

Etude qualitative de la précision des Modèles Numériques de Terrain globaux: Cas de l'Algérie

M. HADDAD, N. RABEHI & H. TAIBI

Centre des Techniques Spatiales. 1 Avenue de Palestine, BP 13 Arzew. Oran 31200.

Email: haddad_mahdi@yahoo.fr, rabehin@gmail.com, taibihabib@ymail.com

ملخص : الهدف من هذه الدراسة هو التحقق من جودة نماذج التضاريس الرقمية العالمية المتاحة: GLOBE, GTOPO30, GMTED (30", 15" و 7.5"), STRM (30" و 3"), ETOPO1, مقارنة ارتفاعات 12472 نقطة قياس الجاذبية، المتاحة من طرف المكتب العالمي للجاذبية و التي تغطي التراب الجزائري، مع تلك المولدة من نماذج التضاريس. هذا وقد أظهرت الفروق في الارتفاع أن النموذجين GTOPO30 و GLOBE يمثلان انحراف معياري جد مرتفع (ما يعادل 48 م) في حين أن النماذج الأخرى تمثل انحرافات معيارية معتدلة (من 21 إلى 27 م). إلا أن النموذجين SRTM 3" و SRTM 7.5" هما اللذان يقدمان الحد الأدنى من التششت (72% من النقاط تعرض اختلافات في الارتفاع ضمن المجال من -10 إلى 10 م).

الكلمات الأساسية : GLOBE, SRTM, GTOPO30, ASTER, ETOPO, GMTED, بيانات المكتب العالمي للجاذبية.

Résumé : L'objectif de l'article est de vérifier la qualité des différents Modèles Numériques de Terrain - MNT globaux disponibles: GTOPO30, GLOBE, SRTM (30" et 3"), ETOPO1, GMTED (30", 15" et 7.5") et ASTER.

Dans ce cadre, les altitudes des 12472 points gravimétriques, fournis par le Bureau Gravimétrique International - BGI et couvrant le territoire algérien ont été comparées à celles interpolées à partir des MNT.

Les écarts en altitude ont montré que les MNT GTOPO30 et GLOBE présentent des écarts- types très élevés (~48 m), alors que les autres modèles présentent des écarts-types modérés (de 21 à 27 m). Néanmoins, les deux modèles SRTM 3" et GMTED 7.5" sont ceux qui présentent une dispersion minimale (~72 % des points gravimétriques exposent des écarts en altitude compris dans l'intervalle de -10 à 10 m).

Mots clés : GTOPO30, SRTM, GLOBE, ASTER, GMTED, ETOPO, Données BGI.

Abstract : The objective of this study is to verify the quality of different available global Digital Terrain Models - DTM: GTOPO30, GLOBE, SRTM (30" and 3"), ETOPO1, GMTED (30", 15" and 7.5") and ASTER.

In this context, the altitudes of 12472 gravity points, provided by the International Gravimetric Bureau - BGI and covering the Algerian territory were compared with those interpolated from different DTM.

The differences in altitude show that GTOPO30 and GLOBE have very high standard deviations (~ 48 m), while the other models have moderate deviations (from 21 to 27 m). Nevertheless, the two models SRTM 3" and GMTED 7.5" are those which give a minimum dispersion (~ 72% of gravity points expose differences in altitude within a range of -10 to 10 m).

Keywords : GTOPO30, SRTM, GLOBE, ASTER, GMTED, ETOPO, BGI data.

1. Introduction

Cet article s'inscrit dans le cadre d'un projet de recherche national intitulé « Détermination d'un modèle local de géoïde pour l'Algérie » qui a comme objectif principal la détermination d'un modèle de géoïde gravimétrique local.

Un Modèle Numérique de Terrain, appelé singulièrement MNT, est une représentation schématique sous forme numérique du relief d'une zone géographique. Il permet d'associer selon une maille régulière des positions (XY ou longitude /latitude) et des altitudes. Ce modèle numérique peut être composé d'entités vectorielles ponctuelles (points cotés), linéaires (courbes de niveau), surfaciques (facettes) ou représenté en mode raster (cellules). Les domaines d'utilisation d'un MNT sont variés : calcul de pentes, d'expositions, d'ombrages, d'écoulements, modélisation 3D et calcul d'implantation d'infrastructures.

Notons que les MNT à haute résolution sont également cruciaux pour la modélisation du champ de gravité du fait qu'il n'existe pas de données gravimétriques terrestres réparties sur la totalité de la terre. En effet, le calcul d'un géoïde se fait par la méthode de retrait et restauration et la technique du terrain résiduel. Le calcul des effets de la topographie (réduction du terrain résiduel) nécessite l'existence d'un MNT à pas fin (de haute résolution), d'un MNT large et d'un MNT filtré. L'emprise du MNT à pas fin doit être un peu supérieure à celle des MNT à pas large et filtré. Le MNT à pas large est utilisé pendant les calculs de correction de terrain, pour accélérer les calculs.

Le MNT filtré utilisé comme surface de référence est généralement confectionné à partir du MNT à pas fin. Pour une théorie complète sur la technique de retrait et restauration et de la technique du terrain résiduel, le lecteur est invité à se référer à (Forsberg, 1994 ; Duquenne, 2005).

En Algérie et en l'absence de MNT suffisamment précis, il paraît, néanmoins, difficile de déterminer l'effet de la topographie. Pour remédier à cette situation, on utilise un MNT global dont le choix doit être judicieux.

Trois caractéristiques principales permettent d'avoir un aperçu rapide d'un modèle numérique de terrain et de juger de son adéquation à un besoin particulier : sa résolution, sa couverture géographique et la qualité des données : elle dépend de l'application ou non de traitements de correction des données après leur récupération. En effet, certaines méthodes d'acquisition laissent des artefacts dans les données (des zones brouillées sur des lignes côtières du fait de l'écume des vagues qui fausse les échos radar, des « trous » lorsque des nuages étaient présents lors d'un relevé satellitaire...).

Aussi, l'évaluation qualitative de la précision d'un MNT peut être réalisée selon l'une des deux méthodes suivantes (Ettarid et al., 2004):

a/ croiser le MNT avec les courbes de niveau digitalisées de la carte topographique pour voir à quel degré elles rendent compte des formes du relief (notamment le réseau hydrographique).

b/ évaluer la précision en terme d'erreur moyenne quadratique calculée à partir des différences entre les altitudes dérivées du MNT et des altitudes de référence d'un certain nombre de points de contrôle, dont les altitudes ont été déterminées sur le terrain par des méthodes topométriques conventionnelles ou par des méthodes photogrammétriques.

Cette présente étude a pour objectif d'étudier la précision des différents MNT globaux disponibles en vue de sélectionner le MNT optimum à intégrer dans le processus de détermination d'un modèle local de géoïde pour l'Algérie. Notons ici, que faute de disponibilité de données de points cotés et/ou de points GPS/nivelé, nous avons considéré les altitudes des points gravimétriques fournis par le Bureau Gravimétrique International (BGI). Les altitudes des points gravimétriques sont interpolées dans le MNT et comparées à celles figurant dans les fichiers issus de BGI.

2. Données utilisées

Dans cette étude, nous avons utilisé les altitudes des points gravimétriques issues du fichier EOL acquis auprès du Bureau Gravimétrique International – BGI, dont la tâche principale de ce bureau est de collecter les mesures du champ de gravité et les informations associées, de les valider et de les archiver dans une base de données

informatisée destinée à soutenir des utilisations scientifiques et académiques (BGI, 2012a).

Le fichier de données dispose de 12472 points gravimétriques répartis sur le territoire algérien (voir figure 1). Chaque point consiste en un enregistrement de 126 caractères. Le fichier EOL contient des informations notamment sur l'origine des données, la position et l'altitude des points, la valeur mesurée de la pesanteur et sa précision, l'anomalie à l'air libre et l'anomalie de Bouguer. Ces mesures sont géoréférencées par rapport au datum GRS67. La description de l'enregistrement EOL est prise dans le document (BGI, 2012b).

Ces données proviennent de diverses origines, principalement des levés effectués entre 1956 et 1959 par la Compagnie Générale de Géophysique (CGG) pour le compte de diverses compagnies pétrolières coloniales opérant en Algérie à cette époque. Ces levés ont été établis dans les régions d'Illizi-nord, d'In Salah-sud, de Reggane-Erg Chech, de l'Azzel-Mati et du nord d'Algérie (Takherist, 1991). A ceux-ci, vient s'ajouter quelques 760 stations relatives à des grands profils de reconnaissance établis par Lagrula (1959). Il subsiste cependant certaines régions dépourvues en couverture gravimétrique, particulièrement celles de la partie centrale de l'Algérie et le Sud-Ouest (voir figure 1).

Six MNT globaux ont été considérés dans cette étude. Il s'agit de GTOPO30, GLOBE, SRTM, ETOPO1, GMTED2010 et ASTER. Les caractéristiques de ces modèles sont données ci-après.

Achevé à la fin de l'année 1996, GTOPO30 a été élaboré à partir de plusieurs sources raster et vecteur d'informations topographiques par Earth Resources Observation and Science center (EROS) et peut être récupéré par «tuiles» sur le site correspondant de l'US Geological Survey (http://eros.usgs.gov/#/Find_Data/Products_and_Data_Available/gtopo30_info).

Le MNT GTOPO30, qui couvre les parties émergées du globe, est au pas de 30 secondes d'arc (1 km environ), il est donc suffisant pour des études et applications régionales et continentales, telles que la modélisation du climat, la cartographie à l'échelle continentale, l'extraction des caractéristiques de drainage pour la modélisation hydrologique (Danielson, 1996; Verdin et Greenlee, 1996), et la correction géométrique et atmosphérique d'images satellitaires à faible résolution (Gesch, 1994; Jet Propulsion Laboratory, 1997). La précision verticale absolue de GTOPO30 varie selon la position géographique en fonction des données sources intégrées. Elle est comprise entre 30 et 500 mètres (https://lta.cr.usgs.gov/sites/default/files/GTOPO30_README.doc).

Le MNT GLOBE, quant à lui, rendu disponible en 1999, offre une couverture de toute la terre avec une résolution de 30 secondes d'arc (environ 1 km de résolution).

La description et les caractéristiques techniques sont données dans (Hastings et Paula, 1999). GLOBE est subdivisé en 16 «tuiles», téléchargeables à partir du site correspondant de NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) : <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/topo/gltiles.html>.

La précision verticale de GLOBE varie elle aussi en fonction des données sources intégrées. Elle est comprise entre 10 et 500 mètres (<http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/topo/report>).

En septembre 2003, le gouvernement américain a autorisé la distribution des fichiers SRTM. Ces données altimétriques ont été recueillies au cours d'une mission de 11 jours en février 2000 par la navette spatiale Endeavour (STS-99) à une altitude de 233 km en utilisant l'interférométrie radar. Parmi les MNT SRTM on distingue :

- SRTM1 : résolution d'une seconde d'arc (31m à l'équateur), couvre uniquement les États-Unis d'Amérique et ses dépendances,
- SRTM3 : résolution de 3 secondes d'arc (93m à l'Équateur), couverture mondiale,
- SRTM30 : résolution de 30 secondes d'arc (926m à l'Équateur), couverture mondiale, sorte de mise à jour du format GTOPO30.

La version 2 de SRTM, qui corrige une grande partie des défauts de la version 1 (vides et aberrations de mesures), a été mise en ligne en août 2005. La précision de SRTM3 est de ± 20 m en planimétrie et ± 16 m en altimétrie. Les données SRTM peuvent être récupérées par «tuiles» sur le site : <http://dds.cr.usgs.gov/srtm/>. Pour plus de détails sur les données SRTM, voir (Rodríguez et al., 2005) et (Farr et al., 2007).

Le MNT ETOPO1, créé par NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) et rendu disponible en 2008, intègre des données de topographie, de bathymétrie, de trait de côte et de substrat rocheux sous les calottes glaciaires. Il est destiné à remplacer l'ETOPO2v2, la résolution de ce modèle est d'une minute d'arc (Amante et Eakins, 2009). Les données ETOPO sont fournies à partir du site de NOAA : <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/global.html>. En Afrique, la principale donnée source intégrée au projet de développement du MNT ETOPO1 n'est autre que le SRTM30 (Amante et Eakins, 2009).

L'USGS a publié un nouveau jeu de données appelé « Global Multi-resolution Terrain Elevation Data 2010 » (GMTED2010). Il offre différentes résolutions qui sont 30, 15, et 7.5 secondes d'arc (approximativement 1000, 500 et 250 mètres). La précision verticale de GMTED2010 se situe entre 25 et 42 mètres à 30 secondes d'arc, entre 29 et 32 mètres à 15 secondes d'arc et entre 26 et 30 mètres à 7,5 secondes d'arc (Danielson et Gesch, 2011). GMTED2010

est une amélioration majeure de GTOPO30 dans sa cohérence et sa précision verticale (66 m au niveau mondial).

Enfin, le MNT ASTER a été produit à partir de paires stéréoscopiques ASTER en collaboration entre la NASA et le METI (Ministère de l'économie, du commerce et de l'industrie du Japon). Il a été gratuitement rendu disponible en 2009 pour un pas de 30 m, et une précision planimétrique de 30 m (Tachikawa et al., 2011). Le MNT ASTER est disponible à partir du site : <http://gdem.ersdac.jp/spaceystems.or.jp>.

ASTER possède une meilleure résolution que le SRTM3 (précision 30m au sol). Le METI et la NASA reconnaissent cependant que ASTER constitue encore un modèle expérimental plutôt réservé à la recherche. C'est une donnée brute, qui a le mérite d'exister, mais l'apparente précision des 30m peut être trompeuse. En effet, la méthode d'acquisition des données ASTER laisse des artefacts (des zones brouillées sur des lignes côtières du fait de l'écume des vagues qui fausse les échos radar, des « trous » lorsque des nuages étaient présents lors d'un relevé satellitaire...). La qualité de ASTER dépend aussi du nombre de paires stéréoscopiques utilisées pour la détermination de l'altitude à un pixel.

3. Analyse des données

Les altitudes des points gravimétriques sont interpolées dans les MNT globaux et comparées à celles figurant dans le fichier EOL du BGI. Un programme élaboré sous Matlab réalise cette opération en éliminant les points pour lesquels les différences dépassent un certain seuil. Le programme est interactif : une carte des écarts est affichée. On peut changer le seuil.

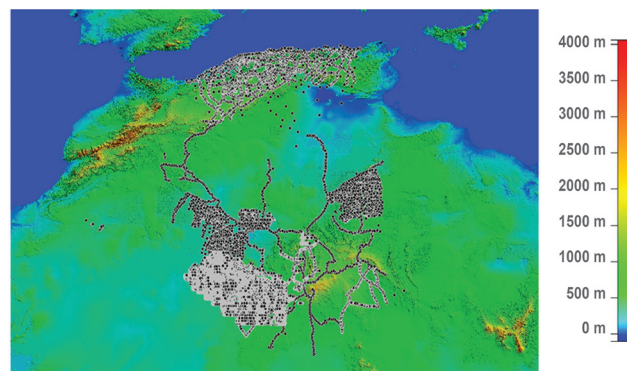


Fig. 1 Répartition des points gravimétriques BGI et MNT SRTM 3"

Le tableau 1 offre les statistiques des différences entre les altitudes BGI et celles interpolées à partir des modèles GTOPO30, GLOBE, SRTM (30" et 3"), ETOPO1, GMTED (30", 15" et 7.5") et ASTER 1".

Tableau 1. Statistiques (en mètre) des différences entre les altitudes BGI et celles interpolées

MNT Ecart	GTOPO 30"	GLOBE 30"	SRTM 30"	SRTM 3"	ETOPO1 1'	GMTED 30"	GMTED 15"	GMTED 7.5"	ASTER 1"
Min. (m)	-493.519	-493.519	-319.976	-321.766	-321.422	-320,581	-322.517	-320.141	-308.626
Max. (m)	558.268	527.326	495.585	418.832	430.310	479,562	425.590	428.313	416.634
Moy. (m)	-13.877	-13.083	0.418	1.030	-1.474	0,123	0.742	0.875	-4.517
Ecart Type (m)	47.789	47.550	21.326	21.570	24.367	21,638	21.129	21.422	27.155

Le tableau 2 donne les taux de rejet des points où la différence entre l'altitude BGI et celle interpolée dépasse le seuil de 100 m. Plus de 670 sont rejetés pour le cas des deux modèles GTOPO30 et GLOBE. La répartition des points gravimétriques rejetés est représentée par la figure 2.

Tableau 2. Taux de rejet des points avec un seuil de 100 m

MNT	GTOPO 30"	GLOBE 30"	SRTM 30"	SRTM 3"	ETOPO1 1'	GMTED 30"	GMTED 15"	GMTED 7.5"	ASTER 1"
Nbr. de points rejetés	673	681	88	195	132	92	87	94	152
Taux de rejet	5.41 %	5.47 %	0.71 %	1.57 %	1.06 %	0.74 %	0.70 %	0.76 %	1.22 %

La Figure 3 illustre les histogrammes des différences entre les altitudes des points gravimétriques (points non rejetés) et celles obtenues des différents MNT. Les pourcentages des écarts compris dans l'intervalle [-10 à +10 m] sont regroupés dans le tableau 3. Les pourcentages les plus élevés dans cet intervalle (71.79 %) sont ceux obtenus par l'utilisation des deux modèles SRTM 3" et GMTED 7.5".

Tableau 3. Nombres de points et pourcentages des écarts compris dans l'intervalle [-20 à +20]

Intervalle	[-20 -10]	[-10 0]	[0 10]	[10 20]	[-10 10]
GTOPO 30"	1155 (9.28 %)	1556 (12.50%)	1693 (13.60%)	1364 (10.96%)	26.10 %
GLOBE 30"	1067 (8.57 %)	1477 (11.87%)	1817 (14.60%)	1418 (11.39%)	26.46 %
SRTM 30"	755 (6.07 %)	3358 (26.98%)	5324 (42.77%)	1422 (11.42%)	69.75 %
SRTM 3"	717 (5.76 %)	3947 (31.71%)	4989 (40.08%)	1299 (10.44%)	71.79 %
ETOPO 1'	932 (7.49 %)	3231 (25.96%)	4931 (39.62%)	1389 (11.16%)	65.57 %
GMTED 30"	773 (6.21 %)	3590 (28.84%)	5177 (41.59%)	1358 (10.91%)	70.43 %
GMTED 15"	535 (4.30 %)	2495 (20.04%)	5753 (46.22%)	2075 (16.67%)	66.26 %
GMTED 7.5"	678 (5.45 %)	3627 (29.14%)	5309 (42.65%)	1390 (11.17%)	71.79 %
ASTER 1"	1726 (13.87 %)	3106 (24.95%)	2996 (24.07%)	1520 (12.21%)	49.02 %

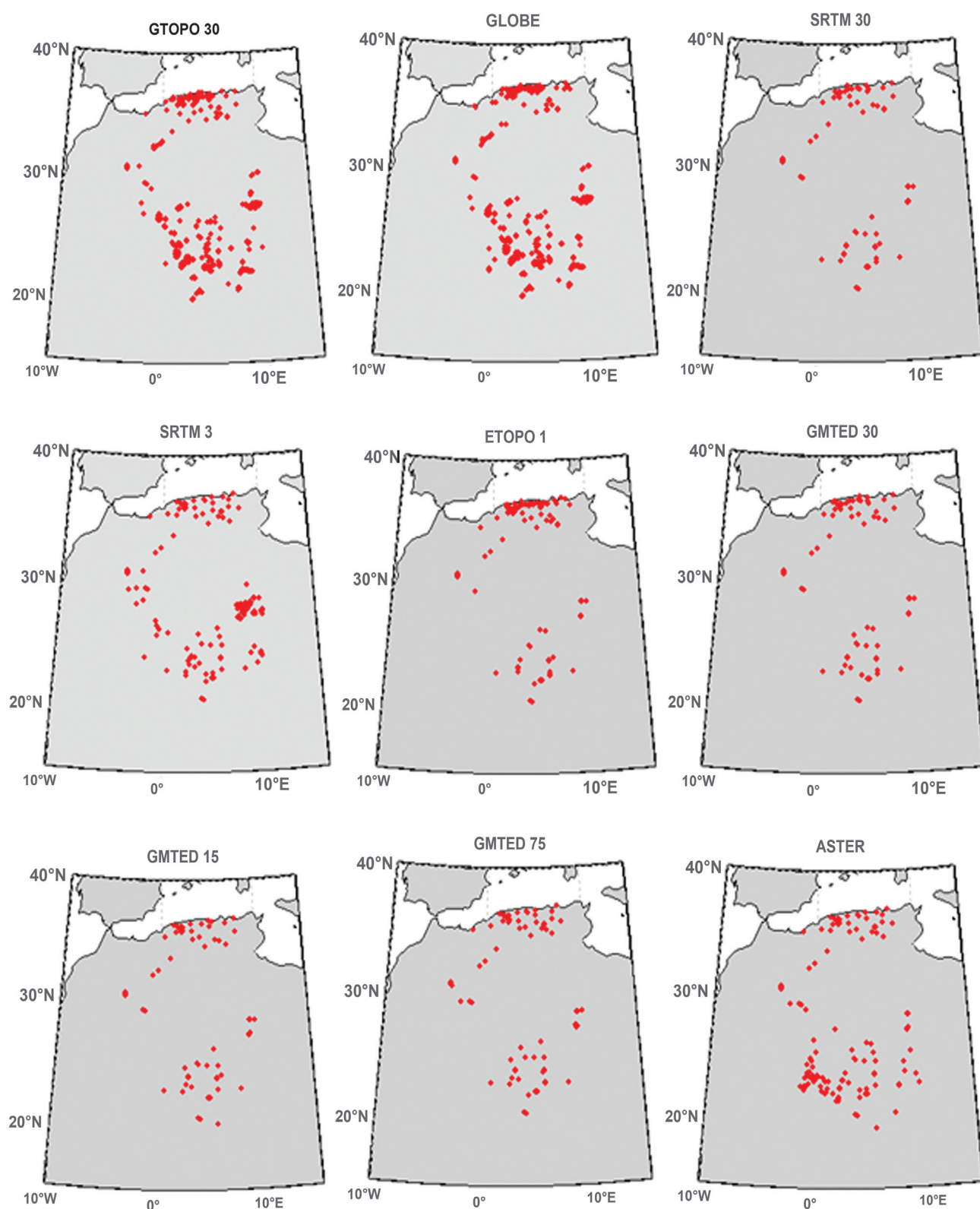


Fig. 2 Distribution géographique des points rejetés. De haut en bas et de gauche à droite : GTOPO 30', GLOBE 30', SRTM 30', SRTM 3', ETOPO 1', GMTED 30', GMTED 15', GMTED 7.5' et ASTER 1'

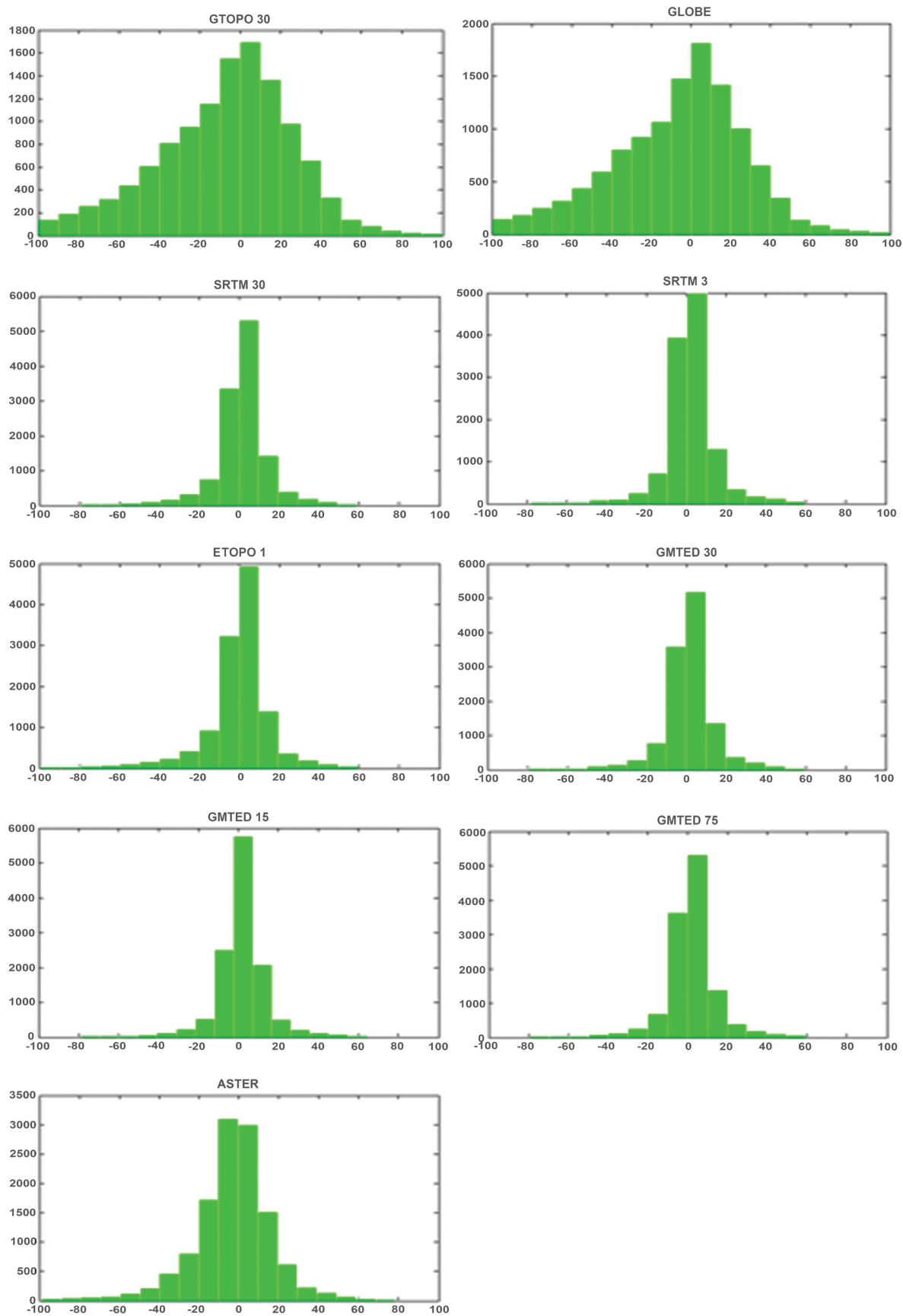


Fig. 3 Histogrammes des différences entre altitudes BGI et altitudes MNT. De haut en bas et de gauche à droite : GTOPO 30", GLOBE 30", SRTM 30", SRTM 3", ETOPO 1", GMTED 30", GMTED 15", GMTED 7.5" et ASTER 1"

4. Conclusion

L'analyse des différences entre les altitudes des 12472 points gravimétriques du BGI et celles interpolées à partir des différents MNT globaux montre que les deux modèles SRTM 3" et GMTED 7.5" sont ceux qui offrent le plus de points avec des écarts en altitude inférieurs à 10 mètres. Par conséquent ces deux modèles sont recommandés pour le calcul d'une solution de géoïde locale pour l'Algérie.

À noter que cette évaluation a été basée que sur les altitudes des points gravimétriques BGI et ne permet pas d'en tirer des conclusions finales sur la qualité des MNT. D'autres comparaisons en exploitant un MNT fin (issu de la cartographie de base) et des données ponctuelles de points cotés et/ou GPS nivelés demeurent nécessaires pour une évaluation rigoureuse de la qualité des MNT.

Notons ici qu'en 2014, les acquisitions des satellites radar TerraSAR-X et TanDEM-X seront disponibles sous la forme d'une couverture mondiale homogène avec une résolution de 12 mètres. Cette analyse sera enrichie avec le MNT futur qui sera généré à partir de ces deux missions satellitaires.

Références Bibliographiques

- Amante C. and Eakins B.W., 2009. ETOPO1 1 Arc-Minute Global Relief Model: Procedures, Data Sources and Analysis. NOAA Technical Memorandum NESDIS NGDC-24, 19 pp, March 2009.
- BGI, 2012a. The International Gravimetric Bureau; In "The Geodesist's Handbook 2012". H. Drewes, H. Hornik, J. Adam, S. Rozsa Eds. (International Association of Geodesy). Journal of Geodesy, 86, 10. doi: 10.1007/s00190-012-0584-1; <http://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs00190-012-0584-1.pdf>
- BGI, 2012b. EOL/EOS format; http://bgi.obs-mip.fr/fr/content/download/720/4949/file/BGI_EOL_EOS_Data_format.pdf
- Danielson J.J., 1996. Delineation of drainage basins from 1 km African digital elevation data. In: Pecora Thirteen, Human Interactions with the Environment - Perspectives from Space, Sioux Falls, South Dakota, August 20-22, 1996.
- Danielson J.J., and Gesch D.B., 2011. Global multi-resolution terrain elevation data 2010 (GMTED2010): U.S. Geological Survey Open-File Report 2011-1073, 26 p. <http://pubs.usgs.gov/of/2011/1073/pdf/of2011-1073.pdf>
- Duquenne H., 2005. Le géoïde et les méthodes locales de sa détermination. -Support de cours- Ecole francophone sur le géoïde – IGN/LAREG, 2005.
- Ettarid M., Hadfat H., Zaza A., Khaldi A., 2004. Qualité des modèles numériques de terrain dérivés par corrélation automatique. Conference Paper, XXth ISPRS Congress - Technical Commission IV, July 12-23, 2004 Istanbul, Turkey. ISPRS Archives – Volume XXXV Part B4 : 1183-1188.
- Farr T.G., Rosen P.A., Caro E., Crippen R., Duren R., Hensley S., Kobrick M., Paller M., Rodriguez E., Roth L., Seal D., Shaffer S., Shimada J., Umland J., Werner M., Oskin M., Burbank D. & Alsdorf D., 2007. The Shuttle Radar Topography Mission. Rev. Geophys. 45, RG2004, doi:10.1029/2005RG000183.
- Forsberg R., 1994. Terrain effects in Geoid Computations. Lectures Notes. In: International School for the Determination and Use of the Geoid. International Geoid Service. DIIAR, Milan, Italy.
- Gesch D.B., 1994. Topographic data requirements for EOS global change research. U.S. Geological Survey Open-File Report 94-626, 60 p.
- Hastings D.A., and Paula K.D., 1999. Global Land One-kilometer Base Elevation (GLOBE) Digital Elevation Model, Documentation, Volume 1.0. Key to Geophysical Records Documentation (KGRD) 34. National Oceanic and Atmospheric Administration, National Geophysical Data Center, 325 Broadway, Boulder, Colorado 80303, U.S.A.
- Jet Propulsion Laboratory, 1997. DEM auxiliary datasets preparation plan: digital elevation mapping support to the EOS/AM1 platform - JPL D13508, Release 2. Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, Pasadena, California, 65 p.
- Lagrula J., 1959. Nouvelles études gravimétriques. 1^{ère} partie: Stations de références de l'Algérie et du Sahara. Publ. Serv. Carte, Géol. Algérie N S, 28, p. 265-304.
- Rodríguez E., Morris C.S., Belz J.E., Chapin E.C., Martin J.M., Daffer W. & Hensley S., 2005. An assessment of the SRTM topographic products. Technical Report JPL D-31639, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, California, 143 pp. http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/SRTM_D31639.pdf
- Tachikawa T., Hato M., Kaku M. and Iwasaki A., 2011. The characteristics of ASTER GDEM version 2, IGARSS, July 2011.
- Takherist D., 1991. Structure crustale. Subsidence mésozoïque et flux de chaleur dans les bassins Nord-Sahariens (Algérie): Apport de la gravimétrie et des données de puits. Thèse de Doctorat (Spécialité Géophysique) soutenue le 16 mars 1990 à l'Université des Sciences et Techniques du Languedoc - Montpellier. ISBN 2-907826-08-5
- Verdin K.L., and Greenlee S.K., 1996. Development of continental scale digital elevation models and extraction of hydrographic features. In: Proceedings, Third International Conference/Workshop on Integrating GIS and Environmental Modeling, Santa Fe, New Mexico, January 21-26, 1996. National Center for Geographic Information and Analysis, Santa Barbara, California.