

2.5 Identification de terrain

Un travail d'identification de terrain fut effectué pour identifier les points obscurs de la photo-interprétation, et pour collecter les informations n'étant disponibles que sur le terrain. De plus, les modifications récentes apportées aux routes, ainsi que les lignes de transmission électrique nouvellement construites furent notées.

(1) Préparation des calques superposés

Des calques superposés à base de polyester attachés sur les photographies agrandies du double utilisées lors de la photo-interprétation, et les résultats de la photo-interprétation furent transférés sur les calques superposés. Ces derniers furent apportés sur le terrain pour l'identification de terrain.

- 1) Les limites administratives, les principaux terrains, les rivières et les installations publiques furent transférées du matériel existant aux calques superposés.
- 2) Les catégories des routes, noms et divisions de villages et hameaux furent transférés.

(2) Identification de terrain

- 1) Examen des points obscurs de la photo-interprétation
- 2) Identification des résultats de la photo-interprétation
- 3) Identification des installations publiques et gouvernementales

Le GPS portable a été utilisé pour le levé des coordonnées quand l'emplacement indiqué n'était pas clair.

- 4) Etude de l'emplacement d'indication des villages et de leur dénomination

L'étude du nom des villages a été faite à l'aide d'un enregistreur vocal, l'orthographe a été confirmée par la suite.

- 5) Confirmation de la séparation entre les terres cultivées et les prés

(3) Agencement des résultats de l'identification de terrain

Lors de l'identification de terrain, des additions, effacements et modifications furent apportés aux éléments inscrits sur les calques superposés.

(4) Vérification et inspection

Les cartes d'identification de terrain ainsi corrigées furent vérifiées et inspectés, l'absence d'omissions confirmée, et les résultats furent regroupés sur une feuille de contrôle de qualité similaire à celle des résultats de la photo-interprétation.

2.6 Levé sur le géoïde

Un levé GPS fut effectué dans le cadre de la présente Étude. Le GPS est formé d'un ellipsoïde (WGS-84) ayant pour point central le centre de gravité de la terre. Toutefois, les cartes topographiques produites lors de l'Étude ont adopté l'ellipsoïde de référence (CLARKE 1880), tel que spécifié par le Mali. Les valeurs de latitude et de longitude obtenues par le levé GPS étant les valeurs des coordonnées sur WGS-84, ces valeurs devaient être transformées en valeurs de coordonnées de l'ellipsoïde CLARKE 1880 pour pouvoir être appliquées. Quant aux valeurs d'élévation, un levé topographique direct aurait dû être exécuté sur l'ensemble de la zone, mais celle-ci était trop vaste. Le levé topographique fut donc effectué au moyen du capteur GPS.

Pour cela, il fallait obtenir les paramètres permettant d'obtenir les élévations orthométriques à partir de la transformation des coordonnées entre les ellipsoïdes et l'élévation ellipsoïdale mesurée par GPS. Le levé effectué pour obtenir ces paramètres est appelé "levé sur le géoïde".

2.6.1 Transformation de l'ellipsoïde

Pour obtenir le paramètre de transformation de deux ellipsoïdes, un point de contrôle terrain doté de valeurs de coordonnées tridimensionnelles est nécessaire. Dans l'Étude, le point P272 (situé à environ 5 km au nord-ouest de Kita et utilisé dans le levé du parallèle 12) fut adopté en tant que point de contrôle terrain pour la transformation des coordonnées. Les valeurs des coordonnées des deux ellipsoïdes autour du point P272 sont indiquées ci-dessous.

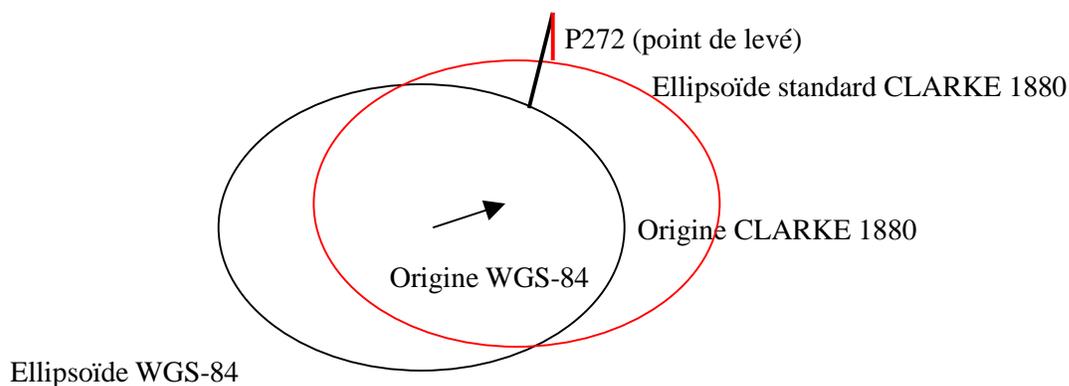


Fig. 2-6-1 Diagramme de transformation entre ellipsoïdes

Les étapes de l'obtention des paramètres de transformation entre les ellipsoïdes sont décrites ci-dessous.

Obtenir les coordonnées tridimensionnelles du centre de la terre à partir de la latitude, de la longitude et de l'élévation ellipsoïdale, telles que mesurées sur l'ellipsoïde WGS-84.

Obtenir les coordonnées tridimensionnelles du même point à partir des valeurs de latitude, de longitude et d'élévation sur l'ellipsoïde CLARKE 1880.

Obtenir la différence entre les valeurs des deux coordonnées tridimensionnelles, qui constituent les valeurs de décalage des origines (X, Y, Z).

Tableau 2-6-1 Calcul des paramètres de transformation entre ellipsoïdes

	WGS-84	CLARKE 1880
Axe semi-majeur (m)	6378137,000	6378249,145
Aplanissement	1/298,257223563	1/293,465
Latitude	13° 5' 41,5754''	13° 5' 40,629''
Longitude	-9° 30' 43,2326''	-9° 30' 38,238''
Élévation (m)	453,399	393,87
X (m)	6128357,0205	6128456,1142
Y (m)	-1026855,7584	-1026719,7991
Z (m)	1435733,8248	1435563,5443
X (m)	99,094	
Y (m)	135,960	
Z (m)	-170,281	

2.6.2 Élévation de géoïde

Tel qu'indiqué à la Fig. 2-6-2, l'élévation mesurée par le levé GPS correspond à la hauteur au-dessus de l'ellipsoïde. Puisque le plan ellipsoïdal ne correspond pas, en principe, au plan de géoïde, il n'est pas possible d'obtenir l'élévation orthométrique qu'il est possible d'obtenir par levé. Il est donc nécessaire d'effectuer un levé sur le géoïde pour connaître l'éloignement du plan de géoïde par rapport au plan ellipsoïdal. Dans la présente Etude, la hauteur au-dessus de l'ellipsoïde mesurée par levé GPS, ainsi que l'élévation mesurée par nivellement furent obtenues, et l'ondulation sur le géoïde de CLARKE 1880 fut estimée.

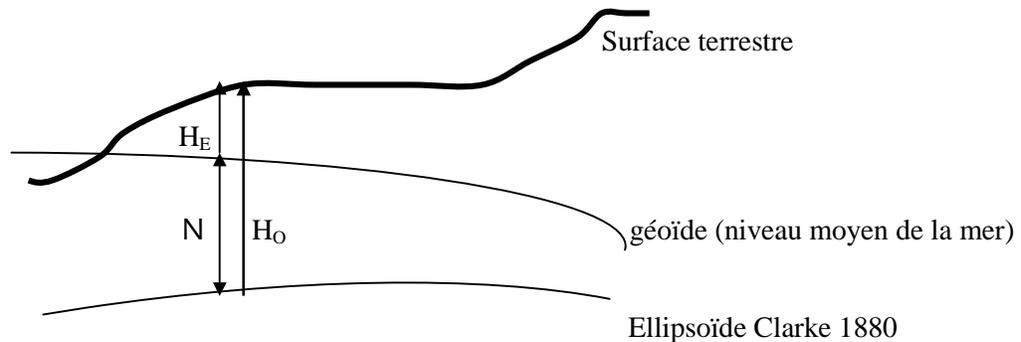
Les étapes de la procédure furent les suivantes.

Effectuer le levé GPS sur le point de repère, et obtenir les coordonnées tridimensionnelles sur WGS-84.

Transformer les coordonnées de WGS-84 sur CLARKE 1880, et obtenir la hauteur au-dessus de l'ellipsoïde (H_E) sur l'ellipsoïde CLARKE 1880.

Obtenir l'élévation géoïde (N) au point correspondant à la différence entre la hauteur au-dessus de l'ellipsoïde et l'élévation orthométrique (H_0) mesurée par nivellement.

Effectuer cette mesure sur l'ensemble de la zone cible, tracer l'élévation géoïde à chacun des points sur la carte topographique d'échelle 1/50.000, et représenter l'ondulation comme courbe de niveau pour créer la carte de géoïde.



H_0 : Hauteur orthométrique

N : Élévation géoïde

H_E : Hauteur au-dessus de l'ellipsoïde

$$H_0 = H_E + N$$

Fig. 2-6-2 Hauteur au-dessus de l'ellipsoïde et élévation géoïde

Concrètement, les travaux furent effectués selon la procédure suivante.

(1) Reconnaissance des points de repère existants (travaux de la première année)

Une voie ferrée traverse d'est en ouest la zone de Kita, située au cœur de la zone d'étude. La ligne de niveau 1^{er} ordre s'étend le long de cette voie ferrée, la ligne de niveau 2^{ème} ordre se poursuit jusqu'à l'extérieur de la zone d'étude au nord, et la ligne de niveau 3^{ème} ordre passe autour du barrage de Manantali à l'ouest de la zone d'étude. Par conséquent, il fut décidé d'établir les lignes de niveau au nord et au sud, là où la route s'étend de Kita vers le nord, et le long de la route qui mène vers le sud. Il y avait un point de repère, le Mle103, à proximité de la ligne de niveau prévue aux alentours de Kita. Les résultats de mesure en ce point et au point de repère adjacent, le Mle104, ont donné une erreur de mesure de 1mm seulement. Le point Mle103 fut donc adopté pour origine dans cette zone. La ligne menant à Diéma au nord fut établie en tant que Ligne 1, et le point de repère 28-T sur la ligne de niveau traversant Diéma fut établi comme fin de la ligne. Les résultats de mesure du point de repère 28-T et du point de repère adjacent, le 27-T, ont donné une erreur de mesure de 21 mm. La ligne raccordant Kita au sud-ouest fut établie en tant que Ligne 2, se terminant au point de repère 36 de 3^{ème} ordre à Bantakoto. Le point de repère adjacent 37 fut mesuré, et on obtint une erreur de mesure de 7 mm. La ligne

menant de Kita à Galé au sud fut établie en tant que Ligne 3. Puisqu'il n'y avait pas de point de repère existant à la fin de cette ligne, il ne fut pas possible de l'inclure à l'aide d'un point de repère quelconque. Notre levé visant à obtenir l'ondulation géoïde, un point de repère obtenu par levé aller-retour (*round-trip survey*) fut adopté.

(2) Installation des points de repère (travaux de première année)

21 points de repère furent établis à intervalles d'environ 10 km sur une distance de 200,1 km sur la Ligne 1 qui va de Kita à Diéma au nord, 9 points de repère à intervalles d'environ 10 km sur une distance de 55,6 sur la Ligne 2 jusqu'à Bantakoto, et 6 points de repère sur une distance de 88,4 km sur la Ligne 3 jusqu'à Galé. Les spécifications des pierres de repère servant de points de repère sont indiquées ci-dessous. De plus, 4 points de repère furent respectivement posés dans les villes de Kita et Diéma pour utilisation dans le développement urbain futur.

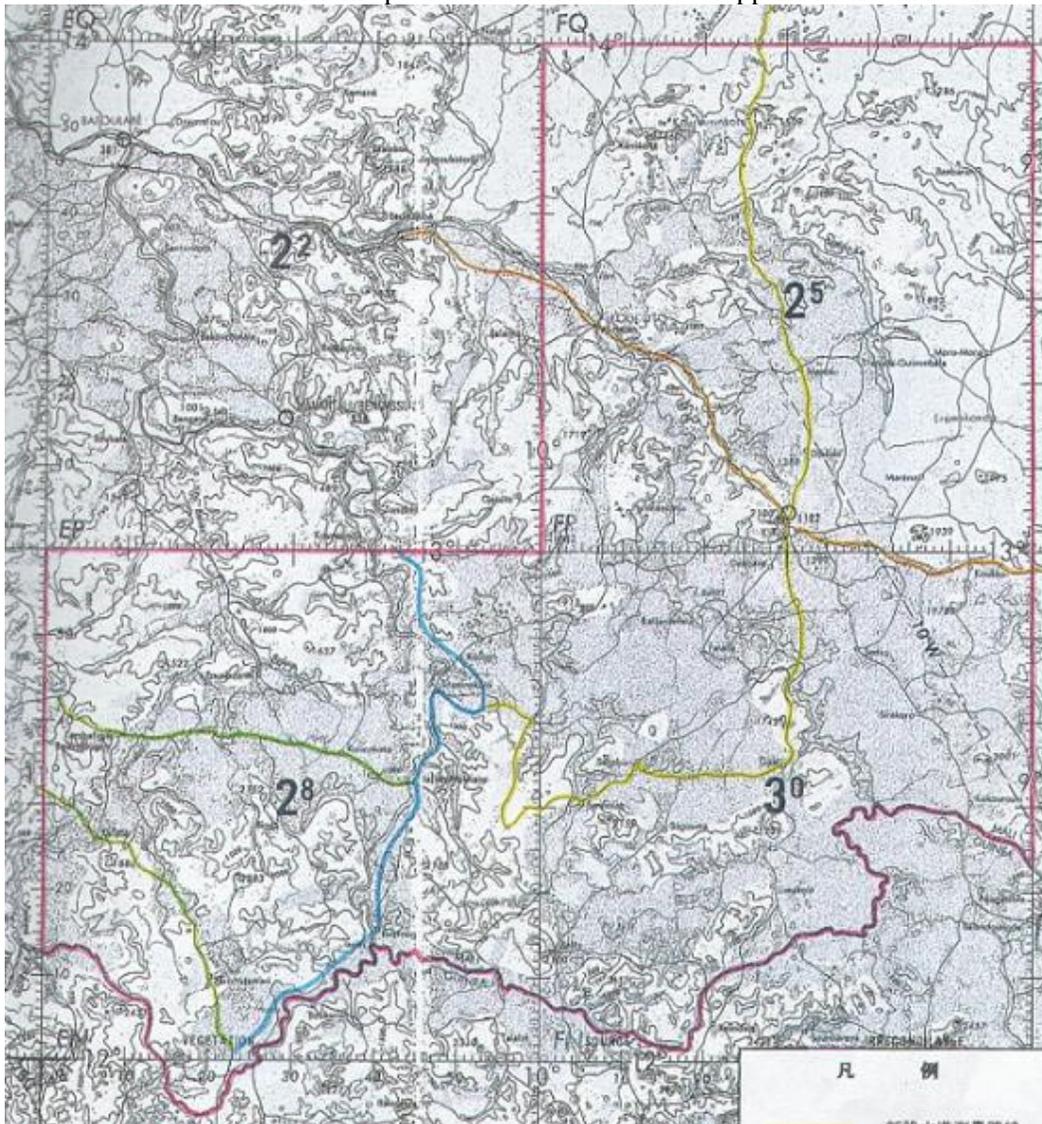


Fig. 2-6-3 Carte du réseau de nivellement topographique existant et lignes de niveau réalisées par l'équipe d'étude

(3) Nivellement de 3^{ème} ordre (travaux de première année)

Le nivellement de 3^{ème} ordre fut effectué sur une distance de 376,9 km, des pierres servant de points de repère ayant été posés sur les trois lignes (Ligne 1, Ligne 2 et Ligne 3).



Fig. 2-6-4 Nivellement topographique

Tableau 2-6-2 Nouveaux repères géodésiques et leurs élévations

Route	Repère géodésique	Elévation	Remarques
Route 1	Mle103	332,845	Repère géodésique existant
	B101	314,126	
	B102	332,548	
	B103	354,737	
	B104	330,653	
	B105	324,403	
	B106	334,053	
	B107	290,039	
	B108	192,043	
	B109	230,188	
	B110	268,129	
	B111	279,962	
	B112	244,853	
	B113	255,639	
	B114	275,066	
	B115	296,005	
	B116	292,879	
	B117	298,416	
	B118	290,719	
	B119	273,965	
B120	261,771		
B121	253,373		
	28-T	252,713	Repère géodésique existant

Route	Repère géodésique	Elévation	Remarques
Route 2	Mle103	332,845	Repère géodésique existant
	B201	305,620	
	B202	317,709	
	B203	281,206	
	B204	283,408	
	B205	319,444	
	B206	292,234	
	B207	275,831	
	B208	266,471	
	B209	266,537	
	36	273,027	Repère géodésique existant
Route 3	Mle103	332,845	Repère géodésique existant
	B301	313,644	
	B302	302,365	
	B303	302,435	
	B304	285,347	
	B305	322,126	
	B306	309,257	
	B1001	331,390	Dans la Ville de Kita
	B1002	329,793	Dans la Ville de Kita
	B1003	352,146	Dans la Ville de Kita
	B1004	352,409	Dans la Ville de Kita
	B2001	251,307	Dans la Ville de Diéma
	B2002	252,416	Dans la Ville de Diéma
	B2003	251,826	Dans la Ville de Diéma
	B2004	251,717	Dans la Ville de Diéma

(4) Levé GPS sur les points de repère et piquage (travaux de deuxième année)

Le levé GPS fut effectué sur les points où fut effectué le nivellement, pour obtenir leur élévation géoïde, ainsi que sur les points de repère existants.



Fig. 2-6-5 Levé GPS

Tableau 2-6-3 Repères géodésiques et élévation ellipsoïdale par levé GPS (Ellipsoïde

CLARKE 1880)

Repère géodésique	X (Est)	Y (Nord)	Élévation ellipsoïdale	Remarques
BM005	299.003,648	1.398.294,512	263,510	Repère géodésique existant
BM007	309.817,658	1.397.209,149	257,975	Repère géodésique existant
BM019	319.903,252	1.342.724,406	463,145	Repère géodésique existant
BM020	320.764,248	1.336.809,783	401,775	Repère géodésique existant
BM034	374.422,342	1.414.248,804	230,759	Repère géodésique existant
BM036	379.908,067	1.403.535,144	273,027	Repère géodésique existant
BM038	368.819,073	1.407.485,633	219,481	Repère géodésique existant
BM042	364.827,717	1.390.501,105	227,377	Repère géodésique existant
BM043	363.957,774	1.387.061,646	237,802	Repère géodésique existant
BM059	323.926,457	1.323.090,225	339,491	Repère géodésique existant
BM082	404.822,828	1.486.859,129	179,571	Repère géodésique existant
BM087	419.911,775	1.480.196,342	218,770	Repère géodésique existant
BM092	429.205,099	1.467.682,524	297,251	Repère géodésique existant
BM096	434.675,265	1.455.541,879	291,936	Repère géodésique existant
BM114	475.817,357	1.433.537,911	329,710	Repère géodésique existant
B101	447.463,541	1.450.768,163	314,126	Nouveau repère
B102	451.103,641	1.459.236,707	332,584	Nouveau repère
B103	449.476,682	1.466.689,831	354,737	Nouveau repère
B104	449.597,482	1.476.922,896	330,653	Nouveau repère
B105	445.855,506	1.485.695,107	324,403	Nouveau repère
B106	444.626,701	1.493.596,013	334,053	Nouveau repère
B107	438.715,000	1.501.473,783	290,039	Nouveau repère
B108	437.356,805	1.514.616,427	192,043	Nouveau repère
B109	436.516,819	1.522.985,770	230,188	Nouveau repère
B110	437.922,484	1.532.242,483	268,129	Nouveau repère
B111	441.332,017	1.541.397,468	279,962	Nouveau repère
B112	440.603,188	1.546.753,034	244,853	Nouveau repère
B113	441.567,200	1.554.476,020	255,639	Nouveau repère
B114	445.899,778	1.561.082,362	275,066	Nouveau repère
B115	451.689,547	1.570.512,179	296,005	Nouveau repère
B116	458.939,194	1.576.505,359	292,879	Nouveau repère
B117	464.540,427	1.582.906,614	298,416	Nouveau repère
B118	467.410,629	1.587.441,819	290,719	Nouveau repère
B119	471.799,722	1.593.574,248	273,965	Nouveau repère
B120	476.318,524	1.594.263,828	261,771	Nouveau repère
B121	481.066,384	1.601.772,035	253,373	Nouveau repère
B201	437.030,491	1.440.357,843	305,620	Nouveau repère
B202	430.151,678	1.440.150,044	317,709	Nouveau repère
B203	420.968,604	1.434.685,517	281,206	Nouveau repère
B204	413.298,857	1.434.794,670	283,408	Nouveau repère
B205	405.118,900	1.433.487,675	319,444	Nouveau repère
B206	397.569,363	1.423.913,352	292,234	Nouveau repère
B207	395.669,188	1.416.235,815	275,831	Nouveau repère

Repère géodésique	X (Est)	Y (Nord)	Élévation ellipsoïdale	Remarques
B208	391.843,092	1.413.375,100	266,471	Nouveau repère
B209	390.113,591	1.400.755,677	266,537	Nouveau repère
B301	447.268,479	1.433.331,681	313,644	Nouveau repère
B302	448.629,920	1.425.601,485	302,365	Nouveau repère
B303	451.477,742	1.417.685,452	302,435	Nouveau repère
B304	446.248,038	1.408.103,317	285,347	Nouveau repère
B305	447.018,454	1.401.402,809	322,126	Nouveau repère
B306	445.441,261	1.391.404,812	309,257	Nouveau repère

(5) Calculs et indication des élévations de géoïde (travaux de deuxième année)

Les résultats du levé GPS effectué sur les points de repère furent transformés en ellipsoïde de référence CLARKE 1880, tel que spécifié par le Mali, et les élévations de géoïde furent obtenues à partir de l'écart d'élévation entre les hauteurs au-dessus de l'ellipsoïde et celles mesurées par nivellement.

Tableau 2-6-4 Calculs des élévations de géoïde à partir de la différence entre élévation ellipsoïdale et élévation

Repère géodésique	Élévation ellipsoïdale	Élévation	élévation de géoïde
P272	453,399	393,870	59,529
BM017	537,995	478,015	59,980
BM019	523,200	463,145	60,055
BM020	462,159	401,775	60,384
BM034	290,543	230,759	59,784
BM036	332,612	273,027	59,585
BM038	279,261	219,481	59,780
BM042	287,262	227,377	59,885
BM043	297,626	237,802	59,824
BM82	238,742	179,571	59,171
BM87	277,581	218,770	58,811
BM92	356,548	297,251	59,297
BM96	351,384	291,936	59,448
BM114	389,350	329,710	59,640
B101	373,653	314,126	59,527
B102	392,109	332,584	59,525
B103	414,228	354,737	59,491
B104	390,032	330,653	59,379
B105	383,684	324,403	59,281
B106	393,154	334,053	59,101
B107	348,973	290,039	58,934
B108	250,762	192,043	58,719
B109	288,878	230,188	58,690
B110	326,807	268,129	58,678
B111	338,588	279,962	58,626
B112	303,425	244,853	58,572
B113	314,165	255,639	58,526
B114	333,561	275,066	58,495
B115	354,395	296,005	58,390
B116	351,178	292,879	58,299
B117	356,613	298,416	58,197
B118	348,848	290,719	58,129
B119	332,003	273,965	58,038

Repère géodésique	Élévation ellipsoïdale	Élévation	élévation de géoïde
B120	319,780	261,771	58,009
B121	311,302	253,373	57,929
B201	365,137	305,620	59,517
B202	377,182	317,709	59,473
B203	340,682	281,206	59,476
B204	342,837	283,408	59,429
B205	378,873	319,444	59,429
B206	351,726	292,234	59,492
B207	335,413	275,831	59,582
B208	326,068	266,471	59,597
B209	326,149	266,537	59,612
B301	373,217	313,644	59,573
B302	361,931	302,365	59,566
B303	361,989	302,435	59,554
B304	344,928	285,347	59,581
B305	381,727	322,126	59,601
B306	368,954	309,257	59,697
B1001	390,969	331,390	59,579
B2003	309,834	251,826	58,008
B2004	309,814	251,717	58,097

Il ressortit clairement que le plan de géoïde de la zone d'étude était situé à 60 m en moyenne au-dessus de l'ellipsoïde CLARKE 1880.

(6) Production de cartes de géoïde (travaux de deuxième année)

Les élévations de géoïde obtenues ci-dessus furent tracées sur les cartes topographiques d'échelle 1/50.000. La valeur maximale des élévations de géoïde était 61.000 m, et la valeur minimale 57 929 m, la distance entre les deux points étant ainsi d'environ 280 m. Tel que décrit ci-dessus, il ressortit clairement que l'ondulation géoïde de cette zone d'étude s'élevait graduellement de 2,5 m au-delà de 280 km, soit environ 10 cm par intervalles de 10km. Par conséquent, les courbes de niveau furent représentées à intervalles de 10 cm pour compléter la carte de géoïde. Les hauteurs au-dessus de l'ellipsoïde obtenues par levé GPS purent être corrigées avec les valeurs de correction géoïde qui furent aisément obtenues par traçage des points à mesurer, et purent également être transformées en valeurs d'élévation obtenues par nivellement.

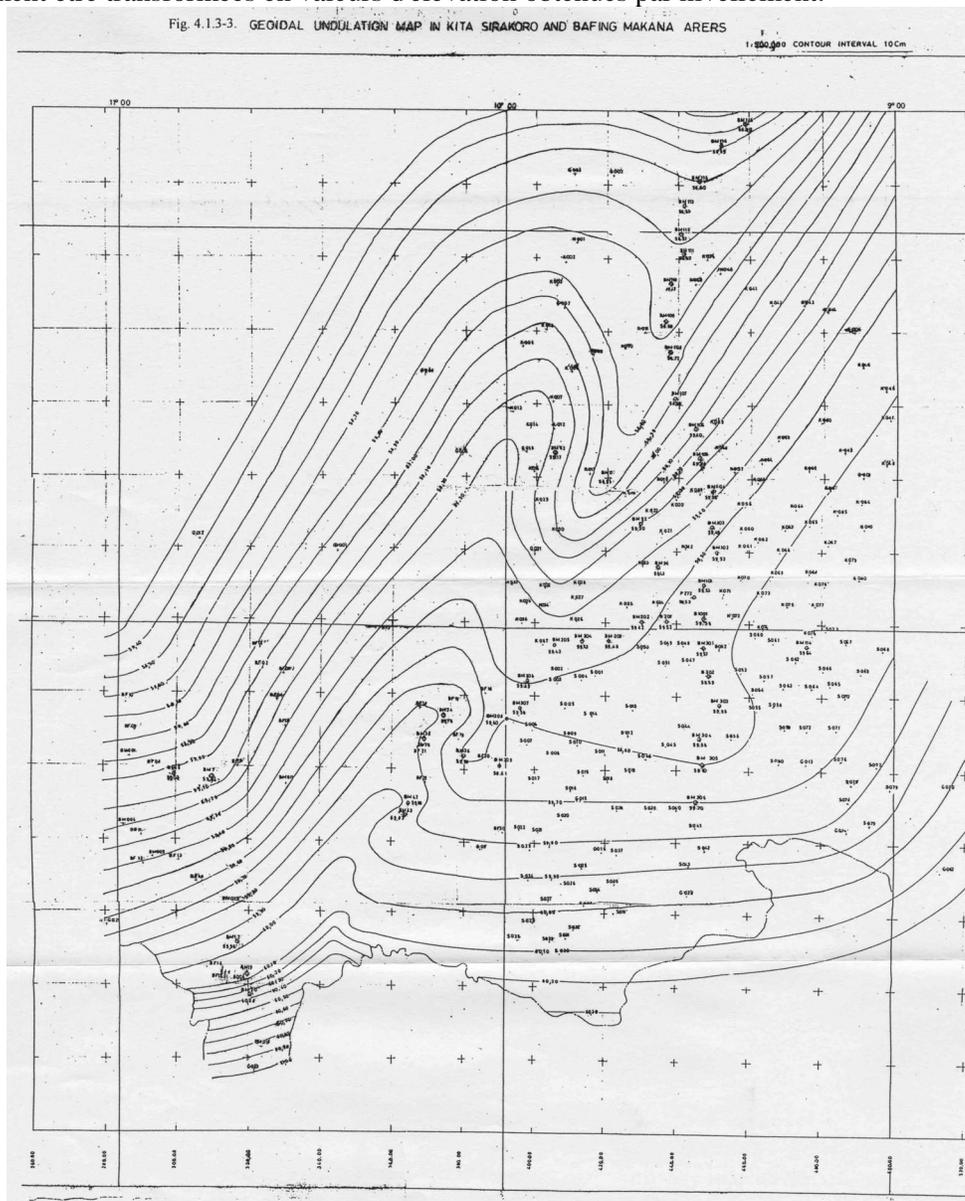


Fig. 2-6-6 Carte d'ondulation de géoïde (courbes de niveau: intervalle de 10 cm)

2.7 Levé des points de contrôle terrain

Les points de contrôle terrain furent établis sur des positions adéquates pour l'exécution de la triangulation spatiale au moyen des images SPOT, et les coordonnées de ces points de contrôle terrain furent mesurées par levé GPS. Les étapes de ces travaux sont résumées ci-dessous.

(1) Reconnaissance des points de contrôle terrain existants

Les points de contrôle terrain de la zone d'étude consistaient en points astronomiques et en points d'intersection établis lors du levé du parallèle 12. La précision des points astronomiques étant toutefois peu élevée, il fut décidé de ne pas les utiliser dans le cadre de l'Etude. Les levés du parallèle 12 ont été effectués en commun en 1973 par les Etats-Unis, la France et le Mali etc. dans la zone allant de la frontière de l'Egypte et du Soudan à Dakar, Sénégal, le long du 12^e méridien. La polygonaion et les levés astronomiques ont permis d'obtenir des positions de grande précision de 0,3 sec, pour la longitude, la latitude et l'erreur moyenne probable pour l'azimut. C'est pourquoi ces points polygonaux furent utilisés. Par ailleurs, les repères géodésiques obtenus la première année furent utilisés comme une partie des points de contrôle, et de nouveaux points de contrôle ont été posés en cas d'insuffisance.

(2) Sélection des points de contrôle terrain

Une distribution uniforme des points de contrôle terrain fut planifiée dans la zone environnant de chaque bloc couvert par image SPOT, afin d'assurer la plus grande précision possible pour la triangulation spatiale au moyen des images satellitaires SPOT. Dans le plan de distribution des points de contrôle, les points étaient sélectionnés de telle sorte que le levé GPS puisse être effectué, que l'accès aux points en véhicule soit facile, et que le piquage soit possible.

(3) Levé GPS et piquage

Le levé des points de contrôle terrain fut effectué par levé GPS conformément au plan de distribution des points de contrôle. Les points de repère permettant le piquage furent également adoptés comme points de contrôle terrain, et 24 nouveaux points de contrôle furent ajoutés. Les fiches signalétiques furent préparées pour les nouveaux points de repère et points de contrôle terrain, faisant l'objet d'un piquage sur les images SPOT.

(4) Calculs et agencements

Les calculs du levé GPS furent effectués au moyen du logiciel SKI de Leica, pour obtenir les positions sur WGS-84 et les convertir en valeurs latitudinales et longitudinales, et en hauteurs au-dessus de l'ellipsoïde CLARKE. Les résultats des calculs furent convertis en coordonnées UTM et hauteurs orthométriques pour utilisation dans la triangulation spatiale.

(5) Préparation de feuille de contrôle de qualité

Les résultats du levé furent évalués, et les points mesurés plusieurs fois furent comparés les uns avec les autres pour vérifier l'exactitude des mesures. Les résultats de cette évaluation furent regroupés sur une feuille de contrôle de qualité.

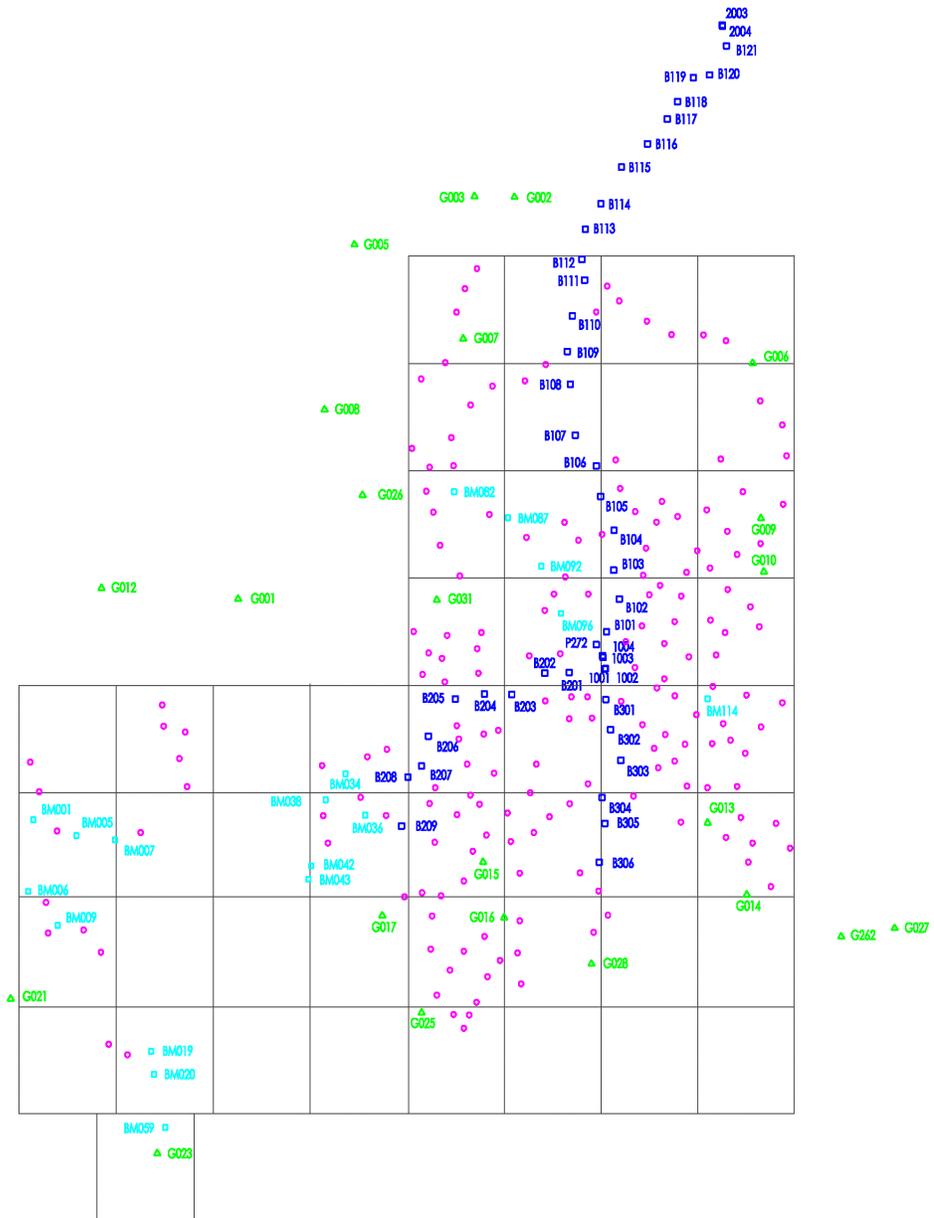
(6) Production d'un tableau de résultat

Un tableau de résultat pour les points de contrôle terrain fut préparé, tel qu'indiqué ci-dessous.

Tableau 2-7-1 Coordonnées et élévation des points de contrôle terrain

Point	Latitude	Longitude	C oordonnées UTM		Elévation
	Deg.min,sec	Deg,min,sec	Est	Nord	
P272	13 5 40,629	9 30 38,238	444.646,753	1.447.525,712	393,870
B101	13 7 26,368	9 29 4,904	447.463,541	1.450.768,163	314,126
B102	13 12 2,282	9 27 4,512	451.103,641	1.459.236,707	332,584
B103	13 16 4,820	9 27 59,025	449.476,682	1.466.689,831	354,737
B104	13 21 37,961	9 27 55,647	449.597,482	1.47.922,896	330,653
B105	13 26 23,296	9 30 0,637	445.855,506	1.485.695,107	324,403
B106	13 30 40,420	9 30 42,048	444.626,701	1.493.596,013	334,053
B107	13 34 56,446	9 33 59,307	438.715,000	1.501.473,783	290,039
B108	13 42 4,177	9 34 45,543	437.358,805	1.514.616,427	192,043
B109	13 46 36,557	9 35 14,186	436.516,819	1.522.985,770	230,188
B110	13 51 37,999	9 34 28,113	437.922,484	1.532.242,483	268,129
B111	13 56 36,278	9 32 35,222	441.332,017	1.541.397,468	279,962
B112	13 59 30,560	9 32 59,925	440.603,188	1.546.753,034	244,853
B113	14 3 42,033	9 32 28,381	441.567,200	1.554.476,020	255,639
B114	14 7 17,397	9 30 4,389	445.899,778	1.561.082,362	275,066
B115	14 12 24,741	9 26 51,890	451.689,547	1.570.512,179	296,005
B116	14 15 40,253	9 22 50,335	458.939,194	1.576.505,359	292,879
B117	14 19 8,908	9 19 43,708	464.540,427	1.582.906,614	298,416
B118	14 21 36,668	9 18 8,094	467.410,629	1.587.441,819	290,719
B119	14 24 56,468	9 15 41,784	471.799,722	1.593.574,248	273,965
B120	14 25 19,069	9 13 10,896	476.318,524	1.594.263,828	261,771
B121	14 29 23,613	9 10 32,523	481.066,384	1.601.772,035	253,373
B201	13 1 46,746	9 34 50,614	437.030,491	1.440.357,843	305,620
B202	13 1 39,442	9 38 38,967	430.151,678	1.440.150,044	317,709
B203	12 58 40,743	9 43 43,309	420.968,604	1.434.685,517	281,206
B204	12 58 43,548	9 47 57,888	413.298,857	1.434.794,670	283,408
B205	12 58 0,128	9 52 29,237	405.118,900	1.433.487,675	319,444
B206	12 52 47,587	9 56 38,622	397.569,363	1.423.913,352	292,234
B207	12 48 37,436	9 57 40,713	395.669,188	1.416.235,815	275,831
B208	12 47 10,353	9 59 47,274	391.843,092	1.413.375,100	266,471
B209	12 40 12,835	10 0 42,976	390.113,591	1.400.755,677	266,537
B301	12 57 58,707	9 29 10,273	447.268,479	1.433.331,681	313,644
B302	12 53 47,129	9 28 24,610	448.629,920	1.425.601,485	302,365
B303	12 49 29,582	9 26 49,657	451.477,742	1.417.685,452	302,435
B304	12 44 17,317	9 29 42,533	446.248,038	1.408.103,317	285,347
B305	12 40 39,222	9 29 16,569	447.018,454	1.401.402,809	322,126
B306	12 35 13,628	9 30 8,223	445.441,261	1.391.404,812	309,257
BM001	12 40 45,734	10 57 41,038	286.991,280	1.402.353,800	215,3
BM005	12 38 36,499	10 51 2,037	299.003,648	1.398.294,512	263,510
BM006	12 30 45,747	10 58 25,669	285.505,856	1.383.925,461	177,880
BM007	12 38 3,601	10 45 3,486	309.817,658	1.397.209,149	257,975
BM009	12 26 1,635	10 53 48,656	293.808,239	1.375.133,502	182,070
BM019	12 8 32,567	10 39 18,115	319.903,252	1.342.724,406	463,145

Point	Latitude	Longitude	C oordonnées UTM		Elévation
	Deg,min,sec	Deg,min,sec	Est	Nord	
BM020	12 5 20,244	10 38 48,459	320.764,248	1.336.809,783	401,775
BM034	12 47 29,923	10 9 25,096	374.422,342	1.414.248,804	230,759
BM036	12 41 41,963	10 6 21,660	379.908,067	1.403.535,144	273,027
BM038	12 43 48,949	10 12 29,869	368.819,073	1.407.485,633	219,481
BM042	12 34 35,496	10 14 39,519	364.827,717	1.390.501,105	227,377
BM043	12 32 43,408	10 15 7,802	363.957,774	1.387.061,646	237,802
BM059	11 57 54,344	10 37 1,225	323.926,457	1.323.090,225	339,491
BM082	13 26 57,450	9 52 45,274	404.822,828	1.486.859,129	179,571
BM087	13 23 22,172	9 44 22,835	419.911,775	1.480.196,342	218,770
BM092	13 16 35,656	9 39 12,764	429.205,099	1.467.682,524	297,251
BM096	13 10 0,876	9 36 10,008	434.675,265	1.455.541,879	291,936
BM114	12 58 6,712	9 13 22,688	475.817,357	1.433.537,911	329,710
G001	13 11 51,362	10 26 11,392	344.330,497	1.459.302,940	165,5
G002	14 8 12,430	9 43 30,987	421.720,139	1.562.836,156	243,0
G003	14 8 16,878	9 49 44,592	410.518,944	1.563.009,921	257,8
G005	14 1 29,800	10 8 24,264	376.886,121	1.550.643,819	210,6
G006	13 45 3,832	9 6 25,550	488.421,891	1.520.062,553	262,9
G007	13 48 23,789	9 51 25,192	407.370,286	1.526.367,549	189,8
G008	13 38 22,807	10 12 56,700	368.496,675	1.508.070,537	132,0
G009	13 23 23,074	9 5 7,723	490.745,053	1.480.105,922	335,7
G010	13 15 54,907	9 4 41,325	491.534,686	1.466.339,475	335,7
G012	13 13 14,988	10 47 23,581	306.043,233	1.462.119,051	117,1
G013	12 40 48,730	9 13 21,734	475.818,597	1.401.655,632	332,0
G014	12 30 45,073	9 7 18,676	486.760,354	1.383.107,134	327,2
G015	12 35 15,610	9 48 6,426	412.907,697	1.391.546,375	336,8
G016	12 27 29,241	9 44 48,996	418.824,598	1.377.203,332	419,7
G017	12 27 41,606	10 3 39,730	384.688,468	1.377.699,394	365,1
G021	12 15 45,262	11 1 0,514	280.620,853	1.356.287,252	182,2
G023	11 54 16,451	10 38 15,878	321.628,305	1.316.408,795	310,3
G025	12 14 8,758	9 57 31,877	395.705,000	1.352.687,879	388,8
G026	13 26 27,653	10 6 58,961	379.146,430	1.486.047,703	183,0
G027	12 26 3,981	8 44 25,809	528.203,266	1.374.484,217	502,7
G028	12 21 3,414	9 31 18,049	443.283,025	1.365.293,949	348,6
G030	12 37 28,103	8 51 22,316	515.617,428	1.395.487,369	384,1
G031	13 11 52,765	9 55 23,512	399.961,173	1.459.084,459	303,3
G262	12 24 53,424	8 52 42,131	513.220,256	1.372.306,357	428,2



POINT GPS
 POINT DE REPERE
 POINT DE NIVELLEMNET
 POINT POUR LA CORRECTION DE HAUTEUR

Fig. 2-7-1 Cartes d'emplacement des points de contrôle terrain

2.8 Levé des points d'élévation supplémentaires

D'après l'étude jusqu'ici, étant donné l'insuffisance de l'exactitude des valeurs d'élévation des images SPOT pour la représentation des courbes de niveau de 13 et 20 m, environ 273 points d'élévation additionnels (incluant 24 points de contrôle terrain) firent l'objet d'un levé afin de permettre une hausse du degré d'exactitude. On prit soin de distribuer ces points d'élévation supplémentaires uniformément sur l'ensemble de la zone d'étude. Les résultats du levé GPS furent transformés en coordonnées de l'ellipsoïde CLARKE, et corrigés au moyen de la carte de géoïde, afin d'obtenir les élévations. Les élévations obtenues furent utilisées comme données de contrôle pour les courbes de niveau représentées dans le processus de traçage numérique.

2.9 Triangulation spatiale

Les éléments d'indexation de chaque image SPOT furent obtenus pour l'exécution du traçage numérique au moyen des images SPOT. La JICA prêta 20 scènes d'images stéréo à l'Equipe d'étude, et la couverture de la totalité de la zone d'étude s'avéra possible avec 19 de ces scènes. Par conséquent, la triangulation spatiale de ces 19 scènes d'images SPOT fut exécutée pour déterminer les éléments d'indexation de chaque image et les coordonnées des points longitudinaux (*pass points*) et points de latéraux. La triangulation spatiale fut exécutée au Japon.

Concrètement, les travaux de triangulation spatiale furent réalisés selon la procédure suivante.

(1) Préparatifs

D'abord, la densité des images satellitaires fut ajustée pour uniformiser la densité de chacune des scènes d'image, au moyen de la fonction de filtrage du logiciel de traitement d'image PHOTOSHOP.

Ensuite, le fichier des points de contrôle terrain fut élaboré, en divisant les points de contrôle terrain en points de contrôle dotés de coordonnées XYH obtenues par observation GPS, et en points de repère par lesquels on ne disposait que de la hauteur.

(2) Sélection et observation des points

A partir des images à densité uniformisée, les points de contrôle terrain et les points longitudinaux (*pass points*) furent sélectionnés, et l'orientation relative fut établie à l'aide de ces points. Pour la transcription des points de contrôle terrain, on se référa aux images satellitaires pour lesquelles la description des points (points GPS et points de repère) et le piquage avaient été effectués. Qui plus est, 3 points latéraux ou plus furent ajoutés entre les lignes pour consolider le raccordement de ces dernières.

(3) Modification

Toutes les scènes des images satellitaires furent soumises à une orientation absolue au moyen du logiciel de triangulation spatiale SOCET SET (fabricant Leica Helava, Suisse) pour les images satellitaires pour effectuer la modification des calculs.

Le résultat de la modification fut vérifié, les points de contrôle terrain comportant une erreur résiduelle considérable firent l'objet d'une nouvelle vérification et furent mesurés à nouveau ; il fut ainsi confirmé que les erreurs résiduelles se situaient à l'intérieur des limites avant que la modification ne soit terminée.

L'élément orbital fut enregistré sur l'en-tête des données d'image satellitaire, et parmi les 19 scènes, certaines furent acquises sur le même élément orbital. Ces certains furent appelés "segment", et 11 segments au total ont été obtenus au cours de cette étude. La méthode du calcul d'ajustement par scène est aussi utilisable, mais l'adoption de ces segments en tant que scène (2 scènes au moins) a permis de réduire au minimum le nombre de points de contrôle terrain. Par conséquent, un logiciel de triangulation spatiale pour image satellitaire permettant d'intégrer les éléments orbitaux aux calculs d'ajustement a aussi été employé pour cette étude.

Le nombre de points utilisés pour les corrections ainsi que les écarts des types généraux sont comme suit.

Tableau 2-9-1 Résultats des calculs d'ajustement de la triangulation spatiale

Entrée	Points longitudinaux	547
	Points de contrôle terrain sur le plan horizontal	23
	Points de contrôle terrain sur le plan vertical	43
	Points latéraux	102
Itats	Ecart des types X	9.558m
	Y	14.228m
	H	5.095m

Le tableau des résultats finals et la feuille de contrôle de qualité furent regroupés sur la base de ces résultats.

2.10 Création de modèles numériques de terrain

Les résultats de la triangulation spatiale et les images satellitaires SPOT furent utilisés pour créer les modèles numériques de terrain (MNT) à grilles de 100 m, au moyen du programme de génération MNT automatique SupreSoft (fabriqué en Chine). Les étapes de la création des MNT sont décrites ci-dessous.

(1) Mesure du modèle interne

L'élévation du sol de chaque modèle fut obtenue automatiquement par la méthode de combinaison stéréo. Comme des points permettant la corrélation entre images purent être sélectionnés, des levés d'élévation de points irréguliers (TIN) fut appliquée.

Les points obscurs et les champs à texture inégale des images, présentant une faible exactitude de combinaison, furent d'abord éliminés de la plage de génération automatique. De plus, comme le sommet des arbres était mesuré dans les zones boisées, des modèles tridimensionnels furent générés par traceur numérique, les élévations furent mesurées manuellement et les corrections apportées.

Les parties des images satellitaires ne pouvant pas faire l'objet de l'observation tridimensionnelle à cause de la fumée des feux allumés dans les champs et des nuages elles furent compensées par des données tridimensionnelles mesurées en photographie aérienne.

(2) Intégration des données DEM

Des données DEM de maille carrée furent produites à partir des données TIN créées pour chaque modèle furent fusionnées en un seul fichier MNT.

(3) Acquisition des lignes topographiques

Les lignes principales en relief comme les principales routes, rivières, arête et lignes de ravin etc. furent obtenues en tant que lignes cassées pour représenter les courbes de niveau reproduisant le terrain avec exactitude.

(4) Création de MNT

Des MNT d'intervalles de 100 m furent créés à partir du fichier des MNT fusionnés, et les données de ligne topographique furent combinées aux MNT pour créer les données topographiques (rivières, courbes de niveau etc.).