

INSTITUT GEOGRAPHIQUE DU MALI
MINISTERE DE L'EQUIPEMENT, DE L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE,
DE L'ENVIRONNEMENT ET DE L'URBANISME, REPUBLIQUE DU MALI (IGM)

**ETUDE
SUR
LA CARTE DE BASE
DE LA REPUBLIQUE DU MALI
DANS LA ZONE DE KITA**

**RAPPORT FINAL
(SOMMAIRE)**

OCTOBRE 2001

ASIA AIR SURVEY CO., LTD.

S S F

J R

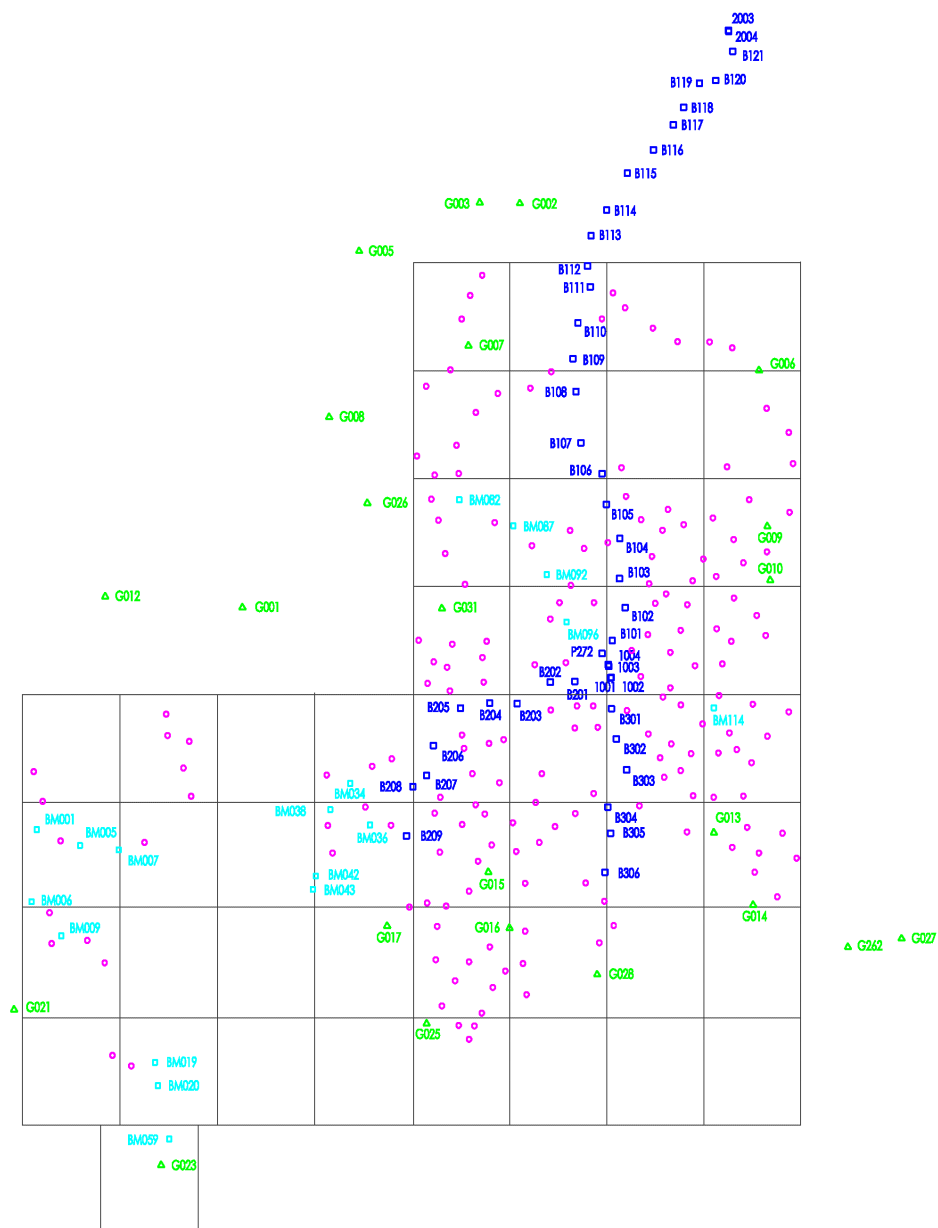
01-147

Si nécessaire, le taux de charge d'août 2001 pourra être appliqué.

100 JPY = 612,745 F CFA



Carte de situation des points de contrôle terrain

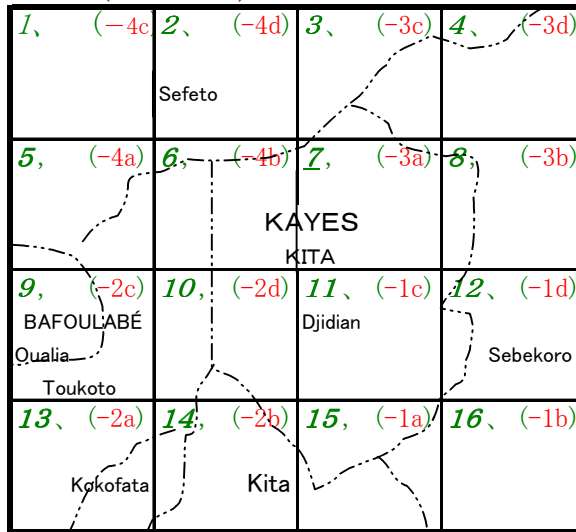


- GPS Point
- Bench mark
- Leveling point
- Point for correction of height

Carte D'index

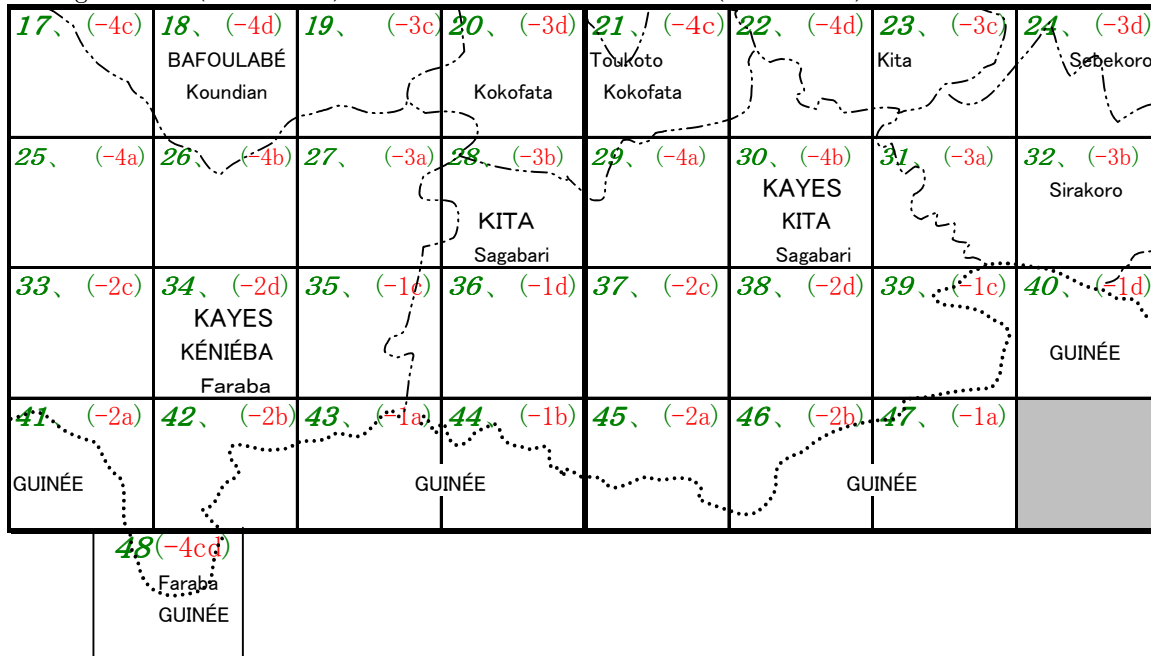
Index Map

KITA (ND-29-IX)



Bafing-Makana(ND-29- II)

Sirakoro (ND-29-III)

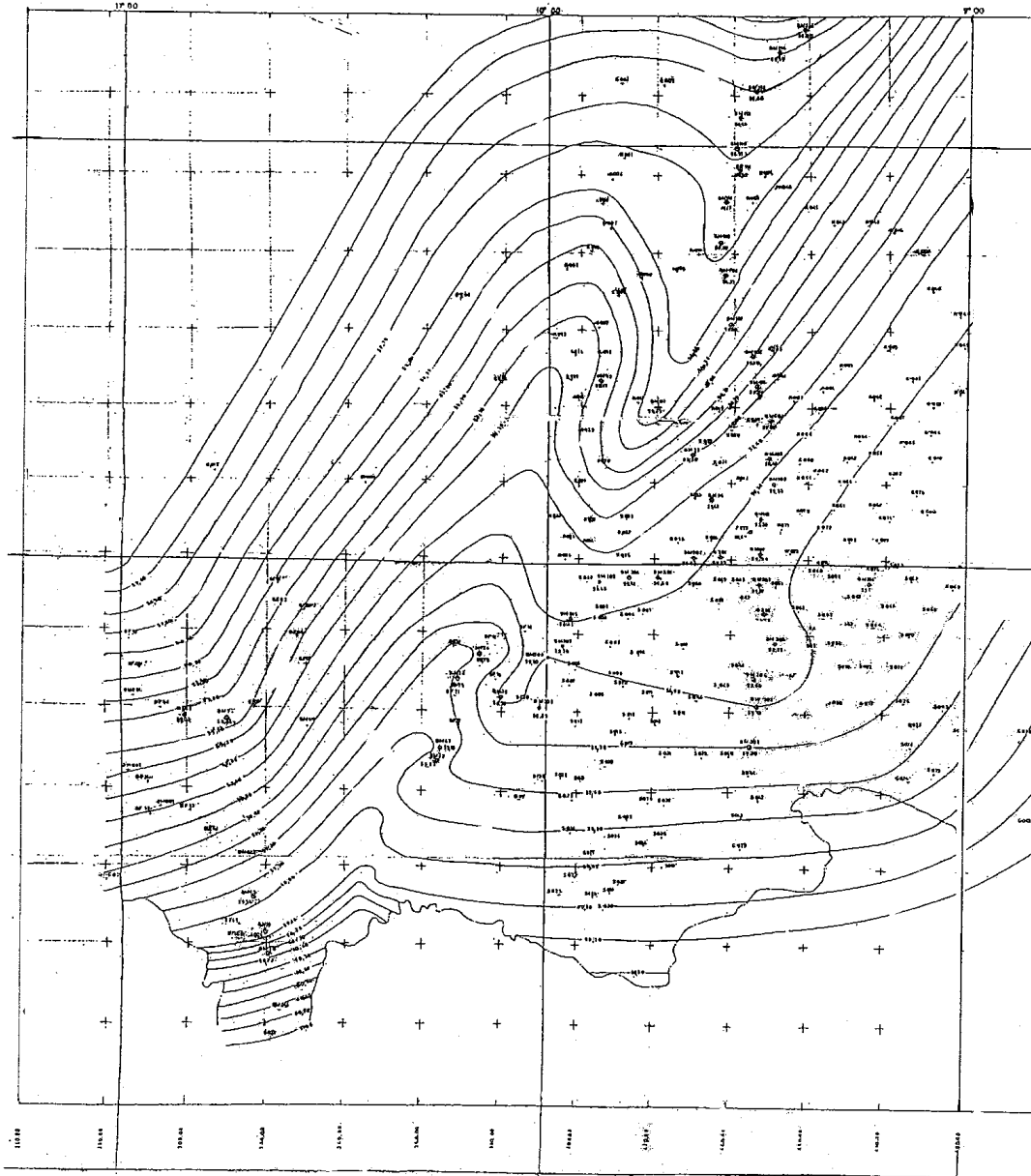


Dinguiraye (NC-29-XX)

Carte de géoïde

Geoid map GEOIDAL UNDULATION MAP IN KITA SIRAKORO AND BAFING MAKANA ARERS

1:50,000 CONTOUR INTERVAL 10CM



Avant-propos

En réponse à la demande du gouvernement de la République du Mali, le gouvernement du Japon a décidé de mener une étude de développement sur la carte de base de la République du Mali dans la zone de Kita. Cette étude a été confiée à l'Agence japonaise de coopération internationale (JICA).

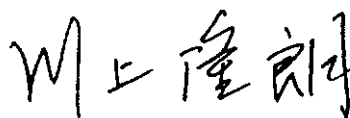
La JICA a sélectionné une équipe d'étude dirigée par M. Junichi Koseki d'Asia Air Survey Co., Ltd. qui fut dépêchée au Mali à quatre reprises entre octobre 1998 et août 2001.

L'équipe a par la suite eu des discussions avec des représentants officiels concernés du gouvernement de la République du Mali, et a mené des enquêtes sur place dans la zone d'étude. Après son retour au Japon, l'équipe a poursuivi ses études et rédigé le présent rapport final.

J'espère que ce rapport contribuera à la promotion du projet et au renforcement des relations amicales entre le Japon et la République du Mali.

En terminant, je tiens à exprimer mes plus sincères remerciements à l'attention des représentants officiels concernés du gouvernement de la République du Mali qui ont bien voulu apporter une aide précieuse à notre équipe.

Octobre 2001

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized Japanese characters: '川上隆明' (Kawakami Takao).

Takao Kawakami

Président de Agence japonaise
de coopération internationale

Le octobre 2001

A
M. Takao Kawakami
Président
Agence japonaise de
coopération internationale

Lettre de présentation

Monsieur le Président,

Nous avons le plaisir de vous soumettre le rapport final pour l'Étude sur la carte de base de la République du Mali dans la zone de Kita.

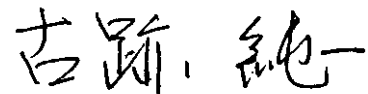
L'Équipe d'étude formée par Asia Air Survey Co., Ltd (AAS) a exécuté des levés en République du Mali pendant la période s'étendant du mois d'octobre 1998 au mois d'octobre 2001, conformément au contrat signé avec l'Agence Japonaise de Coopération Internationale.

Les résultats de cette étude, compilés dans le présent rapport, ont fait l'objet de discussions exhaustives avec l'Institut Géographique du Mali (IGM) de la République du Mali.

Au nom de L'Équipe d'étude, j'aimerais exprimer ma reconnaissance envers l'IGM, le Ministère de l'Équipement, de l'Aménagement du territoire, de l'Environnement et de l'Urbanisation de la République du Mali, pour la qualité de leur collaboration et assistance, et pour l'hospitalité avec laquelle ils ont accueilli L'Équipe d'étude pendant son séjour au Mali.

Je désire également exprimer ma reconnaissance envers l'Agence Japonaise de Coopération Internationale, le Ministère des Affaires étrangères, le Ministère du Territoire, des Infrastructures et du Transport, l'Ambassade du Japon au Sénégal et le Bureau de la JICA au Sénégal pour la pertinence de leurs suggestions et la qualité de leur assistance pendant la préparation du présent Rapport.

Je vous prie d'agréer, Monsieur, l'expression de mes sentiments les meilleurs.



Junichi Koseki
Chef de l'équipe d'étude

TABLE DES MATIÈRES

Carte de situation du site du Projet
Impression d' échantillon (Échelles de réduction)
Carte de situation des points de contrôle terrain
Carte de division d'encadrement de carte
Carte de géoïde

Avant-propos
Lettre de présentation

1. Résumé de l'Etude.....	1
1.1 Objectifs de l'Etude.....	1
1.2 Points à considérer pour la réalisation de l'Etude.....	1
1.3 Spécifications de l'Etude.....	1
1.4 Tableau du programme annuel des Travaux	2
1.5 Types de travaux et volumes	3
1.6 Plans et exécution de l'Etude	5
1.7 Réunions techniques.....	7
1.8 Coopération avec les membres de l'homologue et leurs formations	8
1.9 Formation individuelle des membres de l'homologue.....	9
1.10 Rôles des membres de l'équipe d'étude de la JICA et leurs périodes d'affectation.....	10
1.11 Signification des résultats de l'Etude.....	11
2. Rapport technique	13
2.1 Plans des Travaux	13
2.2 Discussions sur les symboles et les informations marginales.....	14
2.3 Acquisition d'images satellitaires et prise de photographies aériennes.....	14
2.4 Photo-interprétation.....	15
2.5 Identification de terrain	15
2.6 Levé sur le géoïde.....	16
2.6.1 Transformation de l'ellipsoïde	17
2.6.2 Élévation de géoïde	18
2.7 Levé des points de contrôle terrain.....	21
2.8 Levé des points d'élévation supplémentaires.....	21
2.9 Triangulation spatiale	21
2.10 Création de modèles numériques de terrain	23

2.11	Création d'images de photographie orthométrique	24
2.12	Cartographie numérique	24
2.13	Compilation numérique	26
2.14	Complètement sur le terrain	26
2.15	Structuration et compilation sur la base du complètement sur le terrain	27
2.16	Production de films de tirage et impression des cartes topographiques	28
2.17	Production de fichiers de données de cartes topographiques	28
3.	Remarques et recommandations.....	29
3.1	Utilisation des points de contrôle terrain.....	29
3.2	Utilisation des données cartographiques	29
3.3	Utilisation de l'équipement fourni	29
3.4	Transfert technologique et réponse future de l'IGM.....	30
3.5	Situation actuelle de l'IGM	31
3.6	Recommandations à l'IGM	34

1. Résumé de l'Étude

1.1 Objectifs de l'Etude

Cette Etude a pour objectifs la création d'une carte topographique d'échelle 1/50.000 couvrant une superficie de 31.000 km² incluant la ville de Kita au Mali, le recueil des données cartographiques pour cette carte, et le transfert technologique en matière de cartographie à l'homologue de l'Institut Géographique du Mali (IGM), qui remplit le rôle d'agence d'exécution au Mali pour la réalisation en commun de la présente Étude, au cours de la période de 36 mois s'étendant d'octobre 1998 à septembre 2001.

1.2 Points à considérer pour la réalisation de l'Etude

Pour la présente Etude, une méthode et un schéma d'étude efficaces, peu onéreux et faisant appel à la technologie la plus récente furent adoptés, afin de produire rapidement et à peu de frais des cartes topographiques d'un degré d'exactitude supérieur à celui obtenu avec les méthodes cartographiques conventionnelles. Les méthodes de travail suivantes furent adoptées et appliquées à l'occasion de la présente Etude :

- (1) Nivellement topographique par niveaux numériques
- (2) Levé des points de contrôle terrain par GPS
- (3) Mesure d'élévation par levé GPS
- (4) Acquisition de données cartographiques par images satellitaires SPOT (satellite pour l'observation de la terre)
- (5) Production de photos orthométriques et création automatique de courbes de niveau par MNT (modèle numérique de terrain)
- (6) Traçage et compilation numériques, et production de documents imprimés à l'aide d'un système de compilation numérique

1.3 Spécifications de l'Etude

Types de travaux		
Nivellement	Nivellement 3 ^{ème} ordre	Tolérance de nivellement arrière/avant 10mm S Tolérance de cheminement fermé 15mm S
Levé GPS	Levé des points de contrôle terrain 1 ^{er} ordre	Utilisation de 2 méthodes de réception de fréquences et translocation
Spécifications de symbole	Symbolisation	Symbolisation numérique

1.5 Types de travaux et volumes

Rubrique	Sous-rubrique	Description	Remarques
1. Sélection des points et Installation des points de contrôle		36 points	
2. Nivellement		360 km	
3. Photographie aérienne	Échelle photographique	1:50.000	Noir et blanc
	Nouvelle aire photographiée	10.600 km ²	Sur la base de l'inspection photographique
	Nouvelles photographies	334 feuilles	
	Nouvelles bandes photographiques	22 bandes	
4. Traitement photographique	Épreuves de contact existantes	596 feuilles	Incluant l'inspection photographique
	Bandes photographiques existantes	44 bandes	
	Photos agrandies 2 fois	596 feuilles	
	Photos agrandies 4 fois	82 feuilles	
5. Reproduction d'image satellitaire	Scènes stéréo	20 scènes *2	
	Sortie d'image 1:100.000	20 feuilles	
6. Observation GPS	Sur ligne de niveau	80 points	
	Zones environnantes	24 points	
7. Photo-interprétation	Photos aériennes	596 feuilles	
	Images satellitaires	19 feuilles	
	Feuilles de contrôle de qualité	1 jeu	
8. Levé des points de contrôle terrain	Plan horizontal	54 points	
	Élévation	272 points	
9. Identification de terrain		31.000 km ²	
10. Triangulation spatiale	Triangulation spatiale	19 scènes	1 scène: à l'extérieur de la zone cible
	Feuilles de contrôle de qualité	1 jeu	
11. Génération de MNT	Intervalles MNT	100 m	
12. Production d'image orthométrique satellitaire	Production d'image orthométrique	48 feuilles	
13. Traçage numérique 1/2	Traçage numérique 1	46 feuilles	Japon

	Traçage numérique 2	2 feuilles	Mali
	Création de courbes de niveau	48 feuilles	Japon
	Production de cartes de base pour l'acquisition des données	48 feuilles	2 feuilles au Mali
	Fichiers de données cartographiques numériques	48 fichiers	2 fichiers au Mali
	Feuilles de contrôle de qualité	1 jeu	
14. Compilation numérique 1/2	Compilation numérique 1	46 feuilles	Japon (29.500 km ²)
	Compilation numérique 2	2 feuilles	Mali (1.500 km ²)
	Échelle	1:50.000	
	Superficie totale	31.000 km ²	
	Courbes de niveau	Maîtresse : 20m Index: 100m	Calcul de moyenne et correction de hauteur des arbres
	Feuilles de contrôle de qualité	1 jeu	
15. Complètement sur le terrain	Superficie totale	31.000 km ²	
16. Compilation et structuration supplémentaires 1/2	Compilation et structuration supplémentaires 1	46 feuilles	Japon
	Compilation et structuration supplémentaires 2	2 feuilles	Mali
	Compilations adjacentes	48 feuilles	2 feuilles au Mali
	Fichiers de données de carte topographique (structurées)	1 jeu	2 fichiers au Mali
	Feuilles de contrôle de qualité	1 jeu	
17. Inspection par un tiers	Inspection visuelle	46 feuilles	Japon
	Inspection logique	48 feuilles	Japon
18. Production de films de tirage	Fichiers EPS	48 feuilles * 4 fichiers	Japon
	Fichiers de données cartographiques	1 jeu	2 fichiers au Mali
19. Impression	Impression offset	503 feuilles/carte	Japon
	Feuilles de contrôle de qualité	1 jeu	
20. Fichier de données de carte topographique (structurées)	CD-R	53 jeux	Japon
	Feuilles de contrôle de qualité	1 jeu	Japon
21. Rapports et autres	Rapport de commencement	1 jeu	Japon

	Rapport d'avancement 1	1 jeu	Japon
	Rapport d'avancement 2	1 jeu	Japon
	Ébauche du rapport final	1 jeu	Japon
	Manuel général	1 jeu	Japon
	Rapport final	1 jeu	Japon
	Symboles et informations marginales	1 jeu	Japon

1.6 Plans et exécution de l'Etude

Tableau 1.6 Tableau comparatif des travaux planifiés et exécutés

Travaux	Planifiés	Exécutés	Remarques
1. Sélection des points et Installation des points de contrôle	36 points	36 points	
2. Nivellement	360 km	360 km	
3. Photographie aérienne			
Echelle photographique	1:50.000	1:50.000	Noir et blanc
Zone de nouvelles photos	5.500 km ²	10.600 km ²	Sur les photos d'inspection
Nouvelles photos	224 feuilles / 2 copies	334 feuilles / 2 copies	1 copie : Japon 1 copie : Mali
Nouvelles bandes photographiques	13 bandes	22 bandes	
4. Traitement photographique et reproduction			
Épreuves de contact existantes	592 feuilles	596 feuilles	Incluant les photos pour inspection (Mali)
Bandes de photographie aérienne existants	44 bandes	44 bandes	
Photos agrandies 2 fois	592 feuilles	596 feuilles	296 feuilles : Mali
Photos agrandies 4 fois	80 feuilles	82 feuilles	Pour la description des points de contrôle
5. Copie d'image satellitaire		20 scènes * 2	
Images satellitaires	20 scènes * 2	20 scènes * 2	Données numériques
Sortie d'image 1:100 000	20 feuilles	20 feuilles	Mali
6. Observation GPS			
Sur ligne de niveau	70 points	80 points	
Zones environnantes	7 points	24 points	
7. Photo-interprétation			
Photos aériennes	592 feuilles	596 feuilles	
Images satellitaires	20 feuilles	20 feuilles	Mali
Feuilles de contrôle de qualité	1 jeu	1 jeu	
8. Levé des points de contrôle terrain			
Plan horizontal	50 points	54 points	

Élévation	250 points	272 points	
9. Identification de terrain			
Identification de terrain	31.000 km ²	31.000 km ²	Identification de terrain des photos au Japon
10. Triangulation spatiale			
Triangulation spatiale	19 scènes	19 scènes	1 scène : à l'extérieur de la zone cible
Feuilles de contrôle de qualité	1 jeu	1 jeu	
11. Génération de MNT			
Intervalles MNT	200 m	100 m	
12. Production d'image orthométrique satellitaire			
Création d'image orthométrique	48 feuilles	48 feuilles	Mali
13. Traçage numérique 1/2			
Traçage numérique 1	46 feuilles	46 feuilles	Japon
Traçage numérique 2	2 feuilles	2 feuilles	Mali
Création de courbe de niveau	48 feuilles	48 feuilles	Japon
Création de cartes de base pour l'acquisition des données	48 feuilles	48 feuilles	2 feuilles: Mali
Fichiers de données cartographiques numériques	48 fichiers	48 fichiers	2 fichiers: Mali
Feuilles de contrôle de qualité	1 jeu	1 jeu	
14. Compilation numérique 1/2			
Compilation numérique 1	46 feuilles	46 feuilles	Japon (29.500 km ²)
Compilation numérique 2	2 feuilles	2 feuilles	Mali (1.500 km ²)
Échelle	1:50.000	1:50.000	
Superficie totale	31.000 km ²	31.000 km ²	
Courbes de niveau	Maîtresse : 20m Index: 100m	Maîtresse: 20 m Index: 100 m	Calcul de moyenne et correction de hauteur des arbres
Feuilles de contrôle de qualité	1 jeu	1 jeu	
15. Complètement sur le terrain			
Superficie totale	31.000 km ²	31.000 km ²	Original (Japon) Copie (Mali)
16. Compilation et structuration supplémentaires 1/2			
Compilation et structuration supplémentaires 1	46 feuilles	46 feuilles	Japon
Compilation et structuration supplémentaires 2	2 feuilles	2 feuilles	Mali

Compilation adjacente	48 feuilles	48 feuilles	2 feuilles : Mali
Fichiers de données topographiques (structurées)	1 jeu	1 jeu	2 fichiers : Mali
Feuilles de contrôle de qualité	1 jeu	1 jeu	
17. Inspection par un tiers			
Inspection visuelle	46 feuilles	46 feuilles	
Inspection logique	48 feuilles * 4 files	48 fichiers	
18. Production de films de tirage			
Fichiers EPS	48 feuilles * 4 files	48 fichiers * 4 fichiers	
Fichiers de données topographiques	1 jeu	1 jeu	2 fichiers : Mali
19. Impression			
Impression offset	503 feuilles/carte	503 feuilles/carte	3 copies : JICA
Feuilles de contrôle de qualité	1 jeu	1 jeu	
20. Fichier de données de carte topographique (structurées)			
CD-R	53 jeux	53 jeux	3 jeux : JICA
Feuilles de contrôle de qualité	1 jeu	1 jeu	
21. Rapports et autres			
Rapport de commencement	1 jeu	1 jeu	
Rapport d'avancement 1	1 jeu	1 jeu	
Rapport d'avancement 2	1 jeu	1 jeu	
Ébauche du rapport final	1 jeu	1 jeu	
Manuel général	1 jeu	1 jeu	
Rapport final	1 jeu	1 jeu	
Symboles et informations marginales	1 jeu	1 jeu	

1.7 Réunions techniques

Cette Etude fut réalisée sur une longue période de quatre ans. Des réunions techniques furent donc tenues au début et à la fin des travaux de l'étude, pour chacune des années fiscales. De plus, le plan d'opération, les manuels de travail (versions provisoires) et les plans de transfert technologique furent préparés au début des travaux de l'étude pour chaque année fiscale, et firent l'objet de discussions et d'approbations à l'occasion d'une réunion technique pour chaque année fiscale avant que les travaux de l'étude ne soient exécutés. Les points discutés et approuvés lors des réunions techniques de chaque année sont décrits ci-dessous.

- (1) Première année
 - Plan d'opération
 - Installation des points de contrôle terrain : Plan de transfert technologique ; Manuel de levés
 - Photographie aérienne
 - Levé sur le géoïde (nivellement) : Plan de transfert technologique ; Manuel de levés
 - Photo-interprétation: Plan de transfert technologique ; Manuel de levés
 - Symboles et règles d'application des symboles de carte

- (2) Deuxième année
 - Rapport d'avancement 1
 - Plan d'opération
 - Levé sur le géoïde (levé GPS)
 - Levé des points de contrôle terrain : Plan de transfert technologique ; Manuel de levés
 - Identification de terrain : Plan de transfert technologique ; Manuel de levés

- (3) Troisième année
 - Rapport d'avancement 2
 - Plan d'opération
 - Traçage numérique: Plan de transfert technologique ; Manuel de levés
 - Compilation numérique : Plan de transfert technologique en structuration ; Manuel de levés
 - Complètement sur le terrain : Plan de transfert technologique ; Manuel de levés

- (4) Quatrième année
 - Ebauche du rapport final
 - Reliure combinée des manuels de levés
 - Soumission du rapport final

1.8 Coopération avec les membres de l'homologue et leurs formations

L'Equipe d'étude était composée d'ingénieurs japonais et de membres de l'homologue, l'Institut Géographique du Mali (IGM), qui reçurent une formation en technologie de travail d'identification de terrain, sous la supervision des ingénieurs japonais avec lesquels ils effectuaient les travaux. Les membres de l'homologue qui ont participé aux discussions techniques et aux travaux de l'Etude sont les suivants :

- | | |
|-------------------------|--------------------------------------|
| 1. M. Issa COULIBALY | Directeur de l'IGM |
| 2. M. Diakalia OUATTARA | Directeur Adjoint |
| 3. M. Aliou COULIBALY | Chef Division Infrastructure de Base |

4. M. Silamakan TRAORE	Ingénieur Photogrammètre
5. M. Chaka FORE	Technicien des Constructions civiles
6. M. Modibo CAMARA	Ingénieur Topographe
7. M. Bakary COULIBALY	Ingénieur Topographe
8. M. Soboua TRAORE	Technicien des Constructions civiles
9. M. Yala SIDIBE	Technicien des Constructions civiles
10. M. Cheickna KOUMARE	Technicien des Constructions civiles
11. M. Mamadou CAMARA	Ingénieur Photogrammètre
12. M. Alassane BA	Docteur Ingénieur Cartographe
13. M. Modibo DIAKITE	Technicien des Constructions Civiles
14. M. Bakari DIARRA	Technicien Supérieur photogrammètre
15. M. Amadou DIALLO	Technicien Supérieur photogrammètre
16. M. Bourama KONTA	Technicien Supérieur photogrammètre

1.9 Formation individuelle des membres de l'homologue

Les membres de l'homologue ont reçu une formation sur le tas pendant la période d'étude au Mali. Les personnes listées ci-dessous sont venues au Japon pour y recevoir respectivement une formation individuelle et à long terme.

Les personnes formées reçurent une formation pour les travaux réalisés au Japon. De plus, ils visitèrent notamment les organisations suivantes : *Geographical Survey Institute, Japan Association of Surveyors* et *Japan Map Center*, ce qui leur permit de comprendre le système japonais de réalisation de levés et de recevoir des explications sur les services fournis et les équipements utilisés par ces organisations.

Nom	Période de formation	Objet de la formation
Modibo CAMARA	13/9/1999 à 9/10/1999	L'état des travaux de levés au Japon
Amadou DIALLO	17/7/2000 à 14/9/2000	Traçage, triangulation aérienne et applications de données
Silamakan TRAORE	31/7/1999 à 2/7/2000	Formation en groupe
Aliou Coulibaly	15/6/2001 à 14/7/2001	Tirage, Confirmation de tirage

Les trois membres de l'homologue ayant reçu une formation au Japon jouèrent un rôle central lors de la réalisation des travaux de la présente Etude, et remplirent un rôle important pour l'interprétation des termes techniques. Les effets bénéfiques de la formation reçue au Japon s'avèrent ainsi considérables.

1.10 Rôles des membres de l'équipe d'étude de la JICA et leurs périodes d'affectation

Les rôles des membres d'équipe d'étude de la JICA, ainsi que leurs périodes d'affectation au Mali, sont présentés ci-dessous.

Membres de la JICA	Rôle	Période de délégation à Bamako	Année fiscale
Junichi KOSEKI	Chef de l'Equipe	27/10/1998-15/11/1998	1 ^{ère} année
		02/01/1999-11/01/1999	1 ^{ère} année
		13/07/1999-27/07/1999	2 ^e année
		20/02/2000-28/02/2000	2 ^e année
		16/09/2000-09/10/2000	3 ^e année
		18/02/2001-16/03/2001	3 ^e année
		13/08/2001-28/08/2001	4 ^e année
Nobuo SHIMIZU	Adjoint au chef de l'Equipe Gestion de sous-traitance	27/10/1998-06/12/1998	1 ^{ère} année
		02/01/0999-13/03/1999	1 ^{ère} année
		18/10/1999-28/11/1999	2 ^e année
		24/11/2000-20/12/2000	3 ^e année
		18/02/2001-16/03/2001	3 ^e année
		08/08/2001-29/08/2001	4 ^e année
Hajime GOTO	Superviseur levé de points de contrôle Superviseur GPS 1	103/11/1998-16/03/1999	1 ^{ère} année
		18/10/1999-26/02/2000	2 ^e année
Hitoshi KOAMI	Superviseur levé de points de contrôle Superviseur GPS 2	203/11/1998-16/03/1999	1 ^{ère} année
		18/10/1999-26/02/2000	2 ^e année
Toshiyuki FUJIOKA	Superviseur GPS 3	18/10/1999-26/02/2000	2 ^e année
Hiromi Ogawa	Superviseur intérp. photographique 1	13/07/1999/-11/09/1999	2 ^e année
	Superviseur identification de terrain 1	02/12/1999-26/02/2000	2 ^e année
	Superviseur des complètements sur le terrain 1	18/12/2000-21/02/2001	3 ^e année
Kenji NAMIKI	Superviseur intérp. photographique 2	13/07/1999-11/09/1999	2 ^e année
	Superviseur identification de terrain 2	02/12/1999-26/02/2000	2 ^e année
Kenji SUZUKI	Superviseur identification de terrain 3	02/12/1999-26/02/2000	2 ^e année
Tetsuzo YAMAMOTO	Superviseur des complètements sur le terrain 2		

		18/12/2000-21/02/2001	3 ^e année
Tsuneo TERADA	Superviseur traçage numérique 1	16/09/2000-08/12/2000	3 ^e année
		14/07/2001-29/08/2001	4 ^e année
Chugo ODAKA	Superviseur traçage numérique 2	16/09/2000-08/12/2000	3 ^e année
Toru WATANABE	Superviseur compilation/structuration 1	03/12/2000-16/03/2001	3 ^e année
		15/08/2001-29/08/2001	4 ^e année
Yoshiteru MATSUSHITA	Superviseur compilation/structuration 2	03/12/2000-16/03/2001	3 ^e année
		16/07/2000-09/08/2001	4 ^e année
Ichiro NONAKA	Coordination	27/10/1998-25/11/1998	1 ^{ère} année
		06/07/1999-27/07/1999	2 ^e année
		08/09/2000-02/10/2000	3 ^e année
		16/07/2001-27/07/2001	4 ^e année
Manabu KAWAGUCHI	Coordination	20/02/1999-13/03/1999	1 ^{ère} année
Norio YOKOKAWA	Interprète	27/10/1998-06/12/1998	1 ^{ère} année
		02/01/1999-13/03/1999	1 ^{ère} année
		06/07/1999-27/07/1999	2 ^e année
		08/09/2000-16/03/2001	3 ^e année
		14/07/2001-29/08/2001	4 ^e année

1.11 Signification des résultats de l'Etude

(1) Standardisation des résultats de l'étude

Le gouvernement du Mali a planifié l'établissement d'un réseau national de points de contrôle terrain au sein d'un système de coordonnées standardisées. Un levé de points de contrôle avait été effectué grâce à la coopération de la *US Defense Mapping Agency* (DMA), pour le parallèle 12. Le réseau de points de contrôle fut basé sur les points d'intersection 58 de ce levé. Dans la présente Etude, le levé des points de contrôle fut également effectué en fonction des points de contrôle obtenus lors du levé mentionné ci-dessus. Par conséquent, les points de contrôle établis dans la présente Etude peuvent également être intégrés au réseau national de points de contrôle standardisés.

(2) Utilisation des cartes topographiques

La présente Etude a permis de compléter un total de 48 feuilles d'échelle 1/50.000 couvrant les zones de Kita, Sirakoro et Bafing-Makana couvertes par les cartes topographiques d'échelle 1/200.000. (Voir Fig. 2 "Carte de découpage de feuilles".) Ces cartes topographiques peuvent être utilisées pour la planification et la formulation des futurs programmes de développement agricole, industriel et minier.

(3) Utilisation des cartes de géoïde

Avec la production de paramètres de conversion de WGS84 à CLARKE 1880, ainsi qu'avec les cartes de géoïde (voir Fig. 3 “Carte de géoïde”), les positions et élévations orthométriques de l'ellipsoïde de base CLARKE 1880 du Mali peuvent facilement être obtenues par levé GPS dans la zone d'étude de Kita, Sirakoro et Bafing-Makana couverte par les cartes topographiques d'échelle 1/200.000.

Un programme permettant l'utilisation facile des résultats de l'Etude fut également développé.

2. Rapport technique

L'Etude a permis la production de 48 feuilles de cartes topographiques d'échelle 1/50.000 couvrant la zone de Kita et pour laquelle sont espérés des développements futurs dans l'agriculture, l'industrie et les mines. Des données cartographiques utilisables par le GIS furent également produites.

Le processus des Travaux ayant permis d'obtenir ces résultats au cours de l'Etude est décrit ci-dessous.

2.1 Plans des Travaux

(1) Confirmation des spécifications de levé

Les spécifications de levé suivantes furent confirmées avant le début de l'Etude :

- Ellipsoïde de référence: CLARKE 1880
Axe semi-majeur : 6.378.249,145 m ; aplatissement : 1/293,465
- Standard de position : Point 58
Latitude 13° 5' 40,629" Nord; Longitude 9° 30' 43,2326" Ouest
- Standard d'élévation (Origine à Dakar)
La valeur d'élévation du point de repère existant fut utilisée.
- Projection cartographique
Zone UTM 29
- Symboles
Les symboles furent établis par des discussions basées sur les cartes existantes.

(2) Matériel recueilli

Le matériel recueilli et utilisé pour la réalisation de l'Etude comprenait :

- 4 feuilles de cartes topographiques d'échelle 1/200.000 (Kita, Sirakoro et Bafing-Makana, Dinguiraye)
- Cartes topographiques existantes d'échelle 1/50.000
- Cartes topographiques existantes d'échelle 1/20.000 (Bamako, Nord-est, Nord-ouest, Sud-est, Sud-ouest)
- Table de points astronomiques et description de point de contrôle
- Matériel de levé du parallèle 12
- Spécifications des symboles
- Azimut magnétique
- Cartes de découpage de feuilles d'échelle 1/200.000
- Statistiques démographiques du cercle de Kita
- Carte de situation des lignes de transmission électrique
- Carte de plan de construction routière

- Autres (à ajouter)

(3) Matériel emprunté

- Données d'images SPOT (20 scènes de données d'images stéréo)

2.2 Discussions sur les symboles et les informations marginales

Les éléments à inclure dans les cartes topographiques et les données cartographiques furent déterminés lors de discussions avec les membres de l'homologue au Mali. Fondamentalement, ces éléments devaient être cohérents avec ceux des cartes topographiques existantes d'échelle 1/50.000, et devaient pouvoir faire l'objet d'un traitement numérique. Lors de la détermination de ces éléments, des symboles (provisoires) furent préparés par l'Equipe d'étude sur la base du matériel existant. Intégrant les opinions des membres de l'homologue du Mali, les symboles furent dessinés conformément aux spécifications du Mali en matière de symboles. C'est ainsi que la version finale des symboles fut déterminée pour les cartes topographiques. Ensuite, des échantillons furent produits à l'aide de données collectées, avec quelques corrections apportées aux couleurs et dimensions. Des informations marginales (provisoires) furent également préparées par l'Equipe d'étude, sur la base d'exemples existants, puis firent l'objet d'une détermination finale lors de discussions avec les membres de l'homologue du Mali. (Voir Annexe 1)

Matériel existant utilisé

- Carte existante : 1/50.000 KHOSSANTO
- Carte existante : 1/20.000 BAMAKO NORD-EST
- Carte de France 1:50.000 Edition 1980

2.3 Acquisition d'images satellitaires et prise de photographies aériennes

Les données cartographiques de la zone d'étude furent fondamentalement acquises à partir des images SPOT. Puisqu'il était difficile d'obtenir des informations détaillées à partir des images SPOT à résolution de 10 m, des photographies aériennes d'échelle 1/50.000 furent utilisées pour l'interprétation détaillée.

(1) Photographie d'image satellitaire

En ce qui a trait à la photographie d'image SPOT, la JICA donna directement des directives et fit l'achat du matériel nécessaire, qu'elle loua à l'Equipe d'étude. La zone d'étude fut couverte avec 20 modèles. La date de photographie et le satellite utilisé pour la prise des images sont tels qu'indiqués ci-dessous.

Les satellites SPOT n° 1, n° 2 et n° 4 furent utilisés pour la photographie. Étant donné que le format d'image du SPOT n° 4 fut modifié, les données collectées des différents types de capteur sur le SPOT n° 1 et le SPOT n° 2 furent combinées en paire stéréo, et cela entraîna certains problèmes d'opération du logiciel.

(2) Photographie aérienne

Il existait, pour une partie de la zone d'étude, des photographies aériennes d'échelle 1/50.000 prises en 1995 dans le cadre de la coopération financière allemande. Ces photographies avaient été prises selon les spécifications suivantes : chevauchement de 50% et recouvrement latéral de 0%. Certaines comportant des parties recouvertes de nuages, les photographies utilisables dans le cadre de l'Etude furent sélectionnées, et il fut décidé de prendre de nouvelles photographies aériennes pour les zones manquantes. Chacune des photos fut agrandie du double pour la photo-interprétation.

Tableau 2-3 Spécifications de caméra utilisée

Rubrique	Photos existantes	Nouvelles photographies
Type d'appareil photo	Zeiss RMK TOP15	Zeiss RMK TOP15
Dimension de photo	230 x 230	230 x 230
Distance focale	154,401mm	154,401mm
Nombre de bandes photographiques	44	22
Nombre de photographies	596	334

2.4 Photo-interprétation

Etant donné que la faible résolution des images SPOT rendait l'interprétation directe et la représentation difficiles lors du traçage numérique, les éléments à inclure dans les cartes furent examinés par photo-interprétation des photographies aériennes existantes et nouvelles, et l'identification de terrain fut effectuée à l'avance pour la préparation du matériel nécessaire.

- (1) Vérification de la zone d'étude
- (2) Vérification des photographies aériennes couvrant chacune des feuilles de carte
- (3) Création des clés d'interprétation
- (4) Photo-interprétation
- (5) Vérification et inspection

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.

L'identification de terrain fut exécutée selon la procédure suivante :

(1) Préparation des calques superposés

Des calques superposés à base de polyester 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 et les installations publiques furent transférées du matériel existant aux calques superposés.
- 2) Les noms et types de villages et hameaux furent examinés sur le matériel existant et identifiés sur le terrain.

(2) Identification de terrain

- 1) Examen des points obscurs de la photo-interprétation
- 2) Identification des résultats de la photo-interprétation
- 3) Identification des nouvelles installations publiques et gouvernementales
- 4) Identification des hauteurs des arbres pour la correction des courbes de niveau
- 5) Identification des types de terres cultivées

(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 lors de la photo-interprétation.

(4) Vérification et inspection

Les cartes d'identification de terrain ainsi corrigées furent vérifiées et inspectés, 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.

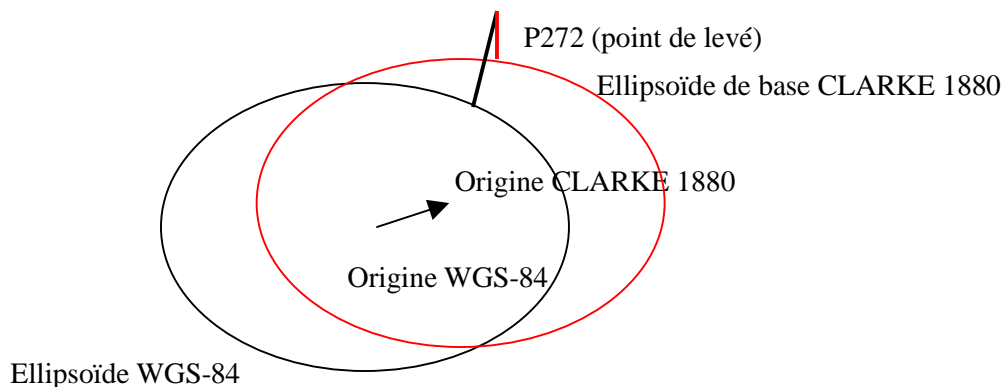


Fig.2-6-1 Diagramme de transformation entre ellipsoïdes

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

Élément	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. 2-6-1, 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 Étude, 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.

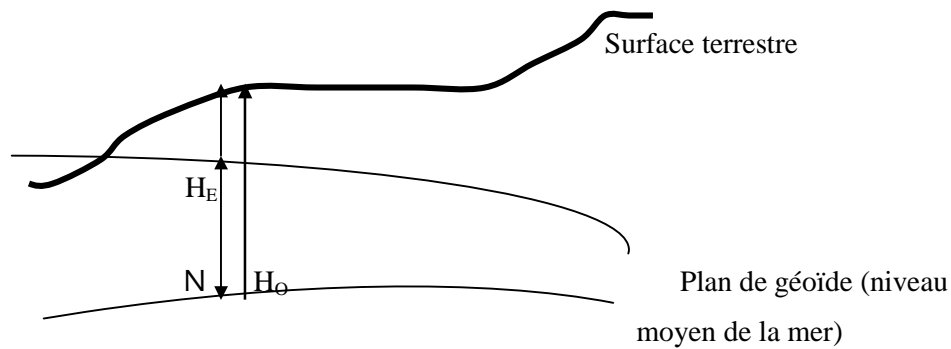
Les étapes de la procédure furent les suivantes.

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.



Ellipsoïde Clarke 1880

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.
- (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.
- (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.
- (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.

Il ressortit clairement que le plan de géoïde de la zone d'étude était situé à 59.446 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 10 km. 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.

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
- (2) Sélection des points de contrôle terrain
- (3) Levé GPS et piquage
- (4) Calculs et agencements
- (5) Préparation de feuille de contrôle de qualité
- (6) Produits

2.8 Levé des points d'élévation supplémentaires

Etant donné l'insuffisance de l'exactitude des valeurs d'élévation des images SPOT pour la représentation des courbes de niveau de 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'Équipe 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 pour les images satellitaires (tel que décrit ci-dessous), 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.

Le système et le logiciel utilisés sont les suivants.

SOCET SET (Leica Helva, Suisse)

VirtuoZo (SupreSoft, Chine)

(4) Conclusion

L'élément orbital fut enregistré sur l'en-tête de chaque image satellitaire, et 19 scènes furent acquises sur le même élément orbital. Ces scènes sont appelées des "segments". Un total de 11 segments furent obtenus dans le cadre de ce Projet. Habituellement, chacune des scènes fait l'objet de modifications, mais le nombre de points de contrôle terrain fut réduit en utilisant le même segment (2 ou 3 scènes) en tant qu'une seule scène stéréo. Par conséquent, un logiciel de

triangulation spatiale pour images satellitaires capable d'intégrer des éléments orbitaux aux calculs de correction fut également utilisé pour ce Projet.

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

Points longitudinaux = 547 points

Points de contrôle terrain sur le plan horizontal = 23 points

Points de contrôle terrain sur le plan vertical = 43 points

Points latéraux = 102 points

Ecarts types X = 9,558 m

 Y = 14,228 m

 Z = 5,095 m

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. Les étapes de la création des MNT sont décrites ci-dessous.

(1) Mesure du modèle interne

La génération MNT automatique fut exécutée par la méthode de combinaison stéréo. Puisque les points obscurs et les champs à texture inégale des images avaient une faible exactitude de combinaison, les modèles tridimensionnels furent générés à l'aide d'un traceur numérique, tandis que les élévations furent mesurées manuellement.

Puisque c'est le sommet des arbres qui était mesuré dans les champs boisés, les plages de hauteur des arbres furent définies. Les hauteurs d'arbre mesurées furent corrigées en fonction des plages définies afin de déterminer la hauteur du sol.

(2) Intégration des données MNT

Les données MNT créées pour chaque modèle furent fusionnées en un seul fichier MNT.

(3) Acquisition des lignes topographiques

Pour représenter des courbes de niveau reproduisant le terrain avec exactitude, les principales routes, rivières, lignes de pente et lignes de marécage furent obtenues en tant que lignes topographiques.

(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.

2.11 Création d'images de photographie orthométrique

Les résultats de la triangulation spatiale, les MNT à mailles de 100 m et les images SPOT furent utilisées pour créer des images de photographie orthométrique.

(1) Création d'image orthométrique par scène

Au moyen du logiciel de génération d'images de photographie orthométrique fabriqué par SupreSoft, ces images orthométriques furent générées avec une résolution identique (10 m) à celle des images SPOT. Les images orthométriques satellitaires sont normalement générées à partir des images de gauche ou de droite. Dans la présente Etude, ce sont les images dont la qualité et la netteté de détail étaient supérieures qui furent sélectionnées parmi les images de gauche et de droite.

(2) Connexion des scènes

Les images orthométriques générées pour chacune des scènes furent intégrées pour former un fichier d'image orthométrique.

(3) Classement de chacune des feuilles de carte

Une image orthométrique fut coupée du fichier d'image orthométrique généré, pour couvrir entièrement chaque feuille de carte sur une étendue carrée, puis sauvegardée sur fichier.

(4) Sauvegarde sur CD-ROM

Le fichier d'image de photographie orthométrique de chaque feuille de carte fut gravé et sauvegardé sur CD-ROM.

2.12 Cartographie numérique

La cartographie numérique (2 cartes au Mali, 46 cartes au Japon) fut effectuée en suivant la procédure suivante.

(1) Acquisition des caractéristiques planimétriques

1) Production des cartes de base pour l'acquisition des données

Un calque superposé à base de polyester fut placé sur chaque image de photographie orthométrique pour chaque feuille de carte, et les informations incluant les routes, voies ferrées, rivières, petits objets et limites administratives obtenues par photo-interprétation et identification de terrain furent agencées et transcrites sur le calque superposé. Ce processus permit la génération de la carte de base.

2) Acquisition des données planimétriques

La carte de base fut l'objet d'une numérisation par scanner, permettant l'affichage de l'image de photographie orthométrique et des données de la carte de base sur un écran d'ordinateur. Les positions des données furent ajustées sur la carte de base, afin qu'elles coïncident avec les positions horizontales des caractéristiques planimétriques pour obtenir les données vectorielles des données planimétriques. Les lignes de fissure longeant les strates géologiques dans la zone d'étude furent représentées en tant que linéaments, qui furent acquis par les caractéristiques planimétriques n'ayant pas d'impact sur les courbes de niveau. Pour l'acquisition des données, un système de compilation numérique fut utilisé. Les données acquises furent enregistrées en tant que données cartographiques numériques.

L'ordre d'acquisition des données fut le suivant.

- Rivière
- Voie ferrée
- Route
- Structure artificielle
- Petit objet
- Végétation
- Limite de zone protégée
- Linéament
- Annotations

(2) Acquisition de données topographiques

Les principales courbes maîtresse de 20 m et les courbes de niveau d'indexation de 100 m furent générées à partir du fichier MNT au moyen du logiciel de génération de niveaux. Pour améliorer l'exactitude des niveaux, les lignes topographiques spéciales (les lignes topographiques telles que les lignes de falaise, de pente et de vallée) et les points isolés furent mesurés sur les modèles tridimensionnels basés sur les images satellitaires. Dans les cas de divergence entre les points mesurés et les courbes de niveau, les modèles topographiques tridimensionnels étaient affichés sur le traceur numérique pour être corrigés par interprétation des caractéristiques

topographiques. Lorsqu'une courbe de niveau était de 5 cm ou plus sur la carte pour un terrain plat, des courbes de niveau supplémentaires étaient ajoutées. Lorsque la forme d'une caractéristique topographique était jugée spéciale, elle était ajoutée telle quelle. Les données acquises furent enregistrées sur un fichier de données de niveaux pour chaque feuille de carte.

Les données des deux feuilles de carte à traiter au Mali y furent expédiées une fois le processus d'ajout des données terminé. Ensuite, la même procédure fut effectuée au Mali.

(3) **Points douteux et contrôle de qualité**

Une fois la cartographie numérique terminée, les données cartographiques numériques furent imprimées pour vérification et correction. L'édition finale fut inspectée et le résultat de l'inspection fut inscrit sur la feuille de contrôle de qualité.

Les points douteux et obscurs trouvés en cours d'inspection furent indiqués sur les cartes sorties et agencées en tant que matériel du complètement sur le terrain.

2.13 Compilation numérique

Les données cartographiques numériques et le fichier de niveaux furent sortis, et leur intégrité par rapport aux images orthométriques fut inspectée. Les données sorties furent corrigées afin qu'il n'y ait pas de divergence entre les caractéristiques planimétriques et les courbes de niveau, et les données de compilation numérique furent produites.

La compilation numérique comprenait les travaux suivants.

Vérification des codes routiers

Vérification des noms des villages

Traitement des cours d'eau saisonniers par catégorie

Autres

Les résultats de la compilation numérique furent sortis et inspectés, et l'édition finale fut une fois de plus inspectée, puis la feuille de contrôle de qualité fut élaborée.

2.14 Complètement sur le terrain

Les points douteux et obscurs, ainsi que les changements récents trouvés lors du traçage et de la compilation numériques furent vérifiés par un complètement sur le terrain.

Les points dont l'interprétation était possible par référence au matériel firent l'objet de discussions avec l'agence homologue et furent réglés.

Les données de changements récents (nouvelles routes, lignes de transmission électrique et sous-stations, installations publiques) furent mises à notre disposition par les agences chargées du contrôle de ces informations et du matériel indiqué par nos données. De plus, ces modifications récentes firent l'objet d'une vérification et d'un levé sur le terrain.

Les annotations telles que les noms des villages, des rivières et des montagnes furent comparées aux noms et à l'orthographe officiels lors du levé sur le terrain.

Les résultats du complètement sur le terrain furent agencés, vérifiés et inspectés sur les cartes de compilation numérique, et les résultats de l'inspection furent inscrits sur la feuille de contrôle de qualité.

2.15 Structuration et compilation sur la base du complètement sur le terrain

Sur la base des résultats du complètement sur le terrain, des ajouts et corrections furent effectués sur les données de compilation numérique, et la compilation d'ajout aux feuilles fut exécutée. De plus, certaines erreurs de points, lignes et polygones structurants du processus de traçage numérique furent vérifiées et corrigées pour compléter les données de compilation numérique (données de cartographie topographique (structurées)). En particulier, l'ordre de priorité des données dédoublées, et la question de déterminer quelles données devaient être représentées, furent vérifiés et corrigés en fonction des structures (les relations supérieures et inférieures des données pour représenter les points, lignes et polygones) pour la production des cartes imprimées.

Les éléments à structurer furent déterminés en considération des sorties de traceur et des impressions comme suit.

Données de points : Point de contrôle terrain, maison indépendante et son symbole, annotations, caractéristiques planimétriques ponctuelles (*point-like planimetric features*), point d'élévation isolé, symbole de végétation et objets cibles.

Données de lignes : Ligne simple de route, ligne simple de rivière, voie ferrée, ligne de transmission électrique, courbe de niveau, lignes topographiques spéciales telles que les falaises, et linéaments.

Données de polygone : Champ de végétation (incluant les plantations), ligne double de route, ligne double de rivière, lac et marécage, zones protégées (pour animaux et plantes, parcs nationaux), représentation générale de zone construite, et zone sableuse.

2.16 Production de films de tirage et impression des cartes topographiques

Des films de tirage des couleurs suivantes furent produits : noir, orange, vert et bleu.

2.17 Production de fichiers de données de cartes topographiques

Des fichiers de données de cartes topographiques produits furent enregistrés.

Voici une vue d'ensemble des données créées.

Installations publiques

Ecoles :

Hôpitaux :

3. Remarques et recommandations

3.1 Utilisation des points de contrôle terrain

Dans la présente Etude, 52 nouveaux points de contrôle terrain furent établis. Les points de contrôle terrain qui avaient été établis au Mali jusqu'à présent ne consistaient qu'en points astronomiques installés pour la production des cartes topographiques existantes d'échelle 1/200.000, et en points de contrôle installés lors du levé du parallèle 12 effectué à la fin des années 1960. Dans ces circonstances, les points de contrôle terrain installés avec une grande précision par GPS dans le cadre de cette Etude formeront la base du réseau de points de contrôle terrain à établir au Mali dans le futur. On peut ainsi espérer que davantage d'efforts seront déployés pour agrandir le réseau de levés par le Mali lui-même de manière autonome, grâce au transfert technologique de levé GPS réalisé lors de l'Etude.

3.2 Utilisation des données cartographiques

Cette Etude a également permis la création de données cartographiques permettant l'impression de cartes topographiques d'échelle 1/50.000 par traceur. Ces données pourront être sorties dans un format permettant de les importer dans le logiciel GIS couramment utilisé. Actuellement, au Mali, des projets sont mis de l'avant pour la numérisation des informations géographiques que possèdent en propre les agences utilisatrices de cartes, et pour construire un GIS combiné à des cartes. La Banque Mondiale et quelques organismes donateurs d'Europe et des États-Unis envisagent également des projets similaires. Les applications de ces cartes topographiques seront ainsi augmentées et élargies dans le futur. Les données cartographiques produites dans le cadre de l'Etude ne couvraient que 48 feuilles parmi les 2.000 qu'il faudrait pour couvrir la totalité du territoire national avec des cartes topographiques d'échelle 1/50.000. Toutefois, ces données cartographiques seront vraisemblablement mises à contribution de manière positive, non seulement pour les programmes de développement de la zone de Kita, mais également pour l'analyse spatiale dans le développement des zones environnantes sous une forme intégrée.

3.3 Utilisation de l'équipement fourni

Le matériel suivant fut fourni au Mali dans le cadre de l'Etude.

- (1) Véhicules pour les travaux
TOYOTA Land Cruiser 4 véhicules

- (2) Appareils GPS et accessoires
Appareil Leica de levé GPS 4 jeux

(3) Système de cartographie numérique

Le système de cartographie numérique introduit lors de l'Etude comprenait les principaux équipements qui suivent, et le logiciel pour les faire fonctionner.

Serveur (PC)	1 appareil
Client (PC)	3 appareils
Imprimante laser (noir et blanc)	1 appareil
Numériseur	2 appareils
Scanner d'image (noir et blanc)	1 appareil
Système d'alimentation sans coupure	1 appareil
Transformateur	1 appareil

Dans le cas où des levés similaires seraient planifiés et réalisés dans le futur, ces appareils de levé GPS pourront être efficacement utilisés pour l'installation des points de contrôle terrain et l'acquisition des données initiales. Le système de traçage et compilation numérique sera très utile pour l'édition et l'élaboration de produits de levé. On peut ainsi s'attendre à ce que l'équipement fourni dans le cadre de l'Etude contribue grandement au futur développement socio-économique du Mali.

3.4 Transfert technologique et réponse future de l'IGM

L'Etude aurait dû donner lieu à un transfert technologique dans tous les processus compris dans la cartographie topographique, mais il fut jugé préférable que soit effectué sur une base contractuelle le processus visant à s'assurer l'équipement et le matériel nécessaires à la cartographie topographique, ainsi que les processus nécessitant des frais élevés de maintenance et de gestion, tels que la photographie aérienne, la triangulation aérienne, l'acquisition des données par traceur et l'impression. Ces processus furent donc exclus des éléments du transfert technologique, mais la technologie relative à tous les autres processus fut transférée aux membres de l'homologue du Mali. Dans cette mesure, le transfert de technologie de tous les processus fut exécuté, de la réception des documents et du matériel, à la production de cartes topographiques.

(1) Capacité d'utiliser les ordinateurs

L'IGM utilisait jusqu'à maintenant des ordinateurs pour le travail de bureau en général, mais pas dans les domaines de la cartographie et des levés. À l'occasion du transfert de technologie de l'Etude, les ordinateurs furent utilisés dans de nombreux processus. Plusieurs des membres de l'homologue n'avaient qu'une connaissance superficielle des ordinateurs. En fait, beaucoup de temps fut perdu sur des points de base tels que le fonctionnement des ordinateurs et la gestion des données alors que ce temps aurait dû être consacré à l'utilisation du programme de cartographie topographique. De plus, à cause de l'arrivée tardive de l'équipement fourni, de

l'équipement de rechange fut utilisé pour la formation, aussi le transfert technologique prit-il beaucoup de temps. Il faut donc espérer, par conséquent, qu'un environnement favorisant la capacité d'utiliser les ordinateurs (connaissances de base) sera créé à l'IGM.

(2) Manuels d'opération

Les manuels d'opération furent préparés avant le transfert technologique, et modifiés au cours des travaux. Ces manuels, qui furent complétés grâce aux efforts considérables des membres de l'homologue, utilisent la terminologie française et visent une utilisation pratique en tant que glossaire à portée de la main. Il est également souhaitable que les futurs travaux soient effectués sur la base de ces manuels, et que des éditions révisées de ces manuels soient élaborées.

(3) Transfert de technologie relatif à l'équipement fourni

Puisque l'équipement fourni fut installé le dernier mois de la troisième année, le transfert de technologie au moyen de cet équipement fut insuffisant. Tout particulièrement, la formation pour l'opération et la gestion des périphériques tels que le scanner, le numériseur et le traceur ne put pas être exécutée. Cet équipement était nécessaire pour la production des données initiales et la vérification des données produites. Il était tout spécialement utile en ceci qu'il permettait une grande efficacité pour la création des données, comparativement à l'utilisation des petits écrans à cristaux liquides. De plus, le système de logiciel introduit dans le cadre de l'Etude ne constituait que l'outil de base pour la production de cartes topographiques. Dans le futur, l'introduction de Word, d'Excel et d'un logiciel de traitement de l'image sera donc nécessaire pour que le système soit utilisé de manière efficace.

3.5 Situation actuelle de l'IGM

La DTGC a été rebaptisée IGM en janvier 2001. Cette modification visait (1) mettre en évidence l'IGM en tant qu'organisme spécialisé dans les services concernant les cartes topographiques, et (2) pour lui permettre de s'assurer des ressources financières autonomes en tant qu'organisme indépendant.

Sur cette base, l'IGM, devant devenir le pionnier du Mali dans le domaine GIS, prévoit la production de cartes numériques de base, la production de données GIS pour d'autres ministères et agences, et le soutien pour la création de GIS, ainsi que la formation des techniciens GIS. Il prévoit ainsi de se faire une place dans le pays, surtout dans le domaine des cartes et de renforcer ces relations avec les autres ministères et agences.

(1) Budget et personnel

Comme le montre le Tableau 3.5.1 indiquant le budget annuel de ses 5 dernières années, le budget de l'IGM a considérablement augmenté en 1998 et 1999.

Le personnel a légèrement diminué depuis 1997, mais la modification est minime. Cela permet de déduire que les frais d'exploitation augmentent. La Fig. 3.5.2 donne l'organigramme de l'IGM. Comme aucune augmentation de personnel n'est visible, le transfert de personnel vers la nouvelle section cartographie informatique indique une modification du rôle de l'IGM.

Tableau 3-5-1 Budgets annuels et personnels

Année	Budget	Personnel
1997	217 millions Fcfa	145
1998	250 millions Fcfa	135
1999	350 millions Fcfa	134
2000	471 millions Fcfa	133
2001	501 millions Fcfa	132

Source: IGM

(2) Sources de revenu de l'IGM

Comme le montre le Tableau 3.5.2, les sources de revenu de l'IGM sont la vente des ressources telles que cartes et données qu'il possède, les levés et les services techniques de compilation de cartes topographiques. Ce tableau montre que le montant des ventes de cartes est élevé; la production de cartes et les services de levés sont les sources de revenus extérieures majeures.

Tableau 3-5-2 Sources de revenus majeures de l'IGM

Source de revenus	Montant moyen
Vente de cartes	28,5 millions Fcfa
Vente des résultats des levés	0,1 millions Fcfa
Vente de données	2,0 millions Fcfa
Vente de photographies	2.4 millions Fcfa
Services de levés	90,0 millions Fcfa
Production de cartes	300 millions Fcfa

Source:IGM

(3) Equipements possédés

L'IGM possède l'équipement pour les levés, les levés par photos et la production de cartes. Comme le montre le Tableau 3.5.3, il est très pauvre en équipements pour la production de cartes.

Division	Equipements	Quantité
Géodésie	Niveau	5
	Théodolite	12
	Odomètre	2
	Planchette	2
	GPS	3
Photogramétrie	Traceur	1
Cartographie (GIS)	Ordinateur personnel	4
	Numériseur	2
	Cartographieuse	2
Traitement des photographies Laboratoire	Rectificateur	1
	Copieur de photos	1
	Appareil photo par contact	2
	Machine à tirer les calques Ozalid	5

Source:IGM

(4) Projets de l'IGM

L'IGM réalise actuellement les projets suivants.

1) Projet de carte topographique 1/50.000^e de la zone de Sadiola

C'est un projet réalisé en 1995 et 1996 en vue de la production de cartes de l'intérieur du pays et du développement. Des cartes topographiques furent produites au moyen de levés par photos numériques, et le numériseur Arc/View pour le logiciel GIS, un scanner et un traceur furent introduits.

2) Projet de restitution des cartes du Mali détenues par la France

C'est un projet 1996-2002. Suite à la restitution des 136 feuilles de carte topographique au 1/200.000^e, aux résultats des levés et des photographies aériennes détenues par la France, les cartes topographiques sont devenues numériques, et un système permettant la conservation et l'impression a été introduit. Un système, comprenant une micro-station, un géomédia, une imprimante et un scanner, fut mis en place en août 2000.

3) Projet de détermination des frontières

Le Mali est limitrophe de 7 pays, dont les frontières avec lesquels sont vérifiées. Les levés sont effectués par GPS.

4) Levés cadastraux

Des levés cadastraux au 1/5.000^e furent effectués pour une zone de 66.000 km² principalement dans les villes de Bamako et Kati. 200 points de contrôle GPS furent établis pour la réalisation de ce projet.

5) Projet de décentralisation

Une base de données du monde administratif et des établissements publics etc. fut créée sur la base des cartes existantes servant de documents pour la décentralisation sous forme de CD-ROM.

6) Autres projets

Les autres projets envisagés sont comme suit.

- Production d'une carte topographique au 1/50.000^e (8 feuilles) de la zone de Nielle
- Production d'une carte topographique au 1/50.000^e de la zone de plantations de coton de Sikasso (40.000 km²)
- Production d'une carte topographique au 1/50.000^e (5 feuilles) de la zone de Kossanto
- Création d'une carte touristique du plateau de Dogon
- Correction des cartes générales au 1/2.000.000^e du Mali
- Correction de la carte touristique au 1/20.000^e de Bamako

3.6 Recommandations à l'IGM

(1) Utilisation efficace de l'équipement fourni par la JICA

Les véhicules, le GPS, le système de compilation cartographique et les autres équipements de levés introduits au cours de cette étude sont des équipements utiles pour les levés et les travaux de cartographie qui vont augmenter dans l'avenir parmi le peu d'équipements à disposition, comme indiqué plus haut. Il est souhaitable qu'ils soient utilisés efficacement pour les projets précités et que la technologie transférée soit appliquée.

(2) Création d'un LAN (réseau interne) au sein de l'IGM

La création d'un LAN au sein de l'institut associant le système fourni par la JICA et le système existant permettra la mise en commun des données et des périphériques, et l'utilisation efficace des ressources à disposition.

(3) Diffusion du GIS

Un comité central des informations géographiques, qui constitue un lieu d'échange d'informations concernant le GIS entre les ministères et agences, est formé au Mali. Il est souhaitable que l'IGM joue un rôle central au sein de ce comité pour l'identification des besoins de données GIS de chaque organisme, la production de données à partir des zones les plus prioritaires etc.

L'IGM doit aussi devenir un organisme de formation des techniciens GIS et poursuivre ses

études techniques de haut niveau en se concentrant sur les techniciens qui ont suivi la formation au cours de cette étude et de l'étude précédente.

(4) Publicité sur les activités de l'IGM

L'IGM, organisme en charge des levés et cartes, devrait aussi diffuser les connaissances aux utilisateurs ordinaires par la présentation de la procédure de production de cartes, d'échantillons des différents produits, et des machines servant aux levés et à la production de la cartographie