



## **AGONIE DE LA MER D'ARAL VUE PAR LES ALTIMETRES RADAR TOPEX ET JASON-1**

**HADDAD M., RAMI A.**

Centre des Techniques Spatiales - Division de Géodésie Spatiale.  
1, Avenue de Palestine, BP 13. Arzew, Oran 31200. Algérie  
haddad\_mahdi@yahoo.fr, rami\_alidz@yahoo.fr

### **RESUME**

Le niveau de la mer d'Aral a diminué depuis les années 60. Aujourd'hui, la récession de sa superficie est estimée à près de 50%. En 1989, la mer d'Aral s'est divisée en deux bassins, la Grande Mer d'Aral et la Petite Mer d'Aral. La petite Aral est maintenant stabilisée grâce à une digue et son niveau peut même être en hausse, mais la Grande Aral est encore en état d'assèchement. Depuis 1992, l'altimétrie satellitaire mesure en continu le niveau des mers et nous permet ainsi de suivre les variations dans la mer d'Aral. Dans cet article, le traitement des données géophysiques (Geophysical Data Records) de Topex puis de son successeur Jason-1 montre que le niveau de la mer d'Aral a subi une baisse de 50 cm en moyenne par an durant la période de 1992 à 2008.

**Mots clés :** Assèchement, Niveau de la mer, Mer d'Aral, Topex, Jason-1.

### **ABSTRACT**

The Aral Sea level has been shrinking since the 60s. Nowadays, the recession of its area is estimated as 50%. In 1989, the Sea split into two basins, the Great and the Small Aral. The small Aral is now stabilized, due to a dam, and its level may even be rising, but the Great Aral is still drying up. Since 1992, altimetry satellites measure sea level continuously and thus enable us to monitor variations in the Aral Sea. In this paper, the processing of Topex and Jason-1 Geophysical Data Records shows that Aral Sea level was decreasing by about 50 cm by year during the period between 1992 and 2008.

**Keywords:** Dryness, Sea level, Aral Sea, Topex, Jason-1.

## INTRODUCTION

La mer d'Aral est le nom d'une mer fermée d'Asie centrale, située entre 43° et 46° de latitude Nord et entre 58° et 62° de longitude Est. Elle est partagée entre le Kazakhstan au Nord et l'Ouzbékistan au Sud. En 1960, elle couvrait 64 000 km<sup>2</sup> et était la quatrième surface d'eau salée intérieure du monde. Aujourd'hui, sa superficie a diminué de 50% à cause de l'activité humaine. Dès les années 1960, les eaux des fleuves Amou-Daria et Syr-Daria, irriguant le lac (voir Figure 1), ont en effet été ponctionnés pour l'irrigation de la monoculture forcenée du coton, entraînant l'assèchement progressif de la mer d'Aral (site Internet Terra Nova).

Vers la fin des années 1980, elle s'est divisée entre la Petite Mer d'Aral (au Nord), qui est située au Kazakhstan, et la Grande Mer d'Aral (au Sud), partagée entre le Kazakhstan et l'Ouzbékistan. En 2000, cette Grande Mer s'est elle aussi divisée en deux, avec un lobe occidental et un lobe oriental. C'est ce dernier qui s'est le plus asséché au cours des trois dernières années (site Internet Techno-Science). En s'évaporant, la Mer d'Aral a laissé derrière elle une zone d'environ 30 000 km<sup>2</sup> de terrain aride, blanchi par le sel (site Internet Terra Nova) où on peut y retrouver des épaves de bateaux dans les plaines (voir Figure 2). Le retrait de la mer d'Aral intervenu entre 1973 et 2009 est représenté à travers la Figure 3.

Si les choses semblent désespérées pour la Grande Aral, des efforts sont déployés pour tenter de sauver la Petite Mer du Nord. La digue de Kok-Aral a été construite entre les bassins Nord et Sud de la mer d'Aral afin d'éviter que les eaux se déversent vers le Sud. Depuis son achèvement en 2005, les rivages nord ont regagné plusieurs millions de mètres cubes d'eau. Le niveau de la mer est remonté de 4 m en moyenne (site Internet Techno-Science).

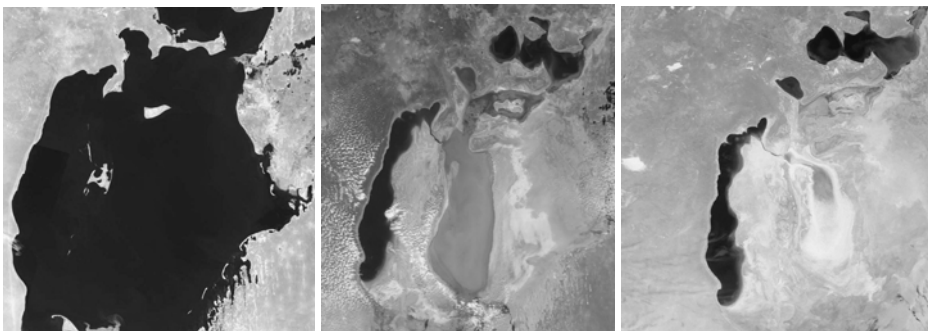
Cet article a pour objet le suivi des variations du niveau de la mer d'Aral durant la période 1992-2008 à partir de données des altimètres radar Topex et Jason-1 (successeur de Topex). En effet, bien que l'altimétrie spatiale n'est pas capable de fournir des images proprement dit, elle se distingue en étant une technique efficace dans le suivi du niveau des océans, des mers, mers fermées, des lacs et même des grands fleuves. Ainsi, le niveau de la mer d'Aral fut mesuré par différents satellites altimétriques: ERS-1 (juillet 1991 - juin 1996), Topex (août 1992- janvier 2006), puis par ERS-2 (août 1995 - juin 1996), GFO (février 1998 - novembre 2008), Jason-1 (décembre 2001) et Envisat (mars 2002).



**Figure 1 :** Situation géographique de la mer d'Aral. ©Nature and ressources/UNESCO.



**Figure 2 :** Désertification de la mer d'Aral. © Pierre A. FRADIN



**Figure 3 :** Images satellites de la mer d'Aral : en 1973 (à gauche, image Landsat, © Nasa), en 2007 (au milieu, image Modis, © Nasa) et en juillet 2009 (à droite, image Meris, © Esa).

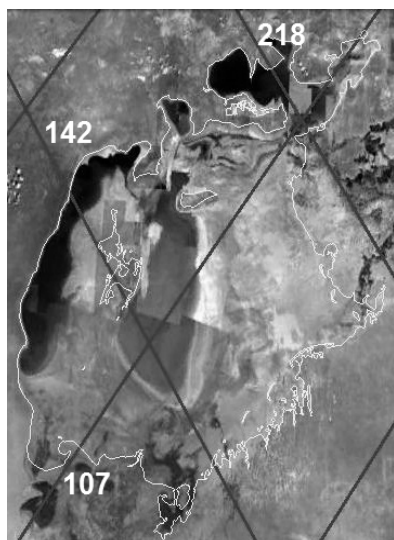
## DONNEES UTILISEES

Les données altimétriques utilisées sont les données géophysiques (Geophysical Data Records) de niveau "2", issues des altimètres radar Topex et Jason-1 (version C). Ces données sont téléchargeables à partir des serveurs ftp Aviso (<http://www-avisoftp.cnes.fr>) et Podaac (<http://podaac.jpl.nasa.gov>). Les descriptions des données, du format et du contenu des fichiers GDR Topex et Jason-1 sont reproduites dans les manuels (Aviso User Handbook, 1996) et (Aviso User Handbook, 2008) respectivement. Les passages altimétriques considérés sont :

Passage 107 du satellite Topex, du cycle 001 jusqu'au cycle 365 (du 23 septembre 1992 au 11 août 2002). Notons ici que Topex a été placé le 15 septembre 2002 sur une nouvelle orbite, à mi-chemin entre ses anciennes traces (devenues celles de Jason-1). Le cycle 369, qui débuta le 20 septembre 2002, fût le premier cycle de la nouvelle orbite.

Passage 107 du satellite Jason-1, du cycle 001 jusqu'au cycle 250 (du 15 janvier 2002 au 19 octobre 2008). Marquons ici qu'à la mi-février 2009 (début du cycle 262), Jason-1 est décalé sur une nouvelle orbite. Il s'insère à mi-chemin entre ses anciennes traces, et retrouve donc la même orbite que celle de la phase tandem de Topex entre 2002 et 2005.

Les passages sélectionnés ont des traces identiques (superposées) au sol, ce qui nous permet d'avoir des mesures continues sur la période du 23 septembre 1992 au 19 octobre 2008. La Figure 4 représente la trace au sol des passages 107 considérés.



**Figure 4 :** Traces au sol de Topex et Jason-1.

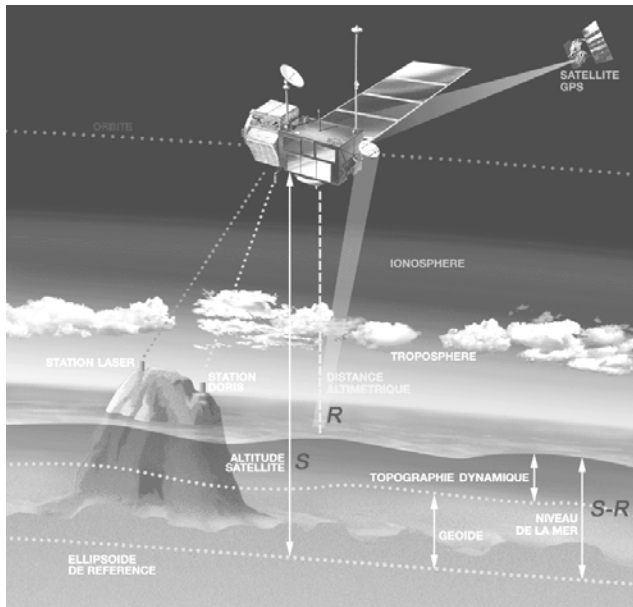
## METHODOLOGIE

Afin de mettre en évidence la baisse de niveau de la mer d'Aral à partir des données altimétriques, nous nous sommes intéressés à la quantification de l'effet de la partie variable du signal altimétrique, dite également topographie dynamique (TD) et ce, pour chaque fichier GDR correspondant au passage 107 des satellites Topex et Jason-1. Une fenêtre de calcul, limitée en latitude entre  $44^\circ$  et  $46^\circ$  et en longitude entre  $59^\circ$  et  $60.5^\circ$ , a été considérée lors des traitements.

Pour accéder à cet effet, il suffirait de retrancher la hauteur de géoïde (G) à la hauteur du niveau de la mer (voir Figure 5) :

$$TD = N - G$$

Le niveau de la mer (N) s'obtient quant à lui par simple différence entre l'orbite (altitude) du satellite (S) et la distance altimétrique (R) (Figure 5).



**Figure 5** : Principe géométrique de l'altimétrie, © Aviso.

Toutefois, le signal émis par l'altimètre traverse les différentes couches de l'atmosphère qui ont chacune leurs propres caractéristiques. Ces couches ralentissent la vitesse de l'onde ce qui entraîne des erreurs systématiques sur la distance altimétrique calculée. Il est indispensable donc de corriger en conséquence les mesures, on parle de corrections environnementales : la troposphère sèche, la troposphère humide et l'ionosphère.

Aussi, la mesure altimétrique est sensible aux variations à très hautes fréquences (<1 jour) du niveau de la mer qui correspondent au signal dominant en terme de

variabilité. Il est donc nécessaire de retrancher à la mesure altimétrique les signaux haute fréquence (effets géophysiques). Dans notre cas, on ne tiendra compte que de la marée solide (ou terrestre) et de la marée polaire :

$$N = S - (R + \sigma)$$

où  $\sigma$  représente la somme des corrections à apporter à la mesure altimétrique (correction ionosphérique, troposphérique sèche, troposphérique humide, marée terrestre et marée polaire).

Etant donné que la précision de la mesure altimétrique sur des surfaces hétérogènes peut être dégradée, plusieurs filtres ont été appliqués sur les données GDR Topex et Jason-1 afin de ne garder que les données les plus fiables (Aviso User Handbook, 1996), (Aviso User Handbook, 2008) :

-130 m  $\leq$  (altitude du satellite – distance altimétrique)  $\leq$  100 m ; -2.5 m  $\leq$  correction troposphérique sèche  $\leq$  -1.9 m ; -0.500 m  $\leq$  correction troposphérique humide  $\leq$  -0.001 m ; -0.400 m  $\leq$  correction ionosphérique  $\leq$  -0.040 m ; -1 m  $\leq$  correction de marée solide  $\leq$  1 m ; -0.150 m  $\leq$  correction de marée polaire  $\leq$  0.150 m

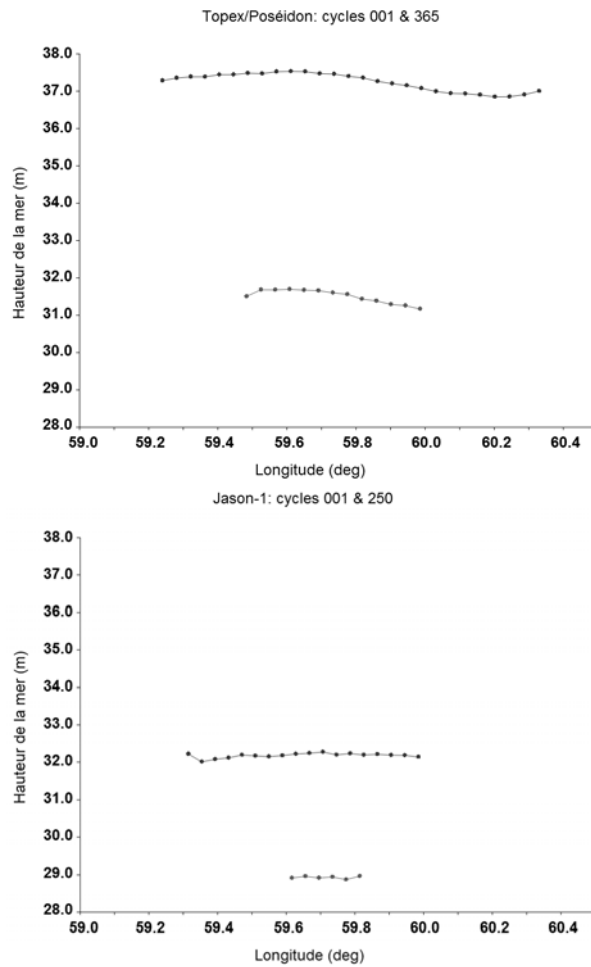
Notons ici que le calcul des hauteurs de la mer a été effectué moyennant le logiciel Basic Radar Altimetry Toolbox v2.0.3. BRAT est une interface comprenant un ensemble d'outils et de didacticiels dédiée à la lecture, l'utilisation et la visualisation des données altimétriques, depuis ERS-1 jusqu'à Cryosat, et depuis le niveau 1B (Sensor Geophysical Data Record) jusqu'aux données sous forme de grilles. Il inclut également une présentation de l'altimétrie en pages web (et version pdf), avec des 'data use cases', expliquant comment se servir des données altimétriques pour quelques applications (Rosmorduc et al., 2009).

## RESULTATS

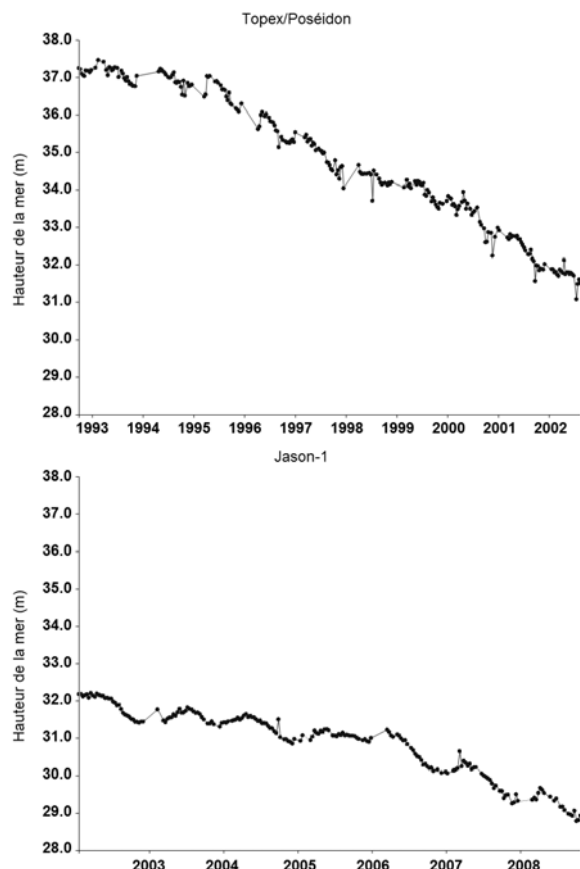
Afin de donner un aperçu général sur la baisse du niveau de la mer d'Aral, nous représentons graphiquement les résultats obtenus de la topographie dynamique (TD) en fonction de la longitude et ce, pour le premier et pour le dernier cycle des deux missions Topex et Jason-1 : cycles Topex 001 et 365 et cycles Jason-1 001 et 250. On constate (Figure 6) une baisse du niveau de la mer d'Aral d'environ 8 mètres durant la période 1992-2008, ainsi qu'un rétrécissement important de l'étendu de la surface de la mer d'environ 100 km (de 1.1° à 0.2° en longitude).

Les séries temporelles de la topographie dynamique (TD) moyennée pour le passage 107 de chaque cycle Topex et Jason-1 sont représentées dans la Figure 7, qui illustre la baisse du niveau de la mer dans le temps. Le taux de diminution est estimé à environ 50 cm en moyenne par an durant la période 1992-2008.

Agonie de la mer d'Aral vue par les altimètres Radar Topex et Jason-1



**Figure 6 :** Baisse du niveau de la mer d'Aral : en haut : en rouge cycle Topex 001, en vert cycle Topex 365. En bas: Courbe supérieure cycle Jason-1 001, courbe inférieure Jason-1 250).



**Figure 7 :** Séries temporelles du niveau d'eau de la mer d'Aral durant la période septembre 1992 - août 2008, estimées à partir des données Topex (en haut) et Jason-1 (en bas).

## CONCLUSION

L'altimétrie satellitaire a démontré une fois encore qu'il s'agit d'une technique très performante. Un large champ d'applications est possible depuis les applications "historiques" (géodésie, variabilité océanique, océanique à grande échelle, topographie des calottes polaires, hydrologie, circulation) jusqu'aux applications novatrices tel le suivi du niveau des mers fermées ou des grands lacs.

Depuis 1992, les observations de Topex puis de son successeur Jason-1 nous ont permis la mesure précise du taux de baisse du niveau de mer d'Aral. Un taux moyen de 50 cm par an est observé durant la période 1992-2008. Si le niveau des eaux continue de baisser à ce rythme, on peut penser que la partie Est de la Grande d'Aral, peu profonde, sera complètement asséchée en peu de temps.



En perspective, l'exploitation des données du nouveau satellite altimétrique Jason-2 (2008) nous permettra la continuité opérationnelle de la collecte des données sur la mer d'Aral et donc la continuité du suivi de son niveau. Situé sur l'orbite initiale de Topex (avant 2002) Jason-2 sera même capable, grâce à un nouvel algorithme de traitement des mesures à bord, de mieux définir les transitions terre/eau et donc de fournir une meilleure précision (site Internet Aviso Altimetry).

## **REMERCIEMENTS**

Les auteurs tiennent à remercier Aviso (Archiving, Validation and Interpretation of Satellite Oceanographic data), pour la mise à leur disposition les données altimétriques GDR Topex et Jason-1.

## **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

- AVISO and PODAAC, User Handbook (2008). IGDR and GDR Jason-1 Products, SMM-MU-M5-OP-13184-CN, Edition 4.1.  
AVISO, User Handbook (1996). Merged Topex/Poseidon Products, AVI-NT-02-101-CN, Edition 3.0.  
ROSMORDUC, V.J., BENVENISTE, O., LAURET, C., MAHEU, M., MILAGRO, N., PICOT (2009). Radar Altimetry Tutorial, J. Benveniste and N. Picot Ed.

## **SITOGRAFIE**

Aviso Altimetry : Jason-2

<http://www.aviso.oceanobs.com/fr/missions/current-missions/jason-2/index.html>

Techno-Science.net: L'agonie de la mer d'Aral vue de l'espace

<http://www.techno-science.net/>

Terra Nova : Mer d'Aral

[http://www.dinosoria.com/mer\\_aral.htm](http://www.dinosoria.com/mer_aral.htm)