DETERMINATION DU NIVEAU MOYEN DE LA MEDITERRANEE OCCIDENTALE A PARTIR DES DONNEES TOPEX / POSEIDON ET JASON-1.

Par H. Bouchrat, M. Haddad

Institut National de Cartographie et de Télédétection
123, Rue de Tripoli, BP 430, Hussein-Dey 16040 - Alger.
Fax : (021) 23 43 81 & (021) 47 00 29

ملخص:

إن تحديد شكل البحر عن طريق المرفاعية الفضائية ليست بالتصور الجديد (مهام SEASAT بسنة 1978 و GEOSAT بسنة 1984) مع أن توضيح وفهم الظواهر الأوسيانوغرافية و الجيوفيزيائية التي تترتب عنه تمثل اليوم تحديا تستلزم عملية فهمه برمجة مهام متتالية عديدة.
في أيامنا الحالية ، دقة أجهزة قياس الإرتفاع و مسارات الأقمار الإصطناعية التي تحملهم تسمح بالحصول على سطح او قيانوغرافي بدقة عشرية وقد تكون أحيانا سنتمترية.
المهام الفضائية الجارية حاليا(Topex/Poseidon et Jason-1) هي مرصودة للتصدي لهذه التوقعات.
إن التحليل المتفرق أو الإجمالي لقياساتها الإرتفاعية تتطلب البحث عن دقة جد عالية في تحديد الأبعاد المختلفة التي تسمح بالحصول على قياس إرتفاع البحر من فوق مجسم إهليليجي مرجعي.
نعرض في هذا المقال منهجية استغلال المعطيات المرفاعية الناتجة عن الأقمار اللإصطناعية Topex/Poseidon (06 دورات) و Jason-1 (06 دورات) لتحديد المستوى المتوسط للبحر الأبيض المتوسط الغربي ، مقارنة السطح المتحصل عليه مع السطح الذي تم حسابه عن طريق نموذج الجيود الإجمالي EGM96 قد أعطت فوارق دسيمترية.

Résumé :

La détermination de la forme de la surface de la mer par altimétrie spatiale n'est pas un concept nouveau (missions SEASAT en 1978 et GEOSAT en 1984). Pourtant, la mise en évidence et la compréhension des phénomènes océanographiques et géophysiques qui en découlent représentent aujourd'hui un défi dont l'étude de ces phénomènes nécessite des systèmes spatiaux performants et la programmation de nombreuses missions successives. Les missions spatiales en cours (Topex/Poseidon et Jason-1) sont prévues pour répondre à ces attentes. L'analyse séparée ou globale de leurs mesures altimétriques respectives requiert la recherche d'une très grande exactitude dans la détermination des différents paramètres permettant d'accéder au calcul de la hauteur de la mer au-dessus d'un ellipsoïde de référence.
Dans cet article, nous présentons une méthodologie d'exploitation des données altimétriques issues des satellites Topex/Poseidon (06 cycles) et Jason-1 (06 cycles) pour déterminer le niveau moyen de la Méditerranée Occidentale. La comparaison de la surface obtenue avec celle calculée par le modèle de géoïde global EGM96 a fourni des écarts de l'ordre décimétrique.

Mots clés : Niveau moyen, Méditerranée Occidentale, géoïde altimétrique, Topex/Poseidon, Jason-1, EGM96

Abstract :

The determination of the shape of the sea by spatial altimetry is not a new concept (SEASAT in 1978 and GEOSAT in 1984 missions), yet, the underscoring and the understanding of the oceanographical and geophysical phenomena that ensue from it, represent today a challenge whose understanding requires the prtogramming of numerous successive missions.
Nowadays, the precision of the altimeters and the trajectories of the satellites that carries them (GEOSAT, ERS1, ERS2, Topex/poseidon, Jason-1, Envisat) permits to obtain the oceanic surface with a decimetric precision, or even centimetric sometimes.
The spacial missions in progress (Topex/poseidon and Jason-1) are foreseen to meet these expectations, the analysis either separated or global of their altimetric measures requires the research of a very big accuracy in the determination of the different parameters permetting to reach the caculation of the sea height above a reference ellipsoid .
We present in this article a methodological use of altmetric data from topex/poseidon (6 cycles) and Jason-1 (6 cycles) satellites to determine the mean level of the occidental mediterranée. The comparison of the obtained surface with the calculated one by the global geoid model EGM 96 has provided divergences of a decemetrical order.

I. Introduction

Les différents paramètres limitant la précision du calcul de la hauteur de la mer au-dessus d'un ellipsoïde de référence sont principalement : les systèmes de référence, la position du satellite et les corrections sur les mesures (notamment la calibration des altimètres). De nos jours, la précision des altimètres et des trajectoires des satellites qui les portent (ERS1, ERS2, Topex/Poseidon, Jason-1, Envisat) permet d'obtenir la surface océanique avec une précision décimétrique, voire centimétrique parfois.
Le présent article propose une méthodologie de traitement des données altimétriques des satellites Topex/ Poseidon et Jason-1 dans le but de déterminer un géoïde altimétrique en Méditerranée Occidentale. Les travaux ont été menés, dans le cadre de stages de recherche, au niveau de la Division de Géodésie du Centre National des Techniques Spatiales.

Les données de chaque altimètre sont traitées séparément et les résultats des hauteurs du géoïde sont comparés à ceux obtenus à partir du modèle de géoïde global EGM96.
Afin d'augmenter la résolution spatiale entre profils altimétriques (≈ 119 Km), une combinaison des résultats (géoïde altimétrique) obtenus à partir des données Topex /Poseidon et Jason-1 est effectuée. La solution ainsi obtenue présente un avantage primordial, vu que les profils altimétriques des deux satellites sont de concert, côte à côte, balayant la surface océanique avec un échantillonnage deux fois plus dense.

II. Zone de calcul et données utilisées

Le but de ce présent travail est d'évaluer les hauteurs du géoïde marin à partir des données Topex/Poseidon et Jason-1, sur une zone recouvrant largement la Méditerranée : zone comprise entre $35.5° \leq \varphi \leq 44.5°$ et $-1° \leq \lambda \leq 10°$.

Les résultats obtenus seront comparés avec ceux calculés à partir du Modèle Géopotentiel Global EGM96.

Les données utilisées sont celles fournies par **Aviso** *«Jason-1 and TOPEX/POSEIDON GDR products»*, numéro du volume : *«GDR_JA1_TP_a_010_2» (4/07/03-02/09/03)* et sont composées de six (06) cycles Topex/Poseidon (398, 399, 400, 401, 402 et 403) et de six (06) cycles Jason-1 (055, 056, 057, 058, 059 et 060).
Les traces de ces arcs sont représentées dans les figures suivantes :

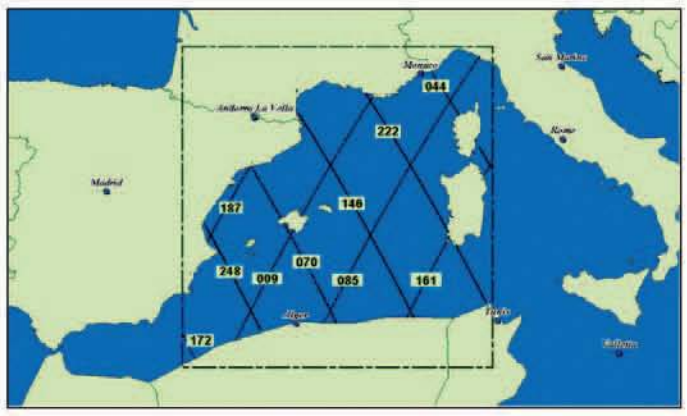

Figure. 1 Traces du satellite Topex/Poseidon couvrant la zone de calcul.

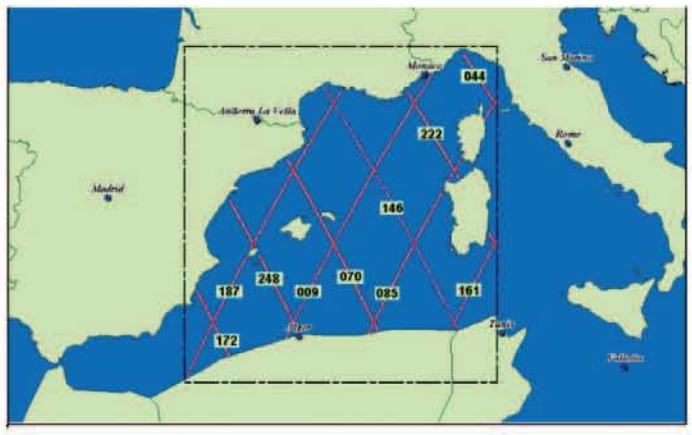

Figure. 2 Traces du satellite Jason-1 couvrant la zone de calcul.

III. Traitement des données

III.1 Modèle de calcul

Le modèle de calcul de la hauteur du géoïde altimétrique *(N)*, adopté dans notre analyse, est donné par la relation suivante :

N = altitude - range_ku - (Sea_state_bias_ku + Model_dry_tropo_corr + Rad_wet_tropo_corr + Iono_corr_alt_ku + Inv_bar_corr + Pole_tide + Ocean_tide_sol + Solid_earth_tide)

Avec :
- *Altitude :* Altitude CNES du satellite par rapport à l'ellipsoïde de référence GRS80
- *Range_ku :* Altitude du satellite par rapport à la surface de la mer
- *Sea_state_bias_ku :* Biais de l'état de la mer dans la Bande Ku
- *Model_dry_tropo_corr :* composante sèche de la Correction Troposphérique
- *Rad_wet_tropo_corr :* composante humide de la correction Troposphérique
- *Iono_corr_alt_ku :* Correction Ionosphérique
- *Inv_bar_corr :* Effet barométrique inverse
- *Ocean_tide_sol :* Marée océanique (modèles *FES* 95.2 pour Topex/Poseidon et *FES* 99 pour Jason-1)
- *Pole_tide :* Marée polaire
- *Solid_earth_tide :* Marée terrestre

III.2 Correction des écarts aux points de croisement

Le point de croisement est l'intersection de deux arcs : un ascendant et l'autre descendant (figure 3). A ces points de croisement coïncident donc deux mesures différentes du niveau de la mer. L'écart entre ces deux mesures doit être corrigé et réparti sur l'ensemble des mesures des deux profils.
La technique utilisée pour la répartition de cet écart sur les profils altimétriques est la méthode d'interpolation polynomiale, dont le principe est le suivant :

Soient N points de croisement d'un même profil altimétrique $y_1 = f(x_1), y_2 = f(x_2), \ldots, y_N = f(x_N)$ où les y_i représentent les corrections à apporter aux points de croisement et les x_i les longitudes des points de croisement. La correction orbitale pour un point du profil de longitude x sera alors exprimée par la formule classique de Lagrange comme suit :

$$y=\frac{(x-x_2)(x-x_3)\dots(x-x_N)}{(x_1-x_2)(x_1-x_3)\dots(x_1-x_N)}\,y_1+\frac{(x-x_1)(x-x_3)\dots(x-x_N)}{(x_2-x_1)(x_2-x_3)\dots(x_2-x_N)}\,y_2+\dots+\frac{(x-x_1)(x-x_2)\dots(x-x_{N-1})}{(x_N-x_1)(x_N-x_2)\dots(x_N-x_{N-1})}\,y_N$$

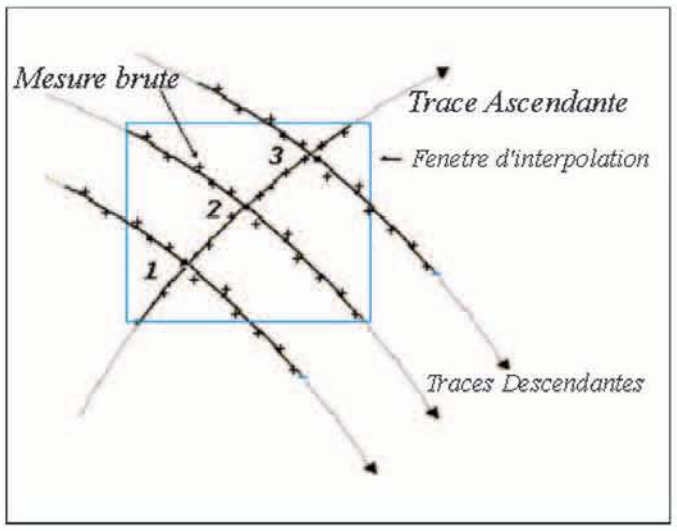

Figure. 3 Points de croisement entre arc ascendant et arcs descendants.

III.3 Présentation des programmes du traitement

Les programmes utilisés lors des traitements des données altimétriques Topex/Poseidon et Jason-1 sont les suivants :

1. ReadTop.for V2.0 [M. Haddad, 2004] : transformation du format binaire/UNIX des données altimétriques Topex/Poseidon en format Ascii Standard.

2. Read-Jason.c V1.0 [R.W. Berwin - California Institute of Technology, 2000]: transformation du format binaire/UNIX des données altimétriques Jason-1 en format Ascii Standard.

3. Bahr.for [Haddad, Boucherat, 2004]: Ce programme regroupant quatre (04) sous-programmes *(Filtre-N, Point-CR, Correc-N et Gravt_gm),* permet de calculer la hauteur de la mer à partir des données altimétriques brutes et de comparer le géoïde altimétrique ainsi obtenu avec celui déterminé à partir d'un modèle géopotentiel global :

• *Filtre-N :* calcul de la hauteur du géoïde altimétrique tout en filtrant les données altimétriques par élimination des enregistrements hors de la zone de calcul et/ou des enregistrements dont les valeurs sont données par défaut.

• *Point-CR :* détermination de la position des points de croisement et des différences de la hauteur du géoïde altimétrique aux points de croisement.

• *Correc-N :* ajustement par la méthode d'interpolation polynomiale des hauteurs du géoïde altimétrique obtenues par ***Filtre-N*** selon les différences de hauteur aux points de croisement.

• *Gravt_gm [Yecai Li, 1994]:* calcul des hauteurs du géoïde en utilisant un modèle géopotentiel global et comparaison avec le géoïde altimétrique.

IV. Résultats

IV.1 Topex/Poseidon

• ***Points retenus :***

La validation des mesures s'est effectuée par comparaison du géoïde altimétrique avec celui obtenu à partir du modèle géopotentiel global EGM96. Tout point dont la différence absolue entre les deux ondulations (ondulation altimétrique et ondulation obtenue à partir de EGM96) dépasse 1 mètre sera rejeté. Le nombre de points retenus par cycle est représenté dans le tableau suivant :

Cycle	*Nombre de Point total*	*Nombre de points retenus*	*Taux de rejet (%)*
398	**882**	**784**	**11.11**
399	**875**	**776**	**11.31**
400	**871**	**784**	**9.99**
401	**888**	**784**	**11.71**
402	**823**	**742**	**9.84**
403	**842**	**757**	**10.10**

Tableau.1 Nombre de points retenus par cycle.

• ***Statistiques de la comparaison par rapport à EGM96 :***

Le tableau 2 fournit pour chaque cycle, les écarts entre le géoïde altimétrique (Topex/Poseidon) et le géoïde EGM96 :

Cycle	*Diff. Max (m)*	*Diff. Min (m)*	*Moyenne (m)*	*STD (m)*
398	**0.94**	**-0.98**	**-0.17**	**0.25**
399	**0.98**	**-0.99**	**-0.18**	**0.25**
400	**0.99**	**-0.98**	**-0.21**	**0.26**
401	**0.99**	**-0.99**	**-0.16**	**0.29**
402	**1.00**	**-1.00**	**-0.14**	**0.25**
403	**0.98**	**-0.91**	**-0.13**	**0.25**

Tableau. 2 Statistiques de la comparaison par rapport à EGM96.

Les tracés des courbes du géoïde obtenu à partir des données Topex/Poseidon et de ses écarts par rapport à EGM96 sont représentés dans les figures 4 et 5 :

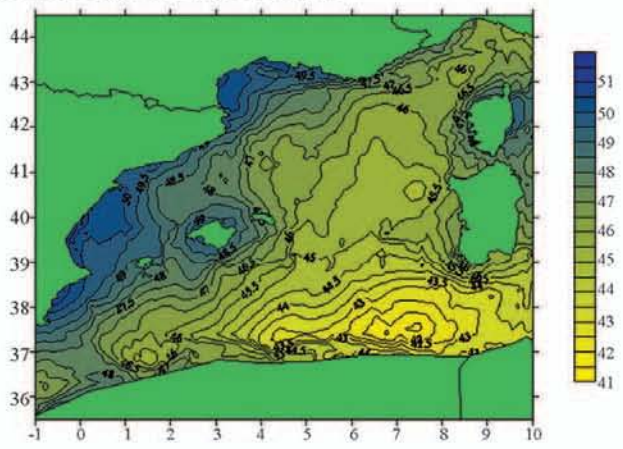

Figure. 4 Géoïde altimétrique-***Topex/Poseidon***
-Equidistance de 0.5 m.

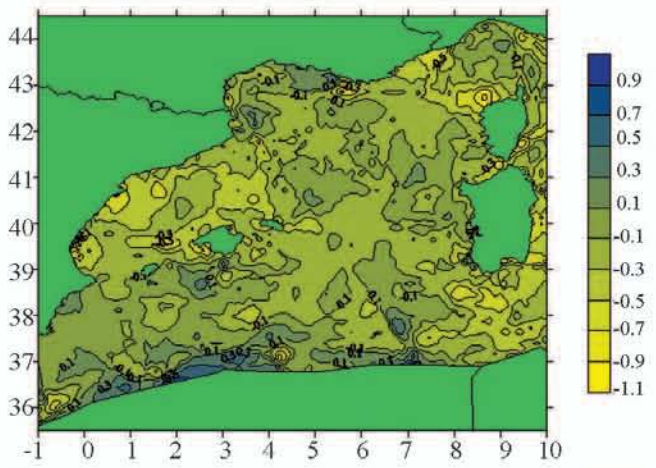

Figure. 5 Ecarts entre géoïde *Topex/Poseidon* et géoïde *EGM96*. Equidistance de 0.2 m.

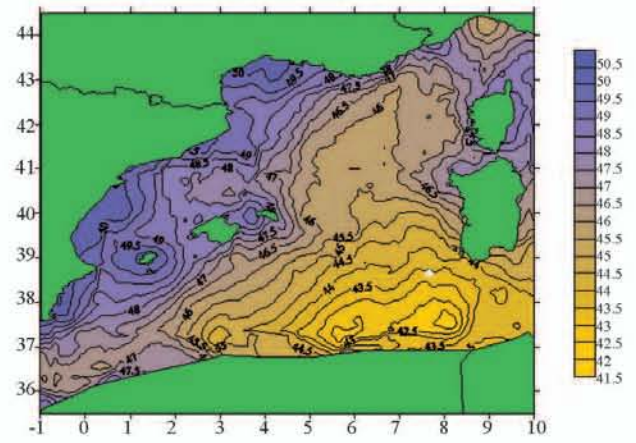

Figure. 6 Géoïde altimétrique Jason-1 -Equidistance de 0.5 m.

IV.2 Jason-1

• *Points retenus :*

Le nombre de points retenus par cycle est représenté dans le tableau suivant :

Cycle	*Nombre de Point total*	*Nombre de points retenus*	*Taux de rejet (%)*
055	877	866	1.25
056	876	862	1.60
057	878	867	1.25
058	822	808	1.70
059	878	873	0.57
060	909	894	1.65

Tableau. 3 Nombre de points retenus par cycle.

• *Statistiques de la comparaison par rapport à EGM96*

Le tableau 4 fournit pour chaque cycle, les écarts entre le géoïde altimétrique (Jason-1) et le géoïde EGM96 :

Cycle	*Diff. Max (m)*	*Diff. Min (m)*	*Moyenne (m)*	*STD (m)*
055	0.59	-0.93	-0.05	0.26
056	0.69	-0.99	-0.03	0.25
057	0.66	-0.90	-0.04	0.25
058	0.79	-0.99	0.00	0.25
059	0.61	-0.99	-0.01	0.26
060	0.59	-0.96	0.00	0.25

Tableau. 4 Statistiques de la comparaison par rapport à EGM96.

Les tracés courbes du géoïde altimétrique obtenus à partir des données Jason-1 et de ses écarts par rapport à EGM96 sont représentés dans les figures 6 et 7 :

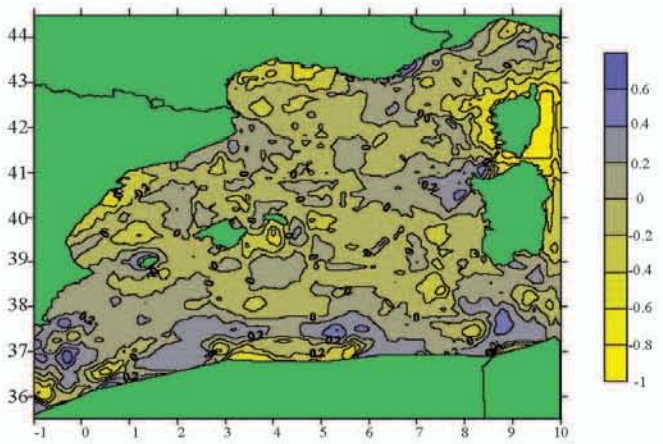

Figure.7 Ecart entre le géoïde Jason-1 et le géoïde EGM96. Equidistance de 0.2 m.

IV.3 Détermination du géoïde altimétrique mixte

Il s'agit d'exploiter les hauteurs du géoïde marin obtenues à partir des données Topex / Poseidon et Jason-1, dans le but d'élargir la résolution spatiale entre les profils altimétriques.

Figure. 8 *Points retenus* Topex/Poseidon & Jason-1.

Les hauteurs du géoïde marin obtenues à partir des données Topex/Poseidon cycles : 398, 399, 400, 401, 402 et 403 sont combinées avec celles déterminées à partir des données Jason-1 cycles : 055, 056, 057, 058, 059 et 060. Le géoïde mixte (figure 9) correspond au niveau moyen de la Méditerranée Occidentale déterminé à partir des données Topex/Poseidon et Jason-1.

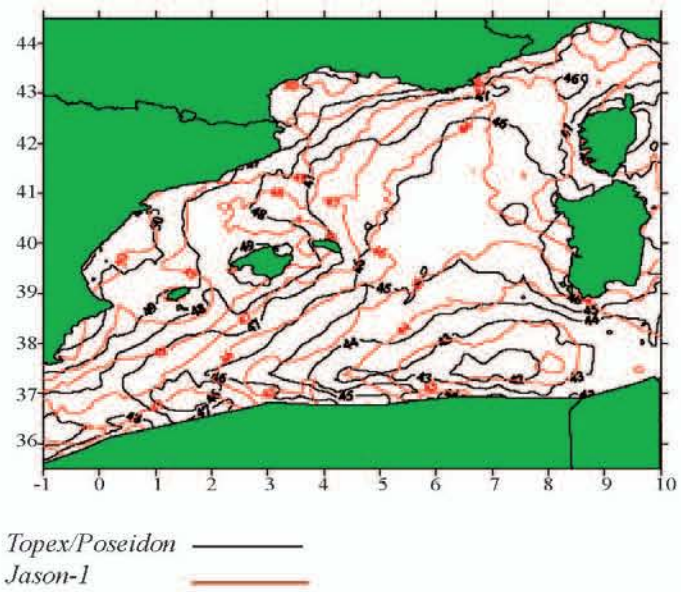

Figure. 9 Géoïde mixte : niveau obtenu à partir des données **T**opex/Poseidon et Jason-1.
Equidistance de 1 m.

Les tracés des courbes du géoïde altimétrique mixte obtenu par combinaison des deux surfaces altimétriques (Topex/Poseidon & Jason-1) sont représentés dans les figures 10 et 11.

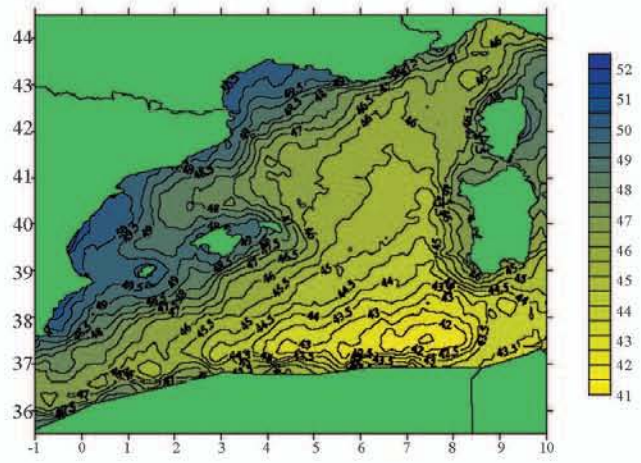

Figure.10 Géoïde altimétrique mixte
(Janson-1 & Topex/Poseidon)
Equidistance de 0.5 m.

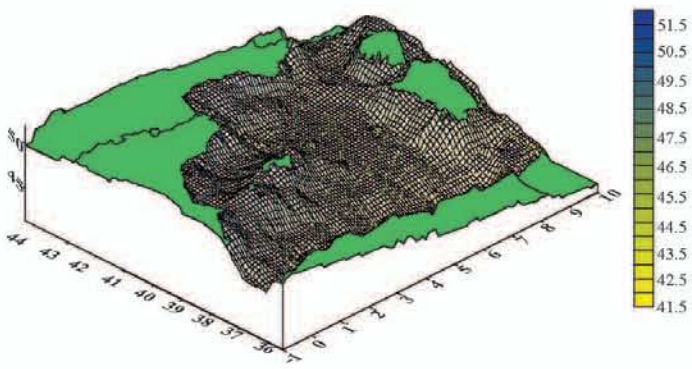

Figure.11 Géoïde altimétrique mixte
(Jason1 & Topex/Poseidon) en 3D.

La figure 12 illustre les écarts entre le géoïde mixte et le géoïde obtenu à partir du modèle global EGM96.

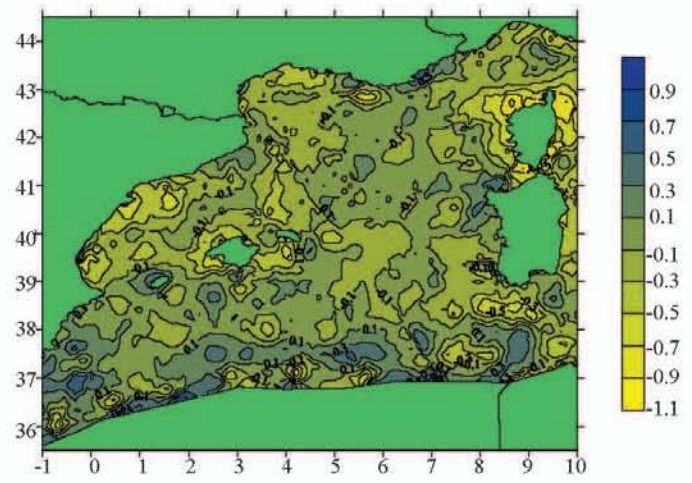

Figure.12 Ecart entre le géoïde altimétrique obtenu à partir des données Topex/Poseidon & Jason-1 et EGM96.
Equidistance de 0.2 m.

Conclusion

Les missions Topex/Poseidon et Jason-1 ont permis un progrès historique dans l'amélioration de la précision et de l'exactitude tant du point de vue de l'orbitographie que du point de vue de la détermination de la surface topographique de la mer. Dans le domaine de la géodésie spatiale et de ces applications, il s'agit d'un événement majeur. De plus, l'utilisation de données de la mission altimétrique Envisat permettra certainement d'accroître la précision de la détermination du géoïde altimétrique.

L'utilisation combinée des données altimétriques de Topex/Poseidon et Jason-1 nous a permis de déterminer une surface altimétrique moyenne mixte sur la Méditerranée Occidentale, dont la résolution spatiale entre profils altimétriques est de l'ordre de 119 Km.

Bien que la quantité de données utilisée est insuffisante (6 cycles Topex/Poseidon & 6 cycles Jason-1), le niveau moyen de la Méditerranée Occidentale obtenu présente des écarts relativement faibles par rapport à celui de EGM96 (différence max. ≈ 01 mètre).

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier Mr. S. KAHLOUCHE (Directeur de recherche / Centre National des Techniques Spatiales - Algérie) pour avoir mis à leur disposition les données *« Jason-1 and TOPEX/POSEIDON GDR products »* obtenues auprès du CLS/CNES et pour les avoir guidé dans ce travail de recherche avec une grande disponibilité.

Références bibliographiques

[1] AVI-NT-02-101-CN (1996) : Edition 3.0, July 1996.

[2] AVISO and PODAAC User Handbook - IGDR and GDR Jason Products.

[3] AVISO User Handbook – Merged Topex/Poseidon Products (GDR-Ms).

[4] Hassen BOUCHERAT (2004) : Combinaison des données d'Altimétrie spatiale de Topex et Jason en vue de la détermination d'un niveau moyen en Méditerranée occidentale – Mémoire d'Ingénieur – Centre National des Technoques Spatiales – Arzew, 2004

[5] Mahdi HADDAD (2004) : Détermination du Géoïde par Intégration des Donnécs Gravimétriques et Altimétriques. Mémoire de Magistère. Centre National des Techniques Spatiales- Arzew, 2004.

[6] Michel CHOUTEAU (1999) : Géophysique appliquée I – Gravimétrie. Ecole Polytechnique Montréal.

[7] Numerical Recipes : Cambridge University Press, ISBN 0 521 43719 9.

[8] Pascal BONNEFOND (1994) : Méthode Géométrique de Trajectographie par Arcs Courts. Application à l'Analyse des Mesures Altimétriques des Satellites Topex/Poseidon et ERS1 en Méditerranée. Thèse de Doctorat– Observatoire de Paris.

[9] Serge BOTTON (2001) : Introduction à la Géodésie. Ecole Nationale des Sciences Géographiques / France.

[10] SMM-MU-M5-OP-13184-CN (April, 2003) (AVISO), JPL D-21352 (PODAAC).