

MANUEL DE PROCEDURES POUR LA
CARTOGRAPHIE DE BASE 1/50.000e

JICA LIBRARY



J1164979[5]

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY
(JICA)

ARY

SSF
JR
01-38

TABLE DES MATIERES

Division 1	GENERALITE	1
Chapitre 1	Objectif ,définition et méthodologie	1
Division 2	ETABLISSEMENT DE RESEAUX GEODESIQUES.....	3
Chapitre 1	Aperçu Général	3
Chapitre 2	Méthode d'établissement du réseau géodésique.....	3
Section 1	Plan de travail	4
Section 2	Sélection des points.....	5
Section 3	Mise en place de bornes	6
Section 4	Observations et calculs des levés GPS	6
Section 5	Observation et calcul par polygonation.....	10
Section 6	Classement des résultats	15
Chapitre 3	Nivellement Géométrique	16
Section 1	Généralités	16
Section 2	Plan.....	16
Section 3	Sélection des points.....	17
Section 4	Installation des bornes.....	18
Section 5	Observations.....	18
Section 6	Calcul.....	21
Section 7	Classement des résultats etc	22
Division 3	Etablissement d'une carte topographique originale	23
Chapitre 1	Généralités.....	23
Chapitre 2	Mise en place de points de contrôle.....	23
Chapitre 3	Signaux des photos aériennes et pointage.....	26
Chapitre 4	Prise de vues	28
Chapitre 5	Complètement.....	31
Chapitre 6	Triangulation aérienne	33
Chapitre 7	Aperçu de la cartographie numérique à l'échelle 1 /50000°	39
Chapitre 8	Restitution numérique.....	40
Chapitre 9	Rédaction numérique.....	45
Chapitre 10	Levés complémentaires sur place et rédaction numérique Complémentaire	47
Chapitre 11	Etablissement d'un fichire de données CN	48
Chapitre 12	Etablissement des planches mère de la carte topographique	49
Section 8	Classement des résultats	50
	Méthode du levé GPS	51
	Polygonation.....	58
	Nivellement topographique	78



1164979[5]

Division 1 GENERALITES

Chapitre 1 Objectif, définition et méthodologie

Article 1

Les présentes normes de travail ont pour objectif, d'une part, de déterminer la méthode de levé pour la cartographie de base et, d'autre part d'utiliser les différentes normes existantes et d'assurer la précision des produits finaux.

Article 2

Dans le présent texte, le « levé pour la cartographie de base » signifie le levé de points de contrôle ainsi que tous les levés nécessaires pour la production des cartes.

Article 3

Le levé défini dans l'article précédent (Définition) est effectué sur la base des ellipsoïdes de référence, du réseau géodésique de base et de réseau de nivellement, sous la direction de l'Institut Géographique du Burkina(IGB).

Article 4

Le système d'unité utilisé pour le levé est celui appliqué au Burkina Faso.

Article 5

1. Le technicien chargé du levé (désigné, ci-après, comme « le technicien » doit établir un plan de travail basé sur les instructions et les documents de l'IGB.
2. Le technicien doit établir un plan d'exécution détaillé en fonction du plan de travail. Il est soumis à l'approbation de l'IGB. Par ailleurs, la même approbation sera nécessaire pour toute modification du plan de travail ou de celui d'exécution détaillé.

Article 6

1. Le technicien doit par la manière la plus appropriée, effectuer le contrôle de procédés de travail, basé sur le plan d'exécution détaillé de l'article précédent (Plan de travail et celui d'exécution détaillé).
2. Le technicien doit au fur et à mesure présenter à l'organe concepteur du projet le rapport d'avancement sur le travail effectué.

(Contrôle de précision)

Article 7

1. Le technicien doit par la manière la plus appropriée effectuer le contrôle de précision afin de maintenir la précision exigée, établir le tableau de contrôle de précision basée sur les résultats obtenus.
2. Le technicien doit effectuer le contrôle de précision à la fin de chaque procédé ou celui prescrit aux temps appropriés.
3. Pour les articles désignés par l'organe concepteur du projet (IGB) le même contrôle doit être effectué dès la fin de leur étape.

<Article 7 Critères d'application >

1. La forme du tableau de contrôle de précision est montrée en appendice
2. Le taux de contrôle à effectuer est résumé comme suit :
 - _ Levé de points de contrôle du 1^{er} au 3^e ordre 3%
 - _ Levé de nivellement du 1^{er} au 3^e ordre 3%

(Approbation des matériels)

Article 8

En ce qui concerne le matériel à utiliser, le technicien doit utiliser celui qui a été approuvé et /ou inspecté par l'IGB.

(Approbation des résultats de levé)

Article 9

Les résultats de base sont visés par le chef de service du technicien chargé avant leur approbation par l'IGB.

(Résultats de levé, etc ...)

Article 10

Ce qui est signifié par l'expression : les « résultats du levé, (désigné, ci-après, comme les « résultats, ») se compose des « résultats du levé », « enregistrements du levé » et « documents de travail » dont le contenu est comme suit :

- (1) Résultats du levé : résultats définitifs obtenus de chaque procédé de travail
- (2) Enregistrements du levé : enregistrements de chaque étape de travail effectué pour obtenir les résultats définitifs.
- (3) Documents de travail : divers documents obtenus au cours du travail effectué pour obtenir les résultats définitifs.

(Exceptions concernant la méthode de travail et les matériels)

Article 11

1. En ce qui concerne l'utilisation des méthodes et matériels différents de ceux qui sont stipulés dans les présentes normes, elle est autorisée pour une partie de travail, à condition que l'IGB l'approuve en sachant qu'elle ne nuit pas à la précision exigée et à l'efficacité de travail.
2. En ce qui concerne les méthodes, critères et procédés qui sont stipulés par les présentes normes, ils pourront être modifiés, à condition que l'IGB approuve leur modification.

(Présentation des résultats, etc...)

Article 12

1. Le technicien doit présenter rapidement à l'IGB les résultats du levé ainsi que les résultats de contrôle de précision stipulés dans l'article 7 (Contrôle de précision) dès qu'il achève son travail.
2. Le technicien doit présenter à l'IGB les enregistrements du levé ainsi que les documents de travail, s'ils lui sont demandés.

Division 2 ETABLISSEMENT DE RESEAUX GEODESIQUES

Chapitre 1 Aperçu Général

(Définition)

Article 13

1. Le levé de points de contrôle consiste à définir de nouveaux points à partir des points connus.
2. Les points de contrôle sont des bornes mises en place pour servir de base au levé, définis par des valeurs numériques de position horizontale et d'élévation.
3. Les points connus sont les points de contrôle existants, utilisés comme données lors de l'exécution du levé de points de contrôle.
4. Les nouveaux points sont les points de contrôle nouvellement établis par le levé de points de contrôle.

(Classification des points de contrôle)

Article 14

1. Le levé de points de contrôle se divise en levé de points de contrôle au sens strict (planimétrie) et nivellement géométrique (altimétrie).
2. Les points définis en planimétrie sont dits points géodésiques.
3. Les points définis par nivellement géométrique sont appelés bornes de nivellement.

Chapitre 2 méthode d'établissement du réseau géodésique

(Définition)

Article 15

La détermination des points géodésiques consiste à définir la position planimétrique et altimétrique des nouveaux points à partir des points connus et à dresser un tableau des résultats.

(classification des points géodésiques)

Article 16

Les points géodésiques se divisent en points géodésique de 1^{er}, 2^{eme} et 3^{eme} ordre selon le type des points connus, la distance entre les points et la précision de l'observation.

<Article 16 Critères d'application>

Le tableau ci-dessous indique les types de points connus, la distance entre les nouveaux points et la précision relative de l'observation.

Classification	Type de point connu	Distance entre les nouveaux points	Précision relative de l'observation
Levé de point de contrôle 1 ord.	Sup. à point de contrôle classe 1	80 km	2×10^{-6}
Levé de point de contrôle classe 2 ^e ord.	Point de contrôle classe 1, 2	25 km	5×10^{-6}
Levé de point de contrôle classe 3 ord.	Point de contrôle classe 1, 2	4 km	2.5×10^{-5}

Article 17

1. L'observation des points géodésiques se fait par levé GPS et ou par polygonation.
2. Le levé GPS est un levé utilisant récepteurs GPS.
3. La polygonation est un levé utilisant des appareils de mesure d'angles et de distances.

(classification des travaux par procédure et ordre)

Article 18

La division des travaux par procédure et ordre s'effectue comme suit.

- (1) Elaboration d'un plan de travail
- (2) Sélection des points
- (3) Construction des bornes
- (4) Observations
- (5) Calculs
- (6) Classement des résultats etc.

Section 1 : Plan de travail

(Définition)

Article 19

1. Outre les stipulations sous l'Article 5 (Plan des travaux et plan d'exécution détaillé), le plan sera élaboré en tenant compte des caractéristiques de chaque méthode de levé.
2. Pour les points géodésiques, étudier les positions approximatives des nouveaux points sur les cartes, et établir un schéma du réseau.
3. Les points géodésiques de 1er et 2ème ordre seront en principe définis par levé GPS.
4. Les points géodésiques de 3ème ordre seront en principe définis par polygonation ou par GPS.

<Article 19 Critères d'application>

1. Le plan tiendra compte des méthodes de levés, des instruments à utiliser, du personnel, du processus des travaux, du relief, des voies d'accès et du positionnement des points connus.
2. Le levé GPS permettra d'établir un réseau de triangulation à partir de vecteurs de la ligne de base entre des points connus et nouveaux points, et entre nouveaux points.
3. Le levé GPS prendra en compte l'état de fonctionnement des satellites GPS et leur visibilité.
4. La polygonation établira en principe un réseau polygonal uni. Toutefois, si des points connus sont utilisés, on mesurera l'intervalle entre eux et contrôlera la précision de chacun d'eux. Ce contrôle pourra être fait par levé GPS.

(Etablissement d'un réseau de points de contrôle)

Article 20

1. Le réseau de triangulation et le réseau polygonal uni (ci-après dénommé "réseau de points de contrôle") sera établi en tenant compte des figures.
2. Pour la constitution du réseau de points géodésiques, on pourra prendre en compte si nécessaire la possibilité de définir l'élévation des points géodésiques par rapport aux repères de nivellement.

<Article 20 Critères d'application>

1. L'élévation se définit par les levés suivants.
 - (1) Nivellement géométrique
 - (2) Nivellement trigonométrique (par angle vertical et la distance)
 - (3) Combinaison des nivellements trigonométrique et géométrique
2. Pour définir l'élévation, on planifiera de manière à pouvoir définir l'élévation par les méthodes de levés de l'alinéa précédent à partir des repères géodésiques à un intervalle

d'environ 10 km sur la ligne de niveau la plus proche.

3. La définition de l'élévation des points de contrôle de classe 1 et 2 se fera en principe directement par nivellement topographique, et le nivellement trigonométrique ne sera adopté que pour les points de contrôle de classe 3.

Section 2 : Sélection des points

(Définition)

Article 21

La sélection des points consiste à définir des points nouveaux dans la zone de levé en s'appuyant sur les résultats de la reconnaissance locale (relief, végétation) et le canevas.

(Exécution de la sélection des points)

Article 22

Les nouveaux points seront sélectionnés à des positions adaptées, compte tenu des opérations futures et de la conservation des bornes.

Critères d'application

1. Les levés GPS se feront comme suit.
 - (1) Les nouveaux points auront en principe des positions ne subissant pas l'influence d'obstacles d'ondes électriques artificielles, surfaces réfléchissantes et de la végétation, immeuble etc...
 - (2) Le champ de vision du ciel devra en principe assurer un angle de plus de 15° d'altitude dans toutes les directions.
 - (3) S'ils y a des obstacles à la réception des signaux des satellites GPS à un point connu ou un nouveau point, on établira un point excentrique ou éliminera l'obstacle.
2. La polygonation se fera comme suit.
 - (1) Dans le réseau de points géodésiques, on établira une figure facultative en utilisant plus de 2 points connus, et fera des observations pour fixer l'angle de direction des points connus. Toutefois, selon les conditions sur place, on pourra omettre la fixation de l'angle de direction.
 - (2) Un cheminement polygonal (point connu - autre point connu ; point connu - intersection ; ou bien intersection - autre intersection) aura 6 côtés maximum.

(Etablissement d'un schéma du Réseau.)

Article 23

1. Sur la carte des points sélectionnés, les nouveaux points sélectionnés et la position des points connus seront indiqués, et si l'on utilise des points excentriques, leur position sera aussi marquée sur la carte.
2. La carte d'ajustement du plan sera établie sur la base de la carte des points sélectionnés, en tenant compte des figures.
3. La carte d'observation sera établie en mettant au clair le programme d'observations sur la base de la carte des points sélectionnés et de la carte d'ajustement du plan.

<Article 23 Critères d'application>

1. Toutes les lignes d'intervisibilité et les points d'observation seront reportés sur la carte des points sélectionnés.
2. Le plan d'observation des sessions GPS indiquera les combinaisons des observations (ci-dessous désignés "sessions") effectuées en continu dans l'intervalle de prises de données défini en utilisant simultanément plusieurs récepteurs GPS, ainsi que les points excentriques.

Section 3 : Mise en place de bornes

Article 24

La mise en place de bornes consiste à placer des bornes permanentes sur les positions des nouveaux points etc.

(Bornes permanentes)

Article 25

1. Des bornes permanentes seront en principe installées pour les nouveaux points, et si nécessaire, des protections seront mises en place.

<Article 25 Critères d'application>

1. Les bornes permanentes aux normes et formes définies seront placées.

(Description des points)

Article 26

La description des points sera faite sur chaque borne permanente.

<Article 26 Critères d'application>

1. La description des points sera faite pour tous les points géodésiques employés.
2. L'indication sera du type défini par l'Institut Géographique du Burkina(I.G.B.).

Section 4 : Observations et calculs des levés GPS

(Définition)

Article 27

L'observation et le calcul des levés GPS consisteront en l'établissement d'un tableau des résultats sur la base de l'enregistrement des données de phase (ci-dessous dénommée "observation GPS") obtenues par réception des ondes des satellites GPS, de l'établissement tridimensionnel de la relation positionnelle relative entre les points d'observation, et de la définition de la position horizontale des nouveaux points à partir de points connus.

(Précision des instruments de levé etc.)

Article 28

Les principaux instruments à utiliser pour l'observation seront ceux du tableau ci-dessous ou des instruments similaires.

Instruments de levé	Précision	Division des levés
Instrument de levé GPS de classe 1	$\pm (5\text{mm} + 1\text{ppm} \cdot D)$	Levé de points Géodésiques de 1 ^{er} et 2 ordre
Instrument de levé GPS de classe 2	$\pm (10\text{mm} + 2\text{ppm} \cdot D)$	Levé de points Géodésiques 2 ^e ordre

(Inspection, ajustement des instruments)

Article 29

1. La précision des instruments à utiliser sera vérifiée par la méthode définie avant le commencement des travaux et ajustée en cas de besoin.
2. La précision des instruments pourra être vérifiée pendant la période des travaux si nécessaire.

<Article 29 Critères d'application>

L'inspection des instruments de levé GPS se fera comme suit.

L'inspection des instruments

- a. Fonctionnement normal du plomb optique
- b. Fonctionnement normal de l'affichage numérique
- c. Bon état du câble d'antenne
- d. Bon état des connecteurs
- e. Tension nominale

(Observation GPS)

Article 30

1. Les observations GPS seront de type de positionnement statique par GPS (ci-dessous désigné "méthode statique").
2. Les observations GPS seront faites par session sur la base de la carte d'observation.

<Article 30 Critères d'application>

1. Le programme d'observation GPS sera établi sur la base des dernières informations sur l'orbite des satellites, en tenant compte de l'état de fonctionnement des satellites et de sa visibilité.
2. Le tableau ci-dessous indique les éléments, unités et positions à définir pour l'observation GPS.

Eléments à définir	Unité	Position	Remarques
Longitude, latitude	Degré, minutes, secondes sur l'ellipsoïde WGS84	1	Les instruments à enregistrement automatique font automatiquement l'enregistrement.
Hauteur de l'ellipsoïde	M		"
Hauteur de l'antenne	M	0,001	Mesure jusqu'aux mm
Heure de l'observation	h, min.		

3. Les observations GPS se feront comme suit.

Classification	Nombre de sessions d'observation	Période d'observation par session	Intervalle d'obtention de données par session
Levé de point Géodésiques 1	2 sessions	Plus de 120 min	Moins de 30 sec.
Levé de point de classe 2	1 session	Plus de 120 min	Moins de 30 sec.

4. Les satellites GPS à utiliser pour l'observation GPS seront comme suit.
 - (1) L'angle d'élévation standard des satellites GPS sera de plus de 15°.
 - (2) Les satellites GPS seront en bon état de fonctionnement
 - (3) Plus de 4 satellites communs seront utilisés simultanément.
5. Pour les antennes d'une même session, les marques spécifiques seront installées orientées vers le Nord.
6. Aucune voiture etc. pouvant interférer avec la réception des ondes ne sera placée dans un rayon de 10 m de l'antenne.

7. Pendant l'observation, l'emploi du radiotéléphone etc. pouvant interférer avec les ondes sera interdit. En cas de nécessité, il devra être employé à un endroit ne provoquant pas d'interférence.

(Calculs)

Article 31

Les calculs signifient la détermination de la position des nouveaux points, de la hauteur de l'ellipsoïde et des éléments connexes par l'utilisation de logiciel et l'établissement du tableau des résultats.

(Calcul d'analyse de la ligne de base)

Article 32

Le calcul d'analyse de la ligne de base signifie le calcul de la relation positionnelle relative tridimensionnelle entre les points d'observation et des éléments connexes en utilisant les données de phase obtenus des satellites GPS, et les résultats seront indiqués avec la précision indiquée dans le tableau suivant.

Article	Unité	Précision
Composant vectoriel de la ligne de base	M	0,001

<Article 32 Critères d'application>

1. Le calcul d'analyse de ligne de base s'effectue selon la méthode suivante.
 - (1) L'historique d'émission est en principe utilisé pour l'orbite du satellite GPS.
 - (2) Dans le calcul d'analyse de la ligne de base initiale, les valeurs de longitude, latitude et élévation d'un point d'observation sur l'ellipsoïde WGS84 pratiquement exacte servent de données initiales. Pour les calculs suivants, on introduira dans l'ordre les valeurs obtenues par calcul sur l'ellipsoïde WGS84.
 - (3) L'analyse sera faite par analyse de ligne de base de chaque session, et le vecteur de la ligne de base entre les points d'observation sera calculé sur la base de la carte d'ajustement du plan.
 - (4) La valeur d'angle d'élévation minimale standard sera de 15° .
 - (5) La correction des éléments climatiques sera faite à l'atmosphère standard du logiciel d'analyse de ligne de base.
 - (6) Le logiciel d'analyse de la ligne de base effectuera en principe l'édition automatique du glissement cyclique.

(Calcul de contrôle et remesure)

Article 33

1. Après le calcul d'analyse de la ligne de base, le calcul de contrôle concernant la gestion de la précision est fait rapidement pour vérifier s'il se trouve sur la plage de tolérance définie; s'il se trouve au-delà de cette plage, il sera remesuré, ou bien une mesure adaptée sera prise sur instruction de l'IGB.
2. Le calcul de contrôle se fait de la manière suivante.
 - (1) On calcul les erreurs de fermeture du vecteur tridimensionnel.
 - (2) S'il y a des faces se chevauchant (vecteurs de ligne de base) à cause de sessions différentes, on les compare.

<Article 33 Critères d'application>

1. Le calcul des erreurs de fermeture se fait comme suit.
 - (1) Il se fait pour tous les triangles.
 - (2) Pour toutes les sessions, on sélectionne la route périphérique de 2 sessions voisines pour le calcul.

- (3) Si la fermeture de deux sessions est impossible, on effectue le calcul en sélectionnant la route périphérique par nombre de sessions minimal permettant la fermeture de sessions différentes.
2. La plage de tolérance standard pour les erreurs de fermeture du paragraphe précédent est indiquée dans le tableau suivant.

Erreurs de fermeture de cercle	Plage de tolérance	Remarques
$\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ Erreurs de fermeture de chaque composant	45 mm x \sqrt{N}	N: Nombre de faces

3. La plage de tolérance standard pour les erreurs de rencontre comparatives des faces se chevauchant (vecteurs de ligne de base) est indiquée dans le tableau suivant.

Erreurs de rencontre des vecteurs de ligne de base	Plage de tolérance
$\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ Erreurs de rencontre de chaque composant	45 mm

4. Si les vecteurs de ligne de base se chevauchent, on utilise le premier vecteur de ligne de base mesuré et contrôle les autres.

(Calcul d'ajustement etc.)

Article 34

- Après le calcul de contrôle, on définit les coordonnées et la hauteur d'ellipsoïde des nouveaux points par calcul d'ajustement.
- Le calcul se fait avec la formule définie à la précision suivante.

Article	Unité	Précision
Longitude, latitude	Degré, minutes, secondes	0,0001
Hauteur d'ellipsoïde	M	0,001
Erreur angulaire	Degré, minutes, secondes	1
Longueur de face	M	0,001

- Le calcul d'ajustement se fait en principe avec le programme de calcul d'ajustement du réseau tridimensionnel approuvé.
- Concernant le calcul d'ajustement, on fait le calcul fixe d'un des points connus utilisés (ci-dessus dénommé "calcul d'ajustement provisoire") et le calcul fixe de tous les points connus utilisés (ci-dessus dénommé "calcul d'ajustement final").

<Article 34 Critères d'application>

- Le calcul d'ajustement provisoire est un calcul d'ajustement du réseau tridimensionnel par un point fixe fait en utilisant tous les vecteurs de ligne de base de la carte d'ajustement du plan, dont la plage de tolérance standard est indiquée dans le tableau suivant.

Article	Plage de tolérance
Valeur corrigée de $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ par ajustement du réseau tridimensionnel	40 mm

- Pour les points fixes, la priorité sera donnée aux points connus avec élévation obtenue par nivellement topographique et/ou nivellement trigonométrique.

3. Si le calcul d'ajustement final se fait par calcul d'ajustement du réseau tridimensionnel, on n'estimera pas l'inclinaison, l'envergure et la rotation de la face horizontale du géoïde.
4. Le vecteur de ligne de base à utiliser pour le calcul d'ajustement final comprendra des points connus et les nouveaux points, sur la carte d'ajustement du plan.
5. La plage de tolérance standard des erreurs de position de nouveaux points pour le calcul d'ajustement final est indiquée ci-dessous.

Article	Plage de tolérance
Déviations standard de coordonnées par ajustement du réseau tridimensionnel	15 cm
Déviations standard de hauteur d'ellipsoïde par ajustement du réseau tridimensionnel	30 cm

6. Pour les coordonnées rectangulaires planes des points de contrôle, on pourra si nécessaire utiliser les résultats du calcul d'ajustement final, et faire la conversion avec une formule de calcul définie.

Section 5 : Observation et calcul par polygonation

Article 35

L'observation et le calcul par polygonation consistent à mesurer avec des instruments de mesures d'angles et de déplacement. l'angle horizontal, l'angle vertical et la distance entre des points d'observation, et à établir un tableau des résultats en définissant la position horizontale et l'élévation des nouveaux points sur la base des points connus.

(Précision des instruments de levé etc.)

Article 36

Les principaux instruments à utiliser pour l'observation seront ceux indiqués dans le tableau ci-dessous ou des instruments similaires.

Instrument de levé	Précision
Géoniomètre	$\pm (5 \text{ mm} + 2 \text{ ppmD})$ Distance mesurable: 6 km
Goniomètre	Graduation minimale: 1"
Thermomètre	Psychromètre ventilé à graduation minimale de 1° C
Baromètre	Graduation minimale de 1 mmHg ou 1 hPa
Niveau et mire	Niveau Sensibilité du flacon principal à bulle d'air 40"/2 mm Mire Indicateur gradué en bois (sauf indicateur télescopique)

(Inspection, ajustement des instruments)

Article 37

1. La précision des instruments à utiliser sera vérifiée par la méthode définie avant le commencement des travaux et ajustée en cas de besoin.
2. La précision des instruments pourra être vérifiée pendant la période des travaux si nécessaire.

<Article 37 Critères d'application>

1. Les contrôles suivants seront effectués pour chaque télémètre.

Contrôle des fonctions

- a. Fonctionnement normal du plomb optique
- b. Fonctionnement normal de l'affichage numérique
- c. Les valeurs de sensibilité à la lumière, la tension électrique etc. sont dans la plage des valeurs normales indiquées dans le mode d'emploi des télémètres.

2. Les contrôles suivants seront effectués pour chaque goniomètre.

(1) Contrôle des fonctions

- a. Fonctionnement normal du plomb optique
- b. Rotation normale de chaque axe
- c. Fonctionnement normal du mécanisme de réglage du flacon de niveau à bulle d'air, qui se déplace régulièrement
- d. Fonctionnement normal de l'ajustement de la vision télescopique, qui ne change pas pendant l'observation
- e. Le dispositif de lecture de l'angle horizontal et vertical fonctionne correctement, et permet une lecture correcte de l'angle
- f. Le dispositif de correction automatique fonctionne normalement

(2) Contrôle par observation de l'angle horizontal

- a. Le transit et la cible étant pratiquement à la même hauteur, on observe dans 3 directions ayant un angle de dégagement.
- b. L'observation se fait deux fois par 1 visée et 1 lecture.
- c. Le nombre de lots d'observations est de 2 lots. (1 lot comprend 3 jeux)
- d. La plage de tolérance de l'observation est indiquée dans le tableau ci-dessous. Mais la différence entre les lots sera la différence de la valeur moyenne de chaque lot.

Différence de double angle	Différence d'observation	Différence entre les lots	Graduation à conformer à l'index
11"	7"	4"	(0°, 60°, 120°) (30°, 90°, 150°)

(3) Contrôle par observation de l'angle vertical

- a. L'observation se fait deux fois par 1 visée et 1 lecture.
- b. La direction d'observation est fixée à 3 cibles différentes.
- c. 1 observation sera faite par cible.
- d. La différence de constante d'altitude doit être inférieure à 10 secondes.

(Mesure de la distance et des éléments climatiques)

Article 38

1. Le nombre défini de lots sera assuré pour mesurer la distance.
2. Les éléments climatiques seront la température et la pression atmosphérique, qui seront mesurées à un point de l'instrument.

<Article 38 Critères d'application>

1. La distance sera mesurée comme suit.

(1) Le tableau suivant indique la plage de mesure. La visée sera refaite pour chaque lot.

Méthode de mesure	Méthode de lecture directe
Nombre de mesures par lot	3 mesures
Temps de mesure de 1 lot	Moins de 5 min.
Nombre de lots	2 lots
Intervalle de mesure de chaque lot	Plus de 5 min.

(2) La plage de tolérance pour les valeurs mesurées est comme suit.

- a. La différence standard dans un lot mesuré par géodimètre à lecture directe sera de moins de 30 mm.
- b. La différence dans un lot de valeurs mesurées après correction climatique sera de moins de 50 mm.

2. La mesure des éléments climatiques se fera comme suit.
 - (1) Les éléments climatiques seront mesurées au début et à la fin de chaque lot.
 - (2) La température sera mesurée comme suit.
 - a. Le thermomètre sera éloigné des caractéristiques planimétriques, de la végétation et du sol, et placé à un emplacement adapté à la mesure de la distance, non soumis à la chaleur rayonnante.
 - b. On vérifiera qu'il y a suffisamment de mercure dans le thermomètre.
 - (3) La pression atmosphérique sera mesurée comme suit.
 - a. On contrôlera s'il n'y a pas d'erreur de mesure après tout choc violent subi par le baromètre.
 - b. Si l'instrument est exposé en plein soleil pendant longtemps, ou bien s'il est brutalement déplacé à un endroit à différence de température importante avec le précédent, la mesure sera faite une fois l'instrument habitué au milieu environnant.
 - c. On vérifiera qu'il n'y a pas de grande différence entre la pression mesurée et celle mesurée par élévation de l'emplacement de l'instrument.
 - (4) La température et la pression au point de réflexion seront calculées si nécessaire avec la formule définie.

(Observation de l'angle horizontal)

Article 39

L'observation de l'angle horizontal sera faite le nombre de lot défini par observation directionnelle.

<Article 39 Critères d'application>

1. L'observation de l'angle horizontal sera faite comme suit.
 - (1) Deux lectures par visée et on retient la moyenne.
 - (2) Un ensemble de valeur observée de direction devra être inférieure à 5 mesures.
 - (3) La direction 0 sera une direction à visée facile, dont la distance moyenne et l'élévation du point d'observation sont proches, dans l'ensemble des directions d'observation de ce point.
 - (4) L'observation sera faite en 2 séries, les graduations sur lesquelles l'index sera ajusté seront 0° et 90°.
 - (5) L'objectif de visée sera en principe une lumière ou un signal.
2. La plage de tolérance pour la valeur observée sera comme suit.

Différence de double angle	Différence d'observation
15 "	8 "

(Observation de l'angle vertical)

Article 40

1. L'observation de l'angle vertical sera faite le nombre de lot défini.
2. En principe, on observera simultanément les deux directions opposées.

<Article 40 Critères d'application>

1. L'observation de l'angle vertical se fera comme suit
 - (1) Quatre fois 1 visée et 1 lecture par direction
 - (2) Une observation sera considérée comme une série, et 2 lots seront effectués
 - (3) La cible de visée sera en principe une lumière ou un signal.
2. La plage de tolérance pour les valeurs observées sera comme suit
 - (1) La différence entre les valeurs définies d'altitude sera de moins de 10 secondes
 - (2) La différence entre deux lots de valeur moyenne d'une direction et de la direction opposée sera de moins de 5 secondes.

(Observation pour la fixation de l'élévation)

Article 41

La fixation de l'élévation sera faite par nivellement topographique direct et/ou nivellement trigonométrique.

<Article 41 Critères d'application>

1. Le nivellement topographique direct sera fait comme suit.
 - (1) L'observation sera une observation double sens.
 - (2) Le repère géodésique qui est le point connu sera contrôlé par observation dans un sens par nivellement topographique direct dans l'intervalle avec le repère géodésique voisin.
 - (3) La distance de visée standard sera de 70 m maximum.
2. Le nivellement trigonométrique sera fait comme suit.
 - (1) L'observation de la distance et la mesure de l'angle vertical seront conformes aux Critères d'application de l'article 40 (mesure de la distance et des éléments climatiques) et de l'article précédent (observation de l'angle vertical).
 - (2) L'observation de l'angle vertical entre un repère géodésique et un point de contrôle se fera par 2 observations en 2 lots, la seconde fois, l'élévation à l'instrument et/ou l'élévation à la cible dépassera 20 cm.
3. La plage de tolérance pour l'élévation obtenue par nivellement topographique direct et/ou nivellement trigonométrique et/ou la différence d'élévation est comme suit.
 - (1) La plage est comme suit pour le nivellement topographique direct.

Plage de tolérance	Remarque
Différence des valeurs d'observation double sens $20 \text{ mm} \sqrt{S}$	S: distance d'observation (unité: km)
Différence entre la valeur contrôlée et le résultat final $20 \text{ mm} \sqrt{S}$	

- (2) La différence max-min pour le nivellement trigonométrique, calculée dans les sens opposés, devra être dans la plage suivante.
 $5 \text{ cm} \times D$
où D est la distance à l'oblique (unité: km) entre les points de mesure.

(Remesure)

Article 42

Dans l'observation de l'angle horizontal et de l'angle vertical et la mesure de la distance, une remesure sera faite si les valeurs mesurées sortent de la plage de tolérance.

<Article 42 Critères d'application>

La remesure de l'angle horizontal devra être faite dans toutes les directions, et pas seulement dans certaines directions définies.

(Méthode de mesure et précision)

Article 43

1. Le calcul des coordonnées rectangulaires planes d'un nouveau point (ci-dessous désignées "coordonnées"), de la longitude et la latitude et de l'élévation ainsi que les calculs correctifs afférents seront effectués avec les formules de calcul définies et avec la précision ci-dessous.

Coordonnées rectangulaires planes	Longitude et latitude	Angle	Distance	Elévation
0,001 m	0,0001 "	Angle horizontal 0,1" Angle vertical 1"	0,001 m	0,01 m Niveau direct 0,001 m

2. Le calcul inclura l'établissement du tableau des résultats.

(Calcul de contrôle et remesure)

Article 44

1. Une fois l'observation terminée, le calcul de contrôle défini sera rapidement effectué pour vérifier l'adéquation de la valeur observée.
2. Le calcul de contrôle comprendra le calcul de l'angle de direction et de ses erreurs de fermeture, des coordonnées et de leurs erreurs de fermeture, de l'élévation et de ses erreurs de fermeture.
3. Si les résultats du calcul de contrôle dépassent la plage de tolérance définie, ils seront remesurés, ou bien les mesures nécessaires seront prises.

<Article 44 Critères d'application >

1. La précision du programme de la calculatrice de bureau à utiliser pour le calcul de contrôle sera vérifiée par essai de fonctionnement.

Le calcul des erreurs de fermeture sera fait comme suit.

- (1) Le calcul des erreurs de fermeture de l'angle de direction et des coordonnées sera effectué pour toutes les lignes de contrôle sélectionnées dans les conditions suivantes.
 - a. La ligne de contrôle est une ligne aussi courte que possible, reliant un point connu à un autre point connu.
 - b. Tous les points connus peuvent être reliés par au moins une ligne de contrôle.

- (2) La plage de tolérance des erreurs de fermeture est comme suit.

Erreurs de fermeture	Plage de tolérance	Remarques
Erreurs de fermeture de l'angle de direction	$5'' + 8''\sqrt{N}$	n: Nombre d'angles mesurés N: Nombre de faces ΣS : Longueur de la ligne de contrôle (unité: km) Les erreurs de fermeture des coordonnées étant $\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$ $\Delta x, \Delta y$ sont respectivement les erreurs de fermeture des coordonnées X et Y.
Erreurs de fermeture des coordonnées	$10 \text{ cm} + 2 \text{ cm} \Sigma S \sqrt{N}$	
Erreurs de fermeture de l'élévation	$20 \text{ cm} + 5 \text{ cm} \Sigma S / \sqrt{N}$	

(Compensation.)

Article 45

1. Après le calcul de contrôle, les coordonnées des nouveaux points, la longitude et latitude et l'élévation seront définies par calcul d'ajustement etc.
2. La compensation sera en principe effectué avec un programme de calcul d'ajustement de réseau approuvé par l'I.G.B.
3. Le calcul d'ajustement des coordonnées sera fait comme suit.
 - (1) L'entrée des données se fera comme suit.

Facteur donné	1. Elément de poids 2. Coordonnées de point connu
Valeur approximative	Coordonnées obtenues par calcul de contrôle d'un nouveau point etc.
Valeur observée	1. Angle horizontal 2. Distance sphérique

- (2) Le poids à utiliser dans le calcul d'ajustement net horizontal est obtenu avec la formule définie. m_t , γ et m_a de la formule sont comme suit.

M_t	1,8"
γ	3×10^{-6}
M_a	1,0cm

Toutefois m_t est la déviation standard de l'angle dans une direction, m_a est la déviation standard sans relation avec la longueur et γ une constante proportionnelle à l'erreur proportionnelle à la longueur.

- (3) Plage de tolérance de l'erreur
La déviation standard de la valeur observée par poids unitaire sera inférieure à 10 secondes.

Le calcul d'ajustement de l'élévation se fera comme suit.

- (1) Les données à entrer seront comme suit

Facteur donné	1. Elévation du point connu 2. Elévation définie par fixation d'élévation
Valeur approximative	Elévation obtenue par calcul de contrôle d'un nouveau point etc.
Valeur observée	1. Angle d'élévation, hauteur de l'instrument et hauteur de la cible 2. Distance sphérique

- (2) Le poids à utiliser pour le calcul d'ajustement de réseau d'altitude sera un lot d'opposés.
- (3) Plage de tolérance de l'erreur
La déviation standard de la valeur observée par poids unitaire sera inférieure à 15 secondes.

Section 6 : Classement des résultats.

Article 46

Les résultats seront comme suit.

- (1) Tableau des résultats
- (2) Carte du réseau des points de contrôle
- (3) Notes d'observation
- (4) Répertoire des observations
- (5) Répertoire de calcul
- (6) Description de point
- (7) Tableau de gestion de la précision
- (8) Notes d'observation de levé de contrôle
- (9) Carte d'ajustement(canevas)
- (10) Photos terrestres des bornes

<Article 46 Critères d'application>

Parmi les résultats etc., il sera possible d'imprimer tout ou partie par imprimante du système de traitement des données ou avec la cartographeuse automatique.

Chapitre 3 Nivellement Géométrique

Section 1 : Généralités

(Résumé)

Article 47

Le nivellement Géométrique consiste à définir l'élévation de nouveaux points sur la base des points connus et à établir un tableau des résultats.

(Division du nivellement Géométrique)

Article 48

Le réseau de nivellement Géométrique se divise en réseau de nivellements Géométrique de 1, 2 et 3 ordre selon le type du point connu, la ligne de niveau, la précision et la méthode d'observation.

(Division des travaux par procédure et ordre)

Article 49

La division des travaux par procédure et leur ordre sont comme suit.

- (1) Plan
- (2) Sélection des points
- (3) Installation de bornes permanentes
- (4) Observation
- (5) Calcul
- (6) Classification des résultats etc.

Section 2 : Plan

(Résumé)

Article 50

Outre les stipulations sous l'Article 5 (Plan des travaux et plan d'exécution détaillé), le plan sera élaboré en étudiant les positions résumées des nouveaux points et des lignes de niveau sur les cartes, et établira un schéma du réseau de nivellement.

(Ligne de niveau)

Article 51

Le réseau de nivellement est une ligne qui relie les repères de nivellement dans l'ordre, qui se définit comme indiqué dans les alinéas suivants. Toutefois s'il existe des repères de nivellement définis, ils seront reliés selon leur précision.

- (1) Réseau de Nivellement du 1^{er} ordre.
La ligne de niveau de classe 1 forme en principe un circuit reliant les lignes ayant comme points de départ et de fin un repère original de niveau national et/ou un repère géodésique de classe 1 existant.
- (2) Réseau de Nivellement du 2^{ème} ordre.
La ligne de niveau de classe 2 relie un repère géodésique de classe 1 et/ou un repère géodésique de classe 2 existant. Toutefois si nécessaire selon les conditions locales, le point de départ pourra être fermé (ci-après désigné "type fermé").

(3) Réseau de Nivellement du 3^{eme} ordre.

La ligne de niveau de classe 3 relie un repère géodésique de classe 1 ou 2, et un repère géodésique de classe 3 existant. Toutefois si nécessaire selon les conditions locales, elle pourra être de type fermé et/ou de type ouvert sans relier et/ou sans fermer.

<Article 51 Critères d'application>

1. Le tableau suivant indique la longueur standard de la ligne.

Classification	Nivellement géométrique de classe 1	Nivellement géométrique de classe 2	Nivellement géométrique de classe 3
Longueur de la ligne	Moins de 400 km.	moins de 200 km.	moins de 50 km.

(Densité des bornes de Nivellement)

Article 52

La densité de répartition des bornes de nivellement sera en principe celle définie au Burkina Faso.

<Article 52 Critères d'application>

Si la densité de répartition des bornes de Nivellement n'est pas définie, elle sera comme indiqué dans les alinéas suivants.

- (1) Les bornes de nivellement de classe 1 et 2 seront en principe installées tous les 2 km.
- (2) Les bornes de nivellement de classe 3 seront en principe installées tous les 4 km.

Section 3 : Sélection des points

(Résumé)

Article 53

La sélection des points consiste, pendant la reconnaissance sur le terrain, à examiner avec pertinence de choix des nouveaux points prévus sur la carte en tenant compte de la nature du terrain, de la conservation des bornes, et de leur utilisation future.

(Exécution de la sélection des points)

Article 54

La position d'un nouveau point doit être sélectionnée à un endroit à sol ferme, assurant la conservation de la borne.

<Article 54 Critères d'application>

1. La position d'un nouveau point prévu sur la carte, devra être sélectionnée en tenant compte de la modification, de l'amélioration et/ou de la construction de routes, de sorte qu'il n'y ait pas de perte et/ou de repositionnement après le levé.
2. Pour les opérations de pose ou de remesure, on étudiera le point de contrôle actuel et décidera de son rétablissement ou non.

(Etablissement d'une carte d'ajustement du plan)

Article 55

1. L'établissement de la carte des points sélectionnés consiste à indiquer sur la carte, la position des nouveaux points sélectionnés et des points connus.
2. La carte d'ajustement du plan sera établie sur la base de la carte des points sélectionnés.

Section 4 : Installation des bornes

(Résumé)

Article 56

L'installation des bornes consiste en la construction des bornes permanentes aux positions des nouveaux points.

(Installation des bornes permanentes)

Article 57

Des bornes permanentes seront en principe installées aux nouveaux points, et si nécessaire un dispositif de sécurité sera mis en place.

<Article 57 Critères d'application>

1. Les bornes permanentes seront installées conformément aux normes et formes définies au Burkina Faso.

(Description de point)

Article 58

En cas de l'installation de borne permanente, la description de point sera établie.

<Article 58 Critères d'application>

1. La description de point sera faite pour tous les repères géodésiques utilisés.
2. La description de point se fera sous les formes définies au Burkina Faso.

Section 5 : Observations

(Résumé)

Article 59

L'observation consiste à rechercher la différence d'élévation entre les mires en utilisant des niveaux et mires sur la base du schéma du réseau, et à définir la différence d'élévation entre les bornes de nivellement en répétant cette opération dans l'ordre.

(Précision des instruments d'observation etc.)

Article 60

Les principaux instruments à utiliser pour l'observation sont ceux indiqués dans le tableau suivant ou des instruments similaires.

Division	Précision	Division des levés
Niveau de classe 1	Sensibilité du flacon de niveau à bulle d'air 10"/2 mm (avec dispositif de lecture précise par miroir plan etc. et/ou avec dispositif de lecture précise par traitement d'image etc.)	Nivellement géométrique de classe 1
Niveau de classe 2	Sensibilité du flacon de niveau à bulle d'air 20"/2 mm (incluant un dispositif de lecture précise par traitement d'image etc.)	Nivellement géométrique de classe 2
Niveau de classe 3	Sensibilité du flacon de niveau à bulle d'air 40"/2 mm (incluant un dispositif de lecture précise par	Nivellement géométrique de classe 3

	traitement d'image etc.)	
Mires de classe 1	Pour le cercle gradué, on utilise du ruban invar des deux côtés à intervalles de 10 mm et/ou 5 mm, ou bien des graduations de code à barres Précision de graduation 100 µm/m	Nivellement géométrique de classe 1 Nivellement géométrique de classe 2
Mires de classe 2	Pour le cercle gradué, on utilise du ruban invar ou un indicateur en bois de précision pour les graduations à intervalle de 10 mm et/ou 5 mm, ou bien des graduations de code à barres En cas de l'indicateur pliable, les parties la pliure des raccords doivent être exactes et la structure stable.	Nivellement géométrique de classe 3
	IGB	

Toutefois, on pourra utiliser des niveaux automatiques ou électroniques à correcteur de précision similaire à celle indiquée ci-dessus.

(Inspection, ajustement des instruments)

Article 61

1. La précision des instruments à utiliser sera vérifiée par la méthode définie avant le commencement des travaux et ajustée en cas de besoin.
2. La précision des instruments pourra être vérifiée pendant la période des travaux si nécessaire.

<Article 61 Critères d'application>

1. Le niveau sera inspecté comme suit.
 - (1) Inspection des fonctions
 - a. Rotation régulière de l'axe vertical
 - b. Bon fonctionnement du dispositif de réglage du flacon de niveau à bulle d'air, déplacement régulier de la bulle
 - c. Bon fonctionnement du dispositif de vision télescopique
 - d. Bon fonctionnement du dispositif de la ligne de collimation
 - e. Rotation régulière de la vis de réglage
 - f. Rotation régulière du micromètre
 - g. Fonctionnement normal de l'affichage pour les niveaux électroniques
 - (2) Réglage
 - a. Le flacon de niveau à bulle d'air circulaire sera ajusté de sorte que la bulle d'air soit au centre au premier ajustement. Ensuite, vérifier que la bulle est au centre en tournant l'appareil de 180°. Si la bulle est décentrée, régler le flacon de niveau à bulle d'air de sorte que la bulle soit au centre avec la vis de réglage et la vis de réglage de flacon à bulle. Après l'ajustement, tourner l'instrument de 90° et vérifier que la bulle est au centre.
 - b. Eloigner deux mires de 30 m et les installer correctement, ajuster le niveau au centre et mesurez la différence d'élévation entre les deux mires. Ensuite, déplacer les mires de 18 m en maintenant autant que possible le niveau sur une ligne droite et mesurer à nouveau la différence d'élévation et vérifier si la différence entre les deux valeurs mesurés se trouve sur la plage de tolérance.

- c. Pour les niveaux automatiques et électroniques, en plus de l'ajustement décrit au point b. effectuer la mesure en plaçant un niveau horizontalement au centre entre deux mires éloignés de 30 m, et en inclinant la bulle dans le flacon de niveau à bulle d'air circulaire selon des cercles concentriques inscrits et vérifier si la différence entre les deux valeurs mesurés se trouve sur la plage de tolérance.
- d. L'unité de lecture et la plage de tolérance sont indiquées dans le tableau ci-dessous.

Classification	Niveau de classe 1	Niveau de classe 2	Niveau de classe 3
Unité de lecture	0,01 mm	0,1 mm	1 mm
Plage de tolérance	0,3 mm	0,3 mm	3 mm

2. Les mires de nivellement seront inspectés comme suit.
 - (1) Anomalie de graduation, écaillage ou déformation due à un choc, bon fonctionnement
 - (2) Bon fonctionnement de la vis de réglage du flacon de niveau à bulle d'air accessoire
 - (3) Absence d'anomalie sur les parties de pliage de la mire.
3. La période d'efficacité d'une mire de nivellement de classe 1 inspecté par un organisme désigné par la IIGB est de 3 ans.

(Exécution de l'observation)

Article 62

L'observation sera effectuée comme suit.

- (1) L'observation sera une observation double sens.
- (2) Les mires seront utilisés par paire, et numérotés (I et II). Pour l'observation double sens, les mires I et II devront être permutés.
- (3) La mesure en observation double sens entre les repères géodésiques se fera par nombre pair.
- (4) La distance entre le niveau et les mires de visée directe et inverse sera la même, et ils seront placés sur une même ligne droite.
- (5) La longueur de visée et l'unité de lecture des mires seront comme indiqué dans le tableau suivant selon la classification du nivellement géométrique.

Classification	Nivellement de classe 1	Nivellement de classe 2	Nivellement de classe 3
Longueur de visée	40 m maximum	60 m maximum	70 m maximum
Unité de lecture	0,1 mm	1 mm	1 mm

Toutefois avec les niveaux autres qu'électroniques, il est possible de porter la longueur de visée à 50 m maximum pour le nivellement topographique de classe 1.

- (6) Le trépied du niveau a toujours deux jambes parallèles à la ligne de visée, de plus, à chaque point, il sera ajusté alternativement de côté droite-gauche en direction de la marche et le nivellement vers le haut du niveau se fera, en fixant le télescope dans la direction d'un mire défini.

<Article 62 Critères d'application>

1. La distance jusqu'aux mires de visée directe et inverse sera mesurée et enregistrée. Si la distance est inégale, le mire de visée directe ou le niveau sera déplacé pour ajuster l'inégalité.
2. Pour l'observation, 1 lecture sera faite pour 1 visée, et l'ordre de lecture des mires sera comme indiqué dans le tableau suivant.

Classification par Ordre	1	2	3	4
Nivellement géométrique de classe 1	Visée inverse Graduation Gauche	Visée directe Graduation Gauche	Visée directe Graduation Droite	Visée inverse Graduation Droite
Nivellement Géométrique de classe 2	Visée inverse	Visée inverse	Visée directe	Visée directe
Nivellement Géométrique de classe 3	Visée inverse	Visée directe	—	—

4. Pour le nivellement topographique de classe 1, on ne lira pas les mires en-dessous de 20 cm.
5. La plage de tolérance pour la différence en observation double sens est indiquée dans le tableau ci-dessous.

Classification	Nivellement géométrique de classe 1	Nivellement géométrique de classe 2	Nivellement géométrique de classe 3
Différence en observation double sens	$2.5 \text{ mm } \sqrt{S}$	$5 \text{ mm } \sqrt{S}$	$10 \text{ mm } \sqrt{S}$
S: distance d'observation (unité: km)			

Toutefois s'il existe des stipulations dans le pays concernées, elles seront adoptées.

6. En observation avec un niveau électronique, il faudra effectuer la mesure en s'assurant que les mires dans le champ de vision du télescope n'oscillent pas lors de l'observation à des emplacements à fortes vibrations.

(Remesure)

Article 63

La remesure sera nécessaire si la différence des valeurs mesurées d'observation double sens de nivellement géométrique de chaque classe dépasse la plage de tolérance.

<Article 63 Critères d'application>

En cas de remesure, une valeur mesurée d'observation de même direction ne doit pas être utilisée pour le nivellement topographique de classe 1 et 2.

Section 6 : Calcul

(Résumé)

Article 64

1. Le calcul consiste à la définition de l'élévation des nouveaux points en s'assurant des corrections afférentes avec les formules définies et à établir un tableau des résultats.
2. L'élévation des bornes de nivellement sera obtenue par calcul d'ajustement de réseau avec si nécessaire correction de mire et correction orthométrique normale.

<Article 64 Critères d'application>

1. Le calcul avec correction de staff et correction orthométrique normale sera utilisé pour le nivellement topographique de classe 1 et 2.
2. Le calcul sera effectué jusqu'au même grade que l'unité de lecture.

(Calcul de contrôle et remesure)

Article 65

Une fois l'observation terminée, le calcul de contrôle défini sera rapidement effectué pour vérifier l'adéquation de la valeur observée. Si les résultats du calcul de contrôle dépassent la plage de tolérance définie, une remesure nécessaire devra être effectuée.

<Article 65 Critères d'application>

1. On calculera les erreurs de fermeture de circuit et les erreurs de fermeture entre les points connus pour tous les circuits de nivellement géométrique unitaires et toutes les lignes de contrôle sélectionnées sur la base des conditions suivantes pour juger de l'adéquation des valeurs observées.
 - (1) La ligne de contrôle relie des points connus.
 - (2) La ligne de contrôle est aussi courte que possible.
 - (3) Tous les points connus sont reliés au moins par une ligne de contrôle.
 - (4) Tous les circuits de nivellement géométrique unitaires chevauchent au moins partiellement une ligne de contrôle.
2. Le tableau suivant donne la plage de tolérance du calcul de contrôle.

Classification	Nivellement géométrique de classe 1	Nivellement géométrique de classe 2	Nivellement géométrique de classe 3
Erreurs de fermeture de circuit	2 mm \sqrt{S}	5 mm \sqrt{S}	10 mm \sqrt{S}
Erreurs de fermeture de circuit d'un point connu à l'autre	3 mm \sqrt{S}	6 mm \sqrt{S}	12 mm \sqrt{S}

Avec S: Distance d'observation (unité: km)

(Calcul d'ajustement etc.)

Article 66

1. Après le calcul de contrôle, le calcul d'ajustement permet de définir l'élévation du nouveau point.
2. Le calcul d'ajustement sera en principe effectué avec un programme de calcul d'ajustement de réseau topographique approuvé par l'IG.B.

<Article 66 Critères d'application>

1. Le poids à utiliser pour le calcul d'ajustement est le nombre inverse de la distance d'observation.
2. La plage de tolérance des erreurs sera comme suit.

Classification	Nivellement géométrique de classe 1	Nivellement géométrique de classe 2	Nivellement géométrique de classe 3
Déviati on standard de l'observation par poids unitaire	2 mm	5 mm	10 mm

Section 7 : Classement des résultats etc.

(Résultats etc.)

Article 67

Les résultats seront comme suit.

- (1) Tableau des résultats d'observation et tableau des résultats d'ajustement
- (2) Carte des lignes de niveau
- (3) Notes d'observation
- (4) Répertoire de calcul d'ajustement
- (5) Description des points
- (6) Tableau de gestion de la précision

Division 3 Etablissement d'une carte topographique originale

Chapitre 1 Généralités

(Définition)

Article 68

- 1 L'établissement d'une carte topographique originale comprend une série d'opérations en vue de l'établissement d'une carte topographique sur la base de nouveaux levés.
- 2 Dans les présentes règles, carte topographique signifie une carte ordinaire à échelle moyenne de 1/10.000e à 1/100.000e.

(Précision de la carte topographique)

Article 69

La précision standard de la carte topographique sera comme suit.

- (1) La déviation standard de la position horizontale des caractéristiques planimétriques sera inférieure à 0,5 mm sur la carte.
- (2) La déviation standard d'élévation des points d'élévation sera inférieure à 1/3 de l'intervalle entre les courbes de niveau.
- (3) La déviation standard de l'élévation des courbes de niveau sera inférieure à 1/2 de l'intervalle entre les courbes de niveau.

(Méthode d'établissement des cartes topographiques)

Article 70

L'établissement d'une carte topographique se fera sur la base du levé par photos aériennes.

(Division des travaux par procédure et ordre)

Article 71

La division des travaux par procédure et ordre pour l'établissement de cartes topographiques standard sera comme suit.

- (1) Mise en place du réseau géodésique
- (2) Pose des signaux de photos aériennes(préballissage)
- (3) Prise de vues
- (4) Piquage
- (5) précomplètement.
- (6) Aérotriangulation .
- (7) Restitution
- (8) Rédaction Cartographique.
- (9) Levés complémentaires sur place(complètement).

Chapitre 2 Mise en place de points de contrôle

(Définition)

Article 72

Le levé de points de contrôle signifie la pose de nouveaux points de contrôle nécessaires à la cartographie et à la triangulation aérienne sur la base de points de contrôle existants.

(Précision des points de contrôle)

Article 73

La précision des points de contrôle sera comme suit.

- (1) La déviation standard de la position horizontale sera inférieure à 0,5 m.
- (2) La déviation standard d'élévation sera inférieure à 0,3 m.

(Plan de levé de points de contrôle)

Article 74

Outre les stipulations de l'article 5 (Plan des travaux et plan d'exécution détaillé), le plan de levé de points de contrôle sera élaboré en tenant compte du projet de prise de vues, du positionnement des points de contrôle, des opérations subséquentes de triangulation aérienne etc.

(Méthode de mesure des points de contrôle)

Article 75

La méthode de levé des points de contrôle sera le nivellement topographique (ci-dessus désignée "nivellement topographique simple") effectué par levé des points de contrôle de classe 3 pour la position horizontale et par nivellement topographique direct pour l'élévation.

<Article 75 Critères d'application>

1. S'il est reconnu que la précision définie sous l'Article 73 (précision des points de contrôle) est satisfaite, le levé GPS pourra être appliqué pour la position horizontale et le nivellement trigonométrique pour l'élévation.
2. En cas de polygonation, les critères seront les suivants.
 - (1) La ligne commence à un point de contrôle qu'elle relie en principe d'autres points de contrôle. Toutefois si cela est très difficile, le point de contrôle de départ pourra être fermé, et l'observation de l'azimut pourra être adoptée pour plus de 2 points éloignés le plus possible.
 - (2) S'il y a moins de 4 faces à mesurer avec le géodimètre, il est possible d'appliquer la polygonation ouverte. Dans ce cas, l'observation de l'azimut devra être faite aux deux extrémités. Toutefois s'il y a deux faces ou moins, il est possible d'omettre l'observation de l'azimut à une extrémité.
 - (3) L'azimut pourra être défini en utilisant une autre méthode pouvant posséder la précision définie.
3. Le nivellement géométrique simple sera effectué comme suit.
 - (1) La ligne de niveau aura en principe un point de repère géodésique ou un point de contrôle comme point de départ, qu'elle relie à un autre repère géodésique ou point de contrôle.
 - (2) Si les conditions topographiques etc. l'exigent, il sera possible de fermer le point de départ, et d'adopter un type ouvert si la ligne est courte.
 - (3) 2. Pour les opérations de pose ou de remesure, on étudiera le point de contrôle actuel et décidera de son rétablissement ou non.
4. En cas de levé GPS, les conditions suivantes s'appliqueront.
 - (1) Si la distance entre un point connu et le point de contrôle est supérieure à 10 km, la règle du levé des points de contrôle de classe 2 sera appliquée.
 - (2) Si la distance entre un point connu et le point de contrôle est inférieure ou égale à 10 km, la règle du levé des points de contrôle de classe 2 sera appliquée, et la méthode statique abrégée conforme aux règles du levé GPS pourra être adoptée.
5. Le nivellement trigonométrique sera conforme au levé des points de contrôle de classe 3.

(Période d'exécution)

Article 76

Le levé des points de contrôle pourra être fait en parallèle avec la définition des signaux de photos aériennes et le pointage.

(Exécution)

Article 77

Le levé des points de contrôle se fera selon les critères suivants.

- (1) Sélection de points
- (2) Installation des bornes

(3) Observation

(4) Calcul

<Article 77 Critères d'application>

1. La sélection des points se fera conformément au plan élaboré sous l'Article 74 (Plan de levé de points de contrôle).
2. Les bornes temporaires nécessaires à l'observation seront conformes à l'Article 25 (Bornes permanentes et temporaires).
3. L'observation et le calcul seront comme suit.

(1) En cas de polygonation

- a. L'observation de l'angle horizontal et vertical se fera comme suit.

1 Instruments d'observation

Transit de plus de 10 seconde de lecture

2 Nombre de lots d'observation etc.

Angle horizontal				Angle vertical	
Nombre de lots	Différence de l'observation	Différence double angle	Graduation horizontale	Nombre de lots	Différence entre constantes
2	24"	36"	0° 90°	1	36"

- b. La distance sera mesurée conformément à l'Article 38 (Mesure de la distance et des éléments climatiques).
- c. La plage de tolérance des erreurs de fermeture de l'angle de direction sera de 30 seconde \sqrt{N} (N: Nombre d'angles de dégagement)
- d. La plage de tolérance des erreurs de fermeture des coordonnées sera 0,5 m.
- e. La définition de l'angle d'azimut stipulé au numéro 3 de l'alinéa 2 des Critères d'application de l'Article 75 (Méthode de mesure des points de contrôle) sera conforme au tableau suivant.

Type	Observation du soleil	Gyroscopie
Instrument d'observation	Transit	Théodolite gyroscopique
Nombre de lots	Plus de 4 lots efficaces	7 fois
Différence entre les lots	40"	40"
Heure d'observation	On évitera les 2 heures environ avant et après la position du soleil.	
Unité de la lecture de l'heure	1"	
Correction de l'heure	Enregistrement du retard/avance de l'heure de la montre par signal horaire avant et après l'observation	

(2) Nivellement géométrique simple

- a. L'observation sera une observation dans un sens conformera au nivellement géométrique de classe 3, et une observation double sens pour les lignes ouvertes.
- b. La plage de tolérance des erreurs de fermeture de l'observation sera comme suit.

Classification	Erreurs de fermeture entre deux points connus	Erreurs de fermeture circulaire	Différence entre les valeurs d'observation double sens
Différence	$50 \text{ mm} \sqrt{S}$	$20 \text{ mm} \sqrt{S}$	$20 \text{ mm} \sqrt{S}$

Toutefois S sera la distance d'observation (unité: km)

- c. La position des pointages qui se fera parallèlement à l'observation à intervalle de 2 à 4 km, conformera à la position du mire placé à un point net sur les photos aériennes agrandies 2x.

(3) En cas de levé GPS

- a. Le nombre de sessions d'observation en cas de levé en mode statique rapide sera comme suit.

Nombre de sessions d'observation	1
Durée de l'observation	Plus de 20 min.
Intervalle obtenue des données	Moins de 15 sec.
Satellites GPS à utiliser en commun	Plus de 5
Méthode du levé	Méthode de jonction utilisant 3 points connus

Toutefois si la ligne reliant un point de contrôle à un point connu est de moins de $0,1 \times S$ (S: distance entre des points connus; unité: km), il sera possible d'utiliser 2 points connus.

- b. Si la différence entre les erreurs de la hauteur ellipsoïdale les erreurs de l'élévation entre les points connus dépasse 0,3 m, on pourra définir l'élévation du point de contrôle en corrigeant l'inclinaison du Géoïde. Toutefois, si la différence est inférieure à 0,3 m, on omettra la correction de l'inclinaison du Géoïde.

(Résultats etc.)

Article 78

Les résultats seront comme suit.

- (1) Tableau des résultats sur les points de contrôle
- (2) Carte de positionnement des points de contrôle et carte des lignes de niveau
- (3) Répertoire du levé des points de contrôle et répertoire détaillé des points de contrôle
- (4) Photos aériennes indiquant les points de contrôle
- (5) Tableau de gestion de la précision

Chapitre 3 Signaux des photos aériennes et pointage

(Définition)

Article 79

La pose de signaux des photos aériennes et le pointage consiste à poser des bornes aux points de contrôle nécessaires (ci-dessous désigné "points de contrôle etc.") à la cartographie et/ou à effectuer un pointage et à marquer leur position sur des photos aériennes (ci-dessous désigné "photos aériennes").

(Plan)

Article 80

Le plan concernant les points des signaux des photos aériennes et les points de pointage sera élaboré en tenant compte de la triangulation aérienne et de la cartographie.

(Pose de signaux des photos aériennes)

Article 81

- 1 Les signaux des photos aériennes à poser devront à l'avance être approuvées par le Burkina Faso.
- 2 Les signaux des photos aériennes seront fermement fixées en utilisant des matériaux pouvant être conservés jusqu'à la fin de la photographie aérienne.
- 3 Les signaux des photos aériennes seront de couleurs, normes et formes permettant de s'assurer de leur position sur les photos aériennes à utiliser pour les opérations suivantes et auront une position centrale pouvant être précisément mesurée.

<Article 81 Critères d'application>

1. La visibilité aérienne devra être bonne.
2. On choisira un emplacement où l'état de l'arrière-plan est bon.
3. Si la fixation directe est difficile, il sera possible d'excentrer. Le calcul des éléments excentrés se fera selon une méthode permettant de maintenir la précision des points de contrôle etc.
4. Après la fixation, on fera un dessin sur le répertoire détaillé des signaux des photos aériennes et y collera les photos terrestres.

(Confirmation des signaux des photos aériennes)

Article 82

- 1 Immédiatement après la prise de vues aériennes, on identifiera les signaux sur les photos.
- 2 Si les signaux ne peuvent pas être clairement identifiés, on passera au piquage direct sur le terrain.

(Piquage)

Article 83

Le piquage consiste à marquer directement la position des points de contrôle etc. sur les photos aériennes.

<Article 83 Critères d'application>

Si le piquage direct sur les photos aériennes est impossible, ou bien si l'excentricité de position claire sur les photos aériennes peut être jugée efficacement, il sera possible de piquer la position excentrée.

(Résultats etc.)

Article 84

Les résultats seront comme suit.

- (1) Répertoire précis des signaux des photos aériennes et/ou points de pointage et répertoire de mesure des éléments excentrés
- (2) Répertoire de calcul de l'excentricité
- (3) Photos aériennes indiquant les signaux des photos aériennes et/ou points de pointage
- (4) Carte de la liste des signaux des photos aériennes et/ou points de pointage
- (5) Tableau de gestion de la précision

Chapitre 4 Prise de vues

(Définition)

Article 85

La prise de vues signifie la prise de photos aériennes, incluant le traitement des photos qui seront utilisées pour les opérations suivantes.

(Avion, Caméra de photo aérienne etc.)

Article 86

Un avion et une caméra de photo aérienne possédant les fonctions requises devront être utilisés.

<Article 86 Critères d'application>

1. La précision des photos aériennes seront comme suit.
 - (1) Si les équipements de photographie nécessaires sont rassemblés, un vol stable adapté à la prise de vues au grade défini pourra être assuré.
 - (2) L'angle de vue devra toujours être parfaitement maintenu quelles que soient les conditions de vol au moment de la prise de vues, la correction de nivellement de la caméra de photo aérienne et l'angle de dérive de la caméra de photo aérienne.
 - (3) La caméra devra pouvoir être placée de sorte que l'objectif et les filtres ne soient pas affectés par la réfraction anormale des gaz d'échappement et les projections d'huile.
2. Les caractéristiques de caméra photo aérienne seront comme suit.
 - (1) La caméra photo sera un appareil de prise de vue aérienne permettant de voir clairement jusqu'à une aberration de 0,01 mm, à distance principale ajustée au filtre à utiliser pour la prise de vues. Toutefois il sera possible d'utiliser un appareil photo aérienne à angle ordinaire et/ou à ultra grand angle selon les conditions topographiques de la zone à photographier.
 - (2) Le certificat de calibration comprendra les éléments suivants.
 - a. Numéro d'appareil photo et numéro de fabrication de l'objectif
 - b. Position du point principal ayant pour critère les bornes (unité: 0,01 mm)
 - c. Distance principale ajustée (unité: 0,01 mm)
 - d. Distorsion diamétrale par rapport à la distance principale ci-dessus
 - e. calibration et lieu de calibration.
3. Les caractéristiques du film seront comme suit.
 - (1) L'anisotropie du taux de flexibilité dû au traitement du film est inférieure à 0,01%.
 - (2) L'anisotropie du taux de rétractilité irrégulier est inférieur à 0,001% à humidité relative de 1%.
 - (3) Sauf indication particulière, la sensibilité de couleur du film sera panchromatique.

(Plan de prise de vues)

Article 87

Le plan de prise de vues sera élaboré pour chacune des zones en tenant compte des conditions ci-dessous.

- (1) L'échelle et l'altitude de prise de vue seront l'échelle et l'altitude préalablement définies.
- (2) Sauf si le trajet de prise de vues est spécialement défini, on fera une ligne directe du plan de référence par altitudes égales, et sélectionnera en tenant compte de la triangulation aérienne et de la cartographie suivantes.
- (3) Le taux de recouvrement longitudinal de photos aériennes sera de 60%, et celui du recouvrement latéral de 20%.

(Exécution de la prise de vues)

Article 88

- 1 La prise de vues se fera par principe par beau temps, et sur une période adaptée à la prise de vues.
- 2 L'altitude de prise de vues, les trajets et le taux de chevauchement des photos basés sur le plan de prise de vues seront maintenus.
- 3 La durée d'exposition sera définie comme la période pendant laquelle les conditions d'exposition assureront une image suffisamment nette.

<Article 88 Critères d'application>

- 1 La période de prise de vues standard sera définie comme suit.
 - (1) L'atmosphère est stable, sans brume.
 - (2) Quand les nuages ou l'ombre des nuages n'entrent pas dans la partie photographiée
 - (3) Quand il n'y a pas d'enneigement, ni de situation anormale comme inondation au sol.
 - (4) Quand il n'y a pas d'ombres ni de halo.
- 2 L'inclinaison de la caméra de photo aérienne standard sera de ϕ et w inférieurs à 3° , et κ inférieur à 10° .
- 3 La différence standard de l'altitude prévu de prise de vue sera de moins de 5% de l'altitude de vol.
- 4 La déviation standard par rapport au trajet de prise de vues du plan sera de moins de 15%.
5. Le taux de recouvrement standard des photos aériennes sera limité comme suit.
 - (1) Le taux de recouvrement longitudinal des photos aériennes sera de 80% maximum et de 53% minimum.
 - (2) Les modèles où le taux de recouvrement est de 68 - 77% sur la longueur de base des photos correspondront à 1/4 des photos du trajet.
 - (3) Le taux de recouvrement latéral sera au minimum de 10%.
 - (4) Si une même ligne doit être divisé en 2 ou 3 sections, dans les sections, plus de 2 modèles devront se chevaucher.

(Utilisation d'une camera de photo aérienne pour la photo aérienne)

Article 89

Les prises de vues dans une même zone seront en principe faites avec la même camera photo aérienne.

<Article 89 Critères d'application>

Même s'il est nécessaire d'utiliser une autre caméra pour les prises de vues aériennes, on utilisera le même type d'appareil sur le même ligne.

(Utilisation du film)

Article 90

Le (1) mètre à chaque extrémité de la pellicule ne sera pas utilisé pour la prise de vues.

(Enregistrement des prises de vues)

Article 91

Les éléments suivants seront enregistrés de manière standard à la prise de vues en cas de l'exécution d'opération.

- (1) Titre du contrat
- (2) Exécutant
- (3) Numéro de film
- (4) Heure de début et de fin de la prise de vues
- (5) Date de la prise de vues
- (6) Numéro de l'appareil photo, de l'objectif et du magasin
- (7) Distance principale

- (8) Ouverture, filtre, durée d'exposition
- (9) Film
- (10) Avion
- (11) Altitude de prise de vues

(Traitement des photos du film)

Article 92

Après la prise de vues, le film sera traité rapidement par une méthode adaptée.

<Article 92 Critères d'application>

1. La solution de développement sera de la solution préconisée pour ce film ou une solution de la même qualité ou de la qualité supérieure.
2. Le développement sera fait de manière uniforme de manière à ce que l'aspect du film entier soit bon, et que la partie détaillée de l'image et l'enregistrement de l'instrument apparaissent clairement.
3. La solution de fixation sera de type acide, et la fixation devra être suffisante pour qu'il ne reste pas d'argent insensibilisé.
4. Le lavage à l'eau sera suffisant pour éliminer toute la solution de fixation.
5. Le traitement des photos sera fait pour éviter toute inégalité, en évitant toute détérioration de la qualité de l'image telle que pliure, défaut, cabossage, écaillage du côté émulsionné.
6. Le papier photographique à utiliser pour l'impression par contact sera du papier de format 23 cm x 23 cm sur lequel seront imprimées les informations marginales.
7. L'établissement du papier photographique de l'impression par contact se fera en fonction du traitement des photos du film.

(Inspection et reprises de vue)

Article 93

1. Le film utilisé pour la photo sera rapidement développé, et l'impression par contact effectuée pour permettre l'inspection.
2. Si des reprises de vue s'avèrent nécessaires suite à l'inspection, elles seront faites rapidement.

<Article 93 Critères d'application>

1. L'inspection comprendra les éléments suivants
 - (1) Date de prise de vues, la focale de la caméra et l'échelle
 - (2) Exactitude du trajet de prise de vues
 - (3) Existence de l'écartement stéréoscopique
 - (4) Visibilité des index des photos et informations marginal
 - (5) Angle d'inclination de la photo et de son degré de rotation
 - (6) Qualité du traitement de la photo
 - (7) Qualité de la teinte de l'image
2. Les documents d'inspection suivants seront établis
 - (1) Tableau de gestion de la précision par trajet de prise de vues
 - (2) Tableau d'inspection des photos aériennes par rouleau de film
 - (3) Tableau d'assemblage
3. La carte sera établie en utilisant les cartes existantes de l'échelle adaptée.

(Edition du film)

Article 94

Le film traité sera édité d'une manière appropriée.

<Article 94 Critères d'application>

Sauf instructions spéciales, l'édition du film se fera comme suit.

- (1) L'édition du film sera faite en laissant 1 m en blanc aux deux extrémités pour éviter toute dégradation de l'image.
- (2) Les indications à porter sur le film seront: nom de la zone, date de prise de vues, l'échelle, numéro de ligne, numéros des photos, nom de l'organisme d'exécution. Toutes ces indications seront portées sur les deux photos aux deux extrémités du film; pour les autres photos, on indiquera seulement le numéro de ligne et le numéro de photo.

(Stockage du film et du papier photographique)

Article 95

- 1 Le film édité sera rangé dans une boîte portant les enregistrements concernant le film.
- 2 Le papier photographique de l'impression par contact sera rangé par trajet.

(Résultats)

Article 96

Les résultats seront comme suit :

- (1) Film
- (2) Tirages contacts
- (3) Tableau d'assemblage
- (4) Enregistrements de prise de vues
- (5) Photos aériennes agrandies déterminées
- (6) Tableau de gestion de la précision

Chapitre 5 complètement

(Définition)

Article 97

- 1 Le complètement consiste à étudier pour confirmation sur le terrain les différents éléments et dénominations à porter sur les cartes topographiques à établir, à inscrire les résultats sur les photos aériennes et documents de référence et à établir les documents nécessaires à la cartographie et à l'édition.
- 2 Le complètement sera en principe effectué en utilisant les photos aériennes et les minutes de restitution.

(Plan)

Article 98

Le plan de l'étude sur place sera élaboré en tenant compte des photos aériennes, de différents documents obtenus du pays concerné, de la relation avec la cartographie etc.

(Reconnaissance préliminaire)

Article 99

La reconnaissance préliminaire aura lieu avant le commencement de l'étude sur place sur la base des photos aériennes et des documents de référence.

<Article 99 Critères d'application>

1. Si la méthode de cartographie définie par le Burkina Faso est adoptée, on étudiera son adaptation.
2. On classera les points douteux apparus suite aux résultats de l'alinéa précédent.
3. Les photos aériennes seront préparées par feuille.
4. Des couleurs différentes seront utilisées pour la limite de la zone d'étude et l'intérieur de cette limite pour qu'il n'y ait pas de partie vide dans la portée de l'étude.

5. Les photos aériennes à classer seront utilisées une sur deux par trajet, et correspondront à la portée de cartographie.
6. L'étude comprendra les éléments suivants.
 - (1) Méthode d'utilisation des différents types de documents collectés et leur jugement
 - (2) Confirmation des éléments difficiles à déchiffrer sur les photos aériennes et leur portée
 - (3) Extraction des parties difficiles à déchiffrer
 - (4) Vérification de l'absence de désaccord entre les différents noms, limites administratives etc. sur les différents documents de référence
7. Parmi les différents éléments à porter sur la carte topographique, les éléments inscriptibles seront indiqués sur les photos aériennes et/ou les cartes de référence conformément au manuel des symboles des cartes.
8. Pour les éléments de l'étude définis à l'alinéa 6, les éléments de référence concernant la zone concernée et son état seront portés sur les photos aériennes et/ou les cartes de référence.

(Objets de l'étude sur place et critères d'indication)

Article 100

Les objets de l'étude sur place et les critères d'indication seront les éléments à représenter définis pour les symboles des cartes à utiliser.

<Article 100 Critères d'application>

1. Sauf stipulation spéciale, les critères suivants seront appliqués.
 - (1) Les routes seront classées et indiquées en fonction des symboles de carte selon leur état: leur catégorie, le nombre de voies et la largeur de la route, l'état du revêtement, et les tronçons concernés.
 - (2) Les lignes de chemin de fer seront classées et indiquées selon qu'il s'agit d'une voie simple, voie multiple, voie de garage avec l'écartement orbital.
 - (3) Le découpage, les parties remblayées, tunnels, ponts, parties aériennes, gares, bacs, et les autres éléments artificiels concernant les transports seront sélectionnés et indiqués conformément aux symboles de carte.
 - (4) Les bâtiments seront classés en indépendant ou ensemble conformément aux symboles de carte, et ceux exigeant la mention d'une application ou fonction spécifique, seront indiqués par note, note abrégée ou symbole.
 - (5) Le pointage des points de contrôle non utilisés pour le levé de points de contrôle au sol concernera en principe tous les points permettant de confirmer des repères géodésiques, et la position des autres sera confirmée si nécessaire.
 - (6) Si les limites des parcs, parcs nationaux, cimetières, ports etc. qui doivent être séparés en tant que zones spécifiques sont nettes, ils seront indiqués par des limites de zone spécifique, une note et/ou un symbole.
 - (7) L'itinéraire, la direction d'écoulement, des rivières permanentes naturelles et artificielles, des rivières à écoulement saisonnier et des rivières intermittentes définies par des symboles, seront clairement indiqués. La méthode d'indication des cascades, barrages, digues etc. accessoires des rivières sera également étudiée, si nécessaire.
 - (8) La ligne côtière sera indiquée sur les photos aériennes sur la base des résultats de l'étude sur place.
 - (9) On étudiera la végétation et le monde végétal qui ne peuvent pas clairement être interprétés sur les photos aériennes.
 - (10) Une étude détaillée des éléments de relief tels que cuvettes, falaises, rochers etc. pour lesquels une erreur d'indication survient facilement, sera faite à titre de référence pour les opérations de cartographie.
 - (11) Les noms à être indiqués sur la carte topographique seront confirmés sur place à l'appui de différents documents.

2. Des photos terrestres pourront être prises si nécessaire à titre de documents de référence pour la cartographie et l'édition.

(Classement des résultats de l'étude)

Article 101

Les résultats de l'étude seront portés sur les photos aériennes de l'étude et/ou les calques ozalid de la compilation cartographique.

<Article 101 Critères d'application>

1. Les éléments de l'étude seront transcrits en utilisant de l'encre pour les photos aériennes de l'étude et/ou les calques ozalid de la compilation cartographique de sorte qu'il n'y ait pas d'omissions ou d'erreurs, en appliquant les symboles de carte ou les symboles de la vérification sur place définis séparément.
2. Leur forme et leur position réelles seront clairement dessinées dans les éléments de l'étude.
3. Les emplacements où le type de route ou de voie ferrée et leur largeur varie, et les croisements seront clairement indiqués.
4. Pour le classement des noms de lieux et autres noms, et de leur étendue, il sera possible d'utiliser d'autres éléments que les photos aériennes de l'étude et/ou les calques ozalid de la compilation cartographique.
5. Si le classement s'avère très difficile comme indiqué à l'alinéa précédent, on pourra procéder de la manière suivante en utilisant des calques superposés.
 - (1) On indiquera les limites indiquant la portée de l'étude des photos aériennes, les numéros des trajets et photos, et l'emplacement des bornes.
 - (2) Le dessin sur les calques superposés sera conforme au classement des photos aériennes.
 - (3) Si le classement des routes est complexe, des couleurs seront utilisées pour le classement.

(Liaison)

Article 102

La vérification des éléments de l'étude sera faite au moment de l'étude sur place et du classement de ses résultats.

(Résultats etc.)

Article 103

Les résultats seront comme suit.

- (1) Les photos aériennes de l'étude et/ou les calques ozalid de la compilation cartographique utilisés au cours de l'étude sur place
- (2) Calques superposés auxiliaires des photos aériennes et/ou les calques ozalid de la compilation cartographique ci-dessus
- (3) Photos terrestres de référence pour la cartographie
- (4) Tableau de gestion de la précision

Chapitre 6 Triangulation aérienne

(Résumé)

Article 104

1. La triangulation aérienne consiste à déterminer les coordonnées et l'élévation des points de jonction et points de liaison nécessaires à la cartographie par photogrammétrie.
2. La triangulation aérienne sera ajustée par blocs définis par analyse.

(Instruments à utiliser)

Article 105

1. La mesure des coordonnées photographiques sera faite par restituteur analytique ou comparateur.
2. Avant les opérations, on inspectera la précision des instruments à utiliser selon la méthode préconisée et fera des ajustements si nécessaire.
Des inspections fonctionnelles appropriées pourront être effectuées, si nécessaire au cours des opérations.

(Programme à utiliser pour le calcul d'ajustement)

Article 106

1. Le calcul d'ajustement pour la triangulation aérienne se fera en principe selon la méthode de Bandle ou la méthode de modèles indépendants.
2. Le programme à utiliser pour le calcul d'ajustement devra préalablement être approuvé par la I.G.B.

(Positionnement des points de contrôle)

Article 107

Le positionnement et le nombre de points de contrôle pour la triangulation aérienne seront définis en fonction du relief.

<Article 107 Critères d'application>

1. Le nombre de points de contrôle à placer sera comme suit.
 - (1) Les points standard définissant les coordonnées seront toujours placés aux 4 coins d'un bloc, avec un point pour 6 modèles pour le trajet des deux extrémités, et un point tous les trois trajets pour les modèles aux extrémités de chaque trajet. De plus, 1 point sera placé de manière standard et uniforme tous les 30 modèles, en tenant compte de la précision dans les blocs.
 - (2) Pour les points standard définissant l'élévation, un point sera placé dans le modèle des deux extrémités tous les deux trajets, et un point sera placé par 12 modèles de manière uniforme sur chaque trajet.
 - (3) Le nombre standard des points définissant les coordonnées (N_h) et les points définissant l'élévation (N_v) sera défini par la formule suivante.
$$N_h = 4 + 2[(n-6)/6] + 2[(c-3)/3] + [(n-6)(c-3)/30]$$
$$N_v = [n/12]c + [c/2]$$

Toutefois n est le nombre moyen de modèles par trajet

c est le nombre de trajets

Les décimales obtenues à la fin du calcul dans [] seront arrondies au nombre supérieur; si le nombre de modèles et/ou de trajets est réduit et que () devienne négatif, il sera considéré 0, et si N_v est inférieur à N_h , il sera considéré comme égal.

2. Les points définissant les coordonnées et ceux définissant l'élévation pourront être cumulés.

(Points de jonction et point de liaison)

Article 108

1. La position des points de jonction et de liaison sera sélectionnée de manière à permettre le calcul précis des coordonnées et de l'élévation sur les photos aériennes, et ils seront pointés sur ces photos.
2. Une vue stéréoscopique des points de jonction, liaison et autres points nécessaires sera effectuée et ils seront pointés sur le film positif par contact avec un dispositif de piquetage.

<Article 108 Critères d'application>

1. Les points de jonction seront sélectionnés comme suit.
 - (1) Les points de jonction seront sélectionnés aux environs du point principal sur les photos et seront reliés aux deux extrémités de la ligne grosso modo perpendiculaire à la ligne de base du point principal passant aux environs du point principal.
 - (2) Les points aux deux extrémités seront sélectionnés à une distance grosso modo égale du point aux environs du point principal. Pour les photos ayant l'angle embrassé 23 cm x 23 cm, la distance du point principal aux points des extrémités sera environ de 7 à 10 cm. Mais, cela n'est pas applicable en cas de lac etc.
 - (3) Les environs des points de levé seront autant que possible plats.
 - (4) La prise de trois photos en série assurera une vue stéréoscopique suffisante.
 - (5) Les points de jonction seront divisés en a, b et c, le point b sur la photo étant le point aux environs du point principal, le point a étant au Nord et le point c au Sud par rapport au point b.
 - (6) Les points auxiliaires aux environs du point b seront nommés b', b"... dans l'ordre de proximité.
 - (7) Les points de jonction sélectionnés seront portés sur les photos par contact.
2. La sélection des points de liaison se fera comme suit.
 - (1) Un point de liaison ou plus sera sélectionné par modèle.
 - (2) Un point de liaison sera un point se trouvant pratiquement au centre de la partie chevauchement des deux trajets, et pouvant être clairement confirmé sur les photos en relation avec les deux trajets.
 - (3) Les points de liaison devront être sélectionnés sur une ligne droite.
 - (4) Les points de liaison pourront être cumulés avec les points de jonction.
 - (5) Pour la désignation du point de liaison, la lettre T sera ajoutée au numéro de la photo aérienne où ce point de liaison afférent d'un trajet dans un sens se trouvant le plus près du point b.
 - (6) Concernant le point de liaison étant cumulé sur un point de jonction, la lettre T sera ajouté au nom du point de jonction.
 - (7) Les points de liaison sélectionnés seront indiqués sur les photos par contact.
3. Le pointage des points de jonction et de liaison se fera comme suit.
 - (1) La position des points de jonction et de liaison sera pointée précisément sur les photos par contact en indiquant leur nom.
 - (2) Le pointage précité sera effectué uniquement sur la photo montrant la position la plus proche du point principal d'un trajet.
4. Les points de jonction pointés seront indiqués sur le film positif par contact.

(Mesure des coordonnées photographiques)

Article 109

La mesure des coordonnées photographiques sera faite deux fois de manière indépendante.

<Article 109 Critères d'application>

1. La différence des 2 mesures sera inférieure à 0,02 mm, et la valeur moyenne sera utilisée.
2. Si la différence dépasse la plage de tolérance, une nouvelle mesure sera effectuée et la moyenne des trois valeurs sera adoptée.

(Orientation interne)

Article 110

1. Les coordonnées photographiques seront définies sur la base d'au moins 4 bornes, et l'erreur résiduelle des bornes dans le résultat du calcul d'ajustement ne devra pas dépasser la plage de tolérance préconisée.
2. L'aberration de la caméra de prise de vue aérienne et la réfraction atmosphérique seront en principe corrigées.

<Article 110 Critères d'application>

1. La plage de tolérance pour l'erreur résiduelle des bornes sera une déviation standard de moins de 0,02 mm, qui devra au maximum être inférieure à 0,03 mm.
2. Les valeurs vérifiées avec la caméra utilisée seront utilisées comme coordonnées photographiques des bornes.
3. L'orientation interne ne sera pas faite si un restituteur analytique est utilisé.

(Orientation relative)

Article 111

1. L'orientation relative sera effectuée en utilisant tous les points de jonction, points de liaison et les points de contrôle inclus dans le modèle concerné.
2. La parallaxe verticale résiduelle après l'orientation relative ne devra pas dépasser la plage de tolérance préconisée.

<Article 111 Critères d'application>

La plage de tolérance de parallaxe verticale résiduelle après l'orientation relative devra être inférieure à 0,02 mm sur le film positif par contact.

(Orientation successive)

Article 112

1. Les points de jonction, ainsi que tous les points de liaison et les points de contrôle inclus dans la partie commune avec le modèle adjacent, seront utilisés pour l'orientation successive.
2. La différence de valeurs de coordonnées photographiques entre les points de jonction etc. entre des modèles adjacents ne devra pas dépasser la plage de tolérance préconisée.

<Article 112 Critères d'application>

1. La plage de tolérance pour la différence entre les coordonnées photographiques et l'élévation des points de jonction etc. entre des modèles adjacents devra être inférieure à 0,05% de l'altitude de vol.

(Elimination des erreurs importantes)

Article 113

Avant d'effectuer le calcul d'ajustement, on étudiera les résultats de l'orientation interne, de l'orientation relative et de l'orientation par rapport au sol par formule polynomiale et toute erreur importante clairement reconnue comme une erreur de mesure etc., sera préalablement éliminée.

<Article 113 Critères d'application>

La plage de tolérance pour la différence résiduelle dans le processus des différents calculs avant le calcul d'ajustement sera conforme à la plage de tolérance préconisée pour chaque calcul.

(Ajustement des blocs par la méthode de modélisation indépendante)

Article 114

1. L'ajustement des blocs par la méthode de modèles indépendants correspond au calcul d'ajustement des blocs après l'orientation interne et l'orientation relative.
2. Tous les points de contrôle, les points de jonction, les centres de projection et les points de liaison inclus dans les blocs concernés seront utilisés pour le calcul d'ajustement.
3. L'indice de la formule de conversion de chaque modèle sera défini par moyenne homogène par bloc. Toutefois le calcul d'ajustement des coordonnées et l'élévation pourra être effectué à part.
4. L'influence du taux de courbure terrestre sera corrigée.
5. La différence résiduelle des points de contrôle dans un bloc et la différence des points de liaison ne devront pas dépasser la plage de tolérance.

<Article 114 Critères d'application>

1. La formule du calcul d'ajustement sera la formule de conversion orthogonale tridimensionnelle tenant compte de l'échelle pour l'ajustement simultané des coordonnées et de l'élévation en cas de l'ajustement indépendant, la formule de conversion de Hermert pour les coordonnées et la formule polynomiale linéaire pour l'élévation.
2. Si des points ne sont pas utilisés pour le calcul des points de contrôle etc., leur nom et le motif seront indiqués dans le répertoire de calcul.
3. La valeur limitée de la déviation standard de la différence résiduelle des points de contrôle, et de la différence résiduelle des valeurs d'ajustement des points de jonction et de liaison d'un même bloc sera de 0,02% de l'altitude de vol à la fois pour les coordonnées et l'élévation, et d'un maximum inférieur à 0,04%. Toutefois, pour l'appareil super grand angle, cette différence sera de 0,04% pour le premier et de 0,07% pour le second.

(Ajustement des blocs selon la méthode de Bandle)

Article 115

1. L'ajustement des blocs selon la méthode de Bandle consiste à effectuer le calcul d'ajustement des blocs après l'orientation interne.
2. Tous les points de contrôle, les points de jonction, les centres de projection et les joints de liaison inclus dans le bloc concerné seront utilisés pour le calcul d'ajustement.
3. L'indice de la formule de conversion de chaque photo aérienne sera défini par moyenne homogène pour chaque bloc.
4. L'influence du taux de courbure terrestre sera corrigée.
5. La différence résiduelle des points de contrôle etc. dans un bloc et celle d'intersection des points de jonction et de liaison ne devront pas dépasser la plage de tolérance.

<Article 115 Critères d'application>

1. La formule de calcul d'ajustement sera une formule de conversion projetée utilisant l'inclinaison de la photo et la position du centre de projection comme inconnues, à laquelle pourront être ajoutées des éléments d'auto-calibrage correspondant à l'erreur systématique.
2. Si des points ne sont pas utilisés pour le calcul des points de contrôle etc., leur nom et le motif seront indiqués dans le répertoire de calcul.
3. La valeur limitée de la déviation standard de la différence résiduelle des points de contrôle, et de la différence résiduelle des valeurs d'ajustement des points de jonction et de liaison d'un même bloc sera de 0,02% de l'altitude de vol à la fois pour les coordonnées et l'élévation, et d'un maximum inférieur à 0,04%. Toutefois, pour l'appareil super grand angle, cette différence sera de 0,04% pour le premier et de 0,07% pour le second.
4. La valeur limitée de la déviation standard de la différence résiduelle d'intersection des points de jonction et de liaison dans un même bloc sera de 0,015 mm. et d'un maximum de moins de 0,3 mm.
5. La correction de l'aberration de l'appareil photo aérienne, de la réfraction atmosphérique et du taux de courbure terrestre pourront être remplacés par auto-calibrage.

(Liaison entre les blocs adjacents)

Article 116

La différence entre des points de liaison entre les blocs adjacents ne devra pas dépasser la plage de tolérance préconisée.

<Article 116 Critères d'application>

La valeur limitée des points de liaison entre les blocs adjacents devra être inférieure à 0,09% de l'altitude de vol aussi bien pour les coordonnées que pour l'élévation.

(Résultats etc.)

Article 117

Les résultats seront comme suit.

- (1) Tableau des résultats de la triangulation aérienne et carte d'exécution.
- (2) Film positif par contact indiquant les points de jonction et de liaison
- (3) Photos aériennes par contact indiquant les points de jonction et de liaison
- (4) Tableau des valeurs résiduelles des points de contrôle et tableau des différences des points de liaison
- (5) Répertoire des mesures et répertoire des calculs
- (6) Tableau de gestion de la précision

Chapitre 7 Aperçu de la cartographie numérique à l'échelle 1/50.000^e

(Définition)

Article 118

La cartographie numérique (appelée "CN", ci-dessous) consiste à établir une nouvelle carte topographique en format numérique, en s'appuyant sur la technique informatique pour le traitement des informations géographiques obtenues à partir des photos aériennes. Cela comprendra l'établissement de l'original des cartes telles que celles topographiques.

(Précision des cartes topographiques numériques)

Article 119

Les normes suivantes s'appliqueront à la précision des cartes topographiques numériques.

- 1, La tolérance de la déviation standard planimétrique des détails sur terrain sera inférieure ou égale à 0,5 mm sur la carte.
- 2, La tolérance de la déviation standard altimétrique du point de cote sera inférieure ou égale à 1/3 de l'intervalle des courbes de niveau.
- 3, La tolérance de la déviation standard altimétrique des courbes de niveau sera inférieure ou égale à 1/2 de l'intervalle des courbes de niveau.

(Feuille)

Article 120

- 1, La feuille sera une unité de base pour la gestion des données CN.
- 2, La feuille sera définie sur la base de la division du plan concerné à une taille prescrite. Elle sera conforme à la division de la carte de base nationale.
- 3, Le numéro d'identifications et le nom seront attribués à la feuille.

(Division des opérations par procédure et ordre)

Article 121

La procédure standard pour la CN sera comme suit. Cependant, elle pourra être partiellement modifiée selon les directives et l'approbation de l'organisme d'exécution.

- (1) Programmation des opérations
- (2) Pose des points de contrôle
- (3) Prébalisage
- (4) Prise de vues
- (5) Piquetage
- (6) Complètement
- (7) Aérotriangulation
- (8) Restitution numérique

- (9) Rédaction numérique
- (10) Levés complémentaires et rédaction numérique des levés complémentaires
- (11) Création du fichier de données C N
- (12) Etablissement de l'original de la carte topographique
- (13) Classement des résultats etc.

(Application d'autres articles)

Article 122

Les stipulations des articles 72 à 177 seront appliquées aux étapes (1) Programmation des opérations, (2) Pose des points de contrôle, (3) Prébalisage, (4) Prise de vues, (5) Piquetage, (6) Aérottriangulation de l'article précédent.

Chapitre 8 Restitution numérique

(Définition)

Article 123

La restitution numérique consiste en la saisie et en l'enregistrement des informations géographiques sous format numérique en utilisant un restituteur analytique, un restituteur analogique équipé d'un dispositif de lecture de coordonnées ou un restituteur stéréoscopique numérique (appelée ci-dessous "restituteur numérique").

(Restituteur numérique)

Article 124

Le restituteur numérique à utiliser pour CN sera doté de performance permettant le maintien de la précision prescrite.

<Article 124 Normes d'application>

- 1, Le restituteur numérique à utiliser devra permettre l'entrée et l'enregistrement des valeurs de coordonnées X, Y, Z et des codes prescrits, et posséder la performance de 2^e ordre (B) ou supérieure.
- 2, Pour la précision de lecture du restituteur numérique, la tolérance de déviation standard sera inférieure ou égale à 0,01 mm sur le film contact positif. Et pour la précision de lecture du dispositif de lecture des coordonnées, la tolérance de déviation standard sera inférieure ou égale à 0,05 mm. sur la photo contact
- 3, La taille de l'élément image des photos numériques à utiliser sera inférieure ou égale à 0,01 mm pour le restituteur stéréoscopique numérique. La compression des images sera faite « sans perte ».

- 4, Une vérification et des ajustements du restituteur numérique à utiliser, seront effectués avant le début des opérations pour vérifier si la précision requise est assurée.
 - 1) La vérification et les ajustements seront effectués conformément aux normes qui sont prescrites pour le restituteur. Cependant, pour le restituteur analytique, sa vérification s'effectuera par la fonction d'auto-inspection propre à chaque restituteur.
 - 2) Le verre d'échelle à utiliser pour la vérification et les ajustements sera en principe celui propre à chaque restituteur. N'utiliser ni le verre d'échelle dont les grilles ne sont pas nettes, ni celui rayé.

(Unité des valeurs de coordonnées saisies)

Article 125

L'unité des coordonnées (coordonnées au sol) pour la restitution numérique sera le cm.

<Article 125 Normes d'application>

Les chiffres devant suivre ceux de la précision significative y seront ultérieurement ajoutés.

(« Monitoring »)

Article 126

- 1, Le « monitoring » est une opération de vérification sur la position, la forme etc. des données par
affichage graphique ou sortie sur la table de dessin lors de la restitution numérique.
- 2, Le « monitoring » sera en principe effectué à l'étape de restitution.

(Entrée et traçage des coordonnées des points de contrôle etc.)

Article 127

- 1, L'entrée des coordonnées des points de contrôle s'effectuera avec le système de coordonnées et l'unité prescrits.
- 2, Le traçage du cadre de feuille et des points de contrôle s'effectuera avec la table traçante à partir des coordonnées. La tolérance d'erreur de cette opération devra être inférieure ou égale à 0,2 mm.
- 3, Après avoir effectué le traçage, les symboles et les valeurs numériques du cadre de feuille et des points de contrôle seront représentés.

<Article 127 Normes d'application >

Les points de contrôle seront définis comme suit :

- 1) Coordonnées du cadre de feuille
- 2) Coordonnées de la ligne de grille

- 3) Coordonnées des points de contrôle et points d'orientation
- 4) Coordonnées des points de passage et points de liaison

(Orientation)

Article 128

- 1, L'orientation relative s'effectuera dans la zone des 6 points de passage.
- 2, L'orientation par rapport au sol s'effectuera avec tous les points de passage et de contrôle.
- 3, La parallaxe verticale résiduelle de l'orientation relative et l'erreur de position horizontale et d'élévation de l'orientation par rapport au sol ne devront pas dépasser la plage de tolérance prescrite. Les valeurs des différents éléments d'orientation seront enregistrées à la fin de l'orientation.

<Article 128 Normes d'application>

- 1, En orientation relative, la parallaxe verticale résiduelle dans la zone des 6 points de passage sera inférieure ou égale à 0,02 mm sur le film positif contact.
- 2, En orientation par rapport au sol, l'erreur de valeur horizontale sera inférieure ou égale à 0,3 mm sur la carte.
- 3, En orientation par rapport au sol, l'erreur d'élévation sera inférieure ou égale à 1/3 de l'intervalle des courbes de niveau.
- 4, Les résultats de l'orientation seront reportés sur le registre d'orientation.

(Portée de la restitution numérique)

Article 129

La portée de la restitution numérique d'un modèle sera en principe la zone délimitée par les points de passage.

(Traçage numérique détaillé)

Article 130

- 1, La restitution numérique des détails s'effectuera dans l'ordre des corps linéaires, bâtiments, végétation et courbes de niveau. Aucun détail ne doit être omis.
- 2, Pour des zones difficiles à identifier ou impossibles à restituer à cause d'ombres, de halos etc. elles seront indiquées pour y'effectuer le complètement.

<Article 130 Normes d'application>

- 1, Les éléments indispensables seront tracés sans omission à partir des photos aériennes et autres documents réalisés après le complètement.
- 2, Pour les terrains dont le relief est très accidenté, il faudra autant que possible y

mettre des courbes de niveau ou porter les symboles appropriés..

- 3, Les courbes de niveau seront tracées suivant les altitudes fixés et les courbes intercalaires seront tracées au besoin.
- 4, Il faudra relever les cotes de sommets, cuvettes, cols etc et, au besoin, leurs valeurs seront indiquées sur la carte muette pour éviter la négligence de mise en place des courbes de niveau
- 5, Le complètement devra indiquer les zones permettant difficilement de maintenir la précision des courbes de niveau, par exemple les zones denses d'arbres élevés.

(Code de classification)

Article 131

En principe, les codes de classification indiquant le type de données numériques saisies leur seront attribués.

<Article 131 Normes d'application>

En ce qui concerne les codes de classification, leur abréviation sera autorisée suivant le cas, en se référant aux critères de classification de saisie des données de la cartographie numérique

(Saisie de données topographiques)

Article 132

La saisie de données pour la représentation topographique s'effectuera par la méthode de courbes de niveau, modèle numérique de terrain, numérisation cartographique ou leur combinaison.

<Article 132 Normes d'application>

- 1, La saisie de données par la méthode de courbes de niveau sera basée sur la norme d'1 mm sur la carte pour l'intervalle de distance ou de 0,3 sec. pour l'intervalle temporel. Mais elle pourra être modifiée en fonction du relief.
- 2, La saisie de données par la méthode de modèle numérique de terrain s'effectuera de façon à saisir directement par le restituteur les cotes de points de grille prescrits mais aussi ces valeurs pourront être obtenues par le calcul à partir des courbes de niveau suivant le cas. Cependant, la saisie de données de courbes de niveau par la méthode de modèle numérique de terrain qui utilise la technique d'extraction automatique de cotes (stereo matching) ou avec les valeurs obtenues par cette technique ne sera pas autorisée.

3. Si les données de modèle numérique de terrain sont considérées comme les résultats de saisie, elles devront subir le contrôle en prenant appui sur le programme de contrôle ou les cartes imprimées etc.

- 1) L'intervalle entre les points de grille prescrite sera sélectionné conformément aux spécifications.
- 2) Les points facultatifs seront sélectionnés en tenant compte de la facilité de l'identification topographique.

(Sélection des points de cote)

Article 133

La sélection des points de cote s'effectuera en tenant compte de la facilité de l'identification topographique.

<Article 133 Normes d'application>

1. La sélection de points de côte s'effectuera aux endroits suivants .
 - 1) Sommets importants
 - 2) Croisements importants de routes, cols par lesquels passent les routes, et autres cols importants
 - 3) Entrée de plaine, confluent de rivières, partie basse de plaine large et berges de rivière
 - 4) Points importants de changement de pente
 - 5) Point représentatif de surface ordinaire des environs
 - 6) Partie la plus profonde interprétable comme cuvette
 - 7) Autres points requis pour mettre au clair la topographie
2. Les points cotés seront autant que possible répartis à densité égale. La densité sera d'1 point tous les 4 cm² sur la carte.

(Mesure des points de cote)

Article 134

La mesure des points de cote s'effectuera en principe au moins une fois.

<Article 134 Normes d'application>

Les données de cote devront pas être obtenues avec le restituteur numérique en utilisant sa fonction d'extraction automatique de la côte.

(Addition de données par d'autres méthodes de levé)

Article 135

L'addition de données à celles cartographiques numériques en utilisant d'autres méthodes

de levé sera conforme aux stipulations de l'article 139.

(Sortie des données numériques)

Article 136

Les données numériques seront imprimées sur la carte à une échelle correspondant au niveau des informations cartographiques.

(Contrôle des données numériques)

Article 137

Le contrôle des données numériques sera effectué en utilisant les photos aériennes et les documents du complètement, etc. sur la carte imprimée à l'article précédent.

<Article 137 Normes d'application>

Les données numériques seront contrôlées sur les points suivants :

- 1) Manque de saisie , erreurs de position horizontale ou d'élévation
- 2) Bon ou mauvais sur la jonction
- 3) Bon ou mauvais sur la position, densité et valeur relevée des points de cote
- 4) Uniformité de la de représentation topographique

Chapitre 9 Rédaction numérique

(Définition)

Article 138

La rédaction numérique consiste à construire les données numériques traitées avec le dispositif de rédaction et avec les résultats obtenus du complètement

<Article 138 Normes d'application>

- 1、 La composition et les fonctions du dispositif de rédaction seront comme suit :
 - 1) Le dispositif de rédaction devra se composer d'un ordinateur, un affichage graphique et une tablette ou un numériseur etc.
 - 2) Il devra disposer d'une fonction traitant des données par le moyen de dialogue, et permettre l'addition, la suppression et la correction des données cartographiques.
- 2、 Si la mise en place d'un réflecteur au point de levé est difficile à cause des conditions topographiques, des détails sur le terrain etc. et qu'une haute précision de levé n'est pas requise, il sera possible, avec l'approbation de

l'organisme d'exécution, d'utiliser un instrument de mesure sans prisme (précision de mesure: $20\text{mm}+5\text{ppmD}$; D: distance de mesure).

(Entrée de données de restitution numérique et des données de complètement)

Article 139

- 1, Les données de restitution numériques et celles du levé topographiques seront entrées dans le dispositif de rédaction.
- 2, Les documents tels que carte utilisée pour le complètement et remplie des données obtenus au cours du complètement seront numérisés par numériseur et/ou scanner, et entrés dans le dispositif d'édition.

(Rédaction numérique)

Article 140

- 1, Les données entrées mentionnées dans l'article précédent feront l'objet d'ajout, de suppression et de correction en utilisant le dispositif de rédaction.
- 1, La rédaction numérique s'effectuera en principe séparément pour des données de position réelle et celles graphiques.

<Article 140 Normes d'application>

Les données de courbes de niveau seront contrôlées sur l'affichage graphique et sur les cartes imprimées, et des erreurs seront corrigées.

(Jonction)

Article 141

La jonction entre les modèles, les feuilles adjacentes et les coordonnées seront mises en concordance.

<Article 141 Normes d'application>

- 1, Si le décalage du relief et des détails sur terre est inférieur à 0,7 mm sur la carte, la jonction devra être complétée en apportant quelques corrections à ce décalage.
- 2, Si le décalage du relief et des détails sur terre est supérieur à 0,7 mm sur la carte, la restitution devra être refaite.

(Etablissement de la carte imprimée)

Article 142

La carte imprimée sera établie avec une table traçante à partir des données établies par la rédaction pour le contrôle et le complètement.

<Article 142 Normes d'application>

A l'impression, la carte devra conserver l'échelle de restitution.

(Contrôle)

Article 143

- 1, Le contrôle s'effectuera sur la carte imprimée citée à l'article précédent.
- 2, Le contrôle des contradictions logiques des données déjà soumises à la rédaction s'effectuera en utilisant le programme de contrôle.

<Article 143 Normes d'application>

Les défauts et parties ambiguës dues à la restitution numérique et à la rédaction numérique seront corrigées dans leur propre processus, et ceux dues à d'autres causes seront corrigées lors de la rédaction numérique complémentaire.

Chapitre 10 Levés complémentaires sur place et rédaction numérique complémentaire

(Définition)

Article 144

Les levés complémentaires et la rédaction numérique complémentaire consistent à former des données complémentaires établies par la rédaction. Ceci s'effectuera en suivant les opérations telles que contrôle des points principaux présentés sur la carte imprimée et réalisation des levés complémentaires sur place pour les zones vagues, addition des données complémentaires à celles déjà établies par la rédaction et modification de ces dernières, etc.,.

(Méthode)

Article 145

- 1, Les points à contrôler et compléter lors des levés complémentaires sur place seront comme suit.
 - 1) Détails douteux soulevés au cours de la rédaction
 - 2) Détails difficiles à subir la rédaction
 - 3) Changements survenus après le complètement
 - 4) Délimitation et textes
 - 5) Erreurs et omissions de représentation d'objets divers
- 3, Les levés complémentaires sur place s'effectueront avec le « Total Station » en s'appuyant sur les points de contrôle et/ou les points certains et clairs de la carte imprimée sur la base des données établies par la rédaction.

4. Les résultats des levés complémentaires sur place seront enregistrés par le moyen de mémoire électronique ou sur la carte imprimée des données établies par la rédaction pour éviter toute entrave aux travaux ultérieurs.

<Article 145 Normes d'application>

1. Pour les détails difficiles à identifier et/ou à restituer numériquement, ou les zones ayant subi des modifications après la prise de vues, les levés de reliefs et des détails s'effectueront avec la « Total Station » implantée sur les points de contrôle et/ou points de « Total Station » pour l'acquisition des données numériques nécessaires à l'établissement de cartes topographiques numériques.
2. L'unité des valeurs de coordonnées (coordonnées sur terre) pour l'acquisition des données numériques sera le mm.
3. Les résultats des levés sur place seront enregistrés par le moyen de mémoire électronique. Par ailleurs, les textes, symboles et attributs seront imprimés sur la carte de données établies par la rédaction.

(Rédaction numérique complémentaire)

Article 146

1. Les données complémentaires seront établies avec le dispositif de rédaction en ajoutant les résultats des levés complémentaires sur place traités en vue de rédaction aux données établies à l'article précédent et en les modifiant.
2. La rédaction numérique complémentaire sera conforme aux dispositions des articles 140 à 145.

(Etablissement d'une carte imprimée)

Article 147

L'établissement de la carte imprimée sera conforme aux dispositions de l'article 144.

(Contrôle)

Article 148

Le contrôle des données complémentaires établies par la rédaction sera conforme aux dispositions de l'article 145.

Chapitre 11 Etablissement d'un fichier de données CN

(Définition)

Article 149

L'établissement d'un fichier de données de la CN consiste à enregistrer les données complémentaire établies par la rédaction par le moyen de mémoire électronique, conformément aux spécifications prescrites.

(Méthode)

Article 150

Le fichier de données de la CN sera établi en enregistrant les données complémentaires établies par la rédaction à l'article précédent par le moyen de mémoire électronique, conformément aux spécifications prescrites.

(Contrôle)

Article 151

La teneur du fichier de données de la CN sera contrôlé en utilisant le programme de contrôle et/ou l'affichage graphique.

<Article 151 Normes d'application>

- 1, Si l'original de la carte topographique est établie à partir du fichier de données de la CN, son contrôle pourra être remplacée par celui utilisant l'affichage graphique.
- 2, Le programme de contrôle sera utilisé pour trouver des contradictions logiques.

(Etablissement d'un mode d'emploi)

Article 152

Le mode d'emploi du fichier de données de la CN devra être compilé pour mentionner les points importants sur la gestion et l'utilisation du fichier.

Chapitre 12 Etablissement des planches mère de la carte topographique

(Définition)

Article 153

L'établissement des planches mère de la carte topographique est une opération d'impression avec la table traçante de l'original de la carte topographique de base..

(Méthode)

Article 154

L'original de la carte topographique sera établie avec la table traçante pour les points nécessaires du fichier des données de la CN établi à l'article précédent en les symbolisant conformément aux symboles cartographiques prescrits.

<Article 154 Normes d'application>

- 1, L'original de la carte topographique pourra être manuellement corrigé.
- 2, Si l'établissement de l'original du cliché positif en vue de reproduction procède au traitement photographique, la méthode de tirage inverse y sera appliquée.

(Contrôle)

Article 155

Les points prescrits de l'original de la carte topographique établie subiront le contrôle et la correction si nécessaire.

<Article 155 Normes d'application>

- 1, Le contrôle s'effectuera sur les points suivants :
 - 1) Pour l'original de la carte topographique, omission ou erreur de représentation, décalage de tracé, et qualité des lignes, etc.,.
 - 2) Pour l'original du cliché positif en vue de reproduction, flous des lignes, inégalités de tirage, doublage, etc.,.
 - 3) Qualité de la jonction avec les feuilles adjacentes
- 3, De légères retouches seront admissibles sans avoir recours à la table traçante automatique.

Section 8 : Classement des résultats

(Résultats)

Article 156 Les résultats seront comme suit.

- (1) Fichier de données de la CN
- (2) Mode d'emploi de fichier de données de la CN
- (3) Original de la carte topographique
- (4) Original du cliché positif en vue de reproduction (2^e original)
- (5) Table de la précision
- (6) Autres documents

Méthode du levé GPS

1. Conversion de l'ellipsoïde

(1) Origine de l'ellipsoïde

a. Origine de l'ellipsoïde de base du pays concerné

Axe semi-majeur $a_b =$

Aplatissement $f_b =$

b. Unité utilisée pour le GPS (WGS-84: par système de contrôle géodésique 80)

Axe semi-majeur $a_w = 6378137 \text{ m}$

Aplatissement $f_w = 1/298.257223563$

(2) Conversion au système de coordonnées orthogonales tridimensionnel par les coordonnées géographiques et la hauteur

$$X = (N + H) \cos \phi \cdot \cos \lambda$$

$$Y = (N + H) \cos \phi \cdot \sin \lambda$$

$$Z = (N(1 - e^2) + H) \sin \phi$$

$$N = a / \sqrt{1 - e^2 \cdot \sin^2 \phi}$$

$$e^2 = f(2 - f)$$

où:

ϕ : Latitude

H : Hauteur à partir de l'ellipsoïde

a : Axe semi-majeur

f : Aplatissement

λ : Longitude

N : Rayon de courbure du prime vertical

e : Excentricité primaire

(3) Conversion du système de coordonnées orthogonales tridimensionnelles aux coordonnées géographiques et à la hauteur

$$\phi = \tan^{-1} \left\{ Z / (P - e^2 \cdot N_{i-1} \cdot \cos \phi_{i-1}) \right\} \quad (\phi: \text{calcul répété})$$

$$\lambda = \tan^{-1} (Y / X)$$

$$H = P / \cos \phi - N$$

$$P = \sqrt{X^2 + Y^2}$$

$$N_{i-1} = a / \sqrt{1 - e^2 \cdot \sin^2 \phi_{i-1}}$$

où:

les conditions de convergence de ϕ sont: $|\phi_i - \phi_{i-1}| \leq 10^{-12}_{(rnc)}$

ϕ_i : résultat du 1er calcul i

$\phi_0 = \tan^{-1} (Z/P)$

(4) Conversion en coordonnées

Conversion du système géodésique en système de coordonnées WGS-84

$$\begin{pmatrix} X_B \\ Y_B \\ Z_B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Delta X_O \\ \Delta Y_O \\ \Delta Z_O \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} X_A \\ Y_A \\ Z_A \end{pmatrix}$$

où:

- X_A, Y_A, Z_A : valeurs de coordonnées orthogonales conformes au système géodésique
 X_B, Y_B, Z_B : valeurs de coordonnées orthogonales conformes au système de coordonnées WGS-84
 $\Delta X_O, \Delta Y_O, \Delta Z_O$: Déplacement horizontal de l'origine du système géodésique au système de coordonnées WGS-84

2. Calcul de la distance

$$S = \sqrt{(D^2 - \Delta H^2) / (1 + H_1 / R_m) \cdot (1 + H_2 / R_m)}$$

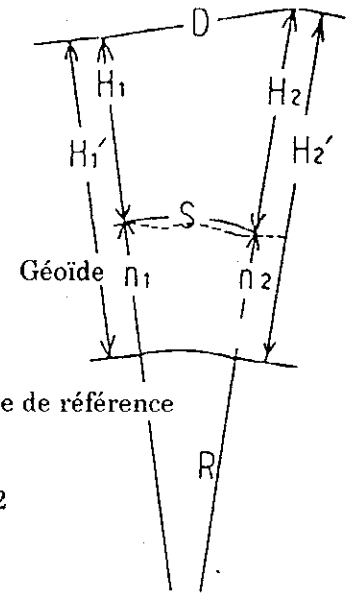
$$\Delta H_1 = H_2 - H_1$$

$$H_1 = H_1' - n_1$$

$$H_2 = H_2' - n_2$$

où:

- H_1, H_2 : Altitude des points de mesure 1 et 2
 H_1', H_2' : Hauteur d'ellipsoïdale des points de mesure 1 et 2
 n_1, n_2 : Hauteur géoïdale des points de mesure 1 et 2
 R_m : Rayon de courbure moyen
 S : Distance moyenne projetée sur la mer
 D : Distance de mesure en pente
 Note: R_m est un calcul utilisant la moyenne de la latitude des points de mesure 1 et 2.



3. Calcul de l'équilibrage de réseau tridimensionnel

3.1 Vecteur de ligne d'opération GPS

$$\begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (N_i + h_i) \cos \phi_i \cos \lambda_i \\ (N_i + h_i) \cos \phi_i \sin \lambda_i \\ \{N_i \cdot (1 - e_i^2) + h_i\} \sin \phi_i \end{pmatrix} \quad i = 1, 2$$

3.2 Calcul de l'équilibrage de réseau pour l'obtention des résultats pratiques

(1) Equation d'observation obtenue à partir des coordonnées géodésiques (latitude, longitude, hauteur)

Résidu Inconnu Inconnu

$$\begin{pmatrix} V_X \\ V_Y \\ V_Z \end{pmatrix} = m_2 \begin{pmatrix} \delta\phi_2 \\ \delta\lambda_2 \\ \delta h_2 \end{pmatrix} - m_1 \begin{pmatrix} \delta\phi_1 \\ \delta\lambda_1 \\ \delta h_1 \end{pmatrix} + M_\xi \cdot \begin{pmatrix} \Delta X^0 \\ \Delta Y^0 \\ \Delta Z^0 \end{pmatrix} \cdot \xi$$

$$+ M_\eta \cdot \begin{pmatrix} \Delta X^0 \\ \Delta Y^0 \\ \Delta Z^0 \end{pmatrix} \cdot \eta + \begin{pmatrix} \Delta X^0 \\ \Delta Y^0 \\ \Delta Z^0 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \Delta X_{ob} \\ \Delta Y_{ob} \\ \Delta Z_{ob} \end{pmatrix}$$

Valeur approximative Valeur d'observation

$$m_i = \begin{pmatrix} -(M_i + h_i) \cdot \sin \phi_i \cdot \cos \lambda_i & -(N_i + h_i) \cdot \cos \phi_i \cdot \sin \lambda_i & \cos \phi_i \cdot \cos \lambda_i \\ -(M_i + h_i) \cdot \sin \phi_i \cdot \sin \lambda_i & (N_i + h_i) \cdot \cos \phi_i \cdot \cos \lambda_i & \cos \phi_i \cdot \sin \lambda_i \\ (M_i + h_i) \cdot \cos \phi_i & 0 & \sin \phi_i \end{pmatrix} \quad i=1,2$$

$$M_\xi = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -\cos \lambda_0 \\ 0 & 0 & -\sin \lambda_0 \\ \cos \lambda_0 & \sin \lambda_0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$M_\eta = \begin{pmatrix} 0 & -\cos \phi_0 & -\sin \phi_0 \cdot \cos \lambda_0 \\ \cos \phi_0 & 0 & \sin \phi_0 \cdot \cos \lambda_0 \\ \sin \phi_0 \cdot \sin \lambda_0 & -\sin \phi_0 \cdot \cos \lambda_0 & 0 \end{pmatrix}$$

où:

ξ , η sont des paramètres inconnus pour estimer l'angle d'inclinaison moyen du géoïde, correspondant aux composants de la déviation de la ligne verticale moyenne dans la zone concernée. Toutefois, ξ et η ne sont pas utilisés pour le calcul de moyenne supposé.

$$N_i = a / \sqrt{1 - e^2 \sin^2 \phi_i} \quad (i=1, 2)$$

$$M_i = a \cdot (1 - e^2) / \sqrt{(1 - e^2 \sin^2 \phi_i)^3} \quad (i=1, 2)$$

ϕ_0, λ_0 : Latitude et longitude du point connu (aléatoire)

(2) Equation d'observation à partir des coordonnées rectangulaires (X, Y, Z)

$$\begin{pmatrix} V_X \\ V_Y \\ V_Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \delta X_2 \\ \delta Y_2 \\ \delta Z_2 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \delta X_1 \\ \delta Y_1 \\ \delta Z_1 \end{pmatrix} + M_\xi \cdot \begin{pmatrix} \Delta X^0 \\ \Delta Y^0 \\ \Delta Z^0 \end{pmatrix} \cdot \xi$$

Résidu Inconnu Inconnu

$$+ M_{\eta} \cdot \begin{pmatrix} \Delta X^0 \\ \Delta Y^0 \\ \Delta Z^0 \end{pmatrix} \cdot \eta + \begin{pmatrix} \Delta X^0 \\ \Delta Y^0 \\ \Delta Z^0 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \Delta X_{0h} \\ \Delta Y_{0h} \\ \Delta Z_{0h} \end{pmatrix}$$

Valeur approximative Valeur d'observation

3.3 Poids de l'observation

$$P = \left(\sum \Delta X, \Delta Y, \Delta Z \right)^{-1}$$

où:

$\Sigma_{\Delta X, \Delta Y, \Delta Z}$: Matrice de variance-covariance de $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$

3.4 Calcul de moyenne

$$V = AX - L$$

$$(A^T P A)X - (A^T P L) = 0$$

$$X = (A^T P A)^{-1} A^T P L$$

$$\mu^2 = (V^T P V) / (n - m)$$

où:

V: Vecteur résiduel

A: Matrice d'inconnues

X: Vecteur de valeur inconnue

L: Vecteur de terme absolu

P: Poids obtenu en 4.3

μ : Déviation standard de l'observation du poids unitaire

n: Nombre d'équations d'observation m: Nombre d'inconnues

4. Matrice de variance-covariance et matrice de corrélation

4.1 Matrice de variance-covariance

(1) Matrice de variance-covariance à partir des coordonnées rectangulaires (X, Y, Z)

Matrice de variance-covariance de $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$:

$$\Sigma_{\Delta X, \Delta Y, \Delta Z} = \begin{pmatrix} \sigma_{\Delta X \Delta X} & \sigma_{\Delta X \Delta Y} & \sigma_{\Delta X \Delta Z} \\ \sigma_{\Delta Y \Delta X} & \sigma_{\Delta Y \Delta Y} & \sigma_{\Delta Y \Delta Z} \\ \sigma_{\Delta Z \Delta X} & \sigma_{\Delta Z \Delta Y} & \sigma_{\Delta Z \Delta Z} \end{pmatrix}$$

(2) Matrice de variance-covariance à partir des coordonnées géodésiques (latitude, longitude, hauteur)

$$\Sigma_{\phi, \lambda, h} = R \cdot \Sigma_{\Delta X, \Delta Y, \Delta Z} \cdot R^T$$

où:

$$R = \begin{pmatrix} -\sin \phi \cdot \cos \lambda / (M + h) & -\sin \phi \cdot \sin \lambda / (M + h) & \cos \phi / (M + h) \\ -\sin \lambda / (N + h) \cdot \cos \phi & \cos \lambda / (N + h) \cdot \cos \phi & 0 \\ \cos \phi \cdot \cos \lambda & \cos \phi \cdot \sin \lambda & \sin \phi \end{pmatrix}$$

4.2 Relation entre matrice de variance-covariance et matrice de corrélation

$$\rho_{ij} = \sigma_{ij} / \sqrt{(\sigma_{ii} \cdot \sigma_{jj})}$$

4.3 Matrice de corrélation

$$\text{Matrice de corrélation : } C = \begin{pmatrix} 1 & \rho_{\Delta X \Delta Y} & \rho_{\Delta X \Delta Z} \\ \rho_{\Delta Y \Delta X} & 1 & \rho_{\Delta Y \Delta Z} \\ \rho_{\Delta Z \Delta X} & \rho_{\Delta Z \Delta Y} & 1 \end{pmatrix}$$

4.4 Déviation standard

$$\text{Déviation standard de } \Delta X: \sigma_{\Delta X} = \sqrt{\sigma_{\Delta X \Delta X}}$$

$$\text{Déviation standard de } \Delta Y: \sigma_{\Delta Y} = \sqrt{\sigma_{\Delta Y \Delta Y}}$$

$$\text{Déviation standard de } \Delta Z: \sigma_{\Delta Z} = \sqrt{\sigma_{\Delta Z \Delta Z}}$$

$$\text{Déviation standard de la distance en pente (D): } \sigma_D = \sqrt{\sigma_D^2}$$

où:

$$\sigma_D^2 = G \cdot \Sigma_{\Delta X, \Delta Y, \Delta Z} \cdot G^T$$

$$G = (\Delta X/D, \Delta Y/D, \Delta Z/D)$$

$$D = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2}$$

5. Equations en relation avec le levé GPS

5.1 Calcul du vecteur de fermeture

$$\text{Vecteur de fermeture: } (\Sigma \Delta X, \Sigma \Delta Y, \Sigma \Delta Z)$$

$$\text{Grandeur du vecteur de fermeture: } \Delta S = \sqrt{(\Sigma \Delta X)^2 + (\Sigma \Delta Y)^2 + (\Sigma \Delta Z)^2}$$

$$\text{Composant de hauteur du vecteur de fermeture:}$$

$$\Delta H = \cos \varphi \cdot \cos \lambda \cdot (\Sigma \Delta X) + \cos \varphi \cdot \sin \lambda \cdot (\Sigma \Delta Y) + \sin \varphi \cdot (\Sigma \Delta Z)$$

$$\text{fermeture de l'angle: } \Delta A = \Delta S / \Sigma D$$

où:

ΣD : Longueur du trajet

φ : Latitude du point servant d'origine

λ : Longitude du point servant d'origine

5.2 Calcul de l'angle max-min à partir des erreurs des coordonnées tridimensionnelles

$$\text{Angle max-min: } v = \sin^{-1} |(\cos \varphi \cdot \cos \lambda \cdot \Delta X + \cos \varphi \cdot \sin \lambda \cdot \Delta Y + \sin \varphi \cdot \Delta Z) / D|$$

5.3 Calcul de la longueur de la ligne géodésique entre deux points et de l'azimut à partir de la latitude et longitude de deux points

$$S \cdot \cos \alpha = M \cdot \Delta \phi$$

$$+ \frac{N}{24} (3\eta^2 - 6\eta^4 + 9\eta^6 - 3t^2\eta^2 + 2t^2\eta^4 - 54t^2\eta^6) \cdot \Delta \phi^3$$

$$+ \frac{N \cos^2 \phi}{24} (-2 - 3t^2 + 3t^2\eta^2 - 3t^2\eta^4 + 3t^2\eta^6) \cdot \Delta \phi \Delta \lambda^2$$

$$+ \frac{N}{5760} (-36\eta^2 + 207\eta^4 + 36t^2\eta^2 - 1062t^2\eta^4 + 135t^4\eta^4) \cdot \Delta \phi^5$$

$$+ \frac{N \cos^2 \phi}{5760} (-16 - 6t^2 + 4\eta^2 - 4\eta^4 + 102t^2\eta^2 + 48t^2\eta^4 + 90t^4\eta^2 - 630t^4\eta^4) \cdot \Delta \phi^3 \Delta \lambda^2$$

$$+ \frac{N \cos^4 \phi}{5760} (-8 - 20t^2 + 15t^4 - 8\eta^2 + 96t^2\eta^2 - 15t^4\eta^2 + 15t^4\eta^4) \cdot \Delta \phi \Delta \lambda^4$$

$$+ \frac{N \cos^2 \phi}{1935360} (-192 - 2016t^2) \cdot \Delta \phi^5 \Delta \lambda^2$$

$$+ \frac{N \cos^4 \phi}{1935360} (256 + 784t^2 + 4200t^4) \cdot \Delta \phi^3 \Delta \lambda^4$$

$$+ \frac{N \cos^6 \phi}{1935360} (-64 - 224t^2 + 1148t^4 - 42t^6) \cdot \Delta \phi \Delta \lambda^6$$

$$S \cdot \sin \alpha = N \cos \phi \cdot \Delta \lambda$$

$$+ \frac{N \cos \phi}{24} (1 - \eta^2 + \eta^4 - \eta^6 - 9t^2 \eta^2 + 18t^2 \eta^4 - 27t^2 \eta^6) \cdot \Delta \phi^2 \Delta \lambda$$

$$+ \frac{N \cos^3 \phi}{24} (-t^2) \cdot \Delta \lambda^3$$

$$+ \frac{N \cos \phi}{5760} (7 + 10\eta^2 - 27\eta^4 - 54t^2 \eta^2 - 642t^2 \eta^4 + 675t^4 \eta^4) \cdot \Delta \phi^4 \Delta \lambda$$

$$+ \frac{N \cos^3 \phi}{5760} (-16 - 70t^2 - 158t^2 \eta^2 + 158t^2 \eta^4 + 90t^4 \eta^2 - 180t^4 \eta^4) \cdot \Delta \phi^2 \Delta \lambda^3$$

$$+ \frac{N \cos^5 \phi}{5760} (-24t^2 + 3t^4 - 24t^2 \eta^2) \cdot \Delta \lambda^5$$

$$+ \frac{N \cos \phi}{1935360} \cdot 62 \Delta \phi^6 \Delta \lambda$$

$$+ \frac{N \cos^3 \phi}{1935360} (-416 - 2954t^2) \cdot \Delta \phi^4 \Delta \lambda^3$$

$$+ \frac{N \cos^5 \phi}{1935360} (-192 - 1680t^2 + 2562t^4) \cdot \Delta \phi^2 \Delta \lambda^5$$

$$+ \frac{N \cos^7 \phi}{1935360} (-816t^2 + 528t^4 - 6t^6) \cdot \Delta \lambda^7$$

$$\Delta \alpha = \cos \phi \cdot t \cdot \Delta \lambda$$

$$+ \frac{\cos \phi \cdot t}{24} (3 + 2\eta^2 - 2\eta^4 + 2\eta^6) \cdot \Delta \phi^2 \Delta \lambda$$

$$+ \frac{\cos^3 \phi \cdot t}{24} (2 + 2\eta^2) \cdot \Delta \lambda^3$$

$$+ \frac{\cos \phi \cdot t}{5760} (75 - 4\eta^2 + 92\eta^4 - 120t^2 \eta^2 + 264t^2 \eta^4) \cdot \Delta \phi^4 \Delta \lambda$$

$$+ \frac{\cos^3 \phi \cdot t}{5760} (60 - 120t^2 + 52\eta^2 - 320t^2 \eta^2 - 112t^2 \eta^4) \cdot \Delta \phi^2 \Delta \lambda^3$$

$$+ \frac{\cos^5 \phi \cdot t}{5760} (48 - 24t^2 + 96\eta^2 - 48\eta^4 - 120t^2 \eta^2 - 96t^2 \eta^4) \cdot \Delta \lambda^5$$

$$+ \frac{\cos \phi \cdot t}{967680} \cdot 1281 \Delta \phi^6 \Delta \lambda$$

$$+ \frac{\cos^3 \phi \cdot t}{967680} (1050 - 5880t^2) \cdot \Delta \phi^4 \Delta \lambda^3$$

$$+ \frac{\cos^5 \phi \cdot t}{967680} (1008 - 5544t^2 + 1008t^4) \cdot \Delta \phi^2 \Delta \lambda^5$$

$$+ \frac{\cos^7 \phi \cdot t}{967680} (816 - 1248t^2 + 96t^4) \cdot \Delta \lambda^7$$

$$S = \sqrt{S^2 \cos^2 \alpha + S^2 \sin^2 \alpha} = \frac{S \cos \alpha}{\cos \alpha} = \frac{S \sin \alpha}{\sin \alpha}$$

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{S \sin \alpha}{S \cos \alpha}$$

$$\Delta \alpha = \alpha_{21} - \alpha_{12}$$

$$\alpha_{12} = \alpha - \frac{\Delta \alpha}{2}$$

$$\alpha_{21} = \alpha + \frac{\Delta \alpha}{2}$$

$$\Delta \lambda = \lambda_2 - \lambda_1$$

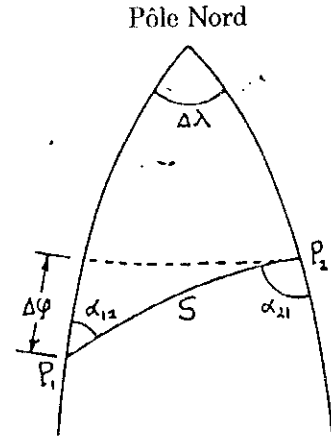
$$\Delta \phi = \phi_2 - \phi_1$$

$$\phi = \frac{1}{2}(\phi_1 + \phi_2)$$

$$\alpha = \frac{1}{2}(\alpha_{12} + \alpha_{21})$$

$$t = \tan \phi$$

$$\eta^2 = e'^2 \cos^2 \phi$$



- S** : Longueur de la ligne géodésique reliant les 2 points P_1 et P_2
a₁₂ : Azimut de P_2 au point P_1
a₂₁ : Azimut de P_1 au point P_2
λ_i : Longitude du point i
ø_i : Latitude du point i
M : Rayon de courbure du méridien (ø est une variante indépendante)
N : Rayon de courbure du prime vertical (ø est une variante indépendante)
e' : Excentricité secondaire

Polygonation

1. Calcul de la distance

1.1 Calcul de la réduction climatique du géodimètre

$$D = D_s \cdot \frac{n_s}{n} = D_s + (\Delta s - \Delta n) \cdot D_s$$

$n_s = (1 + \Delta s)$: Coefficient de réfraction standard utilisé par le géodimètre

$n = (1 + \Delta n)$: Coefficient de réfraction obtenu à partir des observations climatiques

$$\Delta n = a \cdot \frac{P}{273.16 + t} - E$$

$$a = \frac{273.16}{1013.25} \cdot (n_g - 1)$$

$$n_g - 1 = \left(287.604 + \frac{4.8864}{\lambda^2} + \frac{0.0680}{\lambda^4} \right) \cdot 10^{-6}$$

$$E = \frac{11.27e}{273.16 + t} \cdot 10^{-6}$$

... Cas d'utilisation de la pression de la vapeur obtenue à partir de l'indicateur à bulbe sec/humide

$$E = \left\{ \frac{11.27 \cdot \gamma}{100(273.16 + t)} \times 10^{\frac{7.5t}{237.3+t} + 0.7857} \right\} \times 10^{-6}$$

... Cas d'utilisation de l'humidité relative

$$E = 0.6 \times 10^{-6}$$

... Cas d'omission du calcul de la température avec bulbe sec, avec bulbe sec et de la température relative

$$P = \frac{P_1 + P_2}{2}, t = \frac{t_1 + t_2}{2}, e = \frac{e_1 + e_2}{2}$$

où:

- D : Distance après réduction climatique (m)
- D_s : Distance sans réduction climatique (m)
- P : Pression atmosphérique moyenne des points de mesure 1 et 2 (hPa)
- t : Température moyenne des points de mesure 1 et 2 (°C)
- e : Pression de la vapeur moyenne des points de mesure 1 et 2 (hPa)
- γ : Humidité relative moyenne des points de mesure 1 et 2 (%)
- E : Terme d'humidité
- n_g : Coefficient de réfraction par rapport à la vitesse de groupe
- λ : Longueur d'onde optique efficace (μ : longueur d'onde en microns)

1.2 Calcul de la pression de la vapeur à partir de l'indication d'un indicateur de tirage sec/humide

(1) Si le bulbe humide ne gèle pas

$$e = E(t') - 0.000662 \cdot (t - t') \cdot P$$

$$E(t') = 10^{\frac{7.5t'}{237.3+t'} + 0.7857}$$

(2) Si le bulbe humide gèle

$$e = E(t') - 0.000583 \cdot (t - t') \cdot P$$

$$E(t') = 10^{\frac{9.5t'}{265.5+t'} + 0.7857}$$

où:

- t : Température du bulbe sec (°C)
- t' : Température du bulbe humide (°C)
- e : Pression de la vapeur recherchée (hPa)
- E (t') : Pression de la vapeur saturée de l'eau à t' (°C) (hPa)
- P : Pression atmosphérique (hPa)

1.3 Calcul de la pression atmosphérique à partir des différences de l'élévation

Si la pression atmosphérique est nécessaire pour un point de mesure sans observation de la pression atmosphérique, elle peut être obtenue par la formule (1) ou (2) suivante.

(1)

$$P_2 = P_1 \cdot 10^{-\frac{h}{18400(1+0.00366 \cdot t)}}$$

(2)

$$P_2 = P_1 - 1.251 \cdot 10^{-4} (1 - 0.00366 \cdot t) \cdot P_1 \cdot h + dp$$

$$dp = \frac{\{1.251 \cdot 10^{-4} (1 - 0.00366 \cdot t) \cdot P_1 \cdot h\}^2}{2P_1}$$

$$h = H'_2 - H'_1$$

$$t = \frac{t_1 + t_2}{2}$$

où:

- H₁ : Elévation de la position d'observation de la pression atmosphérique (m)
 - H₂ : Elévation de la position dont on recherche la pression atmosphérique (m)
 - P₁ : Pression atmosphérique de la position d'observation (hPa)
 - P₂ : Pression atmosphérique de la position dont on recherche la pression atmosphérique (hPa)
 - t₁ : Température de la position d'observation de la pression atmosphérique (°C)
 - t₂ : Température de la position dont on recherche la pression atmosphérique (°C)
- Note: Dans le cas |h| < 500 m, il est possible d'omettre la réduction de dp.

1.4 Calcul de la température et de la pression atmosphérique au point réfléchi

$$t_2 = t_1 - 0.005 \cdot h$$

$$P_2 = P_1 - 0.12 \cdot h$$

$$h = h_2 - h_1$$

où:

- t₁: Température au point de l'instrument (°C)
- t₂: Température au point réfléchi (°C)
- P₁: Pression atmosphérique au point de l'instrument (hPa)
- P₂: Pression atmosphérique au point réfléchi (hPa)
- h₁: Elévation au point de l'instrument (m)
- h₂: Elévation au point réfléchi (m)

1.5 Calcul de la réduction projetée sur la surface de l'ellipsoïde de référence

$$(1) S = 2R_a \sin^{-1} \left\{ \frac{1}{2} \sqrt{\frac{D'^2 - h^2}{(R_a + H'_1)(R_a + H'_2)}} \right\}$$

$$(2) S = D \sqrt{\frac{1 - \left(\frac{h^2}{D}\right)}{\left(1 + \frac{H'_1}{R_a}\right)\left(1 + \frac{H'_2}{R_a}\right)}} + \frac{D^3}{24R_a^2} (1 - K)^2$$

$$(3) S = D - \frac{h^2}{2D} - \frac{h^4}{8D^3} - \frac{h^6}{16D^5} - \frac{5h^8}{128D^7} - \frac{7h^{10}}{256D^9} - \frac{21h^{12}}{1024D^{11}} \\ - \frac{H'_m D}{R_a} + \frac{h^2 H'_m}{2R_a D} + \frac{h^4 H'_m}{8R_a D^3} + \frac{h^6 H'_m}{16R_a D^5} \\ + \frac{D}{16R_a^2} (5H_1'^2 + 5H_2'^2 + 6H_1' H_2') + \frac{D^3}{24R_a^2} (1 - K)^2$$

$$R_a = \frac{NM}{N \cos^2 \alpha + M \sin^2 \alpha}$$

$$D' = D - \frac{2K - K^2}{24R_a^2} \cdot D^3$$

$$S \cdot \sin \alpha = N \cdot l \cdot \cos \varphi \left(1 - \frac{1}{24} l^2 \cdot \sin^2 \varphi + \frac{1}{24} \cdot \frac{1 + \eta^2 - 9\eta^2 \cdot t^2}{V^4} \cdot b^2 \right)$$

$$S \cdot \cos \alpha = M \cdot b \left(1 - \frac{1}{24} (2 + 3t^2 + 2\eta^2) \cos^2 \varphi - \frac{3}{24} \eta^2 \cdot \frac{t^2 - 1 - \eta^2 - 4\eta^2 \cdot t^2}{V^4} \cdot b^2 \right)$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{S \cdot \sin \alpha}{S \cdot \cos \alpha} \right)$$

$$\varphi = \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2}, b = \varphi_2 - \varphi_1, l = l_2 - l_1$$

$$\eta^2 = e'^2 \cdot \cos^2 \varphi, t = \tan \varphi, V^2 = 1 + e'^2 \cdot \cos^2 \varphi$$

$$N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \cdot \sin^2 \varphi}}, M = \frac{a(1 - e^2)}{\sqrt{(1 - e^2 \sin^2 \varphi)^3}}$$

$$h = H'_2 + H'_1$$

$$H'_1 = H_1 + i_1$$

$$H'_2 = H_2 + f_2$$

$$H'_m = \frac{1}{2} (H'_1 + H'_2)$$

$$K =$$

$$a =$$

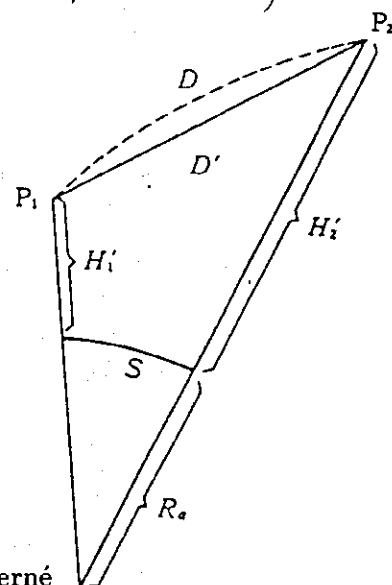
$$e^2 =$$

$$e'^2 =$$

où:

: selon la réglementation du pays concerné

: origine de l'ellipsoïde de référence du pays concerné



N : Rayon de courbure du prime vertical

M : Rayon de courbure du méridien

H₁ : Elévation du point de mesure 1

H₂ : Elévation du point de mesure 2

i₁ : Elévation de l'instrument de mesure du point de mesure 1

i₂ : Elévation de l'instrument de mesure du point de mesure 2

R_α : Rayon de courbure de la face à azimuth α

S : Distance sur le plan de l'ellipsoïde de référence (appelée par la suite "distance sphérique")

D : Distance de mesure

Note: Pour N et M, on a utilisé la moyenne de la latitude des points de mesure 1 et 2.

1.6 Calcul de l'excès sphérique

$$\varepsilon = \frac{\rho''}{2R^2} b \cdot c \sin \alpha$$

R = : origine de l'ellipsoïde de référence du pays concerné

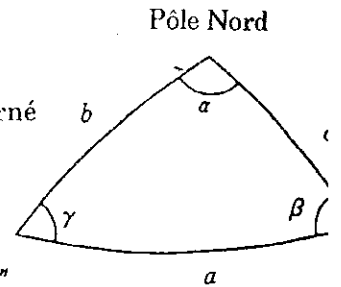
où:

ε : Excès sphérique (sec.)

b : Distance sphérique (m)

c : Distance sphérique (m)

Note: Si b et c sont en km, le calcul est possible en tant que $\frac{\rho''}{2R^2} =$



1.7 Longueur de côté de triangle (ligne d'opération brisée incluse)

$$(1) a = \sqrt{b^2 + c^2 - 2bc \cos A}$$

$$(2) a = (b + c) \frac{\sin \frac{A}{2}}{\cos \frac{B - C}{2}}$$

$$\tan \frac{B - C}{2} = \frac{b - c}{b + c} \cot \frac{A}{2}$$

$$\frac{B + C}{2} = 90^\circ - \frac{A}{2}$$

$$A = \alpha - \frac{\varepsilon}{3}, B = \beta - \frac{\varepsilon}{3}, C = \gamma - \frac{\varepsilon}{3}$$

où:

α, β, γ : Angle sphérique (angle d'observation)

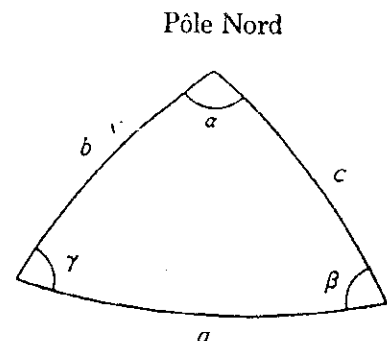
A, B, C : Angle planaire

Calcul des angles internes du triangle

$$(1) \alpha = \cos^{-1} \left(\frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc} \right) + \frac{\varepsilon}{3}$$

$$\beta = \cos^{-1} \left(\frac{c^2 + a^2 - b^2}{2ca} \right) + \frac{\varepsilon}{3}$$

$$\gamma = \cos^{-1} \left(\frac{a^2 + b^2 - c^2}{2ab} \right) + \frac{\varepsilon}{3}$$



$$(2) \alpha = 2 \tan^{-1} \sqrt{\frac{(s-b)(s-c)}{s(s-a)}} + \frac{\varepsilon}{3}$$

$$\beta = 2 \tan^{-1} \sqrt{\frac{(s-c)(s-a)}{s(s-b)}} + \frac{\varepsilon}{3}$$

$$\gamma = 2 \tan^{-1} \sqrt{\frac{(s-a)(s-b)}{s(s-c)}} + \frac{\varepsilon}{3}$$

$$s = \frac{1}{2}(a+b+c)$$

où:

α, β, γ : Angle sphérique

a, b, c : Valeur mesurée

ε : Excès sphérique

2. Calcul de l'équilibrage de réseau

2.1 Equilibrage de réseau XY

(1) Réduction de direction

$$t_{12} = T_{12} + (t_{12} - T_{12}) \quad , \quad t_{12} = T_{12} - (T_{12} - t_{12})$$

$$t_{21} = T_{21} + (t_{21} - T_{21}) \quad , \quad t_{21} = T_{21} - (T_{21} - t_{21})$$

$(t_{12} - T_{12})$, $(t_{21} - T_{21})$, $(T_{12} - t_{12})$ et $(T_{21} - t_{21})$. Le calcul de l'élévation se fait avec l'une des formules 1) à 3) suivantes.

$$1) \quad (t_{12} - T_{12})'' = -\frac{\rho''}{4R_0^2 m_0^2} (y'_1 + y'_2)(x'_2 - x'_1) + \frac{\rho''}{12R_0^2 m_0^2} (x'_2 - x'_1)(y'_2 - y'_1)$$

$$(t_{21} - T_{21})'' = \frac{\rho''}{4R_0^2 m_0^2} (y'_1 + y'_2)(x'_2 - x'_1) + \frac{\rho''}{12R_0^2 m_0^2} (x'_2 - x'_1)(y'_2 - y'_1)$$

$$2) \quad (t_{12} - T_{12})'' = -\frac{\rho''}{6R_0^2 m_0^2} (x'_2 - x'_1)(2y'_1 + y'_2)$$

$$(t_{21} - T_{21})'' = \frac{\rho''}{6R_0^2 m_0^2} (x'_2 - x'_1)(y'_1 + 2y'_2)$$

$$3) \quad (T_{12} - t_{12})'' = \frac{\rho''}{6R_1^2 m_0^2} (x'_2 - x'_1)(2y'_1 + y'_2) - \frac{\rho''}{3R^3 m_0^3} \cdot \eta^2 \cdot t \cdot (x'_2 - x'_1)^2 (y'_1 + y'_2)$$

$$+ \frac{\rho''}{6R^3 m_0^3} \cdot \eta^2 \cdot t \cdot (y'_2 - y'_1)(3y_1'^2 + 2y'_1 y'_2 + y_2'^2)$$

$$(T_{21} - t_{21})'' = \frac{\rho''}{6R_1^2 m_0^2} (x'_2 - x'_1)(y'_1 + 2y'_2) + \frac{\rho''}{3R^3 m_0^3} \cdot \eta^2 \cdot t \cdot$$

$$(x'_2 - x'_1)^2 (y'_1 + 3y'_2) - \frac{\rho''}{6R^3 m_0^3} \cdot \eta^2 \cdot t \cdot (y'_2 - y'_1)(y_1'^2 + 2y'_1 y'_2 + 3y_2'^2)$$

(2) Réduction de distance

$$s_{12} = S_{12} \cdot \left(\frac{s}{S} \right)_{12} \quad \text{et} \quad s_{12} = S_{12} \frac{1}{\left(\frac{S}{s} \right)_{12}}$$

$$\left(\frac{s}{S} \right)_{12} \quad \text{et} \quad \left(\frac{S}{s} \right)_{12} \quad \text{Le calcul de l'élévation se fait avec l'une des formules}$$

1) à 3) suivantes.

$$1) \quad \left(\frac{s}{S} \right)_{12} = m_0 \left\{ 1 + \frac{1}{6R_0^2 m_0^2} (y_1'^2 + y'_1 y'_2 + y_2'^2) \right\}$$

2)

$$\left(\frac{S}{s} \right)_{12} = \frac{1}{m_0} \left\{ 1 - \frac{1}{6R_1^2 m_0^2} (y_1'^2 + y'_1 y'_2 + y_2'^2) + \frac{\eta^2 \cdot t}{6R^3 m_0^3} (x'_2 - x'_1)(y_1'^2 + 2y'_1 y'_2 + 3y_2'^2) \right\}$$

$$3) \quad \left(\frac{S}{s} \right)_{12} = \frac{1}{6} \left\{ \frac{1}{m_1} + \frac{8}{(m_1 + m_2)} + \frac{1}{m_2} \right\}$$

$$t = \tan \varphi_1$$

$$\eta^2 = e'^2 \cdot \cos^2 \varphi_1$$

m_0 = Coefficient d'échelle de l'origine du système de coordonnées

où:

R_1 : Rayon de courbure moyen (φ_1 est une variable indépendante)

R : Rayon de courbure moyen ($R_1 \neq R$)

t_{ij} : Azimut d'observation sur les coordonnées du point de mesure j à partir du point de mesure i

T_{ij} : Azimut d'observation sur la sphère du point de mesure j à partir du point de mesure i

x'_{ij}, y'_{ij} : Coordonnées x, y du point de mesure i (valeurs approximatives)

s_{ij} : Distance mesurée sur les coordonnées du point de mesure j à partir du point de mesure i

e' : Excentricité secondaire

R_0 : Rayon de courbure moyen de l'origine du système de coordonnées

S_{ij} : Distance mesurée sur la sphère du point de mesure j à partir du point de mesure i

m_1, m_2 sont obtenus dans la formule (2) de 8.1 (pour m_1 $y'_1 \equiv y$, φ_1 est la variable indépendante pour M et N, pour m_2 $y'_2 \equiv y$, φ_2 est la variable indépendante pour M et N)

(3) Equation d'observation

1) Equation d'observation de la distance

$$v(s_{12}) = \frac{v_s}{s'_{12}} \cdot \rho'' = -b_{12} \Delta x_1 - a_{12} \Delta y_1 + b_{12} \Delta x_2 + a_{12} \Delta y_2 - \frac{s_{12} - s'_{12}}{s'_{12}} \cdot \rho''$$

2) Equation d'observation de l'azimut

$$v(t_{12}) = -\Delta Z_1 + a_{12} \Delta x_1 - b_{12} \Delta y_1 - a_{12} \Delta x_2 + b_{12} \Delta y_2 - l_{12}$$

3) Equation d'observation de l'azimut

$$v(\alpha_{12}) = a_{12} \Delta x_1 - b_{12} \Delta y_1 - a_{12} \Delta x_2 + b_{12} \Delta y_2 - m_{12}$$

où:

$$s'_{12} = \sqrt{(x'_2 - x'_1)^2 + (y'_2 - y'_1)^2}$$

$$t'_{12} = \tan^{-1} \left(\frac{y'_2 - y'_1}{x'_2 - x'_1} \right)$$

$$l_{12} = Z'_1 + U_{12} - t'_{12}$$

$$m_{12} = A_{12} + \gamma + (t_{12} - T_{12}) - t'_{12}$$

$$a_{12} = \frac{y'_2 - y'_1}{s'^2_{12}} \cdot \rho''$$

$$b_{12} = \frac{x'_2 - x'_1}{s'^2_{12}} \cdot \rho''$$

$$x_1 = x'_1 + \Delta x_1$$

$$y_1 = y'_1 + \Delta y_1$$

$$x_2 = x'_2 + \Delta x_2$$

$$y_2 = y'_2 + \Delta y_2$$

où:

x_i, y_i : Coordonnées x, y du point de mesure i (valeurs les plus probables)

x'_i, y'_i : Coordonnées x, y du point de mesure i (valeurs approximatives)

$\Delta x_i, \Delta y_i$: Coordonnées x, y du point de mesure i (valeurs réduites)
 s_{12} : Distance mesurée sur les coordonnées du point de mesure 2 à partir du point de mesure 1
 ΔZ_1 : Erreur d'orientation (réduction par rapport à l'angle standard)
 Z_1 : Azimut (azimut obtenu à partir des coordonnées approximatives du point de mesure 1 et de son origine 0)
 U_{12} : Angle sur les coordonnées de la direction 0 et du point de mesure 2 observés au point de mesure 1
 A_{12} : Azimut géodésique du point de mesure 2 à partir du point de mesure 1
 γ : Angle d'aberration du méridien au point de mesure 1
 $(t_{12} - T_{12})$: Réduction de direction du point de mesure 2 à partir du point de mesure 1
 Δt_{ij} : Réduction concernant l'azimut obtenu à partir des coordonnées approximatives des points i et j
 Note: L'équation d'observation de l'azimut utilise aussi le calcul à un point fixe une direction spécifiée.

(4) Poids de l'équation d'observation

1) Poids de l'équation d'observation de la distance

$$P_s = \frac{m_s^2 S^2}{(m_s^2 + \gamma^2 S^2) \rho''^2}$$

2) Poids de l'équation d'observation de l'azimut

$$P_t = \frac{N_t}{N}$$

3) Poids de l'équation d'observation de l'azimut

$$P_A = \frac{N_A}{N}$$

où:

S : Distance mesurée
 m_s : Déviation standard sans relation avec la longueur de la distance mesurée avec l'indicateur de distance
 γ : Coefficient proportionnel de l'erreur proportionnelle à la distance mesurée avec l'indicateur de distance
 m_t : Déviation standard unidirectionnelle de l'angle
 N : Nombre de mesures préconisé
 N_t : Nombre de mesures de l'azimut réellement effectuées
 N_A : Nombre de mesures de l'azimut réellement effectuées

Note 1: P_s est défini avec $P_t=1$.

Note 2: La valeur de P_t de la formule (2) sera en principe 1.

Note 3: Pour le poids de l'équation d'observation de l'azimut avec un point fixe et une direction préconisée, N_A est défini de sorte que $P_A=1$.

2.2 Equilibrage de réseau de BL

(1) Conversion de l'azimut astronomique à l'azimut géodésique

$$A_g = A_a - (\lambda_a - \lambda_g) \sin \varphi_a - \tan \alpha (\xi \sin A - \eta \cos A)$$

$$\xi = \varphi_a - \varphi_g$$

$$\eta = (\lambda_a - \lambda_g) \cos \varphi_a$$

$$\tan \alpha = \frac{H_2 - H_1 - \frac{S^2}{2R}}{S}$$

où:

A_g : Azimut géodésique

A_a : Azimut astronomique

λ_g : Latitude géodésique

λ_a : Latitude astronomique

φ_g : Longitude géodésique

φ_a : Longitude astronomique

ξ : Composant de direction du méridien de déviation par rapport à la ligne verticale

η : Composant de direction du prime vertical de déviation par rapport à la ligne verticale

H_1 : Elévation du point d'observation de l'azimut

H_2 : Elévation des points cardinaux

α : Angle vertical en regardant les points cardinaux à partir du point d'observation de l'azimut

R : Rayon de courbure moyen entre le point d'observation de l'azimut et les points cardinaux

S : Distance sphérique entre le point d'observation de l'azimut et les points cardinaux

Note: $A = A_a$

(2) Calcul de la longueur de la ligne géodésique et de l'azimut entre 2 points à partir de la latitude/longitude

$$S \cdot \cos \alpha = M \cdot \Delta \varphi$$

$$\begin{aligned} & + \frac{N}{24} (3\eta^2 - 6\eta^4 + 9\eta^6 - 3t^2\eta^2 + 2t^2\eta^4 - 54t^2\eta^6) \cdot \Delta \varphi^3 \\ & + \frac{N \cos^2 \varphi}{24} (-2 - 3t^2 + 3t^2\eta^2 - 3t^2\eta^4 + 3t^2\eta^6) \cdot \Delta \varphi \Delta \lambda^2 \\ & + \frac{N}{5760} (-36\eta^2 + 207\eta^4 + 36t^2\eta^2 - 1062t^2\eta^4 + 135t^4\eta^4) \cdot \Delta \varphi^5 \\ & + \frac{N \cos^2 \varphi}{5760} (-16 - 60t^2 + 4\eta^2 - 4\eta^4 + 102t^2\eta^2 + 48t^2\eta^4 + 90t^4\eta^2 - 630t^4\eta^4) \cdot \Delta \varphi^3 \Delta \lambda^2 \\ & + \frac{N \cos^4 \varphi}{5760} (-8 - 20t^2 + 15t^4 - 8\eta^2 + 96t^2\eta^2 - 15t^4\eta^2 + 15t^4\eta^4) \cdot \Delta \varphi \Delta \lambda^4 \\ & + \frac{N \cos^2 \varphi}{1935360} (-192 - 2016t^2) \cdot \Delta \varphi^5 \Delta \lambda^2 \\ & + \frac{N \cos^4 \varphi}{1935360} (256 + 784t^2 + 4200t^4) \cdot \Delta \varphi^3 \Delta \lambda^4 \\ & + \frac{N \cos^6 \varphi}{1935360} (-64 - 224t^2 + 1148t^4 - 42t^6) \cdot \Delta \varphi \Delta \lambda^6 \\ S \cdot \sin \alpha & = M \cdot \cos \varphi \cdot \Delta \lambda \\ & + \frac{N \cos \varphi}{24} (1 - \eta^2 + \eta^4 - \eta^6 - 9t^2\eta^2 + 18t^2\eta^4 - 27t^2\eta^6) \Delta \varphi^2 \Delta \lambda \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{N \cos^3 \varphi}{24} (-t^2) \cdot \Delta \lambda^3 \\
& + \frac{N \cos \varphi}{5760} (7 + 10\eta^2 - 27\eta^4 - 54t^2\eta^2 - 642t^2\eta^4 + 675t^4\eta^4) \cdot \Delta \varphi^4 \Delta \lambda \\
& + \frac{N \cos \varphi}{5760} (-16 - 70t^2 - 158t^2\eta^2 + 158t^2\eta^4 + 90t^4\eta^2 - 180t^4\eta^4) \cdot \Delta \varphi^2 \Delta \lambda^3 \\
& + \frac{N \cos^5 \varphi}{5760} (-24t^2 + 3t^4 - 24t^2\eta^2) \cdot \Delta \lambda^5 \\
& + \frac{N \cos \varphi}{1935360} \cdot 62 \Delta \varphi^6 \Delta \lambda \\
& + \frac{N \cos^3 \varphi}{1935360} (-416 - 2954t^2) \cdot \Delta \varphi^4 \Delta \lambda^3 \\
& + \frac{N \cos^5 \varphi}{1935360} (-192 - 1680t^2 + 2562t^4) \cdot \Delta \varphi^2 \Delta \lambda^5 \\
& + \frac{N \cos^7 \varphi}{1935360} (-816t^2 + 528t^4 - 6t^6) \cdot \Delta \lambda^7
\end{aligned}$$

$$\Delta \alpha = \cos \varphi \cdot t \cdot \Delta \lambda$$

$$+ \frac{\cos \varphi \cdot t}{24} (3 + 2\eta^2 - 2\eta^4 + 2\eta^6) \cdot \Delta \varphi^2 \Delta \lambda$$

$$+ \frac{\cos^3 \varphi \cdot t}{24} (2 + 2\eta^2) \cdot \Delta \lambda^3$$

$$+ \frac{\cos \varphi \cdot t}{5760} (75 - 4\eta^2 + 92\eta^4 - 120t^2\eta^2 + 264t^2\eta^4) \cdot \Delta \varphi^4 \Delta \lambda$$

$$+ \frac{\cos^3 \varphi \cdot t}{5760} (60 - 120t^2 + 52\eta^2 - 120t^2\eta^2 - 112t^2\eta^4) \cdot \Delta \varphi^2 \Delta \lambda^3$$

$$+ \frac{\cos^5 \varphi \cdot t}{5760} (48 - 24t^2 + 96\eta^2 - 48\eta^4 - 120t^2\eta^2 - 96t^2\eta^4) \cdot \Delta \lambda^5$$

$$+ \frac{\cos \varphi \cdot t}{967680} \cdot 1281 \Delta \varphi^6 \Delta \lambda$$

$$+ \frac{\cos^3 \varphi \cdot t}{967680} (1050 - 5880t^2) \cdot \Delta \varphi^4 \Delta \lambda^3$$

$$+ \frac{\cos^5 \varphi \cdot t}{967680} (1008 - 5544t^2 + 1008t^4) \cdot \Delta \varphi^2 \Delta \lambda^5$$

$$+ \frac{\cos^7 \varphi \cdot t}{967680} (816 - 1248t^2 + 96t^4) \cdot \Delta \lambda^7$$

$$S = \sqrt{S^2 \cos^2 \alpha + S^2 \sin^2 \alpha} = \frac{S \cos \alpha}{\cos \alpha} = \frac{S \sin \alpha}{\sin \alpha}$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{S \sin \alpha}{S \cos \alpha} \right)$$

$$\Delta \alpha = \alpha_{21} - \alpha_{12}$$

$$\alpha_{12} = \alpha - \frac{\Delta \alpha}{2}$$

$$\alpha_{21} = \alpha + \frac{\Delta\alpha}{2}$$

$$\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$$

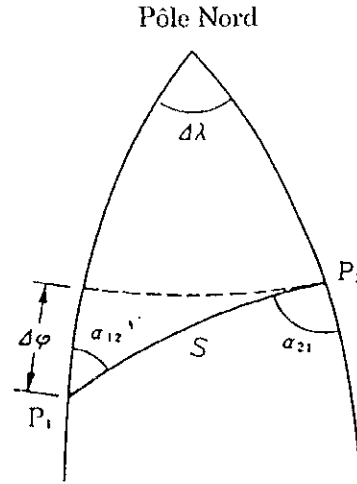
$$\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$$

$$\varphi = \frac{1}{2}(\varphi_1 + \varphi_2)$$

$$\alpha = \frac{1}{2}(\alpha_{12} + \alpha_{21})$$

$$t = \tan \varphi$$

$$\eta^2 = e'^2 \cos^2 \varphi$$



- S : Longueur de la ligne géodésique reliant les points P₁ et P₂
 α_{12} : Azimut du point P₂ au point P₁
 λ_i : Longitude du point i
 φ_i : Latitude du point i
M : Rayon de courbure du méridien (ϕ est une variable indépendante)
N : Rayon de courbure du prime vertical (ϕ est une variable indépendante)

(3) Equations d'observation

1) Equation d'observation de la distance

$$v(s_{12}) = \frac{v(s'_{12})}{S'_{12}} \rho'' = -a_{12} \cdot d\lambda_1 - b_{12} \cdot \delta\varphi_1 + a_{21} \cdot d\lambda_2 + c_{12} \cdot \delta\varphi_2 - \frac{S_{12} - S'_{12}}{S'_{12}} \cdot \rho''$$

2) Equation d'observation de la direction

$$v(T_{12}) = -\Delta Z_1 - d_{12} \cdot d\lambda_1 + e_{12} \cdot \delta\varphi_1 + d_{21} \cdot d\lambda_2 - f_{12} \cdot \delta\varphi_2 - l_{12}$$

3) Equation d'observation de l'azimut

$$v(A_{12}) = -d_{12} \cdot d\lambda_1 + e_{12} \cdot \delta\varphi_1 + d_{21} \cdot d\lambda_2 - f_{12} \cdot \delta\varphi_2 - m_{12}$$

où:

$$a_{12} = \frac{N \cdot \cos \varphi \cdot \sin \alpha}{S'_{12} \cdot \cos \varphi_1}, \quad a_{21} = \frac{N \cdot \cos \varphi \cdot \sin \alpha}{S'_{12} \cdot \cos \varphi_2}$$

$$b_{12} = \frac{M}{S'_{12}} \cdot \cos \alpha + \frac{N}{2S'_{12}} \cdot \sin \varphi \cdot \sin \alpha \cdot \Delta\lambda$$

$$c_{12} = \frac{M}{S'_{12}} \cdot \cos \alpha - \frac{N}{2S'_{12}} \cdot \sin \varphi \cdot \sin \alpha \cdot \Delta\lambda$$

$$d_{12} = \frac{\cos \varphi}{\cos \varphi_1} \cdot \left(\frac{N}{S'_{12}} \cdot \cos \alpha - \frac{t}{2} \right), \quad d_{21} = \frac{\cos \varphi}{\cos \varphi_2} \cdot \left(\frac{N}{S'_{12}} \cdot \cos \alpha - \frac{t}{2} \right)$$

$$e_{12} = \frac{M}{S'_{12}} \cdot \sin \alpha - \frac{N}{2S'_{12}} \cdot \sin \varphi \cdot \cos \alpha \cdot \Delta\lambda$$

$$f_{12} = \frac{M}{S'_{12}} \cdot \sin \alpha + \frac{N}{2S'_{12}} \cdot \sin \varphi \cdot \cos \alpha \cdot \Delta\lambda$$

$$d\lambda_1 = \cos \varphi_1 \cdot \delta\lambda_1$$

$$d\lambda_2 = \cos \varphi_2 \cdot \delta\lambda_2$$

$$l_{12} = Z'_1 + U_{12} - A'_{12}$$

$$m_{12} = A_{12} - A'_{12}$$

$$\alpha = \frac{1}{2}(\alpha_{12} + \alpha_{21})$$

$$\varphi = \frac{1}{2}(\varphi_1 + \varphi_2)$$

$$\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$$

$$t = \tan \varphi$$

$$\Phi_1 = \varphi_1 + \delta\varphi_1$$

$$\Phi_2 = \varphi_2 + \delta\varphi_2$$

$$\Lambda_1 = \lambda_1 + \delta\lambda_1$$

$$\Lambda_2 = \lambda_2 + \delta\lambda_2$$

où:

φ_i, Λ_i : Latitude et longitude du point de mesure i (valeurs les plus probables)

φ_i, λ_i : Latitude et longitude du point de mesure i (valeurs approximatives)

$\delta\varphi_i, \delta\lambda_i$: Latitude et longitude du point de mesure i (valeurs réduites)

S'_{12} : Distance obtenue par la formule de calcul de (2) en utilisant la latitude et longitude approximatives des points de mesure 1 et 2

S_{12} : Distance sphérique mesurée des points de mesure 1 et 2

ΔZ_1 : Erreur d'élévation (réduction par rapport à l'angle d'élévation)

Z_1 : Angle standard (azimut obtenu à partir de la latitude et longitude approximatives du point de mesure 1 et sa direction 0)

U_{12} : Angle sur l'ellipsoïde de référence de la direction 0 observée pour le point de mesure 1 et du point de mesure 2

A'_{12} : Azimut du point de mesure 2 à partir du point de mesure 1 obtenu avec la formule de calcul de (2) en utilisant la latitude et longitude approximatives des points de mesure 1 et 2

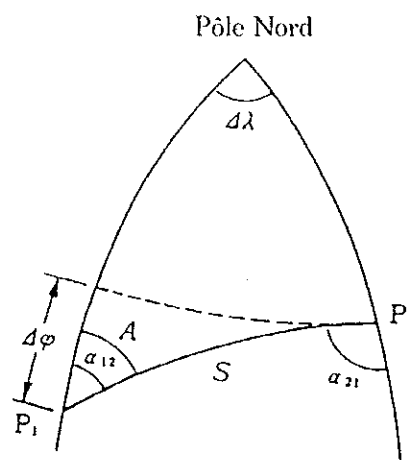
Λ_{12} : Azimut géodésique observé du point de mesure 2 à partir du point de mesure 1

M : Rayon de courbure du méridien (φ est une variable indépendante)

N : Rayon de courbure du prime vertical (φ est une variable indépendante)

α_{12} : Azimut du point de mesure 2 à partir du point de mesure 1 obtenu par la formule de calcul de (2) en utilisant la latitude et longitude approximatives des points de mesure 1 et 2 (azimut en avant)

α_{21} : Azimut du point de mesure 1 à partir du point de mesure 2 obtenu par la formule de calcul de (2) en utilisant la latitude et longitude approximatives des points de mesure 1 et 2 (azimut en arrière) $\pm 180^\circ$



(4) Poids de l'équation d'observation

Le poids de l'équation d'observation est conforme à (4) de 4.1.

2.3 Calcul de moyenne

(1) Calcul de moyenne

$$\bar{X}_{(n,1)} = X_0 + X_{(n,1)}$$

$$\Lambda \wedge \Lambda (a)$$

$$\underset{(m,1)}{V} = \underset{(m,n)}{A} \underset{(n,1)}{X} - \underset{(m,1)}{L} \quad \wedge \wedge \wedge (b)$$

$$\underset{(n,n)}{B} \underset{(n,1)}{X} = \underset{(n,1)}{R} \quad \wedge \wedge \wedge (c)$$

$$B = A^T P A, R = A^T P L$$

$$X = Q R \quad \wedge \wedge \wedge (d)$$

cas : résolution libre

$$Q = B(BB)^{-1} B(BB)^{-1} B \quad \wedge \wedge \wedge (e)$$

cas : hors de la résolution libre

$$Q = B^{-1} \quad \wedge \wedge \wedge (f)$$

où:

X_0 : Vecteur de valeur approximative

X : Vecteur de valeur inconnue (correction minime)

\bar{X} : Vecteur de la valeur la plus probable

V : Vecteur résiduel (valeur réduite)

A : Matrice de coefficient de valeur inconnue

L : Vecteur de terme constant

P : Matrice diagonale où l'élément diagonal est le poids P_i et tous les autres éléments sont 0

m : Nombre d'équations

n : Nombre d'inconnues

(2) Calcul de \sqrt{Q}

\sqrt{Q} est obtenu à partir de la formule (e) de (1) ou de la formule (f) de (1) selon la méthode de résolution.

a) Equilibrage de réseau de XY

$$\sqrt{Q_i} = \sqrt{Q_{xxi} + Q_{yyi}} \quad \wedge \wedge \wedge (a)$$

b) Equilibrage de réseau de BL

$$\sqrt{Q_i} = \sqrt{Q'_{\varphi\varphi i} + Q'_{\lambda\lambda i}} \quad \wedge \wedge \wedge (b)$$

$$Q'_{\varphi\varphi i} = \left(\frac{M_i}{\rho''} \right)^2 \times Q_{\varphi\varphi i}$$

$$Q'_{\lambda\lambda i} = \left(\frac{N_i \cdot \cos \varphi_i}{\rho''} \right)^2 \times Q_{\lambda\lambda i}$$

où:

M_i : Rayon de courbure du méridien (φ_i est une variable indépendante)

N_i : Rayon de courbure du prime vertical (φ_i est une variable indépendante)

Q_{xxi} : Élément diagonal de Q conforme à la coordonnée x du i ème point pour l'équilibrage de réseau de XY

Q_{yyi} : Élément diagonal de Q conforme à la coordonnée y du i ème point pour l'équilibrage de réseau de XY

$Q_{\varphi\varphi i}$: Élément diagonal de Q conforme à φ du i ème point pour l'équilibrage de réseau de BL

$Q_{\lambda\lambda i}$: Élément diagonal de Q conforme à λ du i ème point pour l'équilibrage de réseau de BL

(1) Déviation standard de l'observation du poids unitaire

$$m_0 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m P_i v_i^2}{(m - \gamma)}}$$

$$m_0 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m P_i v_i^2}{(m-\gamma) + \alpha}}$$

m_0 : Déviation standard de l'observation du poids unitaire

v : Résidu de chaque équation d'observation

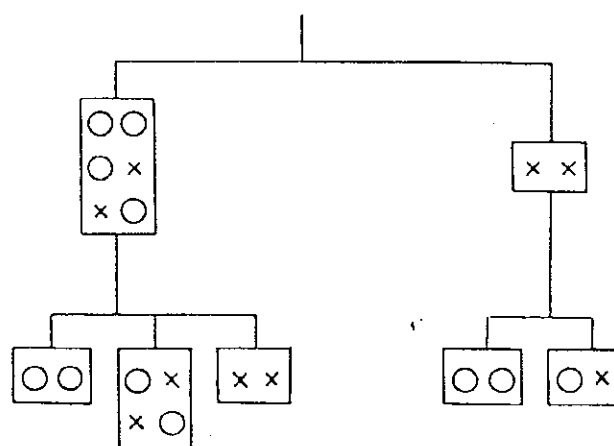
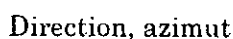
r : Nombre d'inconnues ($2n$ + nombre d'erreur standard)

n : Nombre d'inconnues

α : L'absence de rang dans l'équation normale (B de la formule (c) de (1) de 4.3)

est obtenu dans la figure ci-dessous.

- ## Mesure géodésique



Absence de rang dans l'équation normale	2	3	4	2	3
---	---	---	---	---	---

○ : Observation

× : Pas d'observation

Note: En cas d'utilisation de la formule (d) de (1) de 4.3, utilisation de la formule b).

(2) Déviation standard de la valeur la plus probable de chaque inconnue

a) Equilibrage de réseau de XY

$$m_{xxi} = m_0 \sqrt{Q_{xxi}}$$

$$m_{\text{EV}} = m_0 \sqrt{Q_{\text{EV}}}$$

où:

Q_{xxi}, Q_{yyi} : Formule (a) de (2) de 4.3

Note: M_{xxi}, M_{yyi} sont indiqués en mètres.

b) Equilibrage de réseau de BL

$$m_{\varphi\varphi i} = m_0 \sqrt{Q'_{xu}}$$

$$m_{\lambda\lambda i} = m_0 \sqrt{Q'_{\lambda\lambda i}}$$

où:

$Q'_{\varphi\varphi i}, Q'_{\lambda\lambda i}$: Formule (b) de (2) de 4.3

Note: $M_{\varphi\varphi i}, M_{\lambda\lambda i}$ est indiqué en mètres.

3. Calcul pour l'établissement du tableau des résultats

3.1 Cas du calcul de l'équilibrage de réseau de XY

(1) Calcul de la latitude, longitude et de l'angle d'aberration du méridien à partir de x, y des coordonnées rectangulaires planaires

$$\begin{aligned} \varphi = \varphi_1 - \frac{1}{2} \frac{1}{N_1^2} t_1 \left(1 + \eta_1^2 \right) \left(\frac{y}{m_0} \right)^2 \\ + \frac{1}{24} \frac{1}{N_1^4} t_1 \left(5 + 3t_1^2 + 6\eta_1^2 - 6t_1^2 \eta_1^2 - 3\eta_1^4 - 9t_1^2 \eta_1^4 \right) \left(\frac{y}{m_0} \right)^4 \\ - \frac{1}{720} \frac{1}{N_1^6} t_1 \left(61 + 90t_1^2 + 45t_1^4 + 107\eta_1^2 - 162t_1^2 \eta_1^2 - 45t_1^4 \eta_1^2 \right) \left(\frac{y}{m_0} \right)^6 \\ + \frac{1}{40320} \frac{1}{N_1^8} t_1 \left(1385 + 3633t_1^2 + 4095t_1^4 + 1575t_1^6 \right) \left(\frac{y}{m_0} \right)^8 \end{aligned}$$

$$\lambda = \lambda_0 + \Delta\lambda$$

$$\begin{aligned} \Delta\lambda = \frac{1}{N_1 \cos \varphi_1} \left(\frac{y}{m_0} \right) \\ - \frac{1}{6} \frac{1}{N_1^3 \cos \varphi_1} \left(1 + 2t_1^2 + \eta_1^2 \right) \left(\frac{y}{m_0} \right)^3 \\ + \frac{1}{120} \frac{1}{N_1^5 \cos \varphi_1} \left(5 + 28t_1^2 + 24t_1^4 + 6\eta_1^2 + 8t_1^2 \eta_1^2 \right) \left(\frac{y}{m_0} \right)^5 \\ - \frac{1}{5040} \frac{1}{N_1^7 \cos \varphi_1} \left(61 + 662t_1^2 + 1320t_1^4 + 720t_1^6 \right) \left(\frac{y}{m_0} \right)^7 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \gamma = \frac{1}{N_1} t_1 \left(\frac{y}{m_0} \right) \\ - \frac{1}{3} \frac{1}{N_1^3} t_1 \left(1 + t_1^2 - \eta_1^2 \right) \left(\frac{y}{m_0} \right)^3 \\ + \frac{1}{15} \frac{1}{N_1^5} t_1 \left(1 + t_1^2 \right) \left(2 + 3t_1^2 \right) \left(\frac{y}{m_0} \right)^5 \end{aligned}$$

(2) Calcul du coefficient d'échelle (taux max.)

$$m = m_0 \left(1 + \frac{y^2}{2MNm_0^2} + \frac{y^4}{24M^2N^2m_0^4} \right)$$

(3) Calcul de l'azimut

$$T_{12} = t_{12} - (t_{12} - T_{12})$$

$$t_{12} = \tan^{-1} \left(\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \right)$$

(t_{12} - T_{12}) est obtenu par la formule (1) de 4.1 en utilisant x_1, y_1, x_2, y_2 .

(4) Calcul de la distance sphérique

$$S_{12} = \frac{s_{12}}{\left(\frac{s}{S} \right)_{12}}$$

$$s_{12} = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

$\left(\frac{s}{S} \right)_{12}$ est obtenu par la formule (2) de 4.1 en utilisant y_1, y_2 .

$$\eta^2 = e'^2 \cos^2 \varphi_1$$

$$t_1 = \tan \varphi_1$$

$$\Delta \lambda = \lambda - \lambda_0 \text{ (la direction Est est positive)}$$

où:

φ_0 : Latitude de l'origine du système de coordonnées

λ_0 : Longitude de l'origine du système de coordonnées

φ : Latitude recherchée

λ : Longitude recherchée

m_0 : Coefficient d'échelle de l'origine du système de coordonnées

m : Coefficient d'échelle du point (x, y) de coordonnées

γ : Angle d'aberration du méridien recherché

φ_1 : Latitude du bout de la ligne verticale à partir du point (x, y) de coordonnées vers le méridien standard

x_i : Coordonnée x du point de mesure i (valeur la plus probable)

$y_i = y$: Coordonnée y du point de mesure i (valeur la plus probable)

N_1 : Rayon de courbure du prime vertical (φ_1 est une variable indépendante)

N : Rayon de courbure du prime vertical (φ est une variable indépendante)

M : Rayon de courbure du méridien (φ est une variable indépendante)

e' : Excentricité secondaire

3.2 Cas du calcul de l'équilibrage de réseau de BL

(1) Calcul de x, y des coordonnées rectangulaires planaires et de l'angle d'aberration du méridien à partir de la latitude, longitude

$$\begin{aligned} x = & \left\{ (S - S_0) + \frac{1}{2} N \cos^2 \varphi \cdot t \cdot (\Delta \lambda)^2 + \frac{1}{24} N \cos^4 \varphi \cdot t (5 - t^2 + 9\eta^2 + 4\eta^4) (\Delta \lambda)^4 \right\} \\ & - \frac{1}{720} N \cos^6 \varphi \cdot t (-61 + 58t^2 - t^4 - 270\eta^2 + 330t^2\eta^2) (\Delta \lambda)^6 \\ & \left\{ - \frac{1}{40320} N \cos^8 \varphi \cdot t (-1385 + 3111t^2 - 543t^4 + t^6) (\Delta \lambda)^8 \right\} \cdot m_0 \end{aligned}$$

$$y = \left\{ N \cos \varphi \cdot \Delta \lambda - \frac{1}{6} N \cos^3 \varphi (-1 + t^2 - \eta^2) (\Delta \lambda)^3 \right. \\ \left. - \frac{1}{120} N \cos^5 \varphi (-5 + 18t^2 - t^4 - 14\eta^2 + 58t^2 \eta^2) (\Delta \lambda)^5 \right. \\ \left. - \frac{1}{5040} N \cos^7 \varphi (-61 + 479t^2 - 179t^4 + t^6) (\Delta \lambda)^7 \right\} \cdot m_0$$

$$\tau = \cos \varphi \cdot t \cdot \Delta \lambda$$

$$+ \frac{1}{3} \cos^3 \varphi \cdot t (1 + 3\eta^2 + 2\eta^4) (\Delta \lambda)^3 + \frac{1}{15} \cos^5 \varphi \cdot t (2 - t^2) (\Delta \lambda)^5$$

(2) Calcul du coefficient d'échelle

Calcul avec la formule (2) de 8.1 en utilisant y et σ calculés avec la formule (1) de 8.2

(3) Calcul de l'azimut

$$T_{12} = \alpha_{12} - \gamma$$

γ est calculé avec la formule (2) de 8.2 en utilisant σ_1 , λ_1 .

α_{12} est calculé avec la formule (2) de 4.2 en utilisant σ_1 , λ_1 , σ_2 , λ_2 .

(4) Calcul de la distance sphérique

S_{12} est calculé avec la formule (2) de 4.2 en utilisant σ_1 , λ_1 , σ_2 , λ_2 .

où:

$$\eta^2 = e'^2 \cos^2 \varphi$$

$$t = \tan \varphi$$

S_0 : Longueur de l'arc du méridien jusqu'à l'origine du système de coordonnées à partir de l'équateur

S : Longueur de l'arc du méridien jusqu'à la latitude σ à partir de l'équateur

φ_i : Latitude du point de mesure i (valeur la plus probable)

λ_i : Longitude du point de mesure i (valeur la plus probable)

x : x des coordonnées rectangulaires planaires recherché

y : y des coordonnées rectangulaires planaires recherché

Note: Les autres numéros sont comme pour 8.1.

4. Calcul de l'élévation

4.1 Calcul de réduction pour l'angle vertical mesuré

(1) En cas de réduction de la ligne de vision à la ligne de mesure de distance

$$x_i = \sin^{-1} \left(\frac{e_i}{D} \cos \alpha_i \right)$$

$$e_1 = i_1 - E_1 + E_2 - f_2$$

$$e_2 = i_2 + E_1 - E_2 - f_1$$

$$\alpha'_i = \alpha_i + x_i$$

où:

D : Distance en pente mesurée

E_1 : Hauteur de l'indicateur de distance ou du réflecteur au moment de la mesure de la distance du point de mesure 1

E_2 : Hauteur de l'indicateur de distance ou du réflecteur au moment de la mesure de la distance du point de mesure 2

i_i : Hauteur du théodolite au moment de l'observation de l'angle vertical

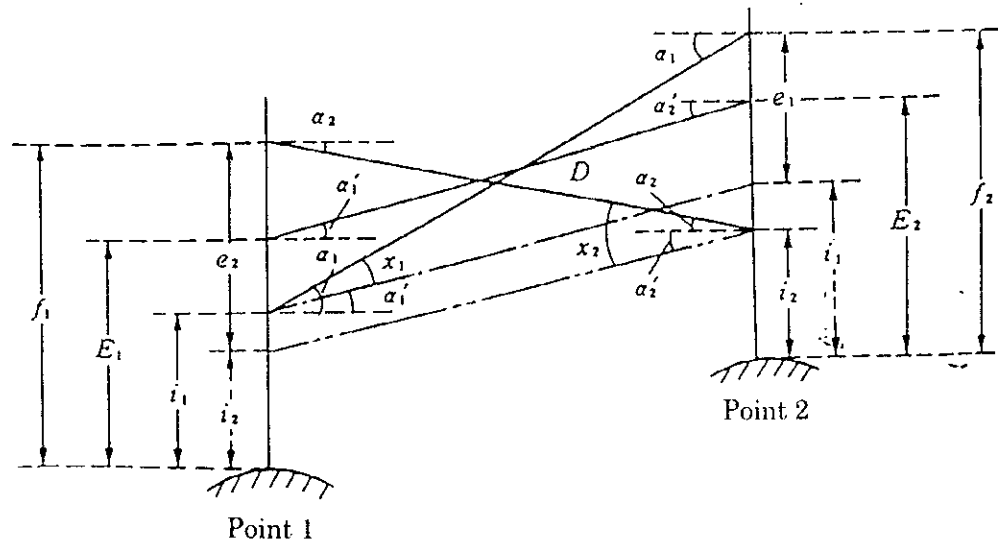
f_i : Hauteur objectif au moment de l'observation de l'angle vertical

x_i : Réduction

α_i : Angle vertical observé

α'_i : Angle vertical réduite de la ligne de vision à la ligne de mesure de distance

Note: L'indication i est le numéro du point de mesure.



(2) En cas de réduction de sorte que la hauteur objectif devienne identique à celle du théodolite

1) Réduction de l'angle vertical positif

$$x_1 = \tan^{-1} \left\{ \frac{(i_1 - f_2) \cos \alpha_1}{\frac{S}{\cos \alpha_1} + (i_1 - f_2) \sin \alpha_1} \right\}$$

2) Réduction de l'angle vertical négatif

$$x_2 = \tan^{-1} \left\{ \frac{(i_2 - f_1) \cos \alpha_2}{\frac{S}{\cos \alpha_2} + (i_2 - f_1) \sin \alpha_2} \right\}$$

3) Angle vertical quand la hauteur du théodolite et celle de l'objectif sont identiques

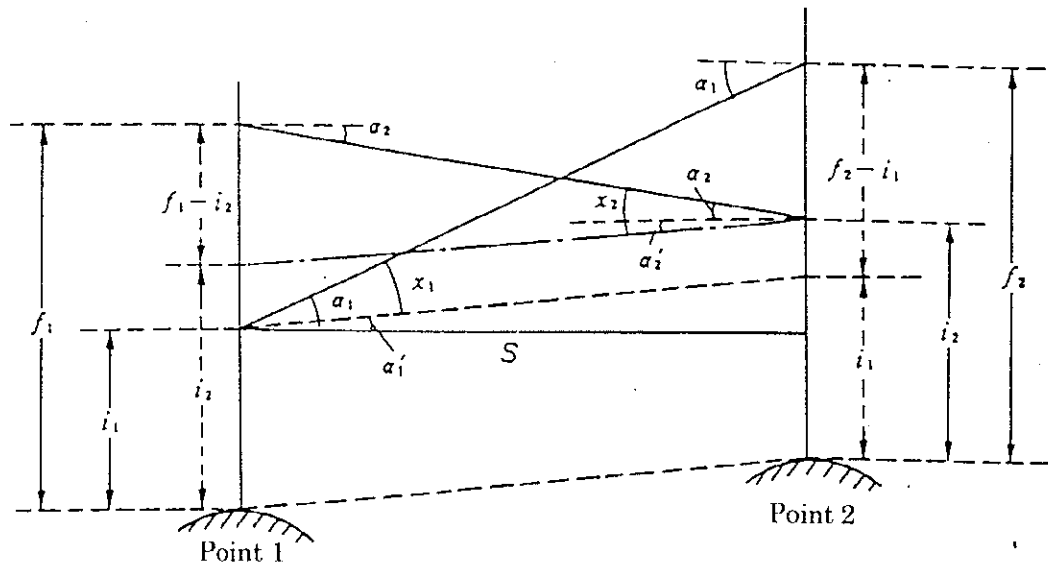
$$\alpha'_1 = \alpha_1 + x_1$$

$$\alpha'_2 = \alpha_2 + x_2$$

où:

S: Distance sphérique entre les points de mesure 1 et 2.

Les autres numéros sont comme pour (1).



4.2 Calcul de l'élévation

Le calcul de l'élévation se fait avec l'une des formules (1) à (3) suivantes.

(1) Emploi de la distance en pente

$$H_2 = H_1 + D \sin \frac{1}{2} (\alpha_1 - \alpha_2) \sec \left(\frac{D}{2R} \right) + E_1 - E_2$$

(2) Emploi de la distance sphérique

$$H_2 = H_1 + S \tan \frac{1}{2} (Z_2 - Z_1) \left(1 + \frac{H_1 + H_2}{2R} \right) + i_1 - f_2$$

$$= H_1 + S \tan \frac{1}{2}(\alpha_1 - \alpha_2) \left(1 + \frac{H_1 + H_2}{2R} \right) + i_1 - f_2$$

(3) Emploi du calcul de division positif/négatif

1) Emploi de la distance en pente

$$H'_2 = H_1 + D \sin \alpha_1 + E_1 - E_2 + K_D \quad \text{-- sens positif}$$

$$H''_2 = H_1 - D \sin \alpha_2 - E_2 + E_1 - K_D \quad \text{-- sens négatif}$$

2) Emploi de la distance sphérique (1)

$$H'_2 = H_1 + S \tan \alpha_1 \left(1 + \frac{H_1 + H_2}{2R} \right) + i_1 - f_2 + K_S \quad \text{-- sens positif}$$

$$H''_2 = H_1 - S \tan \alpha_2 \left(1 + \frac{H_1 + H_2}{2R} \right) - i_2 + f_1 - K_S \quad \text{-- sens négatif}$$

3) Emploi de la distance sphérique (2)

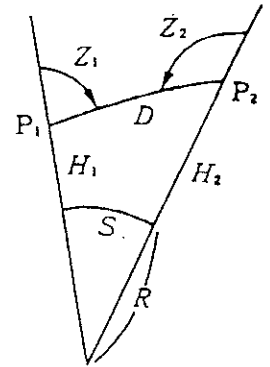
$$H'_2 = H_1 + S \tan(\alpha_1 + S \cdot F) \left(1 + \frac{H_1 + H_2}{2R} \right) + i_1 - f_2 \quad \text{-- sens positif}$$

$$H''_2 = H_1 - S \tan(\alpha_2 + S \cdot F) \left(1 + \frac{H_1 + H_2}{2R} \right) - i_2 + f_1 \quad \text{-- sens négatif}$$

$$H_2 = \frac{H'_2 + H''_2}{2}, K_D = \frac{(1-k)}{2R} D^2, K_S = \frac{(1-k)}{2R} S^2$$

$$\alpha_i = 90^\circ - Z_i, F = \frac{1-k}{2R}$$

k : Conformément à la réglementation du pays concerné



où:

H_i : Elévation du point de mesure i

Z_i : Distance du zénith mesurée au point de mesure i

R : Rayon de la Terre

K_D, K_S : Différence des deux (correction atmosphérique + correction de courbure)

F : Coefficient de diffraction

Les autres indications sont les mêmes que celles de (1) et (2) de 12.1.

Note: Le sens positif est celui de l'observation du point de mesure 2 du point de mesure 1, et le sens négatif le sens contraire.

Nivellement topographique

1. Calcul correctif de l'ellipse

$$= 5.29 \cdot \sin(B_1 + B_2) \cdot \frac{B_1 - B_2}{\rho'} \cdot H$$

où:

K : Réduction de l'ellipse (unité: mm)

B₁, B₂ : Latitude des points de début et de fin (ou bien point d'inflexion) de la ligne de niveau (unité: sec.)

H : Elévation moyenne de la ligne de niveau (unité: m)

$$\rho' : \frac{180}{\pi} \times 60$$

2. Déviation standard de l'observation de nivellement topographique

$$m = \pm \sqrt{\frac{1}{4} \cdot \left[\frac{U_i^2}{S_i} \right] \cdot \frac{1}{n}}$$

où:

m : Déviation standard d'observation par km (unité: mm)

U_i : Différence dans les deux sens de chaque partie de la chaîne (unité: mm)

S_i : Distance de chaque partie de la chaîne (unité: km)

n : Nombre de parties de la chaîne

3. Calcul d'équilibrage de réseau de niveau

1) Emploi de l'équation d'observation

① Equation d'observation

$$v_{ij} = x_i + x_j - (h_i - h_j + \Delta h_{ij})$$

où:

h_i, h_j : Elévation supposée des repères géodésiques ij

x_i, x_j : Réduction de l'élévation supposée des repères géodésiques ij

Δ h_{ij} : Différence d'observation de l'élévation entre les repères géodésiques ij

v_{ij} : Résidu entre les repères géodésiques ij

En résumant jusqu'ici:

$$V = AX - L \quad \text{Poids } P$$

où chaque matrice et vecteur est comme suit.

$$V_{(m,1)} = \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \vdots \\ v_m \end{bmatrix} \quad A_{(m,n)} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \Lambda & \Lambda & \Lambda & \Lambda & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \Lambda & \Lambda & \Lambda & \Lambda & a_{2n} \\ \Lambda & \Lambda & \Lambda & \Lambda & \Lambda & \Lambda & \Lambda \\ a_{m1} & a_{m2} & \Lambda & \Lambda & \Lambda & \Lambda & a_{mn} \end{bmatrix}$$

$$X_{(n,1)} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} \quad L_{(m,1)} = \begin{bmatrix} l_1 \\ l_2 \\ \vdots \\ l_m \end{bmatrix} \quad P_{(m,m)} = \begin{bmatrix} p_1 & & & 0 \\ & p_2 & & \\ & & \ddots & \\ 0 & & & p_m \end{bmatrix}$$

où: v_r : v_{ij} concernant le r^{ème}

l_r : (h_i - h_j + Δ h_{ij}) concernant le r^{ème}

$$P_{ij} = \frac{1}{S_{ij}}$$

S_{ij} : Longueur de la ligne entre les repères géodésiques ij

② Equation normale

$$(A'PA)X = A'PL$$

$$\therefore X = (A'PA)^{-1} A'PL$$

③ Résultat de la moyenne

a) Déviation standard de l'observation par unité de poids

$$m_0 = \pm \sqrt{\frac{V'PV}{(m-n)}}$$

où:

m : Nombre d'équations d'observation

n : Nombre de points inconnus

b) Déviation standard de l'élévation moyenne des points inconnus

$$M_1 = m_0 \sqrt{Q_{11}}, M_2 = m_0 \sqrt{Q_{22}}, \dots, M_n = m_0 \sqrt{Q_{nn}}$$

où:

$$Q_{(n,n)} = (A'PA)^{-1} = \begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} & \dots & Q_{1n} \\ Q_{21} & Q_{22} & \dots & Q_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ Q_{n1} & Q_{n2} & \dots & Q_{nn} \end{bmatrix}$$

(n,n)

(2) Emploi de l'équation conditionnelle

① Equation conditionnelle

$$a_1 v_1 + a_2 v_2 + \dots + a_m v_m + w_1 = 0$$

$$b_1 v_1 + b_2 v_2 + \dots + b_m v_m + w_2 = 0$$

.....

$$\gamma_1 v_1 + \gamma_2 v_2 + \dots + \gamma_m v_m + w_7 = 0$$

où: w: erreur de fermeture circulaire

v: Réduction de la différence de l'élévation de la ligne

En résumant jusqu'ici:

$$CV + W = 0 \quad \text{Poids } P$$

où chaque matrice et vecteur est comme suit.

$$C_{(7,m)} = \begin{bmatrix} a_1 a_2 \dots a_m \\ b_1 b_2 \dots b_m \\ \dots \\ \gamma_1 \gamma_2 \dots \gamma_m \end{bmatrix} \quad V_{(m,1)} = \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \dots \\ v_m \end{bmatrix} \quad W_{(7,1)} = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \dots \\ w_7 \end{bmatrix}$$

② Equation de corrélation

$$V = (CP^{-1}) \cdot K$$

où:

$$P_{(m,n)}^{-1} = \begin{bmatrix} \frac{1}{p_1} & & & 0 \\ & \frac{1}{p_1} & & \\ & & O & \\ 0 & & & \frac{1}{p_m} \end{bmatrix}$$

$$K_{(\gamma,1)} = \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ M \\ k_\gamma \end{bmatrix}$$

③ Equation normale

$$(CP^{-1}C') \cdot K + W = 0$$

$$\therefore K = -(CP^{-1}C')^{-1} \cdot W$$

On résout l'équation normale et recherche le nombre de réductions de chaque ligne en remplacement de la recherche du coefficient de corrélation k_1, k_2, \dots, k_r et du remplacement par l'équation de corrélation.

④ Résultat moyen

a) Déviation standard d'observation par unité de poids

$$m_0 = \pm \sqrt{\frac{-K'W}{\gamma}}$$

où:

γ : Nombre d'équation conditionnelles

En plus de cette équation, il sera possible de recourir à une autre formule de calcul s'il est possible de confirmer une précision ou identique à cette équation.

LIB