



N° d'ordre 05/2013

THESE DE DOCTORAT

Présentée par

Mr : EL Hassan EL Brirchi

Spécialité : **Génie Géologique**

Sujet de la thèse : **Calcul d'un modèle de Géoïde gravimétrique marocain par l'exploitation des données gravimétriques spatiales de la mission GOCE, combinées aux données terrestres.**

Thèse présentée et soutenue le 20/04/ 2013 devant le jury composé de :

Nom Prénom	Titre	Etablissement	
Abdellah MECHAQRANE	PES	Faculté des Sciences et Techniques Fès	Président
Driss KHATTACH	PES	Faculté des Sciences Oujda	Rapporteur
Mimoune CHOURAK	PH	Faculté Polydisciplinaire Nador	Rapporteur
Mohammed CHARROUD	PES	Faculté des Sciences et Techniques Fès	Rapporteur
ALI ESSAHLAOUI	PH	Faculté des Sciences Meknès	Examineur
Driss EL AZZAB	PES	Faculté des Sciences et Techniques Fès	Directeur de thèse
Mustapha BOUJAMAOU	PA	Faculté des Sciences et Techniques Errachidia	Invité

Laboratoire d'accueil : **Géo-ressources et Environnement**

Etablissement : **Faculté des Sciences et Techniques de Fès**



Sommaire

Remerciements	3
Résumé	5
Abstract	7
Liste des Figures	13
Liste des Tableaux	17
Liste des Abréviations.....	21
Partie I : Introduction et concepts de Géodésie.....	25
Chapitre 1. Introduction.....	26
1.1 Problématique.....	26
1.2 Objectifs.....	31
1.3 Méthodologie	33
1.4 Moyens et sources de données.....	35
1.5 Zone d'étude	37
1.6 Organisation de la thèse.....	38
1.7 Publications effectuées durant la période de réalisation de la thèse.....	39
Chapitre 2. Concepts de base en Géodésie et principe du calcul du géoïde	41
2.1 Géodésie.....	41
2.1.1 Géodésie Bidimensionnelle	41
2.1.2 Géodésie physique	42
2.1.3 Géodésie Spatiale	42
2.2 Forme de la Terre	43
2.2.1 Sphère.....	43
2.2.2 Ellipsoïde de Révolution :	43
2.2.3 Géoïde	44

2.2.4	Quasi-géoïde :.....	44
2.2.5	Surface de la Terre :.....	45
2.3	Dimensions de la Terre.....	46
2.3.1	Selon l'approche mathématique.....	46
2.3.2	Selon l'approche physique.....	47
2.4	Systèmes de coordonnées.....	48
2.4.1	Les coordonnées Géocentriques : (X, Y, Z).....	48
2.4.2	Les coordonnées Géographiques 3D : (λ , ϕ , h).....	49
2.4.3	Les coordonnées Géographiques 2D : (λ , ϕ).....	51
2.4.4	Les coordonnées de Projection : (E, N) ou (X,Y).....	51
2.4.5	La coordonnée altimétrique ou vertical ($H^{(0)}$) ou Z.....	51
2.4.6	Les systèmes de coordonnées.....	52
2.5	Réseaux Géodésiques.....	53
2.6	Principe du calcul du géoïde.....	55
2.6.1	Le développement en harmoniques sphériques du potentiel gravitationnel.....	55
2.6.2	Les méthodes gravimétriques.....	60
2.6.3	La méthode GPS et Nivellement.....	60
2.6.4	La méthode astrogéodésique.....	60
2.7	Exemples du calcul de géoïde.....	61
2.8	Conclusion.....	66
Partie II : Préparation et Production des données de base pour le calcul du géoïde.....		68
Chapitre 3. Exploitation des GGM issus des méthodes de gravimétrie spatiale.....		69
3.1	Données utilisées.....	69
3.1.1	Modèles Globaux de Gravité (GGM) issus de la mission GOCE:.....	69
3.1.2	Modèle Numérique de Terrain :.....	71
3.2	Méthodologie adoptée.....	72
3.2.1	Méthodologie de détermination des hauteurs de géoïde.....	72

3.2.2	Méthodologie de détermination de l'anomalie de pesanteur	76
3.2.3	Méthodologie de détermination de l'anomalie de hauteur (hauteur du quasi-géoïde) 78	
3.3	Logiciels et outils	79
3.3.1	EOLI-SA	79
3.3.2	Boite à outil des utilisateurs de GOCE (GUT)	80
3.3.3	Système d'Information Géographique (SIG) : ArcGIS.....	80
3.4	Résultats et Discussion	82
3.4.1	Grilles de géoïde issues des GGM GOCE	82
3.4.2	Grilles des différences des ondulations de géoïde.....	84
3.4.3	Grilles des anomalies de pesanteur issues des GGM GOCE	90
3.4.4	Grilles des différences des anomalies de pesanteur	93
3.4.5	Grilles des anomalies de hauteur issues des GGM GOCE	97
3.4.6	Grilles des différences des anomalies de hauteurs.....	98
3.5	Conclusion	104
Chapitre 4.	Exploitation des données de Gravimétrie Continentales et Marines	105
4.1	Données Utilisées	105
4.1.1	Données gravimétriques du BGI.....	105
4.1.2	Données gravimétriques fournies par le MEM marocain.	106
4.1.3	Données gravimétriques marines du NGDC.....	108
4.2	Logiciels et outils	109
4.3	Calcul des Anomalies gravimétriques.....	110
4.3.1	Anomalies à l'air libre	110
4.3.2	Anomalies de Bouguer simple	110
4.3.3	Module du champ normal (champ théorique).....	111
4.3.4	Gradient vertical du champ.....	112
4.3.5	Anomalies à l'air libre selon Molodensky.....	113

4.4	Traitements et corrections des données.....	114
4.4.1	Données gravimétriques du BGI.....	114
4.4.2	Données gravimétriques du MEM.....	118
4.4.3	Données gravimétriques du NGDC.....	120
4.4.4	Fusion des sources de données.....	122
4.5	Conclusion	130
Partie III : Calcul et validation du modèle de géoïde.....		131
Chapitre 5. : Calcul du modèle de géoïde gravimétrique avec GRAVSOFT		132
5.1	Données utilisées et prétraitements.....	132
5.1.1	Données en entrée du modèle GRAVSOFT	132
5.1.2	Modèles Numériques de Terrain (MNT)	132
5.1.3	Principe de fusion des deux MNT ETOPO1 et SRTM3	137
5.1.4	Conversion des données au format géré par GRAVSOFT.....	138
5.2	Méthodologie adoptée.....	142
5.3	Logiciels et outils	142
5.3.1	GRAVSOFT	142
5.3.2	Autres logiciels et outils	144
5.4	Calcul des effets de terrain.....	144
5.4.1	Calcul de la surface de référence	144
5.4.2	Calcul de l'effet indirect :.....	145
5.4.3	Calcul de l'effet direct	148
5.5	Calcul des anomalies résiduelles (phase de retrait).....	148
5.6	Calcul de la hauteur résiduelle du quasi-géoïde par l'intégrale de Stokes	150
5.7	Calcul du quasi-géoïde (Phase de restauration).....	152
5.8	Calcul du géoïde	156
5.8.1	Calcul de la grille des anomalies de Bouguer	156
5.8.2	Calcul des différences entre les hauteurs du quasi-géoïde et celles du géoïde.....	156

5.8.3	Calcul du géoïde selon le modèle gravimétrique	157
5.9	Conclusion	160
Chapitre 6.	Test et Validation des résultats	162
6.1	Données Utilisées	162
6.1.1	Points de validation GPS et Nivellement :	162
6.1.2	Autres GGM	164
6.2	Méthodologie	164
6.3	Logiciels et outils	165
6.4	Comparaison des GGMs issus de la mission GOCE	165
6.5	Validation de la grille obtenue selon le modèle gravimétrique	168
6.5.1	Variante ETOPO1M.....	168
6.5.2	Variante SRTM6S	169
6.5.3	Variante adoptée: SRTM3S.....	171
6.6	Comparaison avec les résultats des anciens travaux de recherche sur le calcul du géoïde au Maroc 173	
6.6.1	MGG97	173
6.6.2	MORGEO05.....	173
6.6.3	GGM12	174
6.6.4	Comparaison avec MGG97.....	174
6.6.5	Comparaison avec MORGEO05	175
6.7	Comparaison avec EGM2008	176
6.8	Conclusion	178
	Conclusion Générale.....	180
	Références bibliographiques.....	188
	Annexes :	201
	Résumés des différentes publications réalisées pendant la durée de la thèse	202
	Description du Format de données gravimétriques du BGI : EOI	211