

**République du Mali**  
**Ministère de l'Équipement des**  
**Transports et du Désenclavement**  
**Institut Géographique du Mali (IGM)**

**PROJET**  
**DE**  
**CARTES TOPOGRAPHIQUES**  
**NUMERIQUES**  
**POUR LA ZONE METROPOLITAINE**  
**DE BAMAKO**  
**EN REPUBLIQUE DU MALI**

**RAPPORT FINAL**  
**(Version courte)**

**Décembre 2016**

**Agence Japonaise de Coopération Internationale (JICA)**  
**Asia Air Survey Co., Ltd.**

EI
JR
16-146

Taux de change de devises étrangères

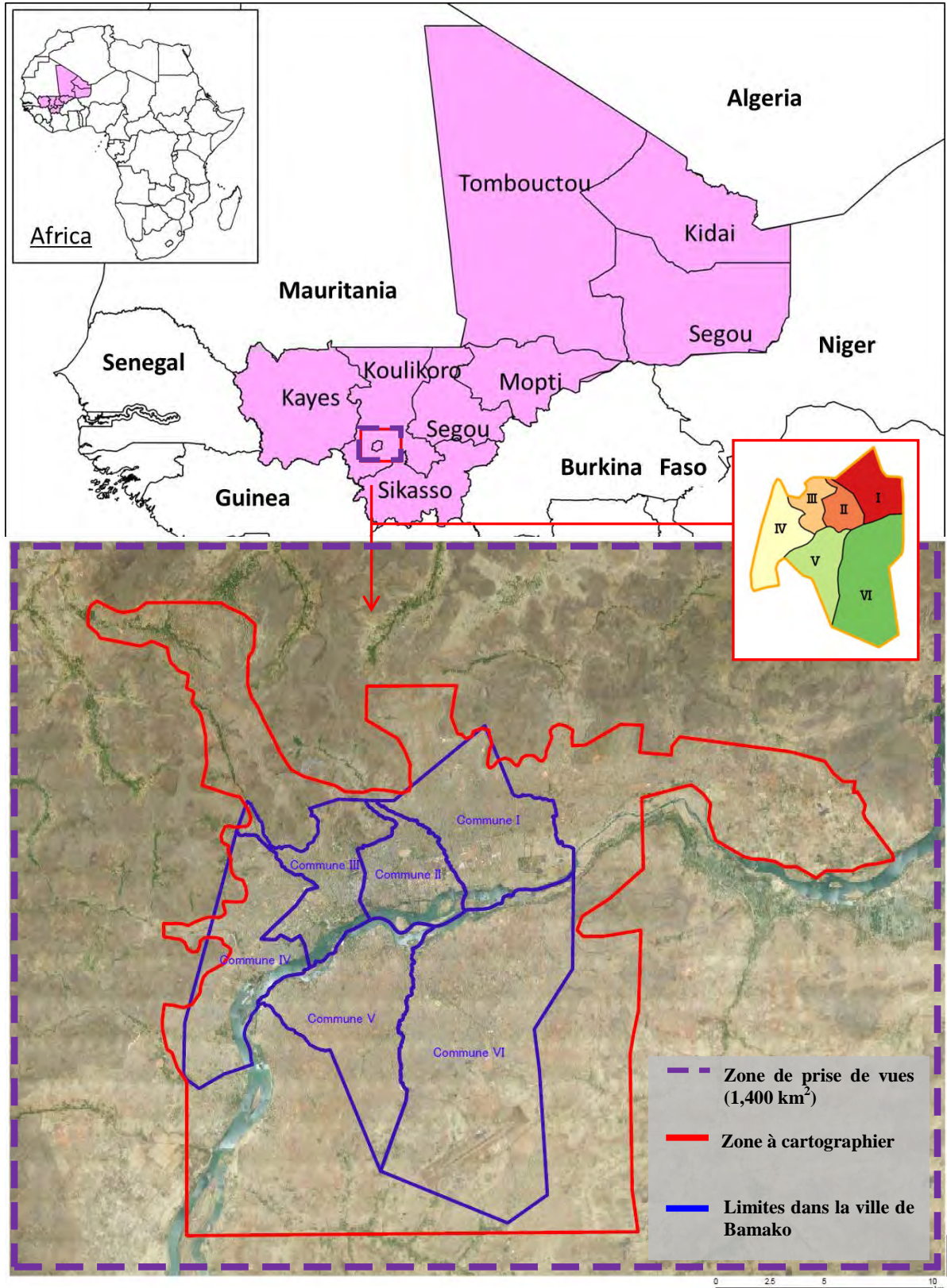
1 Euro = 115,974 JPY (TTS)

1 Euro = 655,957 FCFA

1 FCFA = 0,177 JPY

Moyenne du mois d'août 2016

# Carte de la zone d'étude



(Source: Mission d'étude)

## Photographies



Séminaire de lancement du Projet



Point géodésique existant B-11



Discussion sur le point d'appui



L'installation de l'antenne de GNSS



Encadrement technique de nivellement



Photo de nivellement



Discussion sur les spécifications



Avion pour photographie aérienne



Atelier d'identification du terrain



Mode d'emploi des équipements



Encadrement technique de I.T.



Photo de I.T.



Atelier de complèment



Encadrement technique de complèment



Complèment cartographique



Préparatifs atelier  
(Formation des facilitateurs)



Atelier pratique SIG



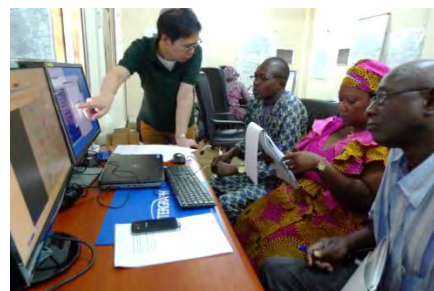
Travail thématique en groupe



Présentation des résultats par équipe



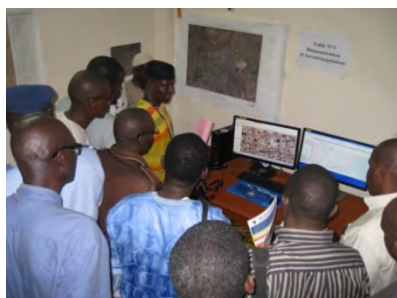
Encadrement technique de mesure 3D



Encadrement d'édition numérique



Transfert des techniques de  
structuration SIG



Forum ouvert IGM (démonstration faite par l'IGM)



## Abréviations

Sigle	Désignation
AFD	Agence française de développement
AGETIPE	Agence d'Exécution des travaux d'Intérêt Public pour l'Emploi
ANAC	Agence Nationale de l'Aviation Civile
ANASER	Agence Nationale de la Sécurité Routière
CAO	Conception assistée par ordinateur
CGIG	Centre de Gestion de l'Information Géographique
CIIG	Conseil Interministériel d'Information Géographique
CNIG	Comité National d'Information Géographique
CNPCT	Centre Nationale Production Cartographique et Topographique
CRIG	Comité Régionale d'Information Géographique
CTAC	Cellule Technique d'Appui aux Communes
DGCT	Direction Générale des Collectivités Territoriales
DGPC	Direction Générale de la Protection Civile
DNACPN	Direction Nationale de l'Assainissement et du Contrôle des Pollutions et des Nuisances
DNCT	Direction Nationale de la Cartographie et de la Topographie
DNDC	Direction Nationale des Domaines et du Cadastre
DNH	Direction Nationale de l'Hydraulique
DNPD	Direction Nationale de la Planification du Développement
DNR	Direction Nationale des Routes
DNUH	Direction Nationale de l'Urbanisme et de l'Habitat
DRCT	Direction Régionale de la Cartographie et de la Topographie
DS	Déviation standard
EO	Orientation externe
EDM	Energie du Mali
GLONASS	Système russe de géo-positionnement par satellite
GNSS	Global Navigation Satellite System (système mondial de navigation par satellite)
GPS	Global Positioning System (système de localisation mondial)
GSD	Ground Sample Distance (Résolution au sol)
IGM	Institut Géographique du Mali
IGN France	Institut Géographique Nationale France
IMU	Inertial Measurement Unit (Unité de mesure inertielle)
INDS	Infrastructure Nationale des Données Spatiales
INT	Institut Nationale Topographie
ISO	International Standards Organisation (International Organization for Standardization) : Organisation internationale de normalisation
IT	Information technology (Technologies de l'information)
JICA	Japan International Cooperation Agency (Agence Japonaise de Coopération Internationale)
LGO	Leica Geo Office
MDB	Mairie du District de Bamako
MNE	Modèle Numérique de l'Élévation

MNS	Modèle Numérique de la Surface
MNT	Modèle Numérique du Terrain
OCHA	Le Bureau des Nations Unies pour la Coordination des Affaires Humanitaires au Mali
OJT	On the Job Training (Formation sur le tas)
OMATHO	Office Malien du Tourisme et l'Hôtellerie
PCS	Point de Contrôle au Sol
PDF	Portable Document Format
PNIG	Politique Nationale de l'Information Géographique
POS-EO	Position and Orientation System (Système de positionnement et d'orientation)/ External Orientation Parameter (Paramètre d'orientation externe)
RD	Procès-verbal de la Réunion
SHP	Fichier Shape
SIG/GIS	Système d'Information Géographique
SOMAGEP	Société malienne pour la gestion de l'eau potable
TIFF	Tagged Image File Format
UTM	Transverse Universelle de Mercator
WGS84	Système géodésique mondial 1984





# PROJET DE CARTES TOPOGRAPHIQUES NUMERIQUES POUR LA ZONE METROPOLITAINE DE BAMAKO EN REPUBLIQUE DU MALI

## Rapport final

Carte de la zone d'étude

Photographies

Abréviations

## Table des Matières

<b>1. Grandes lignes du présent projet</b> .....	<b>1</b>
1.1 Arrière-plan.....	1
1.2 Objectifs et résultats du Projet .....	2
1.3 Homologues maliens.....	3
1.4 Description de la mise en œuvre du Projet.....	4
<b>2. Promotion de la diffusion des informations géographiques (utilisation des données)</b> .....	<b>7</b>
2.1 Positionnement de l'aménagement des données de base SIG .....	7
2.2 Capacité et système de fourniture des informations géographiques de l'IGM.....	9
2.3 Besoins d'informations de base SIG dans la zone métropolitaine de Bamako et souhaits exprimés .....	16
2.4 Mise en œuvre des activités de relations publiques (promotion de l'utilisation des données) ....	16
2.5 Création du site Web.....	23
2.6 Orientation future .....	25
<b>3. Aménagement des données de base SIG (1 :5000°)</b> .....	<b>27</b>
3.1 Fixation des spécifications techniques.....	27
3.2 Supervision de la prise des photographies aériennes.....	30
3.3 Levé des points d'appui .....	31
3.4 Aérotriangulation.....	34
3.5 Création d'orthophotos .....	35
3.6 Restitution numérique.....	37
3.7 Identification du terrain .....	38
3.8 Complètement cartographique du terrain .....	39
3.9 Edition numérique et symbolisation de la carte.....	42
3.10 Structuration SIG.....	43
3.11 Contrôle de la qualité .....	45

<b>4. Programme du transfert de technologies .....</b>	<b>47</b>
4.1 Modalités de mise en œuvre du programme .....	47
4.2 Degré d'atteinte des objectifs du transfert de technologies .....	48
4.3 Teneur d'encadrement technique.....	51
<b>5. Perspectives à venir et attentes futures .....</b>	<b>71</b>

## Tableaux, Figures et Photographies

Figure 1-1 Zone cible du présent projet .....	2
Figure 1-2 Déroulement des travaux du Projet .....	6
Figure 2-1 Organigramme de l'IGM.....	10
Figure 2-2 Evolution du service technique de l'IGM .....	13
Figure 2-3 Une image d'exemple du WebGIS.....	24
Figure 3-1 Symboles de la carte au 1 :5.000 <sup>e</sup> et règles de leur application.....	27
Figure 3-2 Index des feuilles.....	30
Figure 3-3 Parcours et résultats de prise de vues .....	31
Figure 3-4 Carte de distribution des points géodésiques existants.....	32
Figure 3-5 Carte d'observation des sessions.....	33
Figure 3-6 Plan de la ligne de nivellement.....	34
Figure 3-7 Flux de travail pour l'aérotriangulation.....	34
Figure 3-8 Carte d'index de la prise des photographies aériennes.....	35
Figure 3-9 Zone de création des orthophotos.....	36
Figure 3-10 Flux de travail pour la création d'orthophotos .....	36
Figure 3-11 Carte isoligne (à gauche) et orthophotocarte (à droite) .....	37
Figure 3-12 Flux de travail pour la restitution numérique .....	37
Figure 3-13 Données des rivières après extraction (grosse ligne bleue).....	41
Figure 3-14 Câbles électriques dans la ville de Bamako (tension KV).....	41
Figure 3-15 Quartiers dans la zone métropolitaine de Bamako .....	42
Figure 3-16 Flux de travail pour l'édition numérique et la symbolisation de la carte .....	42
Figure 3-17 Exemples de carte de contrôle.....	43
Figure 3-18 Flux de travail pour la structuration des données.....	44
Figure 3-19 Carte d'index des levés d'inspection.....	46
Figure 4-1 Portée de la formation .....	57
Figure 4-2 Une image de l'orthophoto.....	60

Figure 4-3 Superposition de la carte de restitution produite au cours des exercices pratiques avec celle standard (inférieure) .....	63
Figure 4-4 Carte utilisée pour le contrôle de la zone cible de formation et tableau de gestion de la précision .....	70
Tableau 1-1 Description des principales activités réalisées au Mali.....	4
Tableau 2-1 Grandes lignes de la Politique Nationale d'Information Géographique du Mali.....	8
Tableau 2-2 Personnel de la Direction de la Production de l'IGM .....	11
Tableau 2-3 Bilan financier des 5 dernières années de l'IGM (unité : F. CFA) .....	12
Tableau 2-4 Liste des prix de vente des informations géographiques .....	14
Tableau 2-5 Aperçu du Séminaire de lancement .....	17
Tableau 2-6 Présentation de l'atelier tenu auprès des travailleurs de terrain.....	18
Tableau 2-7 Résultats de l'atelier participatif (création de carte thématique) présentés.....	19
Tableau 2-8 Présentation du Séminaire de Relations publiques .....	20
Tableau 2-9 Présentation du forum ouvert de l'IGM.....	22
Tableau 3-1 Normes de levé topographique .....	28
Tableau 3-2 Normes de précision appliquées dans cette étude .....	28
Tableau 3-3 Précision acceptable pour la carte topographique.....	29
Tableau 3-4 Equidistance des courbes de niveau de la carte topographique .....	29
Tableau 3-5 Documents collectés .....	40
Tableau 3-6 Ensembles de données d'objets terrestres s'appuyant sur les règles de symbolisation de la carte au 1 :5.000 <sup>e</sup> .....	44
Tableau 4-1 Degré d'atteinte des objectifs du programme de transfert de technologies dans les différents domaines .....	48
Tableau 4-2 Thèmes principaux d'encadrement technique.....	65
Photo 3-1 Scènes de l'atelier de l'identification du terrain.....	38

# **1. Grandes lignes du présent projet**

## **1.1 Arrière-plan**

La population de Bamako, la capitale de la République du Mali (ci-dessous dénommée «le Mali»), s'accroît rapidement en raison de son développement économique. Sur la base des recensements de 1998 / 2009, la population de Bamako est passée de 1 million en 1998 à 1,8 million en 2009. L'exode rural vers la capitale a créé une prolifération de zones d'établissement non contrôlé et une extension urbaine anarchique. Dans une telle région, l'aménagement des infrastructures telles que les routes, l'alimentation en eau, en électricité et les systèmes d'assainissement a pris du retard et les hôpitaux et les écoles ne sont plus en nombre suffisant, la détérioration du cadre de vie et de la sécurité due à la formation de bidonvilles s'est accélérée, ce qui entrave la croissance économique stable du pays.

À la lumière des problèmes mentionnés dans ce qui précède, la ville de Bamako, et DNUH (Direction nationale de l'Urbanisme et de l'Habitat) ont préparé un schéma directeur pour le développement urbain en 2011. Ce schéma directeur comprenait également le renforcement des infrastructures. Cependant, les cartes de base à 1:50.000 produites avec l'aide du gouvernement français en 1988 ne sont pas adaptées pour l'identification de l'état réel des infrastructures urbaines qui ont changé et évolué considérablement au fil du temps, et la planification urbaine qui remédie à la prolifération des établissements informels. Il est actuellement imminent de mettre à jour ces cartes de base. Prenant en considération les besoins de plus en plus importants de cartes à une échelle plus grande afin de mettre à jour le plan directeur du développement urbain de Bamako et de sa grande banlieue, le gouvernement malien s'est adressé au gouvernement japonais pour la création des cartes topographiques de la zone métropolitaine de Bamako à l'échelle de 1:5.000 (y compris les données de base du système d'information géographique (ci-dessous dénommée «SIG»)) ainsi que le transfert de la technologie afférente au Mali.

L'Agence Japonaise de Coopération Internationale (JICA) a alors envoyé une mission d'étude pour développer un plan détaillé. La mission d'étude a reconnu le besoin de cartes topographiques numériques et de transfert de technologie pour la planification urbaine de la zone métropolitaine de Bamako. La mission d'étude de la JICA et le gouvernement malien se sont mis d'accord en novembre 2011 pour signer le document d'accord (RD=procès-verbal de la Réunion) sur la mise en œuvre du présent projet réalisé dans le cadre d'une aide pour le développement de données de base SIG.

Bien que le projet ait démarré le 2 mars 2012, son exécution réelle a été interrompue par le coup d'État survenu le 21 du même mois, et la dégradation de la situation sécuritaire qui a suivi. Par la

suite, la sécurité publique s'est rétablie dans la ville de Bamako et ses environs, zone cible du présent projet, et le Projet a redémarré en février 2015 suite au retrait des mesures visant à assurer la sécurité.

## 1.2 Objectifs et résultats du Projet

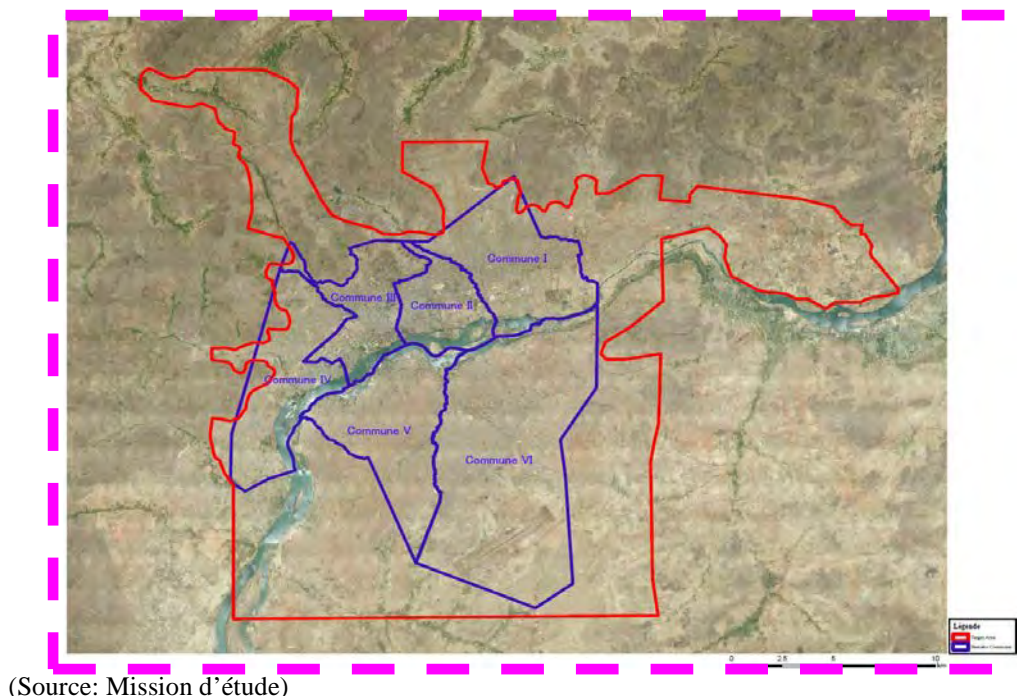
### 1.2.1 Objectifs du Projet

Le présent projet a pour objectif de contribuer à l'amélioration des capacités de création de données de base SIG à grande échelle au Mali par le biais du transfert de technologie visant au renforcement des capacités de la partie malienne en matière d'aménagement des données de base SIG (cartes topographiques numériques et orthophotocartes d'échelle 1 :5.000) et d'application des résultats (gestion du processus de création et de mise à jour), afin de faciliter l'établissement d'un plan de développement socio-économique efficace et durable pour la ville de Bamako et ses environs, ainsi que l'aménagement de l'infrastructure urbaine.




### 1.2.2 Zone cible du Projet

La Figure 1-1 ci-dessous indique la zone objet de la création des données de base SIG et des orthophotocartes qui seront aménagées dans ce Projet:

- 1) Les données numériques de base SIG seront produites à une échelle de 1:5.000 sur une étendue d'environ 520km<sup>2</sup>, notamment la ville de Bamako; et
- 2) Orthophotocartes couvrant une étendue d'environ 1.400km<sup>2</sup> dans la zone métropolitaine de Bamako.



**Figure 1-1 Zone cible du présent projet**

-  Zone de production de la carte topographique numérique au 1:5.000 (couvrant une superficie d'environ 520km<sup>2</sup>)
-  Orthophotocartes couvrant une superficie d'environ 1.400km<sup>2</sup>
-  Limites de la ville de Bamako

### **1.2.3 Données/cartes, et documents produits par le Projet**

Ce projet est réalisé sur la base du R/D (Procès-verbal de la Réunion) conclu le 17 novembre 2011, et les données ou cartes ci-dessous ont été produites en vue de réaliser les objectifs précités, via des discussions avec l'Institut Géographique du Mali (ci-après repris « l'IGM »), qui est l'organisme homologue du Mali, et le transfert de technologies sous forme de formation sur le tas (OJT).

- (1) Photographies aériennes (1.251 photos)
- (2) Orthophotocartes (env. 1.400 km<sup>2</sup>)
- (3) Données produites par les levés des points d'appui (Observation GNSS et description des points au nivellement)
- (4) Données produites par l'aérotriangulation (Ensemble de fichiers EO)
- (5) Ensemble des données de carte topographique numérique d'échelle 1 : 5.000 (520km<sup>2</sup>)
- (6) Ensemble des données de base SIG d'échelle 1 : 5.000 (520km<sup>2</sup>)
- (7) Carte topographique de type livret
- (8) Spécifications techniques/Manuels de travail
- (9) Création du WebGIS
- (10) Rapport final (Renforcement des capacités de l'IGM en matière de création et de mise à jour de la carte topographique numérique)

### **1.3 Homologues maliens**

L'organisme homologue de ce projet est l'Institut Géographique du Mali (IGM) placé sous la tutelle du Ministère de l'Équipement, des Transports, et du Désenclavement. L'IGM est un institut technologique spécialisé en étude topographique et cartographie qui réalise des levés topographiques sur le terrain et l'élaboration de cartes topographiques sur commande d'autres ministères et agences, ainsi que divers bailleurs de fonds. Actuellement, il ne compte pas produire une nouvelle carte ou mettre à jour les cartes existantes sur ses fonds propres, mais la numérisation des cartes existantes et la création et vente de cartes thématiques répondant aux besoins des utilisateurs constituent ses sources de revenus. La structure et l'organisation de l'IGM sont décrites dans le chapitre suivant.

Dans ce projet, des personnels de 5 Services (Service de la Géodésie, Service de la Topographie, Service des Levés aérospatiaux, Service de la Cartographie, Imprimerie) de la Direction de la Production de l'IGM ont effectué leur travail en tant que principaux homologues.

## 1.4 Description de la mise en œuvre du Projet

### 1.4.1 Eléments constitutifs de l'ensemble du Projet

La durée totale du Projet est de 21 mois allant de la fin février 2015 à la fin octobre 2016, comme indiqué sur la Figure 1-2. Le Projet a été mis en œuvre en deux parties divisées : (A) Création des données de base SIG et (B) Transfert de technologies.

Ce rapport récapitule en particulier les principales activités indiquées dans le Tableau 1-1, et les opérations réalisées de février 2015 à octobre 2016 au Mali, ainsi que leurs résultats.

**Tableau 1-1 Description des principales activités réalisées au Mali**

Intitulé de l'activité		Période d'activité	Description détaillée
Discussion sur les spécifications (A)		Mars à mai 2015 Oct. à Nov. 2015 Mai à juin 2016 Octobre 2016	Etablissement des règles de symbolisation de la carte au 1 :5000° (Ver4.03) Etablissement des spécifications techniques pour l'établissement de la carte topographique numérique au 1 :5.000° (normes de levé topographique, informations marginales, annotations, numérotation des feuilles de la carte)
Prise de Photographies aériennes	(A)	Mars à avril 2015	Réalisation de l'appel d'offres pour choisir un prestataire spécialisé en prise de photographies Achèvement de la prise des photographies (1.251 photos) de la zone concernée (1.400km <sup>2</sup> )
	(B)		Formation par transfert de technologies (plan de photographie, contrôle de la qualité)
Levé des points d'appui	(A)	Fév. à avril 2015	Inspection des points géodésiques existants nécessaires à la production de la carte topographique d'échelle 1 :5.000 Observations GNSS (27 points) Nivellement (env. 180 km)
	(B)		Observations GNSS par OJT (formation sur le tas) Nivellement par OJT (formation sur le tas) Encadrement pour le contrôle de la qualité des points observés
Création du site Web (A)/ (B)		Fév. à avril 2015 Avril 2016 Octobre 2016	Mise en œuvre de l'enquête des besoins, de l'enquête de l'environnement informatique Obtention de l'accord de l'IGM sur la conception de base du WebGIS, instructions données pour la maintenance du WebGIS Mise en place et opération de WebGIS
Relations publiques (promotion de l'utilisation) (A)/ (B)		Mars à mai 2015 Fév. à mars 2016 Mai 2016 Octobre 2016	Organisation du séminaire de lancement Enquêtes verbales auprès des utilisateurs potentiels Tenue d'un atelier SIG en vue de la mise en place d'une Infrastructure nationale de données spatiales (INDS) Organisation du séminaire de relations publiques (promotion de l'utilisation des données)
Identification du terrain	(A)	Oct. à déc. 2015 Février 2016	Identification du terrain par OJT (formation sur le tas)
	(B)		Organisation d'un atelier (compréhension des règles de symbolisation, des méthodologies de l'étude) Identification du terrain à l'aide des orthophotos simples
Complètement cartographique	(A)	Mars à mai 2016	Mise en œuvre du complètement cartographique à l'aide des données cartographiques manuscrites
	(B)		Tenue d'un atelier (comprendre les différences entre le complètement cartographique et l'identification du terrain, le contenu des questions)



Programme du transfert de technologies	Aérotriangulation (B)	Avril à juin 2016	Instructions pour l'aérotriangulation en utilisant les photographies aériennes prises
	Création d'orthophoto (B)		Instructions pour la création d'orthophotos à partir des résultats de l'aérotriangulation
	Restitution numérique (B)		Instructions pour la mesure des valeurs d'élévation 3D et l'interprétation correcte des objets terrestres
	Edition numérique (B)	Avril à juin 2016	Compréhension approfondie de la structure topologique et instructions pour la saisie des données
	Symbolisation (B)		Compréhension des règles de symbolisation de la carte au 1 :5.000 <sup>e</sup> et instructions sur la méthode d'expression des symboles
	Structuration du SIG (B)	Avril à mai 2016	Compréhension de la structure de la base de données des informations géographiques numériques et instructions pour la création d'une géodatabase
	Contrôle de la qualité (B) et correction partielle (B)	Avril 2015 Décembre 2015 Avril à juin 2016	Compréhension de la méthode de contrôle de la qualité des photographies aériennes prises Instructions pour un meilleur contrôle de la qualité des résultats d'observation des levés des points d'appui Instructions pour un meilleur contrôle de la qualité des données acquises lors de l'identification du terrain Instructions pour un meilleur contrôle de la qualité incluant la gestion de la précision des différents processus concernant la cartographie numérique (aérotriangulation, création d'orthophotos, restitution numérique, édition numérique, symbolisation, structuration SIG), ainsi qu'instructions en vue de la compréhension de la différence entre nouvelle création et mise à jour (correction chronologique) et des concepts y afférents



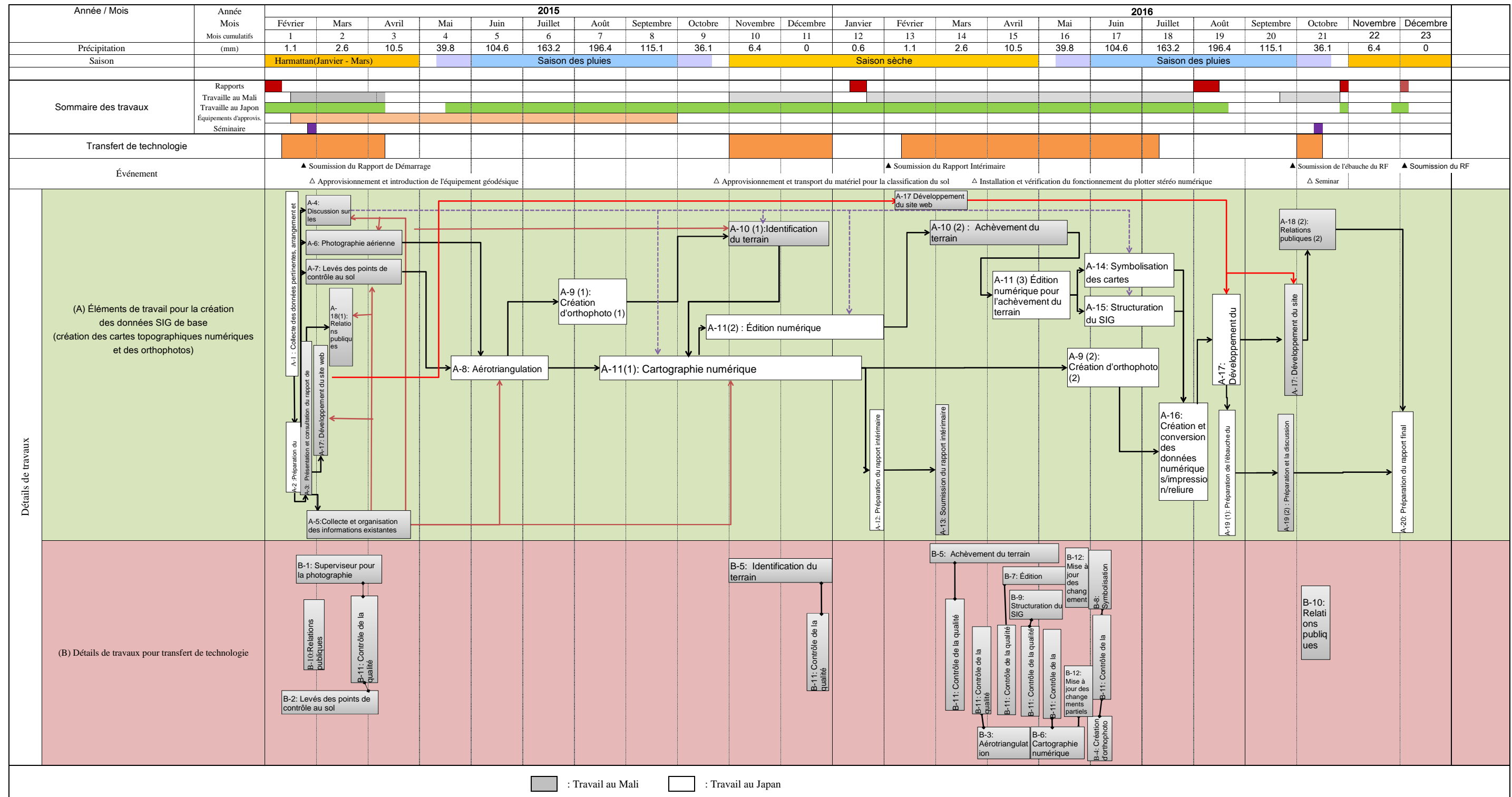


Figure 1-2 Déroulement des travaux du Projet



## **2. Promotion de la diffusion des informations géographiques (utilisation des données)**

Les données de base SIG aménagées dans ce Projet seront partagées par les différents ministères et agences composant le Comité National d'Information Géographique (ci-après désigné le CNIG) et le Comité Régional d'Information Géographique (ci-après désigné le CRIG) mis en place au sein du Conseil Interministériel d'Information Géographique (ci-après désigné le CIIG) que l'on mentionne plus bas; les potentiels de mise à jour des données mutuellement par l'IGM et les organismes composant le CIIG, ainsi que de collaboration pour leur utilisation polyvalente existent déjà au Mali.

Pour promouvoir la diffusion des résultats de ce Projet, la mission d'étude a donc décidé de mettre l'accent sur la mise en place d'un système permettant à l'IGM, après l'achèvement du Projet, de maintenir et renouveler les données résultant du Projet pour en faire ses nouvelles informations géographiques, de partager ces informations avec les antennes régionales des autres ministères et agences, ainsi que des collectivités locales avec lesquels il collabore, et d'accumuler ainsi des connaissances et des compétences. Pour ce faire, les actions suivantes ont été entreprises pendant la période d'exécution du présent Projet, en prenant en considération la situation actuelle de la politique territoriale et spatiale du Mali.

### **2.1 Positionnement de l'aménagement des données de base SIG**

Les informations géographiques existantes du Mali ont été établies grâce à la coopération technique française au moment de l'indépendance de la France, dans la seconde moitié des années 50 – première moitié des années 60, elles n'ont pas été établies par l'IGM (l'INCT à ce moment-là) lui-même. A une seule exception, l'IGM a élaboré lui-même des cartes thématiques en recourant aux techniques de cartographie topographique à petite échelle acquises via le programme de transfert technologique réalisé de 1998 à 2001 dans le cadre du projet JICA consistant à produire une carte topographique numérique au 1 :50.000<sup>e</sup> du cercle de Kita (31.000 km<sup>2</sup>) à l'ouest de Bamako. Seule la carte topographique à petite échelle au 1:2.000.000<sup>e</sup> couvrait l'ensemble du territoire malien, mais en 2016, l'Institut Géographique National (ci-après désigné l'IGN France) en collaboration avec l'IGM a établi une nouvelle carte topographique à 1 :200.000<sup>e</sup>.

En ce qui concerne les informations géographiques couvrant la zone métropolitaine de Bamako, zone cible du Projet, il existe seulement une carte topographique à l'échelle de 1 :20.000 (4 feuilles au total) produite par l'IGN France avec la collaboration de l'INCT dans les années 1980, et une carte-guide urbain (carte thématique planimétrique sans informations de hauteur) à l'échelle de 1 :10.000 produite par l'IGM de 2005 à 2007 pour 6 communes de Bamako.

Aussi, la carte à grande échelle couvrant la ville de Bamako, qui connaît une grande extension et un grand développement urbains dus à l’afflux brutal de populations à Bamako ces dernières années, ne répercute pas les reliefs et objets terrestres etc. nouvellement développés, elle ne correspond pas à la situation actuelle de la ville. Cette carte ne peut donc pas répondre aux besoins des différents acteurs du développement, que sont les organismes liés au secteur de l’urbanisme de la métropole de Bamako, les bailleurs de fonds, ainsi que les développeurs privés.

Les informations géographiques à grande échelle sont des informations essentielles pour réaliser sans heurt le plan de développement urbain, et la gestion conjointe des données par les ministères et agences concernés permet de promouvoir l’établissement et la réalisation efficaces de divers plans de développement.

Reconnaissant l’importance de la création d’une telle base de données géographiques, le 16 décembre 2002, le gouvernement malien a promulgué le Décret portant sur la mise en place d’un Conseil interministériel et d’un Conseil national concernant la création de données géographiques et visant l’introduction active de SIG par les organismes administratifs publics qui sont les utilisateurs (N°02-565/P-PM), et a mis en place le CIIG. Le CIIG est un lieu de prise de décision politique où siègent les différents ministres, et le CNIG du gouvernement central et les CRIG des collectivités régionales, organismes subalternes du CIIG, lui servent d’organismes d’exécution.

En tant que Secrétariat du CNIG, l’IGM effectue la coordination entre 42 ministères et agences, des universités et les différents organismes de recherche. Jusqu’à présent, il a mené la coordination concernant «l’aménagement des données cartographiques», «la normalisation des codes», «les métadonnées», et «la politique des informations géographiques». Finalement, il a compilé ces résultats en tant que «la Politique Nationale d’Information Géographique (ci-après désignée la PNIG)», qui a été approuvée par le Conseil de Ministre en 2012. Dans ce cadre, il a défini les objectifs à atteindre pour réaliser la politique nationale des informations géographiques, et établi un plan d’action concret. Le Tableau 2-1 présente les grandes lignes de la Politique Nationale d’Information Géographique du Mali, ainsi que le rôle du présent Projet.

**Tableau 2-1 Grandes lignes de la Politique Nationale d’Information Géographique du Mali**

Rubrique	Description	Position du Projet dans la Politique Nationale
Objectifs généraux	Contribuer au développement socioéconomique du Mali par la mise en place de l’Infrastructure Nationale des données spatiales (INDS) et la mise à jour permanente	→Soutien pour la vulgarisation du concept de l’INDS
Objectifs particuliers	1. Développement d’une structure de base de l’INDS 2. Renforcement des capacités des organismes concernés en matière de production et de gestion des informations géographiques	→Spécifications techniques des données de base SIG 1 :5.000° →Vulgarisation et diffusion par aménagement de WebGIS

	<p>3. Renforcement de la collaboration mutuelle pour les informations géographiques</p> <p>4. Relations publiques parmi les secteurs publics et privés, organismes liés aux informations géographiques, et mise en œuvre de la stratégie de diffusion</p>	<p>→Organisation d'un atelier SIG au niveau du terrain</p> <p>→Séminaire et soutien en utilisant le WebGIS</p>
Plan d'action 2012-2016	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Création du Centre de Gestion d'Information Géographique (CGIG)</li> <li>• Fourniture des équipements au CGIG</li> <li>• Relecture des décrets concernant la mise en place du CIIG et du CNIG</li> <li>• Collecte de données utilisables</li> <li>• Identification des utilisateurs des informations géographiques</li> <li>• Formation des organismes liés à la gestion des informations géographiques</li> <li>• Création et mise à jour du catalogue de métadonnées de tout le pays</li> <li>• Elaboration d'une carte de base au 1 :200.000°</li> <li>• Renforcement de la collaboration pour les informations géographiques</li> <li>• Mise en œuvre de la stratégie de relations publiques parmi les partenaires fournisseurs de techniques et de fonds de tous horizons, les organismes utilisateurs liés aux informations géographiques, et de la stratégie de diffusion des informations</li> </ul>	<p>→Travaux en cours sur fonds propres</p> <p>→Fourniture partielle en cours</p> <p>→Rien en particulier</p> <p>→Collecte par le Projet</p> <p>→Soutien en utilisant WebGIS, etc.</p> <p>→Appel au Séminaire final</p> <p>→Rien en particulier</p> <p>→Déjà exécutée par l'IGN France</p> <p>→Activités après le Projet</p> <p>→Séminaire et soutien en utilisant WebGIS</p>
Sources financières	L'obtention des fonds pour les différentes activités contribuant à la mise en œuvre de cette politique devrait se faire sur budget national, fonds extérieurs et revenu autonome de la vente des produits.	Rien en particulier
Budget national	Budget d'investissement spécial s'appuyant sur un contrat de projet conclu entre l'Etat et l'IGM	Rien en particulier
Revenu propre	Bénéfices générées par la fourniture de services liés aux informations géographiques produites et aux levés topographiques, ainsi que par la vente des produits. La somme sera épargnée sur le Fonds National d'Information Géographique (FNIG).	Rien en particulier

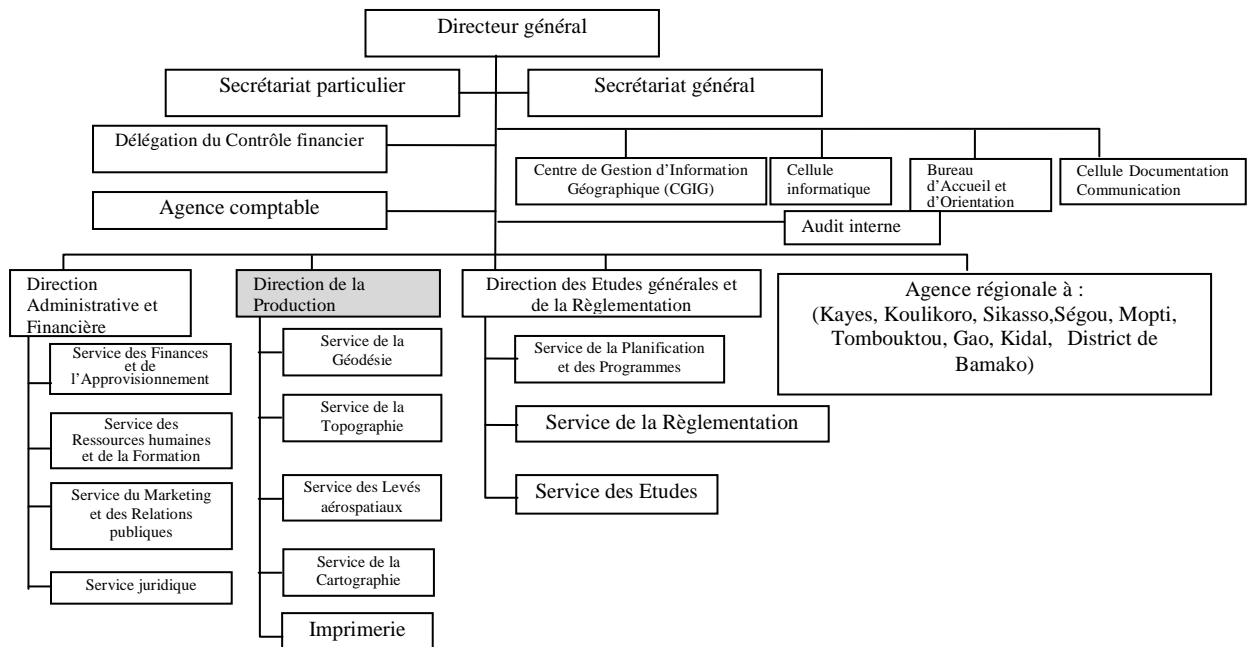
Les activités concrètes du plan d'action suivant à partir de 2016 ne sont pas définies à cause de la stagnation due au désordre intérieur. Toutefois, la préparation de la création du CGIG (2012 dans le plan d'action) a été budgétisée en 2015, et l'IGM a annoncé une proposition de gestion du CGIG au cours des ateliers et séminaires indiqués ci-après.

## **2.2 Capacité et système de fourniture des informations géographiques de l'IGM**

### **2.2.1 Système organisationnel de l'IGM**

L'IGM, qui joue un rôle central dans le domaine des informations géographiques, en concrétisant les différentes mesures de la PNIG précitées, a initialement été créé en 1964 en tant qu'Institut National de la Topographie (INT) au sein du Ministère des Travaux Publics.

La Figure 2-1 présente l'organigramme le plus récent de l'IGM réorganisé en 2015. Une des grandes modifications survenues est la création du CGIG. Le rôle de cette nouvelle organisation en relation avec le Projet se résume comme suit.



**Figure 2-1 Organigramme de l'IGM**

#### (1) Centre de Gestion d'Information Géographique (CGIG)

Le projet de budget pour le CGIG a été approuvé en août 2015 sur la base du plan d'action de la PNIG, et les préparatifs pour sa mise en place ont commencé en mars 2016. Ce nouvel organisme collecte les informations géographiques produites par les différents ministères et agences, et les gère collectivement ; il est placé sous la tutelle directe du Directeur général de l'IGM, et sera installé dans une salle au rez-de-chaussée du bâtiment de l'IGM.

Sur le plan du personnel, l'affectation d'un total de 5 personnes est prévue pour le CGIG : 1 directeur du centre, 2 experts du traitement SIG, et 2 experts SIG chargés de la gestion et diffusion des données, mais en juin 2016, ces personnels ne sont pas encore affectés. D'après les homologues maliens, on prévoit pour l'instant la gestion conjointe par des employés de l'IGM et d'autres ministères et agences.

#### (2) Imprimerie de la Direction de la Production de l'IGM

Une Imprimerie a été ajoutée à l'organisation existante. Chargée de la vente des cartes topographiques, elle assure actuellement le service d'impression avec un traceur de grande taille, mais il est prévu dans l'avenir d'introduire les pièces manquantes de l'imprimante offset pour réaliser l'impression



offset. Le rôle de ce service est d'imprimer les cartes topographiques et les cartes planimétriques, ainsi que de gérer l'impression au sein de l'IGM. Les opérations d'impression se classent en plusieurs rangs selon l'orientation de la production. L'exploitation est prévue avec 5 personnes : 1 chef, 1 expert en géodésie, 1 expert en ajustement cartographique, 1 expert en levés aérospatiaux et 1 expert en levés topographiques.

### 2.2.2 Ressources humaines et capacités techniques de l'IGM

En ce qui concerne les effectifs de l'IGM, le nombre d'employés a diminué de 204 à 161 par rapport à novembre 2011, et le nombre d'employés contractuels a augmenté et celui des employés permanents diminué.

L'organisme homologue de ce Projet est la Direction de la Production de l'IGM. Son personnel est comme indiqué ci-dessous.

**Tableau 2-2 Personnel de la Direction de la Production de l'IGM**

	Service de la Topographie	Service de la Géodésie	Service de la Cartographie	Service des Levés aérospatiaux	Imprimerie
Ingénieur en chef	1 pers.	2 pers.	5 pers.	2 pers.	1 pers.
Ingénieur-Technicien	4 pers.	4 pers.	4 pers.	2 pers.	3 pers.
Assistant	4 pers.	6 pers.	3 pers.	1 pers.	
Apprenti	35 personnes pour toute la direction (contractuels)				
Personnel administratif	2 personnes pour l'ensemble de la direction				

(Source : Documents d'archives de l'IGM, mars 2016)

Les capacités techniques actuelles de la Direction de la Production de l'IGM, l'organisme chargé de la fourniture des données d'information géographique au Mali, peuvent se résumer comme suit d'après les résultats des différentes activités réalisées dans le Projet.

#### (1) Techniques des levés géodésiques

Les résultats de l'enquête initiale menée par la mission d'étude montrent que les personnels de l'IGM possèdent les techniques de base pour l'observation GPS et sont capables de procéder à l'observation requise pour le présent Projet. La mission d'étude a donc présenté en particulier la méthode d'observation incluant l'observation GPS par radiation pour la création de réseau tridimensionnel à ces personnels, et leur a enseigné de gérer la précision. Par ailleurs, le Service de la Géodésie de l'IGM compte 4 ingénieurs, qui ont tous une expérience suffisante du nivellement à l'aide d'un niveau analogique.

(2) Techniques d'aérotriangulation/de photogrammétrie (restitution numérique, production du MNE, création d'orthophotos)

L'IGM a déjà l'expérience de la restitution numérique, mais pas celle de la pratique de l'aérotriangulation. Par conséquent, le transfert de technologies a eu pour objectif l'amélioration des techniques de base dans leurs domaines spécialisés. En plus de cela, l'IGM a préalablement exprimé son souhait de bénéficier d'un soutien pour l'ajustement des couleurs et des tons d'orthophotos, même si ses personnels sont pleins de compréhension à l'égard des orthophotos et du MNE, la mission d'étude a donc enseigné cette technique avec soin.

(3) Techniques d'édition numérique, de symbolisation/reproduction de carte et d'impression

L'IGM fournit le service d'élaboration de cartes thématiques à ces clients, mais aucune méthodologie cohérente systématisée n'est en place au niveau des différents processus tels qu'édition numérique, création et enregistrement des symboles de la carte, sortie des cartes, etc. Aussi, les manuels et spécifications standard établis dans le Projet seront-ils dorénavant renouvelés par l'IGM lui-même.

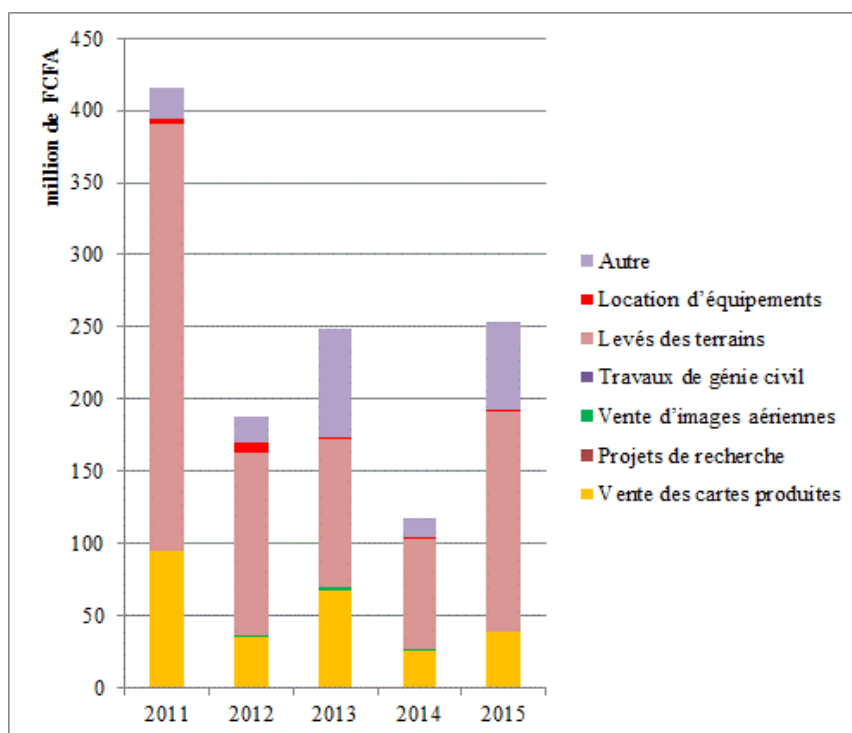
### 2.2.3 Situation financière de l'IGM

Si l'on considère l'évolution de la situation financière de l'IGM ces 5 dernières années (Tableau 2-3), la diminution de la subvention de l'Etat en 2012 par rapport à 2011 laisse à penser que cela est dû au transfert du service du cadastre de l'IGM à un autre organisme (en 2011), en plus du coup d'Etat et de la guerre civile (2013) avec les forces armées du Nord. L'influence du premier est jugée importante parce que, comme le montre la Figure 2-2 indiquant les services techniques réalisés par l'IGM ces 5 dernières années, les besoins de levés de terrains (levé cadastral y compris) ont diminué de moitié à partir de 2011. Cependant, à partir de 2014, la situation intérieure s'est stabilisée, l'obtention du budget pour la création du CGIG etc. a été approuvée, et la situation générale est revenue à celle d'avant le coup d'Etat.

**Tableau 2-3 Bilan financier des 5 dernières années de l'IGM (unité : F. CFA)**

	2011	2012	2013	2014	2015
Subvention de l'Etat	1.006.924.000	693.634.535	675.068.000	897.821.000	998.052.296
Dépenses de l'IGM	1.006.852.000	692.011.152	659.802.724	602.906.622	934.625.948
Bilan	72.000	1.623.383	15.265.276	294.914.378	63.426.348
Bilan (yens japonais)	12.744	287.338	2.701.954	52.199.845	11.226.464

(Source : documents d'archive de l'IGM, mars 2016), Taux de change



(Source : documents d'archive de l'IGM, mars 2016)

**Figure 2-2 Evolution du service technique de l'IGM**

## 2.2.4 Situation d'aménagement des informations géographiques et prix de vente

L'IGM a pour fonction l'aménagement des informations géographiques existantes, de nouvelles cartes topographiques, ainsi que de leurs données, des photographies aériennes, images satellites, orthophotos, résultats des points de contrôle au sol, etc.

### (1) Prix de vente

Le prix de vente des informations géographiques se subdivise en cartes imprimées et données numériques. A l'époque de la DNCT, aujourd'hui devenue l'IGM, le prix des cartes était peu onéreux parce qu'il était possible d'en imprimer en grandes quantités avec des imprimeuses offset, mais aujourd'hui pour la sortie directe d'un traceur à jet d'encre, comme l'indique le Tableau 2-4, les prix sont unifiés en différenciant les produits selon les formats de sortie, les couleurs (noir et blanc ou multicolore).

Par ailleurs, l'IGM a fixé de nouveaux prix de vente pour la carte topographique d'échelle 1 : 200.000 produite par l'IGN France, la carte topographique d'échelle 1 : 1.000.000 produite en éditant la carte topographique d'échelle 1 : 200.000 précitée, ainsi que la carte topographique d'échelle 1 : 5.000, l'orthophotocarte et les données numériques catégorisées qui sont les résultats du présent projet. Ces nouveaux prix sont indiqués dans le tableau ci-dessous. D'après l'IGM, le prix de la carte a été fixé jusqu'à présent sur la base des frais généraux nécessaires (frais de personnel, frais de matériaux, frais

de manipulation de données) sans rechercher de bénéfice, car ces cartes topographiques avaient été produites sur le budget de l'Etat. Néanmoins, il lui faut dorénavant fixer des prix de vente convenables incluant un profit pour assurer les frais de renouvellement des données nécessaires. C'est dans ce contexte qu'il a révisé les prix de cartes et données.

**Tableau 2-4 Liste des prix de vente des informations géographiques**

Prix des cartes et des données numériques existantes			
Désignation (information géographique)	Description	Prix/unité	Prix en yens
Carte thématique			
Format A0	Données numériques	97.960F CFA/feuille	17.339
Format A1	Données numériques	50.480F CFA/feuille	8.935
Format A2	Données numériques	26.740F CFA/feuille	4.733
Format A3	Données numériques	14.870F CFA/feuille	2.632
Format A4	Données numériques	8.935F CFA/feuille	1.581
Carte thématique (Sortie de traceur de grande taille)			
Format A0	Carte de sortie	11.700F CFA/feuille	2.071
Format A1	Carte de sortie	5.850F CFA/feuille	1.035
Format A2	Carte de sortie	2.925F CFA/feuille	518
Format A3	Carte de sortie	1.465F CFA/feuille	259
Format A4	Carte de sortie	730F CFA/feuille	129
Carte topographique (carte imprimée offset)			
Echelle 1 :1.000.000	Carte imprimée	5.000F CFA/feuille	885
Echelle 1:500.000	Carte imprimée	5.000F CFA/feuille	885
Echelle 1:200.000	Carte imprimée	5.000F CFA/feuille	885
Echelle 1:50.000	Carte imprimée	5.000F CFA/feuille	885
Echelle 1:20.000	Carte imprimée	5.000F CFA/feuille	885
Echelle 1:7.500	Carte imprimée	5.000F CFA/feuille	885
Carte topographique			
Toutes échelles	Données numériques	97.960F CFA/feuille	17.339
Photocarte (Sortie de traceur en noir et blanc)			
Echelle 1 :1.000.000	Carte de sortie	15.000F CFA/feuille	2.655
Echelle 1:500.000	Carte de sortie	5000F CFA/feuille	885
Prix des nouvelles cartes et données numériques			
Echelle 1 :1.000.000			
Sortie sur papier ordinaire	Carte de sortie	60.000F CFA/feuille	10.620
Sortie sur papier photo	Carte de sortie	75.000F CFA/feuille	13.275

Données vectorielles	Données numériques	1.000.000F CFA/lot	177.000
Données raster	Données numériques	300.000F CFA/lot	53.100
<b>Echelle 1:200.000 (même format)</b>			
Sortie en papier ordinaire	Carte de sortie	7.500F CFA/feuille	1.328
Données Raster	Données numériques	30.000F CFA/feuille	5.310
Données vectorielles	Données numériques	100.000FCFA/feuille	17.000
<b>Echelle 1:5.000 (Bamako)</b>			
Sortie sur papier ordinaire pour carte topographique	Carte de sortie	10.000F CFA/feuille	1.770
Sortie sur papier ordinaire pour orthophotos	Carte de sortie	13.000F CFA/feuille	2.301
Sortie sur papier photographique pour carte topographique	Carte de sortie	15.000F CFA/feuille	2.655
Sortie d'orthophotos sur papier photo	Carte de sortie	20.000F CFA/feuille	3.540
Données vectorielles	Données numériques	150.000F CFA/lot	26.550
Données raster	Données numériques	50.000F CFA/lot	8.850
Données raster d'orthophotos	Données numériques	75.000F CFA/lot	13.275
<b>Données numériques thématiques</b>			
Informations des limites administratives	Données numériques	20.000F CFA/Group	3.540
Informations routières	Données numériques	20.000F CFA/Group	3.540
Informations sur l'infrastructure	Données numériques	20.000F CFA/Group	3.540
Informations sur l'eau	Données numériques	20.000F CFA/Group	3.540
Informations topographiques	Données numériques	20.000F CFA/Group	3.540
Informations sur l'utilisation des sols	Données numériques	20.000F CFA/Group	3.540

(Source : Documents d'archives de l'IGM, octobre 2016, taux de change : 1 F.CFA = 0,177 yen, moyenne calculée d'août 2016)

## **2.3 Besoins d'informations de base SIG dans la zone métropolitaine de Bamako et souhaits exprimés**

Les souhaits exprimés par les utilisateurs à hauts potentiels des données de base SIG sont l'introduction du système SIG et l'utilisation des différentes informations géographiques qui en sont les produits ; mais les techniciens capables d'utiliser les informations géographiques étant peu nombreux, leur souhait se résume au fait que l'IGM leur fournisse des informations géographiques faciles à utiliser et des formations techniques. Il s'est aussi avéré que l'IGM doit jouer le rôle de leader et réaliser des activités de sensibilisation et de diffusion telles qu'échanges techniques pour l'utilisation des données, vis-à-vis des organismes utilisateurs parties prenantes.

Les données produites par le Projet sous forme de carte topographique au 1 :5.000<sup>e</sup> sont des informations géographiques servant de l'infrastructure d'aménagement du territoire, auxquelles on peut se référer pour les informations sur la position (latitude, longitude) et l'altitude. Actuellement, les différents ministères et agences s'occupant du développement de la zone métropolitaine de Bamako produisent et mettent à jour eux-mêmes des cartes thématiques afin de répondre aux besoins générés par leurs tâches. Ces cartes sont toutefois seulement des cartes planimétriques. Des informations sur l'altitude dans la zone métropolitaine de Bamako ont été produites dans le Projet, et ces données seront très utiles pour tous les utilisateurs s'occupant du développement de la zone métropolitaine de Bamako. En particulier, en ce qui concerne les travaux hydrauliques des cours d'eau, la lutte contre les inondations, les travaux d'approvisionnement en eau potable et d'assainissement pour lesquels les informations de dénivellement sont essentielles, des besoins immédiats des utilisateurs ont été vérifiés.

## **2.4 Mise en œuvre des activités de relations publiques (promotion de l'utilisation des données)**

### **2.4.1 Organisation du Séminaire de lancement du Projet**

Avant le démarrage du Projet, le 27 février 2015, le Rapport de démarrage (proposition) compilant les objectifs, les modalités d'exécution, le calendrier d'ensemble, les résultats espérés et les dispositions prises par la partie malienne a été expliqué à l'IGM, et les deux parties se sont mises d'accord.

Après l'obtention de l'accord de la part de l'IGM sur le contenu du rapport de démarrage, comme l'indique le Tableau 2-5, le Séminaire de lancement a été organisé pour faire connaître les résultats escomptés du Projet aux utilisateurs potentiels des informations géographiques du Mali (voir l'annexe). L'Ambassadeur extraordinaire et plénipotentiaire du Japon au Mali, pour la partie japonaise, et le Ministre de l'Équipement, des Transports et du Désenclavement pour la partie

maliennne, ont prononcé des allocutions sur la coopération technique japonaise au Mali. Ensuite, la mission d'étude a donné un aperçu du Projet, et un questions-réponses a eu lieu.

**Tableau 2-5 Aperçu du Séminaire de lancement**

Date de tenue	Le 6 mars 2015
Lieu	Azalai Grand Hotel, salle de conférences
Nbre de participants	Au total : 71 personnes Dont : Organisations invitées : 40 personnes Hôtes d'honneur Ministre de l'Equipement, des Transports et du Désenclavement Ambassadeur extraordinaire et plénipotentiaire du Japon au Mali IGM : 17 personnes Partie japonaise : 11 personnes Presse : 3 personnes
Principaux sujets de discussion	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Méthodologie du Projet, et résultats attendus</li> <li>• Rôle et responsabilités de l'IGM dans le présent projet</li> <li>• Méthode de création des cartes topographiques numériques</li> <li>• Données 3D qui seront les résultats du projet et leur utilisation</li> </ul>

#### **2.4.2 Organisation d'un atelier de données de base SIG en vue de la mise en place de l'Infrastructure Nationale des données spatiales (INDS)**

Après la création du CIIG reliant transversalement les différents ministères et agences, la production des cartes topographiques est en stagnation depuis 2012, en raison du problème de la sécurité publique; peu après la mise à jour des cartes à petites échelle soutenue par IGN France s'est terminée et la production des cartes topographiques à grande échelle de notre Projet qui est la première tentative du gouvernement malien s'est lancée. C'est dans ce contexte que les préparatifs pour la création du CGIG, un des récepteurs des données géographiques de base, ont commencé en 2015 pour que les cartes produites dans ce Projet soient utilisées dans des milieux divers.

Dans cette situation, les discussions répétées tenues avec l'IGM concernant les activités de relations publiques (promotion de l'utilisation des données) ont permis d'atteindre la conclusion commune qu'il sera efficace pour la promotion de l'utilisation des informations géographiques au Mali de faire savoir aux organismes affiliés au CIIG, utilisateurs potentiels prévus des informations géographiques, en quoi consistent les résultats du présent Projet. Ainsi, en utilisant les résultats du Projet, pour résoudre les problèmes administratifs que connaît la ville de Bamako, la mission d'étude a décidé de donner l'occasion d'une expérience réelle du travail en groupe (par ex. création de carte thématique) pour visualiser ces problèmes administratifs de la ville de Bamako en utilisant les informations géographiques.

Cet atelier a pour objectif d'atteindre la compréhension commune que les informations géographiques constituent un outil utilisable pour l'administration urbaine, et de favoriser l'appropriation non seulement par l'IGM, mais aussi par les ministères et agences concernés (en particulier ceux affiliés au CIIG), et il a été organisé pour donner une occasion d'expérience réelle aux agents chargés des travaux pratiques sur le terrain (niveau des chefs de section) dans chaque domaine en charge.

Dans cet atelier, comme l'indique le Tableau 2-6, la mission d'étude a d'abord expliqué aux participants les grandes lignes et les résultats (cartes et données produites) de ce Projet, et ensuite mené des débats en groupes transversaux au niveau des ministères et agences, et fourni l'occasion d'apprendre le processus d'élaboration des cartes thématiques.

**Tableau 2-6 Présentation de l'atelier tenu auprès des travailleurs de terrain**

Date de tenue	Le 9 mai 2016
Lieu	Salle de réunion, Service Approvisionnement en matériaux et Comptabilité, du Ministère de l'Equipement, des Transports, et de l'Enclavement
Nbre de participants	65 personnes au total Dont : 32 personnes de 27 ministères et agences invités Hôtes d'honneur: Conseiller technique du Ministère de l'Equipement, des Transports, et de l'Enclavement Chargé d'affaires de l'ambassade du Japon au Mali IGM : 19 pers. Partie japonaise : 14 pers.
Principaux sujets de discussion	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Positionnement du Projet dans le secteur d'information géographique du Mali</li> <li>• Création du Centre de Gestion d'Information Géographique (CGIG) et son rôle</li> <li>• Sens et buts des cartes thématiques</li> <li>• Atelier participatif (création de cartes thématiques de chaque domaine) <ul style="list-style-type: none"> <li>(1) Travail en groupe pour la création de cartes thématiques</li> <li>(2) Présentation des résultats par groupe</li> <li>(3) Evaluation de l'atelier</li> </ul> </li> </ul>

Pour l'atelier de type participatif, 3 problèmes (à savoir (1) sécurité publique, protection des citoyens, (2) alimentation en eau, hygiène et assainissement, ainsi que (3) tourisme et éducation) ont été sélectionnés parmi les problèmes de développement dont souffre la ville de Bamako mentionnés dans le plan d'urbanisme «Bamako2030» élaboré en 2015 par la mairie du district de Bamako. Les participants provenant de 32 ministères et agences ont été répartis en 6 groupes par domaine de charge, des débats en groupes transversaux au niveau des ministères et agences ont eu lieu, et la création de cartes thématiques par thème (zonage) a été réalisée par groupe en environ 1 heure.



De plus, l'IGM a désigné un responsable par groupe, qui a assuré le soutien interne en tant que facilitateur pour la méthode d'utilisation de la carte topographique à grande échelle intégrant partiellement les données produites par le Projet et son utilisation dans leur travail par les différents participants.

Le Tableau 2-7 ci-dessous compile les résultats des travaux conjoints de création de carte thématique présentés par chaque groupe.

**Tableau 2-7 Résultats de l'atelier participatif (création de carte thématique) présentés**

Thème	Groupe	Description
Sécurité, protection des populations	1	Thème de la carte : Sécurité/protection des populations Objectif : Assurance de la sécurité de la SOMAGEP (Société Malienne de Gestion de l'Eau Potable), lieu de protection prioritaire Lutte contre l'incendie de maisons et de marchés Données requises : informations détaillées sur les routes, éclairage extérieur, panneaux routiers, feux, informations sur les installations de sécurité
	2	Thème de la carte : Réduire le nombre d'accidents sur les routes de Bamako au minimum Objectif : Signification de l'aménagement des carrefours Données requises : panneaux routiers, feux, plan de trafic routier
Alimentation en eau/santé et hygiène	3	Thème de la carte : Eau et santé dans la commune 3 Objectif : Relation entre la santé et les installations (distribution des établissements de santé et pharmacies, canaux d'évacuation des eaux usées) Données requises : lieux de dépôts de déchets, détails des canaux d'évacuation des eaux usées
	4	Thème de la carte: Santé et hygiène dans les communes 2 et 3 Objectif : Identification de l'environnement sanitaire dans les communes 2 et 3 surpeuplées Données requises : informations sur les établissements de santé, lieux de dépôts de déchets, détails des canaux d'évacuation des eaux usées
Education et tourisme	5	Thème de la carte : carte touristique du Mali Objectif : Informations touristiques des communes 2 et 3, y compris musée national, zoo national et terrains de football Données requises : informations sur les monuments commémoratifs
	6	Thème de la carte : carte touristique, carte de distribution des écoles Objectif : Identification de la distribution des ressources touristiques par chaque division administrative et des hôtels, et de celle des écoles Données requises : Informations sur les hôtels, informations sur les établissements scolaires

Comme indiqué ci-dessus, cet atelier a été organisé afin de promouvoir la compréhension des CNIG, CRIG et CGIG et de transmettre la méthode d'utilisation des données produites par le Projet aux agents chargés des travaux pratiques. En vue de réaliser sans faute ces objectifs, la mission d'étude a demandé aux participants à l'atelier de faire un rapport à leurs chefs respectifs après l'atelier. De plus, en tant qu'étape de suivi, l'IGM a établi le rapport des résultats de cet atelier, et l'a distribué au niveau des directeurs.

### 2.4.3 Tenue du Séminaire de Relations publiques (promotion de l'utilisation des données)

Des explications sur l'ébauche de rapport final ont été données à l'IGM en tant que rapport final des résultats du Projet le 28 septembre 2016, et l'accord de base de l'IGM a été obtenu par la suite après évaluation de son contenu.

Après l'accord sur l'ébauche de rapport final, comme l'indique le Tableau 2-8, un séminaire de Relations publiques (promotion de l'utilisation des données) a été organisé en invitant des utilisateurs éventuels des informations géographiques du Mali, principalement des ministères et agences affiliés aux CNIG et CRIG. L'Ambassadeur du Japon au Mali et le directeur du Bureau JICA au Sénégal pour la partie japonaise, et le Secrétaire général du Ministère de l'Équipement, des Transports et du Désenclavement pour la partie malienne, ont fait des discours sur la coopération technique réalisée au Mali par le Japon. Lors de la cérémonie de remise, un répertoire des cartes et données produites dans le Projet a été remis au Secrétaire général par l'Ambassadeur du Japon.

Ensuite, la mission d'étude a expliqué les grandes lignes du Projet, et l'IGM a, en tant qu'organisme administratif en charge, présenté l'orientation de base et les perspectives de la gestion des informations géographiques après achèvement du Projet, ainsi que les techniques assimilées dans le Projet. De plus, pour le côté utilisateurs, la Mairie du district de Bamako (MDB), la Direction de l'Urbanisme (DNUH), et la Direction de la Protection civile (DGPC) ont fait une présentation sur des bonnes pratiques de ces cartes et données produites par le Projet en utilisant les données échantillons préalablement fournies par la mission d'étude. Pour terminer, un débat sous forme de questions-réponses a eu lieu avant la clôture en interrogeant les participants sur les spécifications des cartes et données produites par le Projet et sur la diffusion des techniques des informations géographiques acquises par l'IGM dans le présent Projet.

**Tableau 2-8 Présentation du Séminaire de Relations publiques (promotion de l'utilisation des données)**

Date de tenue	6 octobre 2016
Lieu	Palais des Sports de Bamako
Nbre de participants	Au total : 129 Dont : Organisations invitées : 57 personnes Hôtes d'honneur : Secrétaire général du Ministère de l'Équipement, des Transports et du Désenclavement Ambassadeur extraordinaire et plénipotentiaire du Japon au Mali Directeur du Bureau JICA au Sénégal IGM : 52 personnes Partie japonaise : 13 personnes

	Presse : 7 personnes
Principaux sujets de discussion	Effets espérés des cartes et données produites par le Projet Grandes lignes du Projet, et cartes et données produites par le Projet (recueil de règles WebGIS et de spécifications techniques) Perspectives pour la mise en place de l'INDS prévue Orientation des activités de l'IGM après l'achèvement du Projet Utilisation des cartes et données produites par le Projet (MDB, DGPC) Présentation des résultats du transfert de technologies (aérotriangulation, édition numérique, SIG)

#### 2.4.4 Organisation d'un forum ouvert par l'IGM

Ce Projet a contribué à l'aménagement d'une carte topographique à grande échelle de la zone métropolitaine de Bamako, ainsi que de données SIG (échelle de 1 :5.000). Simultanément, via le programme de transfert de technologies, les équipements nécessaires au réaménagement, mises à jour à venir y compris, ont été fournis, et l'IGM a pu acquérir un certain niveau de savoir-faire technique à l'aide de ces équipements. Par ailleurs, dans le processus de l'enquête des besoins effectuée dans ce Projet, les problèmes rencontrés par les utilisateurs des données d'information géographique sont aussi devenus clairs. L'IGM a ainsi compris que les utilisateurs des informations géographiques n'ont pas tous des connaissances précises, que la fourniture des informations de base sur les données d'information géographique aux utilisateurs est indispensable, et que le service de soutien technique par ex. SIG aux utilisateurs joue un rôle important.

S'appuyant sur les techniques acquises dans ce Projet, l'IGM a organisé un forum ouvert de partage des informations pour donner aux utilisateurs des informations géographiques une rétroaction efficace sur ce que sont les données SIG, et comment elles sont produites. A la suite de l'atelier pratique pour la création de cartes thématiques organisé en mai dernier, ce forum a été organisé en espérant les effets suivants (Tableau 2-9).

- Meilleure compréhension des informations géographiques, augmentation des occasions de leur utilisation, et grande ouverture d'esprit des utilisateurs pour ces informations via l'observation directe des travaux et produits de l'IGM par les utilisateurs des informations géographiques, incluant des agents des services administratifs collaborant activement au partage et à la fourniture des données pendant la période du Projet, et les chercheurs des universités chargés de l'information géographique future, ainsi que par le biais de questions-réponses ;
- Prise de conscience de la responsabilité pour les techniques et produits par le biais de leur présentation faite à l'initiative de l'IGM, et les réponses données aux questions des visiteurs à propos du contenu du transfert de technologies concernant la cartographie numérique stéréo à grande échelle réalisé dans le Projet, et le processus de création des données d'information géographique

**Tableau 2-9 Présentation du forum ouvert de l'IGM**

Date de tenue	13 octobre 2016
Lieu	Laboratoire et salle de conférences de l'IGM
Nbre de participants	Au total : 151 personnes Dont : Organisations invitées : 25 personnes 12 chercheurs des universités 91 personnes de l'IGM 23 agents régionaux de l'IGM
Programme	Explication sur l'organisation du forum ouvert de la mission d'étude Répartition des participants à 4 emplacements dans le laboratoire et dans la salle de conférences du 1 <sup>er</sup> étage, et explications données en présentant directement des données. Ainsi qu'explications à tout moment pour répondre aux questions des participants. (1) Démonstration (technique de cartographie numérique) • Table 1 : IGM (mesure tridimensionnelle) • Table 2 : IGM (gestion de la base de données SIG) • Table 3 : IGM (carte topographique numérique) • Table 4 : mission d'étude (SIG à source ouverte) (2) Démonstration (techniques SIG) • Table 5 : IGM (WebGIS) • Table 6 : mission d'étude (présentation de cas avancés de techniques d'utilisation des informations géographiques au Japon, en utilisant des images animées sur une tablette)

On a demandé de commenter dans la rubrique Commentaires de cette enquête, et les avis précieux, autres que les remerciements pour l'organisation de ce forum ouvert et les contenus intéressants, etc. ont été donnés, et sont résumés ci-dessous.

- Ce forum a été une bonne occasion d'apprentissage sur les logiciels QGIS et ArcGIS. Je souhaite que l'IGM prévoie encore dorénavant un événement comme celui-ci, et assure le soutien technique des organismes partenaires concernant les informations géographiques.
- Je souhaite que ce type de forum ouvert soit aussi organisé pour les étudiants d'université qui tiennent l'avenir du Mali.
- Il est souhaitable que l'amélioration soit apportée d'urgence à la carte topographique de Bamako, surtout pour ses limites administratives constituant un problème, parce que cette carte est indispensable pour l'urbanisme.
- Je souhaite que l'IGM prévoie une formation technique pour les utilisateurs des informations géographiques et fournisse en permanence les informations au public.
- En ce qui concerne la mise à jour de la carte topographique, je souhaite un plan de mise à jour tous les 10 ans. Je voudrais une carte indiquant les limites officielles de la Commune VI.
- Je voudrais utiliser rapidement ces données pour le projet Pipeline.
- Je souhaite qu'on prévoie dorénavant un tableau des prix des cartes topographiques dans la brochure, un guide d'utilisation, etc.

- L'IGM ne devrait pas se limiter à ce forum, et continuer à en organiser. Mais comme le nombre de participants a été trop important cette fois-ci, il serait souhaitable qu'un plan de permutation d'environ 10 participants à chaque fois soit adopté.

Vu les points ci-dessus, l'IGM a à son initiative transmis aux utilisateurs les connaissances acquises par le biais du programme de transfert de technologies du Projet, en plus de la publicité sur son propre rôle, a promu la compréhension fondamentale des données d'information géographique et la méthode d'élaboration de la carte topographique auprès des utilisateurs. On peut donc estimer que l'objectif d'organisation de ce forum qui a été d'enraciner la méthode d'utilisation des cartes et données produites par le Projet auprès des chercheurs des universités et des agents administratifs chargés des travaux pratiques, qui sont les utilisateurs des informations géographiques, a été grosso modo atteint.

Si l'on ajoute aussi les résultats de l'atelier organisé en mai, il est évident qu'un certain niveau de connaissances a été atteint au Mali en ce qui concerne le soutien des activités au niveau de l'utilisation pratique de l'IGM et du secteur de l'information géographique. On peut espérer dorénavant que le gouvernement malien, sous la conduite des cadres de l'IGM, et conjointement avec les différentes directions des ministères et agences affiliés aux CNIG et CRIG, normalisera les informations géographiques et concrétisera leurs activités pour la réalisation du plan de mise en place de l'Infrastructure Nationale des données spatiales (INDS).

## **2.5 Création du site Web**

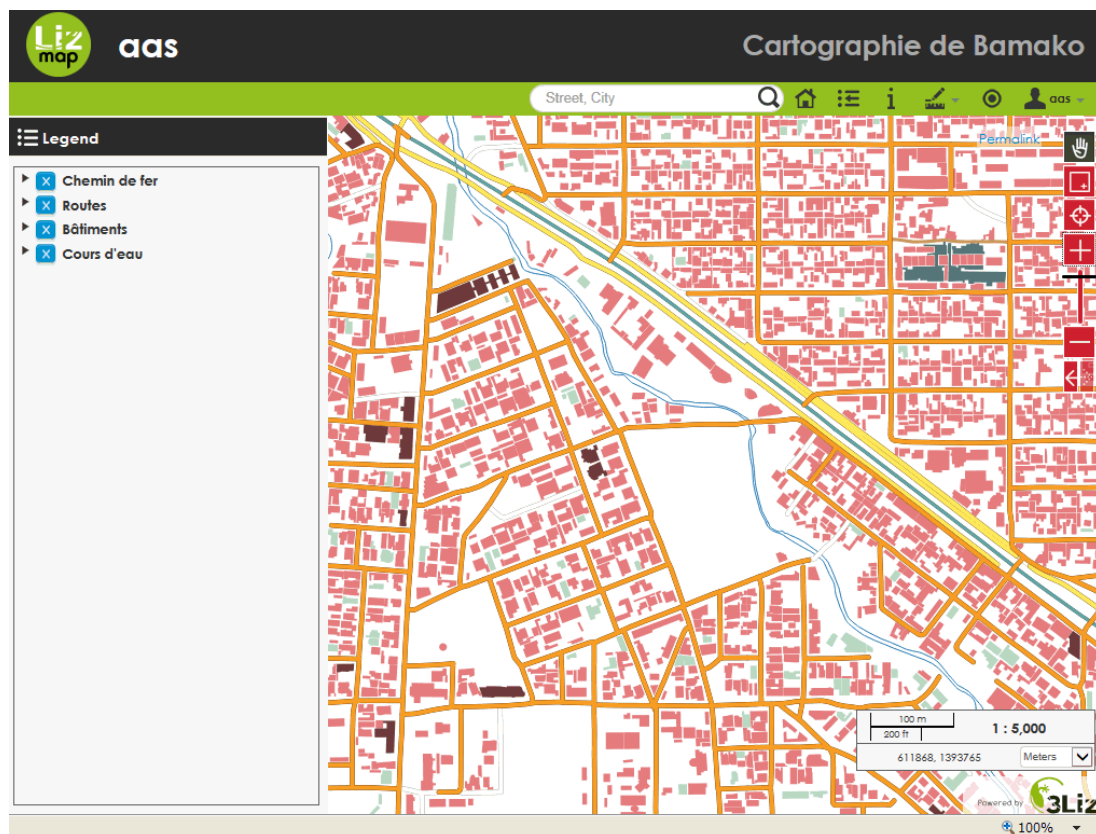
Un site Web rendra possible la publication et le partage des données de base SIG aménagées par le Projet. La mission d'étude a donc eu des discussions répétées avec l'IGM sur la création du site Web pour permettre aux utilisateurs potentiels s'occupant du développement urbain de la ville de Bamako d'utiliser en permanence ces données après la fin du Projet et pour inciter leurs demandes de renseignements telles que demandes de mise à jour etc. Au cours de ces discussions, nous avons étudié la conception du site et créé ensemble un site Web.

### **2.5.1 Design du site Web**

Le contenu définitif affiché en WebGIS se compose de l'ensemble de données SIG sélectionnées pour permettre son accès libre sur Internet (voir la figure ci-dessous). Suite aux discussions avec l'IGM, pour des raisons de sécurité, le WebGIS a finalement été conçu comme suit :

- (1) Utilisation de données vectorielles SIG sans attribut d'informations de position (valeur de coordonnées) ;

- (2) La couche des « établissements publics » à utiliser avec précaution, tels qu'ambassades, organisations internationales, organismes et installations militaires et hôtels, sera masquée pour que les utilisateurs ne puissent pas voir ces informations d'attribut et noms sur la carte;
- (3) La couche des « Bâtiments » (code de données 2101-2106) sera intégrée en tant qu'une (1) donnée, et remplacée par « Zone serrée de bâtiments (croquis approximatif de zone) » ;
- (4) La couche des valeurs d'élévation (code de données 6101-7107) sera masquée pour comprimer le volume des données du WebGIS. Le volume des données SIG influencera sur la capacité de téléchargement (upload), il faudra faire attention aux connexions Internet de Bamako.



(Source: Mission d'étude)

**Figure 2-3 Une image d'exemple du WebGIS**

### 2.5.2 Mise en place du WebGIS et gestion du système

Pour la conception et l'aménagement du WebGIS, les données SIG sont réglées à l'aide de LizMap, qui est un module d'extension de QGIS, dans un processus répétitif de téléchargement. Le WebGIS du Projet a été introduit en tant que plateforme de données spatiales à double sens, permettant de visualiser les ensembles de données SIG sélectionnées de la carte topographique numérique au 1 :5.000° de Bamako.

Cependant, compte tenu de l'état de l'infrastructure de communication du Mali et de l'accessibilité, les ensembles de données SIG faisant partie du contenu du WebGIS peuvent être opérés dans le

serveur officiel du pays de l'union européenne (Italie) pendant 5 ans à partir de 2016. Les techniques et démarches d'opération ont été transférées à l'agent de l'IGM en charge. A partir de 2021, si l'IGM lui-même assure la gestion et la maintenance, ou bien si l'état de l'infrastructure de communication du Mali s'améliore, les ensembles de données SIG seront gérés dans le serveur installé au sein de l'IGM.

De plus, un serveur de fichiers a été installé au sein de l'IGM. Ce serveur avec plusieurs disques durs RAID a été configuré pour permettre le renforcement de la sécurité et la réduction de la perte de données. D'autre part, la création de données de secours hors ligne a été rendue possible pour l'IGM.

## **2.6 Orientation future**

Les données de base SIG ont été aménagées dans ce Projet en vue de leur mise en commun par le Conseil Interministériel d'Information Géographique (CIIG) et le Comité National d'Information Géographique (CNIG), mais pour l'instant, aucune activité en ce sens n'est notable. Aussi, l'IGM devant jouer un rôle de coordinateur entre les organismes affiliés tels que le CIIG concernant la mise à jour et l'utilisation polyvalente des données, la mission d'étude lui a recommandé de poursuivre la collecte d'informations et les activités pratiques ci-dessous en tant qu'activités de promotion de l'utilisation des données produites par le Projet.

### **(1) Aménagement additionnel des données de base SIG**

Comme défini dans les règles de symbolisation, les données de base SIG se composent des objets terrestres constituant la carte topographique, notamment ceux à thèmes communs. Comme les besoins en SIG se diversifient actuellement, les données produites par ce Projet ne pourront pas satisfaire tous les utilisateurs. Par conséquent, comme l'indiquent les résultats de l'atelier précité, suite aux discussions enjambant les secteurs, les informations des données de base SIG insuffisantes pour satisfaire les besoins découlant des tâches des différents ministères et agences seront mises au clair. Aussi, si l'IGM effectue des coordinations par thème entre les différents organismes affiliés tels que le CNIG, cela évitera les données de base SIG doubles et mettra au clair des informations devant être ajoutées et lui permettra ainsi de réaliser efficacement la fonction de mise à jour des données, les ajouts y compris.

### **(2) Poursuite de l'aménagement de la carte topographique au 1 :5.000<sup>e</sup>**

Ces dernières années, l'augmentation de la population de Bamako, capitale du Mali, se poursuit, et sa population qui était d'environ 1 million d'habitants en 1998 a atteint 1,8 million en 2009 (recensement du Mali de 1998/2009). Les habitants qui ont afflué habitent en désordre sur la périphérie de la ville, et la ville s'étend de plus en plus. Les acteurs du développement reconnaissent bien que des informations géographiques sur la ville de Bamako et ses environs sont indispensables

pour la construction d'habitations, l'aménagement de l'infrastructure sanitaire et des ouvrages d'approvisionnement en eau potable et d'assainissement.

Dans le présent Projet, la superficie ciblée par la cartographie topographique au 1 :5.000<sup>e</sup> est de 520 km<sup>2</sup> par rapport à la surface de prise de vues aériennes (1.400 km<sup>2</sup>), et aucune cartographie n'est pas faite pour les 880 km<sup>2</sup> restants de la périphérie de la ville de Bamako. Cette zone restante faisant l'objet de la création de l'orthophotocarte, l'aérotriangulation a été faite à l'aide des résultats du levé des points d'appui. Il sera donc important qu'après la fin du Projet, l'IGM poursuive lui-même l'aménagement de la carte, incluant des informations d'altitude, en utilisant ces modèles tridimensionnels et les connaissances et les techniques acquis dans le programme de transfert de technologies décrit plus loin dans le Chapitre 4.

### (3) Collaboration avec le CGIG et gestion rationnelle (ressources humaines, équipements)

Les préparatifs pour la création du CGIG ont commencé en 2015. Cette création s'appuie sur le plan d'action de la PNIG, mais dans le plan initial, sa création était prévue pour l'an 2012, la première année de l'objectif spécial de la mise en place de l'INDS. Il est par conséquent capital de poursuivre dynamiquement les activités requises pour l'atteinte de l'objectif spécial du plan initial (établissement d'un inventaire des métadonnées comprenant la carte topographique au 1 :200.000<sup>e</sup> créée par Projet IGN France et les données produites par ce Projet, élaboration des lois et des spécifications techniques). De plus, le recrutement de ressources humaines capables d'effectuer la formation d'introduction des données de base SIG vis-à-vis des ministères et agences affiliés au CNIG et au CRIG est nécessaire d'urgence.



### 3. Aménagement des données de base SIG (1 :5000<sup>e</sup>)

#### 3.1 Fixation des spécifications techniques

Pour démarrer la création des données de base SIG, les discussions répétées avec l'IGM concernant les normes des levés et les spécifications des données de carte topographique ont conduit à la fixation des spécifications nécessaires pour la production des données de base SIG d'échelle 1:5.000 et des orthophotocartes.

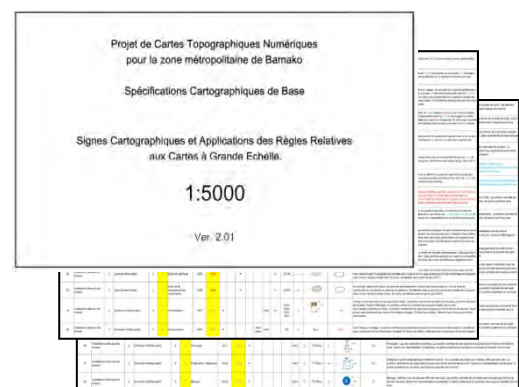
##### 3.1.1 Discussions pour la fixation des spécifications techniques

Les éléments requis pour la création des cartes topographiques numériques d'échelle 1 :5.000, à savoir les normes de levés (méthode de levés et précision acceptable), les symboles (objets terrestres à acquérir) et les règles d'application des symboles, les spécifications des données créées (taille, langue, informations marginales), etc. n'étaient pas aménagés à l'IGM.

Comme décrit dans le chapitre précédent, le Mali a annoncé la création de l'INDS en tant qu'objectif supérieur à atteindre dans la Politique nationale d'information géographique définie par le Cabinet en 2012. Les points les plus importants pour atteindre cet objectif seront la normalisation des données d'information géographique du Mali et la mise en place des spécifications techniques. Pour la gestion des informations territoriales et spatiales du Mali promue par l'IGM en tant que Secrétariat, la mise en place de spécifications techniques unifiées est tout aussi importante que celui des données de base SIG au 1 :5.000<sup>e</sup> produites dans ce Projet.

##### 3.1.2 Diverses spécifications techniques sur lesquelles les deux parties se sont mises d'accord

Une proposition pour les différentes règles nécessaires pour les données de base SIG d'échelle 1 :5.000 à créer dans ce Projet a été préalablement préparée, et des discussions ont eu lieu avec l'IGM sur cette base. Les recueils de règles sur lesquels l'IGM a finalement donné son accord sont énumérés ci-dessous. La carte topographique au 1 :5.000<sup>e</sup>, qui constituera les données de base SIG, ainsi que l'orthophotocarte ont été produites conformément à ces 5 règles.



**Figure 3-1 Symboles de la carte au 1 :5.000<sup>e</sup> et règles de leur application**

- (1) Explicatif UTM du Projet Bamako
- (2) Informations marginales de la carte d'échelle 1 :5.000 du Projet Bamako
- (3) Système de numérotation des feuilles de la carte du Projet Bamako
- (4) Symboles cartographiques d'échelle 1 :5.000 et règles de leur application dans le Projet Bamako
- (5) Règle des annotations de la carte d'échelle 1 :5.000 du Projet Bamako

### 3.1.3 Normes de levés

Les normes de levé topographique ont été discutées avec l'IGM en vue de la prise des photographies aériennes, des observations GNSS, du nivellement, de l'aérottriangulation, de l'identification du terrain, de la restitution numérique et de l'édition numérique. Pour le système national de coordonnées de référence, l'IGM étudiant depuis 2012 le passage au Système géodésique mondial, les normes de levés du Projet ont été fixées tout en vérifiant les activités de conversion du système de référence de l'IGM. Le Tableau 3-1 indique les normes de levé topographique auxquelles doivent se conformer les données de base SIG créées dans ce Projet.

**Tableau 3-1 Normes de levé topographique**

Norme	Adoption
Ellipsoïde de base	WGS84 (Système Géodésique Mondial 84)
Méthode de projection cartographique	UTM (zone 29N)
Système géodésique	Système géodésique WGS84
Hauteur	Niveau moyen de la mer au Port de Dakar

Ensuite, les normes de précision des levés nécessaires au levé des points d'appui ont été discutés avec l'IGM, et les précisions requises pour les observations GNSS, le nivellement et les levés aérospatiaux ont été définies comme indiqué dans le Tableau 3-2.

**Tableau 3-2 Normes de précision appliquées dans cette étude**

Point à étudier	Normes et spécifications d'observation
Observations GNSS	Nombre de sessions d'observation : 20 Durée d'observation : 60 minutes Intervalle d'acquisition des données : moins de 15 secs. Satellites GNSS communs utilisés : plus de 5 Méthode de levé : observation simultanée
Nivellement simplifié	Intervalle des piquages: de 2 à 4 km Erreur de fermeture de boucles: $40\text{mm}\sqrt{S}$ Erreur de fermeture d'un point connu à d'autres: $50\text{mm}\sqrt{S}$ Divergence du nivellement aller-retour: $40\text{m}\sqrt{S}$ S=Distance du travail de levé (dans un sens en kilomètres)

Prise de vue aérienne (appareil photo numérique)	Recouvrement : 60% (standard)
	Recouvrement latéral : 30% (standard)
	5 satellites ou plus de stations fixes et mobiles simultanément

Ensuite, la précision acceptable pour les différentes données et les résultats acquis par observation GNSS, nivellement et aérotriangulation a été définie comme indiqué dans le Tableau 3-3.

**Tableau 3-3 Précision acceptable pour la carte topographique**

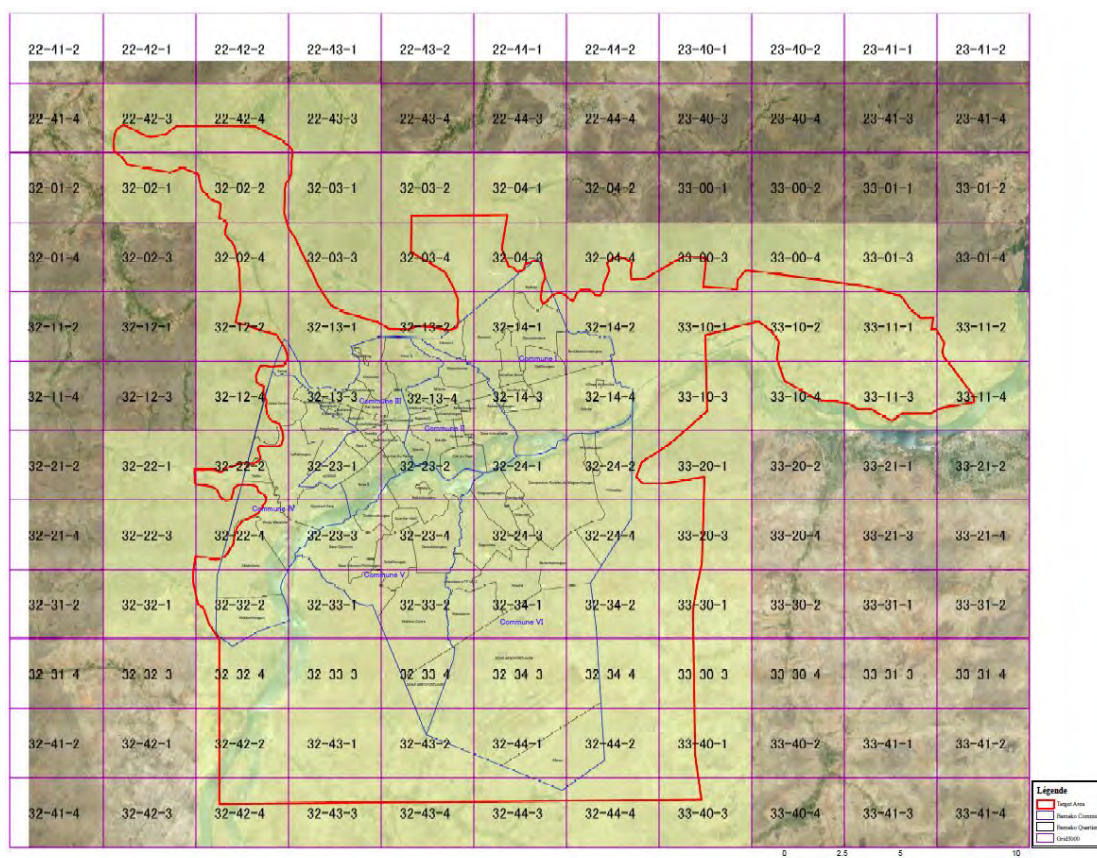
Rubrique	Position planimétrique	Elévation
Précision du levé des points d'appui	0,2m ou moins	0,2m ou moins
Point de vérification d'aérotriangulation	1,5m ou moins	1,5m ou moins
Calcul d'ajustement d'aérotriangulation	1,5m ou moins	1,0m ou moins
Restitution numérique	1,5m ou moins	1,0m ou moins
Données de base SIG	3,5m ou moins	1,66m ou moins (Courbe de niveau: 2,5m ou moins)

Un accord est intervenu comme indiqué dans le Tableau 3-4 sur l'équidistance des courbes de niveau et la densité des cotes altimétriques présentées sous forme de données de base SIG en tant que résultats définitifs du Projet.

**Tableau 3-4 Equidistance des courbes de niveau de la carte topographique**

Type de cartes	Courbe intermédiaire	Courbe maîtresse	Courbe supplémentaire	Intervalle de la cote altimétrique (sur carte)
1 : 5.000	5m	25m	2,5m	4 points/10cm <sup>2</sup>

Pour terminer, conformément aux règles de numérotation des feuilles de carte définies en respectant la cohérence avec les cartes topographique à petite échelle possédées par l'IGM, il a été convenu d'adopter la carte d'index de la Figure 3-2 ci-dessous pour l'agencement de la carte topographique d'échelle 1 :5.000 et de l'orthophotocarte créées par ce Projet.



(Source: Mission d'étude)

**Figure 3-2 Index des feuilles**

Intérieur de la ligne rouge : zone de production de la carte topographique, cadre violet : tous les carreaux (unités) de la carte d'échelle 1 :5.000, ligne bleue : limites des communes, en jaune : carreaux de la carte topographique produite par le Projet

## 3.2 Supervision de la prise des photographies aériennes

### 3.2.1 Prise des photographies aériennes

Dans ce Projet, comme il n'existe pas d'entreprise spécialisée en prise de vues aériennes au Mali, la prise des photographies aériennes a été confiée à une entreprise européenne (Pays-Bas). Conformément aux spécifications techniques, la spécification de résolution au sol des images numériques de 20 cm, avec un appareil photo aérien numérique UltraCam Eagle (avec GNSS et dispositif d'observation à inertie) a été définie.

### 3.2.2 Résultat des prises de vues

Parcours de prise de vues : 18 parcours en direction est-ouest et 3 en direction nord-sud. 1.251 photographies ont été prises au total. Lors de la prise des photographies, le point géodésique (B11) existant de l'IGM a été utilisé pour obtenir des données GPS/IMU (coordonnées des points principaux de la prise de vues) (voir la Figure 3-3 et le Tableau 3-5).



(Source: Map data©2015 GoogleEarth)



(Source: Mission d'étude)

### Figure 3-3 Parcours et résultats de prise de vues

(à gauche : Parcours de prise de vues, à droite : toute la zone photographiée)

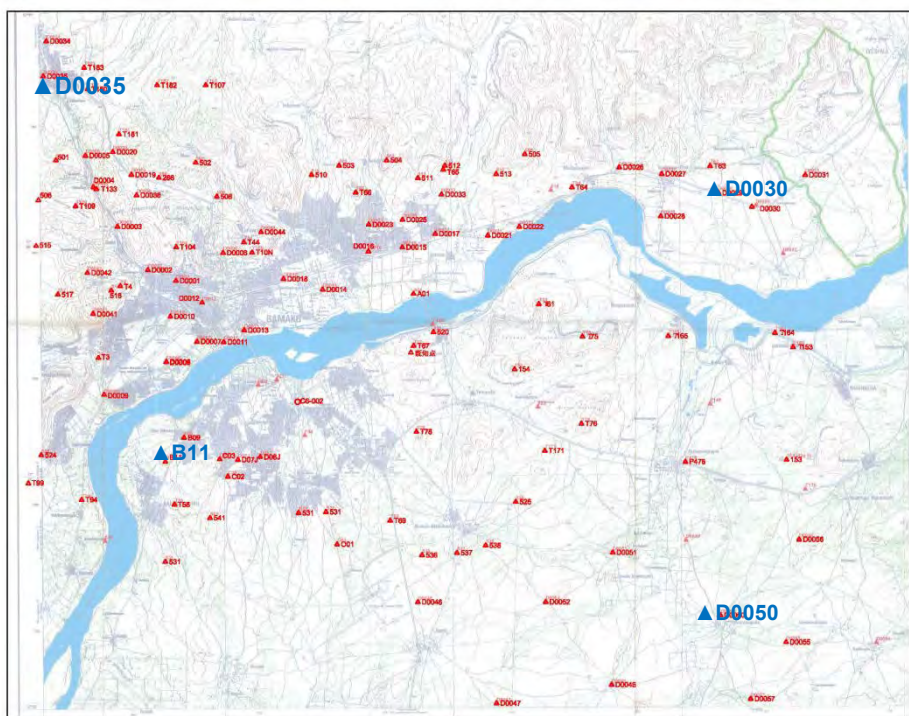
## 3.3 Levé des points d'appui

### 3.3.1 Observation GNSS

Le levé des points d'appui a été fait conjointement avec l'IGM, à l'aide des points géodésiques existants gérés par l'IGM pour définir la position horizontale des points d'appui utilisés lors de l'aérotriangulation dans le cadre de la production des données de base SIG d'échelle 1 : 5.000.

(1) Inspection et vérification des points géodésiques existants

La Figure 3-4 ci-dessous indique les points géodésiques existants aux environs de Bamako. Les points géodésiques à utiliser pour cette étude ont été sélectionnés sur la base de cette carte de distribution des points, et une inspection a été réalisée en sélectionnant les points géodésiques existants dans la zone objet du Projet, puis en effectuant une reconnaissance sur le terrain pour vérifier si chacun de ces points est utilisable.



(Source: Mission d'étude, élaborée à partir des documents de l'IGM)

**Figure 3-4 Carte de distribution des points géodésiques existants**

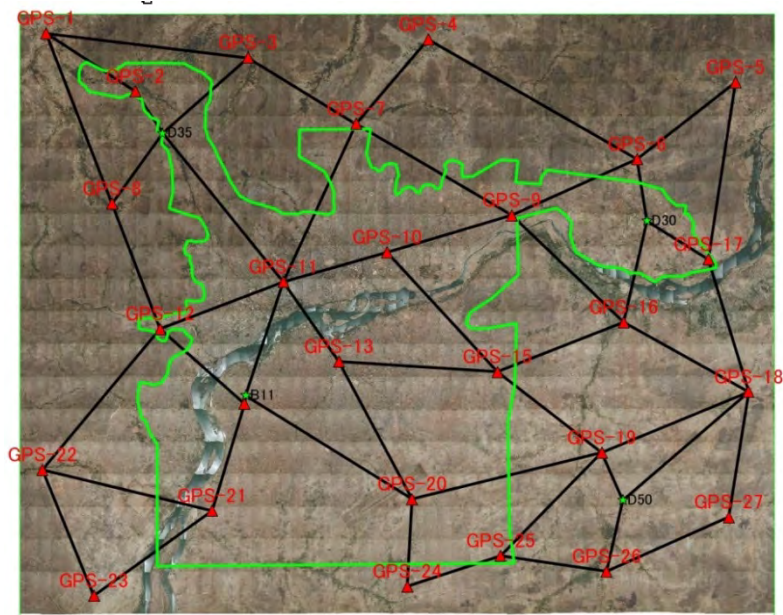
Aux levés d'inspection, B11 a d'abord été défini comme point fixe, puis les coordonnées des points géodésiques D0035, D0030 et D0050 proches des limites de la zone du Projet ont été calculées au moyen d'un rayonnement et vérifiées.

(2) Reconnaissance sur le terrain de la position sélectionnée pour les points d'appui

27 points (GCP-01 – GCP-27) ont été sélectionnés en tant que points d'appui pour l'aérotriangulation, et la reconnaissance sur le terrain de tous ces 27 points a été effectuée pour vérifier leur état.

(3) Levé des points d'appui

4 équipes ont été composées pour l'observation GNSS des 27 points d'appui, et 20 sessions effectuées à l'aide de 4 appareils GNSS (Figure 3-5). Dans ce Projet, le levé des points d'appui a été effectué non pas au moyen d'un rayonnement utilisé jusqu'ici par l'IGM, mais selon une méthode d'observation et calcul en recourant au réseau de polygonation.



(Source: Mission d'étude)

**Figure 3-5 Carte d'observation des sessions**

### 3.3.2 Nivellement

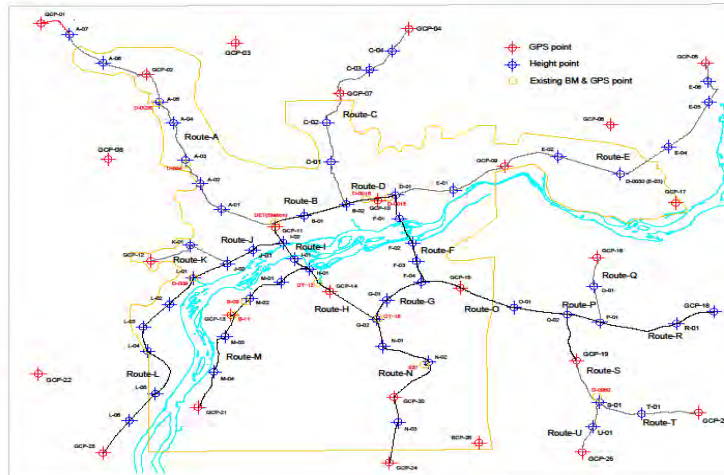
Le nivellement a été réalisé sur la base des points de nivellement existants gérés par l'IGM pour définir l'élévation des points d'appui utilisés lors de l'aérottriangulation dans le cadre de la cartographie topographique numérique d'échelle 1 :5.000.

#### (1) Vérification des points géodésiques existants aux environs de Bamako

La valeur d'élévation d'une partie des points géodésiques existants aux environs de Bamako mis en place par l'IGM, comme mentionné dans les observations de GNSS du paragraphe précédent, a été fixée par nivellement. De ce fait, la reconnaissance sur le terrain a été réalisée pour vérifier l'état de ces points géodésiques existants (existence ou non de la borne sur le lieu). Les résultats de la vérification des points géodésiques existants et les valeurs d'élévation fournies par l'IGM ont révélé que 7 sur 11 points bien existaient, mais dont A-01 était en mauvais état.

#### (2) Le nivellement

La Figure 3-6 indique la ligne de nivellement finale obtenue à partir de la ligne de nivellement préliminaire avant l'étude en considérant les positions des points de nivellement et des points géodésiques existants (points dont la valeur d'élévation est fixée par nivellement) et l'état de la route.



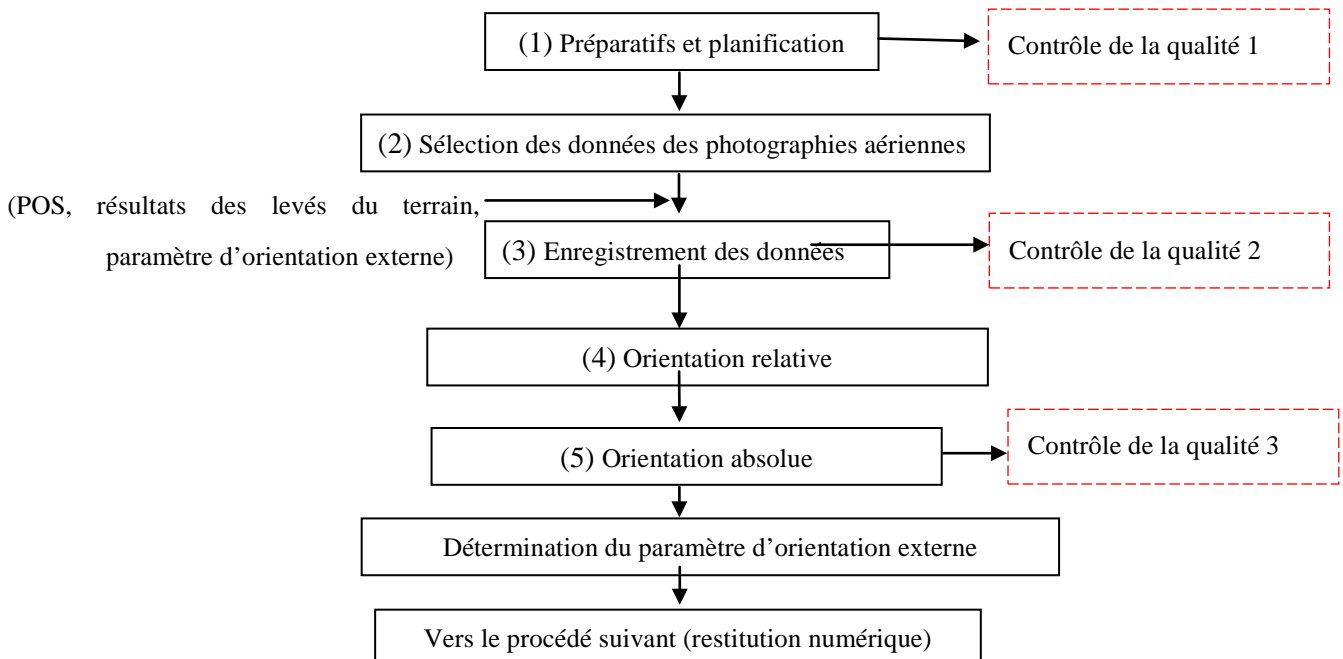
(Source: Mission d'étude)

**Figure 3-6 Plan de la ligne de nivellement**

Le nivellement a été réalisé sur une distance totale de 196,78 km par 3 équipes du 9 mars au 26 avril 2015. Les valeurs d'élévation de tous les points d'appui ont été acquises le 28 avril 2015 via classement du registre des observations, calcul et remesure des valeurs d'élévation, en même temps que le nivellement.

### 3.4 Aérottriangulation

L'aérottriangulation pour la portée de prise des photographies aériennes (env. 1.400 km<sup>2</sup>) a été réalisée au Japon conformément au processus indiqué sur la Figure 3-7.

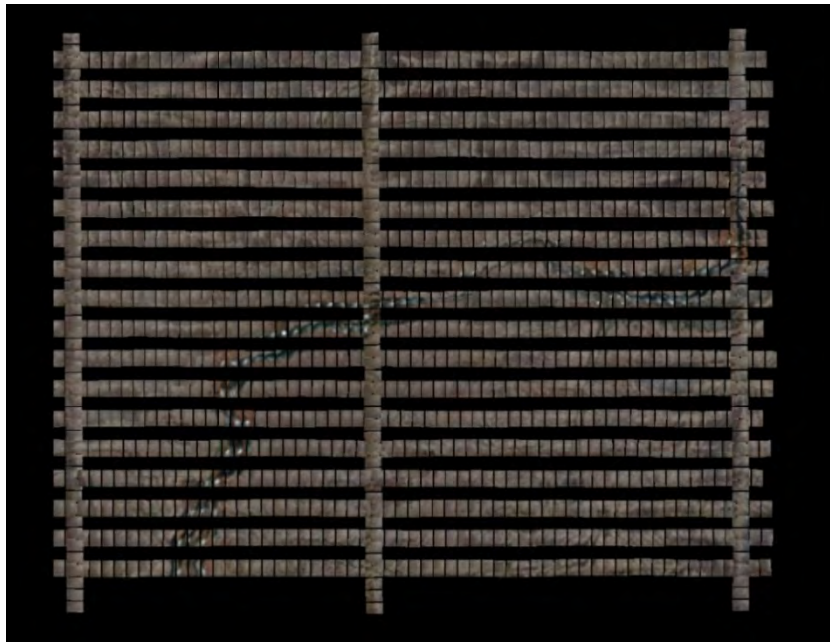


**Figure 3-7 Flux de travail pour l'aérottriangulation**



La Figure 3-8 indique les photographies aériennes prises dans ce Projet.

Par chance, la prise des photographies aériennes a pu être réalisée en une journée, et la précision de prise de vue a été bonne parce que les différences de hauteur de vol sont faibles dans les résultats POS-EO. L'aérotriangulation a finalement été réalisée avec 1.077 photos prises au cours des 18 parcours latéraux (est-ouest).



(Source : Mission d'étude)

**Figure 3-8 Carte d'index de la prise des photographies aériennes**

On a vérifié la précision de l'erreur résiduelle des résultats de l'orientation relative (parallaxe longitudinale des points de jonction et points de liaison) de l'aérotriangulation et les résultats de l'orientation absolue (résultats des points de contrôle au sol obtenus par levés des points d'appui et résultats des points de contrôle au sol obtenus par aérotriangulation).

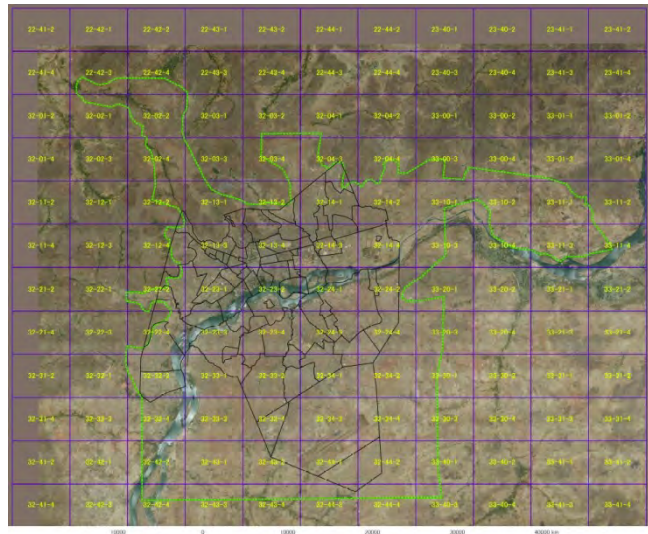
Les résultats définitifs de l'orientation absolue de l'aérotriangulation ont été bons : déviation standard des points de contrôle au sol (XYZ) = 0,143 m, 0,134 m, 0,438 m, et erreur standard planimétrique (XYZ) = 0,198 m.

## **3.5 Création d'orthophotos**

### **3.5.1 Portée de l'orthophotocarte**

Comme le montre la Figure 3-9, des orthophotos ont été créées en divisant les quelque 1.400 km<sup>2</sup> (132 carreaux (1 carreau = 4,0 km x 3,0 km) de toute la zone métropolitaine de Bamako située dans la

portée des prises de vues aériennes en 520 km<sup>2</sup> objets de la restitution numérique au 1 :5.000<sup>e</sup> et 880 km<sup>2</sup> extérieurs à cette zone.

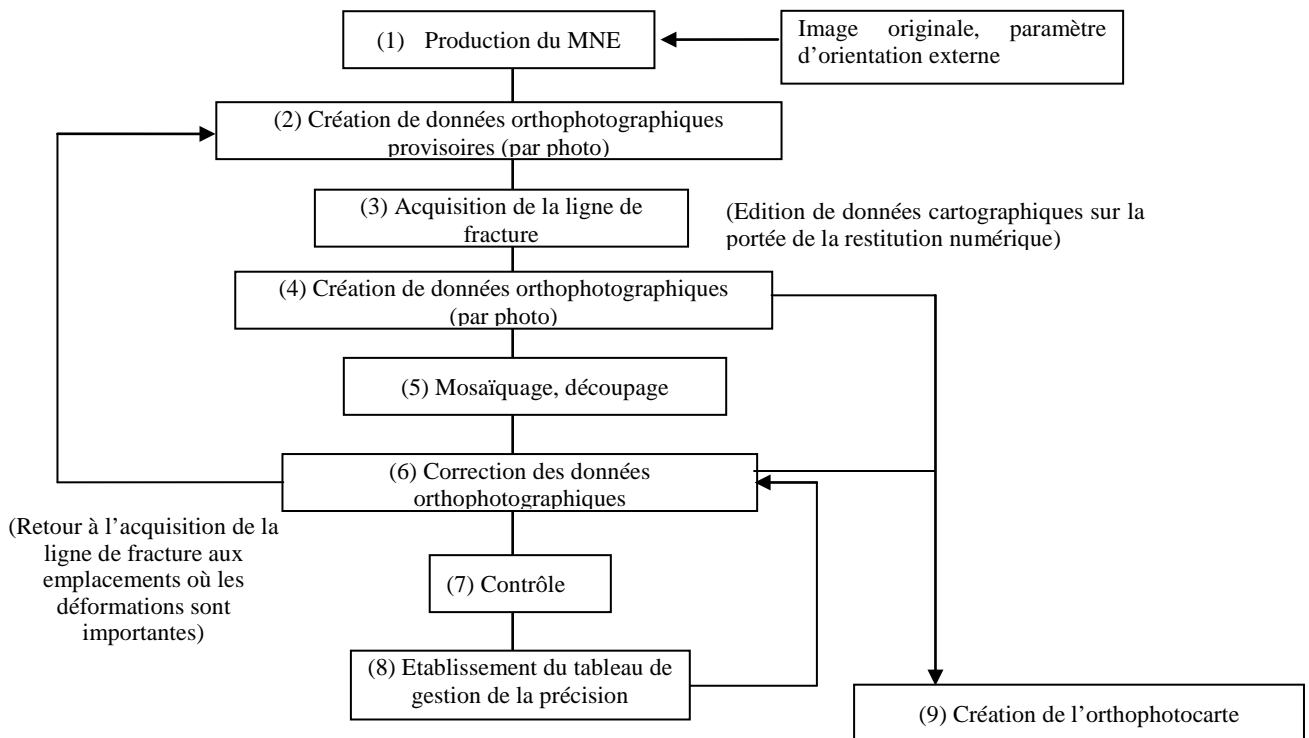


(Source : Mission d'étude)

**Figure 3-9 Zone de création des orthophotos**

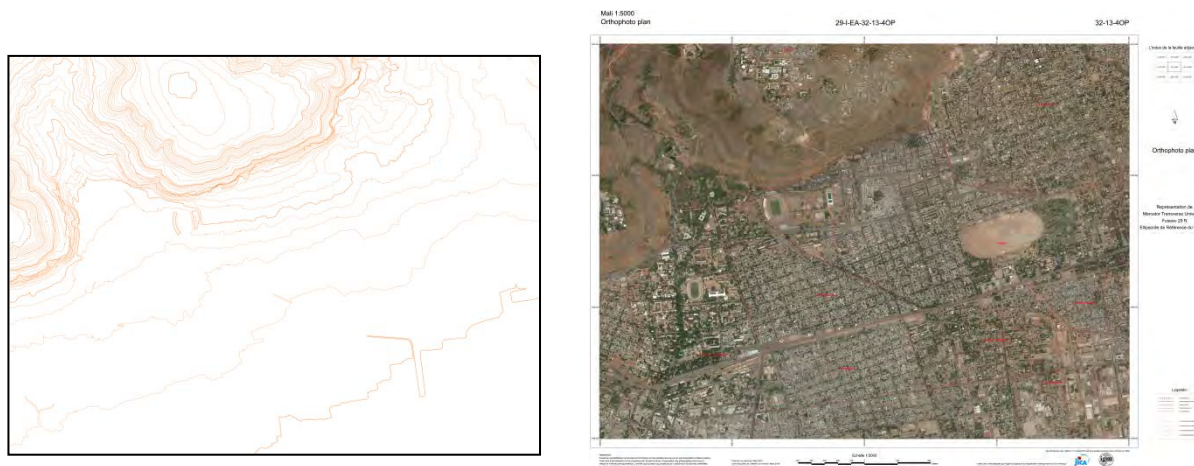
### 3.5.2 Création de données orthophotographiques

La Figure 3-10 indique le déroulement de la création des orthophotos.



**Figure 3-10 Flux de travail pour la création d'orthophotos**

Pour l'orthophotocarte, en dehors de la portée de la restitution numérique, les courbes de niveau ont été produites à partir du MNE et des données de ligne de fracture utilisées pour la création des données orthophotographiques. D'autre part, dans la portée de la restitution numérique, les courbes de niveau servant de données d'édition numérique ont été éditées pour créer les données des courbes de niveau pour l'orthophotocarte (Figure 3-11).

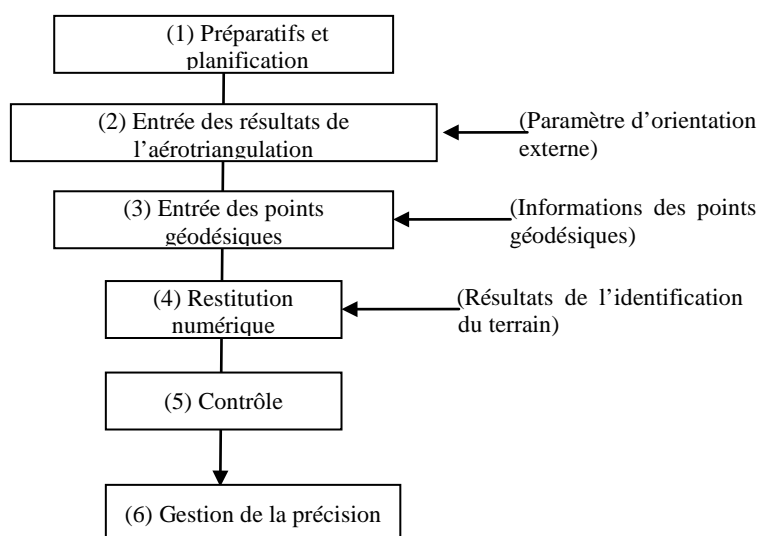


(Source : Mission d'étude)

**Figure 3-11** Carte isoligne (à gauche) et orthophotocarte (à droite)

### 3.6 Restitution numérique

Dans ce Projet, les données de restitution numérique ont été créées dans un processus montré sur la Figure 3-12 ci-dessous.



**Figure 3-12** Flux de travail pour la restitution numérique

En ce qui concerne les rubriques de classification des différents objets terrestres obtenus, nous avons procédé à une inspection visuelle pour chaque unité de carte (carreau) à l'aide d'un modèle spatial tridimensionnel, pour vérifier, sur la base de « symboles de la carte au 1 :5.000<sup>e</sup> et règles de leur application », si l'obtention des objets terrestres est correcte, s'il n'y a pas d'éléments manquants ou excédentaires, et s'il n'y a pas d'erreur dans la position et la forme des objets terrestres obtenus.

### **3.7 Identification du terrain**

#### **3.7.1 Organisation d'un atelier de l'identification du terrain**

Initialement, il était prévu que les experts japonais accompagnent les ingénieurs de l'IGM participant à l'identification sur le terrain, et qu'ils leur donnent des instructions directement par OJT. Mais vu les problèmes de sécurité existant dans la ville de Bamako, ce plan a été modifié et l'IGM a obtenu des informations sur les objets terrestres par elle-même, sans la présence de Japonais.

De ce fait, un atelier de l'identification du terrain a été organisé avant de passer à l'identification du terrain pour assurer une compréhension identique de tous les participants et obtenir de résultats d'étude d'une précision uniforme (Photo 3-1).



(Source : Mission d'étude)

**Photo 3-1 Scènes de l'atelier de l'identification du terrain**

#### **3.7.2 Examen minutieux des informations existantes (carte urbaine échelle 1 :10.000)**

Parmi les documents existants, les noms des routes et les désignations des principaux bâtiments figurent sur le plan de masse urbain à l'échelle 1 :10.000 publié de 2005 à 2009 par l'IGM. Bien qu'ancienne, cette carte constitue une source d'informations précieuses ; les données existantes ont été vérifiées avant le démarrage de l'identification du terrain, puis mises à jour, ce qui a permis de raccourcir le temps requis pour l'identification du terrain.

#### **3.7.3 Mise en œuvre de l'étude de vérification de terrain**

L'identification du terrain a été réalisée par 6 équipes de 2 personnes chacune.

L'étude était prévue du 16 novembre 2015 au 6 janvier 2016, mais la dégradation de la sécurité suite à l'attaque d'hôtel survenue à Bamako le 20 novembre 2015 a provoqué son interruption le 23 décembre 2015, puis sa reprise à partir du 2 mars 2016 jusqu'à son achèvement.

#### **3.7.4 Classement des résultats d'étude et numérisation**

Les codes, noms, numéros de photo, longitude-latitude des positions indiquées des objets terrestres notés dans le cahier de terrain ont été compilés dans un fichier Excel. Ensuite, la donnée SIG de position des objets terrestres indiqués sur les photographies aériennes lors de l'identification du terrain a été créée à l'aide du logiciel SIG. Par ailleurs, les positions compilées dans le fichier Excel ont été intégrées dans le logiciel SIG, et la précision de la position des objets terrestres a été vérifiée en comparant la position indiquée à la photographie aérienne et celle indiquée sur SIG.

### **3.8 Complètement cartographique du terrain**

Le complètement cartographique a eu pour objectif de revérifier sur place les points douteux apparus dans les opérations de restitution et d'édition et de vérifier sur des documents diverses informations (nom de route, nom de rivière, nom de quartier, etc.) non étudiées lors de l'identification du terrain. Et pour achever la carte topographique, une identification du terrain finale, centrée sur l'élucidation des points douteux apparus au cours de la restitution numérique et de l'édition numérique incluant les résultats de l'identification du terrain, a été réalisée au Mali pour (1) l'ajustement des annotations à porter sur la carte, (2) la vérification des noms et des points de début et de fin des routes et rivières, (3) la vérification de l'état de raccordement des câbles électriques et (4) l'ajustement définitif des divisions administratives.

#### **3.8.1 Atelier du complètement cartographique**

Un atelier de 3 jours a été organisé pour les ingénieurs de l'IGM ayant effectué l'identification du terrain. D'abord, des explications sur les grandes lignes du complètement cartographique leur ont été données sous forme de cours, et les « symboles de la carte au 1 :5.000<sup>e</sup> et règles de leur application » leur ont été réexpliqués pour leur faire comprendre les différences avec l'identification du terrain afin d'améliorer leur capacité de déchiffrement de la carte topographique. Ensuite, tous les membres de l'étude ont fait des exercices pratiques en ayant pour zone modèle un espace incluant le bureau de l'IGM, puis les résultats d'étude de chaque équipe ont été examinés et mis en commun entre les membres.

### 3.8.2 Enquête préliminaire des emplacements objet de la vérification finale sur le terrain

Le complètement cartographique consiste à vérifier définitivement sur le terrain des emplacements incertains listés au cours de la restitution et de l'édition numériques. Comme le temps imparti était limité, les emplacements à étudier ont été réduits au minimum avant de passer au complètement cartographique, et la confirmation préalable des 2 points suivants a eu lieu en salle pour renforcer l'efficacité de travail.

- (1) Vérification des points ambigus
- (2) Revérification des noms de bâtiments, etc.

### 3.8.3 Mise en œuvre de la vérification finale sur le terrain

La vérification finale sur le terrain consistant à vérifier directement sur le terrain des emplacements incertains apparus au cours de la restitution et de l'édition numériques et des noms, a été réalisée en 17 jours (du 5 au 27 avril) par les 6 équipes.

La liste pour le complètement cartographique (liste des emplacements incertains, liste des noms de bâtiments, etc.) a été renouvelée sur la base des résultats d'étude vérifiés sur le terrain.

### 3.8.4 Etude de vérification des routes et rivières

Le nom et la longueur des routes et rivières ont été étudiés en tant qu'informations des annotations de la carte topographique. Au cours des discussions avec l'IGM, il a été convenu que seules les données d'attribut extraites à partir des informations existantes seront utilisées dans cette étude, qu'il n'y aura pas de donnée en cas d'absence d'information, et que l'IGM renouvellera lui-même les données dans l'avenir. Le Tableau 3-5 indique les données existantes utilisées.

**Tableau 3-5 Documents collectés**

Route/Rivière	Documents collectés	Forme
Routes	<ul style="list-style-type: none"><li>• Carte de gestion des routes (CTAC<sup>*1</sup>)</li><li>• Plan d'ensemble Bamako et Kalaban coro (ville de Bamako, quartier de Kalaban coro)</li><li>• Sangarébourgou (quartier de Sangarébourgou)</li><li>• KATI adressage (cercle de Kati)</li></ul>	Numérique (format DWG) Coordonnées aléatoires
	<ul style="list-style-type: none"><li>• Carte urbaine au 1 :10.000<sup>e</sup> (IGM)</li></ul>	en papier
	<ul style="list-style-type: none"><li>• Données du réseau routier (OCHA)</li></ul>	Numériques (format Shape)
Rivières	<ul style="list-style-type: none"><li>• Carte urbaine de Bamako au 1 :25.000<sup>e</sup> (élaborée par l'IGM)</li></ul>	Numériques (format Shape)

\*1 CTAC : Cellule technique d'appui aux communes

(1) Vérification des noms des routes et de leurs points de début et de fin

Après entrée des données, un contrôle sur imprimé a été fait pour vérifier l'absence d'erreurs et de lacunes, et les corrections nécessaires ont été apportées. Parmi les données à noms enregistrés, seules les routes principales, telles que routes nationales, ont été extraites pour les afficher sur la carte, et les données pour les autres routes ont été conservées en tant qu'informations d'attribut .

(2) Vérification des noms des rivières et de leurs points de début et de fin

Les données numériques (produites par l'IGM au format Shape) de la carte de la zone métropolitaine de Bamako (1 :25.000<sup>e</sup>) ont été utilisées pour vérifier les noms des rivières et leurs points de début et de fin. La position des rivières a été identifiée avec leurs noms dans les données numériques collectées. Après l'identification de la position des rivières, les codes de données en relation avec les rivières [4101 : Cours d'eau], [4102 : Ligne de côte], [4103 : Canal], [1205 : Caniveau] ont été extraits des données de la carte topographique, et le nom des rivières a été déterminé en tant qu'information d'attribut.

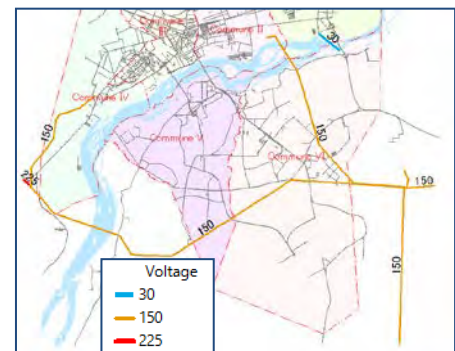


(Source : Elaborée par la Mission d'étude à partir des documents de l'IGM)

**Figure 3-13 Données des rivières après extraction (grosse ligne bleue)**

### 3.8.5 Vérification de l'état de raccordement des câbles électriques

Les câbles électriques à haute tension sont une des infrastructures importantes de la ville de Bamako. Une enquête verbale a été faite auprès des responsables de l'EDM (Energie du Mali) qui gère les câbles électriques, pour vérifier sur la carte les directions et points de raccordement des câbles. A ce moment-là, l'EDM nous a fourni des informations sur la tension, qui ont été entrées en tant qu'informations d'attribut.



(Source : Mission d'étude)

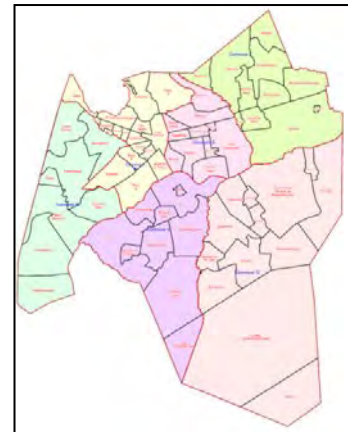
**Figure 3-14 Câbles électriques dans la ville de Bamako (tension KV)**

### 3.8.6 Détermination des limites de quartier

Les limites de quartier ont été établies à partir des données des divisions administratives de la Carte de la zone métropolitaine de Bamako au 1 :25.000<sup>e</sup> de l'IGM. Les données des divisions administratives fournies par l'IGM ont été superposées aux données de la carte topographique, et la

jonction a été effectuée aux emplacements où les limites sont fixées par un élément topographique tel que rivière. Ensuite, l'agent de l'IGM chargé a pris la décision finale après inspection de l'emplacement des limites et des noms (Figure 3-30).

D'autre part, vu l'absence d'informations autres que les noms pour les quartiers extérieurs à la ville de Bamako (cercle de Kati), l'IGM et la mission d'étude se sont mises d'accord pour porter sur la carte topographique seuls les noms de Quartier sans marquer les limites.



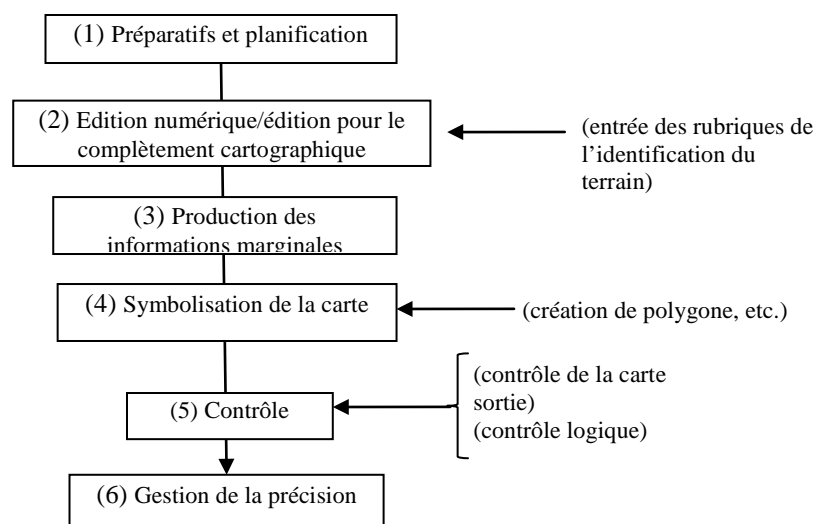
Source : Elaborée par la Mission d'étude à partir des documents de l'IGM

**Figure 3-15 Quartiers dans la zone métropolitaine de Bamako**

### 3.9 Edition numérique et symbolisation de la carte

L'édition numérique/édition numérique pour le complètement cartographique et la symbolisation de la carte ont eu pour objet les 520 km<sup>2</sup> (total de 73 carreaux) de la zone métropolitaine de Bamako pour lesquels la restitution numérique a été réalisée.

Dans ce Projet, les données numériques éditées et les données symbolisées ont été produites selon le processus montrant sur la Figure 3-16.

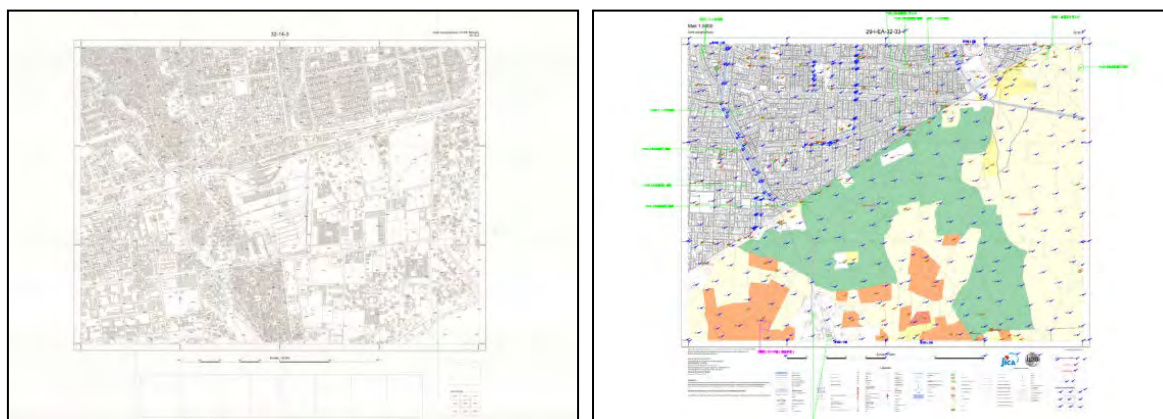


**Figure 3-16 Flux de travail pour l'édition numérique et la symbolisation de la carte**



Une carte de contrôle a été produite à la fin de chacune des opérations d'édition numérique et de symbolisation de la carte, et un contrôle visuel des lacunes et des erreurs a été effectué. D'autre part, un contrôle logique par traitement informatique a également été effectué et les erreurs de catégorisation, structuration et topologie des différents types de données ont été corrigées chaque fois que nécessaire.

Pour le contrôle visuel, on a principalement contrôlé sur la carte sortie la cohérence et la densité de répartition des courbes de niveau et des points d'élévation isolés ; d'autre part, pour la symbolisation, une sortie raster de l'image imprimée a été faite en incluant les données des informations marginales ; de plus, les données d'annotations des bâtiments, les données des noms de routes et les données numériques éditées ont été affichées en se superposant, et un contrôle de suivi etc. a été réalisé (Figure 3-17).



(Source : Mission d'étude)

**Figure 3-17 Exemples de carte de contrôle**

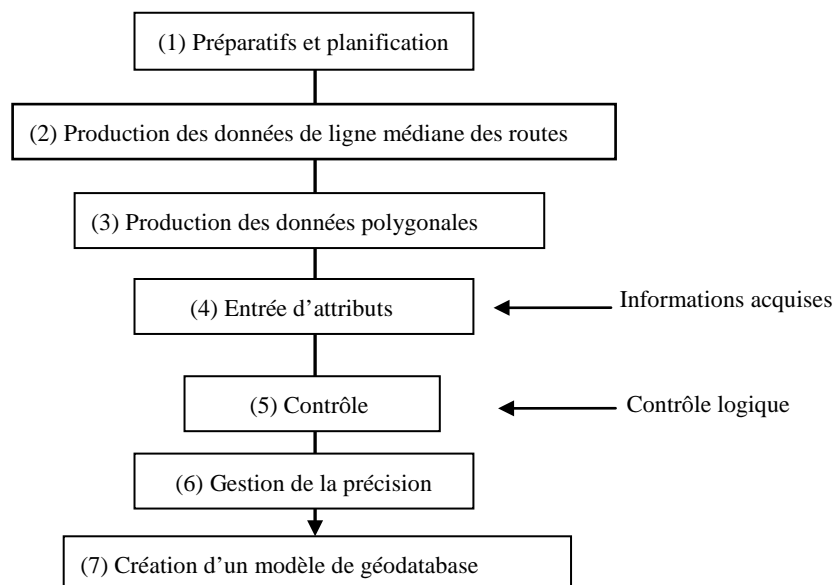
(à gauche : contrôle par sortie d'image, à droite : contrôle de suivi)

### **3.10 Structuration SIG**

A la structuration, les données de base SIG ont été structurées avec les données topographiques finalisées par l'édition pour le complètement cartographique, en vue de l'entrée de la ligne médiane des routes et de la production de données polygonales concernant les divisions administratives et l'utilisation des sols, ainsi que de l'apport des informations d'attribut nécessaires conformément aux « symboles de la carte au 1 :5.000° et règles de leur application ».

#### **3.10.1 Flux de travail pour la structuration des données**

Dans ce Projet, les données pour la structuration du SIG ont été produites selon le processus montrant sur la Figure 3-18.



**Figure 3-18 Flux de travail pour la structuration des données**

Les données de base SIG sont essentielles pour l'aménagement de l'infrastructure urbaine, cependant, leur utilisation efficace ne dépend pas seulement de leur qualité, mais aussi du système de gestion efficace de la base de données. Dans ce Projet, la structuration des données de base SIG a eu pour objectif la conception d'une gestion de la base de données d'information géographique efficace, à l'aide de la structure d'ensembles de données SIG divers et des données d'information géographique acquises.

Le modèle conceptuel se compose de 7 ensembles de données des objets terrestres compilés à partir de 128 types de couches d'objets terrestres, objets terrestres et annotations y compris (Tableau 3-6). Les 128 types de couches d'objets terrestres ont été créés sur la base des « règles de symbolisation de la carte au 1 :5.000<sup>e</sup> ». Le modèle conceptuel inclut également des ensembles de données raster (ortho-image).

**Tableau 3-6 Ensembles de données d'objets terrestres s'appuyant sur les règles de symbolisation de la carte au 1 :5.000<sup>e</sup>**

Ensembles de données d'objets terrestres	Définition	Source	Types de données
Administration	Limites administratives, limites légales et parcs nationaux	IGM	Données de ligne et polygone
Construction, infrastructure	Bâtiments, établissements culturels, points de repère, installations annexes des bâtiments	IGM/Nouveau	Principalement des données de polygone incluant des annotations

Services publics	Etablissements publics, banques, écoles, établissements religieux	IGM/Nouveau	Données de point incluant des annotations
Hydrographie	Eaux de surface et objets terrestres en relation avec le transport, le stockage et la gestion de l'eau	IGM/Nouveau	Données de point, ligne et polygone incluant des annotations
Hypsographie	Relief	IGM/Nouveau	Valeurs d'élévation incluant des annotations, courbes de niveau, MNE
Imagerie	Vue d'arrière-plan et référence	Nouveau	Photographies aériennes et orthophotos
Recouvrement de surface	Zone urbaine, couverture des terres telle que terres dévastées, forêts	IGM/Nouveau	Données de polygone incluant des annotations
Transport	Installations d'infrastructure concernant les routes, voies ferrées	IGM/CTAC/ Nouveau	Données de point et de ligne incluant des annotations

### 3.11 Contrôle de la qualité

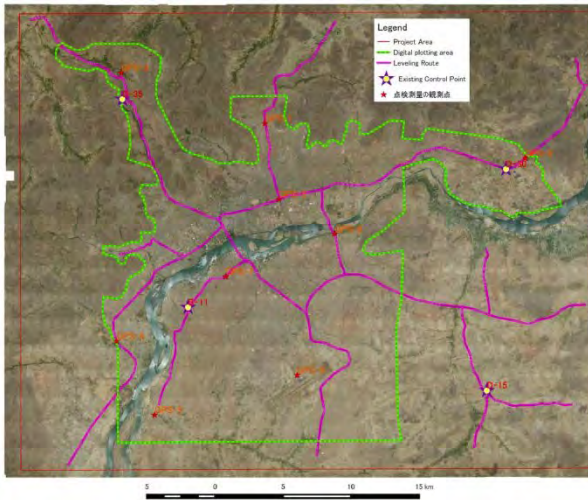
Les produits de ce Projet ont été créés sur la base des données acquises sous contrôle à distance par les experts japonais qui n'ont pratiquement pas participé aux activités de terrain en raison de la gestion sécuritaire sur le plan de la sécurité publique.

De ce fait, il fallait que la reproductivité des produits résultats du Projet et la précision de leurs positions soient contrôlées et vérifiées. Les ingénieurs/techniciens de l'IGM ont procédé à un levé d'inspection avec le GNSS, en comparant les résultats de levés des points d'appui effectués au Mali avec la carte topographique numérique achevée au Japon par aérotriangulation, la restitution numérique et l'édition numérique.

#### 3.11.1 Mise en œuvre de levé d'inspection

Le levé d'inspection, qui a eu pour ligne de base les 2 points existants B-11 et D-30, a été effectué par observation simultanée avec 4 appareils de GNSS de 9 points placés sur les deux rives d'une rivière située sur la zone objet du Projet. 9 points nets sur la carte topographique ont été sélectionnés, et les coordonnées aux emplacements\* plats et faciles à déterminer, permettant l'observation GNSS sur image stéréo ont été mesurées.

Les valeurs des coordonnées détenues par l'IGM ont été adoptées pour les surfaces planes, et les valeurs d'élévation définies par nivellement direct de ce Projet pour la hauteur. (Figure 3-19)



(Source : Mission d'étude)

Point d'observation	X	Y	Hauteur
GPS-1	611.799,617	1.405.693,456	368,250
GPS-2	612.827,091	1.399.738,743	328,338
GPS-3	601.244,131	1.409.008,185	426,400
GPS-4	600.906,118	1.389.309,176	336,882
GPS-5	603.706,274	1.383.907,407	327,015
GPS-6	616.937,584	1.397.205,435	320,209
GPS-7	608.923,969	1.394.046,776	342,793
GPS-8	630.969,092	1.402.760,514	325,549
GPS-9	614.172,210	1.386.819,218	377,592
B-11	606.154,302	1.391.800,147	348,776
D-30	629.561,054	1.401.956,434	338,376
D-35	601.333,098	1.407.075,265	471,762
D-50	628.153,783	1.385.708,276	341,862

**Figure 3-19 Carte d'index des levés d'inspection**

Après l'observation par appareil de GNSS aux points de vérification définis ci-dessus, une analyse 3D a été faite aux données obtenues, et les coordonnées de chaque point de vérification ont été calculées.

\* : Un emplacement dont la position est facile à déterminer au Mali est par exemple l'extrémité d'un pont ou l'angle d'une structure artificielle.

### 3.11.2 Résultats de l'analyse des points de vérification

Les résultats montrent que la déviation standard en planimétrie et en altimétrie des 9 points de vérification a été respectivement de  $\pm 14$ cm (planimétrie, pour X), de  $\pm 25$ cm (planimétrie, pour Y), et de  $\pm 40$ cm (hauteur).

Tout cela a permis d'estimer que l'ensemble de données de base SIG au 1 :5.000<sup>e</sup> aménagées dans ce Projet, contrôle de la précision de chaque processus y compris, donne des résultats d'une précision de position et de hauteur suffisante pour la production de la carte topographique numérique.

## **4. Programme du transfert de technologies**

### **4.1 Modalités de mise en œuvre du programme**

Le programme de transfert de technologies du Projet a été mis en œuvre sur la base des orientations énoncées ci-dessous à l'aide des matériels et logiciels fournis et livrés dans le Projet en vue de la production des données de base SIG au 1 :5.000<sup>e</sup> et de l'orthophotocarte :

- 1) Amélioration du niveau technique de l'IGM par la mise en œuvre du programme de transfert de technologies afin de lui permettre d'assurer lui-même la maintenance des informations de base SIG, y compris l'addition et la mise à jour des données acquises dans la zone objet du Projet ;
- 2) Production des données contribuables au plan de développement de la zone métropolitaine de Bamako en tant qu'une sorte de l'infrastructure nationale de données spatiales (INDS), via leur reconnaissance et exploitation par les ministères et agences constituant le CIIG en tant que données de base SIG du Mali.

En particulier, puisque les bénéficiaires directs (utilisateurs des informations géographiques) des données géographiques aménagées par ce Projet sont les ministères et agences affiliés aux CNIG et CRIG ainsi que les collectivités locales, les données produites doivent avoir un système de fourniture solide et la responsabilité s'appuyant sur une certaine précision et des normes de contrôle uniformes, ainsi que la fiabilité technique. De ce fait, d'amples discussions et échanges de vues ont eu lieu avec l'IGM depuis le début concernant le contenu du programme par domaine technique et les participants en vue de favoriser la prise de conscience de l'IGM sur ses responsabilités vis-à-vis des données produites par le Projet.

Ainsi, avant le démarrage de l'encadrement technique pour la production de la carte topographique numérique à grande échelle, une enquête a été menée pour saisir le niveau technique des participants de l'IGM, et un contenu du programme a été examiné selon le niveau technique dans chaque domaine. Le programme d'encadrement des différentes techniques (transfert de technologies) a finalement été établi en ayant pour but d'améliorer les capacités de l'IGM en maintenance et mise à jour des données de base SIG à grande échelle par le biais de ce transfert technologique mis l'accent non pas sur les activités pratiques elles-mêmes, mais sur le contrôle de la précision et de la qualité, et de former les personnels de l'IGM de sorte qu'ils puissent créer et renouveler les données de manière autonome après la fin du Projet.

D'autre part, comme indiqué plus haut au Chapitre 2, l'utilisation des informations géographiques s'appuyant sur la Politique nationale d'information géographique et leur mise en commun entre les ministères et agences constituant le CIIG, ne progressaient pas depuis 2012. Pour promouvoir à nouveau cette politique, à l'occasion du démarrage du Projet et de la mise en place du CGIG, des discussions ont eu lieu avec l'IGM, au cours desquelles il a été constaté dans quelle position le Projet se trouvait vis-à-vis de cette politique, qu'il était capital de communiquer le Projet auprès de différents secteurs en vue de l'aménagement des données territoriales et spatiales à venir. Ainsi, en vue d'approfondir les connaissances communes entre les ministères et agences constituant le CIIG, les activités de relations publiques (promotion de l'utilisation des données) ont été mises en œuvre, non seulement à travers l'encadrement technique auprès de l'IGM, mais par un atelier sur le mode d'emploi concret des données produites par le Projet au niveau des travailleurs de terrain (utilisateurs des informations géographiques).

#### 4.2 Degré d'atteinte des objectifs du transfert de technologies

Une enquête sur le niveau technique de l'IGM a été réalisée à l'étape initiale avant le démarrage du programme pour évaluer et identifier les effets du transfert de technologies après la fin du présent programme. Après constatation du niveau technique réel de l'IGM, de plus amples discussions ont eu lieu avec un agent chargé des ressources humaines de l'IGM en déterminant les matières de formation servant au renforcement des capacités professionnelles des personnels dans chaque domaine. Le tableau ci-dessous compile les différents effets du programme de transfert de technologies réalisé dans ce Projet.

**Tableau 4-1 Degré d'atteinte des objectifs du programme de transfert de technologies dans les différents domaines**

Domaine	Thèmes du transfert de technologies	Niveau technique de base	Degré d'atteinte
Supervision de la prise de vues aériennes	Objectif à atteindre : Etre capable d'établir un plan de prise de vues en jugeant de la période de prise de vues et des conditions climatiques en fonction des objectifs, et de gérer un processus de prise de vues.	-	△
	Plan de prise de vues	×	△
	Positionnement direct (GNSS, IMU)	×	△
	Contrôle des photographies prises	×	△
	Gestion de la précision	×	△
Levé des points d'appui	Objectif à atteindre : Etre capable de gérer la précision des résultats de levés à l'aide du tableau de gestion de la précision, par le biais de la compréhension de base du contrôle de la qualité	-	○
	Plan de sélection des points	○	○
	Piquage	△	○
	Observation GNSS	○	◎
	Nivellement	○	◎

	Gestion de la précision	×	○
Identification du terrain/complètement cartographique	Objectif à atteindre : Par le biais de la compréhension du contenu des activités, être capable de proposer un plan d'étude selon l'échelle cible et de faire l'étude de vérification de terrain.	-	◎
	Comprendre les différences des échelles des cartes topographiques	×	◎
	Comprendre les spécifications, les symboles de la carte et les règles d'application de ces symboles	×	○
	Comprendre le contenu de l'étude (éléments à acquérir)	○	◎
	Comprendre les différences entre l'étude photographique (identification du terrain) et l'étude cartographique (complètement cartographique)	×	◎
	Mettre en œuvre l'identification du terrain/le complètement cartographique avec un terminal numérique	×	○
	Classer les résultats de l'identification du terrain	×	◎
Aérotriangulation	Objectif à atteindre : Etre capable d'effectuer l'aérotriangulation soi-même en comprenant tout son processus	-	○
	Préparatifs	△	◎
	Fixation de l'orientation interne	×	○
	Fixation de l'orientation externe	×	○
	Gestion de la précision	△	○
Orthophoto	Objectif à atteindre : Comprendre le concept de base de l'orthophoto et être capable de la créer s'appuyant sur la gestion de la précision	-	○
	Comprendre le processus de production de l'orthophoto et sa méthode d'utilisation	△	○
	Comprendre la relation entre le niveau du pixel et la précision	△	○
	Produire une orthophoto	△	○
	Réaliser les ajustements d'image et le mosaïquage	△	○
	Comprendre la gestion de la précision	×	○
Restitution numérique	Objectif à atteindre : Après compréhension des spécifications et des règles de symbolisation, être capable de dégager les informations numériques d'un modèle 3D composé de photographies aériennes stéréo, et de gérer la précision des données acquises.	-	○
	Acquérir l'altimétrie (observation de la cote altimétrique)	△	○
	Acquérir la précision d'interprétation des objets terrestres (classification des objets terrestres)	○	◎
	Comprendre en détail les données numériques à grande échelle	○	◎
	Comprendre les spécifications, les règles de symbolisation	×	○
	Acquérir les préparatifs pour la restitution numérique (configuration de l'environnement, classement des différents produits)	○	◎
	Topographie et mesure d'objets terrestres, délinéation des points d'élévation et des courbes de niveau	○	◎
	Comprendre la modalité de gestion de la précision et le tableau de gestion de la précision	×	○
Edition numérique	Objectif à atteindre : Après compréhension des spécifications, des symboles de la carte et des règles d'application de ces symboles, être capable d'éditer les données numériques et de gérer la précision des données éditées.	-	○
	Comprendre la concordance des coordonnées à relier entre	○	○

	carreaux de carte		
	Comprendre les types de données des différents objets terrestres, leur acquisition et classement	○	◎
	Edition des données restituées	○	○
	Comprendre la structure topologique	○	○
	Comprendre la méthode d'entrée correcte des données des résultats de l'identification du terrain/complètement de terrain	×	○
	Comprendre la méthode d'entrée correcte des données à partir des documents collectés	×	○
	Comprendre le concept de base du contrôle de la qualité et son processus	△	○
Structuration SIG	Objectif à atteindre : Après compréhension des spécifications, des symboles de la carte et des règles d'application de ces symboles, être capable d'effectuer la structuration SIG, et de contrôler la qualité des données de base SIG produites.	-	○
	Comprendre la structure des données ponctuelles	○	◎
	Comprendre la structure des données linéaires	○	◎
	Comprendre la structure des données polygonales	○	◎
	Comprendre la structure des données attributaires	△	◎
	Acquérir les opérations de base du logiciel GIS	○	◎
	Comprendre les métadonnées	△	○
	Contrôle de la qualité et gestion de la précision	△	○
Symbolisation de la carte	Objectif à atteindre : Après compréhension des spécifications, des symboles de la carte et des règles d'application de ces symboles, être capable d'effectuer la symbolisation de la carte, et de gérer la précision des données ainsi symbolisées.	-	○
	Comprendre les symboles de la carte et les règles de leur application	△	○
	Produire les symboles de carte, les différentes sortes de lignes, les motifs, etc. à utiliser	○	◎
	Comprendre la représentation cartographique des symboles adaptée à l'image de la carte finale imprimée	△	○
	Acquérir la méthode de production des informations marginales et des légendes	△	○
	Acquérir la méthode de la correction chronologique	×	○
	Comprendre la gestion de la précision	×	△
Relations publiques (Promotion de l'utilisation)	Objectif à atteindre : Saisir les besoins des utilisateurs potentiels des informations géographiques pour le développement urbain de la zone métropolitaine de Bamako, et déterminer une méthode de gestion organisationnelle pouvant répondre à ces besoins.	-	○
	Identification des besoins et des services nécessaires	△	◎
	Champ d'application du droit d'auteur	○	○
	Orientation concernant la divulgation publique (identification de la politique de sécurité)	×	◎
	Conception et exploitation du site Web	×	○
	Vérification des informations dévoilées et mise à disposition de la carte topographique	×	○
	Organisation de séminaires et ateliers pour promouvoir l'utilisation des données produites	○	◎

Critères d'évaluation qualitative (4 niveaux)

Evaluation initiale : (× : aucune connaissance théorique ni pratique, △ : théoriquement connu, mais pas d'expérience pratique, ○ : connaissance aussi bien théorique que pratique, ◎ : capable d'agir lui-même)

Degré d'atteinte : (× : non atteint, △ : seule la théorie est acquise, ○ : compréhension théorique et pratique acquises, ◎ : capable d'utiliser soi-même)



## **4.3 Teneur d'encadrement technique**

### **4.3.1 Supervision de la prise de vues aériennes**

#### (1) Niveau technique de l'IGM

L'IGM est l'organisme chargé d'approbation des plans de prise de vues, mais ne possédant ni aéronef ni appareil photo aérien pour effectuer les prises de vues. Comme il est inenvisageable que l'IGM devienne un organisme spécialisé en prise des photographies aériennes, et qu'il prévoit dorénavant de confier cette tâche à l'extérieur, le transfert de technologies assuré par ce Projet s'est borné à un cours théorique sur les bases techniques de prise de vues et à la fourniture des manuels.

#### (2) Evaluation rubrique par rubrique

Le but du programme de transfert de technologie du Projet est l'acquisition des techniques d'élaboration du plan de prises de vues adapté aux objectifs stratégiques et en tenant compte de la période de prise de vues et du climat, ainsi que des techniques de contrôle de l'ensemble du processus. Sur la base des résultats des travaux ci-dessus, le degré de compréhension de l'IGM a été évalué qualitativement rubrique par rubrique.

##### 1) Plan de prises de vues

Des explications ont été données sur les éléments nécessaires pour la photogrammétrie aérienne, les caractéristiques matérielles de l'appareil photo aérien utilisé et l'élaboration du plan de prises de vues adapté aux objectifs. Cependant, l'IGM n'a pas beaucoup d'expérience dans la supervision de la prise de photographies aériennes, la réalisation de ce programme ne suffirait pas, à elle seule, à obtenir de la part de l'IGM une compréhension satisfaisante. Mais au moins il a compris la différence entre l'élaboration du plan de prises de vues analogiques et de celui de prises de vues numériques.

##### 2) Mesure directe de l'orientation (GNSS, IMU)

L'IGM a compris, par le biais de la supervision du prestataire de prise de vues dans ce Projet, les éléments basiques de ce travail que sont l'importance des dispositifs de mesure GNSS et IMU, les modes de vol pour la prise de photographies numériques, ainsi que le sens de l'observation simultanée avec une station terrestre.

##### 3) Inspection des données photographiques

Dans ce Projet, bénéficiant fortuitement du beau temps, la prise de vues a pu être achevée en un temps court, et il n'y a pas eu de cas de non-utilisation ou de mauvaises données. De ce fait, la rectification en opérations de reprise à cause des échecs de prise de vue, etc. étant également inutile,

nous n'avons pas eu l'occasion de faire un transfert de technologie auprès de l'IGM sous forme de formation sur le tas (OJT), mais nous pouvons estimer que l'IGM a compris, par le biais de la supervision du prestataire de prise de vues dans ce Projet, le flux de travail d'inspection des photographies prises.

#### 4) Etablissement de manuels de travail

Comme indiqué plus haut, l'IGM est un organisme chargé d'approbation des plans de prise de vues mais comme il ne peut pas actuellement agir en tant qu'entité responsable de la prise de vues, nous lui avons fourni les documents minimaux nécessaires pour l'utilisation subséquente des photographies aériennes dans le cadre du présent projet (images des photographies aériennes, relevés des prises de vues, carte d'index de la prise de vues, etc.), ainsi que les manuels ci-dessous.

- Introduction à la photographie numérique – La technologie la plus récente et la tendance
- Rapport de calibrage de l'appareil photo numérique
- Gestion des données et contrôle de la qualité

#### **4.3.2 Levé des points d'appui**

Les techniciens en levés terrestres de l'IGM ont eu l'expérience de l'observation GNSS et du nivellement dans le cadre des travaux confiés par différents ministères et agences maliens, et son niveau technique de levé topographique est au-dessus d'un certain seuil. Dans le transfert de technologies, tout d'abord, la mission d'étude a saisi la performance et le niveau technique de l'IGM via les observations GNSS et le nivellement effectués pour le levé des points d'appui, et a donné des instructions sous forme de formation sur le tas (OJT) concernant notamment le savoir-faire technique ci-dessous.

##### (1) Vérification du niveau technique lié aux points d'appui

###### 1) Gestion de l'infrastructure géodésique de l'IGM

Comme indiqué dans chapitre 3, il y a encore certains points géodésiques et points de nivellement gérés par l'IGM aux environs de Bamako qui n'ont pas pu être vérifiés, mais d'après les résultats de la reconnaissance sur le terrain pour les points connus, le taux de subsistance des points géodésiques gérés par l'IGM est d'environ 60%, et comme plus encore de points de nivellement ont disparu, leur taux de subsistance est estimé à 50%.

La mission d'étude a donc recommandé à l'IGM de réaliser périodiquement une inspection visuelle l'état des points connus, de saisir les valeurs des coordonnées et de vérifier la disparition des points due au développement urbain de la ville de Bamako, ainsi que d'en gérer précisément et sans faute sur une carte de distribution des points.

## 2) Gestion des appareils GNSS possédés par l'IGM

L'observation GNSS a été mise en œuvre en recourant aux appareils possédés par l'IGM. Avant cette observation, on a vérifié l'absence de dommages extérieurs sur les appareils GNSS, le degré de précision des niveaux à bulle d'air, et a procédé à une inspection de l'intervalle des temps de réception (époque) et au contrôle de la batterie. Cette inspection a montré que ces appareils sont gérés correctement et sans problèmes.

## 3) Capacités des techniciens de l'IGM en matière d'observation GNSS

Lors de l'observation GNSS, la mission d'étude a vérifié la mise en place des appareils GNSS effectuée par les ingénieurs de l'IGM. Installation du trépied, centrage et nivellement rapide, et mesure de la hauteur de l'appareil, aucun de ces éléments, n'a été défectueux, il n'y avait pas de problème dans leur travail d'observation.

## 4) Capacités des techniciens de l'IGM en matière de nivellement

4 ingénieurs travaillent dans le service de la géodésie de l'IGM, et tous ont l'expérience du nivellement avec un niveau analogique. L'un d'entre eux a aussi une grande expérience de nivellement en utilisant un niveau numérique.

## (2) Evaluation rubrique par rubrique

L'objectif du programme de transfert de technologie portant sur le levé des points d'appui est l'acquisition des techniques de gestion de la précision du plan et des résultats de levé topographique. La mission d'étude a fait une évaluation rubrique par rubrique pour le degré de compréhension de l'IGM, sur la base des vérifications de ses compétences d'exécution des levés de points d'appui ci-dessus.

### 1) Compréhension de l'élaboration du plan de sélection des points

Avec la dégradation de la sécurité publique, et les contraintes imposées pour les travaux de terrain, l'élaboration du plan conjointement avec l'IGM n'a pas été réalisée, mais la mission d'étude a expliqué aux ingénieurs de l'IGM les raisons pour lesquelles on doit préalablement établir un plan de sélection des points. D'autre part, par le biais du levé des points d'appui, la mission d'étude a indiqué concrètement sur le terrain les raisons et les bases de la distribution des points de contrôle au sol (PCS). Ainsi, les ingénieurs de l'IGM ont aussi compris précisément ce qu'est un plan d'observation efficace et les emplacements des points de mesure, et ont pu travailler efficacement tout en présupposant le temps de déplacement et l'environnement de mise en place, ce qui a permis de constater leur reconnaissance de l'importance du plan de sélection des points incluant les quantités minimales efficaces et nécessaires.

## 2) Compréhension des observations GNSS

Les techniques sur les rubriques ci-dessous ont principalement été transmises par les instructions pour l'observation données en formation sur le tas (OJT).

- Vérification rigoureuse de la valeur de hauteur de l'appareil saisi
- Détermination des points fixes utilisés pour l'analyse des lignes de base
- Vérification des coordonnées dans l'ordre d'analyse et le relevé des observations d'une session
- Vérification rigoureuse des erreurs pour chaque point mesuré et contrôle sans faute de la précision

## 3) Compréhension du nivellement

L'IGM a une bonne expérience du nivellement, et on a constaté qu'il n'y avait pas de grands problèmes pour ses capacités d'exécution du nivellement (méthode et précision d'observation, etc.).

## 4) Gestion de la précision

Comme indiqué plus haut, des capacités d'exécution du levé des points d'appui de l'IGM ont dépassé un certain niveau. Mais il y a encore matière à améliorer dans sa méthode de gestion des données. Concernant une partie des valeurs d'élévation (fixées à partir de la valeur d'élévation du nivellement) des points géodésiques existants fournis par l'IGM, il y a eu un problème: l'observation et le calcul de nivellement effectués pour fixer la valeur d'élévation du point géodésique étaient corrects, mais on a présumé qu'il y a eu une erreur de transcription des données lors de la création du tableau des valeurs de coordonnées et des valeurs d'élévation des points géodésiques extraites à partir des données originelles. La mission d'étude a donc conseillé à l'IGM de vérifier plus rigoureusement les données en contrôlant toujours la donnée d'origine et la donnée nouvellement créée.

### **4.3.3 Identification du terrain/Complètement cartographique**

#### **4.3.3.1 Identification du terrain**

Afin d'obtenir de bons résultats de l'identification du terrain réalisée en un temps limité, il faut comprendre la méthode de l'identification du terrain selon l'objectif et l'échelle de la carte à créer et établir un plan d'étude convenable. Pour cela, avant le commencement de l'étude, la mission d'étude a organisé un atelier en vue de partager avec l'IGM l'orientation de base de l'étude, qui est une étape nécessaire en cas de collaboration avec lui, puis a effectué des efforts pour faire mieux comprendre à tous les personnels de l'IGM participant à l'étude des techniques de lecture des photographies et des

symboles cartographiques pour qu'ils aient le même niveau de connaissance, et finalement une formation sur le terrain et des exercices répétés ont été effectués sous forme d'OJT.

#### **4.3.3.2 Complètement cartographique de terrain**

Des instructions ont été données sous la forme OJT pour la reconfirmation des points douteux apparus lors de la restitution-édition numérique, et la vérification finale de diverses informations (nom de route, nom de rivière, nom de quartier, etc.) qui n'avaient pas pu être identifiées lors de l'identification du terrain. En particulier, comme il était nécessaire de faire comprendre aux participants de l'IGM que la fiabilité et la qualité de la carte topographique dépendaient de cette opération, comme lors de l'identification du terrain, un atelier a été organisé avant le commencement des opérations.

#### **4.3.3.3 Evaluation rubrique par rubrique**

Le transfert de technologies portant sur l'identification du terrain/le complètement cartographique a eu pour objectif l'acquisition de la mise en œuvre de l'identification du terrain/du complètement cartographique sur la base d'un plan d'étude en fonction de l'échelle cible. Le degré de compréhension de l'identification du terrain/du complètement cartographique de l'IGM, vérifié au cours de l'encadrement technique OJT ci-dessus, a été évalué rubrique par rubrique.

- (1) Compréhension de la différence de contenu d'étude pour les cartes topographiques à échelle moyenne et grande échelle

Comme lors de l'identification du terrain, il a été jugé, si l'on s'en tient aux travaux pratiques, aux résultats d'étude et aux résultats de l'enquête verbale, que tous les participants à l'étude avaient grosso modo compris cette différence.

- (2) Compréhension du contenu des spécifications, des symboles de la carte et des règles d'application de ces symboles

Comme environ 3 mois se sont écoulés entre l'identification du terrain et le complètement cartographique, certains participants ont oublié les connaissances qu'ils avaient acquises à l'identification du terrain, et il y a eu des cas de compréhension insuffisante pour une partie des symboles non utilisés au moment de l'identification du terrain, mais si l'on s'en tient aux résultats d'étude et aux résultats de l'enquête verbale, il a été jugé que presque tous les participants à l'étude avaient compris le contenu des documents précités.

- (3) Compréhension du contenu d'étude (éléments à acquérir)

L'étude réalisée à l'aide de la carte produite par la restitution et l'édition des données a permis aux participants de constater comment les éléments acquis à l'identification du terrain sont représentés sur la carte, ce qui a rendu leur compréhension en matière d'éléments à acquérir plus approfondie.

#### (4) Identification du terrain et Complètement cartographique avec un terminal numérique

Comme pour l'identification du terrain, le complètement cartographique a été mis en œuvre sans problème à l'aide d'une tablette, d'un récepteur GNSS et d'un appareil photo. Mais comme les préparatifs ont été faits par la mission d'étude japonaise, la question est de savoir si l'IGM pourra effectuer lui-même les préparatifs sans difficulté, et il est donc souhaitable qu'il poursuive les travaux pratiques de manière autonome.

#### (5) Classement des résultats d'étude via la gestion de la précision

Ce sont les experts japonais qui ont effectué le contrôle final des résultats d'étude, mais le contrôle intermédiaire a été fait au cours de l'étude par les participants de l'IGM eux-mêmes, qui ont fait des corrections aux emplacements incorrects. En particulier, pour les listes entrées en EXCEL, et les données des routes entrées avec le logiciel SIG, le contrôle a porté sur l'entrée et la mise à jour correctes des données non seulement sur l'écran, mais sur le papier. Finalement, il a été jugé qu'en répétant ainsi les contrôles, ils ont compris l'importance du contrôle, ainsi que la méthode de gestion de la précision.

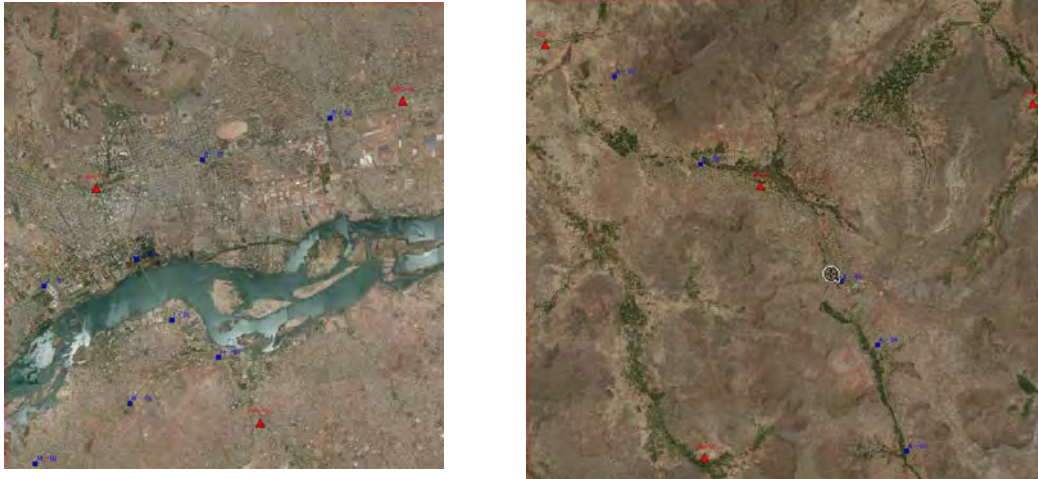
### **4.3.4 Aérotriangulation**

L'encadrement concernant l'aérotriangulation peut se subdiviser en orientation interne, orientation externe (relative et absolue) et gestion de la précision. Pour fixer l'importance à donner à chacun de ces opérations, une enquête préalable et une interview ont été réalisées, et l'encadrement technique a commencé après saisie du niveau technique des 2 stagiaires sélectionnées par l'IGM.

Cette enquête initiale ayant montré que les stagiaires avaient peu d'expérience pratique de l'aérotriangulation, nous avons donc mis l'importance à la formation répétée permettant d'acquérir les capacités et les connaissances spécialisées en vue de l'amélioration de la précision de l'interprétation tridimensionnelle. En particulier, dans ce Projet, 14 jours (du 5 au 22 avril 2016) ont été consacrés à l'acquisition de la « Capacité de vision stéréoscopique des photographies aériennes » et de la « Capacité de mesurer les points géodésiques et les points de liaison » pour améliorer les compétences professionnelles des 2 stagiaires.

#### (1) Détermination de la portée cible par travaux pratiques

Pour faire acquérir en peu de temps les techniques de mesure tridimensionnelle, nous avons soigneusement effectué un encadrement technique principalement pour les reliefs topographiques simples, sans aborder ceux complexes variés. Finalement, comme le montre la Figure 4-1, 2 zones : zone urbaine plate et de zone intercollinaire (surface totale d'env. 231 km<sup>2</sup>, utilisation des données de 159 photographies aériennes) ont été sélectionnées en tant que portée de l'aérotriangulation pour l'encadrement technique des stagiaires de l'IGM.



(Source: Mission d'étude)

**Figure 4-1 Portée de la formation  
zone urbaine plate (A : à gauche) et zone intercollinaire (B : à droite)**

(2) Contenu de l'encadrement technique

Les cours sur les techniques et connaissances en matière d'aérotriangulation ont principalement porté sur le processus d'aérotriangulation et le concept de base de la photogrammétrie. D'autre part, dans les exercices pratiques effectués après les cours théoriques, la formation technique à l'aérotriangulation a été effectuée aux 2 emplacements se trouvant dans la portée cible, à l'aide du système de restitution tridimensionnel fourni par le Projet.

(3) Evaluation du contenu de l'encadrement technique

L'objectif de ce programme d'encadrement technique est de faire comprendre aux stagiaires de l'IGM tout le processus de travail (préparatifs, orientation interne, orientation externe et gestion de la précision) pour que l'IGM puisse lui-même effectuer l'aérotriangulation. Le degré de maîtrise des compétences de deux stagiaires de l'IGM constaté au cours de l'encadrement ci-dessus a été évalué comme suit rubrique par rubrique.

1) Compréhension des préparatifs

L'IGM n'avait pas jusqu'ici l'expérience de la prise de photographies aériennes avec un appareil photo aérien numérique équipé du POS-IMU. Nous présumons que, par le biais de l'encadrement technique, les stagiaires ont compris les différences entre les travaux avec un appareil photo numérique et ceux avec un appareil photo analogique, le processus de travail avec un appareil photo aérien numérique équipé du POS-IMU et les données d'information nécessaires.

2) Compréhension du processus de travail

Les cours théoriques portant sur une série d'opérations allant de l'importation des données de photographies aériennes numériques à l'entrée des informations de position de prise de vues

(POS-EO) et des informations de l'appareil photo, ont été prodigués aux stagiaires en utilisant un manuel spécialisé. En particulier, pour ce qui concerne les compétences professionnelles et les techniques spécialisées des stagiaires de l'IGM en lien avec la mesure tridimensionnelle où leur expérience est encore insuffisante, nous avons constaté que ces stagiaires ont compris la précision du levé des points d'appui et la méthode d'élimination des erreurs sur les points de liaison grâce aux exercices pratiques répétés, et qu'elles ont atteint un niveau permettant d'effectuer l'aérotiangulation de manière autonome.

### 3) Mise en œuvre des différents processus et gestion de la précision

Les stagiaires sont devenues capables de déterminer les différentes précisions des points d'appui obtenus, de fixer la densité pour la mesure automatique des points de liaison, et de régler les paramètres d'analyse pour l'aérotiangulation de grande dimension et l'affichage visuel des différentes erreurs. Il a aussi été jugé qu'elles ont compris l'évaluation des résultats d'analyse, la méthode de les noter dans le tableau de gestion de la précision et sa signification.

### 4) Degré d'atteinte des objectifs de la formation

L'enquête initiale ayant montré l'absence d'expérience des stagiaires en matière d'aérotiangulation en recourant au système de mesure tridimensionnelle introduit dans le Projet et aux résultats du POS-IMU, leur compétence a donc été jugée basse suite à l'évaluation préalable, mais nous avons constaté qu'elles ont atteint un certain niveau grâce aux exercices pratiques intenses répétés.

## 4.3.5 Orthophotos

Les résultats de l'enquête initiale et les données existantes d'orthophotographie produites par l'IGM lui-même montrent que l'IGM a une expérience d'orthophotographie et un certain niveau technique dans ce domaine, mais nous avons constaté les problèmes ci-dessous incluant l'absence d'expérience de l'édition du MNE:

- Les tons d'images ne sont pas uniformes comme montré sur les images satellitaires, et l'IGM manque d'expérience en matière de création d'orthophotos à l'aide de photographies aériennes où les éléments structurels sont très inclinés;
- La prise de décision concernant la position de la jonction des photos, essentielle pour le traitement des photographies aériennes, n'est pas assurée; et
- Manque d'expérience de la remesure du modèle numérique du terrain (MNT) et de l'édition MNT correct.



Pour résoudre les problèmes ci-dessus, un programme de transfert de technologies de 7 jours (du 2 au 20 juin 2016) a été prévu sous forme de formation pratique centrée sur l'acquisition des connaissances et des techniques particulières au traitement des photographies aériennes.

(1) Détermination de la portée cible de la formation

Nous avons examiné une portée permettant facilement l'acquisition de la série des opérations pour faire acquérir la manière de créer des orthophotos en peu de temps. La portée d'exercice pratique (7,8km<sup>2</sup> environ) déterminée a été 4 modèles (6 photographies aériennes) ayant fait l'objet de l'aérotriangulation, incluant zone intercollinaire, zone urbaine et zone de plaine.

(2) Teneur de l'encadrement technique

Dans ce programme, des cours théoriques et exercices pratiques ont été combinés pour chaque processus et un encadrement technique centré sur les connaissances et les techniques particulières au traitement des photographies aériennes a été prodigué aux deux (2) stagiaires de l'IGM.

- 1) Production et édition de MNE
- 2) Création d'ortho-images et gestion de la précision

(3) Evaluation rubrique par rubrique

L'évaluation suivante a été faite concernant le degré de maîtrise des compétences de deux stagiaires de l'IGM en matière de création d'orthophotos vérifié au cours de l'encadrement technique ci-dessus.

1) Production et édition du MNE

Au début des exercices pratiques, beaucoup de temps a été consacré à l'acquisition de l'opération de la souris 3D à laquelle elles n'étaient pas habituées, mais leur technique s'est améliorée jusqu'à pouvoir faire finalement elles-mêmes sur moniteur 3D les corrections d'altitude MNE traitées automatiquement.

2) Création d'ortho-images et gestion de la précision

Dans le domaine des techniques spécialisées, comme nous avons vérifié l'absence d'expérience du système de photogrammétrie numérique introduit dans ce Projet et de l'édition d'une ligne de couture, une formation pratique répétée a été prodiguée, et a permis de vérifier l'atteinte d'un certain niveau.

D'autre part, suite à la formation sur les connaissances spécialisées, les stagiaires ont acquis un certain niveau de connaissances sur la production des MNE et orthophotos, la définition de l'orthophoto (conversion des photographies aériennes en images de projection orthogonale) et les principes d'autres modèles d'élévation (MNT : modèle numérique de terrain, MNS : modèle

numérique de surface). Elles ont ainsi pu comprendre le concept de base de l'orthophoto numérique et l'évaluation de la qualité basée sur la gestion de la précision.

### 3) Création de l'orthophotocarte

La carte de gauche de la Figure 4-2 montre l'ortho-image produite par les stagiaires dans ce programme. Elle ne cède en rien à l'ortho-image créée au Japon de la carte de droite, et la correction de la tonalité a été réussie parce que les stagiaires ont bien saisi la situation sur le terrain.



**Figure 4-2 Une image de l'orthophoto**

**(à gauche : résultat d'exercice pratique de l'IGM, à droite : produit du Projet)**

### 4) Degré d'atteinte des objectifs de la formation

Comme indiqué plus haut, l'enquête initiale a montré que l'IGM a une certaine expérience de la production de MNE et de la correction de la tonalité des images satellitaires par traitement automatique, mais la création d'orthophotos à partir des photographies aériennes, le traitement de jonction d'images et l'édition de MNE ont été des premières pour lui dans ce Projet.

Après la formation répétée à l'interprétation tridimensionnelle, il a été constaté que les stagiaires de l'IGM avaient atteint un certain niveau en matière de production de MNE et d'orthophotos, ainsi que de compréhension du principe de modèle d'élévation et de la définition de l'orthophoto (particularités de la conversion des photographies aériennes en images de projection orthogonale).

#### **4.3.6 Restitution numérique et correction partielle**

L'enquête initiale a montré que l'IGM avait l'expérience de la restitution analogique et avait des connaissances de base (processus de l'aérotriangulation), et aussi des compétences de base pour les techniques spécialisées (capacités d'interprétation visuelle d'un objet 3D et de jugement des objets terrestres). Toutefois, c'était sa première expérience de la restitution numérique, et sa compréhension sur la configuration de l'environnement de travail et le processus de création de la carte numérique

devra être approfondie. D'autre part, en ce qui concerne la correction partielle, l'IGM a corrigé lui-même la carte du Mali existante au 1 :20.000° à l'aide d'images satellitaires, ce qui lui a donné une certaine expérience de cette activité.

Vu les points ci-dessus, un encadrement a été programmé en ayant mis l'accent surtout sur la promotion de la compréhension des stagiaires pour la procédure de création de la carte topographique numérique et les connaissances spécialisées de restitution numérique, ainsi que pour la gestion de la précision.

#### (1) Détermination de la portée cible pour les exercices pratiques

L'acquisition des techniques devant se faire en un temps limité, une portée (0,187 km<sup>2</sup>) correspondant à 1/64° d'une feuille (12,0 m<sup>2</sup>) a été sélectionnée dans la zone objet de restitution numérique au 1 :5.000°. L'encadrement technique a eu lieu sur les explications des grandes lignes de production de la carte topographique et le procédé détaillé des différentes opérations allant de la restitution numérique/correction partielle au contrôle de la qualité des données restituées.

#### (2) Teneur de l'encadrement technique

L'amélioration du niveau technique des stagiaires a été faite à l'aide du module PRO-600 (ci-après désigné le PRO-600) du système de photogrammétrie numérique (IMAGINE Photogrammetry) fourni par ce Projet en leur donnant les explications sur la restitution numérique tridimensionnelle et la structure des données, et les cours théoriques et exercices pratiques sur les normes d'acquisition des données de la carte topographique au 1 :5.000°, les marches à suivre pour les corrections partielles et la méthodologie de l'enquête préliminaire ; et un encadrement technique de 25 jours (du 25 avril au 1<sup>er</sup> juin 2016) a été prodigué sur la méthode du contrôle de la qualité de ces résultats.

#### (3) Evaluation rubrique par rubrique de l'encadrement technique

Le programme de transfert de technologies concernant la restitution numérique a eu pour objectifs de faire interpréter par les stagiaires les informations numériques obtenues via les modèles tridimensionnelles sur la base de leur bonne compréhension des règles de symbolisation et des spécifications, et de leur faire acquérir les données appropriées. Le degré de maîtrise de la technique de restitution numérique et de correction partielle des deux stagiaires de l'IGM, vérifié dans le cadre de l'encadrement technique ci-dessus, a été évalué ci-dessous rubrique par rubrique.

##### 1) Compréhension des préparatifs et du processus de la restitution numérique

L'IGM a eu des expériences en matière de correction chronologique avec des cartes analogiques et des images satellites. C'est pourquoi les stagiaires de l'IGM avaient une certaine compréhension pour les données à prévoir. La mission d'étude a donc fourni à l'IGM un encadrement consistant en

cours théoriques et pratiques sur les normes d'acquisition des données de la carte topographique numérique au 1 :5.000<sup>e</sup>, les marches à suivre et la teneur du travail normal de restitution numérique, ainsi que sur les différents types de données produites, en s'appuyant sur le manuel de restitution numérique préétabli, et a jugé avoir obtenu une certaine compréhension.

2) Amélioration des capacités d'acquisition des données de restitution numérique tridimensionnelle  
Après avoir testé la capacité de vision stéréoscopique à l'œil nu des 2 stagiaires à l'aide de 2 photographies stéréo, la mission d'étude a compris que toutes deux avaient déjà un certain niveau technique, et a jugé toute formation complémentaire inutile. Toutefois, les stagiaires de l'IGM n'ayant pratiquement aucune expérience du dessin 3D, et n'étant pas habitués à la vision stéréoscopique d'image stéréo, la mission d'étude a consacré beaucoup du temps à des exercices répétitifs d'acquisition de données de courbes de niveau.

La méthode pour résoudre ce problème sera la répétition pour accumuler l'expérience pratique de la restitution numérique, ce qui permettra l'acquisition d'informations numériques précises en peu de temps. En effet, on a constaté, au cours de cet encadrement, des progrès considérables des stagiaires en mesurant la vitesse de l'acquisition des informations numériques au début, au milieu et à la fin de cette période (les chiffres respectifs étaient de 1,56 point/min., 4,86 points/min. et 11,19 points/min.). Il sera donc indispensable que les stagiaires continuent à acquérir les données de restitution numérique après la fin de ce Projet surtout dans la zone non objet du Projet.

3) Amélioration des compétences en interprétation des objets terrestres

Pour interpréter correctement les objets terrestres, il faut des compétences en interprétation d'objets terrestres conformément aux règles de symbolisation et en mesure altimétrique très précise adaptée à la carte au 1 :5.000. Le niveau d'interprétation des objets terrestres des stagiaires de l'IGM a été élevé avec une grande précision, mais la précision d'interprétation des altitudes a été instable.

Aussi, la mission d'étude a répété les cours d'explication du contenu des « règles de symbolisation » au 1 :5.000<sup>e</sup> et les travaux pratiques pour l'acquisition de l'altitude des objets terrestres cibles, et la précision d'interprétation des altitudes s'est graduellement stabilisée. Néanmoins la mesure des informations numériques exigeant en réalité trop de temps, une formation continue pour permettre la mesure d'élévation instantanée est indispensable.

4) Compréhension de la correction partielle

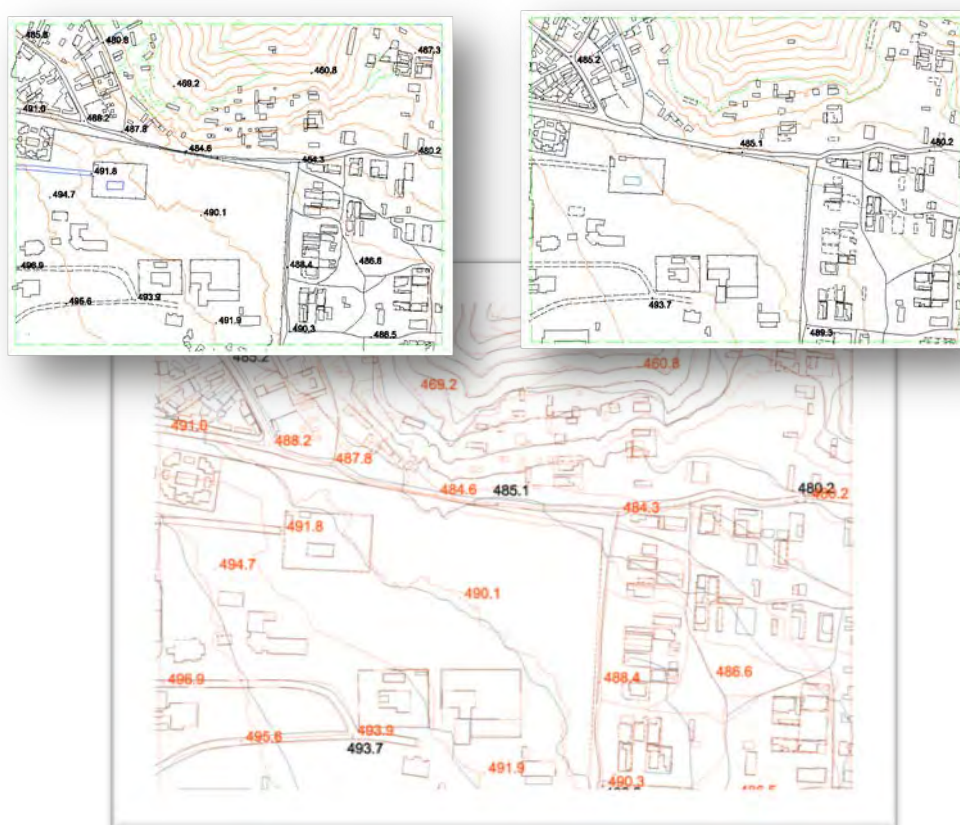
Dans son expérience de la correction chronologique, l'IGM a exécuté la mise à jour de la carte topographique par correction partielle à l'aide d'images satellites, et aujourd'hui encore les cartes topographiques existantes sont renouvelées par lui-même. Aussi, dans ce programme de transfert

technologique, un encadrement pratique sur les opérations de correction a été prodigué en utilisant des données de restitution numérique corrigées au fil du temps à l'aide de photographies aériennes et des photographies stéréo.

Cela a favorisé la compréhension de la mise à jour de la carte topographique à l'aide des photographies aériennes les plus récentes, et permis l'acquisition des techniques de base pour la correction chronologique de la carte topographique tridimensionnelle que l'IGM lui-même va réaliser dorénavant.

#### 5) Résultats de la restitution numérique

Les données de carte numérique réellement créées par les stagiaires figurent dans la carte supérieure de gauche de la Figure 4-3. La comparaison avec les données de carte numérique de la même zone créées au Japon (carte supérieure de droite) montrent que les deux sont pratiquement identiques pour les objets terrestres plats, et que la précision de la mesure de la cote altimétrique était dans les limites des erreurs admissibles.



(Source: Mission d'étude)

**Figure 4-3 Superposition de la carte de restitution produite au cours des exercices pratiques avec celle standard (inférieure)**

(en haut à gauche : carte produite dans les exercices pratiques de restitution numérique de l'IGM, en haut à droite : données restituées standard)

#### 6) Gestion de la précision

L'IGM ne disposant pas d'enregistrements de contrôle de la qualité, les informations de qualité et de précision des résultats obtenus ne sont pas claires. Aussi, des cours et exercices pratiques ont été réalisés sur la formule d'enregistrement des résultats de qualité et la méthode de gestion de la précision, sur la base du tableau de gestion de la précision utilisé normalement au Japon.

Les stagiaires de l'IGM ont montré un certain degré de compréhension en matière de méthode de contrôle de la qualité consistant à évaluer quantitativement les données incorrectes produites par la restitution numérique tridimensionnelle, et à les corriger.

#### 7) Degré d'atteinte des objectifs de la formation

Comme indiqué ci-dessus, l'IGM ayant l'expérience de la restitution analogique, il a une compréhension suffisante des préparatifs de base et du processus, ainsi que de la vision stéréoscopique à l'œil nu, et de l'interprétation des objets terrestres, mais son expérience de la restitution numérique étant faible, sa compréhension de la configuration de l'environnement et des différents modes d'opération spéciales devait être approfondie.

En conclusion, pendant la période de cette formation, plus de temps que nécessaire (temps requis pour déterminer la position en planimétrie et en altimétrie) a été consacré à l'explication de la structure des données tridimensionnelles et aux opérations pour l'acquisition du relief et des objets terrestres, mais l'évaluation des résultats des travaux pratiques obtenus permet de dire qu'une certaine compréhension et une acquisition de techniques ont été réalisées.

#### **4.3.7 Edition numérique, symbolisation de la carte et correction partielle**

Avant le démarrage de la formation, une notice explicative sur les techniques d'édition numérique et de symbolisation a été distribuée aux 4 stagiaires, le calendrier et les grandes lignes du transfert de technologies leur ont été expliqués, et une enquête a été menée pour saisir leurs niveau technique et souhaits envers le transfert de technologies .

Les résultats de l'enquête et le tableau d'auto-notation ont montré que stagiaires utilisaient un logiciel d'édition numérique dans leur travail quotidien, mais qu'ils ne pouvaient pas l'utiliser efficacement en tant qu'outil de travail pratique.

Sur la base du degré de compréhension des stagiaires de l'IGM, et en vue d'atteindre l'objectif de ce programme de transfert technologique qui est « l'acquisition des techniques d'édition, de symbolisation, et de correction chronologique, ainsi que de contrôle de la qualité pour la restitution numérique », l'accent a été mis sur la répétition des opérations de base pour les activités nécessaires,

et les opérations qui seront nécessaires pour permettre à l'IGM d'effectuer dorénavant lui-même l'édition numérique ont été répétées un grand nombre de fois.

(1) Détermination de la portée cible pour les exercices pratiques

Pour faire acquérir en peu de temps aux stagiaires de l'IGM les techniques d'édition numérique, de symbolisation de la carte et de contrôle de la qualité, le quart (1/4) nord-ouest de la feuille de la carte [29-I-EA-32-13-4] a été utilisé comme zone des exercices pratiques.

(2) Teneur de l'encadrement technique

Les cours théoriques consacrés aux techniques d'édition numérique et de symbolisation de la carte, ont été réalisés à l'aide d'un manuel préétabli, en mettant l'accent sur les concepts de base.

Par ailleurs, au cours de la formation pratique, les instructions ont été répétées en fonction du degré de maîtrise des stagiaires de l'IGM et de l'importance des matières d'enseignement. Concrètement, un encadrement technique de 35 jours (du 14 avril au 3 juin 2016) a été prodigué à 2 ingénieurs de l'IGM avec les thèmes indiqués dans le Tableau 4-2.

**Tableau 4-2 Thèmes principaux d'encadrement technique**  
(édition numérique, symbolisation de la carte)

Thème	Objectif	Contenu des opérations
Compréhension du contenu de base des opérations d'édition numérique	Compréhension des opérations de base du logiciel	Exercices pratiques des opérations avec la commande nécessaires au Projet
Correction des données dans l'édition numérique	Compréhension de nettoyage des données Compréhension du traitement d'erreurs diverses	Suppression des lignes inutiles pour la topologie et ajustement, correction des données par jugement visuel
Compréhension de la symbolisation de la carte	Compréhension des opérations de base du logiciel Compréhension des symboles nécessaires à la représentation cartographique Compréhension du jugement requis pour la finalisation de la carte selon l'échelle	Création des symboles et types de lignes nécessaires à la représentation cartographique Finalisation de la carte à partir des données composées de points, lignes et polygones Création des données pour la sortie
Correction chronologique	Compréhension de l'introduction de données compte tenu des attributs des objets terrestres acquis dans le complètement cartographique Conversion des coordonnées en cas de nécessité Introduction de données du système de référence Contrôle de la qualité de la carte produite	Correction des données compte tenu de la cohérence avec les données existantes, recréation de la topologie, conversion des coordonnées, entrée de rasters et vecteurs, introduction de données textuelles Contrôle, correction et établissement du tableau de gestion de la précision

(3) Evaluation rubrique par rubrique

Le programme de transfert technologique portant sur l'édition numérique et la symbolisation de la carte a pour objectif, après compréhension des spécifications et des règles de symbolisation, l'acquisition de données ayant une précision adaptée à l'édition à partir des données de restitution

numérique. Le degré de maîtrise des compétences des 3 stagiaires de l'IGM concernant l'édition numérique, la symbolisation de la carte et la correction partielle, vérifié au cours du transfert de technologies, a été évalué ci-dessous rubrique par rubrique.

#### 1) Edition numérique

L'encadrement a été effectué par exercices pratiques répétés, et la mission d'étude a jugé que les stagiaires de l'IGM ont compris les opérations nécessaires à l'édition numérique, ainsi que les commandes et fonctions du système d'édition numérique. Toutefois, pour les contrôles corrects s'appuyant sur la compréhension, les corrections (nettoyage des données) et la création de topologie, ainsi que la série d'activités pour la correction chronologique, la formation en continu sera nécessaire pour qu'ils puissent réaliser le traitement correct instantané.

#### 2) Symbolisation

La mission d'étude a jugé que les stagiaires de l'IGM ont bien compris la symbolisation de la carte et bien acquis les connaissances et les techniques concernant le processus de création des symboles et types de ligne. L'utilisation des techniques acquises en continu dans leur travail quotidien est souhaitable.

#### 3) Degré d'atteinte des objectifs de la formation

L'IGM n'ayant pratiquement aucune expérience de l'édition numérique des données de base SIG, données tridimensionnelles y compris, il a été nécessaire d'approfondir la compréhension des opérations de base et des configurations d'environnement. Aussi, pendant la période de formation, plus de temps que nécessaire a été consacré au nettoyage des données tridimensionnelles et à l'acquisition des connaissances nécessaires à la création de topologie.

La mission d'étude a espéré que les stagiaires de l'IGM feraient sans aide l'édition numérique et la symbolisation de la carte en appliquant les opérations et connaissances de base enseignées à leurs activités quotidiennes. Mais ils n'ont pas atteint le niveau permettant l'utilisation des techniques dans leurs travaux pratiques. De ce fait, les explications sur ces techniques ont été répétées en plusieurs fois dans la seconde moitié du programme, et la mission d'étude a finalement jugé que les stagiaires ont obtenu un certain niveau de compréhension, mais elle leur a conseillé en même temps de poursuivre la formation. .

### **4.3.8 Structuration SIG**

#### (1) Enquête initiale pour l'identification du niveau technique de l'IGM

Une enquête préalable a été menée pour saisir l'expérience des stagiaires de l'IGM en SIG et gestion de base de données.



## (2) Teneur de l'encadrement technique

Les objectifs concrets de la formation réalisée cette fois-ci ont été les suivants :

- 1) Compréhension du concept et de la conception de la géodatabase ;
- 2) Création de modèles efficaces et conception d'un schéma de géodatabase facilitant le stockage des données ;
- 3) Créations de composants de la géodatabase, tels que sous-types et topologie, conformément aux règles de symbolisation ; et
- 4) Passage efficace des données de base SIG créées dans ce Projet à la géodatabase.

Le programme du transfert technologique consistait en formation technique sur 14 jours pour les 3 stagiaires de l'IGM. Les cours théoriques ont compté pour 10% du total, et le reste a été consacré aux exercices pratiques à l'aide d'ArcGIS10.3 produit et fourni dans ce Projet, conformément au contenu des cours théoriques .

## (3) Evaluation post-formation

La mission d'étude a évalué le degré de maîtrise des techniques des 3 stagiaires de l'IGM concernant la structuration SIG vérifié au cours des sessions d'encadrement technique ci-dessus.

En général, pour l'importation de données raster dans la géodatabase et la création d'une topologie, divers problèmes sont survenus à cause des connaissances insuffisantes sur les modèles de données SIG (modèles raster, vectoriel) de tous les stagiaires. Pour résoudre ces problèmes, la mission d'étude a répété des explications fondamentales sur la gestion de la base de données par SIG et le concept de topologie pour promouvoir la compréhension des stagiaires en ces matières.

### **4.3.9 Contrôle de la qualité**

#### **4.3.9.1 Levé des points d'appui**

Le contrôle de la qualité du levé des points d'appui a été axé sur les 4 points suivants. Les résultats ont été compilés dans les descriptions, et utilisés pour l'aérotriangulation subséquente.

##### (1) Contrôle de la précision des points géodésiques existants

La mission d'étude a vérifié de visu avec les personnels de l'IGM que les points géodésiques existaient sur place en bon état et que leurs conditions d'implantation n'ont pas fait obstacle à l'observation GNSS.

Ensuite, par observation GNSS, la mission d'étude a vérifié si les valeurs des coordonnées des points géodésiques (X, Y, Z) conservaient une précision permettant leur utilisation en tant que points d'appui. A ce moment-là, on a vérifié si les personnels de l'IGM pouvaient mettre l'appareil

d'observation en place correctement, et effectuer le réglage initial du récepteur GNSS pour bien recevoir les informations de satellite.

Puis, en utilisant les résultats reçus, on a comparé les valeurs des coordonnées planes résultats de l'analyse de la ligne de base effectuée et les résultats existants pour vérifier qu'il n'y a pas de différence.

Concrètement, on a observé 4 points D0035, D0030, D0050 et B11, et évalué les résultats du calcul d'ajustement du réseau en recourant à 4 points géodésiques existants. Ce contrôle de la précision a permis de juger l'aptitude de ces points en tant que points de contrôle du squelette dans le levé des points d'appui.

#### (2) Contrôle de la précision des observations GNSS

L'IGM a jusqu'ici réalisé des observations GNSS au moyen d'un rayonnement, mais dans ce Projet on est passé à la méthode de polygonation. L'observation simultanée avec 4 appareils GNSS étant nécessaire pour cette méthode, la mission d'étude a donné des instructions aux personnels de l'IGM pour cette méthode.

#### (3) Gestion de la précision du nivellement

Le contrôle de la qualité a été effectué par OJT (gestion des données et gestion de la précision) dans le cadre du contrôle de la précision du nivellement. L'IGM a une grande expérience du nivellement, et la précision de la mesure d'un point à d'autres a été dans les normes. Mais il y a eu des erreurs par-ci par-là dans la gestion des données, ce qui a eu un impact négatif sur les résultats définitifs.

Cela est dû au fait que les travaux d'inspection des erreurs de transcription survenant à chaque étape de l'établissement des résultats intermédiaires du nivellement et des erreurs de calcul ne sont pas enracinés. De ce fait, nous avons réalisé un transfert de technologie par OJT pendant les travaux de nivellement sur la méthode de gestion des données à chaque étape et le contrôle de la précision, et perfectionné le contrôle de la qualité.

#### (4) Gestion de la précision de l'analyse des lignes de base

Avec le logiciel d'analyse des points d'appui LGO (Leica Geo Office) fourni par le Projet, on a effectué une analyse tridimensionnelle des résultats des observations GNSS et des résultats du nivellement ci-dessus, et a obtenu une déviation standard de 18 cm, que l'on a appliquée à la triangulation subséquente.

### **4.3.9.2 Identification du terrain/complètement cartographique**

L'encadrement technique pour le contrôle de la qualité de l'identification du terrain/complètement cartographique a été axé sur les 2 points suivants.

#### (1) Compréhension des règles de travail et des règles de symbolisation

Les apprentissages répétés par OJT sur le positionnement de l'identification du terrain et du complètement cartographique dans la cartographie topographique à grande échelle ont permis la compréhension du sens de l'étude conformément au manuel de travail et aux règles de symbolisation.

#### (2) Mise en œuvre de l'inspection et correction des erreurs, du contrôle de la qualité et de la gestion du processus (établissement du tableau de gestion de la précision, établissement du calendrier des travaux)

Pour la gestion du processus, chaque équipe a établi le graphique de sa progression, qui chaque jour a été affiché dans le bureau de la mission pour que tout le monde puisse le vérifier.

### **4.3.9.3 Aérotriangulation**

Au calcul d'aérotriangulation, on a recherché la position des points cardinaux (XYZ) de l'appareil photo au moment de la prise de vues ayant pour point de vérification les coordonnées du point de contrôle au sol, ainsi que l'inclinaison de l'appareil photo (les angles de rotation sur les 3 axes XYZ, oméga, phi, et kappa). En même temps, le résultat du calcul a été jugé à partir des erreurs géodésiques résiduelles entre la valeur Sigma représentant l'écart par rapport au degré de qualité et le point d'appui. L'encadrement technique composé de cours théoriques et pratiques a été fourni sur le critère de jugement déterminé en fonction de l'échelle de prise des photographies aériennes utilisées et de la taille du CCD de l'appareil photo aérien. Cet encadrement a permis aux personnels de l'IGM d'effectuer le contrôle de la qualité sur la base de ce critère de jugement.

Ces résultats ont été reportés dans le « Tableau de gestion de la précision d'aérotriangulation » et conservés. Comme indiqué au paragraphe précédent 4.3.5, les personnels de l'IGM a évalué la qualité des données de restitution numérique créées lors de la formation pratique, et établi eux-mêmes le tableau de gestion de la précision en recourant à une formule de gestion de la précision préparée par la mission d'étude. Il est souhaitable que l'IGM poursuive cette activité en améliorant la formule conformément aux critères de conception et aux spécifications des informations géographiques nationales du Mali que le CIIG définira dans le futur.

### **4.3.9.4 Orthophoto**

Dans le contrôle de la qualité du MNE ordinaire, on recourt à une méthode consistant à contrôler les points d'élévation extraits de manière partielle et aléatoire pour leur enregistrement. Mais, actuellement, la qualité du MNE de l'IGM étant partiellement instable, cette méthode de contrôle provoque une qualité variable selon le produit. Pour cette raison, dans le contrôle de la qualité effectué par ce Projet, les techniques basées sur le contrôle visuel de l'élévation du MNE (contrôle de tous les cas) par écran 3D ont été transférées.

#### 4.3.9.5 Restitution numérique et correction partielle

La restitution numérique et la correction partielle consistant à créer les données numériques tridimensionnelles s'agissant de la même série d'activités, un tableau de gestion de même format a été utilisé pour le contrôle de la qualité.

Ici l'évaluation de la qualité a été faite en recourant aux des données de restitution numérique acquises pendant les cours théoriques et pratiques. Concrètement, on a évalué la qualité des données en comparant directement « les données restituées en excès ou les données manquantes » ou bien « les positions tridimensionnelles des données », ainsi que « les erreurs, attributs quantitatifs » survenus au cours de la classification à l'image du modèle tridimensionnel. Pour les emplacements d'erreur de l'évaluation de la qualité, la mission d'étude a conseillé d'apporter les corrections au besoin, d'ajouter les objets terrestres et de leur reporter sur le processus suivant en tant que données de restitution numérique.

#### 4.3.9.6 Edition numérique et symbolisation de la carte

La mission d'étude a expliqué qu'il y a deux méthodes de contrôle de la carte topographique, à savoir la méthode de contrôle sur l'écran d'ordinateur, et celle à l'aide de la carte imprimée. Pour la première, une étude minutieuse de la structure des données précises est possible en zoomant l'écran, mais on a tendance dans ce cas à inspecter seulement des zones partielles. Pour la seconde, en utilisant la carte imprimée, il est possible de vérifier en une fois une vaste zone en agrandissant l'écran, ce qui permet de contrôler l'uniformité de la carte dans son ensemble.



**Figure 4-4 Carte utilisée pour le contrôle de la zone cible de formation et tableau de gestion de la précision**

L'IGM possédant déjà les techniques de production de la carte topographique analogique, la mission d'étude a expliqué à répétition non seulement le contrôle sur l'écran d'ordinateur, mais aussi l'importance du contrôle sur la carte de sortie permettant le contrôle croisé de plusieurs personnes et pour lequel il est facile d'obtenir des conseils de techniciens vétérans.

De plus, la mission d'étude a conseillé aux personnels de l'IGM de tenir les résultats de contrôle dans le tableau de gestion de la précision, non seulement pendant cette formation, mais aussi dans leurs travaux quotidiens, pour qu'ils puissent bien comprendre les erreurs, et améliorer le projet suivant.

## 5. Perspectives à venir et attentes futures

Les résultats de l'enquête initiale effectuée dans chaque processus de travail du Projet et les observations des activités faites par l'IGM ont révélé plusieurs problèmes. La mission d'étude espère que l'IGM résoudra les problèmes ci-dessous pour se développer dorénavant en organisme en charge des informations géographiques nationales, et qu'il déploiera son leadership vis-à-vis des autres ministères et agences utilisateurs en tant qu'organisme de fourniture des services de données de base SIG et de techniques d'information géographique.

### (1) Mise en ordre du contenu de travail et des services à fournir dans la nouvelle organisation

Sans se limiter à la fourniture d'informations géographiques telles que photographies aériennes, images satellites et cartes topographiques, il faudra clarifier la gestion du nouveau CGIG et les services techniques fournis, et faire la publicité sur les produits et les services techniques fournis par l'IGM sur le site Web.

### (2) Gestion et réaménagement des points géodésiques

L'une des missions de l'IGM est la gestion des points géodésiques nationaux qui forment l'ossature du territoire malien. Mais certains points géodésiques (points de triangulation, points de nivellement) de la ville de Bamako ont été détruits et ont disparu.

Aussi, une étude de tous les points géodésiques dans la ville de Bamako doit être faite d'urgence, et après réaménagement si nécessaire de nouveaux points géodésiques (y compris mise en place de système de contrôle basé sur GPS), il faudra apporter l'assistance pour l'aménagement des informations géographiques des autres ministères et agences.

### (3) Mise à jour des données produites par le Projet

#### 1) Méthode de mise à jour des informations sur les routes et les rivières

Les informations sur les routes ont été produites sur la base de la carte de gestion des routes fournie par la cellule technique d'appui aux communes (CTAC) qui l'utilise pour la gestion des installations routières. Cette carte a été restituée à la CTAC après mise à jour des informations de position en tant que données de base SIG correctes ; on espère qu'elle soit utile dans l'administration des routes. Mais la carte de gestion des routes ne couvre pas des informations sur toute la ville, et il y a des zones où les noms des routes ne sont pas enregistrés. De plus, la gestion des coordonnées n'étant pas faite pour les données mises à disposition, la précision de la position est mauvaise à certains endroits, et les emplacements non identifiables n'ont pas été enregistrés.

Dorénavant, un mécanisme selon lequel les données de la carte topographique à grande échelle produites par ce Projet seront mises à disposition de la CTAC qui en fera le feedback à l'IGM après la mise à jour des données, sera créé pour permettre l'aménagement des informations routières avec une précision uniforme, et la contribution au renforcement de l'efficacité de l'administration routière.

Les noms des rivières et des routes ont été définis en recourant seulement aux informations conservées sur les données au 1/25.000<sup>e</sup> existantes, seuls les noms des rivières principales sont donc enregistrés. Comme certains des cours d'eau et rivières fonctionnent aussi en tant que canal de drainage, la collaboration étroite dorénavant avec les ministères et agences qui les gèrent laisse espérer l'utilisation de la carte topographique à grande échelle pour la gestion des rivières et des canaux.

## 2) Amélioration de la précision des limites administratives (commune, quartier)

Les limites administratives telles que commune et quartier sont des informations fondamentales de la région, et des informations fréquemment utilisées pour saisir la situation et les problèmes dans la région.

Pour l'aménagement des données de base SIG du Projet, les limites des communes ont été dégagées de la carte topographique 1 :20.000<sup>e</sup> produite dans les années 1980, et pour les limites des quartiers, la carte urbaine au 1 :25.000<sup>e</sup> a été utilisée ; de ce fait, la précision de position n'est sans doute pas très bonne. D'autre part, les limites n'ont pas pu être dessinées pour le cercle de Kati à cause de l'absence de données sources, et seuls les noms de lieux ont été enregistrés. Dorénavant, les informations des divisions administratives devront être précisées en entretenant une liaison harmonieuse avec les autorités chargées des affaires intérieures et les autres organismes concernés sur la base des données produites dans le présent Projet.

## 3) Production de la carte topographique de la zone hors cible

Des modèles stéréo tridimensionnels ayant recours aux résultats de l'aérotriangulation réalisée dans ce Projet sont déjà établis. Par conséquent, la production de la nouvelle carte couvrant une superficie de 880 km<sup>2</sup> non ciblée par le présent Projet est attendue en supposant des demandes futures faites par les différents ministères et agences ou la mairie du district de Bamako pour leurs plans de développement et les schémas directeurs.

#### 4) Correction chronologique sur la portée de la carte topographique

La carte topographique au 1 :5.000<sup>e</sup> (520 km<sup>2</sup>), qui est un produit issu du Projet, a été créée à l'aide de photographies aériennes prises en mars 2015. L'avantage de ce produit consiste à rendre visible sur la carte (une seule feuille) des informations d'élévation du sol qui n'existait pas jusque-là, et ces informations pourront servir dans l'immédiat en tant que données de référence de hauteur. D'autre part, des développements partiels progressant rapidement dans la ville de Bamako, la fraîcheur des données diminuera graduellement. De ce fait, en cas de modification des éléments structurels ou du relief, il faudra d'abord effectuer la correction chronologique planimétrique à l'aide d'ortho-images.

#### 5) Collaboration avec la DNDC (Direction Nationale des Domaines et du Cadastre)

Les orthophotos et la carte topographiques au 1 :5.000<sup>e</sup>, produites par le Projet, ont une précision bien adaptable au Plan de levés cadastraux établi par la DNDC. Aussi, le soutien des services de levés cadastraux par collaboration avec la DNDC contribuera-t-il indirectement à l'amélioration des services administratifs de la ville de Bamako.

#### (4) Spécifications techniques des informations géographiques

Dans ce Projet, les spécifications techniques pour la production de la carte topographique au 1 :5.000<sup>e</sup> et la géodatabase des données de base SIG ont été élaborées. Et puisqu'il s'agit ici avant tout de données de base d'information géographique partageables, ces spécifications ne se limitent pas à l'IGM, mais sont les spécifications techniques des informations de base du Mali. L'IGM qui comprend aussi bien ce point, doit établir des lignes directrices, etc. et faire des efforts pour les divulguer à tous les utilisateurs des informations géographiques.

La mission d'étude espère que l'IGM assumera dorénavant la responsabilité de toute modification ou mise à jour des différentes spécifications techniques élaborées dans ce Projet pour les rendre applicables également par les différents ministères et agences.

#### (5) En vue de la mise en place de l'INDS

Les informations géographiques ne sont qu'une information de base sur l'espace territorial, elles ne peuvent pas directement résoudre les différents problèmes dont souffre Bamako et permettre son développement urbain. Par conséquent, la compréhension mutuelle et la communication sont essentielles en ce qui concerne le partage des rôles entre l'IGM (fournisseur des données) et les

utilisateurs des informations géographiques ; les problèmes pour l'utilisation des informations géographiques sont dus à la faiblesse de la collaboration latérale.

De ce fait, le cadre des organismes de l'ensemble du Mali doit être étudié, et des directives d'opération élaborées pour assurer le partage des informations par tous les ministères et agences et tous les secteurs utilisateurs. Ce point est déjà remarqué dans le plan d'action de la PNIG, et toutes les informations géographiques nécessaires (ou insuffisantes) pour satisfaire les besoins des utilisateurs des informations géographiques seront représentées et gérées dans les données de base SIG (carte de base) créées par l'IGM, et en fin de compte, toutes les données d'information géographique (informations thématiques) seront partagées entre les ministères et agences.

Dans le système ayant recours à l'INDS, l'IGM est confié à la charge de production d'une carte de base. Les autres organismes utilisateurs représentent leurs données thématiques sur cette carte de base. Vu les ateliers réalisés dans le Projet, l'IGM comprend en principe ce système avec l'INDS. D'autre part, les organismes affiliés au CNIG etc. qui sont les utilisateurs des données produites semblent avoir compris ce système. Dans la situation où les préparatifs pour la création du CGIG qui est un récepteur des informations géographiques viennent de commencer, la première tâche à faire en urgence par l'IGM, est de fournir les données faciles à utiliser (ce besoin a été mis en évidence dans le Chapitre 2, paragraphe concernant l'identification des besoins), d'apporter son soutien pour transmettre les techniques SIG, et de fournir les informations utiles et connexes.

#### (6) Conclusion

Le présent Projet a été réalisé conjointement par la mission d'étude et les homologues de l'IGM pendant environ 21 mois, de février 2015 à octobre 2016. Dans la première moitié du Projet, alors que la sécurité publique se dégradait à Bamako, l'IGM a principalement effectué le levé des points d'appui et l'identification du terrain/complètement cartographique. Puis, dans la seconde moitié du Projet, un programme de transfert de technologies pour la cartographie numérique au 1 :5.000<sup>e</sup>, comprenant la prise de photographies aériennes avec les équipements fournis par le Projet, a été établi, et le transfert de technologies concernant la création et la correction des données de base GIS a été réalisé vis-à-vis de l'IGM.

L'IGM avait déjà l'expérience de la cartographie analogique à petite échelle et plus récemment de la création d'une carte topographique (1 :200.000<sup>e</sup>) par restitution numérique assistée par l'IGN France, mais ce Projet a été sa première expérience de la production d'une carte topographique à grande échelle. De ce fait, il a fallu beaucoup de temps aux stagiaires de l'IGM pour comprendre et acquérir les différences de conception et de méthode de production qui varient en fonction des échelles.



La carte topographique au 1 :5.000<sup>e</sup> produite dans ce Projet est une carte numérique, ce qui rendra faciles les additions et la correction. Dorénavant, il sera essentiel que l'IGM assure son renouvellement conformément à la situation de Bamako en s'appuyant sur les techniques et l'expérience acquises via le Projet. Bien entendu, l'IGM n'a pas acquis l'ensemble des techniques requises via le programme de transfert de technologies dont il a fait l'expérience.

Toutefois, l'IGM a obtenu les équipements nécessaires à la production de la carte topographique à grande échelle, ainsi que les manuels de travail des différents processus. En plus de cet environnement, il a aussi acquis les orthophotos (1.400 km<sup>2</sup>) à partir des photographies aériennes prises dans le Projet et des résultats de l'aérotriangulation. Comme indiqué plus haut, l'IGM pourrait commencer tout de suite les travaux pour la zone restante non aménagée (880 km<sup>2</sup>), exclue de la zone cible de cartographie (520 km<sup>2</sup>) du Projet.

Ainsi, la mission d'étude espère qu'après la fin du Projet, l'IGM, tirant avantage des connaissances/techniques ainsi acquises, procèdera lui-même à la cartographie topographique au 1 :5.000<sup>e</sup> de la zone non couverte, et déterminera par tâtonnements une méthode de production de la carte topographique à grande échelle propre au Mali.

Pour terminer, la mission d'étude a vraiment bénéficié du soutien d'un grand nombre de personnes pour la mise en œuvre de ce Projet en dépit de la situation au Mali où la sécurité publique ne cesse de s'y dégrader. Et nous voudrions exprimer de notre gratitude au Directeur général de l'IGM, et aux homologues maliens, ainsi qu'à l'Ambassade du Japon au Mali, au bureau JICA au Sénégal et à tous les experts délégués au Mali pour leur prise en compte de la sécurité de la mission, et leur soutien et leur collaboration considérables pendant notre séjour à Bamako, alors que nous devons réaliser les activités sans encombre dans un temps limité.