverture loessique (c'est à dire des vallées fossiles du Syr Darya et de ses anciens affluents, Sary Sou et Tchou, de l'Amou Darya et de son ex-affluent le Zerafchan), les modifications du réseau hydrographique, au cours des millénaires écoulés, sont dues essentiellement à l'activité tectonique, c'est-à-dire aux mouvements du sol liés aux « forces internes ». Les variations climatiques et « l'arrivée » des

Tableau 1 : Échelle stratigraphique synthétique (MA et KA : millions et milliers d'années)

Échelle en millénaires	Événements lacustres	Climat	Sédiments fluviatiles
Époques : Miocène : de 23.3 MA à 5.33 MA ; Pliocène :			
Pliocène de 5.33 à 1.64 ou 1.8 dont : (étages locaux)		Aride, avec des épisodes plus humides non encore précisément datés par la palynologie, l'étude des restes de rongeurs fossiles etc.	Terrasses très anciennes de la ceinture montagneuse
PL sup. Akchaguilien 3000-2000 KA <i>Transgression marine</i>			
Régression, fin du Pliocène	Début de l'époque glaciaire, vers moins 1 800 KA		
Apcheronien 1500-1000 KA (<i>Transgression</i>)			
Étage de Bakou Q1 ¹⁰ (Aitmien, Bakinien) (<i>Transgression</i>) vers 700 KA ?	Aral et Caspienne réunis		
Kazarien Q2 base vers 350 KA ? (<i>Transgression</i>)	Aral endoréique alimenté par le Tchou et les rivières du nord	Aride	Épisode alluvial de Karakol ; sédiments. Périglaciaires sous sables de Petit Barsouki
inf 170±50 KA (<i>Transgression</i>)	Niveau de la Caspienne 0 m ?	Humide	
Khvalinien moyen		Aride (avant dernière glaciation = Riss)	
Khvalinien sup Q3 30 KA	Niveau de la Caspienne : -16 ou -17 à -10.5 m	Humide	Alluvions de l'Akcha Darya
<i>Régression</i> du Manghislakien 25 KA	Niveau de la Caspienne : -48 m ou -50 m voire -130 m (15 KA)	Dernier max. glaciaire : Würm (LGM)	Ferghana, steppes de la Faim, de Karchi
Néocasprien Q4 <i>Transgression</i>	Niveau de la Caspienne : -21 ou -22 m	Max. de l'intervalle atlantique ; steppe arborée	
Holocène (-12 KA) dont Layvlyakien (-7 à -3KA)	Niveau de la Caspienne -24 m	Aride	
		Plus humide	Alluvions de Kniazboulaksk

N.B. Les étages « stratigraphiques » sont fondés sur les fossiles, lacustres ou marins, et ne correspondent pas nécessairement aux épisodes climatiques continentaux ni aux divisions de la stratigraphie océanique actuelle.

sables ont dans une moindre mesure contribué à modifier le tracé des cours d'eau. Les épisodes glaciaires et leurs conséquences sur les apports fluviatiles d'une part et les actions éoliennes exacerbées d'autre part, ont ajouté leurs complications au schéma simplifié d'un processus uniforme dans le temps de simple interaction climat – tectonique. La plupart des traces des interactions anciennes sont effacées et le géomorphologue doit, comme l'archéologue, travailler sur des bribes d'information.

Dès le début du XIX^e siècle, les rivières disparues ont attiré l'attention des voyageurs des steppes. E. Reclus en donna en 1881 une carte, qui n'a guère vieilli [Fig. 4]. Fedorovitch (1952) en a largement discuté. Le géographe russe Gerasimov écrivait en 1975 : « Such radical changes could have been brought only by great geological processes and most probably by extensive wave-like tectonic deformations of the Earth's surface which resulted in the formation of broad downwarps where new basins formed, and of uplifts which became the new interfluves ». La tectonique globale, mal admise par la science soviétique des années 1960-1970, explique désormais en grande partie les phénomènes de modification du trajet des cours d'eau sur des centaines de kilomètres.

Le cadre géodynamique

La poussée des « plaques » tectoniques arabe et indienne sur la plaque Asie-Europe, qui a créé les chaînes s'étendant de l'Espagne à la Nouvelle Guinée, aboutit à la surrection depuis 45 MA des chaînes himalayennes et, dans la région qui nous intéresse, des chaînes du Caucase à l'Altai [Fig. 5].

Voici d'après Nikonov et Penkov (1973), un résumé des principaux phénomènes tectoniques de la région depuis la fin de l'époque tertiaire.

Au Pliocène moyen (de -6 à -3 MA), les mouvements tectoniques alpins se poursuivaient et on estime que les chaînes avaient déjà atteint entre la moitié et les deux tiers de leur altitude actuelle. Avec une dérive continentale vers le NE du bloc arabo-persique de l'ordre de 3 cm par an, on voit que pendant cette période un raccourcissement de la croûte terrestre de 30 km s'est produit, plissant ou fracturant les roches. Un important réseau fluviatile s'était établi et contribuait à apporter d'épais sédiments clastiques dans le bassin sud de la Caspienne¹¹. Au Pré-Akchagylien (cf. Tableau 1, p. 321), et au début de l'Akchagylien (3-2 MA), le fond de la Caspienne s'enfonça, l'orogénèse s'exprimant par l'apparition d'énormes conglomérats dans le Khopet Dag. Les paléorivières du Karakoum creusèrent leur thalweg, se colmatant des cailloutis, sables et silt¹² issus de cette destruction. De même, se formèrent les dépôts épais de plusieurs kilomètres qui colmatèrent la cuvette du Ferghana et le sud du Kyzylkoum, et la vallée de l'Ili au nord.

Après une brève émergence sur l'est de la Touranie, la mer akchagylienne s'étendit depuis la Caspienne sur une grande partie de la cuvette touranienne, y laissant les dépôts deltaïques des paléorivières Amou, Syr et Zerafchan, le

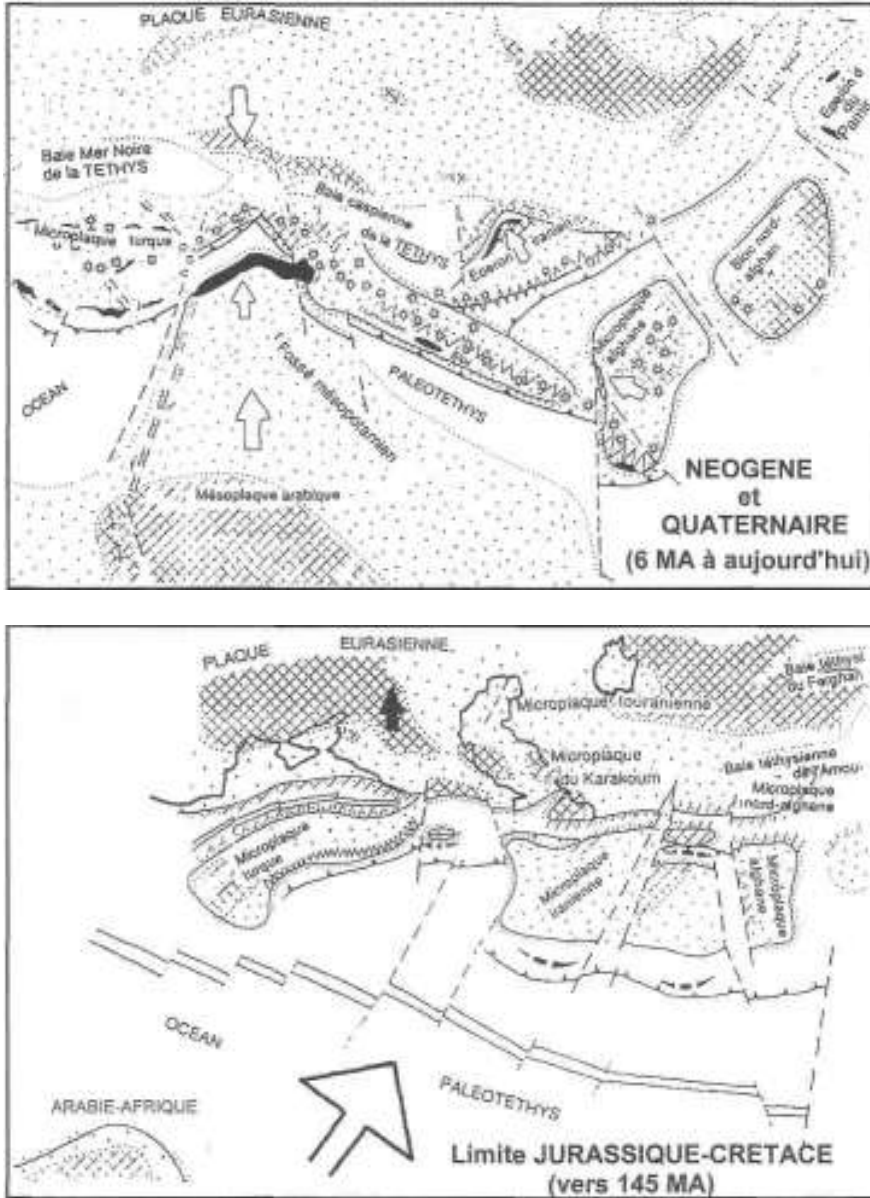


Fig. 5 : La formation des chaînes du sud touranien, par dérive de l'Arabie vers le bloc eurasiatique.

reste étant occupé par de grands lacs donnant en particulier les dépôts fluviaux du plateau de Zaoungouz (nord du Karakoum). Les mouvements tectoniques se poursuivirent pendant toute cette période. La période glaciaire, qui correspond au sud au développement de l'aridité, a dû commencer vers 3 MA, plus tard que dans l'hémisphère Sud (Antarctique), c'est-à-dire à la fin du Pliocène. Ses traces les plus anciennes datent de 1.8 MA : chaque cycle de glaciation, qui dure environ 100 000 ans, est parfaitement connu par les forages sous-marins des campagnes IPOD et ODP menés depuis 20 ans¹³.

Une régression se produisit puis un approfondissement de la Caspienne correspondant à une nouvelle poussée orogénique, aboutit aux dépôts de la transgression apchéronienne (1.8 – 0.7 MA), beaucoup moins importants que la précédente mais atteignant tout de même le bassin de l'Aral¹⁴. L'aridisation s'est accentuée et les ergs et les premiers dépôts de loess sur les piémonts apparaissent alors. La tectonique reprend de la force au milieu de l'Apchéronien (1.5-1 MA) : les dépôts précédents, y compris ceux du Quaternaire ancien, sont plissés et faillés, et simultanément érodés (ce que Davis avait déjà observé), aboutissant à un nouveau cycle d'alluvionnement au long des cours d'eau et sur les plaines d'épanchement, entre les massifs de roches anciennes depuis longtemps dégagés par l'érosion subaérienne. Ces dépôts se retrouvent aussi dans la partie nord de l'Aral (sud Kazakhstan), moins importants sauf dans la vallée de l'Ili. Cette érosion et ses produits variés (plus grossiers en période d'orogénèse intense), commencée dès la fin du paléocène, au fur et à mesure du retrait de la mer sarmate¹⁵ et de l'exhaussement du sol, est particulièrement nette au Karakoum où les paléovallées antéquaternaires [Fig. 6]

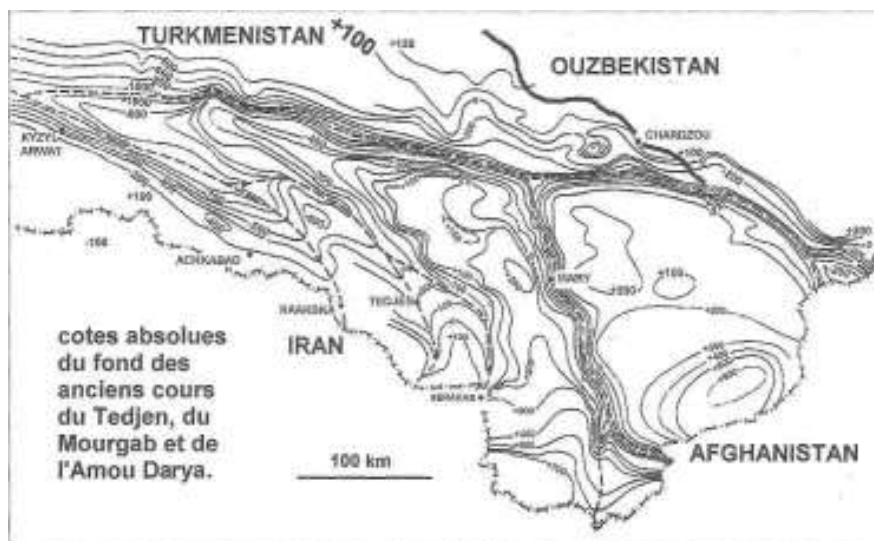


Fig. 6 : Paléochenaux préquaternaires du Karakoum (d'après Raevsky et al, 1976).

creusées dans le Jurassique et le Crétacé du substratum, sont comblées dès le Miocène supérieur par des dépôts alluvionnaires et deltaïques, atteignant parfois plusieurs centaines de mètres d'épaisseur. On les retrouve aussi bien dans les vallées des montagnes que dans la cuvette aralienne, exposés à l'air libre ou partiellement recouverts par les ergs du Kyzylkoum et du Karakoum dont le rôle sera explicité plus loin.

À la fin de l'Apchéronien et de la courte phase transgressive de Bakou (1-0.7 MA), qui n'intéresse que les marges immédiates de la Caspienne, les rivières déposèrent les séries silteuses du Kyzylkoum et Karakoum, pouvant atteindre en amont plusieurs centaines de mètres d'épaisseur (Ferghana, Issyk Koul) et que recouvrirent les sables éoliens venus du nord.

Après la régression post-apchéronienne, le creusement et le remblaiement des vallées fossiles du Karakoum reprirent.

L'orogénèse est toujours active et se manifeste par une activité sismique intense et des mouvements épirogéniques¹⁶ lents, de l'ordre de quelques millimètres par an. Des études détaillées¹⁷ montrent qu'au total depuis 2 MA, les plissements des chaînes du Sud touranien ont provoqué une surrection atteignant 1 600 m au sud du Ferghana, en plusieurs épisodes paroxysmaux [Fig. 3]. Les travaux plus récents¹⁸ ont précisé ces conclusions. La poussée tectonique a fait jouer aussi les terrains anciens pré-orogéniques, éruptifs, métamorphiques ou sédimentaires, émergés au moins depuis la fin de l'ère secondaire, et qui formaient des îles dans les mers épicontinentales du Paléogène, puis de l'Oligocène, du Miocène et Pliocène. Les terrains enfin émergés après le retrait définitif de la mer, ont été faillés, bombés et soumis à une active érosion à l'air libre. Les oscillations du niveau marin régional, et donc la nature et l'épaisseur des dépôts marins, étaient fondamentalement dus à ces mouvements du sol et non à une variation du volume des eaux océaniques.

Paléo-rivières du Pliocène et du Quaternaire ancien

Les niveaux alluvionnaires d'origine fluviale, par l'alternance de niveaux fins (argiles) et grossiers (blocs, cailloutis et sables), permettent seulement de déterminer l'importance relative des phénomènes tectoniques qui les ont provoqués, et pas leur âge absolu, faute de fossiles stratigraphiques probants et de datations « absolues », les méthodes modernes (béryllium 10 et aluminium 26, acides aminés etc.) étant encore très peu répandues et le radiocarbone sur les restes organiques plafonnant à 30 000 ans environ. L'altération n'apporte que des renseignements qualitatifs sur l'histoire de la contrée. De ce fait, les cartes géologiques sont réduites à ne distinguer que quatre stades alluvionnaires, Q1 à Q4 (cf. Tableau 1). L'étude des morphologies apporte toutefois des renseignements d'intérêt.

On pense depuis longtemps que le tracé du chenal des cours d'eau touraniens est en partie récent. Leurs divagations sont historiquement assez bien connues, en particulier pour l'Amou Darya ; ainsi, une ancienne capitale du

Khorezm, Kâth (X^e siècle), qui se trouvait sur la rive est, voit aujourd'hui ses vestiges sur la rive gauche ; le fort de Petropavlosk, site de l'actuelle ville de Tourtkoul, se trouvait en 1875 à quelques kilomètres du fleuve : le lit de celui-ci en est aujourd'hui tout proche. Tous ces déplacements, captures et divagations ne sont pas synchrones ni soumis aux mêmes effets. Un changement climatique avec retour à des conditions climatiques moins sévères, tels que l'épisode layvyakhien (-5 000 ans), un colmatage de lit ou un barrage sédimentaire (alluvionnement et/ou migration de sables éoliens) et un rehaussement tectonique (pouvant dépasser, on l'a vu, 1 cm par an) sont les trois facteurs à mettre en cause. Ce dernier facteur modifie le niveau de base du cours d'eau. En fait, souvent, ces trois processus interviennent simultanément.

L'Amou Darya, l'Oungouz et l'Akcha Darya.

L'Ouzboy est un ancien cours de l'Amou Darya vers la Caspienne¹⁹. Il existe dans le prolongement de son cours inférieur une coupure dans le désert, l'Oungouz, marquée par un abrupt séparant le Karakoum sud du Zaoungouz, d'orientation NO-SE, d'une trentaine de mètres de rejet, relevant le plateau par rapport au Karakoum sud, et qui semble aménagé par l'érosion éolienne car il n'y apparaît pas de chenaux fluviaux caractéristiques. Le Zaoungouz est recouvert, sous une couverture éolienne discontinue, de sables fluviaux du Miocène inférieur, ne dépassant pas quelques mètres d'épaisseur. Les anciens cordons dunaires de l'Oungouz prolongent directement ceux du Zaoungouz, en contre-haut et déterminent entre eux une guirlande de *solontchaks*²⁰, alimentés en eau à la fonte de la neige par le plateau²¹. L'Oungouz est classiquement considéré comme un ancien lit de l'Amou Darya, allant de Chardzou (Turkmenabad) à l'Ouzboy. Mais il ne semble pas que la dissection de l'abrupt de l'Oungouz soit directement liée au travail du paléo-Oxus quand il coulait au cœur du Karakoum, mais plutôt, comme on le verra plus loin, quand son cours dériva vers le NE.

On sait en effet, depuis les travaux de prospection pétrolière²² que le paléo-Oxus s'écoulait depuis des millions d'années de Termez vers Nebit Dag et de là vers la Caspienne, creusait de manière permanente son lit, comme le firent parallèlement le Tedjen et le Mourgab, suivant le tracé des plis les plus anciens du Khopet Dag, qui se rehaussaient constamment (et sont enfouis depuis sous les sédiments anciens du tréfonds du Karakoum, cf. Fig. 5). À une certaine époque, vers la fin du Pliocène vraisemblablement, à la suite d'une fracturation qui créa un « fossé » longitudinal suivant à peu près le cours actuel de l'Amou Darya depuis Chardzou jusqu'à l'île de Vozrojdenie, le Zerafchan captura le paléo-Oxus dans la région de Chardzou et, depuis lors constitua le tronc majeur du futur Amou Darya. Ancien affluent de l'Amou Darya, le Zerafchan est, comme l'Amou Darya lui-même, un très ancien cours d'eau datant de l'ère tertiaire. Il a suffi en fait d'un rehaussement d'une cinquantaine de mètres²³ du bord SO de la plate-forme du Karakoum

(sous la poussée tectonique qui mettait en place le Khopet Dag) pour que cette capture s'effectue. Il est vraisemblable que les anciennes rivières du sud Karakoum ont persévéré sur leur tracé ancien, comme le montrent les épanchages épisodiques de l'Amou Darya vers l'intérieur du Karakoum, selon le tracé dit Kelif Darya, réutilisé pour le premier tronçon du Grand canal du sud Karakoum. Le Tedjen et le Mourgab furent également affectés par ce gauchissement mais étaient trop éloignés du nouveau cours du paléo-Oxus pour être eux-mêmes capturés. La « plaque » du Zaoungouz continua (et continue) à se gauchir, se fracturant, comme le montrent les résultats des recherches pétrolières, selon le tracé général de l'Oungouz et faisant « basculer » définitivement l'Amou Darya vers l'est.

La dépression de l'Oungouz n'est donc pas la trace d'un « ancien lit » de l'Amou Darya, mais est postérieure à son déplacement vers l'est : l'abrupt de faille qui la limite au nord, nous l'avons dit, n'est entaillé par aucun thalweg mais a été essentiellement sculpté par l'érosion éolienne.

C'est donc le Zerafchan qui a capturé l'Amou Darya. Cette rivière a une histoire ancienne, comme le montre l'énorme épaisseur de ses terrasses alluviales successives dans sa haute vallée²⁴. Voici peu, après la traversée des oasis de Boukhara et Karakol, épuisé, il se terminait dans des flaques asséchées l'été au creux de dunes du Kyzylkoum. L'histoire ne mentionne pas qu'il ait débouché dans l'Amou Darya, près de Chardzou ; cependant certains récits racontent que la rivière l'a fait lors de crues²⁵. L'examen attentif des cartes topographiques et des dépôts torrentiels anciens du Zerafchan, formés de larges épanchements deltaïques de sables et galets plats, sur la rive droite depuis le coude de Navoi, jusqu'à la dépression de Ayakajitma et d'autres situées plus au NO²⁶ montrent la puissance de ce « paléo-Sogd » qui coulait donc alors au sud du massif de Kouljouktaou. Son lit suivait ensuite une topographie basse marquée par une série de lagunes, traversait la rive gauche actuelle de l'Amou Darya, au niveau de la ville de Lebap²⁷, laissant à sa droite le bombement de Touyamoyoun au niveau de la plate-forme du Zaoungouz. Ses alluvions très anciennes (1 MA, 0.5 MA ? ?) montrent qu'il capta l'Amou Darya à environ deux cents km en aval de Chardzou et participa désormais à l'alimentation en eau du Zaoungouz. Le nouveau fleuve s'y épanchait vers l'ouest et y forma des lacs qui ont abandonné, sous le couvert dunaire actuel, des sédiments fins argilo-sableux.

Le gauchissement de la plate-forme du Zaoungouz vers l'est a vraisemblablement provoqué, non seulement la migration du paléo-Oxus dans cette direction, mais sans doute aussi celui du Zerafchan à partir de Boukhara et a dû alors créer la vallée occupée aujourd'hui par l'Akcha Darya²⁸ en direction du N-NE, laissant le massif de Souldan Ouiz Dag sur sa rive gauche : Vichniakov et al., cités plus haut, indiquent ce tracé sur leur carte. Nous avons observé ses alluvions argilo-sableuses en partie grésifiées, sous le sable et les colluvions de pente du glacis est du massif de Sultan Dag. Mais l'essentiel de l'alluvionnement se fit cependant à l'ouest de ce massif ancien, comme en

témoigne l'épaisseur maximale (près de 200 m) des dépôts quaternaires au niveau de Khiva.

L'histoire ancienne du Zerafchan, bien avant qu'il eût capté l'Amou Darya, était donc vraisemblablement liée à celle du paléo Syr Darya à environ 150 km à l'est de Noukous, sans doute dès le Pliocène supérieur.

Dans sa migration vers le NE, le système fluvial du paleo-Oxus a non seulement façonné les reliefs bordiers du sud de l'Oust Yourt²⁹, mais aussi démantelé l'ancienne extension vers l'est de ce plateau de terrains sédimentaires anciens, créacés et tertiaires (plus de 5 MA), qui s'étendaient ainsi en couronne au nord du massif de Sultan Ouiz Dag.

L'angle SE de l'Aral est marqué en effet au NE de Koungrad par un alignement est-ouest de coteaux, le Beltaou, formé de strates tertiaires (paléogène et néogène), en parfaite continuité stratigraphique avec les formations du plateau de l'Oust Yourt à l'ouest, par l'intermédiaire de petites buttes témoins d'une trentaine de mètres de hauteur qui parsèment la partie distale du delta de l'Amou Darya, Kouchkanataou, à 50 km au NO de Tchimbaï, Kyzyljar à 10 km à l'est de Koungrad, Borlitaou, Krontaï et Krontaou entre Noukous et ces localités [cf. Fig.1]. D'autres buttes de même origine se trouvent dans le territoire de Kounya Ourgench. On a peu épilogué sur l'origine de ces hauteurs. Le Beltaou détermine aujourd'hui la limite sud du Kyzylkoum septentrional : les dunes recouvrent sa crête, le sable s'écoulant sur les pentes sud. Une longue plaine alluviale, non ensablée, s'étend vers l'est depuis le delta de l'Amou Darya et la région de Takhtakoupir (au NE de Noukous) sur une centaine de kilomètres de long et une dizaine de kilomètres de large. Elle sépare le Beltaou du Kyzylkoum méridional, à l'est de Noukous, où reprennent les dunes. Cette aire est parsemée de chenaux anastomosés récents, certains réutilisés pour l'évacuation des eaux de drainage. Les dépôts sont des sables marneux à structure entrecroisée très complexe, et correspondent à la combinaison du delta mixte de l'Akcha Darya et du cours ancien du Syr Darya. La jonction entre ces paléo-Zerafchan et paléo-Iaxartes (Syr Darya) s'est perpétuée par la confluence, aujourd'hui inactive, du Yani Darya (bras latéral du Syr Darya moyen), avec l'Akcha Darya. Le Yani Darya a été fonctionnel aux époques historiques (sinon lors de coupures artificielles, du XVI^e au XIX^e siècle) mais il est difficile d'y trouver des sédiments fluviaux, le lit étant, dans la partie que nous avons pu observer, entièrement couvert de *solontchaks* et de dunes récentes vers le sud. Mais on verra plus loin que le paléo-Iaxartes a dû suivre un autre trajet fossile, plus méridional, dans le sud du Kyzylkoum.

Revenant au Beltaou, il apparaît immédiatement que cette butte-témoin et ses satellites ont formé une structure géomorphologique continue avec le plateau de l'Oust Yourt [Fig. 7], ainsi qu'avec l'ensemble structural centré sur l'île de Vozrojenie³⁰, qui divise la cuvette de l'Aral du nord au sud³¹. L'origine plus lointaine des deux bassins de l'Aral sera évoquée plus loin.

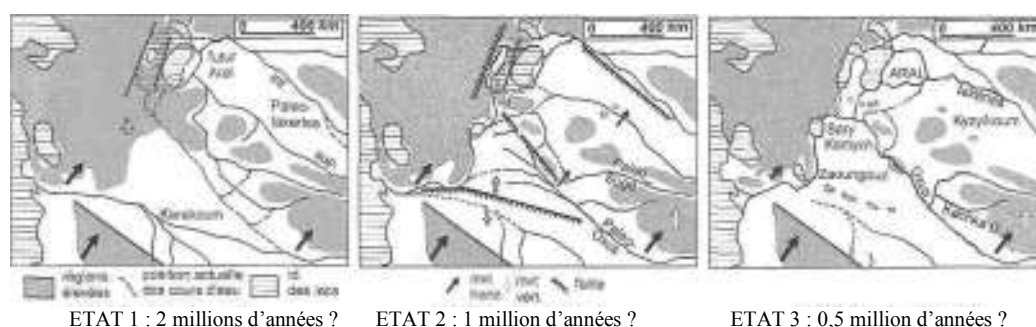


Fig. 7 : Évolution des cours d'eau et formation de l'Aral : rapports successifs de l'Amou Darya et du Syr Darya avec le lac Aral.

Peu à peu les dépôts tertiaires du sud de l'Aral furent érodés, supprimant la barrière Beltaou-Oust Yourt, ce qui permit alors à la dépression occupée aujourd'hui par le lac, jusqu'alors dépression endoréique alimentée par des rivières issues du Nord (vallées du Tourgaï et du Tchou) d'être alors raccordée [Fig. 8C] au cours commun Akcha-Paléo-Iaxartes, et de là, à la dépression tectonique, entretenue par l'érosion éolienne, du Sary Kamysh. Ces deux cours d'eau, pouvant alors eux-mêmes contribuer pour partie à l'alimentation de l'Aral, façonnèrent en même temps les *tchinks*³² du sud de l'Oust Yourt et les nombreuses buttes qui parsèment la contrée de Kounya Ourgench, tout en l'ennoyant d'alluvions qualifiées, faute de mieux, d'« anciennes »... Il est vraisemblable qu'à cette époque (fin du Pliocène – début du Quaternaire), la dépression aralienne, devenue exoréique vit alors se produire le façonnement du *tchink* de l'ouest de l'Aral, et des thalwegs encore ennoyés qui apparaissent nettement aujourd'hui sur les photos satellites, au pourtour de la presqu'île de Vozrojdénie.

À une époque plus rapprochée (vers -500 000 ans ??), la poursuite du relèvement oblique du Zaoungouz modifia encore le cours du nouveau Paléo-Oxus, le contraignant à déplacer encore son cours vers l'est, sur l'emplacement du bombement tectonique qu'occupe l'actuel barrage de Touyaymoyoun (en amont de Noukous), et de traverser la série de terrains anciens, du Tertiaire et du Crétacé, créant l'actuel défilé et les rebords en falaises adoucies de la rive est de l'Amou Darya. Ce creusement n'est pas terminé, du fait de la nature friable des roches et de la force érosive du cours d'eau³³ : celui-ci n'a pas encore régularisé son profil, comme en témoignaient les rapides aujourd'hui submergés par le lac-réservoir. Mais de cette époque date une modification du cours principal telle que l'essentiel de l'alluvionnement en aval se fit désormais à l'ouest du massif de Souldan Ouiz Dag, dans la plaine deltaïque d'Ourgench à Tourtkoul. La progression de ces dépôts deltaïques

a peu à peu colmaté le « goulet » au SO du Beltaou, vallée correspondant à la fosse ouest actuelle de l'Aral, alors occupée par le Syr Darya issu du nord qui se reliait directement à la dépression du Sary Kamysh, le barrant peu à peu par une fragile « digue » d'alluvions³⁴ - prélude au delta actuel [cf. Fig. 5, états 2 et 3]. Alimenté, comme on va le voir, par les rivières issues du nord, le lac formé derrière ce barrage réagissait et augmentait son niveau avec l'amplification de cette digue. Mais son niveau ne pouvait dépasser une certaine altitude, définie par le bilan entre apports et évaporation³⁵.

Le réseau posthume de l'Amou Darya comporte encore un ancien affluent, le Kachka Darya, rivière de Karchi, qui se perd depuis longtemps au sud de cette ville. Jadis, il trouva son débouché au SE vers l'Amou Darya, selon un trajet réhabilité par un canal prélevant l'eau de l'Amou Darya pour l'irrigation de la steppe de Karchi ; mais, à une époque différente, encore indéterminée et en tous cas ancienne, la Kachka Darya fut un affluent du paléo-Zerafchan qu'il rejoignait près de Boukhara. Des traces morphologiques (buttes témoins) en subsistent, qui ont servi de guide pour le tracé de canaux de drainage, ici encore.

Le Syr Darya et l'Aral

Avec l'exhaussement continu des reliefs de l'Alaï, le comblement de la fosse du Ferghana se poursuit sans interruption pendant toute la durée du Quaternaire. Ici aussi, les terrasses emboîtées sur les flancs des vallées qui y débouchent indiquent la succession des épisodes d'activité et de calme relatif de la tectonique. Des études paléomagnétiques des dépôts de lœss anciens permettent d'avoir une idée de la chronologie, même si leurs résultats sont souvent discutés³⁶.

Au débouché du Ferghana, le paléo-Syr Darya (paléo-Iaxartes), depuis le Pliocène, combla de même par un delta intérieur, la région au SO de Tachkent qui correspond à la Steppe de la Faim (Golodnaâ Step') et la dépression qui la prolonge à l'ouest, très peu marquée morphologiquement par quelques chaînons montagneux, et occupée aujourd'hui par le grand lac artificiel d'Aidarkoul-Arnasaï. Cette dépression correspond au parcours ancien du fleuve qui ne déboucha jamais vers le Zerafchan moyen (au SO de Navoi), mais longea vraisemblablement la bordure est des petits massifs anciens du Kazaktaou, Nourataou, Mourountaou [cf. Fig. 1] où l'on trouve, parfaitement conservés près de la petite ville ferroviaire de Karakatta, des méandres anciens, occupés par des *solontchaks*. Il est peu probable que le paléo-Syr Darya soit passé ultérieurement entre les massifs de Boukentaou et de Tamdytaou, sur le 42^e parallèle (région de Ouchkoudouk, cf. Fig. 1), par la dépression de Maynboulak, qui fut ultérieurement surcreusée par l'érosion éolienne. Plus au nord dans cette région du Kyzylkoum, des chapelets de lagunes non orientées selon les grands alignements des ergs, et parfois nommés par les anciens géographes « Chelif Darya » (cf. Fig. 4), justifient de penser que l'ancien Syr Darya, y trouva sa vallée. On trouve, à proximité

de la frontière kazakh-ouzbek, de modestes buttes témoins des mêmes terrains que ceux du Beltaou (Jalpaktaou, Koukayaz), avec des *solontchaks* sur leur versant sud, mais dont il est impossible encore, faute d'étude détaillée, de préciser l'origine, éolienne ou fluviatile. Ce cours fossile du Syr Daya reste donc en grande partie hypothétique. Il devait en tous cas confluer avec l'Akcha Darya. La Yani Darya, qui laisse sur ses deux rives quelques buttes témoins de terrains préquaternaires, quelque cent kilomètres plus au nord, représente vraisemblablement une étape ultérieure de la migration du fleuve vers le NE.

Les puissants affluents de rive droite du Syr Darya, le Tchirtchik (rivière de Tachkent) et l'Angren, existaient depuis longtemps, et combinaient leur deltas avec celui du paléo-Iaxartes, s'épandant vers la plaine actuelle du Kyzylkoum au NO de Tachkent, leurs alluvions, connues par les forages hydrauliques s'étendant jusqu'aux massifs anciens du Kyzylkoum qui étaient déjà les seuls reliefs marquants de la terre émergée au cœur de l'ancienne mer post-sarmatienne.

Sans doute au Quaternaire moyen, à la même époque où l'Amou Darya se surimposa à l'anticlinal de Touyamoyoun, le Syr Darya déplaça son lit vers le NE, et l'installa en plein cœur de celui de Chardara³⁷, de même structure et de nature lithologique que le précédent. Il capta alors les rivières issues de la chaîne du Karataou, alors en cours de surrection, l'Arys (rivière de Chimkent) et d'autres torrents de moindre importance avant de se joindre au complexe Tchou – Ili, qui alimentait depuis très longtemps la dépression de l'Aral.

Le Tchou et le Sary Sou

Ces deux cours d'eau s'épuisent dans des *solontchaks*, lagunes et marécages qui forment une bande continue jusqu'aux approches est de Kzyl Orda et de Kazalinsk. De la dissection très ancienne, par des vallées sèches, des plateaux qui bordent l'actuel Syr Darya à l'est de cette ville, il est clair que c'est à eux et à des cours d'eau secondaires issus du nord qu'est dû ce réseau aujourd'hui fossile. Le Syr Darya finalement capté s'installa dans cette topographie héritée, comme l'Amou Darya le faisait dans celle du Zerafchan, sans doute à la même époque. Le Sary Sou, rivière très ancienne du continent émergé coulant sur un territoire peu affecté par l'orogénèse, et qui se jetait dans la mer sarmatienne, mourut avec l'apparition de l'époque aride. Selon Abdul Ghazi, pourtant, ces deux rivières atteignaient encore le Syr Darya au XIII^e siècle. Le Tchou reçut les eaux du lac Issyk Koul jusqu'à une époque rapprochée, peut-être même jusqu'à l'époque historique.

Il n'y a pas eu de changement notable dans les parties supérieures du cours du Tchou depuis un million d'années car la surrection des massifs montagneux du SE (Kyrgyz Alaï, etc.) se fit parallèlement à une vallée qui datait sans doute de l'époque miocène, et, cette tectonique, beaucoup moins importante que dans le sud, n'eut comme conséquence que de raviver l'érosion. Comme pour le Syr et l'Amou, le Tchou fut vraisemblablement rejeté vers le NE, comme le

prouvent les incursions de son lit récent sur les terrains anciens du SO du lac Balkhach (cf. Fig. 8 b, c, d). On retrouve au long de son lit en sondage les traces d'alluvions très anciennes, remontant au Pliocène, époque où ce cours d'eau se jetait encore directement dans les reliquats de la mer téthysienne agonisante.

L'Ili

Ce cours d'eau se jette actuellement dans le lac Balkhach. Sa haute vallée, en Chine, fut un bassin d'origine tectonique qui a subsisté lors de l'exhaussement des chaînes bordières de la frontière chinoise et, comme le haut Syr Darya (Naryn) pour le Ferghana, vallée de même nature, l'Ili a comblé son bassin de centaines de mètres d'épaisseur de sédiments, encore non datés avec précision. Son cours inférieur se prolongeait jadis par celui du Tchou (cf. Fig. 8a) jusqu'au moment où la surrection de la chaîne du Zailiski Alataou, dans sa partie ouest, entre le Balkhach et Bichkek, l'en a séparé à une date non encore précisée (fin du Pliocène ?), le détournant vers le nord et le coupant du Tchou. Cela le mena alors à créer le vaste bassin sédimentaire de son delta et de l'actuel lac Balkhach, adossé au nord à des terrains anciens en léger relief et peu affectés par l'orogénèse. La genèse du lac Balkhach est donc complètement différente de celle de la mer d'Aral.

La place des actions éoliennes dans l'évolution du réseau hydrographique

Nous avons à l'occasion évoqué le rôle des actions éoliennes dans le façonnage des paysages touraniens, par érosion superficielle, transport et sédimentation des particules aboutissant au dépôt des sables et des lèss.

On sait aujourd'hui que les énormes masses sableuses et loessiques d'Asie centrale se sont formées depuis le début du Quaternaire (environ deux millions d'années), pour l'essentiel par l'action des vents anticycloniques issus de la calotte glaciaire (inlandsis) du Nord de la Sibérie ; les vents catabatiques provenant des massifs montagneux du SE et du S de la cuvette touranienne n'ayant qu'un rôle secondaire. L'apparition des grands ensembles sableux peut être datée, comme les lèss, d'environ 2 MA, c'est-à-dire approximativement du début du Quaternaire. À défaut de datation relative par des fossiles (pollens, mollusques continentaux) qui sont les mêmes sur toute la durée du Quaternaire, on peut, en étudiant le magnétisme rémanent des échantillons par rapport à celui de coupes types de roches datées par des méthodes telles que celle au potassium-argon, proposer des âges : près de Tachkent, onze niveaux de lèss se superposent par endroits, les plus anciens d'une série de 90 m d'épaisseur sont datés de 1 Ma, l'avant dernier de 110 000 ans, ce qui paraît satisfaisant bien que la méthode utilisée soit discutée par certains. La thermoluminescence permet de dater les constructions dunaires, et de voir quelle est leur évolution dans le cadre géodynamique que nous avons tenté de tracer ci-dessus.

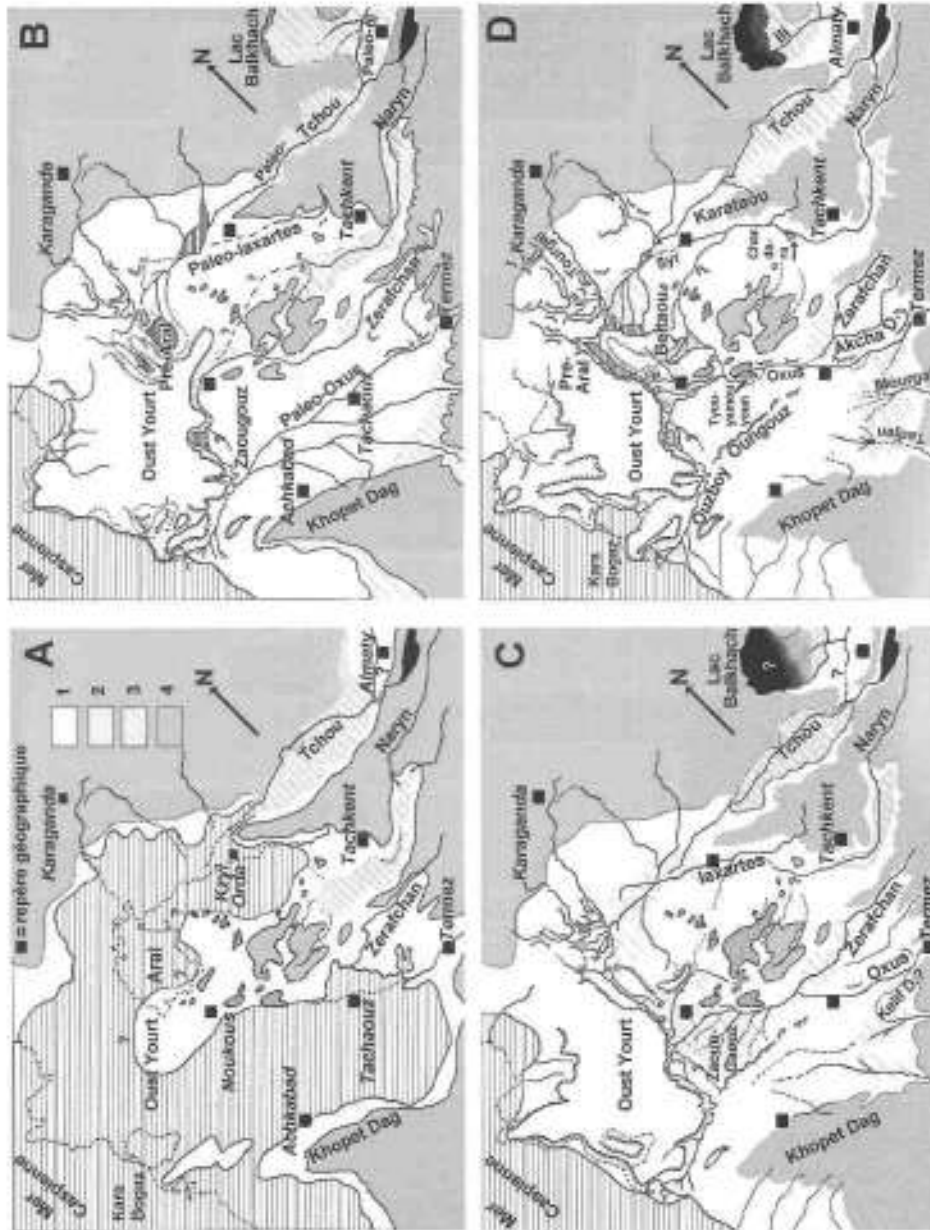


Fig. 8 : Cartons donnant une idée d'ensemble de l'évolution de la région : [A] - Pliocène supérieur (vers 2.5 MA) ; [B] - Fin du Pliocène (vers 2 MA) ; [C] - Quaternaire inférieur (vers 1 MA) ; [D] - Quaternaire " moyen " (vers 0.5 MA). Mêmes légendes pour les quatre époques : [1] - terrains pliocènes marins ; [2] - terrain pré-pliocènes, souvent plissés ; [3] - bassins d'épanchement fluviaux ; [4] - ergs sabkhas.

Le rôle des vents a été essentiel pour le décapage des terrains émergés, pour l'enlèvement et le transport des particules vers le sud, surtout pendant les périodes d'extrême aridité des temps glaciaires. L'action du vent a été constamment facilitée par la pauvreté du couvert végétal, même aux époques humides où la steppe prédominait jusque dans le centre de la cuvette. Les alluvions fluviales, dans les deltas, subissaient largement cette activité, comme cela se voit dans le désert de Zaoungouz et le paléodelta du Zerafchan (Akatajima).

L'importance des dépôts sableux croît du nord au sud : au nord du 45e parallèle, on dénombre environ 70 amas de sable, peu ou pas organisés, de dimension kilométrique, qui représentent vraisemblablement les restes de dépôts plus étendus. Leur taille s'accroît plus au sud. Le plus connu est celui de Sam, au NO de l'Oust Yourt, terreur des caravaniers de jadis. Plus au sud, l'organisation apparaît avec l'augmentation des aires sableuses avec le Mouyoukoun au SO du Balkhach, le Grand et le Petit Barsouki à proximité immédiate de l'Aral nord, installés sur d'anciennes vallées NS, puis les très grands ergs du sud (Kyzylkoum et Karakoum), dont l'essentiel du matériel est issu du nord, comme le montre la granulométrie des sables³⁸.

Mais l'organisation des grands ergs a sans doute joué un rôle dans le tracé fluvial, barrant peu à peu les lits anciens en conjonction avec les phénomènes tectoniques. Les barrières sableuses ont contribué à épuiser le Tchou et le Sary Sou dans leurs efforts vers le paléo-Aral, et cela, même à une époque récente ; il en est de même pour le Tedjen et le Mourgab dans le Karakoum (cf. Fig. 5).

Les ergs en mouvement vers le sud n'ont pas interrompu le parcours des cours d'eau les plus puissants, mais ont contribué à les dévier : l'ancien cours du Syr Darya vers le sud de l'Aral est, comme on l'a vu, recouvert de puissants alignements de dunes longitudinales n'ayant laissé subsister que des chapelets de *solontchaks*. On retrouve aussi, sur la rive gauche de l'Amou Darya, à l'aval de Chardzou les alignements longitudinaux de dunes sur le sol alluvial prédunaire, en continuité avec les alignements du Kyzylkoum occidental, mais que l'Amou Darya, suffisamment puissant, a été constamment capable d'interrompre.

On peut donc conclure que le rôle des formations sableuses dans l'évolution du système hydrographique touranien a été réel, mais n'a oblitéré que des cours d'eau relativement secondaires...

Conclusion

Compte tenu des données récentes sur la vitesse des mouvements verticaux du sol, on doit rajeunir les dates, encore hypothétiques de l'évolution possible, sinon probable, du réseau fluvial de la Touranie proposées dans un article récent³⁹. On peut donc résumer les grandes lignes du scénario comme suit (cf. Fig. 8) :

Étape 1- Dès l'émersion, après le retrait de la mer sarmatienne, démarre le creusement des cupules éoliennes qui donnèrent les cuvettes peu profondes de l'Aral, du Sary Kamych, de Barsakelmes dans l'Oust Yourt etc., érosion accentuée lors des épisodes glaciaires successifs du Quaternaire. Au début de cette époque, l'Amou Darya se jette dans la Caspienne par des cours aujourd'hui ensevelis sous le Karakoum ; le Zerafchan suit le parcours de l'Akcha vers le nord, se joint au paléo-Iaxartes (ex-Yani Darya, peut-être le Kelif Darya des vieilles cartes ?), et coule entre le massif du Sultan Ouiz Dag et la barrière du Beltaou. Les deux fosses de l'Aral constituent alors un ensemble endoréique, peu alimenté (seulement par le Tchou et les rivières issues du Tourgaï) qui a laissé ses sédiments en quelques points de la rive nord de l'Aral).

Étape 2- Progressivement le Tchou perd l'Ili qui va former le lac Balkhach ; la Yani Darya et l'Akcha-Zerafchan se dirigent vers le Sary Kamych et de là vers la Caspienne. La destruction de la barrière du Beltaou se poursuit puis s'achève et la fosse ouest de l'Aral peut s'ouvrir vers le Sary Kamych, devenant alors exoréique. Le haut Amou Darya, le Tedjen et le Mourgab continuent le travail d'approfondissement et de remblaiement de leurs vallées, assistés par la surrection du Khopet Dag.

Étape 3- Le haut Amou Darya migre vers le NE, est capturé par le Zerafchan un peu en dessous de Chardzou ; la percée de l'anticlinal de Touyamoyoun commence. Le débit du nouvel Amou Darya est bien plus considérable que celui du paléo-Zerafchan seul, et ses alluvions se superposent à celles du complexe alluvial précédent de l'Akcha Darta – Yani Darya (et peut-être du Paléo-Iaxartes, si celui-ci n'est pas encore dévié vers Chardara).

Étape 4- Le Syr Darya, rejeté vers l'est, est capturé par le Tchou. Le barrage des alluvions du néo-delta de l'Amou Darya fait exhausser le niveau du lac Aral jusqu'à 58 m. Jusqu'à ce stade, l'Aral a la possibilité de s'écouler vers le SO, avant que le delta moderne soit constitué, le lac Aibougair, récemment asséché, représentant la « trace » du chenal ultime de l'Aral vers le SO.

Les étapes suivantes, qui prolongent celles de notre investigation, sont mieux connues et ont fait l'objet de diverses publications, parfois légèrement contradictoires⁴⁰.

Pendant la dernière glaciation (100 KA à 10 KA environ, maximum vers 15 KA), le lac n'est pas alimenté directement à partir de la calotte glaciaire sibérienne, ce qui vient d'être prouvé récemment par la mise en évidence de lits de tourbe d'âge glaciaire final (Würm) au nord de la dépression de Tourgaï⁴¹. L'Aral, lac de climat peut-être encore plus aride qu'aujourd'hui, avait vraisemblablement un niveau très bas (traces de dunes englouties dans le bassin est du lac), n'étant alimenté que par la fonte des neiges hivernales locales. En effet, les précipitations alimentant les glaciers des montagnes de la couronne périphérique de la Touranie entretenaient essentiellement les calottes glaciaires du Pamir et du Tian Chan⁴². De plus, la cryoclastic⁴³ et l'érosion très intense par les vents issus de la calotte glaciaire de Sibérie éliminaient les sédiments plus anciens des terres émergées.

À l'Holocène (moins de 17 000 ans), l'Akcha Darya et la Yani Darya devinrent des cours d'eau intermittents. Les glaciers du Pamir et du Tian Chan ont subsisté pendant plusieurs millénaires après le retrait de la calotte glaciaire sibérienne⁴⁴, et il est vraisemblable, comme le suggèrent des auteurs comme Kühle (1994) et Grosswald et al. (1997), que leur fonte s'accompagna d'énormes débâcles, charriant d'énormes épaisseurs de sédiments vers la vallée, ainsi qu'il en existe dans la vallée du Tchou en amont de Bichkek, et qui ont par les barrages ainsi formés modifié à leur tour le cours de certaines rivières. Des apports d'eau massifs détruisirent la digue alluvionnaire du delta, faisant pour un temps de l'Ouzboy un fleuve puissant, avant que les alluvions post-glaciaires de l'Amou Darya ne colmatent à nouveau l'écoulement de l'Aral vers la Caspienne.

Ces réflexions, basées sur les documents des géologues russes puis soviétiques, les recherches sur la tectonique récente et nos propres observations, se sont trouvées corroborées par les travaux déjà cités de Thomas et al., d'une part, de Grosswald et al. d'autre part. Les conclusions des travaux des géodynamiciens et des glaciologues vont dans le même sens que ceux des géomorphologues. On peut conclure que les variations de cours des rivières en Asie centrale sont liées essentiellement aux phénomènes tectoniques, beaucoup plus qu'aux fluctuations climatiques ou actions anthropiques.

La Touranie se révèle donc comme un des lieux où la géologie profonde qui modifie la surface du globe et donc l'hydrographie, apparaît comme un des facteurs essentiels, souvent méconnu, qui, modifiant constamment le cours et la pente des rivières, des canaux, des foggaras (khanats) et aussi la distribution des eaux souterraines, ont régi en Asie centrale l'évolution des civilisations successives, plus peut-être que les fluctuations climatiques ou les agressions humaines.

NOTES

1. Létolle 2000.
2. Le loess est une formation meuble, dépôt de poussières calcaires et argiles (moins de 10 micromètres), friable et perméable, très fertile, d'origine septentrionale depuis les régions de climat arctique et subarctique et qui atteint plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur dans la région de Tachkent. Le dépôt actuel atteint encore 10 kg par mètre carré et par an.
3. Benito et al. 1995 ; Gregory et al. 1998.
4. Dodonov 1980.
5. Wu et al. 2001.
6. Davis 1907 ; Schumm 1986 ; Keller et Pinter 2001.
7. Mainguet et al. 2002a et 2002b.
8. Mainguet et Létolle 1994 ; Létolle et Mainguet 1993, 1996, 1997 ; Létolle 2000.

9. Kes 1995 ; Létolle et Mainguet 1997 ; Boomer et al. 2000 ; Létolle 2000 ; Mainguet et al. 2002.
10. Stades alluvionnaires, au nombre de quatre, indiqués par Q1 à Q4.
11. Raevski et al. 1974.
12. Dépôt détritique fin.
13. Le lit occidental du paleo-Oxus forme une fosse profonde de 500 m à Kerki, de -1200 m à Kzyl Arwat ; le fond remonte à - 350 m entre le Petit et le Grand Balkhan (preuve d'un énorme gauchissement) ; les dépôts du fond sont pliocène supérieur, reposant sur des terrains crétacés. Le remplissage présente des terrasses englouties, avec plusieurs cycles de sédimentation, séparés par des couches rubéfiées témoignant d'époques arides.
14. Yanshin 1953.
15. L'étage « sarmatien » n'a qu'une valeur locale et correspond au « Miocène moyen » (com. de G. S. Odin).
16. Se dit des mouvements lents et verticaux du sol.
17. Dodonov 1980.
18. Cf. Thomas et al.1998.
19. Kes 1969,1995 ; cf. aussi Létolle, *op. cit.*, pour une synthèse récente.
20. Fonds de lacs salés desséchés, appelés sebkhras en pays arabes.
21. Ces dépressions, qui reçoivent aujourd'hui des eaux de drainage de la région de Chardzou et de Mary, font l'objet d'un projet grandiose d'établissement d'un grand lac artificiel.
22. Raevski et al. 1976.
23. Soit à peine en 100 000 ans, avec la vitesse présente d'exhaussement du sol.
24. Il est communément admis que les grands cours d'eau de l'Himalaya, du Karakorum et de l'Hindou Kouch sont eux-mêmes très anciens et se sont adaptés constamment aux déformations du sol liées à une tectonique intense, cf. Yongqui et al, *op. cit.* ; Brookfield 1992.
25. Moukhammedjanov 1991.
26. Cf. carte dans Vichniakov et al. 1978.
27. Des traces du versant de son ancienne rive gauche, entre Gazli et Chardzou – qui correspondent à une légère surrection tectonique signalée par Thomas et al. – paraissent subsister entre ces deux localités, et l'Amou Darya vient présentement buter sur leur face ouest.
28. Le lit majeur de l'ancien Akcha Darya subsiste dans les sables du Kyzylkoum sous forme d'une étroite bande de moins de 1 km de large, couverte de tougaï et bordée de talus alluvionnaires de quelques mètres de hauteur recouverts de dunes. Ce chenal est récent, et ne représente qu'une partie des lits de l'époque quaternaire. Pas totalement ensablé, l'Akcha Darya actuel est artificiel, et régulièrement dragué sur plus de 150 km dans le désert pour l'évacuation des drainages issus de la région de Tourtkoul.
29. Cf. Létolle 2000.
30. Mainguet et Létolle 1997.
31. Tous ces éléments sont depuis avril 2001 réunis en une seule presqu'île du fait de l'abaissement du niveau de l'Aral

32. Nom local des escarpements.
33. La capacité érosive d'un cours d'eau est liée d'une part au produit du débit par le carré de la vitesse, et aussi à la charge solide, considérable pour les cours d'eau d'Asie centrale (plus de 1 g/l). Un exemple local le prouve : le capitaine Butakoff fut arrêté en 1851 dans son exploration par une barre rocheuse sur le bras est du delta de l'Amou Darya ; l'année suivante, il constata que la barre avait disparu, lui permettant d'atteindre ce qui était alors le hameau de Noukous.
34. Dénommées « Quaternaire moyen Q3 » par la carte géologique. L'existence de niveaux rubéfiés et gypsifiés dans la série alluviale détritique Q3 indique l'existence d'épisodes de climat plus aride que l'actuel, qui n'ont pas encore fait l'objet d'études détaillées. La vitesse moyenne d'alluvionnement dans le delta était (avant 1960) de l'ordre de 1 cm par an : les 40 à 50 m d'alluvions quaternaires dans le delta de l'Amou Darya ont donc pu se déposer en quelques millénaires seulement, et sont donc pour la plus grande partie postérieures à l'histoire que nous décrivons.
35. Dans les conditions topographiques actuelles, le niveau actuel maximal de l'Aral ne peut dépasser 58 m, qui représente la position d'équilibre entre évaporation et apports (considérés comme identiques à ce qu'ils étaient avant les prélèvements de ces dernières années). Les fragments de terrasses de 75 m et 63 m, très dégradés sur les *tchinks* ouest et nord de l'Aral, et dont les altitudes varient avec la latitude, selon Yanshin (1953), représentent très vraisemblablement des restes de dépôts littoraux anciens, sans rapport avec l'Aral post-glaciaire. Par rapport à l'altitude de 58 m, terrasse holocène, cela représente un exhaussement de 17 m, très modeste dans la région, à l'échelle même de 100 000 ans. Il ne peut donc être question, comme cela a été souvent tenté, de définir une continuité longitudinale des terrasses supérieures de l'Aral.
36. Les dates obtenues feraient débiter le quaternaire vers 2,5 MA, ce qui paraît trop ancien ; par ailleurs, la corrélation à distance de dépôts de loess et d'alluvions fluviales est loin d'être évidente, les faunes et flores fossiles étant panchroniques.
37. Le célèbre barrage, digue de terre de 6 km de long, fut construit dans les années 1960 sur un cœur de calcaires et marnes crétacés, de faible résistance mécanique qui fait que la digue pose aujourd'hui des problèmes de stabilité.
38. Mainguet et al. 2002.
39. Mainguet et al. 2002.
40. Kes 1969, 1995 ; Létolle et Mainguet 1997 ; Boomer et al. 2000.
41. Ce qui s'est produit lors de glaciations plus anciennes (traces de lacs morainiques au sud du « col » de Tourgaï à 124 m d'altitude).
42. Kühle 1994.
43. Destruction des roches par le gel.
44. Gillespie et al. 2001.

BIBLIOGRAPHIE

- Baker V. R., 1988, "Flood Erosion" in : Baker V. R. ; Kochel R. C. ; Patron P. C. (Eds.), *Flood Geomorphology*, Wiley, pp. 81-96.
- Benito G. ; Baker V. R. ; Gregory K. J. (Eds.), 1998, *Palaeohydrology and Environmental Change*, Wiley, 353 p. (24 articles).
- Blanc E., 1892, "L'hydrographie du bassin de l'ancien Oxus", *Bull. Soc. Géog.*, 7, 13 pp. 281-315.
- Boomer I. ; Aladin N. ; Plotnikov I. ; Whatley R., 2000, "The Palaeolimnology of the Aral Sea : a Review", *Quaternary Sci. Review*, 19, pp. 1259-1278.
- Bronger A., 1998 [1995], "Pleistocene Climatic History of East and Central Asia Based on Paleopedological Indicators in Loess-paleosol Sequences", *Catena*, 34 ; pp. 1-17.
- Brookfield M. E., 1992, "The Paleorivers of Central Asia : the Interrelationship of Cenozoic Tectonism, Erosion and Sedimentation", *29th International Geological Congress*, Kyoto, 24 Aug. – 3 Sept., 1992. Abstracts.
- Brookfield M. E., 1996, "The Evolution of the Great River Systems of Southern Asia during the Collision of India and Asia", *11th Himalaya-Karakorum-Tibet Workshop*, Flagstaff, Arizona, 1996. Abstracts, p. 25.
- Collectif, 1926-1984, *Légende des cartes géologiques russes puis soviétiques au millionième* (cartothèque Jussieu).
- Davis W. M., 1905, "A Journey across the Turkestan" in : *Explorations in Turkestan, with an Account of Eastern Persia and Sistan. Expedition of 1903 under the Direction of Raphael Pumpelly*. Carnegie Inst. Memoirs, pp. 23-119.
- Dodonov A. Y., 1980, "Late Pliocene-quaternary Stage of Tectogenesis in the Tadjik Depression", *Int. Geol. Rev.*, 22, 1, pp. 11-21.
- Fedorovitch B. A., 1952, "Anciennes rivières des déserts touraniens", *Materialy po četvertičnomu periodu v SSSR*, N° 3, Moscou : AN SSSR (en russe).
- Gerasimov I. P., 1937, "Caractéristiques principales du développement de la surface actuelle de la région touranienne", *Trudy Inst. Geogr. AN SSSR*, N° 25, Moscou, Leningrad (en russe).
- Gerasimov I. P., 1975, "Ancient Rivers in the Deserts of Soviet Central Asia" in : W. C. Brice (Ed.), *The Environmental History of the Near and Middle East since the East Glacial Age*, Acad. Press. ; pp. 319-349.
- Gillespie A. R. ; Keck W. M. ; Burke R. M. ; Bayasgalan A., 2001, "Glaciation in Central Asia", GSA meeting summaries, session 181.
- Godin Y. N. et al., 1959, "Principal Features of the Tectonic Structure of Turkmen SSR", *Int. Geol. Rev.*, pp. 1-17.
- Grave M. K. ; Pchmenin G. N., 1985, "Analyse du réseau hydrographique pré- Akchaguilien et paléogéographie de l'Asie centrale ; son évolution au Pliocène", *Izvestiâ AN, seriâ geografičeskaâ*, N° 3, pp. 34-45 (en russe).
- Gregory K. J. ; Starkel L. ; Baker V. R., 1995, "Global Continental Palaeohydrology", Wiley, 334 p. (14 articles).

- Grosswald M. G. ; Kuhle M. ; Fastook J. L., 1994, "LGM (last glacial maximum) Glaciation of Lake Issyk Kul area, Tian Chan mountains : a Case Study in Glacial History of Central Asia", *Geojournal*, 33, 2/3, pp. 273-310.
- Jackson J. ; Priestley K. ; Allan M., Berberian M., 2002, "Active Tectonics of the South Caspian Basin", *Geoph. Jl. Intern.*, 148, pp. 214-245.
- Keller E. A. ; Pinter N., 2001, *Active Tectonics, Earthquakes, Uplifts and Landscapes*, Prentice Hall, 362 p.
- Kes A. S., 1969, "Principaux stades du développement de la Mer d'Aral" in : *Problema Aral'skogo Morâ*, Moscou : Inst. géogr. AN SSSR (en russe).
- Kes A. S., 1995, "Chronicle of the Aral Sea and the sub-Aral region", *Geojournal*, 35-1,7-10.
- Kuhle M., 1997, "New Findings Concerning the Ice Age (Last Glacial Maximum) Glacier Cover of the East Pamir", *Geojournal*, 42, 2-3, pp. 87-257.
- Lazarenko A. A. ; Bolikhovskaya N. S. ; Semenov V. V., 1981, "An Attempt at a Detailed Stratigraphic Subdivision of the Loess Association of the Tashkent region", *Int. Geol. Rev.*, 23, pp. 1335-1346.
- Leopold L. B., 1976, "Reversal of Erosion Cycle and Climatic Changes", *Quaternary research*, 6, pp. 557-562.
- Létolle R., 2000, "Histoire de l'Ouzboy, cours fossile de l'Amou Darya : synthèse et éléments nouveaux", *Studia iranica* 29, pp. 195-240.
- Létolle R. ; Mainguet M., 1997, "Histoire de la mer d'Aral (Asie centrale) depuis le dernier maximum glaciaire", *Bull. Soc. Geol. Fr.*, 168, 3, pp. 387-398.
- Luppov N. N. 1963, "Histoire géologique du Pliocène moyen à l'est de la Caspienne", *Problemy neftegaznosti Srednej Azii*, 14 (en russe).
- Mainguet M. ; Létolle R., 1994., "L'Aral, un lac hydroéolien", *Rev. Géomorph. Dyn.*, 48, 1, pp. 27-34.
- Mainguet M. ; Létolle R. ; Dumay F, 2002, "Le système régional d'action éolienne (SRAE) du bassin de l'Aral (Kazakhstan, Ouzbékistan, Turkménistan) ", *Comptes rendus Ac. Sc., Geosciences*, 1-6.
- Mainguet M. ; Létolle R. ; Dumay F. ; Joldasova I. ; Toderich C. ; Hudzanazorov M., 2002, "Désertification dans les aires sèches endoréiques du sud du bassin de l'Aral", *Sécheresse*, 13,1 ; pp. 51-60.
- Moukhamedjanov A., 1991, "Le Zerafchan inférieur et la Kachka Darya : rétrospective historico-géographique" in : *Aral Krisis*, AN SSSR ; pp. 161-173 (en russe).
- Nikonov A. A. ; Penkov A. V., 1973, "Pliocene and Early Pleistocene Geochronology of Central Asia and Kazakhstan", *Int Geol. Rev.*, 16, 10, pp. 1187-1100.
- O'Connor J. E. ; Webber R. H., 1988, "Hydraulic Modelling for Paleoflood Analysis", in : Baker V. R. et al. *Op. cit.*, pp. 392-402.
- Ostrovskii I. M., 1953, "Paléogéographie et géomorphologie de l'île Barsakelmes en mer d'Aral", *Izvestiâ AN SSSR (Géogr.)*, 58, pp. 195-233 (en russe).
- Piatkov K. K. ; Pianovskaka I. A. ; Boukarin A. K. ; Bikovski U. K., 1967, *Géologie structurale du Kyzylkoum central*, Tachkent : Fan ; 179 p. (en russe).

- Pronin V. G. 1971, "Geological Structure of Mynsuzlmas 'chinks'", *Int. Geol. Rev.*, 13, 6, pp. 894-898.
- Raevski M. I. ; Semenkova F. ; Fartioukov M. M., 1976, "Réseau pré-Akchagoulien de drainage enfoui au Karakoum", *Geomorfologiâ*, 3, pp. 83-87 (en russe).
- Reinfelds I. ; Bishop P., 1998, "Palaeohydrology, Palaeodischarges and Palaeochannels Dimensions : Research Strategies for Meandering Alluvial Rivers" in : Benito et al. (Eds.), *op. cit.*, pp. 27-52.
- Schumm S. A., 1986, "Alluvial River Response to Active Tectonics", in : *Active Tectonics Impact on Society*. National Academic Press ; pp. 80-94.
- Sidorenko A. V., 1953, "Dépôts continentaux dans le Karakoum oriental", *Doklady AN SSSR*, 92, 3, pp. 653-657 (en russe).
- Sidorenko A. V. (Dir.), 1957, *Géologie de l'URSS. Vol. 22 : Turkménistan*. Moscou : Nedra, 618 p. (en russe).
- Thomas J. C. ; Gapais D. ; Cobbold P. R. ; Meyer V. ; Burtman V. S., 1994, "Tertiary Kinematics of the Tadjik Depression (Central Asia) : Interferences from Fault and Fold Patterns" in : F. Roure et al. (Eds.), *Geodynamic Evolution of Sedimentary Basins*, Int. Symp. Moscou, pp. 171-180.
- Thomas J. C. ; Cobbold P. R. ; Shein V. S. ; Le Douaran S., 1999, "Sedimentary Record of Late Paleozoic to Recent Tectonism in Central Asia : Analysis of Subsurface Data from the Turan and South Kazak Domain", *Tectonophysics*, 313, pp. 243-263.
- Thomas J. C. ; Grasso J. R. ; Bossu R. ; Martinod J. ; Nurtaev B., 1999, "Recent Deformation in the Turan and South Kazakh Platforms, Western Central Asia and its Relation to Arabia-Asia and India-Asia Collisions", *Tectonics*, 18, pp. 201-214.
- Vichniakov A. S. ; Nabiev K. A. ; Pinkasov B. I. ; Sokolov V. N., 1978, *Géologie et eaux souterraines des plaines néogènes d'Ouzbékistan*, Tachkent : Fan ; 160 p. (en russe).
- Vinogradov A. V. ; Mamedov E. D., 1975, *L'époque du Lavyalakien*, Moscou : Nauka ; Chapitre 4, pp. 234-282 (en russe).
- Vronsky V. A., 1987, "The Holocene Stratigraphy and Paleogeography of the Caspian Sea", *Int. Geol. Rev.*, 1, pp. 14-24.
- Wohl E. E. ; Enzel Y., 1995, "Data for Paleohydrology" in : Gregory K. J. et al. (Eds.), *Global Continental Paleohydrology*, Wiley, pp. 23-59.
- XXX.1976. "Geochronology of Pliocene and Early Pleistocene of Central Asia and Kazakhstan", *Int. Geol. Rev.*, 16, 10, pp. 1087-1100.
- Yongqiu W. et al., 2001, "Quaternary Geomorphological Evolution of the Kunlun Pass Area and Uplift of the Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau", *Geomorphology*, 36, pp. 203-216.
- Yanchin A. L., 1953, *Géologie du Pri-aral nord, stratigraphie et histoire de l'évolution géologique*, Izдание Moskovskim Obšestvom ispitatelyj prirodoj, nouvelle série, vol.15 (19), 753 p., (en russe). Un chapitre sur les formations pliocènes et postpliocènes.