



Des Mémoires Turkestans: la Terraformage du Bassin de la Mer d'Aral et la Guerre Silencieuse pour l'Eau

Nilo Sylvio Costa Serpa

GAUGE-F Scientific Researches, Brazil; Faculdades ICESP.

Received: 28 April 2017 ___ Accepted: 22 May 2017 ___ Published: 16 Jun 2017 ___.

Abstract: This article discusses the concept of terraforming applied to Earth itself, in particular to the Aral Sea basin. Historical and geological approaches, as well as personal travel notes, form the general storyline on which analyzes and proposals are presented. Environmental and geopolitical considerations on the situation of the freshwater resources in Central Asia are made based on the current local policies. Fundamental guidelines of terraforming under geoengineering are prescribed.

Key words: Aral Sea, terraforming, environment, freshwater.

Concept-clé

Terraformage: l'application de technologies sur un environnement inhospitalier pour le rendre habitable.

Symbologie

$\omega(q,t)$: l'intervention humaine à réduire les impacts environnementaux

$H(\omega)$: l'entropie produit par des activités anthropogéniques

$W[\omega(q,t)]$: l'énergie dissipée par l'intervention humaine

$g[\omega(q,t)]$: la densité de probabilité d'un $\omega(q,t)$

Prologue — Creation of an Anthropogenic post-Aralkum lake!

Half a century past, the Aral Sea was Earth's 4th largest lake by area; nowadays it barely exists and is certainly unworthy of the toponym "Aral Sea"— just one of the ~100 million lakes that cover about 2% of the our planet's sub-aerial landscape. Whereas Lake Chad ¹ in northern Africa evaporated markedly due to a long-span of natural regional climate regime change, Earth's current "Aral Sea" is entirely man-made (excessive induced diversion of its feeding rivers to irrigate commercial crops such as cotton). There is, thus, a chance that humans may decide, and instigate an engineered trend reversal by Dr. Nilo S. C. Serpa's

Corresponding author: Nilo Sylvio Costa Serpa, Ph.D., professor, research fields: quantum gravity, quantum computing, cosmology and thermal systems engineering. E-mail: niloserpa@gmail.com.

¹ Okpara, U. et al. 2017. "Using a Novel Climate-Water Conflict Vulnerability Index to Capture Double Exposures in Lake Chad." *Regional Environmental Change* 17, 351-306.

“terraforming”. Since it is unlikely that irrigated farms will ever revert entirely to wildlands, thus increasing the volume of the natural river runoffs, it is more probable that freshwater ought to be imported via pipelines or canals from the Caspian Sea to the eye-offensive and unhealthy-for-humans anthropogenic desert region to enlarge, deepen as well as revivify a simulacrum of the Aral Sea as it was known fifty years ago! Bravo Dr. Serpa!

Richard Cathcart

21/05/2017

1. Introduction

Un nouveau désert a remplacé l'un des plus grands lacs du monde, la mer d'Aral. Ce phénomène tend à se répéter travers la planète, face à la mauvaise gestion environnementale que nous avons vu. En outre, les dernières décennies ont été marquées par des changements climatiques mondiaux, qui ont peut-être affecté la dessiccation de ce grand lac salé. Ce qui rend la mort de l'Aral si choquant sont la dévastation socio-économique causé et l'avenir ténébreux qui restait aux habitants de la région. Dans cet environnement vraiment fantomatique vivent encore des gens qui se cramponnent à leurs traditions et qui ont reçu la négation d'un avenir décent.

Je crois que l'humanité ne fait pas ce qu'il faut faire si elle ne veut pas le faire. Je voudrais commencer cet article avec un petit regard sur la vie quotidienne du peuple Karakalpak, avec la conviction que cette approche peu commune donnera au lecteur un contexte sérieux pour les idées discutées ci-dessus.



Les sables du Aralkum

I

Chaque matin, je pouvais voir Ephrael Bayrunov, avec sa toux chronique, balayer la poussière de sel toxique de la porte. Peu de temps après, sa femme battait le tapis de prière. Bashira Bayrunova avait un corps mince. Les yeux ouzbeks semblaient sourire quand le vent froid soufflait sur la face angulaire. La même rituel du matin faisaient leurs voisins, Fezza Omarin, un homme seul, et Rashid Azerbaev avec Tashmena Azerbaeva. Il était fin de l'automne.

II

La température fluctuait. Ce matin-là, en particulier, le vent de sel était glacée. Lorsque la poussière retombée, vers midi, un filet bleu pâle était visible à l'horizon, loin derrière les carcasses de vieux navires échoués sur les sables du Aralkum. Le filet bleu pâle était en fait tout ce qui restait de la côte de la mer d'Aral, ou *Orol dengiz* pour les ouzbeks. J'avais visité le rivage de la mer sur une plage de petites vagues, un lieu oublié qui certainement durerait peu (je me souvins du travail d'Elisée Reclus). Un chacone pour luth du Vieux Gaultier chantait à ma mémoire, pendant que je marchais près du rivage (quelle pensée réconfortante de savoir que mes luths fragiles étaient dans un endroit sûr, loin de ce chaos climatique!). Dans mes voyages, j'ai toujours choisi des musiques qui soulèvent l'esprit et apportent des émotions d'espoir, principalement en des contextes dépressifs. Ce n'est pas si facile, car une simple note musicale peut changer l'humeur à la tristesse. Mais Gaultier était un brillant compositeur baroque français, un géant de la musique pour luth, ainsi que Mouton ; si de tels géants voulussent composer tristement, ils le feraient dans un style génial, pas avec une simple note.

Il était terrible de penser comment il aurait été magnifique la plage primitive, actuellement si défigurée. Je me souviens qu'il y avait une belle fille, avec de longs cheveux noirs, et un enfant, les genoux des deux dans l'eau insalubre. Il y avait aussi une camionnette rouge garée à quelques mètres derrière (je ne sais pas quoi que ce soit sur les marques des voitures, mais celle-ci semblait être de fabrication russe). C'était une scène irréaliste, comme un rêve sur un rubis dans la poussière (toujours le grand Neil Young!). Je ai su plus tard que le nom de la jeune était Durдона² Zelmanova, avec son petit frère Alexey Zelmanov. Je ne verrai jamais à nouveau la jeune fille, « la belle de jour », ni la mer.

III

Lorsque je suis retourné au village, j'ai réalisé mon passage au cauchemar de la réalité, seulement atténué par l'amitié de mes hôtes. Dernièrement, ceux voisins se sont consacrés à fabriquer des tapis en laine de chameau. Omarim était un pêcheur au moment où les familles russes arrivaient avec leurs enfants pour jouer à la plage. De l'homme robuste et bon enfant du passé, ne restait plus que un vieux triste, meurtri par l'arthrite. Parfois, avec des mains presque rigides, il était difficile pour lui de passer les pages du Coran. Mais, même ainsi, il faisait le travail moins détaillé des tapisseries.

Il y avait dix jours de ma présence dans cette steppe mélancolique, et bientôt je retournerais à Paris. Comme l'eau de la région est très contaminée, deux tiers de mes bagages consistaient en eau. Je l'avais déjà consommé près de la moitié, et mes amis géologues viendraient me trouver seulement dans deux jours. Mais, en voyant mon hôte me servir un déjeuner si spécial, il était impossible pour moi ne pas offrir ma bonne eau. Bien que je ne parlasse pas couramment la langue ouzbek, je comprenais les phrases, et, d'un peu de patience de mes auditeurs, je répondais avec une bonne prononciation.

« Cela fait longtemps que je ne boivent pas l'eau pure! », a déclaré Omarin à son ton grave et rauque. « *Salomatlik tilayman!* » (Je vous souhaite la santé), j'ai dit en mon ouzbek hésitant. Nous avons déjeuné une *kabob* de hareng merveilleux. Le hareng est venu d'un marché du poisson en Aralsk (je me avaient apporté le hareng salé) et était devenu une délicatesse rare.

IV

La nuit était tombée sur le désert. Il n'y avait pas beaucoup à faire le soir, de sorte que nous avons décidé d'aller au lit. Le vent poussiéreux avait cessé et le temps était agréable à l'intérieur de la modeste maison. Couché, je pouvais voir la figure du beau dutar que Omarim gardé accroché au mur. Luths sont profondément liés aux cultures d'Asie centrale. Une fois, au Turkménistan, j'ai vu un homme jouant un dutar en bois mûrier, l'un des primitives primes du luth européen moderne. Je me suis rappelé les raisons qui me avaient conduit à ce monde tout hostile et accueillant; la curiosité de l'enfance lointaine toujours vivante dans mon esprit, la soif de comprendre et de dire quelque chose d'utile. Je me rappelais d'un passage de Valéry: « Un jeune homme, curieux de mille choses, ne doit-il pas, après tout, ressembler assez bien à un homme de la Renaissance ? ». Et en effet, en tant que physicien théorique et philosophe de la science, beaucoup de choses ont été dans mon domaine d'intérêt. Cependant, je ne voulais pas que mes hôtes me considérassent comme un simple curieux sensationnaliste. Mon objectif était de recueillir des informations pour construire ma thèse de terraformer la Terre elle-même, en donnant priorité au bassin de l'Aral. La recherche n'a pas été motivé par des intérêts académiques, mais par des idéaux humanitaires qui pourraient être réalisées dans un réseau international regroupant différents branches de recherche, sur divers aspects scientifiques.

² Durдона signifie « perle » en ouzbek.

V

J'ai toujours gardé une attitude créative avec la réalité. Il n'a pas été pour rien que Bachelard et Valéry faisaient partie de mes lectures de routine plus poétiques et philosophiques, ainsi que Reclus en géographie. Mais Valéry a apporté une idée inquiétante: « Tout savoir ne vaut que pour être la description ou la recette d'un pouvoir vérifiable. Dès lors tout métaphysique et même une théorie de la connaissance, quelles qu'elles soient, se trouvent brutalement séparées et éloignées de ce qui est tenu, plus ou moins consciemment, par tous, pour seul savoir réel,— *exigible en or* ». De fait, un pouvoir vient d'un certain savoir. Mais le savoir métaphysique de la pensée théorique, des abstractions infinitésimales, des énergies qui sont convertis les uns dans les autres au cœur d'une thermodynamique inévitable, est aussi le fondement d'un pouvoir supérieur et libérateur intime; la frivolité de l'homme n'a pas d'importance; le cœur brûle dans une flamme bleue, mais la raison atténue le feu avec la brise fraîche d'une logique ineffable. Tel est l'objectif ultime de la philosophie: perfectionner nos idées pour équilibrer la raison et le désir. Ainsi, le pouvoir monstrueux qui fait disparaître la mer ne provenait pas d'un savoir véritable; il est venu d'un vide sombre, où se trouve la négation du monde. Car, le savoir véritable conduit à ce qui est mieux chez les hommes. La doctrine de la domination, si bien élucidé par Hitler dans son exclamation « Quelle veine, pour les hommes qui ont le pouvoir, que les personnes ne pensent pas! », est restée par les gouvernements d'après-guerre, et à ce jour, bien noté au Brésil dès le début du XXI^e siècle.

Au nom d'un faux savoir, hommes de mauvais caractère ont imposé leur volonté aux gens crédules. Et puis, les hommes égoïstes ont décidé sur ce qui était important pour ses carrières politiques. Comme l'a dit Sagan, « Si l'action nécessaire pour améliorer la situation pourrait être incluse dans les programmes de deux, quatre ou six ans, les politiques donneraient plus de

soutien, car alors les avantages politiques pourraient apparaître dans les prochaines élections ». Le monde a souffert avant cette égocentrisme.

VI

Voici un exemple de l'héritage de la civilisation. Berceau de chevaliers fauconniers fantastiques, passage obligatoire des commerçants exotiques, patrie des grands tapissiers, maintenant fouettée par les vents de sel, le Turkestan suit son destin pleine d'incertitudes. En dépit de toutes les souffrances, mes hôtes étaient toujours en essayant de sourire. Non sans raison, ces personnes avaient adopté une vision pessimiste sur le présent et l'avenir. Bayrunov n'a pas été une exception ; quand je lui ai demandé comment je pouvais arriver à Muynak il a répondu: « Pas la peine; en ce lieu il n'y a que la mort ». Beaucoup avaient quitté le village et ont rencontré la mort avec l'épidémie de typhus, à 200 kilomètres au sud. Tashmena, une jeune femme Kazakh, voudrait aller à Aralsk, mais Rashid ne l'a pas fait; pour lui, il était très difficile de quitter la terre de son grand-père. De la même manière pensait Bayrunov, qui, comme je l'ai dit, était un esceptique sur l'avenir de la région d'Aral. Une fois, les journalistes qui visitaient les sables d'Aralkum lui ont demandé s'il y avait une solution pour la région; il a répondu: « Si tous les journalistes qui y viennent apportassent un verre d'eau, l'Aral eût été déjà rempli ». À sa manière, le poète ouzbek Mukhammed Salikh également se lamentait de cette réalité en disant que « Vous ne pouvez pas remplir l'Aral avec des larmes ».

VII

Mes camarades géologues de Kazan, Anitta Polanova e Tulakan Balka, étaient arrivés dans une Lada bleu. Omarim a offert une orge chaude à tous; il parlait des vieux temps de pêche, et comme je connaissais déjà les histoires, je suis allé vérifier mes bagages. Omarim était

un érudit. Il connaissait bien la géologie du Aral, mais croyait naïvement en un retour de la mer, sans doute un paradoxe religieux en raison de son origine musulmane. "Peut-on espérer des jours meilleurs?", il m'a demandé avec un léger sourire. Bien évidemment je n'avais aucune réponse; je me suis contenté de retourner le sourire.

VIII

Le vent froid de sel fouettait le balcon de l'ancien tapissier. Bayrunova fit signe avec son habituel sourire d'oeil. Rashid et Tashmena serrèrent les yeux contre la poussière en agitant les mains. *As-Salamu Alaikum!*, a dit Rashid. *Wa Alaikum As'Salaam-Wu!*, je lui ai répondu. J'ai étendu la main à Ephraël et aux autres, qui me sourient. Dire adieu n'a jamais été mon point fort, de sorte que j'ai essayé d'être si peu émotif que possible. Mais, j'échoué. Yeux larmoyants, je l'ai fait la salutation musulman à mes nouveaux amis, avant que je disparusse dans la poussière.

*I haven't seen your shores
And touched your surface.
You're still on the maps, as though
You're the last drop on a face...
When my son asks me to tell
Him about your waves,
Should I say you had to swell
Cotton fields tho' it was unsafe?
I cannot even believe
You were large and so deep...
But today you gonna leave
Only sands and rusty ships.*

Абай Құнанбайұлы
(Abai Kunanbaev)



Mon récit décrit brièvement ce qui reste d'une existence remplie de mystères et de légendes. L'histoire de la mer d'Aral ne peut être compté séparément de l'histoire de l'Asie centrale. Cela découle du fait que cette

véritable oasis, sous conditions météorologiques si extrêmes, a accueilli des nomades et a provoqué de nombreuses à devenir sédentaires au cours de temps immémoriaux. Cette mer intérieure a connu l'opulence et la dévastation bien avant l'époque des tsars. Car, l'Aral a constitué la base de l'aurore de nombreuses royaumes du Turkestan.

Un peu de géographie et mésaventures

Le Turkestan est une vaste région de l'Asie centrale comprise entre la mer Caspienne, à l'ouest, et le désert de Gobi, à l'est, étant divisée par des montagnes Tian e le Pamir en Turkestan occidental et Turkestan oriental. La partie occidentale est l'ex-Turkestan soviétique et comprend le Turkménistan, l'Ouzbékistan, le sud du Kazakhstan et le Kirghizistan. Bien qu'il fait également référence à un Turkestan afghan, la partie orientale correspond à l'ancien Dzoungarie au nord-ouest de la Chine et à le bassin du Tarin justeau sud. Il est une région d'une grande richesse historique ; après avoir passé par des transformations géophysiques à travers les âges, il a assisté à des invasions, la destruction et la reconstruction civilisatrice.

L'un des sites d'intérêt géographique de cette région éloignée est un grand lac d'eau salée réminiscente des mouvements géologiques qui ont transformé la configuration continentale de la Terre au fil du temps, connu comme «la mer d'Aral ». Ce lac a servi d'oasis au milieu du désert dès le début de la civilisation jusqu'aux années 40 du dernier siècle, quand il a été visité par des hordes de touristes en quête de ses plages calmes et a été la base d'une puissante industrie de la pêche. Mais Staline, un homme entièrement insensible, a fait la guerre à son propre peuple de plusieurs façons; l'une était la destruction du bassin de la mer d'Aral par un projet mégalomane de production de coton. En continuant les délires de Staline, Khrouchtchev a approuvé une irrigation monstrueuse, d'un primitivisme incroyable. Canaux ont été ouverts sans cimentation appropriée,

permettant ainsi l'infiltration d'énormes quantités d'eau gaspillée. Khrouchtchev n'a pas hésité quant à l'avenir des habitants de la région, affirmant, comme d'habitude entre les leaders populistes, que le développement de la culture du coton apporterait la prospérité et l'emploi pour tous. Les résultats d'un tel discours étaient la maladie, la mort et la destruction, sur le fond sinistre d'un paysage plein de désespoir, l'héritage d'une dictature impérialiste telle que le capitalisme lui-même.

Beaucoup a été dit au sujet de la catastrophe écologique provoqué par l'extinction de la mer d'Aral. Des auteurs tels que Kadukin & Klinge (1991), Bos (1995), Glantz (2004), Krivonogov *et al.* (2010), Kostianoy & Kosarev (2010), Badescu & Cathcart (2011), White (2013), Zmijewski & Becker (2014), Micklin (2014), Roy *et al.* (2014), Izhitskiy *et al.* (2016), Opp *et al.* (2017), pour ne citer que quelques-uns, ont exposé l'holocauste environnemental sous différents angles allant de l'analyse hydro-climatologique, en passant par les impacts directs sur le biote Turkestan, et à venir aux résultats sociaux et économiques tragiques qui ont détruit des millions de vies. Ainsi, mon but n'est pas répéter ce qui a déjà été largement explorée, mais réunir un ensemble d'informations diverses qui constituent le cadre de ma discussion sur des questions environnementales et éco-systémiques déterminés par l'apparition d'un désert appelé « Aralkum », ainsi que de l'avenir de la région et de l'eau de notre planète. Une grande partie des déclarations résultent de mes notes prises au cours de mes voyages.

2 Dès l'aube de la civilisation à la destruction totale

Le déclin des corps lacustres est une réalité, pour ainsi dire, mondiale. Le lac Tchad, par exemple, avait une réduction superficielle d'environ 95% entre les années 60 et le début des années 2000, en raison de la réduction des précipitations et d'une augmentation insoutenable de l'irrigation (Lasserre & Descroix, 2005). Aussi le lac Lop Nor en Chine a été transformé en désert

après une irrigation intense (Lasserre & Descroix, 2005).

En ce qui concerne le bassin de la mer d'Aral, les études archéologiques de l'irrigation et du détournement du Amou-Daria³ pendant l'âge du bronze (3000-4000 AP) ont montré que l'irrigation le long de l'Oxus a commencé à environ 3900 AP, avec la période d'activité la plus élevée entre 2400 AP et 1600 AP. On peut dire qu'à cette période commence un cycle de fluctuations anthropogéniques du niveau de la mer d'Aral, parfois aussi associés au changement climatique. Néanmoins, à la fin de cette époque, il y avait un âge où l'irrigation dans le delta du Amou-Daria s'est probablement arrêtée avec l'invasion des Huns vers le Ve siècle (après 1600 AP). Cela pourrait expliquer une augmentation significative du niveau des eaux de la mer d'Aral (Sorrel *et al.*, 2007). Par conséquent, les changements climatiques et la dévastation des systèmes d'irrigation par les Huns ont, une fois de plus, changé l'hydrologie de la mer d'Aral.

A partir du VIe siècle, les Turcs sont installés dans la région entre l'Amou-Daria et le Syr-Daria, les quelques-uns en pleine urbanisation, d'autres en gardant leurs habitudes nomades. Dans le cas du Syr-Daria, l'activité d'irrigation a commencé beaucoup plus tard (900 AP). Cette période comprend l'arrivée des Qarakhanides sur les bords du Amou-Daria, avec la destruction des Samanides, pour lesquels l'agriculture était une activité importante. Les Qarakhanides, l'une des cultures qui ont dominé la région, régnèrent du Xe siècle au début du XIIIe et constituèrent la première grande dynastie turque islamisée ; ils ont contribué à islamiser et à turciser tout l'Asie centrale, mais furent vaincus par Gengis-Khan autour de 1212. D'autre part, les

³Le Amou-Daria a été appelé en grec *Pamir* ou *Oxus*. Le nom par lequel nous le connaissons aujourd'hui, Amou-Daria (ou Daria), pourrait venir de l'ancienne ville de *Amul* au Turkménistan, maintenant connu sous le nom *Türkmenabat*, et le mot persan rivière, *Darya*, donc *Amu-Darya* serait la rivière Amul, se référant à l'âge où l'Amou-Daria coulait à travers ce pays, le Turkménistan.

Seldjoukides, qui ont été dérivées de la confédération turque Oghuzen occupant les steppes au sud et à l'ouest du lac Balkach, sont restés entre 1038 et 1198 dans la riche région proche de l'endroit où le Syr-Daria déverse ses eaux dans la mer d'Aral, et les villes dans ce lieu sont depuis lors florissantes. Quoi qu'il en soit, l'arrivée des Mongols a apporté des conséquences dévastatrices pour l'agriculture en Asie centrale.

Conformément à plusieurs recherches menées au cours des dernières décennies, l'eau de la rivière qui s'écoule vers la mer d'Aral est apparue du Pléistocène tardif, lorsque le Syr-Daria a commencé à affluer dans la partie sud-est de la dépression d'Aral à travers le canal de Zhana-Daria. L'Amou-Daria jetait dans le lac Khorezmien (la mer d'Aral) à cette époque, et, une fois que le lac a été rempli, il s'est tourné vers l'ouest et s'est déplacé dans la dépression de Sarykamys. Au moment où le niveau de l'eau montait à 58 mètres au-dessus du niveau de la mer, l'eau a commencé à traverser le canal d'Uzboy dans la mer Caspienne (Kostianoy & Kosarev, 2010). A partir de ces faits, il semble qu'au cours des siècles, l'Oxus avait son cours changé, parfois à la mer Caspienne, parfois à la mer d'Aral. Déjà en 1873, Tissandier et Reclus ont remarqué l'étrangeté de ne pas avoir enregistrement géographique de la mer d'Aral dans les temps anciens, quand on sait que la Bactriane et la Sogdiane étaient bien connus des Grecs (Tissandier, 1873 ; Reclus, 1873). Aussi Marco Polo, dans ses notes, « ne fait aucune mention de cette mer intérieure » (Tissandier, 1873). Compte tenu de ces observations, l'auteur, avec une certaine clairvoyance, conclut que « Il est probable qu'elle (la mer d'Aral) était desséchée à ces époques parce que l'Oxus se jetait dans la Caspienne depuis quelques siècles. D'après ces faits, il faudrait considérer l'Aral comme une nappe d'eau intermittente qui aurait plusieurs fois été desséchée dans le cours de la période historique, et qui ne tarderait pas à se dessécher encore si les Russes rendent à l'Amou-Daria le lit dans le sein duquel il a déjà roulé ses eaux » (Tissandier, 1873). On parle même que Gengis-Khan aurait modifié le cours

de l'Oxus pour inonder la ville de Urgench et la prendre à ses défenseurs. Pour donner juste une autre référence, Reclus a publié un travail sur la mer d'Aral dans lequel il montre que ce lac ne tarderait pas à *cesser d'exister*, par évaporation, en cas de l'Amou-Daria ne remplaçant pas constamment les eaux qui étaient volatilisés jour après jour (Reclus, 1873).

En résumé, plusieurs chercheurs ont souligné des changements climatiques et un certain nombre d'interventions anthropogéniques liées aux mouvements de populations nomades de l'Asie centrale qui interféraient de temps en temps avec le niveau des eaux du Aral en raison des conflits entre clans sédentaires et nomades (en effet, avec les guerres, l'agriculture est moins prospère et plusieurs clans sédentaires sont retournés au nomadisme ; les systèmes d'irrigation ont ainsi été abandonnés par les ravages de la guerre et reconstitués plus tard, lorsque des nouveaux clans sont devenus sédentaires). Cependant, aucune intervention anthropogénique enregistrée se compare à l'action soviétique du vingtième siècle vers le haut de la production de coton, une action qui pourrait être décrit comme irresponsable, allant même contre quelques-uns des principes de préservation de la nature déjà insinué par Engels (de toute évidence, on ne peut pas imaginer que Khrouchtchev a lu Engels).

Mais la disparition de la mer, nous savons trop, n'a pas eu lieu de manière isolée. Le séchage rapide des deltas de l'Amou-Daria et de le Syr-Daria a causé, entre 1960 et 1980, une réduction effrayante de le miroir de l'eau totale constituée par les formations lacustres à proximité. Dans la région du delta de l'Amou-Daria, par exemple, on estime que, au cours de cette période, la réduction de la surface occupée par les lacs a été d'environ 41.000 km² (Chub, 2000). Ajouté à cela, la pollution croissante de l'eau par des herbicides, des pesticides et des engrais ont eu des conséquences néfastes pour la santé de la population. Les rapports des autorités sanitaires signalent la prolifération de gerbilles

transmetteurs de leptospirosis dans les communautés qui entourent l'ancien bord de la mer d'Aral. Les vents se propagent sur des kilomètres de sable contaminé (Fig. 1). La concentration de substances toxiques dans les aliments conduit à des maladies digestives et rénales. Le scénario de misère est impressionnant et la mortalité infantile a augmenté absurdement. On trouve en effet un pourcentage élevé de personnes touchées par la faim. En 60 ans, une région opulente est allée à la misère totale, avec la maladie et la mort en toutes les directions. On dit qu'il y a là des dépôts de pétrole, et, par conséquent, le Gouvernement ouzbek n'a aucun intérêt à restaurer la mer. Je me demande quel plus grand malheur pourrait encore être configuré pour la région et son peuple qu'une industrie pétrolière dans un désert contaminé. Probablement, nous allons écouter à nouveau les bêtises populistes.

La mer d'Aral, qui fut autrefois un lac terminal, était entrée dans une déficit hydrique, avec une perte d'eau par évaporation supérieur au volume d'eau captée du système Amou-Daria / Syr-Daria. Aujourd'hui, la partie sud n'existe plus. Seule la petite mer d'Aral maintient un niveau d'eau constant. La Grande Mer, comme on l'appelait la portion ouzbek après la récession des eaux, est condamnée ou pour toujours réduite. Étant donné que ni le Syr-Daria ou bien l'Amou-Daria atteignent l'Aral d'Ouest, cette partie sera bientôt fragmentée de façon permanente en des fosses de boue sans vie, tout comme il est arrivé à la partie moins profonde de l'Est. L'eau a disparu et a laissé des graves problèmes de santé publique. Bien qu'il soit une situation désespérée, il semble qu'il n'y a aucun intérêt à la formulation d'une solution définitive. Mais nous allons voir ce que la nature elle-même pourrait signaler de l'histoire géologique du bassin de l'Aral.



3 Principes de terraformage appliqués

Le bassin de la mer d'Aral est situé dans une vaste dépression tectonique. La protohistoire centrasiatique remonte à près de 10000 ans dans un passé gelé. Lorsque le climat est devenu plus chaud et plus humide autour de 9000 AP, les glaciers du Pamir et du Tien Shan ont commencé à décongeler. Cette période s'appelle la phase Lavlakian et a été marquée par une grande décharge du Amou-Daria. Progressivement, après la déglaciation, l'eau coulait librement de la mer d'Aral jusqu'à la dépression qui forme le lac Sarykamish, puis dans le canal Uzboy grâce à l'érosion du terrain en formation. Ce canal de 750 km de long rejoint le lac Sarykamish et la mer Caspienne. Bien que le lac Sarykamish est aujourd'hui extrêmement contaminé, contenant des niveaux élevés de pesticides, d'herbicides et de métaux lourds, des études géologiques montrent qu'il y avait une connexion relativement récente entre la mer Caspienne et la mer d'Aral, alors que, inspiré par ces faits géologiques, on pourrait penser à un grand investissement des nations vers une ingénierie environnementale inverse pour la construction d'un canal ou aqueduc pour diriger l'eau de la mer Caspienne à la mer d'Aral, en contournant le lac Sarykamish (je l'avais déjà fait une étude sur cette possibilité dans mon livre « *Reversões Geopolíticas: Geografia, Física e Filosofia na Sociedade Globalizada* », 2002). Certes, il faudrait des contributions d'eau douce pour rééquilibrer la salinité du système. Pas de nouveau, mais cette idée n'a jamais été pris au sérieux par les autorités gouvernementales, probablement par pure négligence de la situation. Les faits sont que la distance n'est pas grande (Fig. 2) et que géologiquement la connexion a déjà eu lieu.

Il ne serait pas exagéré de dire que terraformage deviendra l'un des sujets les plus importants de la géoingénierie au cours de siècles. Car, comme nous le verrons, il est un domaine interdisciplinaire qui comprend la géographie, la physique, la climatologie, l'ingénierie de l'environnement, la logistique et d'autres. Comme ce domaine d'étude est encore en cours de

construction, il se concentrera principalement sur le bassin de l'Aral, la plus grande catastrophe systémique que nous connaissons.

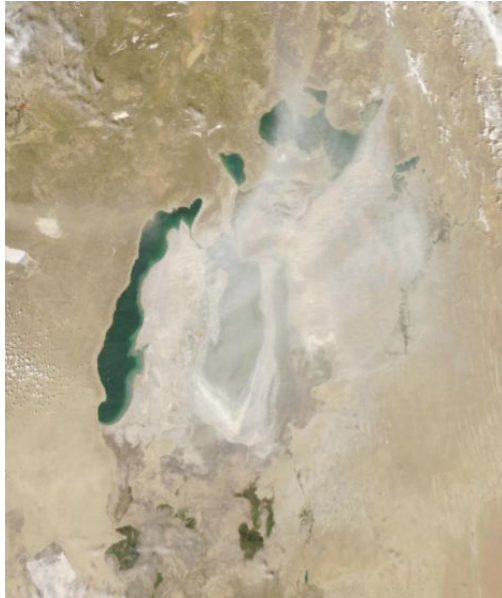


Fig. 1 - Tempête de poussière soufflant au nord-est sur la mer d'Aral, 28 mai 2008 (courtoisie de la NASA).

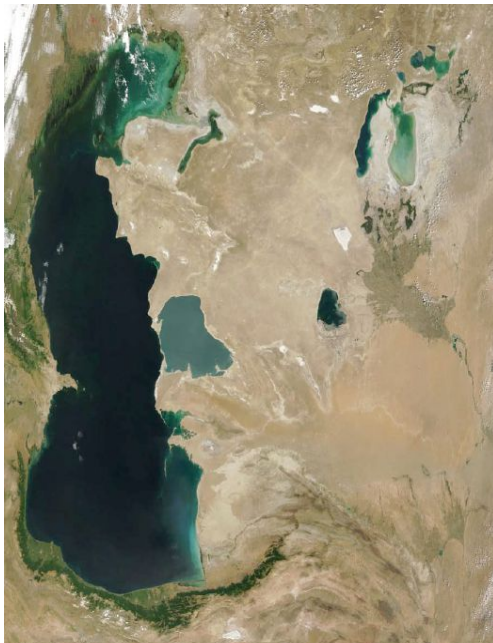


Fig. 2 - L'image ci-dessus montre la proximité de la mer d'Aral, à droite, et de la mer Caspienne, à gauche, 10 juin 2006 (courtoisie de la NASA).

Les limites écologiques de la catastrophe sont en mouvement. La poussière contaminée envahit les villages et les maisons. Les aliments et les animaux empoisonnés sont dispersés très rapidement. Face aux avancées technologiques dont nous disposons aujourd'hui dans tous les domaines, les taux de morbidité et de mortalité sont inacceptables, comparativement à l'âge moyen. Il est alors urgent de prendre des mesures appropriées. La meilleure source d'eau de mer est la mer Caspienne, située à environ 600 km à l'ouest du désert d'Aralkum. La voie du aqueduc est proposée pour relier la mer Caspienne et les régions septentrionales de la mer d'Aral, en raison du soulagement à faible altitude dans cette région. Dans la Fig. 3, Badescu et Cathcart ont même montré un schéma de tracé du aqueduc (Badescu & Cathcart, 2011). Ces auteurs démontrent clairement la faisabilité de cette option.

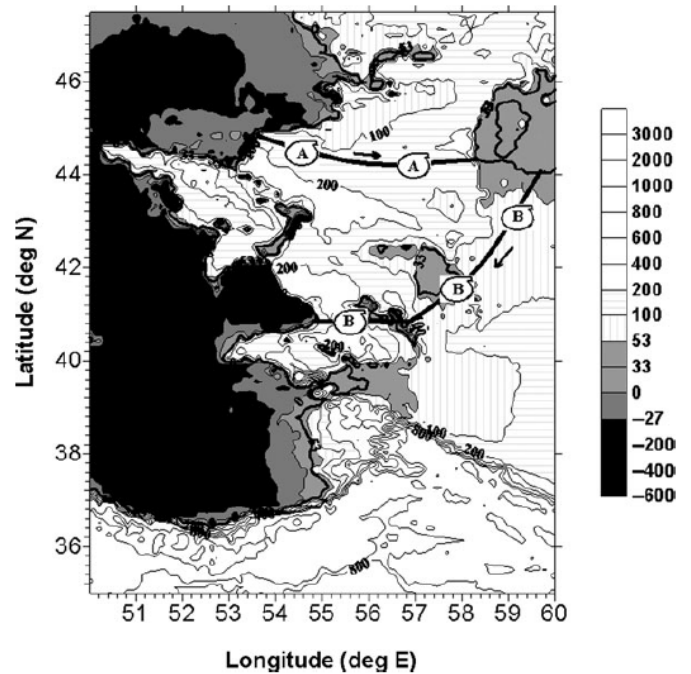


Fig. 3 - Routes pour les pipelines reliant la mer d'Aral et la mer Caspienne avec l'altimétrie montrée (courtoisie de Cathcart et Badescu, 2014).

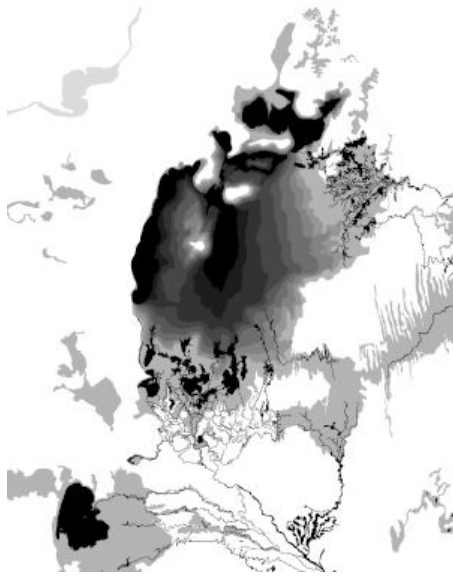


Fig. 4 - Le retrait de la mer d'Aral selon la dépression tectonique, de son niveau d'origine au niveau de 2008 (adapté de Christina Haas, 2014).

Entropie et contrôle de l'environnement

Dans ma thèse de doctorat, je l'avais fait une approche théorique de l'entropie de l'environnement produit par des activités anthropogéniques (Serpa, 2014). Cette approche est essentielle pour l'adoption de procédures de terraformage dans des environnements dégradés, étant donné qu'une telle terraformage est en effet un véritable recyclage environnemental. Je vais faire une transcription adaptée au contexte actuel, montrant l'importance de la problématique.

Du point de vue de l'ingénierie de l'environnement et de la production, une approche généralisée extrêmement utile à la compréhension de la question des déséquilibres de l'écosystème est qu'il est basé sur le concept d'entropie. En termes analytiques, l'entropie définit le degré de dégradation ou de désordre d'un système. Maintenant, si l'entropie établit le degré de dégradation d'un système, l'optimisation d'un processus d'intervention humaine peut être comprise comme un effort pour minimiser l'entropie maximale qui caractérise la propension universelle des systèmes à des états de

dégradation croissante. Mathématiquement, l'intervention humaine dans un espace de phase peut s'écrire $\omega(q,t)$ où q est la coordonnée généralisée et t le temps. La coordonnée q représente l'état dans lequel le système est dans l'espace de phase. Ainsi, selon Saridis (Saridis, 1988, 1995), nous avons

$$H(u) = - \int g[\omega(q,t)] \ln \{g[\omega(q,t)]\} dq, \quad (1)$$

où, dans le cadre de la mer d'Aral, par exemple, $H(u)$ est l'entropie produit par des activités anthropogéniques et $\omega(q,t)$ l'intervention humaine pour contrôler et organiser les activités du site de manière à réduire les impacts environnementaux des émissions, des changements technologiques des cours d'eau, et des processus irréversibles de construction et de dégradation sur l'environnement en général. La fonction $g[\omega(q,t)]$ mesure la densité de probabilité pour le choix d'un $\omega(q,t)$ particulier. Le caractère probabiliste renvoie à l'incertitude intrinsèque à l'issue d'une intervention donnée. La seconde loi de la thermodynamique permet la détermination de la fonction qui maximise l'entropie, c'est à dire, l'établissement des conditions

$$\frac{\partial H}{\partial g} = 0; \quad \frac{\partial^2 H}{\partial g^2} < 0, \quad (2)$$

où on obtient

$$g[\omega(q,t)] = \exp\{-\lambda - \varepsilon W[\omega(q,t)]\} \text{ et} \\ H[\omega(q,t)] = \lambda + \varepsilon F\{W[\omega(q,t)]\},$$

à coefficients constants λ et ε , avec $W[\omega(q,t)]$ étant le travail équivalent à l'énergie dissipée par l'intervention humaine et $F\{W[\omega(q,t)]\}$ une certaine fonction. De toute évidence, la minimisation de $H[\omega(q,t)]$ correspond à une intervention optimale $\omega(q,t)$ décrite par les coordonnées

dans l'espace de phase, telles que l'entropie minimale correspond au travail minimum, ou

$$H[\varpi(q,t)] \cong \text{Min}\{W[\omega(q,t)]\}. \quad (3)$$

Les coefficients constants sont caractéristiques de chaque système et représentent des ancres qui deviennent par un contrôle efficace sur les opérations.

À la vue de l'efficacité, nous pouvons établir par un processus de recyclage de l'environnement, à un moment donné t , l'expression

$$\eta_t \leq \frac{1}{\varphi} \left(1 - \frac{M_{II}}{M_I} \right), \quad (4)$$

où M_{II} est la quantité totale de matière dans la forme dégradée résultante de l'action humaine, M_I est la quantité de matière qui entre dans le site sous forme de matériaux de reconstruction, et φ le coefficient d'irréversibilité qui reflète la quantité de processus irréversibles qui se produisent sur le site. Le plus φ proche de 1, le moins sera le montant des processus irréversibles, et donc le moins sera le taux d'entropie due aux opérations constructives.

En bref, le défi pour les entreprises et les professionnels de la santé, la construction et l'industrie en général dans les décennies à venir est d'atténuer la contradiction entre le succès de l'humanité en tant qu'espèce et le coût élevé de ce succès en termes de ressources naturelles.

Stratégies à envisager

Je comprends que, en raison d'une liste très longue des crimes contre l'environnement, la planète Terre a besoin de passer par un important processus de terraformage, un concept qui est devenu populaire à

partir de la science-fiction et gagne actuellement faisabilité dans notre vie quotidienne. Ici, je voudrais retranscrire un extrait de Glantz, qui ne serait pas mieux écrit:

« Just about anywhere one live, people are constantly bombarded with bad news about the environment. Some of that news is about environmental problems of a global nature (e.g., global warming, ozone depletion) and some of it is about problems at the local level. Some of these problems have long lead times before their adverse consequences become apparent, while for others adverse consequences can develop over relatively shorter time frames (e.g., tropical deforestation). The list of environment-related problems around the globe is quite long and, unfortunately, is still growing: air pollution, acid rain, global warming, ozone depletion, deforestation, desertification, droughts, famines, water quality, and the accumulation of nuclear, toxic, and solid waste. Each is the result of long-term, low-grade, and slow on set cumulative processes. Each is a creeping environmental problem » (Glantz, 2004).

Ma thèse centrale est que nous devrions terraformer la terre elle-même, c'est à dire, toutes les zones endommagées. Bien sur, terraformer se traduit par l'application de technologies sur un environnement inhospitalier pour induire la dynamique géophysique et biologique qui caractérise l'orbe terrestre. Donc, pour terraformer nous n'avons pas besoin de laisser la planète; oui, nous avons besoin de terraformer pièces de la planète, avant que nous devons le faire sur toute la planète. Ainsi, terraformer un autre monde semble un rêve lointain et irréaliste aujourd'hui. Cependant, terraformer la Terre elle-même, ou des parties de la Terre, non seulement il semble faisable, mais aussi un besoin urgent.

En fait, pour moi toujours semblé plus logique d'investir en terraformer la Terre que d'investir dans des projets exotiques dehors de notre planète. Ceci est la

seule maison que nous avons et nous devons la préserver à l'extrême. Récupérer la mer d'Aral est sans aucun doute un énorme défi (la rétraction de la mer entre 1960 et 2008 peut être vu dans la Fig. 4) — même si ce sujet est devenue monnaie courante dans les médias —, mais il ne sera pas été aussi grande que la mise en œuvre de la culture du coton à tout prix. Il n'est pas une question d'économie, mais de santé et, surtout, une question de humanité. Ainsi, le retour de l'eau à la mer est le moyen le plus naturel de retourner l'humidité de la région, pour réduire la salinité de l'environnement et les tempêtes de poussière empoisonnée. Certainement, je ne veux pas que le coton ne soit plus cultivé, ce qui représenterait un effondrement économique des républiques d'Asie centrale ex-soviétique. Cependant, les progrès du génie génétique offrent des perspectives pour une meilleure utilisation d'espèces de coton qui nécessitent moins d'eau, et, donc, plus tolérants à la sécheresse (la recherche a consisté à introduire le gène DREB 2A dans les plantules de coton pour induire une tolérance à la sécheresse). Tout d'abord, ce n'est pas un transfert permanent des eaux de la mer Caspienne, mais une combinaison de stratégies d'ingénierie environnemental, des techniques saisonnières et pérennes. Si nous donnons à la nature une chance, elle se reconstitue ; il est ce qu'on devrait faire.

Je l'ai vu demander si récupérer la mer d'Aral en vaudrait la peine. Cette question est aussi vide de sens que de se demander si en vaudrait la peine de récupérer la population de rhinocéros pygmées de l'Indonésie. Après tout, que ferions-nous sans nos espèces sauvages? La vie est précieuse et notre monde est un joyau rare, maintenant brouillé et rainuré. Ressusciter la mer d'Aral est d'abord un acte de foi dans les meilleures intentions de la race humaine et aussi une démonstration de la façon dont les milliards peuvent être dépensés par des raisons les plus dignes.

Bien sûr, comme nous ne traitons que des régions sur la planète Terre, le processus est beaucoup plus simple

car nous reconstruirons certaines parties d'un écosystème, en laissant à la nature elle-même le travail au rééquilibrage de l'environnement. Notre terraformage est encore dans la limite de faisabilité. En ce qui concerne le bassin d'Aral, je voudrais topifier les points principaux à considérer. Une fois que Badescu et Cathcart (2011) ont lancés des recherches de grande ampleur à propos de la restauration hydrologique de la mer et de la stabilisation naturelle du niveau de fluide, je vais me concentrer sur les aspects spécifiques de la géoingénierie comme je la vois.

1) Il faut suppléer l'eau à la mer d'Aral à partir d'une source proche d'une manière saisonnière, et cette source doit être surveillée afin que tous les risques à l'environnement soient immédiatement détectés. La source la plus probable est la mer Caspienne, par la proximité (Fig. 2) et par le volume d'eau.

2) La captation de l'eau de la mer caspienne, par un canal ou aqueduc, est une stratégie combinée à une grande révision du réseau d'irrigation du coton, afin de restaurer une partie de l'afflux d'eau douce de l'Oxus. Une telle révision doit impliquer de nombreuses oeuvres pour retracer plusieurs chanelles et reconstruire leurs lits.

3) De grands investissements doivent être destinés au génie génétique, afin d'améliorer certaines propriétés des espèces de coton, telles que la résistance à l'absence d'eau, la résistance à l'attaque des fléaux, ce dernier réduisant drastiquement l'utilisation de pesticides et d'herbicides.

4) Il est important de se rappeler que le miroir d'eau de la mer d'Aral en pleine condition est soumis à un haut niveau d'évaporation, et il faut considérer que la culture du coton est une réalité permanente. Il est donc nécessaire de surveiller les niveaux d'eau pour contrôler l'afflux d'eau de la mer Caspienne chaque fois qu'il est nécessaire d'équilibrer les flux de l'Amu-Daria. En conditions normales, l'analyse des fluctuations du niveau

de la mer d'Aral prendrait en compte le débit de l'eau vers le canal Uzboy. L'équation du bilan hydrologique annuel de la mer serait la suivante si elle ne laisse que les composants principaux:

$$F(h) \frac{dh}{dt} = Q_{\uparrow} + Q_{\downarrow} + (X - E)F - Q_{\nearrow}, \quad (5)$$

où

h — le niveau d'eau dans la mer;

F — l'aire de l'aire d'eau de la mer au niveau donné;

t — temps;

Q_{\nearrow} — écoulement de l'eau sur le Uzboy ;

Q_{\uparrow} et Q_{\downarrow} — entrées annuelles superficielles et souterraines vers la mer;

X et E — couches annuelles de précipitations atmosphériques sur la surface de la mer et évaporation de celle-ci.

Il est certain que cette équation ne s'applique pas maintenant, car il n'y a plus la mer.

5) Le travail de surveillance basé sur l'équation (5), après le remplissage de la dépression d'Aral, doit être combiné avec les observations de l'albédo. L'albédo est une caractéristique environnementale d'un grand intérêt pour l'ingénierie de terraformage en raison de son influence directe dans la dynamique de l'atmosphère. Une étude très intéressante des années 90 a démontré que l'irrigation à grande échelle dans la région de la mer d'Aral a entraîné une augmentation des valeurs intégrales du bilan radiatif et du transfert de son énergie vers l'atmosphère sous forme de chaleur latente (Kadukin and Klinge, 1991). Le bilan radiatif dépend des ratios de sa dépense énergétique pour l'évaporation totale et

l'échange turbulent de chaleur entre la surface du sol et l'atmosphère, et sur le flux de chaleur dans le sol selon

$$\Gamma_{\varphi\omega\varpi} = \xi_{\varphi} + \xi_{\omega} + \xi_{\varpi}, \quad (6)$$

où

ξ_{φ} = flux de chaleur lié aux transformations de phase, c'est-à-dire, l'évaporation et la condensation;

ξ_{ω} = flux turbulent de chaleur entre la Terre et l'atmosphère;

ξ_{ϖ} = flux de chaleur dépensé pour le sol, le chauffage et le refroidissement.

En effet, le rôle principal dans la partie de sortie du bilan thermique est joué par ξ_{φ} et ξ_{ω} . Par conséquent, avant 1960, le bilan radiatif moyen dans la région était

$$\Gamma_{\varphi\omega\varpi} = \xi_{\varphi} + \xi_{\omega} = 9.6 + 14.6 = 24.2 \text{Mj/m}^2/\text{yr},$$

contre

$$\Gamma_{\varphi\omega\varpi} = \xi_{\varphi} + \xi_{\omega} = 16.8 + 14.6 = 31.5 \text{Mj/m}^2/\text{yr}$$

en 1985 (Kadukin and Klinge, 1991). Ainsi, dans la région à l'étude, le bilan thermique fortement changé au détriment du flux de chaleur lié à l'évaporation. A une valeur donnée de $\Gamma_{\varphi\omega\varpi}$, les composants ξ_{φ} et ξ_{ω} sont les principaux régulateurs du régime thermique entre la surface de la mer et les couches d'air adjacentes. C'est pourquoi nous devons réguler l'afflux d'eau douce et d'eau salée pour compenser le taux d'évaporation causé par la culture du coton.

6) Les tâches de terraformage comprennent de grandes mouvements de terres lorsque le sol est recouvert de matériaux toxiques. Ainsi, le voisinage des anciennes marges de la mer doit être remanié avec des terres fraîches, afin de rétablir les conditions sanitaires de la région. Cependant, il faut une hygiène compatible avec

la mobilité actuelle des sables. Sur le transport du montant de sable et de la poussière à long terme pendant les tempêtes, Issanova *et al.* ont présenté un modèle où la quantité transporté peut être calculée avec la formule

$$\tilde{Q} = \Delta\tau_0 Q_{z1} + \sum_{i=1}^n Q_{zi} \Delta t + \Delta\tau_k Q_{zn}, \quad (7)$$

où

$\Delta\tau_0$ = l'intervalle de temps à partir du moment où la tempête a commencé à la prochaine et première heure d'observation ;

Q_{zi} = la quantité totale de sable dans une couche superficielle de l'atmosphère dans la i -ème heure de mesures ;

Q_{z1} = le montant total à une première intervalle de temps ;

Q_{zn} = le montant total à l'intervalle final du temps.

Q_{z1} et Q_{zn} sont calculés par la vitesse du vent dans la première et la dernière mesure standard lors d'une tempête. Δt est l'intervalle de temps entre les observations météorologiques standard égales à 3 h ou 10800 s, $\Delta\tau_k$ est l'intervalle de temps entre la dernière heure standard où la tempête était toujours observée et sa terminaison (Issanova *et al.*, 2015). Cette équation permet d'établir des paramètres de mobilité de la poussière contaminée, afin qu'ils font une idée de la réduction totale de poussière après la manipulation du sol et après le remplissage de la mer.

7) L'idée d'entropie contrôlée résumée par l'équation (4) et exposée plus en détail dans la section précédente est un outil fondamental pour la gestion du processus de terraformage. Sans un tel outil, le processus dans son ensemble peut générer plus de dommages à l'environnement.

La guerre du XXIe siècle

Mais il y a un problème moral beaucoup plus grave. Quand ils ont construit le barrage qui a permis la récupération partielle de la petite mer du Nord, nul n'était décidé contre l'interruption complète du flux d'eau du Syr-Daria au grand Aral. Comment était-ce possible? Qui a le droit de décider qui aura accès à l'eau?

L'un des trois piliers-clés pour répondre aux demandes d'une population croissante est l'eau (les deux autres sont la nourriture et l'énergie). L'eau, la nourriture et l'énergie sont inextricablement liées dans le même corps systémique. En ce qui concerne l'eau, près de 4000 kilomètres cubes d'eau douce sont consommés chaque année dans le monde. Plus d'un tiers de la population mondiale vit sans assainissement adéquat (Clarke & King, 2005). Selon les Nations Unies, en regardant le Turkestan, la population de l'Asie centrale passera à plus de 90 millions à la fin de ce siècle. Une augmentation de cette ampleur nécessite des stratégies robustes de gestion à développer et lancer le plus tôt possible. En soulignant combien il est difficile de parvenir à un scénario d'équité avec des avantages pour tous dans le domaine de l'eau et de l'énergie, les tensions entre les pays d'Asie centrale sur l'utilisation de l'eau ont augmenté ces derniers temps (Lasserre & Descroix, 2005). Malgré les récentes publications sur la gestion des ressources d'eau dans le bassin d'Amou-Daria, nul ne a abordé la possibilité d'un retour partiel de la mer du Sud comme un moyen de rééquilibrer les conditions environnementales, à partir d'une restructuration de l'irrigation en raison de la diminution des précipitations, et d'une source à proximité de captage des eaux. Le remplacement du mode d'irrigation médiéval soviétique pourrait apporter un excédent d'avantages environnementaux en Ouzbékistan plus d'avantages dans la qualité de vie, en réduisant considérablement les dépenses de santé. D'autre part, le retour partiel de la mer réduirait considérablement la salinité de la région. Comme je l'ai fait clair, c'est un effort international.

Une véritable guerre de l'eau a commencé à être menée au XXe siècle, d'abord par la cupidité d'un gouvernement socialiste faux (le communisme « derrière les portes fermées »), et maintenant dans le monde entier pour la domination des sources d'eau potable. En particulier, en Asie centrale, le problème devrait s'aggraver dans la mesure où les Syr-Daria et l'Amou-Daria ont leurs sources dans les hauts plateaux du Pamir, dont les limites comprennent le Tadjikistan, l'Afghanistan, le Pakistan, le Kirghizistan et la Chine. Ces pays souhaitent certainement de maintenir leurs droits à l'eau glaciale, ce qui apportera dans un avenir proche plus de problèmes pour les pays qui composent le bassin de la mer d'Aral rivières ci-dessous. De plus, la raison de l'intérêt des États-Unis d'Amérique à maintenir le Pakistan comme un allié est, à ce que je crois, est précisément l'accès au Pamir que ce pays offre, un intérêt mal camouflé par une alliance contre le terrorisme.

En résumé, je pense que les nations riches ont tendance à mettre en place des politiques d'exclusion, à décider qui doit ou non accéder aux ressources naturelles. La cupidité, l'intolérance et l'inégalité alimentent la haine, en se éloignant de plus en plus de l'amour qui est sage. À mes yeux, la coopération est le secret de la survie de l'humanité dans la planète.

5 Conclusion

Cet article a présenté une théorie introductive de la terraformage à appliquer initialement au bassin de la mer d'Aral. On a présenté des arguments paleohistoriques de la faisabilité géologique d'un recouvrement partiel de la dépression d'Aral, ce qui nous a permis de penser à des moyens artificiels de reconstruction de cet environnement. Les caractéristiques socio-culturelles de la région ont été apportés à la discussion à partir des notes de l'auteur. Il a été analysé les conflits géopolitiques causés par la « guerre froide » pour les ressources d'eau douce, en particulier en Asie centrale. Il est attendu que ce travail peut apporter motivation pour

les nouveaux chercheurs en géoingénierie qui participent aux programmes de coopération internationale.

6 Remerciements

Je voudrais remercier à R. Cathcart et V. Badescu pour le grand soutien à ce travail, tout particulièrement pour l'échange d'informations.

Références

- [1] Badescu, V., and Cathcart, R. 2011. "Aral Sea Partial Restoration. I. A Caspian Water Importation Macroproject." *Int. J. Environment and Waste Management* 7 (1; 2).
- [2] Bos, M. (Ed.) 1995. "The Inter-Relationship between Irrigation, Drainage and the Environment in the Aral Sea Basin." In *Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop on Drainage and Development in Arid Zones*, NATO ASI Series 2: Environment, Vol. 22.
- [3] Chub, V. 2000. *Climate Change and its Influence on Natural Resource Potential of the Republic of Uzbekistan*. Glavgidromet, Tashkent, 252p.
- [4] Clarke, R., and King, J. 2005. *O Atlas da Água*. Publifolha, São Paulo.
- [5] Glantz, M. 2004. *Creeping Environmental Problems and Sustainable Development in the Aral Sea Basin*. Cambridge University Press, Cape Town.
- [6] Haas, C., *The Aral Sea*. Ph.D. Thesis, EPFL, 74p (2014).
- [7] Issanova, G., Abuduwaili, J., Galayeva, O., Semenov, O., Bazarbayeva, T. 2015. "Aeolian Transportation of Sand and Dust in the Aral Sea Region." *Int. J. Environ. Sci. Technol* 12, 3213–3224.
- [8] Izhitskiy, A., Zavalov, P., Sapozhnikov, P., Kirillin, G., Grossart, H., Kalinina, O., Zalota, A., Goncharenko, I., and Kurbaniyazov, A. 2016. "Present State of the Aral Sea: Diverging Physical and Biological Characteristics of the Residual Basins." *Scientific Reports* 6:23906.
- [9] Kadukin, A., and Klinge, R. 1991. "The Water Balance of the Caspian Sea and Aral Sea." In *Hydrology of Natural and Manmade Lakes, Proceeding of the Vienna Symposium*, IAHS Publ. no. 206.
- [10] Kostianoy, A., Kosarev, A. (Eds.) 2010. *The Aral Sea Environment*. Springer-Verlag, Berlin, 335p.
- [11] Krivonogov, S., Kuzmin, Y., Burr, G. 2010. "Environmental Changes in the Aral Sea Region (Central Asia): Initial Results of a Radiocarbon-Based Study." *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 268, 1080–1083.

- [12] Lasserre, F., and Descroix, L. 2005. *Eauxeterritoires: Tensions, Coopérations et Géopolitique de l'Eau*. Presses de L'Université du Québec, Québec.
- [13] Micklin, P. (Chief Editor), Aladin, N. (Associate Editor), and Plotnikov, I. (Associate Editor) 2014. *The Aral Sea: The Devastation and Partial Rehabilitation of a Great Lake*. Springer, Heidelberg.
- [14] Opp, C., Groll, M., Aslanov, I., Lotz, T., Vereshagina, N. 2017. "Aeolian Dust Deposition in the Southern Aral Sea Region (Uzbekistan): Ground-Based Monitoring Results from the LUCA Project." *Quaternary International* 429 (2017) 86–99.
- [15] Reclus, E. 1873. "Note Relative a l'Histoire de la Mer d'Aral." *Bulletin de la Société de Géographie* 6, 113–118.
- [16] Roy, S., Smith, M., Morris, L., Orlovsky, N., Khalilov, A. 2014. "Impact of the Desiccation of the Aral Sea on Summertime Surface Air Temperatures." *Journal of Arid Environments* 110, 79–85.
- [17] Saridis, G. 1988. "Entropy formulation of optimal and adaptive control." *IEEE Transactions on Automatic Control* 33, 713–721.
- [18] Saridis, G. 1995. *Stochastic Processes, Estimation and Control: The Entropy Approach*. John Wiley & Sons, New Jersey.
- [19] Serpa, N. 2002. *Reversões Geopolíticas: Geografia, Física e Filosofia na Sociedade Globalizada*. Papel&Virtual, Rio de Janeiro.
- [20] Serpa, N., *Sur l'Entropie Contrôlée des Systèmes* [...]. Ph.D. Thesis, L'Université Libre des Sciences de L'Homme de Paris, 127p (2014).
- [21] Sorrel, P., Popescu, S.-M., Klotz, S., Suc, J.-P., Oberhänsli, H. 2007. "Climate Variability in the Aral Sea Basin (Central Asia) During the Late Holocene Based on Vegetation Changes." *Quaternary Research* 67, 357–370.
- [22] Tissandier, G. 1873. "Expéditions Scientifiques de Khiva l'Amou-Daria et la Mer d'Aral." *La Nature - Revue des Sciences* 1-26, 378–380.
- [23] Zmijewski, K., and Becker, R. 2014. "Estimating the Effects of Anthropogenic Modification on Water Balance in the Aral Sea Watershed Using GRACE: 2003 – 12." *Earth Interactions* 18(3), 1–16.
- [24] White, K. 2013. "Nature-Society Linkages in the Aral Sea Region." *Journal of Eurasian Studies* 4, 18–33.