

INSTRUCTIONS
RELATIVES À L'ÉTABLISSEMENT
DE RÉSEAUX GÉODÉSIQUES
PAR LA MÉTHODE GPS

RECONNAISSANCE, OBSERVATIONS, CALCULS

DIRECTION DE LA RÉFÉRENCE GÉODÉSIQUE

Novembre 1999

Table des matières

AVANT-PROPOS	iii
1 - HIÉRARCHIE ET STRUCTURE DES RÉSEAUX	1
2 - RECONNAISSANCE	3
2.1 Généralités	3
2.1.1 Planification	3
2.1.2 Inspection	4
2.1.3 Choix des sites	4
2.1.3.1 La visibilité satellite	4
2.2.3.2 L'assise	5
2.1.3.3 L'accessibilité	5
2.1.3.4 Les intervisibilités	5
2.1.3.5 Autres considérations	5
2.1.4 Documents à préparer	6
2.1.5 Vérification du sous-sol et autorisations	6
2.1.6 Documents à remettre à la DRG	7
2.2 Particularités	8
2.2.1 Réseaux de niveau A2	8
2.2.1.1 Espacement entre les points	8
2.2.1.2 Visibilité satellite	8
2.2.1.3 Assise	8
2.2.1.4 Intervisibilité	9
2.2.2 Réseaux de niveau A3	9
2.2.2.1 Espacement entre les points	9
2.2.2.2 Visibilité satellite	9
2.2.2.3 Assise	10
2.2.2.4 Intervisibilité	10

Table des matières (suite)

2.2.3 Réseaux de niveaux B1 et B2	10
2.2.3.1 Espacement entre les points	10
2.2.3.2 Visibilité satellite	10
2.2.3.3 Assise	11
2.2.3.4 Intervisibilité	11
3 - CHOIX D'ÉQUIPEMENT ET MÉTHODES DE DÉTERMINATION	16
3.1 Équipement	16
3.1.1 Récepteurs	16
3.1.2 Antenne	17
3.2 Modes de détermination	17
3.2.1 Le mode statique	17
3.2.2 Le mode statique rapide	18
3.2.3 Tableau des niveaux, modes de détermination permis et particularités requises	19
4 - OBSERVATIONS ET CALCULS	20
4.1 Planification	20
4.2 Observations sur le terrain	22
4.3 Préparation des données	23
4.4 Calcul des vecteurs	28
4.5 Validation des résultats	29
4.5.1 Utilisation du logiciel GEOLAB	30
4.6 Compensation finale	33
4.7 Rapport et documents à remettre	33

Avant-propos

Les présentes instructions s'adressent principalement aux exécutants mandatés par la Direction de la référence géodésique (DRG) pour l'établissement de réseaux géodésiques par la méthode GPS. Tout autre mandataire d'autres organismes procédant à de tels travaux et désirant voir ses données intégrées au système d'informations géodésiques du Québec (GEODEQ) devrait également se conformer à ces instructions. Le document peut aussi s'avérer utile à quiconque désirerait procéder à la planification, à la réalisation ou à l'étude des méthodes d'établissement d'un réseau géodésique par la méthode GPS.

Les normes et méthodes édictées dans les instructions couvrent tous les réseaux GPS compris entre ceux de niveau B2, dont les vecteurs sont de moins de 5 km, et les réseaux de niveau A2, dont les vecteurs peuvent atteindre 100 km.

Toute personne qui, en consultant les instructions, y découvrirait des erreurs ou aurait des suggestions ou commentaires à soumettre est invitée à communiquer avec la Direction de la référence géodésique.

Les utilisateurs des présentes instructions s'engagent à respecter les lois et règlements du Québec particulièrement en ce qui concerne le respect des lois professionnelles.

Sont également disponibles les documents suivants :

- *Instructions relatives à la détermination de l'altitude de points planimétriques par nivellement géométrique ;*
- *Instructions relatives à la matérialisation des points géodésiques ;*
- *Normes d'exécution relatives à l'établissement des canevas de 4^e ordre urbains ;*
- *Instructions pour l'établissement des réseaux géodésiques de base, fascicule 1, canevas planimétrique ;*
- *Instructions pour l'établissement des réseaux géodésiques de base, fascicule 2, canevas altimétrique ;*
- *Guide d'entretien du réseau géodésique ;*
- *Guide de rédaction d'une fiche signalétique.*

1 - HIÉRARCHIE ET STRUCTURE DES RÉSEAUX

Quel que soit le niveau de réseau planimétrique GPS à établir, tout nouveau réseau devra s'appuyer sur un minimum de trois points de niveau supérieur, tant en planimétrie qu'en altimétrie. Il n'est pas nécessaire que les appuis altimétriques correspondent aux points qui servent d'appui en planimétrie. Les points d'appui doivent être uniformément répartis en périphérie et à l'intérieur du nouveau réseau, s'il y a lieu.

Tout nouveau point devra être déterminé à l'aide d'un minimum de trois vecteurs. De plus, sauf pour les points situés en périphérie du réseau, les vecteurs émanant du point à déterminer seront distribués autour de celui-ci dans trois quadrants différents.

D'une façon générale, on prévoira qu'un minimum de 10 pour cent des vecteurs soient communs à deux sessions contiguës et donc mesurés deux fois. Ces vecteurs doubles devront être uniformément répartis à travers tout le réseau.

Tout autre type de structure de réseau géodésique devra être approuvé par la DRG.

COMPOSANTES DES RÉSEAUX GÉODÉSIQUES CANADIENS ET QUÉBÉCOIS

CANADA	QUÉBEC	DISTANCE ENTRE LES POINTS	PRÉCISION	MÉTHODE D'OBS. UTILISÉE
VLBI			0,002 ppm	Interférométrie
ACS	Niveau AA	1 000 à 1 500 km	0,01 ppm	GPS
CBN	Niveau A1	100 à 500 km	0,05 ppm	GPS
CBN (DENSIFIÉ)	Niveau A2	env. 50 km	0,3 ppm	GPS
	Niveau A3	5 - 15 km	1,0 ppm	GPS
	Niveau B1	+ de 5 km	10 ppm	GPS
	Niveau B2	- de 5 km	20 ppm	GPS
Réseau primaire conventionnel	Ordre 1	20 km	10 ppm	Conventionnelle
Réseau secondaire conventionnel	Ordre 2	5 km	15 ppm	Conventionnelle
	Ordre 3	1 - 2 km	20 ppm	Conventionnelle
	Ordre 4	200 à 500 m	40 ppm	Conventionnelle

2 - RECONNAISSANCE

2.1 Généralités

2.1.1 Planification

La planification consiste à :

- ⇒ définir les besoins en considérant la superficie du territoire à équiper et le niveau de la structure à implanter ;
- ⇒ recueillir les données les plus récentes sur la structure existante : points d'appui en planimétrie et en altimétrie, points existants à intégrer, etc. ;
- ⇒ préparer un plan-projet sur un fond cartographique montrant les sites prévus des nouveaux points, les points d'appui et les points existants intégrés au nouveau réseau.

Les échelles de fond de carte du plan-projet devraient être :

- pour les niveaux A2 et A3 : 1 / 250 000 ;
- pour le niveau B1 : 1 / 50 000 ;
- pour le niveau B2 : 1 / 20 000 ou 1 / 10 000.

Ce plan-projet doit être soumis à la DRG pour approbation.

2.1.2 Inspection

Tous les points existants impliqués dans le projet doivent être inspectés. Lors de cette inspection, les travaux de maintenance tels remplacement de balise et recentrage ou remplacement de regard doivent être exécutés.

Les modalités d'exécution de l'inspection sont précisées dans le *Guide d'entretien du réseau géodésique*.

Les documents produits lors de cette opération doivent être transmis à la DRG.

2.1.3 Choix de sites

Le choix du site est déterminé en considérant les caractéristiques qui suivent.

2.1.3.1 *LA VISIBILITÉ SATELLITE*

L'horizon doit être dégagé à partir d'un angle d'élévation de 15 °.

À l'intérieur d'un rayon de 50 mètres, le site doit être dégagé de structure métallique, de pylône de ligne à haute tension ou de surface verticale ou horizontale pouvant réfléchir le signal satellite ; la présence de lampadaires espacés n'affecte pas ou peu le signal satellite.

N.B. : il est important de s'enquérir auprès de la municipalité ou du propriétaire du lieu de l'existence de projets de construction pouvant rendre le site inexploitable à brève échéance, ou mettre en danger la pérennité même du repère.

2.1.3.2 *L'ASSISE*

Une assise stable assure la pérennité du repère et on doit tenir compte du type de matérialisation prévue pour le niveau de la structure à implanter.

2.1.3.3 *L'ACCESSIBILITÉ*

Le point géodésique doit être accessible en tout temps et la mise en station des instruments doit y être facile et l'observateur doit toujours y être en sécurité.

2.1.3.4 *LES INTERVISIBILITÉS*

Dans certains cas, selon le niveau du réseau, il faudra prévoir des intervisibilités vers des points voisins ou des points hauts connus afin de permettre des visées d'orientation. **Ces intervisibilités doivent être mentionnées sur le formulaire *DESCRIPTION D'UN POINT DE CANEVAS*, dans les champs 240 à 250 (repères visibles (matricule)).**

2.1.3.5 *AUTRES CONSIDÉRATIONS*

Pour chaque site reconnu, il faut évaluer les temps d'accès (marche ou véhicule) à partir de la voie publique ; il faut éviter les sites où les temps d'accès sont supérieurs à 20 minutes.

On doit localiser avec le plus d'exactitude possible l'emplacement du nouveau repère en y laissant des marques distinctives telles tige de métal, marque de peinture, etc., en prenant soin que ces marques ne soient pas permanentes et n'endommagent pas la propriété. Ces marques guideront ultérieurement l'équipe de matérialisation.

2.1.4 Documents à préparer

On doit dresser sur un fond de carte, à une échelle appropriée, un plan final montrant les sites reconnus et tous les autres points impliqués dans le projet. Sur ce plan, tous les points seront identifiés par leurs matricules respectifs.

Une *GRILLE DES OBSTACLES* doit être complétée pour chaque point du projet. On doit y mentionner, en plus du croquis du dégagement du site, les faits ou circonstances pouvant affecter la planification des observations tels : la limitation à l'accès, l'autorisation à obtenir au préalable, le temps et le moyen d'accès, etc.

Pour chaque nouveau point, il faut rédiger une description en bonne et due forme sur le formulaire *DESCRIPTION D'UN POINT DE CANEVAS*. **Il est important d'y mentionner les intervisibilités avec d'autres repères ou points hauts** (voir : *Guide de rédaction d'une fiche signalétique*).

2.1.5 Vérification du sous-sol et autorisations

Le responsable du projet a l'obligation de vérifier la présence d'infrastructures souterraines et doit obtenir les certifications ou autorisations des responsables concernés. Il en est de même en ce qui concerne les autorisations à obtenir des propriétaires des sites touchés ou de leurs représentants.

Compte tenu de cette obligation :

- on avisera les autorités municipales de l'intention d'implanter des repères sur leur territoire ; à cet effet, on fournira un plan montrant les sites reconnus et les copies des descriptions des nouveaux points ; des ententes devront être convenues entre les municipalités et la DRG pour l'implantation des nouveaux

repères ; il faudra remplir à cet effet le formulaire *LETTRE D'ENTENTE RELATIVE À L'IMPLANTATION D'UN REPÈRE GÉODÉSIQUE* ;

- on vérifiera, auprès de la municipalité et des compagnies d'utilité publique, la présence d'infrastructures (téléphone, conduites de gaz, aqueduc, etc.) et on obtiendra les autorisations ou certifications pertinentes ; les documents attestant de ces démarches seront transmis en même temps que les descriptions des nouveaux points ;
- sur les propriétés privées, on obtiendra du propriétaire ou de son représentant les autorisations requises ; il faudra remplir à cet effet le formulaire *LETTRE D'ENTENTE RELATIVE À L'IMPLANTATION D'UN REPÈRE GÉODÉSIQUE*.

2.1.6 Documents à remettre à la DRG

- Les grilles des obstacles.
- Les descriptions des nouveaux points.
- Les cartes montrant les nouveaux repères et les lignes d'intervisibilité.
- Les lettres d'entente avec les propriétaires privés concernés.
- Les lettres d'entente avec les municipalités.
- Les documents attestant des autorisations ou certifications obtenues pour l'implantation des repères.
- Les rapports d'inspection et de maintenance.

2.2 Particularités

À partir des exigences d'ordre général précédemment énoncées, des particularités sont à considérer en fonction du type de réseau à implanter.

2.2.1 Réseaux de niveau A2

2.2.1.1 *ESPACEMENT ENTRE LES POINTS*

La distance entre les points du réseau de niveau A2 est d'environ 50 km.

2.2.1.2 *VISIBILITÉ SATELLITE*

Le site doit être dégagé au-dessus d'un angle d'élévation de 15° sur un horizon de 360° .

Il est impératif de s'assurer auprès des autorités (municipalité, ministère des Transports ou propriétaire concerné) qu'il n'y aura pas de construction à moyen terme (considérer une période de dix ans) pouvant affecter le dégagement du site.

Le dégagement requis sera confirmé par la grille d'obstacles.

2.2.1.3 *ASSISE*

On doit trouver, sur le site, du roc ou un sol pouvant recevoir un pilier de béton.

Il faut privilégier les propriétés du domaine public ; dans le cas de propriétés privées, les démarches doivent être faites pour obtenir les autorisations nécessaires et s'assurer de l'accessibilité.

2.2.1.4 *INTERVISIBILITÉ*

L'intervisibilité avec d'autres points n'est pas requise.

2.2.2 Réseaux de niveau A3

2.2.2.1 *ESPACEMENT ENTRE LES POINTS*

La distance entre les points dans un réseau de niveau A3 varie d'environ cinq km, en milieu urbain, à environ 15 km, en milieu rural.

2.2.2.2 *VISIBILITÉ SATELLITE*

Le site doit être dégagé au-dessus d'un angle d'élévation de 15 ° sur un horizon de 360 °.

Il est impératif de s'assurer auprès des autorités (municipalité, ministère des Transports ou propriétaire concerné) qu'il n'y aura pas de construction à moyen terme (considérer une période de dix ans) pouvant affecter le dégagement du site.

Le dégagement requis sera confirmé par la grille d'obstacles.

2.2.2.3 *ASSISE*

On doit trouver, sur le site, du roc ou une structure pouvant recevoir un médaillon ou un tuyau simple ancré ou un sol stable permettant d'y enfoncer un tuyau double avec un regard.

2.2.2.4 *INTERVISIBILITÉ*

L'intervisibilité avec d'autres points n'est pas requise.

2.2.3 Réseaux de niveaux B1 et B2

2.2.3.1 *ESPACEMENT ENTRE LES POINTS*

La distance entre les points d'un réseau de niveau B1 peut varier de 5 km à 40 km. Dans un réseau de niveau B2, la distance entre les points peut varier de 200 m, en milieu urbain, jusqu'à 5 km, en milieu rural.

2.2.3.2 *VISIBILITÉ SATELLITE*

On doit choisir un site qui offre la meilleure visibilité avec un minimum d'obstacles au-dessus de 15 ° et où les créneaux d'observation, pour la période prévue, permettent de voir au moins cinq satellites avec un PDOP favorable ; ces créneaux sont déterminés en combinant les grilles d'obstacles et les tracés des déplacements des satellites.

Sur demande, la DRG fournira un tracé des déplacements des satellites pour la période d'observation prévue.

2.2.3.3 *ASSISE*

On doit trouver, sur le site, du roc ou une structure pouvant recevoir un médaillon ou un tuyau simple ancré ou un sol stable permettant d'y enfoncer un tuyau simple de 1,8 m avec regard.

2.2.3.4 *INTERVISIBILITÉ*

On doit rechercher des intervisibilités au sol avec des points adjacents ou des points hauts connus de classe acceptable.

Généralement les points du réseau B2 sont établis par paire de points intervisibles.

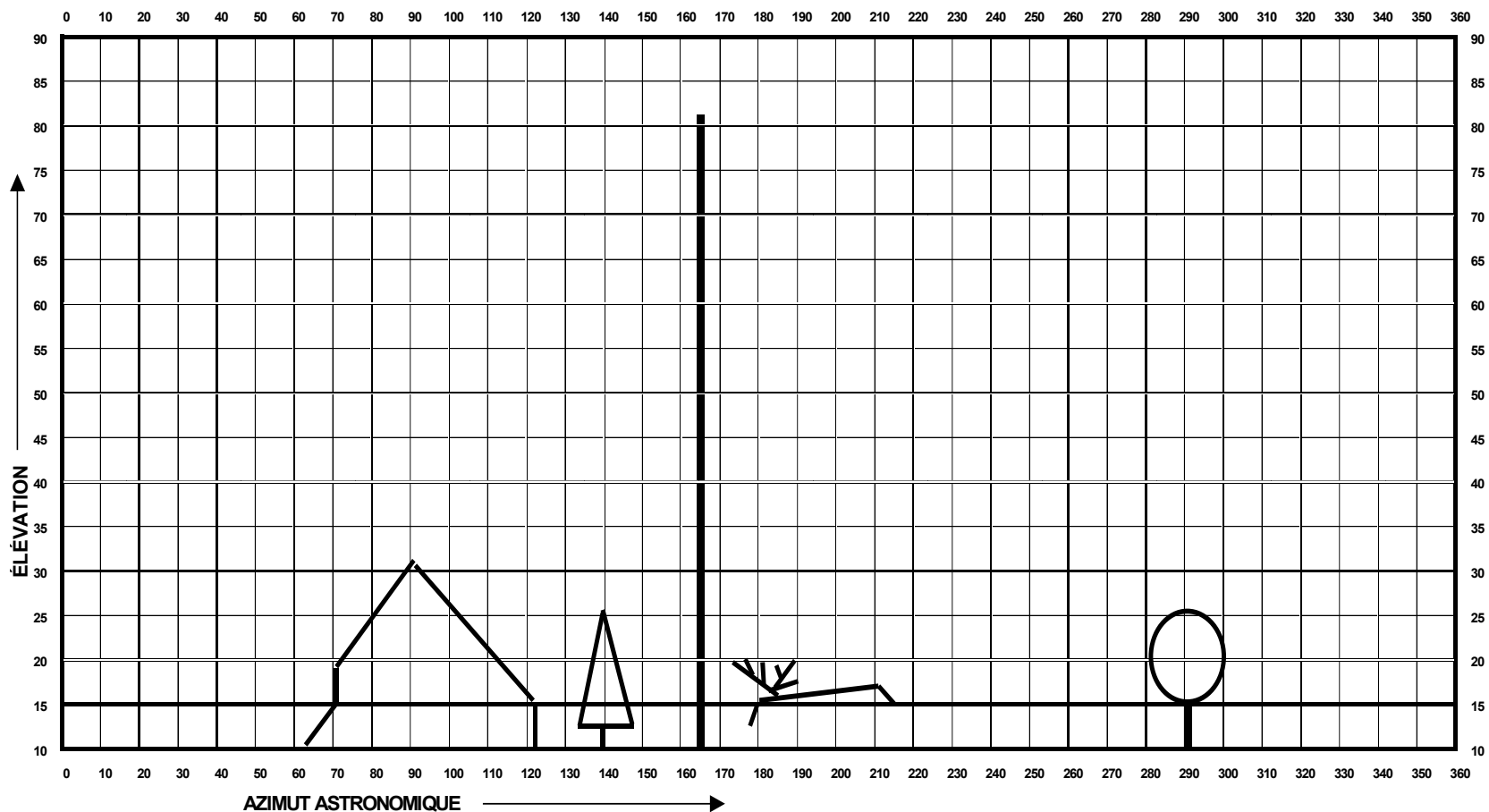
N.B. : Ces intervisibilités doivent être mentionnées sur la fiche descriptive du point occupé et, réciproquement, sur celle du point visé, dans les champs 240 à 250 du formulaire *Description d'un point de canevas* (repères visibles (matricule)).

GRILLE DES OBSTACLES

DÉCLINAISON UTILISÉE: 18 °

POINT NO: 82KM032 LIEU: Ville de Sainte-Foy PRÉPARÉ PAR: Jos Désie

PROJET: G00X99 FEUILLET: 21L14-200-0101 DATE: 1995 - 12 - 2



REMARQUES: _____

ACCÈS AUTO MARCHE AUTRES _____ HAUTEUR DU TRÉPIED NORMALE OU _____ MÈTRES

LETTRE D'ENTENTE RELATIVE À
L'IMPLANTATION D'UN REPÈRE GÉODÉSIQUE

La présente est pour confirmer que le propriétaire (ou son représentant) désigné ci-dessous a pris connaissance du fait que le ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs plantera sur sa propriété située à _____

un repère géodésique permanent identifié par le numéro _____

Il est entendu que tous les droits actuels du propriétaire ne sont aucunement affectés par la présente et que le Ministère garantit la réparation ou le remboursement de tous les dommages causés à ladite propriété par l'établissement dudit repère.

Propriétaire ou représentant

Directeur de la référence géodésique

NOM ET ADRESSE DU PROPRIÉTAIRE :

MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES,
DE LA FAUNE ET DES PARCS
5700, 4^e Avenue Ouest, bureau E-305
Charlesbourg (Québec) G1H 6R1
Téléphone : (418) 627-6821
Télécopieur : (418) 646-9424

Tél. : () _____

Représentant


Fait à _____

Le _____

MATRICULE	NUMÉRO (D'ORIGINE)	TYPE DE POINT	102	REPÈRE	103C	104T	105F	106A	107M	REGARD	108	LOCALISATION	110S	111Tp	112M																																								
115 DESCRIPTION DU REPÈRE : type, fixation, assise (si non décrit par le code) ou COMPLÈMENT à sa description codifiée																																																							
118 INSCRIPTIONS SUR LE REPÈRE																																																							
130 Code (mun.) Municipalité																																																							
120 Coordonnées approchées																																																							
125 Feuille cartographique 20 000 ou 10 000																																																							
137 No de projet 136 Année 135 Organisme 140 A M J 141																																																							
Origine de l'établissement Date de l'inspection Etat de conservation																																																							
145 146 ACCÈS ET/OU SITUATION TOPOGRAPHIQUE																																																							
Code de description																																																							
Propriétaire du lieu																																																							
157 Mode de transport 158 H M 159 Hélicopt: année de construction																																																							
Téléphone Téléphone Télécopieur Code postal																																																							
Adresse (no rue, localité)																																																							
Occupant du lieu Téléphone																																																							
Partie à compléter dans le cas d'observations GPS ou d'observations conventionnelles nécessitant une tour ou un grand trépied excédant 1,5 mètre																																																							
Partie réservée à la vérification des services enfouis																																																							
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width:25%;">240 Repères visibles (matricule)</td> <td style="width:25%;">241 Haut. instr. (m)</td> <td colspan="3"> Marque temporaire : Peinture <input type="checkbox"/> Piquet <input type="checkbox"/> Clou <input type="checkbox"/> </td> </tr> <tr> <td>242</td> <td>243</td> <td colspan="3"> Vérifications : Muni. Info exc. Prop. </td> </tr> <tr> <td>244</td> <td>245</td> <td colspan="3"> Aucun service à vérifier <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> </td> </tr> <tr> <td>246</td> <td>247</td> <td colspan="3"> À vérifier <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> </td> </tr> <tr> <td>248</td> <td>249</td> <td colspan="3"> Date de vérification : ____ / ____ / ____ </td> </tr> <tr> <td>250</td> <td>251</td> <td colspan="3"> À télécopier <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> </td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td colspan="3"> Matérialisation (ok) <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> </td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td colspan="3"> Remarques : _____ </td> </tr> </table>																240 Repères visibles (matricule)	241 Haut. instr. (m)	Marque temporaire : Peinture <input type="checkbox"/> Piquet <input type="checkbox"/> Clou <input type="checkbox"/>			242	243	Vérifications : Muni. Info exc. Prop.			244	245	Aucun service à vérifier <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>			246	247	À vérifier <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>			248	249	Date de vérification : ____ / ____ / ____			250	251	À télécopier <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>					Matérialisation (ok) <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>					Remarques : _____		
240 Repères visibles (matricule)	241 Haut. instr. (m)	Marque temporaire : Peinture <input type="checkbox"/> Piquet <input type="checkbox"/> Clou <input type="checkbox"/>																																																					
242	243	Vérifications : Muni. Info exc. Prop.																																																					
244	245	Aucun service à vérifier <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>																																																					
246	247	À vérifier <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>																																																					
248	249	Date de vérification : ____ / ____ / ____																																																					
250	251	À télécopier <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>																																																					
		Matérialisation (ok) <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>																																																					
		Remarques : _____																																																					
Préparé par :				Date :				Vérifié par :				Date :																																											

CROQUIS

MATRICULE



DATE
 A A A A M M J J

LÉGENDE : ● Repère de nivellement ▲ Point géodésique ● Point de repérage

B/Ri/Pi	REPÈRES AUXILIAIRES OU POINTS DE REPÉRAGE (description)	Code Orientation	Code Distance (m)	± Δ H (m)
171	172	173 174	175 176	
181	182	183 184	185 186	187
191	192	193 194	195 196	197
201	202	203 204	205 206	207
211	212	213 214	215 216	217

REMARQUES

Préparé par : _____ Date : _____ Vérifié par : _____ Date : _____

3 - CHOIX D'ÉQUIPEMENT ET MÉTHODE DE DÉTERMINATION

Pour les travaux de géodésie par la méthode GPS, seule la méthode de détermination par positionnement relatif permet d'atteindre le niveau de précision désiré. On doit donc utiliser au moins deux récepteurs pour réaliser un projet de levés. Il est cependant plus avantageux de procéder avec un plus grand nombre de récepteurs pour des raisons économiques (rythme de production) et de qualité des réseaux (meilleure structure), la direction recommande d'utiliser au moins quatre récepteurs.

Pour des observations simultanées, la direction demande que **des récepteurs et des antennes du même type** et du même fabricant soient utilisés.

3.1 Équipement

3.1.1 Récepteurs

Même si plusieurs projets ont été réalisés par des récepteurs à simple fréquence (L1), les récepteurs à double fréquence (L1 et L2) sont de plus en plus utilisés car les données qu'ils recueillent permettent, lors de leur traitement, de tenir compte des effets ionosphériques. Les perturbations ionosphériques varient selon le cycle solaire, l'époque de l'année, le moment de la journée et l'activité géomagnétique. L'erreur qui en découle augmente avec la latitude et la distance entre les stations. L'utilisation de récepteurs à double fréquence est recommandée pour les travaux au nord du 55° parallèle et la direction les exige pour les vecteurs de plus de 15 km.

Il appartient à l'exécutant de s'assurer que les récepteurs et logiciels utilisés rencontreront les précisions exigées par la DRG (voir le tableau à l'élément 4.5).

Pour ce faire, les systèmes d'observations GPS peuvent être évalués sur les réseaux d'étalonnage GPS situés dans les régions de Québec, Montréal ou Ottawa.

3.1.2 Antenne

On doit choisir un type d'antenne ayant la plus petite sensibilité possible à la propagation multitrajets et la plus faible variation de la position du centre de phase.

La direction exige l'utilisation d'antennes minimisant les multitrajets (type géodésique) et ces antennes doivent obligatoirement porter une marque d'orientation.

3.2 **Modes de détermination**

Le choix du type de récepteurs et du mode de détermination dépendent du niveau de précision requis et de la longueur des vecteurs.

3.2.1 Le mode statique

La méthode statique est sûrement la méthode de détermination qui a été le plus utilisée depuis l'arrivée de la technologie GPS dans le domaine de la géodésie. Pour cette raison, dans plusieurs milieux, cette approche est connue sous le nom de « méthode GPS conventionnelle ». Selon cette méthode, au moins deux récepteurs sont déployés afin d'enregistrer de façon simultanée les signaux provenant d'au moins quatre satellites. Les positions ainsi obtenues sont, en fait, des positions relatives par rapport à l'une des stations de réception. Selon cette méthode, les schémas d'observations sont généralement planifiés de façon à observer une série de vecteurs formant des figures triangulaires le moins aplaties possible. Ainsi, de chaque point, on retrouvera au moins trois vecteurs dont les

orientations se retrouvent dans trois quadrants différents (sauf les points en périphérie). Les principaux facteurs déterminant le temps d'observation sont la précision recherchée, la géométrie des satellites (très importante pour les courtes sessions), l'activité ionosphérique (lors d'activités ionosphériques, l'utilisation de récepteurs monofréquence est à éviter) et la distance séparant les récepteurs. Le positionnement statique est l'approche la plus fiable en ce qui concerne la recherche de précision.

3.2.2 Le mode statique rapide

Du point de vue opérationnel, cette méthode de positionnement est tout à fait identique à la méthode statique à l'exception du temps d'observation, quelques minutes d'observations sont suffisantes pour fixer les ambiguïtés de phase. Par contre, à l'heure actuelle, cette méthode ne s'applique qu'à des vecteurs inférieurs à 10 km. Le temps d'observation dépend du nombre de fréquences disponibles (L1 ou L1 / L2), du nombre de satellites visibles et de leur géométrie (il faut s'assurer d'avoir un PDOP favorable). Il est à noter qu'au moins cinq satellites doivent être visibles, sinon le temps d'observation sera le même que celui de la méthode statique. Lorsque les vecteurs sont inférieurs à 10 km et lorsque les sites sont assez dégagés, cette méthode est plus rapide que la méthode statique, donc plus économique.

3.2.3 Tableau des niveaux, modes de détermination permis et particularités requises

Toutes les missions d'observations GPS devront être planifiées selon le tableau suivant ou être approuvées par la DRG.

Réseau Niveau	Récepteur		Mode de traitement	Satellite nb min.	PDOP maximum	Session nombre	Espacement entre les points (km)	Intervalle d'enr. (sec.)	Temps d'obs. (min.)
	L1	L2							
A2	X	X	Statique	5	7	2 sessions Journée ≠ Période ≠	40 à 100	15	210 à 330
A3	X	X	Statique	5	7	2 sessions Journée ≠ Période ≠	5 à 15	15	80
B1	X	X	Statique	5	5	1 session	5 à 40	15	25 à 75
B2	X	X	Statique rapide	5	5	1 session	- de 5 km	5	15
B2	X	X	Statique	5	5	1 session	- de 5 km	15	25
B2	X		Statique	5	5	1 session	- de 5 km	15	30 à 40

N.B. : L'élévation des satellites devra être d'au moins 15 ° au-dessus de l'horizon.

4 - OBSERVATIONS ET CALCULS

4.1 Planification

Les grilles des obstacles de tous les sites, un graphique quotidien de la disponibilité des satellites, ainsi qu'une image de leur configuration dans le ciel aux différentes périodes de la journée constituent des outils essentiels à une bonne planification des observations GPS.

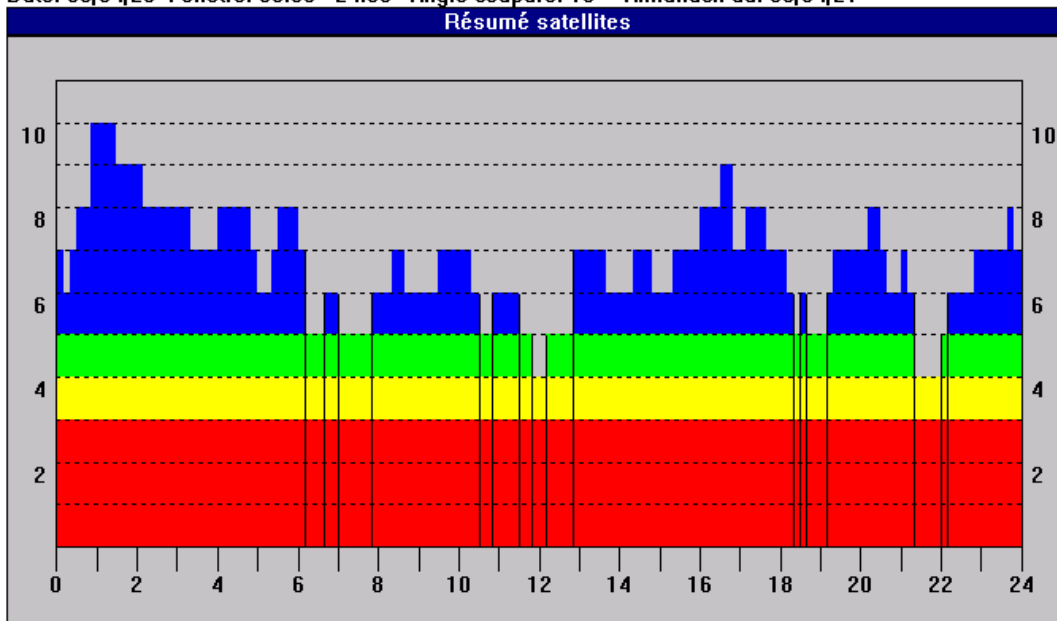
En tout lieu de la planète, à n'importe quels date et moment donnés, il est possible de prévoir la position des satellites dans le ciel ; il s'agit d'utiliser les fichiers d'almanach contenant les paramètres d'orbite des satellites les plus récents. En plus des logiciels conçus à cette fin particulière, la plupart des logiciels de traitement GPS possèdent des fonctions permettant d'utiliser ces fichiers aux fins de visualisation et d'impression des graphiques illustrant les informations précitées (figures 1 et 2). Avant chaque journée d'observation, on doit obtenir des informations sur la condition de chaque satellite afin d'éliminer les données douteuses.

La position des satellites par rapport à un lieu précis est définie selon un angle d'élévation par rapport à l'horizon et selon un azimuth astronomique. On pourra, en superposant la grille d'obstacles d'un site et le tracé de la position des satellites dans le ciel, confirmer la présence ou l'absence d'obstacle nuisant à la réception des signaux. Il est à noter que cette opération peut être automatisée à l'aide de certains logiciels de planification.

Une fois cette opération complétée, on sera en mesure de dresser un programme d'observation quotidien.

On ne saurait trop insister sur l'importance de cette étape cruciale dans l'établissement de réseaux géodésiques par méthode GPS.

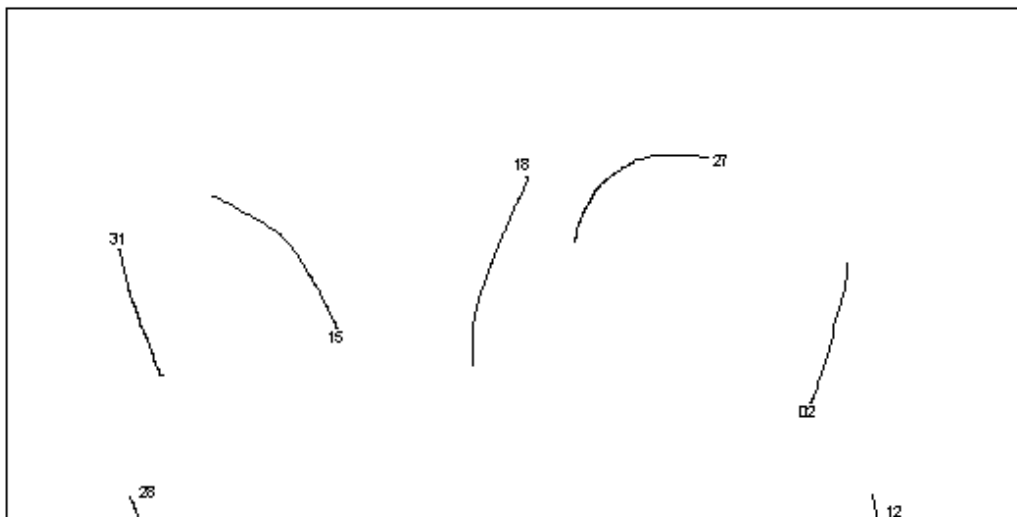
Atrium 46°50'N 71°16'W 8m Heure: GMT-04.00
 Date: 99/04/28 Fenêtre: 00.00 - 24.00 Angle coupure: 15° Almanach du: 99/04/21



Trimble Navigation

Disponibilité des satellites
 Québec, le 21 avril 1999, angle d'évaluation 15 degrés

Figure 1



12 : 00
 13 : 00

Scenario :	C : \SATVIZ\IS30X95.SCN
Almanac :	C : \SATVIZ\ALM811.ALM
Scenario Date :	Thursday July 27, 1995
Scenario Time :	From 00 : 00 To 24 : 00 (UTC)
Position (WGS-84) :	N46 : 40.00000, W71 : 30.00000
Visibility Mask :	15. 00 degrees
SVs Enabled :	1 2 4 5 6 7 9 12 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 31

Grille de visibilité des satellites
 Québec, le 27 juillet 1995, de 12 h à 13 h T.U.

Figure 2

4.2 Observations sur le terrain

La mise en station de l'antenne et la mesure de sa position par rapport au point géodésique peuvent constituer une des causes majeures d'erreurs grossières dans la détermination d'une position par méthode GPS. Par conséquent, un soin minutieux doit y être apporté.

L'utilisation d'embases à vis calantes dotées d'un dispositif optique de centrage précis pour la mise à niveau de l'antenne constitue un préalable incontournable. Afin de satisfaire en tout temps le critère de précision de ± 1 mm, les embases doivent avoir été vérifiées avant d'entreprendre les levés, et périodiquement par la suite.

Qu'il s'agisse de repères géodésiques au sol ou coïncidant avec une vis de centrage forcé au sommet d'un pilier, l'antenne doit tout d'abord être orientée adéquatement suivant les spécifications du manufacturier et la hauteur doit être mesurée en quatre points également répartis sur le contour de l'antenne, ou selon le type d'antenne. On doit également indiquer sur le formulaire de prise de notes si la hauteur mesurée est oblique ou verticale et indiquer si la correction au centre de phase a été appliquée. Les hauteurs d'antenne doivent être mesurées au millimètre et une hauteur d'antenne additionnelle, pour fin de vérification, doit être prise en mesures anglaises (pouce, fraction de pouce).

Tous les champs du formulaire *Observations GPS* doivent être complétés avec soin, principalement en ce qui concerne l'identification de la station et de la séance d'observation, les modèles de récepteur et d'antenne, ainsi que leur numéro de série. Les heures de début et de fin de la session doivent être inscrites en **temps local** sur les feuilles d'observation. Pour l'enregistrement des données par les récepteurs, **les points stationnés ne doivent être identifiés que par quatre caractères**, soit les deux premiers et les deux derniers chiffres du numéro du point (ex : 96K1234 devient « 9634 »), car les numéros de points sont tronqués à quatre caractères lors de la transformation de données binaires en données RINEX.

À intervalle régulier, on doit prendre note des satellites captés par le récepteur en ajoutant, au besoin, des commentaires pertinents concernant les problèmes d'équipement ou le captage des signaux.

On doit identifier une session d'observation à l'aide de quatre caractères : soit le jour de l'année suivi d'un numéro séquentiel (1 @ 9) ou d'une lettre (A @ Z) (JJJN).

Généralement, pour les réseaux GPS de moyenne densité (vecteurs < 100 km), les observations météorologiques ne sont pas nécessaires.

Lorsqu'un site est réoccupé en cours d'un projet (nouvelle détermination d'un même polygone, nouveau polygone) l'exécutant doit effectuer une permutation des équipements et des opérateurs afin d'isoler les vices de procédure ou d'équipement.

OBSERVATIONS G P S

PROJET N°: _____ FABRICANT: TRIMBLE

IDENTIFICATION: _____ NUMÉRO _____ JOUR _____ SESSION _____ RÉCEPTEUR: _____ MODÈLE _____ N° SÉRIE _____

STATION N°: _____ ANTENNE: _____

DATE: _____ DÉBUT: _____ H _____ FIN: _____ H _____ (Heure locale)

OPÉRATEUR: _____

TYPE D'ENREGISTREMENT: INTERNE CARTE N°. _____

ECHANTILLONNAGE 5sec () 15sec () autre : _____ ANGLE DE MASQUAGE: _____

<p>Type A 4800</p>	<p>Type B compact dome</p>	<p>Type C compact L1/L2</p>	<p>Type D plan sol compact L1/L2</p>	<p>Sur trépied : hauteur d'antenne oblique</p> <p>Type=</p> <p>h =</p> <p>h =</p> <p>h moy.=</p> <p>h(m.a.)=</p>
<p>Type E</p>	<p>Type F</p>	<p>Type G</p>	<p>Type H</p>	<p>Sur pilier : hauteur d'antenne verticale</p> <p>Type=</p> <p>h =</p> <p>h =</p> <p>h moy.=</p> <p>+ const. =</p> <p>H. Total=</p> <p>h(m.a.)=</p>

HEURES	COMMENTAIRES
_____ H _____	_____
_____ H _____	_____
_____ H _____	_____
_____ H _____	_____
_____ H _____	_____
_____ H _____	_____
_____ H _____	_____
_____ H _____	_____
_____ H _____	_____
_____ H _____	_____
_____ H _____	_____
_____ H _____	_____

4.3 Préparation des données

Tous les fichiers de données brutes (observations et éphémérides) doivent être remis à la DRG dans leur format original sans modification de leur contenu ni de leur identification. De plus, tous les fichiers de données brutes doivent aussi être livrés en format RINEX (Fichiers ASCII) et être classés et identifiés de la façon suivante :

- **CLASSEMENT** : les fichiers doivent être classés dans un **répertoire** correspondant au jour d'observation et un **sous-répertoire** correspondant au numéro de la session.

- **IDENTIFICATION** : MMMMJJJN.DAT, .EPH, .OBS, .NAV, ...

où MMMM : correspond aux deux premiers et deux derniers caractères du matricule du point stationné ;

où JJJ : correspond au jour de l'année (1 à 366) ;

où N : correspond au numéro séquentiel de la session dans la journée d'observation (1 à 9 et/ou A à Z) ;

où .DAT, .EPH, .OBS, .NAV, ... : sont les extensions caractérisant les fichiers d'observations ou d'éphémérides selon les logiciels et formats de données.

Ainsi, selon ce mode, les données d'observations recueillies par un récepteur de marque TRIMBLE sur le point 96K1234 durant la quatrième session du 6 septembre 1996 seraient, sur le disque « C », classées et identifiées comme suit :

C : \ 250 \ 4 \ 96342504.DAT

ou : C : \ 250 \ D \ 9634250D.DAT

À cette étape, avant de débiter les calculs, il est très important de vérifier que le type et la hauteur de l'antenne correspondent bien aux informations inscrites sur la feuille de prise de notes des observations (feuille *OBSERVATIONS GPS*). Il est, de même, important de vérifier que la correction de la hauteur de l'antenne au centre de phase a été notée et appliquée correctement.

4.4 Calcul des vecteurs

Il existe maintenant plusieurs logiciels de traitement des données GPS ; chaque fabricant de récepteurs peut généralement fournir son logiciel et chacun donne de bons résultats.

Le logiciel utilisé pour le calcul doit produire des vecteurs sous forme de différences de coordonnées cartésiennes géocentriques (dx , dy , dz) accompagnés de leurs matrices de variances-covariances respectives. Il doit également produire les informations pertinentes à l'analyse qualitative des vecteurs : nombre de satellites utilisés et angle de masquage, sauts de cycles, données rejetées, hauteur d'antenne, solution utilisée (L1 fixed, Iono free fixed, etc.) et critères de précision (ratio et rms).

Nous recommandons d'effectuer le traitement des observations session par session et de procéder à la compensation du réseau par l'ajout d'une session à la fois, et cela, à chaque jour d'observation. De cette manière, il est plus facile d'identifier les sessions à réobserver au besoin. Souvent une hauteur d'antenne erronée est la cause du rejet d'une session.

Lorsque les observations ont été saisies par des récepteurs à simple fréquence, on doit utiliser les solutions des vecteurs « L1 FIXED ».

Si les observations ont été saisies par des récepteurs à double fréquence et que TOUS les vecteurs du réseau sont de moins de 10 km, il est préférable d'employer la solution « L1

FIXED ». Mais dans le cas où « TOUS LES » ou « CERTAINS » vecteurs du réseau sont de 10 km ou plus, il faut alors n'employer que la solution « IONO FREE FIXED ».

Pour le traitement de vecteurs de 100 kilomètres et plus, les éphémérides précises doivent être utilisées.

4.5 Validation des résultats

L'exécutant doit valider ses données de deux façons différentes.

- a) Par la compensation libre du projet : la compensation par moindres carrés de tous les vecteurs doit donner, pour les lignes, une ellipse d'erreur avec un degré de confiance de 95 %, dont le demi-grand-axe respecte les valeurs montrées au tableau qui suit.
- b) Par comparaison des solutions d'un même vecteur observé plusieurs fois : le vecteur de fermeture doit être égal ou inférieur aux valeurs montrées au tableau qui suit :

$$\begin{aligned} \text{vecteur de fermeture} &= \text{solution B} - \text{solution A} \\ &= [(dX_B - dX_A)^2 + (dY_B - dY_A)^2 + (dZ_B - dZ_A)^2]^{1/2}. \end{aligned}$$

NIVEAU	DENSITÉ Espacement des points	COMPENSATION LIBRE DEMI-GRAND-AXE ELLIPSE D'ERREUR (95%)	VECTEURS DE FERMETURE
A1 (CBN)	> 100 km	0,05 ppm	< 18 mm ou 0,2 ppm
A2	env. 50 km	0,3 ppm	< 18 mm ou 1 ppm
A3	de 5 @ 15 km	1 ppm	< 18 mm ou 4 ppm
B1	> 5 km	10 ppm	< 18 mm ou 7 ppm
B2	< 5 km < 1 km	20 ppm 20 ppm / K ¹	< 18 mm ou 18 ppm

4.5.1 Utilisation du logiciel GEOLAB

Bien que la plupart des logiciels de traitement des données GPS incluent un module de compensation, la Direction de la référence géodésique exige l'utilisation du logiciel GEOLAB.

Après avoir identifié, à l'aide d'un astérisque, les vecteurs non validés (ce qui a pour effet de les retirer du processus de calcul), la compensation libre devrait donner un facteur de variance se rapprochant de 1. Cependant, il peut arriver quelquefois que, même avec des vecteurs validés, il puisse rester des corrections aux composantes des vecteurs plus grandes que les critères de validation. Avant la reprise d'observations, une vérification supplémentaire des données doit être effectuée, puis un recalcul de cette session peut être refait en modifiant les paramètres de calcul comme l'angle de masquage, la durée, le choix des satellites ; si les résultats demeurent inacceptables, une vérification de la grille d'obstacles du site peut expliquer le résultat. Dans ce cas, il peut s'avérer inutile de reprendre les observations.

Dans le fichier informatique « FICHIER.GPS » produit par le logiciel GEOLAB, chaque point doit être identifié par son matricule complet et on doit associer à chaque solution de vecteur le jour d'observation et le numéro de la session dans la journée.

¹ où K exprime la longueur du vecteur en kilomètres

Exemple d'un « FICHER.GPS » (GEOLAB)

issu de données TRIMBLE

```

*GRP 00010478.SSF,obs#: 1 day 26802OPT 26802 12:5type 20
*3DD
*DXYZ 652013 97K0159 -159.5283 1155.1950 816.4708
*COV CT UPPR
*ELEM 30.948553079479E-08 -17.472301724218E-08 -17.935989139372E-09
*ELEM 89.193037554754E-08 -42.378647209578E-08
*ELEM 24.372442783448E-07
*GRP 00010474.SSF,obs#: 90 day 26802OPT 26802 12:5type 20
*3DD
*DXYZ 82K0185 652013 -8234.0657 255.2604 2852.9441
*COV CT UPPR
*ELEM 23.536228939007E-08 -13.094412924178E-08 -19.249870377320E-09
*ELEM 66.493670388881E-08 -32.491998899520E-08
*ELEM 17.912468337880E-07
GRP 00010470.SSF,obs#: 93 day 26802OPT 26802 12:5type 20
3DD
DXYZ 82K0185 97K0159 -8393.5936 1410.4545 3669.4152
COV CT UPPR
ELEM 26.310033592214E-08 -14.710204137119E-08 -10.957062255062E-09
ELEM 74.584335844241E-08 -35.105661907271E-08
ELEM 20.449321006203E-07
GRP 00010858.SSF,obs#: 1 day 27801OPT 27801 20:1type 20
3DD
DXYZ 82K0174 91L013 9835.4729 -2774.5283 -5196.2281
COV CT UPPR
ELEM 27.291242653528E-08 -15.845319363716E-08 20.025155636599E-08
ELEM 10.868103455110E-07 -82.667027986213E-08
ELEM 15.074038877595E-07
GRP 00010852.SSF,obs#: 2 day 27801OPT 27801 20:1type 20
3DD
DXYZ 82K0174 97K0152 3522.9326 -1591.7812 -2242.3158
COV CT UPPR
ELEM 33.561964175650E-08 -20.633237306306E-08 24.965124774102E-08
ELEM 12.861342077025E-07 -98.674636645298E-08
ELEM 17.965806761409E-07
GRP 00010855.SSF,obs#: 3 day 27801OPT 27801 20:1type 20
3DD
DXYZ 82K0174 97K0156 3059.7494 6659.3168 4780.3019
COV CT UPPR
ELEM 18.355304080678E-08 -10.662353918517E-08 13.312428592424E-08
ELEM 73.551817094551E-08 -56.647544850104E-08
ELEM 10.393781306398E-07
GRP 00010869.SSF,obs#: 4 day 27801OPT 27801 20:1type 20
3DD
DXYZ 91L013 97K0156 -6775.7234 9433.8461 9976.5273
COV CT UPPR
ELEM 19.446067161105E-08 -11.483989700911E-08 14.290189269184E-08
ELEM 77.042364563274E-08 -58.756993709866E-08
ELEM 10.694154468066E-07
GRP 00010828.SSF,obs#: 5 day 27801OPT 27801 20:1type 20
3DD
DXYZ 95K1262 82K0174 516.8294 8391.7431 6895.4443
COV CT UPPR
ELEM 21.220918085776E-08 -12.338104239512E-08 15.491174375838E-08
ELEM 84.680871881860E-08 -64.661564553493E-08
ELEM 11.820496788177E-07

```

Exemple d'un « FICHER.GPS » (GEOLAB)

issu de données LEICA

GRP	MULT-6A.ASC ,obs#:	15	26502	265-2 / POL 1	type 15
3DD					
DXYZ	86KZ093	87KZ057	22485.0358	7565.9593	-554.9465
COV	CT UPPR	200.00000			
ELEM	63.896735234490E-09		-47.582675174620E-09	44.863665164642E-09	
ELEM	12.371495545401E-08		-11.011990540412E-08		
ELEM	27.190100099783E-08				
GRP	BASE-5A.ASC ,obs#:	16	26603	266-3 / POL 1	type 15
3DD					
DXYZ	86K0694	652015	-11711.9828	1031.3480	4366.1254
COV	CT UPPR	200.00000			
ELEM	43.676515277027E-09		-31.487720315996E-09	36.566384883092E-09	
ELEM	11.782501795663E-08		-76.179968506442E-09		
ELEM	13.204527874450E-08				
GRP	BASE-5A.ASC ,obs#:	17	26603	266-3 / POL 1	type 15
3DD					
DXYZ	86K0694	82K0202	8100.5937	8797.9161	4735.2888
COV	CT UPPR	200.00000			
ELEM	47.473756074940E-09		-34.225266007515E-09	39.745470202276E-09	
ELEM	12.696469647949E-08		-82.803062921408E-09		
ELEM	14.352530906377E-08				
GRP	BASE-5A.ASC ,obs#:	18	26603	266-3 / POL 1	type 15
3DD					
DXYZ	86K0694	86KZ093	-9018.4068	704.4550	3134.3092
COV	CT UPPR	200.00000			
ELEM	38.021061154952E-09		-27.410532460547E-09	31.831586083215E-09	
ELEM	10.256844404592E-08		-66.315804340032E-09		
ELEM	11.494739418939E-08				
GRP	BASE-5A.ASC ,obs#:	19	26603	266-3 / POL 1	type 15
3DD					
DXYZ	86K0694	87KZ057	13466.6254	8270.4137	2579.3402
COV	CT UPPR	200.00000			
ELEM	38.374454260284E-09		-27.665304234158E-09	32.127450078377E-09	
ELEM	10.262935441704E-08		-66.932187663286E-09		
ELEM	11.601579194970E-08				
GRP	BASE-5A.ASC ,obs#:	20	26603	266-3 / POL 1	type 15
3DD					
DXYZ	86K0694	96K1231	18500.7275	12417.7281	4455.4186
COV	CT UPPR	200.00000			
ELEM	63.570646161720E-09		-45.830000721240E-09	53.221936321440E-09	
ELEM	16.853613168456E-08		-11.087903400300E-08		
ELEM	19.219032560520E-08				
GRP	MULT-10A.ASC,obs#:	21	26603	266-3 / POL 1	type 15
3DD					
DXYZ	652015	86KZ093	2693.5758	-326.8937	-1231.8152
COV	CT UPPR	200.00000			
ELEM	30.686938557108E-09		-22.317773496079E-09	25.107495183089E-09	
ELEM	82.296789766791E-09		-53.004712053187E-09		
ELEM	92.060815671325E-09				
GRP	MULT-10A.ASC,obs#:	22	26603	266-3 / POL 1	type 15
3DD					
DXYZ	82K0202	87KZ057	5366.0308	-527.5024	-2155.9488
COV	CT UPPR	200.00000			
ELEM	53.032174150517E-09		-38.568853927649E-09	43.389960668605E-09	
ELEM	14.101737217297E-08		-91.601028078166E-09		
ELEM	15.789124576631E-08				

4.6 **Compensation finale**

La compensation finale est effectuée par la Direction de la référence géodésique à partir des données validées transmises par l'exécutant.

4.7 **Rapport et documents à remettre**

Le rapport doit inclure les documents suivants :

- le formulaire de rapport *OBSERVATIONS GPS* contenant les informations suivantes :
 - . le nom du chargé de projet,
 - . le nom du personnel affecté aux observations,
 - . le nombre de points stationnés (nouveaux, intégrés, d'appui),
 - . le modèle et le numéro de série des récepteurs,
 - . le modèle et le numéro de série des antennes,
 - . le mode opératoire,
 - . les logiciels utilisés ;

- un tableau-résumé des sessions d'observations GPS contenant :
 - . la date,
 - . le jour de l'année,
 - . le numéro de la session dans la journée,
 - . les heures du début et de la fin de chaque session,
 - . les matricules des points stationnés regroupés par sessions ;

- un schéma du réseau où sont illustrés les vecteurs contours des figures observées, lesquelles sont numérotées ;
- les feuilles « terrain » d'observations GPS regroupées par sessions d'observations ;
- les supports informatiques contenant les données originales (observations et éphémérides) en format original et en format « RINEX », classées et identifiées selon le mode décrit en 4.3 (préparation des données) ;
- le tableau des vecteurs communs ;
- un plan de compilation de tous les vecteurs validés ;
- la sortie imprimée de la compensation libre GEOLAB ;
- les données GEOLAB sur disquette (tous les fichiers d'entrée, intermédiaires et de résultat utilisés par GEOLAB) ;

dans le « fichier.GPS », on doit, entre autres, trouver obligatoirement les informations suivantes :

- . les points sont identifiés par leur matricule au complet,
- . pour chaque solution de vecteur, on doit indiquer le jour d'observation et le numéro de la session dans la journée.