

# Le système régional d'action éolienne (SRAE) du bassin de l'Aral (Kazakhstan, Ouzbékistan et Turkménistan)

Monique Mainguet<sup>a,\*</sup>, René Létolle<sup>b</sup>, Frédéric Dumay<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Laboratoire de géographie zonale pour le développement, université de Reims–Champagne-Ardenne, 57, rue Pierre-Taittinger, 51100 Reims, France

<sup>b</sup> Université Pierre-et-Marie-Curie, 4, place Jussieu, 75252 Paris cedex 05, France

Reçu le 19 février 2001 ; accepté le 18 février 2002

Présenté par Jean Dercourt

---

**Abstract – The regional Aeolian action system of the Aral Basin.** The endorheic basin of the Aral Sea, a tectonic depression resulting from two Tertiary fault bundles, NNE–SSW and east–west ones, represents the termination of a flow by closure of the Aral Basin opposite Central Asia and Siberia. The conditions of Quaternary climate and sediment deposition, especially aridity increased by coldness, a pedogenesis inhibitor, and absence of palaeosoils favour the activity of the Aral Regional Aeolian Action System (RAAS), 700 km long. Such a system develops in a lowland topography where wind, in a progressive shift, reconstructs by deflation the sandy material resulting from Pleistocene accumulations, gives rise to thin and vulnerable ergs and explains at once the fertility of Khorasm and the dewatering of the Aral Sea, which is one of the most complex and severe ecological catastrophe in the 20th century. *To cite this article: M. Mainguet et al., C. R. Geoscience 334 (2002) 475–480.* © 2002 Académie des sciences / Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS

**Aral / Aeolian / sand seas / Central Asian deserts / palaeo-pedogenesis / teledetection**

**Résumé – Le bassin endoréique du lac Aral, dépression tectonique due à deux séries de failles tertiaires NNE–SSW et est–ouest, est le terminus d'un écoulement par la fermeture du bassin aralien vis-à-vis de l'Asie centrale et de la Sibérie. Les conditions climatiques et sédimentologiques quaternaires, en particulier l'aridité aggravée par le froid, deux facteurs inhibiteurs de la pédogenèse, et l'absence de paléosol favorisent l'activité du système régional d'action éolienne de l'Aral (SRAE), long d'environ 700 km. Un tel système s'organise dans une topographie de plaines à reliefs peu élevés, où le vent, en une dérive progressive, réorganise par saltation le matériel sableux issu d'accumulations pléistocènes et aboutit à des ergs minces et vulnérables, ce qui explique la richesse du Khorasm et partiellement l'assèchement du lac, catastrophe écologique la plus complexe et la plus ample du XX<sup>e</sup> siècle. *Pour citer cet article: M. Mainguet et al., C. R. Geoscience 334 (2002) 475–480.* © 2002 Académie des sciences / Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS**

**Aral / éolien / ergs / déserts d'Asie Centrale / paléopédogenèse / télédétection**

---

## Abridged version

The Aral Lake Basin, 1.8 10 km<sup>2</sup>, makes 4% of the dry areas of temperate latitude. In the North of the Mediterranean zone (38–44°N and 55 in 65°E), the Eurasiatic part of this dry diagonal is the largest (84%), including the dry areas of Iran and Central Asia, with their southern mountainous belt. The Aral Sea basin is

composed of 20% of Alpine mountains and 80% of plains where the Regional Aeolian Action System (RAAS) of the Aral Lake spreads. This RAAS begins at the southern exit of the Turgay corridor and crosses in its centre an area with the thick dense palaeo-hydrographic network of the valleys of Syr Daria and Amu Darya. It ends at the northeastern foot of Khopet Dag (3349 m) by a strip of loess 375 km long and 40 km wide. The

---

\* Correspondance et tirés à part.  
Adresses e-mail : monique.mainguet@univ-reims.fr  
(M. Mainguet), frederic.dumay@univ-reims.fr (F. Dumay).

lowlands of Turania are made of Cretaceous to Quaternary epicontinental and continental sediments where Sarmatian beds (12–5  $10^6$  Ma) are important. The major origin of the sedimentary material is detrital and was essentially brought in by rivers fed from southern mountain glaciers. The Kyzylkum and Great Karakum ergs, the smaller ones in the North and Northeast of the Aral Lake and the South of Balkhach lake are mainly composed of siliceous sand with heavy minerals, of metamorphic and plutonic origin, proof of an allochthonous source resulting from the abrasion of the pre-Cambrian and Palaeozoic basement of Kazakh hills framing Turgai corridor (48°N and 60–65°E). Aeolian and fluvial silts dominate in the low valleys and in the post-glacial lakeside deposits of the Aral Lake. Continentality, summer aridity and cold winters slow down biological pedology. Present steppic vegetative cover is favoured especially by the occult precipitation.

Samples cored at the bottom of the Aral Lake in 1977 showed only chlorite and illite with variable proportions of quartz sand the surface of which is 'glossy-blunt', therefore showing a fluvial origin, with a high fraction of detrital carbonates from molluscs and ostracodes. All indicators prove that pedogenesis remained disabled during the Quaternary. Beds enriched in gypsum, and even mirabilite, without halite, prove regressions in cold and dry climate, as sands of the surrounding ergs are shown they never were aggregated, unlike those of Sahelian steppic Africa, whose old ergs are fixed by ferruginous wet tropical palaeosoils. Nothing similar exists in the Aral Lake basin where, during the Quaternary era, only continental cold to moderate climates without palaeo-pluvial character prevailed, as is

shown by the scarcity of clays and the frequent presence of mirabilite, the solubility of which decreases with low temperature.

Before 1960, onset of the severe withdrawal of water for the great irrigation schemes, the average rate of sedimentation on the bottom of the lake was  $3 \text{ mm yr}^{-1}$  and of  $10 \text{ mm yr}^{-1}$  in the deltaic area. The understanding of the preservation of the topographic depression requires deflation. At the exit of Turgai venturi, in the aeolian divergent, wind accumulates its load and builds four ergs in the North of the Aral Lake: the Big and Little Barsukis, Barsakum erg and North Karakum erg. The general NNW–SSE direction of the sand ridges is kept south of the Syr Darya delta, then at 44°N turns and becomes NNE–SSW, according to the curve of the eastern border of the Aral Lake depression, which acts as an 'hollow obstacle' to the wind. Therefore, aeolian deposits do not accumulate in the lower part of the lake depression, which is preserved but on the first eastern slopes. Kyzylkum possesses only a very thin sand sheet. Southeast and south of the Aral lake, the aeolian currents form the divergent responsible for the southern Great Karakum. Aeolian deposits become finer and finer from north to south of the Karakum sand sea down to loessic deposits in the south, which is one of the cradles of irrigated agriculture. Neither Syr Darya and Amu Darya channels interrupt the continuity of the RAAS.

Sandy or salty soils are poor in organic matter and little structured. They are not favourable to the agriculture, contrary to the soils of the Sahelian ergs, which explains for a part the difficulties and limits of development in Central Asia.

## 1. Introduction

Le bassin de l'Aral, de 1,8 millions de kilomètres carrés, couvre 4% des aires sèches de latitude tempérée [9]. Au nord de la zone méditerranéenne (38 à 44°N et 55 à 65°E), la partie eurasiatique de cette diagonale sèche est la plus vaste (84%), avec les aires sèches irano-touraniennes, kazakhes et dzoungares d'Asie centrale, les terres arides chinoises du Taklamakan au Gobi et les montagnes qui les bordent au sud (Tien Chan occidental et Kopet Dag) [3, 4, 7]. Il comporte 20% de massifs alpins et 80% de plaines où se développe le système régional d'action éolienne (SRAE) de l'Aral. Ce SRAE, étudié sur le terrain et sur les images satellitales Cosmos, NOAA et SPOT, s'amorce à la sortie sud du corridor de Turgai, qui unit la plaine sibérienne au bassin de l'Aral (Fig. 1). Il balaye en son centre une aire où les images satellitales révèlent un réseau paléohydrographique dense, les vallées du Sir Daria et de l'Amou Daria, cours permanents allogènes et, au sud, les cours temporaires du Tedjen et du Mourgab. Il s'achève au pied nord du Khopet Dag (3349 m) par une bande de loess de

375 km sur 40 km (Fig. 1). Il communique avec le SRAE voisin du Balkach (Fig. 1), a les mêmes sources de sable, qui alimentent les ergs de Mouyounkoum (Fig. 2) et de Sari-Ichik Otraou, au sud-ouest du lac.

## 2. Les fondements géologiques de genèse du bassin siège du SRAE aralien

Dans la dépression tectonique tertiaire de l'Aral, déterminée par deux faisceaux de failles NNE–SSW et est–ouest, les terres basses de Touranie (Fig. 1), mises en place à la fin du Secondaire sur le socle hercynien, sont surtout formées de dépôts marins néogènes du Sarmatien (12 à 5 Ma) [8]. La tectonique a ensuite construit l'arc montagneux du Sud et de l'Est, isolant les plaines de Touranie et créant continentale et endoréisme, manifestées par des dépôts lagunolacustres et continentaux depuis le Pliocène inférieur.

Les ergs du Kyzylkoum et du Karakoum, ceux plus petits au nord et au nord-est de l'Aral et ceux du Sud-Ouest et du Sud du Balkach (Fig. 1) ont une pétrographie de sable siliceux, avec des minéraux lourds,



Figure 1. Croquis général de localisation du système régional d'action éolienne du bassin de l'Aral (SRAE).

Figure 1. General location of the regional Aeolian action system of the Aral Basin (RAAS).

d'origine métamorphique et plutonique, preuve d'une source allochtone provenant de l'abrasion du socle précambrien et paléozoïque des collines kazakhes encadrant le corridor de Tourgai (48°N et 60 à 65°E), exhumées de leurs dépôts sédimentaires et des moraines de l'inlandsis sibérien. L'origine majeure du matériel sédimentaire est péri-glaciaire ; apporté par les cours d'eau de montagnes issus de glaciers, il a formé les accumulations des paléodeltas intérieurs à matrice sableuse, atteignant 40 m d'épaisseur [4]. Les limons et silts fluviatiles dominent dans les basses vallées et dans les dépôts lacustres post-glaciaires de l'Aral.

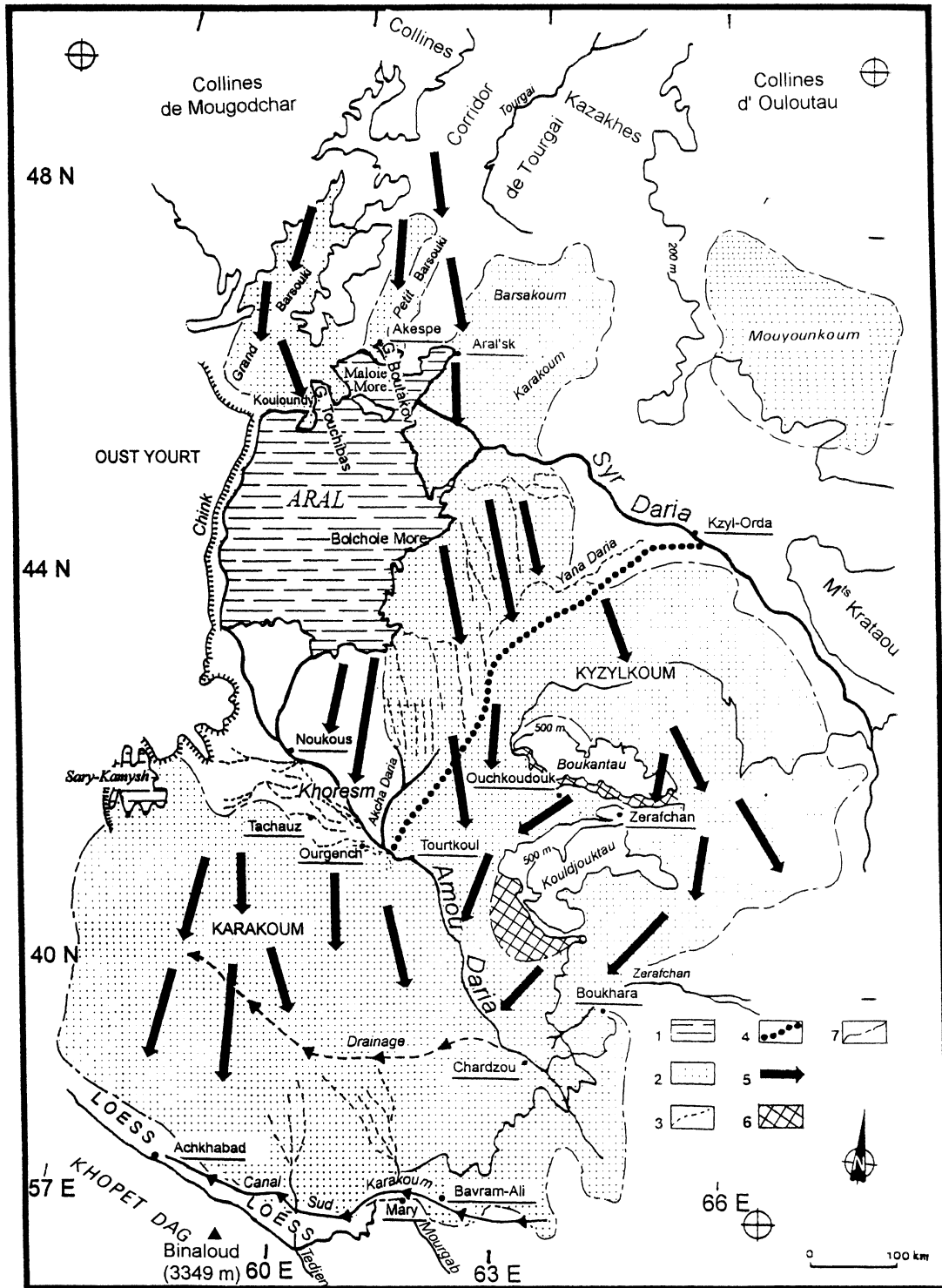
### 3. Explication climatique et sédimentologique du SRAE actuel

Entre les terres sèches sibériennes au nord et subtropicales arabo-iraniennes au sud, les vents d'ouest pénètrent le bassin entre le Sud des monts Oural et le Caucase. Les vents de l'anticyclone sibérien empruntent le corridor de Tourgai, prolongation de la vallée de Tobol entre les plateaux de Mougodchar et les monts Ulutau (47°5 à 50°N et 66° à 69°E). Le corridor amont vent du lac Aral joue en venturi, où la vitesse du vent, et donc le transport du matériel éolien, sont accrus. Le bassin de l'Aral reçoit de rares dépressions d'hiver et de printemps, voit des étés chauds et secs (80 à 100 mm an<sup>-1</sup> dans le Khorezm) [4] et des hivers froids dus à l'incursion des hautes pressions si-

bériennes. Cette continentalité, l'aridité estivale et le froid hivernal bloquent la biologie. Le couvert végétal steppique, subsistant surtout grâce aux précipitations occultes, a un rôle protecteur médiocre vis-à-vis de l'érosion.

À partir de carottages du fond de l'Aral, Rubanov [9] décrit en 1977, sur les dépôts sableux datés de 7000 à 10 000 BP, une série alternante de silts et d'argiles en lamines [12], sur laquelle nos analyses n'ont révélé que chlorite et illite, avec des proportions variables de sable à état de surface émoussé-luisant, donc hydrique, et une fraction élevée de carbonates détritiques de tests de mollusques et d'ostracodes, indiquant une eau sursaturée en carbonates. Le sable éolien, en faibles proportions, est difficile à différencier du sable fluviatile. Les passées riches en gypse, voire de mirabilite (sans halite), prouvent des régressions en climat froid et sec [4, 5].

Tous les indicateurs attestent une pédogenèse restée « impotente » pendant le Quaternaire, comme en témoignent les sables des ergs, qui ne sont ni pris en masse ni agrégés, à la différence de ceux de l'Afrique sahélienne steppique, dont les ergs anciens sont fixés par des paléopédogenèses tropicales humides ferrugineuses, à précipitations moyennes annuelles d'environ 800 mm an<sup>-1</sup>. Rien de semblable n'existe dans le bassin de l'Aral, qui n'a connu au Quaternaire que des climats tempérés froids continentaux sans paléopluviaux, témoignés par la pauvreté en argiles et l'abondance de la mirabilite, dont la solubilité diminue à



**Figure 2.** Le système régional d’action éolienne du bassin de l’Aral (SRAE) s’amorce au nord dans la vallée du Tourgai et se termine au sud par des dépôts lœssiques contre les pentes du Khopet Dag. Le système est grossièrement orienté nord–sud, avec des diffuences à l’amont vent des monts de Boukantau et de Kouldjouktaou et sous le vent de ces obstacles des aires d’abri dépourvues de sable. 1. Aral. 2. Nappes sableuses et ergs. 3. Paléo-oueds. 4. Limite ouest des paléochenaux fluviatiles non colmatés par du matériel éolien. 5. Directions éoliennes majeures dans le système régional d’action éolienne du bassin de l’Aral. 6. Aires d’abri sous le vent d’obstacles. 7. Limite des ergs.

**Figure 2.** The regional Aeolian action system of the Aral basin (RAAS) starts in the north in the Turgay corridor and ends in the south with loess deposits on the northern slopes of Khopet Dag. The Aeolian system is on the whole oriented north–south, with diffuences upwind of Bukantau and Kuldjuktou and shadow areas without sand leeward of these obstacles. 1. Aral. 2. Sand sheets and sand seas. 3. Palaeo-wadis. 4. Western limit of the palaeo-wadis not filled by aeolian particles. 5. Major aeolian directions of the RAAS of the Aral Basin. 6. Shadow areas leeward of the obstacles. 7. Limits of the sand seas.

basse température. La brièveté de l'épisode humide lavlakien (9000 à 5000 BP) n'a pas eu un écoulement suffisant pour permettre l'exoréisme. Le sable meuble des ergs reste donc friable et aisément exportable. La pédogenèse actuelle n'aboutit qu'à un faible taux de matière organique (1 à 1,5% à la surface des sols, 0,5% dans les sols sableux désertiques et 0,7 à 1,2% dans les sols gris-brun et les takyrs) et au manque de cohésion des sables. L'évaporation moyenne de 2000 mm an<sup>-1</sup> favorise les solontchaks stables, les encroûtements de sels solubles (gypse) non lessivés et de carbonates, la déflation par les vents du nord vers les plaines et les piémonts jouant un rôle essentiel dans leur dispersion [6].

#### 4. État actuel du SRAE de l'Aral

Avant les années 1960 (amorce des grands prélèvements d'eau pour l'irrigation), le taux moyen de sédimentation sur le fond du lac était de 3 mm an<sup>-1</sup> et, dans les deltas, de 10 mm an<sup>-1</sup> [10]. Dans ce contexte, le bassin occidental du lac, alors profond de 60 m, aurait dû être colmaté en moins de 30 000 ans, même si l'Amou Daria, confluent de la Caspienne jusqu'au milieu de l'Holocène, ne l'atteignait pas. La compréhension du maintien du creux topographique exige de faire intervenir la déflation exacerbée par les vents catabatiques sur la calotte sibérienne et majorée lors des glaciaires quaternaires, pendant lesquels le vannage éolien des alluvions devient source du matériel des ergs.

À la sortie du venturi de Tourgai, dans le divergent éolien, le vent se déleste de sa charge en sable et construit quatre ergs au nord du lac Aral : le Grand Barsouki et le Petit Barsouki, l'erg de Barsakoum, l'erg du Karakoum, à ne pas confondre avec le grand Karakoum. Sur leur bord sud, des barkhanes vives envahissent les villages de Kulandy et d'Akespe (46°5 N, 60°3 E). Le Grand Barsouki (46° à 48°N, 58°5 à 60°E) a 250 km sur 25 à 50 km ; au contact de l'Aral, près de Koulandy (59°3 N et 46°1 E) (Fig. 2), il est, dans le SRAE, le seul à l'ouest du lac. À son aval vent, il butte contre l'escarpement du Tchink. Le Petit Barsouki, de 110 × 30 km, s'amorce à 47°N et 61°E. Ces deux ergs tapissent des paléovallées du Quaternaire ancien. Leurs dunes forment une partie des rivages des golfes Boutakov et Touchibas. Le sable provient de dépôts fluvioglaciers s'étendant des collines de Mougodjar, au sud de l'Oural, jusqu'aux plaines du corridor de Tourgai (Irgiz, etc.). La carte géologique de 1957 à 1:7 500 000 [9] attribue au matériel une origine fluviale tertiaire paléogène et un remaniement éolien.

Le SRAE longe l'Aral à l'est. La déflation dans la steppe khazake, au sud de la calotte sibérienne,

a fourni le sable des cordons longitudinaux NNW–SSE de l'erg nord Karakoum. Le Sir Daria rompt la continuité des ergs et apporte un stock sableux au Kyzylkoum, amorcé dès sa rive sud. La direction générale NNW–SSE des cordons subsiste au sud du Sir Daria, puis s'infléchit à 44°N et devient NNE–SSW, selon un tracé courbe autour de l'Aral, qui joue le rôle d'un obstacle au vent. De ce fait, les dépôts ne s'accumulent pas au maximum du creux du lac ainsi conservé, mais sur les premières contrepentes. L'inflexion se voit sur les images satellitales jusqu'à 150 km à l'est du lac, à la limite nord du paléodelta de l'Amou Daria, où la direction éolienne mesurée sur le terrain est NNE–SSW 10°. Entre le delta du Sir Daria et le Sud-Est de l'Aral (ancien archipel Akpekti), la granularité s'affine des sables du Kyzylkoum aux silts du delta du Sir Daria. Le Kyzylkoum était traversé par le paléocours du Zana Daria jusqu'au Bronze terminal, lorsque les deltas de l'Amou et du Sir Daria confluaient. Sa partie ouest est constituée de dunes longitudinales, qui recoupent le réseau de paléovallées, détectable sur les images satellitales. Des dunes moins précises forment sa partie est, plus vieille. Les sables du Kyzylkoum atteignent la rive droite de l'Amou Daria et se retrouvent presque immédiatement sur la rive gauche : ainsi s'explique le fait que les alluvions mélangent du matériel éolien fin du Kyzylkoum riche en carbonates (20 à 30%) [6, 12] et des limons alluviaux. Dans ce secteur, les courants éoliens forment un divergent responsable du Grand Karakoum, qui succède dans le sens des vents dominants au Kyzylkoum, au nord des loess du SRAE méridional.

#### 5. Conclusions : dynamique éolienne, vulnérabilité et richesse du bassin de l'Aral

Un quintuple constat s'impose.

1. Les vents de direction nord–sud du Système régional d'action éolienne (SRAE) de l'Aral ont remanié par déflation une partie du matériel issu du nord et des alluvions de l'Amou et du Sir Daria, en façonnant des ergs et entraîné les poussières jusqu'aux pieds des montagnes du Khopet Dag, donnant les aires loessiques méridionales de Touranie.

2. Le vannage éolien est favorisé par l'absence de structure des sables qui, à l'inverse de ceux des ergs sahéliens, n'ont pas bénéficié de phases pluviales tropicales chaudes, mais connu des paléoclimats quaternaires, dont le froid a limité la pédogenèse. Ceci est la cause de leur vulnérabilité vis-à-vis de l'érosion éolienne, processus majeur avec la salinisation, de la désertification du bassin de l'Aral.

3. De l'amincissement progressif du Kyzylkoum résulte sa médiocre contribution à la reconstitution des eaux souterraines.

4. Les sols sableux ou salés (siérozems, solontchaks, solontchaks secondaires, takyrs, sols désertiques pierreux) sont tous pauvres, peu structurés. Ils sont peu favorables à l'agriculture, à l'inverse des sols des ergs sahéliens, expliquant en partie les difficultés et limites du développement [11]. Les rives et le

fond exondés de l'Aral sont une source de tornades de poussières salées traumatisantes pour l'homme, les terres et les eaux [1, 2].

5. Le delta de l'Amou Daria est une aire privilégiée, la plus fertile d'Ouzbékistan, à la rencontre des courants éoliens soufflant du nord (source de nutriments) avec les limons fluviaux de l'Amou Daria, à l'origine de l'historique prospérité du Kho-rezm.

## Références

---

- [1] N.M. Bogdanova, T.A. Vostokva, I.M. Ostrovskiy, I.V. Rubanov, The formation of salt accumulations in the southern part of the region bordering the Aral Sea, *Izvestiya Akademii Nauk, Seriya Geograficheskaya USSR* 3 (1980) 98–106.
- [2] Collectif, Carte géologique du ministère de la Géologie, à 1:7 500 000, 1957.
- [3] M.A. Glazovskaya, Central Asian landscape–geochemical arena of accumulation and translocation of pedogenic carbonic compounds, *Eurasian Soil Sci.* 29 (1) (1996) 19–29.
- [4] R. Létolle, M. Mainguet, *Aral*, Springer Verlag, Paris, 1993, 357 p., 24 pl h. t.
- [5] R. Létolle, M. Mainguet, Histoire de la mer d'Aral (Asie centrale) depuis le dernier maximum glaciaire, *Bull. Soc. géol. France* 168 (3) (1997) 387–398.
- [6] M.P. Petrov, Types de déserts de l'Asie centrale, *Annales de Géographie Paris* (1962) 131–155.
- [7] M.P. Petrov, *Les déserts du monde*, Nauka, Leningrad, 1973, 435 p. (en russe).
- [8] V.I. Rubanov, New data on the study of the Aral sea sediments, *Problemy ovs. Pustyn* 2 (1982) 40–44 (en russe).
- [9] V.I. Rubanov, Sediments of the contemporary dried-up bottom of the Aral Sea, their diagenesis and effect on the ecology of the Aral region, *Lithol. Miner. Resour.* 29 (2) (1994) 109–120.
- [10] D.R. Smith, Salinization in Uzbekistan, *Postepy Sov. Geog.* (1992) 21–33.
- [11] H. Walter, E.O. Box, Continental Deserts and Semi-Deserts of Eurasia, in: N. Goodall, E. West (Eds.), *Ecosystems of the World, Temperate Deserts and Semi-Deserts*, Vol. 5, Elsevier, Amsterdam, Oxford, New York, 1983, pp. 3–235.
- [12] V.A. Zamoida, V.P. Butylin, E.A. Popova, N.V. Aladin, Recent sedimentation processes in the Northern Aral Sea, *Int. J. Salt Lakes Res.* 6 (1997) 67–81.