

NOUVEAU SYSTÈME DE TOLÉRANCES APPLICABLES AUX LEVÉS A GRANDE ÉCHELLE ENTREPRIS PAR LES SERVICES PUBLICS

Michel LOUIS
Ingénieur en Chef Géographe

Prolongeant les directives de l'arrêté interministériel du 20 mai 1948 fixant les conditions d'exécution et de publication des levés de plans entrepris par les services publics, un arrêté interministériel en date du 24 février 1951 a établi les tolérances applicables à ces mêmes levés.

Vers la fin des années 60, il est apparu que ces tolérances devenaient inadaptées aux besoins : les méthodes de levés avaient évolué, les instruments s'étaient perfectionnés, les besoins des utilisateurs et les produits offerts s'étaient diversifiés. Il paraissait indispensable de posséder un nouveau système de tolérances prenant en compte ces éléments et indiquant de façon fiable aux utilisateurs la valeur des documents mis à leur disposition.

C'est pourquoi, sur demande du CCTG, la Sous-Commission permanente pour la coordination des levés à grande échelle a créé en son sein, au début de l'année 1973, un groupe de travail "réforme du système de tolérances". La composition de ce groupe, représentants des Administrations concernées (Finances, Équipement, Agriculture, Industrie), de l'Ordre des Géomètres-experts et des Sociétés privées de photogrammétrie, a permis une très large confrontation des idées et des points de vue. Après des discussions approfondies, — 48 séances de travail réparties sur environ cinq années —, le groupe a remis au CCTG un projet d'arrêté interministériel suivi d'une instruction. Après approbation de cette instance interministérielle et signature des ministres concernés, ces documents ont été publiés au J.O. du 19 mars 1980, ils constituent les "nouvelles tolérances" applicables aux levés à grande échelle.

Les caractéristiques essentielles de ce nouveau système sont :

- la séparation de la notion de tolérances applicables à un levé des méthodes et moyens mis en œuvre pour l'établir,
- la définition d'une gamme très large de tolérances permettant d'apprécier la qualité d'un plan et d'en estimer la valeur intrinsèque,
- la définition de tolérances pour les différents canevas nécessaires à la confection du plan, pour permettre au réalisateur de s'autocontrôler et au vérificateur de juger la qualité des différentes phases du travail.

Ces nouvelles tolérances permettent au maître d'ouvrage de choisir le plan adapté à ses besoins et au maître d'œuvre les méthodes et moyens pour l'établir, puis en cours d'exécution et à la fin des travaux de vérifier, de juger et classer les réalisations. Ainsi non seulement le service public qui fait exécuter le plan, mais tous les utilisateurs potentiels du plan ou des canevas réalisés à cette occasion, auront une connaissance précise de la qualité des travaux réalisés.

Les tolérances proposées pour les différents types de canevas sont souvent en nombre redondant : elles aident le réalisateur et le vérificateur à mieux contrôler le travail exécuté. Les valeurs arrêtées sont compatibles ; elles tiennent compte de l'objectif poursuivi, des possibilités actuelles de la technique instrumentale et de la définition physique des paramètres mesurés. L'instruction qui fait suite à l'arrêté interministériel développe les justifications des diverses tolérances et rappelle certaines recommandations pratiques, souvent importantes, qui ne figurent pas dans l'arrêté.

Michel LOUIS
Ingénieur en Chef Géographe

**Arrêté du 21 janvier 1980 fixant les tolérances applicables aux levés à grande échelle
entrepris par les services publics et instruction du 28 janvier 1980 relative à l'application de cet arrêté**

(J.O. du 19 mars 1980, p. 2721 à 2733)

[D.G.I. — Bureau III A 1]

Le service trouvera ci-après les textes de l'arrêté interministériel du 21 janvier 1980 et de sa circulaire d'application du 28 janvier 1980, relatifs aux tolérances applicables aux levés à grande échelle entrepris par les services publics.

Ces dispositions, qui remplacent celles fixées par l'arrêté du 24 février 1951, feront l'objet d'instructions ultérieures.

Dans l'intervalle, la vérification des travaux visés à l'article 1^{er} de l'arrêté du 21 janvier 1980 précité sera assurée par :

— la direction des Services fiscaux, pour les levés **cadastraux** ou de **remembrement** uniquement, qu'ils soient exécutés à l'entreprise ou en régie;

— la direction régionale des Impôts, pour tous les autres levés effectués dans le ressort de sa circonscription et qui seraient soumis au contrôle préalable du Cadastre en application des dispositions du chapitre V de la circulaire du 28 janvier 1980.

Les difficultés rencontrées à l'occasion de l'application de ces nouvelles tolérances seront portées sans retard à la connaissance de la Direction générale, sous le timbre du service de l'administration générale (bureau III A 1).

*
**

ARRÊTÉ INTERMINISTÉRIEL DU 21 JANVIER 1980

Le ministre de l'Intérieur, le ministre du Budget, le ministre de l'Environnement et du Cadre de vie, le ministre des Universités, le ministre de l'Agriculture, le ministre de l'Industrie et le ministre des Transports;

Vu le décret n° 75-1200 du 4 décembre 1975 relatif aux unités de mesure et au contrôle des instruments de mesure;

Vu l'arrêté du 7 juin 1947 instituant un comité central des travaux géographiques;

Vu l'arrêté du 20 mai 1948 fixant les conditions d'exécution et de publication des levés de plans entrepris par les services publics;

Sur la proposition du comité central des travaux géographiques,

Arrêtent :

Article premier. — Tous les travaux visés à l'article 1^{er} de l'arrêté du 20 mai 1948 et ayant pour but l'établissement de plans graphiques ou d'orthophotoplans aux échelles supérieures ou égales à 1/5.000 ainsi que les levés numériques prévus pour une échelle de représentation supérieure ou égale à 1/5.000 doivent satisfaire aux tolérances fixées par le présent arrêté.

I. — CANEVAS D'ENSEMBLE

Art. 2. — Terminologie.

2.1. TERMINOLOGIE RELATIVE AU CANEVAS.

2.1.1. *Canevas.*

D'une façon générale le canevas est un ensemble discret de points bien répartis sur la surface à lever dont les positions relatives sont déterminées avec une précision au moins égale à celle que l'on attend du levé. Ces points servent d'appui au lever des détails. Le canevas s'exprime par les coordonnées de ces points dans un même système.

2.1.2. Canevas d'ensemble.

Canevas planimétrique déterminé par des opérations de mesures sur le terrain, matérialisé de façon durable par des bornes ou des repères et suffisamment dense pour étayer le réseau sur lequel s'appuie le lever des détails. La précision du canevas d'ensemble doit obligatoirement satisfaire à l'une des deux gammes de tolérances fixées par le présent arrêté : canevas de précision ou canevas ordinaire.

Le canevas de précision est un canevas d'ensemble dont la tolérance sur l'erreur en distance entre deux points est égale à 4 centimètres. Ce canevas sera indépendant si la précision du canevas géodésique d'appui est insuffisante mais son orientation et son origine moyenne devront être ramenées dans le système LAMBERT.

Le canevas ordinaire est un canevas d'ensemble, toujours appuyé sur le réseau géodésique, dont la tolérance sur l'erreur en distance entre deux points est égale à 20 centimètres mais dont la précision n'est pas suffisante pour le classer en canevas de précision.

Lorsqu'il sera nécessaire d'établir un canevas indépendant, celui-ci devra satisfaire aux tolérances fixées pour le canevas de précision.

Les valeurs des tolérances du présent arrêté ont été établies pour respecter les normes précitées.

2.2. TERMINOLOGIE RELATIVE AUX MESURES ANGULAIRES.

2.2.1. Séquence.

La séquence est un ensemble de $n + 1$ lectures effectuées au théodolite, en une même station sur n directions différentes avec : une même origine du limbe, une même position du cercle vertical par rapport à la lunette, contrôle de fermeture sur la référence et répartition de l'écart de fermeture sur les diverses composantes de la séquence. Ces lectures sont toujours réduites à zéro sur la référence.

2.2.2. Paire de séquences.

La paire de séquences est une association de deux séquences successives avec décalage de l'origine du limbe, retournement de la lunette et inversion du sens d'observation. Par extension la paire est aussi la valeur moyenne des résultats obtenus dans chaque séquence.

2.2.3. Tour d'horizon.

Le tour d'horizon est le résultat final de la combinaison des observations azimutales en une même station, rapportées à une même référence et ramenées sur cette référence à une même valeur.

Les combinaisons classiques sont :

- pour une paire : $p = 1$ cercle droit, cercle gauche.
Origines : 0,100.
- pour deux paires : $p = 2$ cercle droit, cercle gauche.
Origines : 0,100; 50,150.
- pour quatre paires : $p = 4$ cercle droit, cercle gauche.
Origines : 0,100; 50,150; 25,125; 75,175.

Art. 3. — Les observations et les calculs doivent être conduits de manière à satisfaire aux tolérances ci-après.

A. Canevas de précision

3.1. OBSERVATIONS.

3.1.1. Observations angulaires en une station.

a. FERMETURE ANGULAIRE DES SÉQUENCES.

Tolérance : 1,5 mgr.

b. ÉCART DES LECTURES : écart pour une direction entre la valeur d'une paire de séquences et la moyenne générale de toutes les paires.

Tolérance : 1,2 mgr.

c. ÉCART SUR LA RÉFÉRENCE : somme algébrique, divisée par $n + 1$ de tous les écarts de lectures d'une même paire; n étant le nombre de directions y compris la référence.

Tolérance : 0,7 mgr.

3.1.2. Mesure des longueurs.

Écart entre deux mesurages indépendants.

$$T = 3 + L$$

T : tolérance en centimètres.

L : longueur exprimée en kilomètres.

3.2. CALCULS.

3.2.1. Par triangulation.

a. FERMETURE DE LA SOMME DES ANGLES D'UN TRIANGLE :

$$T = 0,1 \sqrt{200 + \left(\frac{10}{a}\right)^2}$$

T : tolérance en milligrades.

a : longueur, exprimée en kilomètres, du plus petit côté du triangle.

b. ACCORD DES BASES : écart entre la mesure d'une base et sa longueur calculée par l'enchaînement de la triangulation mise à l'échelle au moyen de l'autre base.

$$T = 4 + 5 L$$

T : tolérance en centimètres.

L : longueur de la base exprimée en kilomètres.

c. ÉCART D'ORIENTATION EN UNE STATION : écart angulaire soit entre le gisement « observé » et le gisement définitif d'une direction, soit entre le Vo moyen et la valeur du Vo déduite d'une direction.

$$T = 1,8 \sqrt{\frac{n-1}{n}}$$

T : tolérance en milligrades.

n : nombre de visées d'orientation.

d. ÉCART MOYEN QUADRATIQUE D'ORIENTATION : moyenne quadratique des écarts individuels d'orientation.

$$T = 0,7 \left(\frac{\sqrt{2N-3} + 2,58}{\sqrt{2N}} \right)$$

T : tolérance en milligrades.

N : nombre total de visées observées pour l'ensemble des stations.

3.2.2. Par cheminement à longs côtés.

● Fermeture en orientation entre deux références successives.

$$T = 0,1 \sqrt{200 + 200 (n+1)}$$

T : tolérance en milligrades.

n : nombre de côtés entre deux références successives.

● Fermeture planimétrique.

a. Cheminement entre deux points de coordonnées connues :

$$T = \sqrt{16 + 16n + 5 \sum_{i=0}^{i=n-1} Li^2}$$

T : tolérance en centimètres.

n : nombre de côtés du cheminement.

Li : distance rectiligne, exprimée en kilomètres, entre le point d'arrivée du cheminement et chaque sommet (y compris le point de départ).

b. Cheminement fermé sur lui-même :

$$T = \sqrt{16n + 5 \sum_{i=0}^{i=n-1} Li^2}$$

T : tolérance en centimètres.

n : nombre de côtés du cheminement.

Li : distance rectiligne, exprimée en kilomètres, entre le point départ (et d'arrivée) du cheminement et chaque sommet.

3.2.3. Point nodal.

En un point nodal isolé, la valeur de la coordonnée cherchée (planimétrique ou altimétrique) s'obtient en prenant la moyenne pondérée de ses déterminations :

$$XM = \frac{p_1 X_1 + p_2 X_2 + \dots + p_n X_n}{p_1 + \dots + p_n} = \frac{\sum_{i=1}^n p_i X_i}{\sum_{i=1}^n p_i}$$

n : nombre de déterminations de X .

X_i : l'une quelconque des n déterminations individuelles de la coordonnée cherchée.

p_i son poids calculé par la formule :

$$p_i = \frac{K}{T_i^2} \text{ avec } K : \text{constante arbitraire pour toutes les valeurs de l'indice } i \text{ (de 1 à } n\text{)}$$

T_i : tolérance relative à la détermination X_i .

● Tolérance sur la moyenne pondérée :

$$T_m^2 = \frac{K}{\sum_{i=1}^n p_i} = \frac{p_j T_j^2}{\sum_{i=1}^n p_i} \quad j \text{ étant l'une des valeurs quelconques prises par } i$$

● Tolérance sur l'écart entre une détermination individuelle et la moyenne pondérée :

a. La détermination individuelle d'indice k , n'est pas intervenue dans le calcul de la moyenne pondérée (cas d'un mesurage de vérification) :

$$T = \sqrt{T_m^2 + T_k^2}$$

b. La détermination individuelle est intervenue dans le calcul de la moyenne pondérée :

$$T = \sqrt{T_k^2 - T_m^2}$$

B. Canevas ordinaire

3.3. OBSERVATIONS.

3.3.1. Observations angulaires en une station.

a. FERMETURE ANGULAIRE DES SÉQUENCES :

Tolérance : 2,8 mgr.

b. ÉCART DES LECTURES : écart, pour une direction, entre la valeur d'une paire de séquences et la moyenne générale de toutes les paires.

Tolérance : 1,3 mgr.

c. ÉCART SUR LA RÉFÉRENCE : somme algébrique, divisée par $n + 1$, de tous les écarts de lectures d'une même paire ; n étant le nombre de directions y compris la référence.

Tolérance : 0,8 mgr.

3.3.2. Mesure des longueurs.

Écart entre deux mesurages indépendants.

$$T = 3 + L$$

T : tolérance en centimètres ;

L : longueur exprimée en kilomètres.

3.4. CALCULS.

3.4.1. Par triangulation.

a. FERMETURE DE LA SOMME DES ANGLES D'UN TRIANGLE.

$$T = 0,1 \sqrt{675 + \left(\frac{45}{a}\right)^2}$$

T : tolérance en milligrades ;

a : longueur, exprimée en kilomètres, du plus petit côté du triangle.

b. ÉCART D'ORIENTATION EN UNE STATION : écart angulaire soit entre le gisement « observé » et le gisement définitif d'une direction, soit entre le V_o moyen et la valeur du V_o déduite d'une direction.

$$T = 4,3 \sqrt{\frac{n-1}{n}}$$

T : tolérance en milligrades;

n : nombre de visées d'orientation.

c. ÉCART MOYEN QUADRATIQUE D'ORIENTATION : moyenne quadratique des écarts individuels d'orientation.

$$T = 1,7 \left(\frac{\sqrt{2N-3} + 2,58}{\sqrt{2N}} \right)$$

T : tolérance en milligrades;

N : nombre total de visées observées pour l'ensemble des stations.

d. ÉCART LINÉAIRE : distance entre le point définitif et le lieu « géométrique » de détermination (visée d'intersection, visée inverse de relèvement à l'aide du V_o définitif, « lieu distance » en cas de mesure linéaire).

T = 20 cm.

e. RAYON MOYEN QUADRATIQUE D'INDÉCISION : moyenne quadratique des écarts linéaires individuels pour chaque point calculé.

T = 12 cm.

3.4.2. Par cheminements à longs côtés :

a. ENTRE DEUX POINTS DE COORDONNÉES CONNUES :

● Fermeture en orientation entre deux références successives :

$$T = 0,1 \sqrt{5\,000 + 200(n+1)}$$

T : tolérance en milligrades;

n : nombre de côtés entre deux références successives.

● Fermeture planimétrique.

$$T = \sqrt{400 + 16n + 40 \sum_{i=0}^{i=n-1} Li^2}$$

T : tolérance en centimètres;

n : nombre de côtés du cheminement;

Li : distance rectiligne, exprimée en kilomètres, entre le point d'arrivée du cheminement et chaque sommet (y compris le point de départ).

b. POINT NODAL : (cf. art. 3, § 3.2.3).

II. — CANEVAS POLYGONAL

Art. 4. — Terminologie.

Le canevas polygonal constitue un trait d'union entre le canevas d'ensemble et le lever des détails. La précision du canevas polygonal doit obligatoirement satisfaire à l'une des deux gammes de tolérances fixées par le présent arrêté : canevas polygonal de précision et canevas polygonal ordinaire.

Art. 5. — Les observations et les calculs doivent être conduits de manière à satisfaire aux tolérances ci-après.

A. Canevas polygonal de précision

● Fermeture en orientation entre deux références successives.

$$T = 0,1 \sqrt{1\,296 + 3\,600(n+1)}$$

T : tolérance en milligrades;

n : nombre de côtés entre deux références successives.

- Fermeture planimétrique.

$$T = \sqrt{16 + 16n + 160 \sum_{i=0}^{i=n-1} Li^2}$$

T : tolérance en centimètres;

n : nombre de côtés du cheminement;

Li : distance rectiligne, exprimée en kilomètres, entre le point d'arrivée du cheminement et chaque sommet (y compris le point de départ).

- Point nodal (cf. art. 3, § 3.2.3).

B. Canevas polygonal ordinaire

- Fermeture en orientation entre deux références successives.

$$T = 0,1 \sqrt{33\,000 + 10\,000(n+1)}$$

T : tolérance en milligrades;

n : nombre de côtés entre deux références successives.

- Fermeture planimétrique.

$$T = \sqrt{400 + 160n + 260 \sum_{i=0}^{i=n-1} Li^2 + 30L}$$

T : tolérance en centimètres;

n : nombre de côtés du cheminement;

L : longueur du cheminement exprimée en kilomètres;

Li : distance rectiligne, exprimée en kilomètres, entre le point d'arrivée du cheminement et chaque sommet (y compris le point de départ).

- Point nodal (cf. art. 3, § 3.2.3).

III. — CANEVAS ALTIMÉTRIQUE OU NIVELLEMENT

Art. 6. — Le canevas altimétrique est un ensemble de repères déterminés en altitude par des mesures topométriques.

Art. 7. — Les tolérances relatives aux travaux de nivellement sont fixées comme suit :

A. Nivellement direct (géométrique)

1. Fermeture en altitude d'un cheminement géométrique.

Nivellement de	Tolérances en millimètres	
	$n \leq 16$	$n \geq 16$
Haute précision	$T = 8\sqrt{L}$	$T = 2\sqrt{N}$
Précision	$T = 4\sqrt{9L + L^2}$	$T = \sqrt{9N + \frac{N^2}{16}}$
Ordinaire	$T = 4\sqrt{36L + L^2}$	$T = \sqrt{36N + \frac{N^2}{16}}$

n : nombre de dénivelées au kilomètre;
 N : nombre total de dénivelées du cheminement;
 L : longueur exprimée en kilomètres du cheminement fermé sur lui-même, ou de l'antenne (aller-retour) ou du cheminement réalisé entre deux repères connus en altitude.

2. Point nodal (cf. art. 3, § 3.2.3).

B. Nivellement indirect (géodésique ou trigonométrique)

1. Dénivelées entre deux points :

a. CAS DE LA DISTANCE DÉDUITE DES COORDONNÉES.

$$\text{Visée unilatérale : } T1 = \sqrt{4 + TL^2 \operatorname{tg}^2 i + 80 L^2 (1 + \operatorname{tg}^2 i)^2 + L^4}$$

Visées réciproques :

$$\text{— non simultanées : } T2 = \sqrt{4 + TL^2 \operatorname{tg}^2 i + 40 L^2 (1 + \operatorname{tg}^2 i)^2 + \frac{L^4}{2}}$$

$$\text{— simultanées : } T3 = \sqrt{4 + TL^2 \operatorname{tg}^2 i + 40 L^2 (1 + \operatorname{tg}^2 i)^2 + \frac{L^4}{4}}$$

T : tolérance en centimètres; i : angle de pente; L : distance déduite des coordonnées et exprimée en kilomètres;
TL : tolérance en centimètres sur la distance déduite des coordonnées.

b. CAS DE LA DISTANCE MESURÉE SUIVANT LA PENTE.

$$\text{Visée unilatérale : } T4 = \sqrt{4 + (3 + L)^2 \sin^2 i + 80 L^2 \cos^2 i + L^4}$$

Visées réciproques :

$$\text{— non simultanées : } T5 = \sqrt{4 + (3 + L)^2 \sin^2 i + 40 L^2 \cos^2 i + \frac{L^4}{2}}$$

$$\text{— simultanées : } T6 = \sqrt{4 + (3 + L)^2 \sin^2 i + 40 L^2 \cos^2 i + \frac{L^4}{4}}$$

T : tolérance en centimètres; i : angle de pente; L : distance mesurée suivant la pente et exprimée en kilomètres.

2. Fermeture en altitude d'un cheminement (visées réciproques obligatoires).

$$T = \sqrt{\sum Ti^2}$$

T : tolérance en centimètres; Ti désignant la tolérance (cf. : dénivelées entre deux points) relative à chaque couple de visées réciproques (simultanées ou non simultanées), ainsi que la tolérance altimétrique des points de départ et d'arrivée du cheminement.

3. Point nodal (cf. art. 3, § 3.2.3).

IV. — TRAVAUX PHOTOGRAMMÉTRIQUES

Art. 8. — Les tolérances relatives aux travaux photogrammétriques préalables au levé de détail sont fixées comme suit :

A. Prise de vues

1. Qualité du film.

Stabilité dimensionnelle et planéité.

Moyenne des résidus de superposition par transformation affine de l'image photographique des repères du fond de chambre à la figure d'étalonnage.

$$T = 30 \mu\text{m}$$

2. Exécution du vol.

2.1. RECOUVREMENT STÉRÉOSCOPIQUE LONGITUDINAL (recouvrement entre clichés consécutifs d'une même bande).

Différence entre le recouvrement effectif et le recouvrement prévu.

$$T = 5 \% \text{ du format du cliché}$$

sauf à conserver un recouvrement minimal de 53 % sur toute la largeur du cliché.

2.2. RECOUVREMENT LATÉRAL (recouvrement entre bandes contiguës).

Différence entre le recouvrement effectif et le recouvrement prévu.

$$T = 10 \% \text{ du format du cliché}$$

sauf à conserver un recouvrement minimal de 10 % sur toute la longueur de la bande.

2.3. CORRECTION DE DÉRIVE.

Résidu de correction de dérive.

$$T = 5 \text{ gr}$$

2.4. RECTITUDE APPARENTE DE L'AXE DE VOL.

2.4.1. Distance d'un point de la droite moyenne des centres de cliché à l'axe de vol prévu, lorsqu'il est imposé.

$$T = 10 \% \text{ du format du cliché}$$

2.4.2. Distance d'un centre de cliché à la droite moyenne des centres de cliché.

$$T = 10 \% \text{ du format du cliché}$$

2.5. VERTICALITÉ.

Inclinaison de l'axe de prise de vues par rapport à la verticale.

$$T = 4 \text{ gr}$$

2.6. ALTITUDE.

Différence entre l'altitude théorique et l'altitude réelle.

$$T = 35 \text{ m} + 0,03 \text{ H}$$

H : hauteur moyenne de vol au-dessus du sol, exprimée en mètres

B. Canevas photogrammétriques

Définition : Canevas établis en vue de travaux photogrammétriques soit par des mesures au sol, soit par des mesures sur clichés aériens. Les points de ces canevas sont toujours identifiés sur les photographies aériennes mais ils ne sont pas obligatoirement matérialisés sur le terrain.

1. Canevas de stéréopréparation.

C'est un canevas photogrammétrique établi par des *mesures sur le terrain*.

(Remarque : Ce canevas s'appuie sur un canevas d'ensemble qu'il peut être nécessaire de densifier; ce complément doit alors garder les propriétés du canevas d'ensemble, donc être :

- soit un canevas d'ensemble de précision,
- soit un canevas d'ensemble ordinaire,

et ses points doivent être matérialisés au sol).

Le canevas de stéréopréparation sert à appuyer un aérocanevas ou à réaliser directement une restitution (préparation couple par couple). Ses points doivent avoir une bonne définition géométrique et photographique compatible avec les tolérances ci-après que doit respecter la détermination de leurs coordonnées :

— en position planimétrique : $T = 34 \times E_c \times 10^{-6}$

— en altimétrie : $T = \frac{H}{5\,500}$

T : tolérance en mètres;

E_c : facteur d'échelle des clichés aériens ($\text{échelle} = \frac{1}{E_c}$)

H : hauteur de vol au-dessus du sol, en mètres.

2. Aérocannevas.

C'est un canevas photogrammétrique établi par des *mesures sur les clichés aériens*. Il s'appuie soit directement sur un canevas d'ensemble, soit sur un canevas de stéréopréparation. Ses points sont des points images naturels, non matérialisés sur le terrain, ou artificiels (marques sur clichés).

2.1. ACQUISITION DES DONNÉES.

Valeurs ramenées à l'espace des clichés.

2.1.1. *Parallaxe transversale résiduelle moyenne quadratique* dans la formation analytique d'un modèle, estimée par la formule :

$$\sqrt{\frac{\sum p^2}{n-5}}$$

p : parallaxe résiduelle en chaque point;

n : nombre de points à l'aide desquels a été formé le modèle ($n \geq 6$).

$$T = 25 \text{ } \mu\text{m}$$

2.1.2. *Écart moyen quadratique sur les points de liaisons entre deux couples d'une même bande en méthode analogique,*

estimé par la formule :

$$\sqrt{\frac{\sum (dx^2 + dy^2 + dz^2)}{3n-4}}$$

d : différence pour chaque coordonnée, entre les deux déterminations de chaque point de liaison.

n : nombre de points de liaison hormis le point de vue ($n > 2$).

$$T = 35 \text{ } \mu\text{m}$$

2.2. RÉSULTAT DES COMPENSATIONS.

Valeurs ramenées à l'espace des clichés.

2.2.1. *Écart moyen quadratique sur les points de liaison entre bandes d'un même bloc.*

Estimé par la formule :

$$\sqrt{\frac{\sum (dx^2 + dy^2 + dz^2)}{n}}$$

d : différence, pour chaque coordonnée, entre les deux déterminations de chaque point de liaison.

n : nombre de points de liaison.

$$T = 60 \text{ } \mu\text{m}.$$

2.2.2. *Écart moyen quadratique sur les points d'appui.*

Estimé par les formules :

$$\begin{aligned} & \sqrt{\frac{\sum (dx^2 + dy^2)}{n}} \quad \text{pour la planimétrie} \\ \text{et } & \sqrt{\frac{\sum dz^2}{n}} \quad \text{pour l'altimétrie} \end{aligned}$$

d : différence entre coordonnées terrain et coordonnées calculées de chaque point d'appui.

n : nombre de points d'appui.

— en position planimétrique $T = 45 \text{ } \mu\text{m}$;

— en altimétrie $T = 30 \text{ } \mu\text{m}$.

2.2.3. *Écarts individuels sur les points de contrôle.*

Différence entre coordonnées terrain et coordonnées calculées de chaque point de contrôle :

— en position planimétrique $T = 100 \text{ } \mu\text{m}$;

— en altimétrie $T = 65 \text{ } \mu\text{m}$.

2.2.4. *Écart moyen quadratique sur les points de contrôle.*

Moyenne quadratique des écarts individuels :

$$\text{— en position planimétrique : } T = 40 \frac{(\sqrt{2n-1} + 2,58)}{\sqrt{2n}}$$

$$\text{— en altimétrie : } T = 25 \frac{(\sqrt{2n-1} + 2,58)}{\sqrt{2n}}$$

T : en μm ;

n : nombre de points de contrôle.

3. Survol couple par couple.

3.1. ÉCART RÉSIDUEL SUR LES POINTS D'APPUI.

(En position planimétrique.)

$$T = 22,5 + 2,25 E.$$

T : en centimètres.

3.2. ÉCART RÉSIDUEL MOYEN QUADRATIQUE PAR COUPLE.

(En position planimétrique.)

$$T = 14 + 1,4 E.$$

T : en centimètres.

3.3. ÉCART SUR LES POINTS A DÉTERMINATION MULTIPLE.

Écart, pour chaque coordonnée, entre la moyenne de ses déterminations et la détermination issue d'un couple.

$$T = 18 + 1,8 E.$$

T : en centimètres.

E : nombre de milliers du dénominateur de l'échelle du vol supérieur, tel que :

$$12 \leq E \leq 20.$$

C. *Restitution (formation du modèle)*

Écart individuel sur les points de calage après orientation absolue.

Différence entre coordonnées canevas et coordonnées restituées :

— en position planimétrique :

$$T = 0,7 T_p;$$

— en altimétrie :

$$T = 0,5 T_a.$$

T_p : tolérance en position planimétrique exigée pour la restitution.

T_a : tolérance altimétrique exigée pour la restitution.

V. — LEVER DE DÉTAIL ET VÉRIFICATION DES PLANS

Art. 9. — Les tolérances relatives au contrôle de la valeur des plans sont fixées ainsi qu'il suit :

A. *Contrôle interne du levé*

● Détermination multiple d'un point ou d'une longueur.

Écart entre deux déterminations indépendantes de même poids.

1. En planimétrie :

— point à détermination multiple :

$$T = T_p;$$

— longueur à détermination multiple :

$$T = 1,5 T_p.$$

2. En altimétrie :

$$T = 1,5 T_a.$$

T_p et T_a : tolérances exigées pour le plan.

Le cahier des charges fixe le nombre de points ou de distances à déterminations multiples.

B. Vérification des plans

1. Planimétrie.

1.1. ÉCARTS INDIVIDUELS.

Catégories :

- P 1 : T = 5 cm;
- P 2 : T = 10 cm;
- P 3 : T = 25 cm;
- P 4 : T = 50 cm;
- P 5 : T = 1 m;
- P 6 : T = 2,5 m;
- P 7 : T > 2,5 m.

Les plans de catégorie P 1 ou P 2 doivent être appuyés sur un canevas polygonal de précision.

1.2. ÉCART MOYEN QUADRATIQUE.

Moyenne quadratique des écarts individuels.

$$T = Q \frac{(\sqrt{2n-1} + 2,58)}{\sqrt{2n}} \quad n : \text{nombre d'éléments contrôlés}$$

T : en centimètres.

Q : prenant, suivant la catégorie, les valeurs numériques ci-dessous.

Catégories :

- P 1 : Q = 2 cm;
- P 2 : Q = 4 cm;
- P 3 : Q = 10 cm;
- P 4 : Q = 20 cm;
- P 5 : Q = 40 cm;
- P 6 : Q = 1 m;
- P 7 : Q > 1 m.

2. Altimétrie. Points cotés.

2.1. ÉCARTS INDIVIDUELS.

Écart entre la cote d'un point inscrite au plan et celle issue du contrôle à partir du canevas.

Catégories :

- A 1 : T = 2,5 cm;
- A 2 : T = 5 cm;
- A 3 : T = 10 cm;
- A 4 : T = 25 cm;
- A 5 : T = 50 cm;
- A 6 : T > 50 cm.

2.2. ÉCART MOYEN QUADRATIQUE.

Moyenne quadratique des écarts individuels.

$$T = Q \frac{(\sqrt{2n-1} + 2,58)}{\sqrt{2n}} \quad n : \text{nombre d'éléments contrôlés}$$

T : en centimètres.

Q : prenant, suivant la catégorie, les valeurs numériques suivantes.

Catégories :

- A 1 : Q = 1 cm;
- A 2 : Q = 2 cm;
- A 3 : Q = 4 cm;
- A 4 : Q = 10 cm;
- A 5 : Q = 20 cm;
- A 6 : Q > 20 cm.

3. Altimétrie. Courbes de niveau.

3.1. Écart individuel.

La tolérance s'applique à l'écart individuel *réduit* en fonction de l'angle de pente p , cet écart étant obtenu en divisant par $(1 + 2 \operatorname{tg} p)$ l'écart entre la cote d'un point déduite des courbes de niveau voisines et celle issue du contrôle à partir du canevas.

Catégories :

C 1 : $T = 25$ cm;

C 2 : $T = 50$ cm;

C 3 : $T = 75$ cm;

C 4 : $T = 1$ m;

C 5 : $T > 1$ m.

Remarque :

Lorsque l'écart entre deux courbes de niveau est supérieur à 2 cm sur le plan, il y a lieu de tracer une courbe intercalaire.

3.2. ÉCART MOYEN QUADRATIQUE.

Moyenne quadratique des écarts individuels réduits.

$$T = Q \frac{(\sqrt{2n-1} + 2,58)}{\sqrt{2n}}$$

n : nombre d'éléments contrôlés.

T : en centimètres.

Q : prenant, suivant la catégorie, les valeurs numériques ci-dessous.

Catégories :

C 1 : $Q = 10$;

C 2 : $Q = 20$;

C 3 : $Q = 30$;

C 4 : $Q = 40$;

C 5 : $Q > 40$.

Art. 10. — L'arrêté interministériel du 24 février 1951 fixant les tolérances applicables aux levés à grande échelle entrepris par les services publics est abrogé.

Art. 11. — Le présent arrêté sera publié au *Journal officiel* de la République française.

Fait à Paris, le 21 janvier 1980.



I. — CANEVAS D'ENSEMBLE

A. *Observations*

Les observations en une station obéissent aux conditions suivantes :

— dans chaque séquence, la référence est visée à l'ouverture et à la fermeture; la lecture brute retenue est la moyenne des valeurs de ces deux visées;

— dans chaque séquence, les lectures sur les différentes directions sont ensuite réduites à la référence (lecture ramenée à zéro sur la référence);

— les séquences sont réalisées par paires (retournement de la lunette et décalage du limbe). Pour une paire, la valeur d'une direction est la moyenne des valeurs résultant des deux séquences.

Par ailleurs, les tolérances fixées pour le canevas de précision nécessitent un centrage forcé et un nombre de paires de séquences au moins égal à 4.

1. *Fermeture des séquences.*

Sur le terrain même, l'opérateur doit s'assurer que les écarts constatés pour les fermetures des séquences n'excèdent pas les tolérances. Aucun dépassement n'étant admis, les opérations doivent, le cas échéant, être reprises immédiatement. Les écarts relevés ne donnent pas lieu à un classement.

2. *Écart des lectures.*

La tolérance est exprimée par la formule suivante :

$$T = \varepsilon \sqrt{\left(1 - \frac{1}{p}\right) \left(1 + \frac{1}{q}\right)}$$

avec :

ε : tolérance angulaire sur une direction;

p : nombre de paires de séquences;

q : poids de la référence.

La tolérance angulaire sur une direction a été déterminée à partir de travaux réels soit :

$\varepsilon \simeq 1,16$ mgr pour le canevas de précision;

$\varepsilon \simeq 1,5$ mgr pour le canevas ordinaire.

D'où les tolérances :

Canevas de précision :

$$p = 4 \quad T = 1,2 \text{ mgr};$$

$$p = 8 \quad T = 1,3 \text{ mgr}.$$

Canevas ordinaire :

$$p = 2 \quad T = 1,3 \text{ mgr};$$

$$p = 4 \quad T = 1,6 \text{ mgr}.$$

Le poids de la référence a été pris égal à 2. Par ailleurs, les valeurs des tolérances étant très voisines pour $p = 4$ et $p = 8$, il a été retenu, pour le canevas de précision, la valeur qui correspond à $p = 4$. En ce qui concerne le canevas ordinaire, la tolérance correspond à $p = 2$, nombre de paires le plus fréquemment utilisé.

3. *Écart sur la référence.*

La tolérance est donnée par la formule :

$$T = \varepsilon \sqrt{\left(1 - \frac{1}{p}\right) \frac{1}{q}}$$

avec :

p : nombre de paires de séquences;

q : poids de la référence, égal à 2;

ε : tolérance angulaire sur une direction;

D'où les tolérances :

Canevas de précision :

$$p = 4 \quad T = 0,7 \text{ mgr};$$

$$p = 8 \quad T = 0,8 \text{ mgr}.$$

Canevas ordinaire :

$$p = 2 \quad T = 0,8 \text{ mgr};$$

$$p = 4 \quad T = 0,9 \text{ mgr}.$$

Pour les mêmes raisons que précédemment, la valeur correspondant à $p = 4$ a été retenue pour le canevas de précision et celle correspondant à $p = 2$ pour le canevas ordinaire.

4. Mesure des longueurs.

Tout appareil de mesure des longueurs doit être étalonné au moins une fois par an sur une base agréée.

La tolérance sur la mesure des longueurs est de la forme généralement admise $T = A + BL$ où A et B sont des constantes numériques déterminées par l'expérience.

Le mesurage d'une base doit être effectué au minimum deux fois avec une remise en station des instruments (mesurages indépendants).

Lorsque le procédé électromagnétique est utilisé, les mesures doivent être exécutées avec un intervalle de temps de six heures environ entre elles.

L'ensemble des bases mesurées doit concourir à la mise à l'échelle du canevas.

B. Calculs

1. Par triangulation.

Pour un canevas de précision, les calculs doivent être exécutés en bloc par la méthode des moindres carrés.

a. FERMETURE DE LA SOMME DES ANGLES D'UN TRIANGLE.

La tolérance sur la fermeture est de la forme :

$$T = \sqrt{\frac{6'\epsilon^2}{p} + 6\left(\frac{\lambda c}{a}\right)^2}$$

avec :

ϵ : tolérance angulaire sur une direction;

p : nombre de paires de séquences;

c : tolérance de centrage;

a : longueur du plus petit côté du triangle;

λ : coefficient égal à $\frac{2}{\pi}$ lorsque c est exprimé en centimètres, a en kilomètres, ϵ et T en milligrades.

Pour le canevas de précision, ϵ est égal à 1,16 milligrade et c a été fixé à 0,65 centimètre (centrage forcé) d'où la formule :

$$T \text{ en mgr} = 0,1 \sqrt{\frac{810}{p} + \left(\frac{10}{a}\right)^2}$$

p étant pris égal à 4 on obtient la tolérance prescrite.

Pour le canevas ordinaire, ϵ est égal à 1,5 milligrade et la tolérance admise sur le centrage est de 3 centimètres. D'où :

$$T \text{ en mgr} = 0,1 \sqrt{\frac{1350}{p} + \left(\frac{45}{a}\right)^2}$$

En prenant $p = 2$, on aboutit à la tolérance fixée.

b. ACCORD DES BASES.

La formule de tolérance retenue s'applique à un enchaînement de six à neuf triangles (cas normal) dans lesquels le plus petit angle ne doit pas être inférieur à 40 grades.

c. ÉCART D'ORIENTATION EN UNE STATION.

La tolérance sur l'écart d'orientation est exprimée par la formule :

$$T = \sqrt{\left(\frac{n-1}{n}\right) \left[\frac{\varepsilon^2}{p} + \frac{\lambda^2 T^2(x)}{L^2} \right]}$$

avec :

n : nombre de visées d'orientation;

ε : tolérance angulaire sur une direction;

p : nombre de paires de séquences;

L : longueur moyenne des visées;

$T(x)$: tolérance sur l'erreur en distance entre deux points du canevas;

λ : coefficient égal à $\frac{2}{\pi}$ lorsque L est exprimé en kilomètres;

$T(x)$ en centimètres, ε et T en milligrades.

Pour le canevas de précision, ε est égal à 1,16 milligrade et $T(x) = 4$ centimètres. Par ailleurs, il a été admis que la distance moyenne des sommets du réseau était de 1,5 kilomètre. D'où la formule de tolérance correspondant à quatre paires :

$$T = 1,8 \sqrt{\frac{n-1}{n}}$$

Pour le canevas ordinaire, ε est égal à 1,5 milligrade, la distance moyenne des sommets du réseau d'appui a été évaluée à 3 kilomètres. Comme $T(x) = 20$ centimètres, la tolérance pour $p = 2$ est égale à :

$$T = 4,3 \sqrt{\frac{n-1}{n}}$$

Ces tolérances varient très sensiblement en fonction de la longueur moyenne des visées.

d. ÉCART MOYEN QUADRATIQUE D'ORIENTATION.

La tolérance est de la forme :

$$T = \varepsilon' \left(\frac{\sqrt{2N-3} + 2,58}{\sqrt{2N}} \right)$$

ε' se déduit des tolérances sur l'écart d'orientation et est égal à 0,7 milligrade pour le canevas de précision et 1,7 milligrade pour le canevas ordinaire.

e. ÉCART LINÉAIRE ET RAYON MOYEN QUADRATIQUE D'INDÉCISION.

Les tolérances fixées résultent du dépouillement de travaux réels.

2. Cheminements à longs côtés.

La méthode d'établissement d'un canevas par cheminements à longs côtés exige que tous les points de canevas à déterminer soient des points nodaux (trois cheminements aboutissant à chaque point).

Par ailleurs la longueur moyenne des côtés de chaque cheminement doit être supérieure à 500 mètres, aucun côté n'ayant une longueur inférieure à 200 mètres.

Enfin chaque cheminement ne doit pas comporter plus de 6 côtés dans le cas d'un canevas de précision.

Les formules de tolérances sont de la forme :

● Fermeture en orientation entre deux références successives :

$$T = \sqrt{2 t_1^2 + (n+1) t_2^2}$$

n : nombre de côtés du cheminement entre les deux références d'orientation;

t_1 et t_2 représentent, respectivement, la tolérance sur les gisements des visées d'orientation (de départ et d'arrivée) et la tolérance sur la mesure des angles du cheminement.

Canevas de précision :

$t_1 = 1$ mgr, ce qui correspond à une visée d'orientation de l'ordre de 2,5 km;

$t_2 = 1,4$ mgr pour la mesure d'un angle de cheminement.

Canevas ordinaire :

$t_1 = 5,0$ mgr, ce qui correspond à une visée d'orientation de l'ordre de 2,5 km;

$t_2 = 1,4$ mgr.

● Fermeture planimétrique.

La formule de tolérance est de la forme :

$$T = \sqrt{T(x)^2 + T_L^2 + T_\alpha^2 \sum_{i=0}^{i=n-1} L_i^2}$$

dans laquelle :

$T(x)$ représente la tolérance sur l'erreur en distance entre les points de départ et d'arrivée du cheminement;

T_L est la tolérance sur la mesure des longueurs des côtés.

Elle est de la forme $T_L \sqrt{n}$, T_L étant la tolérance de mesurage sur chaque côté, soit 4 cm, et n le nombre de côtés du cheminement.

T_α représente la tolérance, exprimée en radians, sur la mesure des angles du cheminement, la répartition de l'écart de fermeture angulaire ayant été effectuée.

II. — CANEVAS POLYGONAL

La formulation générale de ces tolérances est identique à celle utilisée pour les cheminements à longs côtés du canevas d'ensemble.

Toutefois, le mesurage des côtés, dans le cadre d'un canevas polygonal ordinaire, peut ne pas être effectué avec un instrument donnant la précision des appareils à réflexion d'ondes, d'où l'introduction d'un terme tenant compte d'une erreur à tendance systématique.

Les valeurs des coefficients résultent du dépouillement de travaux réels.

III. — CANEVAS ALTIMÉTRIQUE OU NIVELLEMENT

Les travaux sont obligatoirement rattachés au réseau de nivellement général en vigueur.

On distingue deux types de nivellement :

— le nivellement DIRECT, appelé aussi GÉOMÉTRIQUE;

— le nivellement INDIRECT qui comporte les nivellements GÉODÉSIQUE et TRIGONOMÉTRIQUE.

Les tolérances définies ci-après ne s'appliquent pas à des travaux spécifiques de très haute précision tels que stabilité et auscultation des ouvrages et des sols, implantations spéciales...

A. Nivellement direct

Il est exécuté à l'aide d'un niveau à lunette convenablement réglé, en procédant par cheminement à courte portée avec lecture sur mires étalonnées.

Suivant les besoins, le nivellement direct peut appartenir à l'une des trois catégories suivantes :

— nivellement de haute précision;

— nivellement de précision;

— nivellement ordinaire.

Les formules de tolérances correspondantes comportent, sous le radical, un terme du premier degré pour les erreurs accidentelles et un terme de second degré pour les erreurs à tendance systématique, sauf pour le nivellement de haute précision pour lequel les erreurs systématiques ne doivent pas subsister. Le mode opératoire doit donc être choisi en conséquence.

En particulier, dans le cas d'un nivellement de haute précision, la portée, c'est-à-dire la distance de l'appareil à la mire, ne doit pas excéder 35 mètres. Les deux portées d'une même dénivelée doivent être égales à plus ou moins 1 mètre près. En outre, on procédera par la méthode du cheminement aller-retour ou du double cheminement, sur « crapaud ».

Quant aux valeurs des coefficients des différentes formules de tolérances, elles résultent de statistiques.

Table des tolérances

Nombre de dénivelées au kilomètre : $n \leq 16$.

Longueur en kilomètres du cheminement	Tolérances en millimètres		
	Nivellement de haute précision	Nivellement de précision	Nivellement ordinaire
	mm	mm	mm
0,5	6	9	17
1	8	13	24
2	11	19	35
4	16	29	51
6	20	38	63
8	23	47	75
10	25	55	86
12	28	64	96
15	31	76	111

Nombre de dénivelées au kilomètre : $n \geq 16$.

Nombre total de dénivelées du cheminement	Tolérances en millimètres		
	Nivellement de haute précision	Nivellement de précision	Nivellement ordinaire
	mm	mm	mm
8	6	9	17
16	8	13	24
20	9	14	27
30	11	18	34
50	14	25	44
75	17	32	55
100	20	39	65
150	24	52	82
200	28	65	98
250	32	78	—
500	45	—	—
1 000	63	—	—

B. Nivellement indirect

Le nivellement indirect est un nivellement dans lequel les dénivelées s'obtiennent à partir des angles de pente et des distances.

1. Calcul de la dénivelée.

α . CAS DE LA DISTANCE HORIZONTALE.

$$\text{Dénivelée} = L_H \operatorname{tg} i + q L_H^2$$

L_H : distance horizontale à l'altitude moyenne de la visée;

i : angle de pente;

q : coefficient de correction de niveau apparent.

Lorsque cette distance est déduite des coordonnées planimétriques,

$$L_H = L_0 \left(1 + \frac{H_m}{R} \right)$$

avec :

L_0 : distance au niveau zéro (il convient de tenir compte de l'altération linéaire due au système de projection);

H_m : altitude moyenne de la visée;

R : rayon moyen terrestre.

b. CAS DE LA DISTANCE MESURÉE SUIVANT LA PENTE :

Dénivelée = $L \sin i + q L^2$;

L : distance mesurée suivant la pente;

i : angle de pente;

q : coefficient de correction de niveau apparent.

La détermination de l'altitude d'un point par rapport à un ou plusieurs autres points connus doit être obtenue par visées réciproques. Le cahier des charges précisera s'il y a lieu de procéder par visées simultanées ou non.

Si le point n'est pas stationnable on utilise des visées unilatérales issues d'au moins 3 points connus, mais les longueurs des visées ne dépasseront pas 2 kilomètres.

Par ailleurs, dans l'hypothèse d'un calcul de points par bloc à l'aide de procédés électroniques, les écarts correspondant à tous les points doivent apparaître, même si certains d'entre eux ont été exclus dans le calcul.

2. Tolérances.

a. CAS DE LA DISTANCE HORIZONTALE :

$$T_D^2 = A^2 + \operatorname{tg}^2 i \cdot T_L^2 + L^2 (1 + \operatorname{tg}^2 i)^2 T_i^2 + L^4 T_q^2$$

formule dans laquelle : T_D est la tolérance sur la dénivelée;

A : terme constant;

i : angle de pente;

T_i : tolérance sur la mesure de l'angle de pente;

L : distance horizontale;

T_L : tolérance sur la distance horizontale;

T_q : tolérance sur le coefficient de correction de niveau apparent.

Application numérique : distance déduite des coordonnées.

T_i : 5,6 mgr (visées unilatérales).

$A = 2$ cm.

$T_q = 1$.

L exprimée en kilomètres.

1. Points du canevas d'ensemble de précision : $T_L = 4$ cm

$$T_1 = \sqrt{4 + 16 \operatorname{tg}^2 i + 80 L^2 (1 + \operatorname{tg}^2 i)^2 + L^4}$$

$$T_2 = \sqrt{4 + 16 \operatorname{tg}^2 i + 40 L^2 (1 + \operatorname{tg}^2 i)^2 + \frac{L^4}{2}}$$

$$T_3 = \sqrt{4 + 16 \operatorname{tg}^2 i + 40 L^2 (1 + \operatorname{tg}^2 i)^2 + \frac{L^4}{4}}$$

T : tolérance en centimètres.

$\frac{L^4}{4}$: terme dû à un résidu de réfraction non éliminée.

TOLÉRANCES EN CENTIMÈTRES

L exprimée en kilomètres	i = 0			i = 10 grades			i = 20 grades			i = 30 grades		
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₁	T ₂	T ₃
0,2.....	3	2	2	3	2	2	3	3	3	4	3	3
0,3.....	3	3	3	3	3	3	4	3	3	4	4	4
0,4.....	4	3	3	4	3	3	5	4	4	5	4	4
0,5.....	5	4	4	5	4	4	5	4	4	6	5	5
0,6.....	6	4	4	6	4	4	6	5	5	7	6	6
0,7.....	7	5	5	7	5	5	7	5	5	8	6	6
0,8.....	7	5	5	8	6	6	8	6	6	9	7	7
0,9.....	8	6	6	9	6	6	9	7	7	11	8	8
1.....	9	7	7	9	7	7	10	7	7	12	8	8
1,5.....	14	10	10	14	10	10	15	11	11	17	12	12
2.....	18	13	13	19	13	13	20	14	14	23	16	16
2,5.....		17	16		17	17		18	18		21	20
3,0.....		20	20		21	20		22	22		25	24
3,5.....		24	23		24	24		26	25		29	29
4.....		28	27		28	27		30	29		34	33
4,5.....		32	30		33	31		35	33		39	37
5.....		36	34		37	35		39	37		44	42

2. Points du canevas d'ensemble ordinaire : T₁ = 20 cm

$$T_1 = \sqrt{4 + 400 \operatorname{tg}^2 i + 80 L^2 (1 + \operatorname{tg}^2 i)^2 + L^4}$$

$$T_2 = \sqrt{4 + 400 \operatorname{tg}^2 i + 40 L^2 (1 + \operatorname{tg}^2 i)^2 + \frac{L^4}{2}}$$

$$T_3 = \sqrt{4 + 400 \operatorname{tg}^2 i + 40 L^2 (1 + \operatorname{tg}^2 i)^2 + \frac{L^4}{4}}$$

TOLÉRANCES EN CENTIMÈTRES

L exprimée en kilomètres	i = 0			i = 10 grades			i = 20 grades			i = 30 grades		
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₁	T ₂	T ₃
0,2.....	3	2	2	4	4	4	7	7	7	11	11	11
0,3.....	3	3	3	5	4	4	7	7	7	11	11	11
0,4.....	4	3	3	5	5	5	8	7	7	11	11	11
0,5.....	5	4	4	6	5	5	8	8	8	12	11	11
0,6.....	6	4	4	7	5	5	9	8	8	12	11	11
0,7.....	7	5	5	7	6	6	9	8	8	13	11	11
0,8.....	7	5	5	8	6	6	10	9	9	14	12	12
0,9.....	8	6	6	9	7	7	11	9	9	15	13	13
1.....	9	7	7	10	8	8	12	10	10	15	13	13
1,5.....	14	10	10	14	11	10	16	13	13	20	16	16
2.....	18	13	13	19	14	14	21	16	16	25	19	19
2,5.....		17	16		17	17		19	19		23	23
3.....		20	20		21	20		23	23		27	26

L exprimée en kilomètres	i = 0			i = 10 grades			i = 20 grades			i = 30 grades		
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₁	T ₂	T ₃
3,5.....		24	23		25	24		27	26		31	30
4.....		28	27		29	27		31	30		35	34
4,5.....		32	30		33	31		35	34		40	39
5.....		36	34		37	35		40	38		45	43

b. CAS DE LA DISTANCE MESURÉE SUIVANT LA PENTE.

$$T_D^2 = A^2 + T_L^2 \sin^2 i + L^2 \cos^2 i T_t^2 + L^4 T_q^2$$

T_D : tolérance sur la dénivelée,

A : terme constant,

i : angle de pente,

T_t : tolérance sur la mesure de l'angle de pente,

L : longueur mesurée suivant la pente,

T_L : tolérance sur la longueur mesurée,

T_q : tolérance sur le coefficient de correction de niveau apparent.

Applications numériques.

A = 2 cm, T₁ = 5,6 mgr pour des visées unilatérales

T_L = 3 + L dans le cas de mesures avec un appareil à réflexion d'ondes,

T_q = 1 lorsque L est exprimé en kilomètres et T_D en centimètres.

$$T_4 = \sqrt{4 + (3 + L)^2 \sin^2 i + 80 L^2 \cos^2 i + L^4}$$

$$T_5 = \sqrt{4 + (3 + L)^2 \sin^2 i + 40 L^2 \cos^2 i + \frac{L^4}{2}}$$

$$T_6 = \sqrt{4 + (3 + L)^2 \sin^2 i + 40 L^2 \cos^2 i + \frac{L^4}{4}}$$

TOLÉRANCES EN CENTIMÈTRES

L exprimée en kilomètres	i = 0			i = 10 grades			i = 20 grades			i = 30 grades		
	T ₄	T ₅	T ₆	T ₄	T ₅	T ₆	T ₄	T ₅	T ₆	T ₄	T ₅	T ₆
0,2.....	3	2	2	3	2	2	3	3	3	3	3	3
0,3.....	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
0,4.....	4	3	3	4	3	3	4	3	3	4	3	3
0,5.....	5	4	4	5	4	4	5	4	4	5	4	4
0,6.....	6	4	4	6	4	4	6	4	4	5	4	4
0,7.....	7	5	5	7	5	5	6	5	5	6	5	5
0,8.....	7	5	5	7	5	5	7	5	5	7	5	5
0,9.....	8	6	6	8	6	6	8	6	6	8	6	6
1,0.....	9	7	7	9	7	7	9	6	6	8	6	6
1,5.....	14	10	10	14	10	10	13	9	9	12	9	9
2,0.....	18	13	13	18	13	13	18	13	12	17	12	12
2,5.....		17	16		16	16		16	16		15	15
3,0.....		20	20		20	19		19	19		18	18
3,5.....		24	23		24	23		23	22		22	21
4,0.....		28	27		28	26		27	26		25	24
4,5.....		32	30		32	30		31	29		29	28
5,0.....		36	34		36	34		35	33		34	31

IV. — TRAVAUX PHOTOGRAMMÉTRIQUES

Les tolérances fixées ne concernent que les travaux de photogrammétrie aérienne exécutés en vue de l'établissement d'un plan topographique, qu'il soit graphique ou numérique.

Toutefois, elles ne s'appliquent pas aux méthodes utilisées pour les levés expédiés ou simplifiés et résultant le plus souvent d'opérations graphiques (triangulation radiale, étude stéréoscopique...).

1. Prise de vues aériennes.

1.1. La prise de vues peut être :

— soit demandée en plan de vol imposé (cas d'une présignalisation).

Dans ce cas, une tolérance supplémentaire sur l'écart entre les positions planimétriques réelle et imposée de chacun des centres de cliché peut être fixée.

— soit laissée à l'initiative de l'entrepreneur : il est alors recommandé au maître d'ouvrage de déterminer les contraintes externes (délimitation de la zone, période de prise de vues, précision exigée à l'exploitation) et de laisser à l'entrepreneur, compte tenu de son matériel, l'initiative des conditions d'exécution (plan de vol, échelle et altitude, recouvrements...) sous réserve que les tolérances fixées en matière de prise de vues soient respectées, ainsi que les exigences de précision lors de l'exploitation ultérieure.

1.2. Dans les deux cas, il est recommandé au maître d'ouvrage de prescrire l'emploi de films sur support stable ou de plaques à planéité contrôlée.

1.3. Par ailleurs le maître d'ouvrage est en droit d'exiger de l'entrepreneur :

1.3.1. Un certificat d'étalonnage (datant de moins de 4 ans au maximum) de la chambre de prise de vues utilisée et donnant notamment :

- les éléments d'identification de la chambre (marque, type, numéro, objectif) ;
- le résultat du contrôle de la planéité du fond de chambre et de l'orthogonalité des lignes joignant les repères (distances entre repères exprimées en micromètres) ;
- la position du point principal par rapport au centre du cliché en précisant s'il s'agit du point d'autocollimation ou du point de symétrie ;
- la valeur de la distance principale d'étalonnage et l'angle de champ correspondant ;
- le graphique (ou le tableau) de centrage et de distorsion qui fournit les valeurs absolues des distorsions radiales et tangentielles.

1.3.2. Le tableau d'assemblage de la prise de vues réalisée faisant apparaître :

- les date(s) et heure(s) de la prise de vues,
- les altitudes moyennes de vol au-dessus du niveau de la mer,
- l'échelle moyenne des clichés,
- l'échelle du tableau d'assemblage,
- les limites des surfaces couvertes par les clichés ou par les bandes de clichés,
- les centres des clichés et leurs numéros,
- la délimitation particulière des zones non couvertes stéréoscopiquement (défaut de recouvrement, nuages...).

1.3.3. Le rapport de vol fournissant des renseignements sur les conditions météorologiques (température au sol et à l'altitude de vol, direction et vitesse du vent) et sur le déroulement des opérations (fonctionnement du matériel, difficultés rencontrées...).

1.4. Une tolérance relative à l'anisotropie des clichés est prévue. Elle concerne à la fois les négatifs originaux (application sur le fond de chambre, variations dimensionnelles dues aux conditions de développement et de stockage) et les contretypes utilisés, le cas échéant, pour l'exploitation.

Dans la mesure où l'entrepreneur aurait à utiliser des clichés dont les dimensions entre marques-repères présenteraient des écarts hors tolérance comparativement à la figure d'étalonnage du fond de chambre, il lui appartiendrait de prendre toutes dispositions pour corriger les erreurs consécutives à ces défauts au cours des opérations d'exploitation (aérocanévas, restitution) et d'en rendre compte au maître d'ouvrage.

1.5. S'il est difficile de fixer les tolérances générales sur les qualités de l'image (pouvoir séparateur, densité, valeurs de contraste...) en raison de l'influence des conditions de la prise de vues, du type d'émulsion, etc., en revanche il est possible au maître d'ouvrage de fixer des marges pour chacun de ces éléments.

Exemples :

- densité comprise entre 0,4 et 1,5 (cette densité étant mesurée sur une surface d'au moins 0,5 cm²),
- pouvoir séparateur minimum de l'ensemble objectif-film :
 - 50 traits au mm au centre du cliché,
 - 15 traits au mm sur les bords.

2. Canevas de stéréopréparation.

2.1. Selon les exigences du maître d'ouvrage en matière de restitution, le canevas d'ensemble sur lequel s'appuie le canevas photogrammétrique sera soit un canevas de précision, soit un canevas ordinaire. En aucun cas la valeur de ce canevas d'appui ne saurait être inférieure à celle du canevas ordinaire.

2.2. La précision de la définition géométrique et photographique des points du canevas de stéréopréparation doit être au moins aussi bonne que celle de la détermination de leurs coordonnées.

2.3. ALTIMÉTRIE.

L'écart-type dh caractérisant la précision de détermination de l'altitude d'un point par restitution est donné par les formules classiques :

$$\frac{dh}{H} = \frac{dp}{p} \quad \text{ou} \quad dh = \frac{H^2}{Bf} dp$$

H : hauteur de vol au-dessus du terrain ;

p : parallaxe stéréoscopique ;

dp : écart-type caractérisant l'appréciation de cette parallaxe ;

B : base de prise de vues ;

f : focale.

Dans les conditions normales d'exploitation :

• objectif orthoscopique moderne ;

• format d'image 23×23 cm ;

• recouvrement longitudinal de 60 % ;

• stéréorestituteur de précision avec lequel l'écart-type caractérisant l'appréciation de la parallaxe stéréoscopique est $dp = 10 \mu\text{m}$, l'écart-type caractérisant la précision de détermination de l'altitude d'un point restitué est donné par :

$$dh = \frac{H}{7\,000}, \quad dh \text{ et } H \text{ en mètres}$$

(**Remarque** : Pour une précision altimétrique de restitution imposée par le maître d'ouvrage cette relation fixe la hauteur maximale du vol à réaliser).

La tolérance en altimétrie sur les points de stéréopréparation est généralement considérée comme devant être la moitié de la tolérance imposée en restitution, dans ces conditions cette tolérance est :

$$T_h = \frac{H}{5\,500}.$$

2.4. PLANIMÉTRIE.

La précision de la détermination planimétrique d'un point en restitution dépend des précisions d'appréciation des parallaxes longitudinale et transversale. Sur un restituteur de précision on peut estimer que l'écart-type caractérisant cette précision résultante est de $20 \mu\text{m}$, c'est cette valeur qui donne dans l'espace des clichés l'écart-type de détermination planimétrique du point restitué. Dans l'espace terrain cet écart-type devient : $20 \times E_c \cdot 10^{-6}$ mètres (E_c étant le facteur

d'échelle des clichés, échelle = $\frac{1}{E_c}$).

(**Remarque** : Pour une précision planimétrique imposée par le maître d'ouvrage cette relation fixe la valeur maximale de E_c donc la valeur minimale de l'échelle des clichés à obtenir.

La tolérance en position planimétrique sur les points de stéréopréparation est généralement considérée comme devant être les deux tiers de la tolérance imposée en restitution ; dans ces conditions cette tolérance est :

$$T_p = 34 \times E_c \times 10^{-6} \text{ mètres (ou } 3,4 \times E_c \cdot 10^{-3} \text{ cm)}$$

2.5. REMARQUE POUR PRISES DE VUES PARTICULIÈRES.

Si pour des raisons diverses acceptées par le maître d'ouvrage (ex. : prise de vues déjà existante, échelle des clichés plus grande pour une meilleure identification des détails), les valeurs réelles de H et/ou de E_c sont légèrement inférieures aux valeurs théoriques résultant de la précision exigée pour la restitution, ce sont ces valeurs théoriques qui pourront exceptionnellement être prises en compte pour le calcul des tolérances du canevas de stéréopréparation.

2.6. APPLICATIONS NUMÉRIQUES.

a. *Focale* : 150 millimètres.

E_c	H	$T_p = 3,4 \times E_c \times 10^{-3}$	$T_h = \frac{H}{5\,500}$
	m	cm	cm
20.000	3.000	68	55
15.000	2.250	51	41
10.000	1.500	34	27
8.000	1.200	27	22
4.000	600	14	11
2.000	300	7	5

b. *Focale* : 210 millimètres.

E_c	H	$T_p = 3,4 \times E_c \times 10^{-3}$	$T_h = \frac{H}{5\,500}$
	m	cm	cm
10.000	2.100	34	38
8.000	1.680	27	30
4.000	840	14	15
2.000	420	7	8

3. Aérocanévas.

3.1. Appuyé sur un certain nombre de points déterminés par méthodes terrestres et identifiés sur les clichés, un aérocanévas s'exécute en deux phases :

a. L'acquisition des données, c'est-à-dire l'ensemble des mesures effectuées sur les clichés :

- soit à l'aide d'un comparateur (méthode analytique);
- soit à l'aide d'un appareil de restitution analogique (méthode analogique).

Ces mesures permettent des autocontrôles ou contrôles internes.

b. Le traitement comprenant :

- la formation des stéréomodèles (dans le cas de la méthode analytique);
- la formation des bandes;
- la formation et la compensation du bloc (cette compensation aboutit aux contrôles externes).

3.2. L'acquisition des données doit être obtenue impérativement :

a. A partir des clichés négatifs originaux ou à défaut à partir de contretypes positifs exécutés de manière à ne pas altérer les qualités métriques du négatif original;

b. En utilisant un enregistreur de données (sur bande ou sur cartes) commandé automatiquement par les codeurs de l'appareil de mesure.

3.3. La répartition des points d'appui photogrammétriques doit en principe obéir aux règles minimales suivantes de densité et de position :

— un point (X, Y) et un point (Z) à chacun des angles du polygone à traiter en aérocanévas. Ces deux points peuvent être confondus;

— un point (X, Y) pour 5 stéréomodèles environ y compris les points d'angle du polygone. Les points devront être uniformément répartis;

— un point (Z) pour 2 stéréomodèles environ. Dans le cas où le programme d'aérocanévas utilisé le nécessite, ces points devront permettre l'orientation, dans le sens perpendiculaire à la ligne de vol, d'un stéréomodèle sur quatre.

3.4. La précision des observations a pour base l'écart-type sur le pointé stéréoscopique, lequel écart ramené à l'échelle des clichés est estimé comme suit :

- Sur un comparateur :
 - 2,5 micromètres sur un point prébalisé ou matérialisé;
 - 5 micromètres sur un détail naturel.
- Sur un stéréorestituteur de précision:
 - 5 micromètres sur un point présignalisé;
 - 10 micromètres sur un détail naturel.

Ces valeurs fournissent des autocontrôles au moment des observations.

3.5. Les tolérances fixées ne préjugent pas de l'existence ou non d'une présignalisation. Au cours du traitement d'un aérocanevas il y a plusieurs contrôles à chacun desquels correspond une tolérance :

- a. Sur les résidus de parallaxe transversale après orientation relative des deux clichés constituant un stéréomodèle (dans le cas où la méthode analytique est appliquée);
- b. Sur les points de liaison entre bandes d'un même bloc : contrôle des coordonnées obtenues dans chacune des bandes sur les points communs à plusieurs bandes;
- c. Sur les points d'appui : contrôle des résidus sur les points d'appui (ou d'asservissement), c'est-à-dire sur les points déterminés sur le terrain et ayant servi aux compensations;
- d. Sur les points de contrôle; on appelle point de contrôle (ou de vérification) un point déterminé par l'aérocanevas non utilisé comme point d'appui, dont on vérifie les coordonnées par procédé terrestre à partir d'un ou de plusieurs points d'appui (ou d'asservissement); sauf en cas de présignalisation, la tolérance fixée pour ce contrôle ne tient pas compte de l'erreur possible sur l'identification du point vérifié, c'est-à-dire de l'indétermination entre le point reconnu sur le terrain et son image sur le cliché : il convient de la cumuler avec l'erreur admise pour la détermination par aérocanevas.

Remarque :

Pour certains travaux expédiés, des aérocanevas peuvent être exécutés à partir de canevas n'ayant pas la précision du canevas ordinaire (canevas graphique par exemple). Les tolérances ne sont, bien entendu, pas applicables aux travaux expédiés dont il s'agit. On remarquera cependant qu'un aérocanevas a une précision interne qui ne dépend pas de la qualité des instruments de prise de vues et de mesure. De ce fait, les tolérances relatives aux opérations photogrammétriques non influencées par la qualité du canevas d'appui peuvent être appliquées.

4. Survol.

4.1. Cette méthode consiste à calculer les coordonnées des points de calage de la prise de vues à restituer, à partir d'une prise de vues à plus haute altitude (vol supérieur), cette dernière étant complètement équipée par un canevas obtenu par procédés terrestres (aérocanevas exclu).

La méthode ne peut pas servir pour des déterminations *altimétriques*.

4.2. Les formules (résultant des statistiques) supposent réalisées les trois conditions suivantes :

1. L'échelle du vol supérieur est comprise entre 1/12.000 et 1/20.000, pour un vol inférieur d'échelle 2 à 2,5 fois plus grande.
2. Les deux prises de vues sont effectuées le même jour ou à quelques jours d'intervalle.
3. Les points connus et à déterminer sont présignalisés ou ont une définition, tant sur le terrain que sur l'image, équivalente à celle d'un point présignalisé.

5. Restitution.

Une restitution est effectuée pour aboutir à un document graphique ou numérique, dont la précision souhaitée, planimétrique comme altimétrique, est fixée a priori. Le matériel et la méthode seront choisis par l'entrepreneur pour aboutir à cette précision et respecter les tolérances correspondantes.

Il est admis que, dans tout le volume d'interpolation exploité dans un modèle stéréoscopique, sur un point bien défini, les écarts-types en planimétrie et en altimétrie sont respectivement égaux à 1,4 fois et 2 fois les écarts-types sur les points de calage, d'où les tolérances sur les points de calage.

6. Complètement au sol.

Quelle que soit la date de la prise de vue, la restitution doit être accompagnée d'un complètement dont l'importance est fonction des exigences du maître d'ouvrage en ce qui concerne la représentation des détails.

En revanche, les orthophotoplans ne donnant pas lieu, en général, à complètement, il importe que la prise de vue dont ils sont tirés soit la plus récente possible.

V. — PRÉSENTATION ET VÉRIFICATION DES PLANS

A. Présentation des plans

Sur les plans à grande échelle doivent au minimum figurer en clair les indications suivantes :

- l'échelle;
- le type du plan (plan topographique, plan parcellaire, plan foncier...);
- la nature (graphique, numérique, numérisé, orthotoplan);
- le mode d'établissement (procédé terrestre, procédé photogrammétrique);
- l'année d'établissement;
- l'année d'actualisation, le cas échéant;
- la date de la prise de vue, éventuellement;
- les dates de rattachement au réseau géodésique et au réseau de nivellement;
- la désignation du maître d'ouvrage et, éventuellement, celle du maître d'œuvre;
- le label attribué par le service du Cadastre.

Pour les plans présentés en coupures pleines il y a lieu de tenir compte, en outre, des dispositions prévues par l'arrêté interministériel du 12 juillet 1976 (*J.O. du 21 août 1976*).

B. But de la vérification

La vérification d'un plan a pour but de s'assurer de son adéquation aux normes fixées par le maître d'ouvrage en ce qui concerne :

- la présentation;
- le contenu;
- la précision.

A l'issue de la vérification, qui est effectuée dans un délai maximum d'un mois à compter de la réception du dossier complet, un avis est émis proposant soit l'acceptation, soit le rejet total ou partiel des travaux.

Le contenu et la présentation du plan sont vérifiés conformément au cahier des charges.

C. Méthodologie

Le moyen de vérification, laissé à l'initiative du vérificateur, doit être d'une précision compatible avec la catégorie de plan demandée.

1. Exécution de la vérification.

La vérification est obligatoirement assortie d'un contrôle sur le terrain auquel le géomètre est invité à assister.

Il convient de procéder par sondage et de mesurer entre points stables, bien identifiés et précis. La vérification est faite par rapport aux points du canevas d'ensemble et, également, de détail à détail.

Il est alors procédé à la comparaison des mesures sur le terrain avec les valeurs homologues issues du plan ou déduites des coordonnées (plans numériques).

2. Appréciation de la valeur des travaux.

Chaque écart est comparé à la tolérance de la catégorie exigée par le maître d'œuvre, étant précisé que les éléments représentés sur le plan peuvent appartenir à des catégories différentes (exemple : P₁ pour le corps de rue et P₄ pour les intérieurs d'îlots).

Si le nombre d'écarts hors tolérances ne dépasse pas 4 % du nombre total (supérieur à 100) des écarts il est procédé au calcul de la moyenne quadratique des écarts individuels qui permet de juger la répartition des écarts. Les écarts hors tolérances ne sont pas pris en compte pour ce calcul.

Si le nombre d'éléments vérifiés est inférieur à 100 par catégorie, le nombre d'écarts hors tolérance admis est le suivant :

Nombre d'écarts	0 à 19	20 à 49	50 à 99
Écarts hors tolérances.....	1	2	3

Lorsque la moyenne quadratique satisfait à la tolérance correspondante, les travaux font l'objet d'une acceptation immédiate, sous réserve de mettre en accord le plan (ou le fichier) et les cotes de vérification en ce qui concerne les écarts dépassant la tolérance.

Dans l'hypothèse où le nombre d'écarts supérieurs à la tolérance dépasse 4 % ou si la moyenne quadratique des écarts individuels ne satisfait pas à la tolérance, le travail donne lieu à reprise par l'entrepreneur.

Dans l'éventualité où il serait hors tolérance après une nouvelle vérification, le rejet serait proposé.

3. Rapport de vérification.

Les constatations faites en cours de vérifications sont relatées dans un rapport. Celui-ci est communiqué au géomètre qui y consigne ses explications.

Après avoir, si besoin est, porté ses nouvelles observations, le vérificateur formule à la fin du rapport ses conclusions touchant soit à l'acceptation pure et simple, soit à l'acceptation sous conditions, soit au rejet provisoire ou définitif des travaux.

Le rapport de vérification est adressé au service qui a ordonné les travaux.

La vérification effectuée par le service du Cadastre donne lieu à l'attribution d'un « label ». Celui-ci mentionne sur le plan minute la catégorie à laquelle il appartient, de la manière suivante :

Exemples.

1. Plan graphique issu d'un plan numérique :

Plan numérique de catégorie P_1 : reproduction à l'échelle de 1/2.000.

2. Plan graphique :

PLANIMÉTRIE :

Corps de rues : catégorie P_3 ;

Intérieurs d'îlots : catégorie P_4 .

ALTIMÉTRIE :

Points cotés : catégorie A_1 .

Fait à Paris le 28 janvier 1980.