

Causes anthropiques de la crise écologique de la mer d'Aral. Quelles solutions ?

S. Valet¹, Ph. Le Coustumer², A. Shilov³, Y. Grechaninchenko
& I. Serversky⁴

- 1. Université des Sciences, 86022 Poitiers, France. serge.valet@campus.univ-poitiers.fr.
- 2. CDGA, Université de Bordeaux1, 33405 Talence. France. plc@lnet.fr.
- 3. Izotope, 72 Kazibek-Bi Str., 480091 Almaty, Kazakshtan. alex@isotope.almaty.kz
- 4. Institute of Geography, 48002 Almaty, Kazakhstan. ingeo@kazmail.asdc.kz.

I- Introduction

L'assèchement de la mer d'Aral est une des catastrophes écologiques majeures de la planète, d'origine anthropique. Elle est devenue un symbole de l'attitude destructrice des ressources naturelles et de la gestion nocive et perverse du développement économique de l'ancienne union soviétique (Klötzli, 1994). En effet, cet assèchement aggrave la dégradation par pollution, la salinisation, érosion et la désertification. Or la gestion des ressources en eaux des zones arides et semi-désertiques est un enjeu fondamental du développement. La stabilisation du niveau de la mer d'Aral passe par des études hydrologiques afin de comprendre la nature des flux actuels et de simuler les futurs bilans hydriques.

Dans un premier temps, il est nécessaire de proposer des opérations de rémédiation des flux hydriques entrants pour stopper le cycle d'assèchement, afin de stabiliser les niveaux actuels et dans un deuxième temps de remonter le niveau et la qualité des eaux de la mer d'Aral. La conséquence majeure sera la lutte contre la dégradation, salinisation, érosion et pollution.

L'objectif de cette étude est :

- 1- de rappeler les dégradations écologiques consécutives à l'assèchement de la mer d'Aral (compréhension des causes historiques et actuelles) ;
- 2- de déterminer les économies réalisables en eau des périmètres irrigués (simulation des intrants) ;
- 3- de vérifier si les économies ainsi réalisées permettent de stopper cette catastrophe (action de rémédiation).

II- Matériaux et méthodologie

2.1- Données hydro-climatiques

La région de la mer d'Aral est située entre la latitude 42.2° et 46.5°N et la longitude 60.0° et 69.3°E (Fig. 1) correspondant à un climat continental de type aride dans la plaine et humide dans les hautes montagnes de l'Est. Les pluies s'échelonnent de 50 à 500 mm en piedmont et 1000 mm en altitude. Les températures sont négatives en hiver et de 25 à 45 °C en été. Le système limnologique fermé de la mer d'Aral est largement conditionné par les grands traits climatiques. Ainsi les faibles précipitations et la forte évaporation limitent naturellement les apports hydrologiques. Le recours à l'irrigation est nécessaire et remonte à plusieurs siècles. Cependant, depuis les années soixante, les monocultures intensives ont impliqué un déséquilibre dans les prélèvements en eaux et dans les nutriments du sol (Rumer, 1989).

2.2- Modélisation du bilan hydrique

Le bilan hydrique a été calculé à l'aide d'un modèle fonctionnel déterministe et capacitair (BIPODE), utilisable des zones tempérées à désertiques (IRAT-SOPRA, 1989). Les

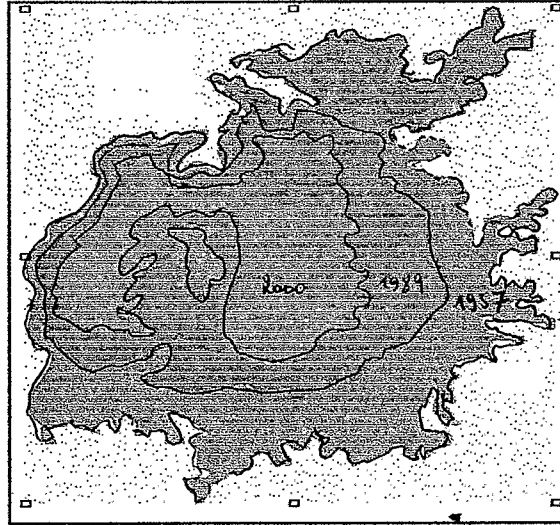


Figure 1 : Evolution de la surface de la mer d'Aral entre 1957 et 2000

coefficients cultureux du maïs et du coton ont été empruntés aux zones africaines de même aridité (Dancette, 1983).

III- Résultats et discussions

3.1- Dessiccation de la mer d'Aral

Au départ un des plus anciens lacs d'une surface de 69500 km² situé au point de rencontre de trois déserts, la mer d'Aral est demeurée inchangée jusqu'en 1960 environ, date à laquelle sa situation a fortement évoluée. Avec des fluctuations de 3 mètres de son niveau au cours des siècles précédents son niveau a aujourd'hui fortement diminué (plus de 19 m de hauteur) (Fig.2a). Ceci correspond à une diminution du volume de plus de 400% en 30 ans (Fig.2b).

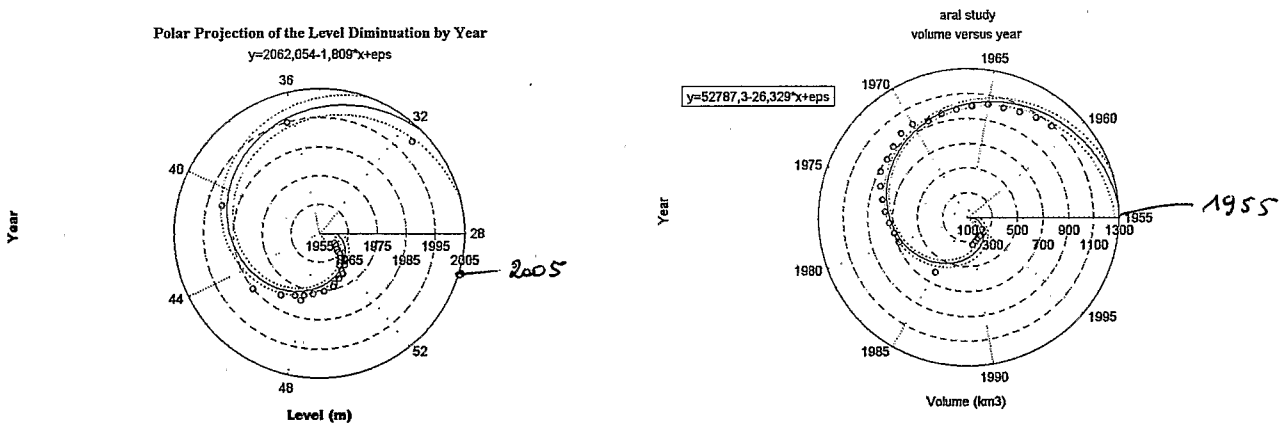


Figure 2 : Projection polaire pour la période 1955-2000 : a) du niveau, b) du volume de la mer d'Aral.

Seversky & Grechaninchenko (1998) ont montré que les flux hydriques entrants provenant des rivières de la Syrdarya et de l'Amudarya ont régulièrement diminué depuis 1960 (Fig.3) avec une accélération à partir de 1972. De 1989 à 1995 ces flux ont variés de 3 à 32 km³. Pour équilibrer le niveau de la mer d'Aral, 58 km³ sont nécessaires pour compenser les pertes par évaporation.

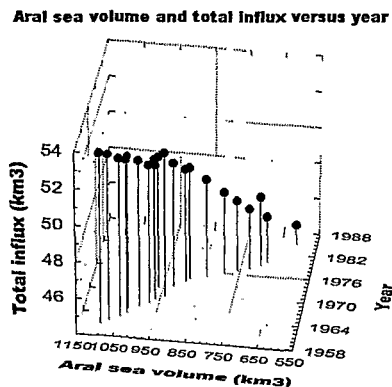


Figure 3 : Evolution des flux hydriques entrants et du volume pour la période 1958-1988.

3.2- Conséquences

3.2.1- Salinisation et pollution

Initialement, la salinité représentait 1 à 4% (Precoda, 1993). Cette salinisation croît sur la rivière de la Syr Darya de 300 mgL^{-1} à Issyk Kul en amont, à 1600 à Tashkant, 1800-2000 à Kysil Orda, pour atteindre 30 g L^{-1} actuellement dans la mer d'Aral. Cette valeur est comparable à celle de la mer du Nord (Dech & Rainer, 1993). A partir de nos données on montre une salinisation croissante (Fig.4) résultant du lessivage des sels des périmètres irrigués qui se concentrent sous la forte évaporation. La corrélation exponentielle négative observée entre la salinité et le volume est très bonne ($R^2= 0.95$). A partir de 1986 l'augmentation importante de la salinité pour de faibles baisses de volume traduit un changement dans le processus de salinisation. A une augmentation normale de la concentration en sels par évaporation de la mer s'ajoutent des apports exogènes qui pourraient expliquer cette brusque augmentation. Ces apports peuvent provenir de l'aridisation des terres environnantes. A cette salinisation s'ajoute une très forte pollution des sédiments et des eaux dépendant des intrants agricoles (herbicides, insecticides, pesticides, engrais, fongicides...) et des rejets industriels. Ce sont des millions de tonnes de sels et de toxiques chimiques qui entrent dans la mer d'Aral et induisent une dégradation de la qualité des eaux et de l'écosystème. L'irrigation apportée en excès provoque un engorgement et une érosion des sols. 3.5 millions d'hectares sur 6.8 sont touchés par ces phénomènes, avec une réduction du rendement du coton de 20% (Feshbach, 1992). Hors périmètres, le surpâturage par suite de l'extension du coton entraîne une aggravation de l'érosion des pâturages traditionnels, accrue par la sécheresse.

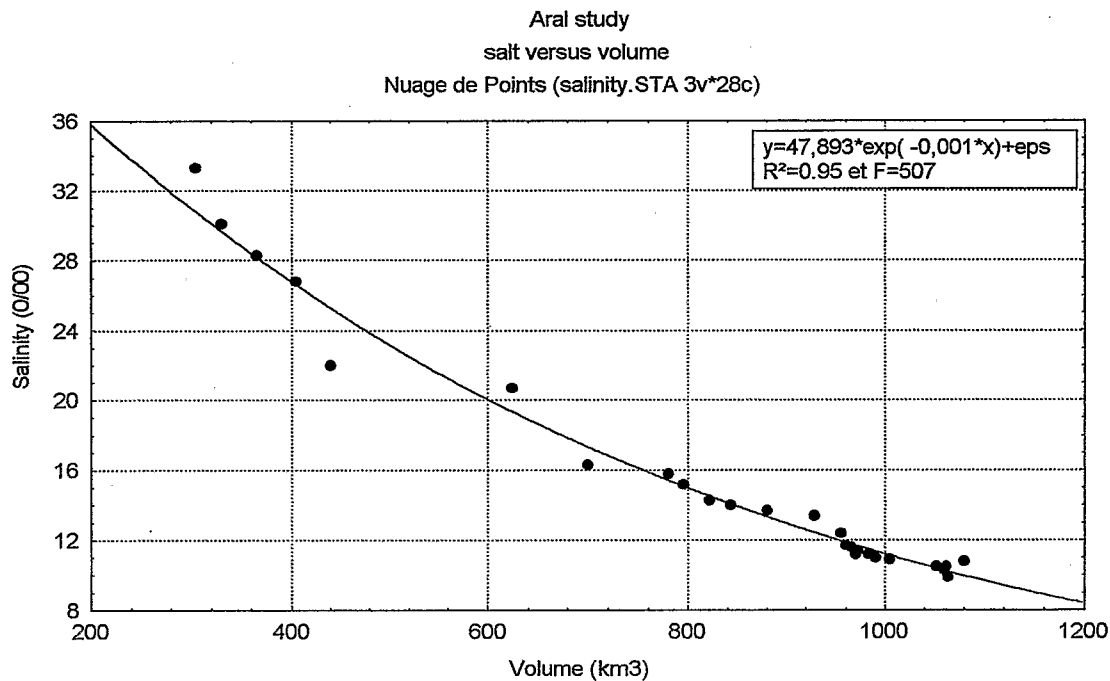


Figure 4 : Relation entre la salinisation et le volume de la mer d'Aral pour la période 1960-1990.

3.2.2- Dégradation de l'Environnement.

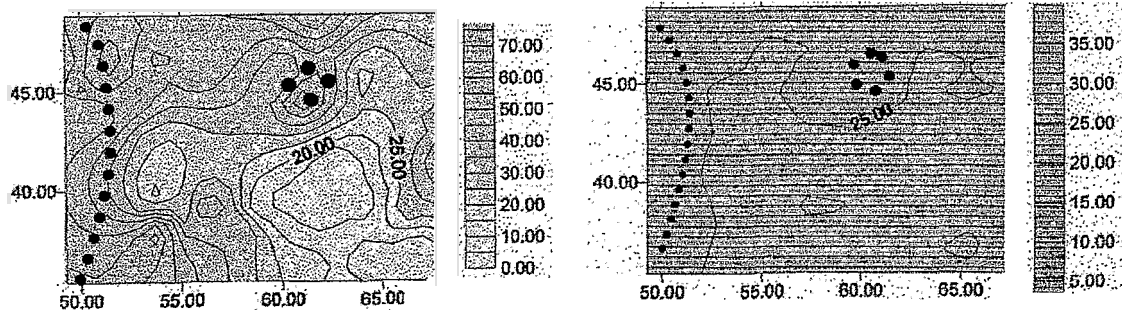
L'assèchement de la mer expose les sédiments des berges fortement pollués et salinisés aux vents qui les dispersent à grandes distances. La quantité de poussières, sels et produits chimiques retombant sur les sols environnants et affectant les populations locales et éloignées est estimée à environ 800t/km de berges exondées (Kiselev & al, 1998). Le pourcentage des sols salins a constamment augmenté et atteint 22% des terres irriguées.

Natural-territorial Complexes	Total area		Area of saline lands		Grade of salinity			Lands undergone to deflation		Grade of deflation		
	thous. ha	%	thous. ha	%	thous ha	thous ha	thous ha	thous. ha	%	thous ha	thous ha	thous ha
TOTAL	3175,6	100	1010,4	31,8	393,1	13,9	603,4	2045,4	64,4	-	352,5	1692,9
Accumulative-alluvial plains	1540,9	48,5	577,1	37,4	370,5	11,5	195,1	888,0	57,6	-	323,7	564,3
Accumulative-aeolian plains	96,1	3,0	2,4	2,5	-	2,4	-	66,9	69,6	-	14,6	52,3
Denudatio-structural plains	107,5	3,4	31,2	29,0	22,6	-	8,6	59,1	55,0	-	14,2	44,9
Solonchaks, initial-marine, accumulative-marine plains	1431,1	45,1	399,7	28,0	-	-	399,7	1031,4	72,0	-	-	1031,4

Tab. 1. : Aires (hectare et %) affectées par la salinisation et la déflation dans la région du delta de la Syrdarya (Skorinsteva, 1996).

La conséquence de ces mécanismes est une paupérisation de l'écosystème comme le montre le tableau 1.

Cod of map	Character of changes of underlying terrain	Temperature ranges on seasons (°□):			
		Winter	Spring	Summer	Autumn
1	2	3	4	5	6
I. INFLUENCE OF LAND:		1. Aridity:			
1a –	Weak	0.0	+0.5 ÷ +1.0	+0.5 ÷ +1.5	0.0
2a –	Middle	0.0	+1.0 ÷ +2.0	+1.5 ÷ +2.5	+0.5 ÷ +1.5
3a –	Strong	> +0.5	> +2.0	> +2.5	> +1.5
		2. Humidifying:			
1y –	Weak	0.0	-0.3 ÷ -1.0	-0.5 ÷ -1.5	-0.1 ÷ -0.3
2y –	Middle	-0.3 ÷ -0.5	-1.0 ÷ -2.0	-1.5 ÷ -2.5	-0.3 ÷ -0.5
3y –	Strong	< -0.5	< -2.0	< -2.5	< -0.5
II. INFLUENCE OF RESERVOIR:		1. Drying:			
1o –	Weak	0.0	+0.3 ÷ +1.5	+0.5 ÷ +2.0	-0.2 ÷ -1.5
2o –	Middle	0.0	+1.5 ÷ +2.5	+2.0 ÷ +3.0	-1.5 ÷ -2.5
3o –	Strong	0.0	> +2.5	> +3.0	< -2.5
		2. Spreading:			
1p –	Weak	0.0	-0.3 ÷ -1.5	-0.5 ÷ -2.0	+0.2 ÷ +1.5
2p –	Middle	0.0	-1.5 ÷ -2.5	-2.0 ÷ -3.0	+1.5 ÷ +2.5
3p –	Strong	0.0	< -2.5	< -3.0	> +2.5



A (Automne)

B (Eté)

Figure 5- Influence comparée de la mer caspienne (ligne pointillée) et d'Aral (cercle pointillé) sur la pluviosité (A) et la température (B), exprimées en valeurs moyennes, en mm et en °C, sur les 50 dernières années.

L'influence de la mer d'Aral, malgré sa taille, est très nette sur la température au cours de l'année et sur la pluviosité, sauf en été, à l'exemple de la Caspienne (Fig.5 A et B). Sa disparition entraînerait ainsi une forte augmentation de la température et une forte baisse de la pluviosité sur une très grande surface avoisinante.

3.3.Simulation et action de rémédiation

3.3.1. Simulation du bilan hydrique du maïs et du coton

La totalité des terres irriguées s'élève à 6,8 millions d'hectares. La pratique agricole de cette région montre une prédominance de la monoculture du coton (tab. 3).

Cultures	Coton	Fourrage	Fruit	Céréales	Riz	Légume s	Cucurbitacé es
Surface %	51	22	9	7	6	3	2

Tableau 3. Repartition en % des surfaces des différentes cultures irriguées.

Les besoins maximum en eau du maïs (110 jours) et du coton (150 jours) varient respectivement de 575 à 880 mm et de 800 à 1275 mm. Doorenbos et Pruitt, (1986) ont trouvé des besoins maximum en eau de 400 à 700 mm pour le maïs. Pour le coton, ces valeurs sont en accord avec différents essais conduits qui ont donné 740 à 1250 mm (Agachanjanc, 1988 ; Raslin et al., 1992). Compte tenu des très faibles satisfactions hydriques, les doses d'irrigation sont importantes (Tableau 4).

Tableau 4 - Evapotranspiration réelle et satisfaction hydrique du maïs et du coton du désert au piedmont.

Localisation	Maïs ETR	Satisfaction %	Coton ETR	Satisfaction %
Aralysk	113	17	89	9
Barsa	86	12	123	11
Kazalinsk	64	9	81	8
Tchirick	49	6	66	5
Tchimkent	114	20	172	22

Par rapport au coton, les besoins en irrigation du maïs sont nettement inférieurs, de 30% environ.

3.3.2. Actions de rémédiation

3.3.2.1- Périmètres irrigués

Elles passent par quatre phases qui sont respectivement l'amélioration des techniques d'irrigation, le remplacement du coton par une culture plus économique en eaux et le lessivage des sels des terres irriguées.

Phase 1 : amélioration de l'efficacité de l'irrigation par une modification des doses apportées. En effet il est possible de ramener la dose annuelle de 13700 m³/ha à 10000 m³/ha (Klötzli, 1994). Soit :

$$(1) 3700 * 6.8 \cdot 10^5 = 25.12 \text{ km}^3$$

Dans un deuxième temps par de nouvelles pratiques d'irrigation qui permettent de ramener à une moyenne annuelle de 7000 m³/ha et il est donc possible d'économiser :

$$(2) 3000 * 6.8 \cdot 10^5 = 20.4 \text{ km}^3$$

Au total plus de 45,5 km³ par an peuvent être sauvés.

Phase 2 : remplacement de la monoculture cotonnière par une culture moins gourmande en eaux; par exemple le maïs qui dans ce cas permettrait un gain de 30%. Plusieurs scénari sont possibles :

$$(3) \text{ remplacement de 50\% de la surface cultivée en coton : } 3000 * 0.5 * (0.5 * 6.8 \cdot 10^5) = 5.1 \text{ km}^3$$

$$(4) \text{ remplacement de la totalité de la surface cultivée en coton : } 3000 * 0.5 * 6.8 \cdot 10^5 = 10.2 \text{ km}^3$$

Phase 3 : la lixiviation des sels par drainage a pour objectif de maintenir la fertilité du sol et nécessite une dépense en eaux de 3500 m³/ha*an soit pour la surface totale :

$$(5) 3500 \text{ m}^3/\text{ha} * 6.8 \cdot 10^5 = 23.8 \text{ km}^3$$

Si ces trois phases sont mises en œuvre il est possible de faire une économie totale de :

$$\text{Cas 1 : } 1 + 2 + 3 - 5 = \underline{26.3 \text{ km}^3} \text{ ou cas 2 : } 1 + 2 + 4 - 5 = \underline{41.4 \text{ km}^3}$$

Cette estimation des économies obtenues par ces différentes actions de rémédiation sont en accord avec les projections faites par différents chercheurs, qui les estiment entre 10 et 50 km³ annuels (Micklin, 1992).

Phase 4 : Ce programme ne prend pas en compte le fait qu'environ 10 à 20% des terres irriguées sont fortement salinisées et sont donc impropres à une mise en culture. Il faut ainsi diminuer la surface à irriguer d'environ 680000 ha à 1.360000 ha. Ce gel des terres entraînerait une économie supplémentaire de 7 à 14 km³. Par ailleurs une amélioration du réseau d'irrigation par pose de films plastiques permettrait de limiter les pertes par évaporation et par infiltration le long du réseau. Pour les cultures les plus rémunératrices l'utilisation de technique de pointe, telle que le goutte à goutte, assurerait une économie en eau d'environ 40%. Cette quatrième phase peut être menée simultanément avec les trois autres. Des amendements chimiques et organiques peuvent réduire la salinisation et améliorer la structure du sol et limiter l'engorgement. L'application de cet ensemble de mesures permettra de lutter efficacement contre l'érosion constatée dans les périmètres irrigués.

Le tableau 5 résume les conséquences de l'application des trois premières phases décrites ci-dessus. Avec des flux superficiels évoluant de 3 à 30 km³ la stabilisation de la mer d'Aral nécessitant un total de 58 km³ ne sera effective que dans 2 cas et le renversement de la tendance à l'assèchement dans un seul cas et sur une très longue durée.

Economie (km ³ /an)	Flux entrants (km ³ /an)	Total entrant pour Aral (km ³ /an)	Bilan
26.3	3	29.3	déséquilibre
	30	56.3	équilibre
41.4	3	44.4	déséquilibre
	30	71.4	restauration

Tableau 5 : Economies hydriques réalisées pour différents scénari.

3.3.2.2- Hors périmètres irrigués

L'extension de la monoculture irriguée à la place de la rotation traditionnelle fourrage-céréales a entraîné une forte réduction du fourrage. Cela a accru la pression sur les pâturages. Cette pression est à l'origine d'une forte érosion des parcours. La lutte contre cette érosion passe par

des actions coûteuses en main-d'oeuvre et en temps. Il est nécessaire d'implanter des barrages filtrants et des brise-vent pour réduire le ruissellement et la déflation des poussières polluées et salinisées. Le contrôle des encroûtements qui limitent l'infiltration est à envisager.

IV Conclusions

Le Kazakhstan - dont la mer d'Aral- a fait l'objet d'une politique dite de « *région de sacrifices nationales* » (Böge, 1992). Aujourd'hui les différents acteurs nationaux mais aussi internationaux ont pris conscience de cette catastrophe écologique. Les ressources en eau utilisables et même renouvelables ont atteint leur limite. La crise de la mer d'Aral étant principalement une conséquence de l'expansion de la monoculture du coton irrigué et de pratiques inadéquates d'irrigation, il devrait être possible d'en inverser le cours par des actions de gestion des ressources et de préservations de l'environnement. En effet il apparaît par des simulations de la gestion des ressources en eaux (à partir des données fournies par différentes études) que des actions de rémédiations telles que :

- une meilleure gestion de l'irrigation
- un changement dans les pratiques monoculturelles
- l'optimisation de l'utilisation des sols

permettraient à brève échéance (moins de 10 ans) une stabilisation durable au niveau actuel. Une restauration de l'état initial de la mer d'Aral (période 50-60) nécessiterait dans le meilleur des cas plus de 65 ans. Cette étude ne prend pas en compte les effets de réchauffement climatique de la planète, ni les besoins domestiques en eaux d'une population à forte croissance démographique, ni les besoins industriels. Ainsi il est évident qu'une meilleure gestion et valorisation durable des ressources en eaux et en sols entraîneraient une diminution importante des processus de dégradation et de pollution.

Cette étude a été financée par INTAS (Projet n° 95-0050).

V- Bibliographie

- AGACHANJANC, O.E., (1988). Wasserbilanz und wasserwirtschaftsfiliche Probleme der mittlen region der UDSSR (Mittelsien und Westsibirien) in, Petermanns Geographische Mitteilungen 2/88 :109-115.
- BÖGE V., (1992). Proposal for an anatycal framework to grasp « environmental Conflict », ENCOP Occasional Paper N°1. (second part) Zurich ; Berne.
- DANCETTE C. (1983). Besoin en eau du mil au Sénégal. Adaptation en zone semi-aride tropicale. Agro. Trop. 4: 257-280.
- DECH St., and R. RAINER, (1993). Die verlandung des Aralsees. Eine bestandesaufnahme duch satelitenfernerkundung in : Geogrphische Rundschau 6/1993 :345-352.
- DOORENBOS J.D., and A.H. KASSAM, (1979). Yield response to water. FAO. Irrigation and Drainage. Bull. N 33). Rome, Italia. pp132.
- IRAT-SOPRA. (1989). BIPODE : Bilan hydrique à la parcelle pour la prévision et l'optimisation des doses en eau. (IRAT-SOPRA, version 2.0-01/89). Clamart, France. 41 p.
- FESHBACH M., F.ALFRED jr., (1992). Eocides in the USSR. Health and nature under siege, London.

- KISELEV I., (1998). Description of informational modeling system for Aral Sea coastal region. INTAS-KAZAKHSTAN-95-00-50. Pp41.
- KLÖTZLI S., 1994. The water and soil crisis in Central Asia- A source of future conflicts? Environment and Conflicts Projects (ENCOP). Center for Security Studies and Conflicts research. Swiss Federal Institute of technology. ETH Zentrum. 8092 Zürich- Switzerland.
- MICKLIN Ph., (1992). Water management problems in the Soviet Central Asia : Problems and prospect in, Steward John Massey (ed.) The Soviet environment problems, policies and politics, Cambridge, New-York, 1992 :88-114.
- PRECODAN., (1991). Requiem for the Aral Sea in AMBIO, Vol. 20, N°3-4 :109-114.
- RASLIN P., E. HANSEN, M. ZHU, and M. IWRA, (1992). Simulation of water supply and demand in the Aral sea Region, in Water International 17 (1992) :55-67.
- RUMER B., (1989). Soviet Central Asia. A tragic experiment, Boston etc.
- SEVERSKI I and Y. GRECHANICHENKO, (1998). Problem of Aral sea. Mid-term report. INTAS-KAZAKHSTAN-95-0050. Pp17.
- SKORINTSEVA I.B., (1995). Study and monitoring of deltas of the Amudarya and Syrdarya rivers for restoration. « The project(UNESCO-BMFT 509/RAS/40. Subproject « An estimation of processes of desertification and natural complexes Syrdarya ».

**RESEAU
EROSION**



Référence bibliographique Bulletin du RESEAU EROSION

Pour citer cet article / How to cite this article

Valet, S.; Le Coustumer, P.; Shilov, A.; Grechaninchencko, Y.; Serversky, I. - Causes anthropiques de la crise écologique de la mer d'Aral : quelles solutions ?, pp. 496-504, Bulletin du RESEAU EROSION n° 20, 2000.

Contact Bulletin du RESEAU EROSION : beep@ird.fr