

DIRECTIVES ET SPÉCIFICATIONS
CONCERNANT LES LEVÉS
AVEC LE SYSTÈME DE
POSITIONNEMENT GLOBAL (GPS)

ÉDITION 2.1

DÉCEMBRE 1992

DIVISION DES LEVÉS GÉODÉSIQUES
CENTRE CANADIEN DES LEVÉS
SECTEUR DES LEVÉS, DE LA CARTOGRAPHIE
ET DE LA TÉLÉDÉTECTION

This publication is available in English from the Geodetic Survey Division,
Canada Centre for Surveying, at (613) 995-4421 under the title
"Guidelines and Specifications for GPS surveys".

TABLE DES MATIÈRES

	Page
TABLE DES MATIÈRES	i
AVANT-PROPOS	iii
1.0 INTRODUCTION	1
2.0 DIRECTIVES 3	
2.1 Choix du matériel.....	3
2.1.1 Récepteur et antenne	3
2.1.2 Récepteurs à une seule fréquence et récepteurs à double fréquence.	3
2.2 Reconnaissance	6
2.2.1 Choix du site	6
2.2.2 Matérialisation des stations.....	7
2.3 Configuration du réseau géodésique	9
2.3.1 Points d'appui.....	9
2.3.2 Liaison entre les stations et occupations multiples	9
2.4 Observations sur le terrain	11
2.4.1 Mise en station de l'antenne	11
2.4.2 Durée des séances d'observation.....	12
2.4.3 Intervalle des mesures.....	12
2.4.4 Observations météorologiques de surface.....	12
2.4.5 Notes de terrain	14
2.5 Traitement des données.....	14
2.5.1 Logiciels et procédures de traitement	14
2.5.2 Éphémérides.....	16
2.5.3 Traitement et analyse des données.....	17
2.6 Rapport et résultats	18
3.0 LEVÉ DE VALIDATION DU «SYSTEME DE LEVÉ» GPS	19
3.1 Réseau de validation	19
3.2 Exécution du levé de validation.....	20
3.3 Évaluation des résultats.....	20
4.0 SPÉCIFICATIONS RELATIVES À LA RÉALISATION DES LEVÉS GPS	22
4.1 Choix du matériel.....	22
4.2 Configuration du réseau.....	23
4.3 Observations effectuées sur le terrain	23
4.4 Traitement des données.....	24

TABLE DES MATIÈRES

	Page
5.0 SPÉCIFICATIONS CONCERNANT LE RAPPORT ET LES RÉSULTATS GPS.....	26
5.1 Description du projet.....	26
5.2 Procédures de levés.....	26
5.3 Données brutes et notes de terrain	27
5.4 Procédures de traitement.....	27
5.5 Résultats des levés	28
 BIBLIOGRAPHIE	 29
 ANNEXE A: Sources d'informations relatives au Système de positionnement global (GPS)	
ANNEXE B: Le Système de contrôle actif (SCA)	
ANNEXE C: Repères géodésiques	
ANNEXE D: Échantillon de fiches de carnet de terrain	

AVANT-PROPOS

La Division des levés géodésiques effectue des levés au moyen du Système de positionnement global (GPS) depuis 1983. L'information présentée dans ce document est largement basée sur l'expérience acquise pendant toutes ces années. Diverses publications en rapport avec le GPS et les spécifications produites par d'autres organismes ont également été consultées. Celles-ci sont énumérées à la section bibliographique du présent document.

Nous tenons à reconnaître de façon particulière la contribution de Geodetic Research Services Ltd. qui a développé des spécifications pour les levés GPS en milieu urbain pour la ville d'Edmonton. Ce document fut le premier à promouvoir le concept d'un levé de validation et cette approche demeure un élément important dans l'attribution de contrats GPS par la Division des levés géodésiques.

Durant l'été 1992, le ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources (EMR) a participé à un projet pour démontrer les possibilités d'un service international de GPS pour les études géodynamiques (IGS). Les données récoltées de façon continue à six stations de notre Système de contrôle actif durant cette période ont été fournies aux centres internationaux de calcul. Plusieurs groupes, incluant EMR, ont pu à partir de ces données globales calculer avec précision les orbites GPS de façon journalière avec une précision en deçà du mètre.

Le ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources est présentement à la recherche de partenaires du secteur privé pour développer un service opérationnel pour la distribution de corrections pour le GPS différentiel, utilisant les données du Système de contrôle actif ainsi que des infrastructures de traitement et de communication modernes pour desservir un spectre diversifiés d'utilisateurs.

Il est prévu que le système GPS sera déclaré opérationnel au milieu de l'année 1993, lorsque qu'une constellation de 21 satellites sera en place. Le service international de GPS pour la géodynamique (IGS) devrait devenir un service permanent à partir de janvier 1994 et contribuera au maintien d'un système global de référence.

Nous désirons remercier les nombreux employés de la Division des levés géodésiques qui ont été consultés ou qui ont contribué à la production de ce document.

Comme pour les versions précédentes, nous invitons les lecteurs de ce document à continuer de nous présenter leurs commentaires et suggestions afin d'améliorer les versions futures.

Le directeur et géodésien fédéral,

J. David Boal
Division des levés géodésiques
Secteur des levés, de la cartographie et de la télédétection
EMR Canada

1.0 INTRODUCTION

Les présentes directives et spécifications s'appliquent à des levés utilisant le Système de positionnement global (GPS), qui sont effectués pour le compte de la Division des levés géodésiques du ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources. Elles ont pour but d'assurer l'exécution efficace des opérations de levé selon des normes acceptables, à l'interne ou aux termes de contrats. D'autres organismes sont invités à utiliser ce document et à le modifier selon leurs besoins spécifiques.

Étant donné l'évolution rapide du matériel employé pour le GPS, des techniques d'observation, des applications et des logiciels du GPS, ce qui est valide aujourd'hui peut ne plus l'être demain. On ne peut donc pas, à l'heure actuelle, établir de spécifications rigides relatives aux levés GPS, sans risquer de décourager l'emploi de nouvelles techniques. Les recherches actuelles sur les applications dites semi-cinématiques et statiques rapides, la mise en place finale de toute la constellation des satellites et l'application de la disponibilité sélective et de la protection des signaux influenceront sur les possibilités futures du GPS.

Pour que l'on puisse tirer profit de l'expérience accumulée des usagers du GPS et des innovations dans les techniques de positionnement employées par ce système, on recommande de procéder à un exercice de qualification ou levé de validation pour évaluer les mécanismes (type de récepteur, méthodes d'observation, techniques de traitement, logiciels, etc.) proposés pour la réalisation d'un projet particulier de levés, au lieu de faire une description des procédés spécifiques à suivre. On réalise cet exercice de qualification tout comme un levé complet, sur un réseau connu, pour vérifier que les procédures proposées peuvent produire des résultats avec le niveau de précision requis. Une fois que le matériel, les procédures et les logiciels ont été validés, ils sont acceptés dans leur totalité en vue de l'exécution du projet pour lequel ils ont été proposés.

Cependant, quelques aspects d'un projet de levé, jugés nécessaires pour assurer un degré suffisant de redondance et de fiabilité, sont spécifiés dans ce document. Les divers aspects se répartissent selon trois catégories d'exigences. Dans ce document, le terme «doit» indique une exigence absolue ou obligatoire, «devrait» indique une recommandation et «peut» correspond à une suggestion. Les aspects considérés comme obligatoires durant le déroulement d'un levé GPS sont résumés dans la section 4 du présent document. Les spécifications relatives aux rapports et résultats requis lors de la réalisation d'un levé GPS sont précisées dans la section 5. Dans l'ensemble de ce document, le terme de «chef de projet» désigne la Division des levés géodésiques dans le cas des levés effectués en vertu d'un contrat et désigne le groupe de gestion des levés sur le terrain lorsque le projet est réalisé à l'interne.

Comme l'application des techniques de positionnement GPS est relativement nouvelle et continue à évoluer, ces directives ne doivent pas être interprétées comme des règles rigides, mais doivent plutôt servir de cadre aux innovations et aux changements que subissent les usages du GPS au fur et à mesure de l'évolution de ce système. Il faut se rappeler que le GPS est simplement un autre outil pour l'établissement d'un canevas géodésique et que, comme avec les autres méthodes d'établissement d'un canevas, il est

indispensable d'assurer une redondance suffisante des données et de disposer d'une information fiable quant au positionnement, quelle que soit la précision requise.

Ce document a été conçu comme une annexe qui accompagnera la révision prochaine des *Spécifications pour levés de contrôle*, ouvrage actuellement en préparation à la Division des levés géodésiques. Il faudra consulter cet ouvrage pour connaître les normes de précision et la classification des levés.

2.0 DIRECTIVES

2.1 CHOIX DU MATÉRIEL

2.1.1 Récepteur et antenne

Comme le niveau de précision requis pour des travaux de géodésie ne peut être obtenu qu'au moyen d'un positionnement relatif, on doit utiliser au minimum deux récepteurs pour réaliser un projet quelconque de levé. Cependant, puisqu'il est avantageux d'utiliser un plus grand nombre de récepteurs – ceci permet d'augmenter le rythme de production, de multiplier les liaisons avec les stations adjacentes et les vecteurs répétés, et d'élaborer un réseau géométriquement mieux défini – on recommande d'utiliser au moins 4 récepteurs pour des raisons d'économie et d'efficacité.

Actuellement, sur le marché, les récepteurs les plus répandus pour les levés GPS sont des récepteurs à canaux multiples reconnaissant les codes, qui mesurent la phase des fréquences porteuses. Toutefois, des récepteurs utilisant d'autres éléments observables, tels que la fréquence porteuse à battements au carré sans code, la phase des codes ou d'autres techniques qui existent déjà ou pourraient être mises au point, seraient également acceptables si les résultats obtenus d'un levé de validation s'avèrent acceptables compte tenu du degré de précision requis.

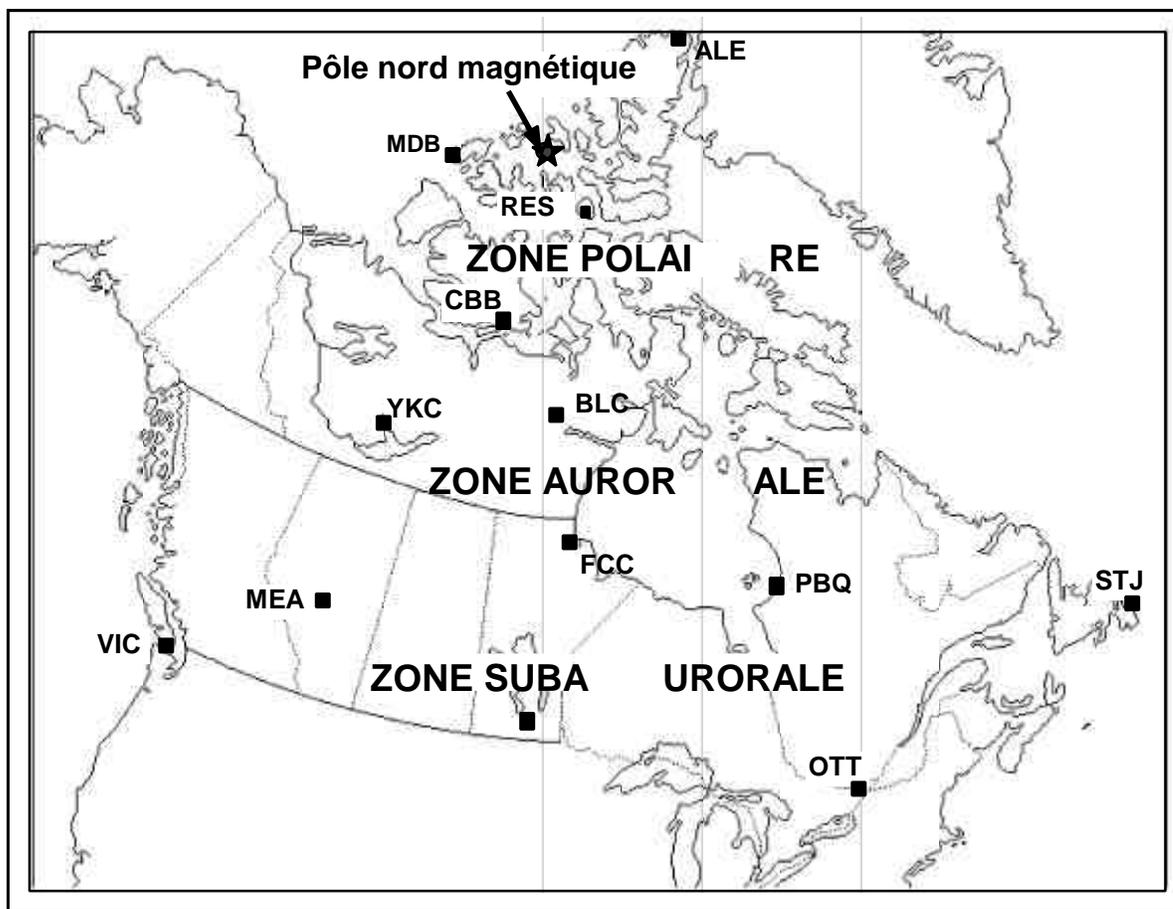
On peut utiliser, pour exécuter le même projet, des récepteurs de divers modèles ou venant de divers fabricants. On doit cependant vérifier la compatibilité des récepteurs et la synchronisation des observations lors du levé de validation.

Chaque type d'antenne possède sa propre définition du centre de phase, qui peut varier selon la direction par rapport aux satellites. Idéalement, on doit choisir un type d'antenne ayant la plus petite sensibilité à la propagation multivoie, et la plus faible variation du centre de phase. Bien que l'on recommande d'employer le même type d'antenne pour tous les récepteurs pendant le projet afin de réduire au maximum les distorsions du centre de phase, il est possible d'utiliser différents types d'antennes, pourvu que celles-ci soient testées pendant le levé de validation.

2.1.2 Récepteurs à une seule fréquence et récepteurs à double fréquence.

Avec les récepteurs à une seule fréquence et ceux à double fréquence, les perturbations ionosphériques peuvent provoquer une perte du signal et générer des données qui semblent parasites (il s'agit plutôt de distorsions ionosphériques non corrigées). Cette dégradation du signal peut exister au niveau du cycle ou à un niveau supérieur, ce qui empêche toute différenciation entre les variations ionosphériques et les sauts de cycles (Héroux 1988). Avec les récepteurs à double fréquence, il est possible de corriger le principal effet créé par l'ionosphère.

Le comportement de l'ionosphère est fonction de nombreuses variables interreliées, en particulier le cycle solaire, l'époque de l'année, le moment de la journée, l'emplacement géographique et l'activité géomagnétique.



Réseau canadien d'observatoires magnétiques		
Zone polaire	Zone aurorale	Zone subaurorale
ALE Alert	CBB Cambridge Bay	MEA Meanook
RES Resolute Bay	BLC Baker Lake	GLN Glenlea
MDB Mould Bay	YKC Yellowknife	STJ St. John's
	FCC Fort Churchill	VIC Victoria
	PBQ Poste de la Baleine	OTT Ottawa

Tableau 1. Zones d'activité géomagnétique au Canada

La Division de la géophysique de la Commission géologique du Canada à EMR surveille les activités géomagnétiques dans l'ensemble du pays et a déterminé pour le Canada trois zones définies selon le niveau moyen d'activité (voir le tableau 1). Dans la zone subaurorale (aux latitudes méridionales du Canada), le flux magnétique est généralement faible et constant, donc l'ionosphère est généralement homogène et ses caractéristiques sont prévisibles. Dans les zones aurorale et polaire (latitudes approximatives de 55° et plus), le flux magnétique est important et irrégulier et donne généralement lieu à des perturbations de l'ionosphère. Les limites des zones ne sont pas

absolues et varient selon les saisons, les cycles solaires, l'activité des taches solaires, etc. Il convient de se rappeler que des perturbations soudaines du champ magnétique terrestre (orages magnétiques) provoquant d'importantes perturbations de l'ionosphère peuvent se produire à toutes les latitudes du Canada.

Dans la zone aurorale ou aux latitudes plus élevées, en raison de l'imprévisibilité ou de l'irrégularité de l'ionosphère, il est recommandé d'utiliser pour tous les levés des récepteurs à double fréquence afin que les données soient fiables. Ce type de récepteur devient obligatoire si l'on recherche une précision du deuxième ordre (57 p.p.m., niveau de confiance tridimensionnel de 95 %) ou mieux.

Dans la zone subaurorale (régions méridionales du Canada), où l'ionosphère est plus homogène, l'effet ionosphérique est fonction de la distance. On recommande également d'employer des récepteurs à double fréquence pour tous les levés, mais ce type de récepteur devient obligatoire si l'on recherche une précision du premier ordre ou mieux (23 p.p.m., niveau de confiance tridimensionnel de 95 %) et si les vecteurs dépassent continuellement 15 km.

Si l'on utilise des récepteurs à une seule fréquence, on doit prendre des précautions supplémentaires, comme celles d'augmenter le nombre de vecteurs répétés, la durée des séances de poursuite, et les liaisons entre stations, de façon à ce qu'aucune erreur systématique causée par l'absence de correction du délai de propagation dans l'ionosphère ne réduise la précision des résultats au-dessous du niveau de précision requis pour le projet.

La Division de la géophysique offre au public un service de prévision du niveau d'activité géomagnétique sous forme d'un bulletin de prévisions à long terme remis à jour toutes les 3 semaines et valide pendant une période de 28 jours (1 cycle solaire) et de prévisions à court terme remises à jour quotidiennement et valide pendant 72 heures. Les usagers du GPS sont invités à consulter ces prévisions avant et pendant les travaux sur le terrain.

2.2 RECONNAISSANCE

2.2.1 Choix du site

Une fois que l'emplacement général des nouvelles stations a été choisi, et que les points d'appui existants ont été déterminés (section 2.3.1), une reconnaissance sur le terrain doit être effectuée pour pouvoir sélectionner les sites spécifiques, et pour s'assurer que les stations, lorsqu'elles sont déjà établies, conviennent à la réalisation d'observations par la méthode GPS. Il est fortement recommandé d'utiliser dans la mesure du possible les repères existants pour éviter une prolifération des repères et pour améliorer le réseau existant.

Les observations à l'aide du GPS nécessitent une ligne de visée directe avec les satellites émetteurs. Étant donné que les signaux transmis pourraient être absorbés, réfléchis ou réfractés par des objets proches de l'antenne ou situés entre l'antenne et la source des signaux, il est souhaitable qu'à hauteur normale d'antenne, le ciel soit exempt d'obstacles à partir de 15° au-dessus de l'horizon. Cependant, il ne s'agit pas d'une exigence obligatoire dans les directions nord (azimuts entre 315° et 45°) aux latitudes moyennes du Canada, puisque dans cette direction, la distribution des satellites dans le ciel correspondra toujours à une région vide où aucun satellite ne sera jamais présent. Un diagramme polaire (azimut en fonction de l'angle zénithal) de la distribution des satellites dans le ciel à la latitude où se déroule le projet est un outil d'une grande utilité lors des travaux de reconnaissance, pour déterminer avec précision la région vide où aucun obstacle ne diminuera la visibilité des satellites.

Les stations radar ou émettrices à hyperfréquences, les stations de relais amplificateur et les lignes de hautes tensions peuvent constituer des sources d'interférences et l'on devrait se tenir à distance de celles-ci.

La propagation multivoie est un décalage relatif de phase ou un délai de propagation qui existe entre des signaux radio directement ou indirectement reçus. Elle résulte de réflexions du signal par des objets métalliques proches ou par d'autres surfaces réfléchissantes. Pour amoindrir le problème autant que possible, il faut veiller à ce que le secteur dans un rayon d'au moins 50 mètres à partir du repère soit exempt de structures artificielles, en particulier de parois ou de clôtures métalliques, ou bien de surfaces réfléchissantes naturelles. Une période de poursuite prolongée permet parfois de réduire l'effet de la propagation multivoie et l'on devrait y recourir lorsqu'il est impossible d'éviter la proximité de surfaces réfléchissantes, par exemple dans les zones urbaines.

On devrait aussi tenir compte de l'accessibilité avant de choisir un nouveau site. Idéalement, le repère devrait être situé en deçà de 30 mètres d'une voie d'accès praticable par véhicule. Dans le cas des applications semi-cinématiques, l'importance de cette condition est évidente.

Le terrain du site sélectionné devrait être de qualité suffisante pour que le repère demeure stable et soit raisonnablement durable. Le site devrait se trouver sur un sol ferme et stable, et non sur un sol exposé à l'érosion, à des glissements de terrain ou à des affaissements.

Lorsque des repères d'azimuts sont requis pour des levés de suivi, le GPS peut être utilisé pour les positionner. Pour connaître les directives spécifiques sur la sélection de ces sites, on devrait se référer aux directives sur la sélection des repères azimutaux qui figurent dans l'ouvrage intitulé *Manuel pratique de levés du canevas planimétrique de premier ordre (1980)*.

2.2.2 Matérialisation des stations

Le GPS est un système de positionnement tridimensionnel. Cette caractéristique devrait se refléter dans le type de repère utilisé pour marquer l'emplacement de la station. Étant donné qu'il est plus rentable d'établir un nouvel emplacement au moyen du GPS que de construire une structure complexe en béton pour porter le repère, on ne considère plus comme nécessaire, sauf lors de projets bien précis, la construction de repères traditionnels en béton (soit cylindriques, soit pyramidaux). Pour tenir compte de cette réalité, le tableau 2 indique selon un ordre préférentiel le type de repère qu'il convient d'utiliser. On présente à l'annexe C une description détaillée de ces repères. La liste n'est pas exhaustive, et pour cette raison, le chef de projet peut donner l'autorisation d'utiliser d'autres types de repères.

TYPE DE REPÈRE	REMARQUES
1) Repère médaillon ou repère boulon fixé dans la roche mère ou dans une importante structure en béton déjà installée.	Acceptable à tout niveau de précision du levé.
2) Repère en profondeur du CNRC, constitué d'un tuyau en acier enfoncé au point de refus et protégé par un tuyau extérieur en acier galvanisé. Le point de référence est fixé au sommet du tuyau intérieur et l'espace annulaire entre les tuyaux est rempli d'huile lourde. Un regard, rempli de pierre concassée, assure une stabilité horizontale supplémentaire et une protection additionnelle. Remarque : Sur tout repère de ce type installé avant 1988, il faut placer un capuchon stabilisateur horizontal pour empêcher l'oscillation du tuyau intérieur.	Acceptable à tout niveau de précision du levé.
3) Repère 3-D composé d'un point de référence fixé à des sections de tige en acier (de 1,6 cm de diamètre) enfoncés au point de refus dans le sol. Un regard rempli de pierre concassée et tassée assure une stabilité horizontale supplémentaire et une protection additionnelle.	Acceptable à tout niveau de précision du levé.
4) Repère tuyau à hélice, qui consiste en un capuchon en laiton fixé à un tuyau métallique carré évidé de 2,4 mètres de long auquel on a soudé une hélice en acier à environ 15 cm de la base. Un regard rempli de pierre concassée assure une stabilité horizontale supplémentaire et une protection additionnelle.	Acceptable à tout niveau de précision du levé.
5) Repère à pieu constitué d'une tige de renforcement en acier portant un médaillon d'identification.	Acceptable pour des levés d'une précision égale ou supérieure à 57 p.p.m. seulement si il est utilisé dans du pergélisol ou dans de la roche désagrégée ou tendre (schistes argileux); et acceptable dans tout type de sol lorsque le niveau de précision du levé est moindre.

Tableau 2: Repères recommandés pour les levés GPS

2.3 CONFIGURATION DU RÉSEAU GÉODÉSIQUE

2.3.1 Points d'appui

On emploie des points d'appui pour assurer une intégration correcte du nouveau levé dans un réseau existant. On doit inclure dans tout projet de levé par la méthode GPS au moins trois points d'appui tridimensionnel ou une combinaison équivalente de points d'appui planimétrique et altimétrique.

Pour un réseau local ou régional couvrant une superficie d'au plus 80 km x 80 km, les points d'appui devraient être distribués de façon équilatérale à la périphérie du réseau à établir.

Si le levé couvre une superficie plus vaste, il est souhaitable de disposer de points d'appui supplémentaires qui devraient être répartis de façon régulière à la périphérie et à l'intérieur du réseau. Idéalement, le nombre total de points d'appui et leur distribution devraient être déterminés d'après une analyse préliminaire, afin qu'il y ait une intégration fiable du levé dans le réseau de base. Cependant, lorsque c'est pratique, on devrait inclure tous les points du réseau de base existants à l'intérieur de la région visée par le projet pour améliorer leur précision, aider à éliminer les faiblesses du réseau national et assurer son homogénéité.

Les Points de contrôle actif (PCAs), qui sont des stations monitrices permanentes maintenues à quelques endroits à travers le pays, peuvent être utilisés comme point d'appui. Étant donné que les PCAs sont positionnés avec précision relativement au réseau de base existant, l'utilisation d'un seul récepteur GPS combiné aux données provenant du Système de contrôle actif (SCA) permettent l'établissement immédiat de coordonnées dans le système NAD 83. Cependant, la précision, les objectifs et les exigences relatives à l'intégration au réseau de base pour un projet donné continueront de gouverner le nombre de points d'appui requis au-delà du minimum indiqué précédemment.

2.3.2 Liaison entre les stations et occupations multiples

Un nombre minimum de liaisons directes (observations simultanées) est nécessaire, pour toutes les stations à positionner, de façon à assurer une redondance et une force suffisantes du point de vue de la compensation du réseau. Idéalement, chaque station sera rattachée directement à toutes stations adjacentes. Au minimum, chaque station doit être directement reliée à au moins deux autres stations du réseau. Ceci est essentiel pour parvenir à une précision relative fiable et à une intégration correcte de la solution des résultats GPS au canevas existant.

Comme il est généralement plus facile de résoudre les ambiguïtés de phase sur de courts vecteurs et que l'on assure ainsi d'un réseau plus fort, les occupations simultanées de stations adjacentes sont préférables à l'observation de vecteurs plus longs.

On devrait aussi établir des liaisons directes entre les points d'appui. Ceci permettra de vérifier encore l'échelle et l'orientation du réseau et peut-être aussi de pallier les faiblesses du canevas existant.

Il est reconnu que des occupations multiples des stations (occupation pendant deux séances indépendantes au moins) permettent d'obtenir une vérification de fiabilité optimale quant au positionnement, et de déceler les erreurs grossières (par exemple les erreurs de centrage, une hauteur d'antenne incorrecte, l'identification erronée des repères), et enfin d'assurer une force et une redondance satisfaisantes quant à la compensation du réseau. Cependant, dans la plupart des projets, les occupations multiples de toutes les stations risquent de ne pas être rentables et l'on doit employer d'autres procédés (voir mise en station de l'antenne, section 2.4.1) pour réduire les possibilités d'erreurs grossières. Les occupations multiples sont fortement recommandées pour tous les levés, mais elles deviennent obligatoires lorsque l'exigence de précision tridimensionnelle relative est de 5 p.p.m. ou mieux (niveau de confiance de 95 %).

L'observation de vecteurs communs (répétés) entre les séances adjacentes permet une meilleure intégration des séances en plus d'assurer un certain pourcentage d'occupations multiples. De plus, cela permet de surveiller les variations d'échelle et d'orientation d'une séance d'observation à l'autre, causées par des variations des conditions atmosphériques, des erreurs d'orbite, ou par d'autres facteurs. Le plan d'observation doit donc être élaboré de façon à ce que, dans le réseau final, un vecteur commun existe d'une séance à l'autre. C'est à dire que toutes séances doivent être rattachées au reste du réseau de sorte qu'un lien continu soit maintenu à travers tout le projet par le biais de vecteurs communs. Les longueurs de ces vecteurs répétés doivent être représentatives des longueurs des vecteurs adjacents rencontrés au cours du projet. Si l'on n'utilise que deux récepteurs, il faut répéter chaque vecteur.

Un plan détaillé, à une échelle convenable, montrant le canevas actuel et les nouvelles stations, et décrivant pour chaque séance les stations qui seront simultanément occupées, doit être soumis au chef de projet et approuvé par celui-ci avant le commencement de toute observation sur le terrain.

2.4 OBSERVATION SUR LE TERRAIN

2.4.1 Mise en station de l'antenne

La mise en station de l'antenne (y compris l'identification du repère, le centrage et la mesure du centre de phase de l'antenne au-dessus du repère géodésique) peut être la cause majeure des erreurs grossières lors des opérations de levé à l'aide du GPS. L'adoption de procédures spécifiques sur le terrain permet de réduire au maximum les erreurs de mise en station. Ceci est d'autant plus important qu'à cette étape, les erreurs restent difficiles à déceler sauf si l'on peut comparer les composantes vectorielles des vecteurs répétés.

Un croquis du repère avec toutes ses inscriptions, une photographie ou un estampage à la mine de plomb, devrait être effectué pour confirmer que l'on a occupé le bon repère.

Pour tout levé, on doit utiliser des embases à vis calantes permettant la mise au niveau de l'antenne, en même temps qu'un dispositif optique ou mécanique permettant un centrage précis au-dessus du repère. Le dispositif de centrage doit être vérifié avant et après le levé et également chaque semaine pendant toute la durée du levé.

Dans le cas des levés exigeant la plus grande précision, par exemple les levés reliés à l'étude de la géodynamique, on devrait utiliser une embase à vis calantes avec niveau cavalier et un dispositif de centrage pouvant pivoter autour de l'axe zénithal. Avec ce type d'appareil, on peut immédiatement déterminer si le niveau doit être ajusté ou si le plomb optique a été déplacé hors de l'axe de collimation.

On doit mesurer la hauteur du centre de phase de l'antenne au-dessus du repère géodésique, et l'enregistrer au millimètre le plus proche avant et après chaque séance d'observation. Il est conseillé d'employer à la fois le système métrique et le système britannique de mesure comme moyen de vérification. Toutes les mesures effectuées pour calculer la hauteur totale du centre de phase de l'antenne au-dessus du repère doivent être enregistrées dans le carnet de terrain et la procédure employée devrait être illustrée par un croquis, aux fins de vérification des calculs.

Si le récepteur doit rester sur la même station pendant au moins deux séances d'observation, l'antenne doit être mise en station à nouveau entre chaque séance, et la hauteur d'antenne mesurée et notée au commencement et à la fin de chaque séance. Ceci garantit l'indépendance de chaque séance d'observation.

2.4.2 Durée des séances d'observation

La durée optimale des séances d'observation (collecte simultanée des données) dépend de plusieurs facteurs : des exigences de précision, de la géométrie des satellites, du niveau d'activité ionosphérique, du type de récepteurs, de la longueur des vecteurs mesurés, de l'emplacement géographique, du potentiel de propagation multivoie sur les sites étudiés, de la technique de réduction des données et des logiciels utilisés. L'expérience combinée à une analyse préliminaire de ces facteurs pour la région du levé constitue probablement la meilleure façon de déterminer la durée requise pour les séances d'observation. La durée choisie pour les séances d'observation doit être démontrée, au cours du levé de validation, comme adéquate dans les conditions prévues pour le levé de production. Le principal critère consiste à s'assurer que l'on recueille des données de qualité permettant de résoudre de façon satisfaisante les ambiguïtés de la phase porteuse.

Il convient de noter que l'effet de propagation multivoie dépend de la configuration géométrique des satellites observés. Étant donné que la géométrie de la constellation varie avec le temps, une plus longue période d'observation tend à réduire l'effet de la propagation multivoie.

2.4.3 Intervalle des mesures

Le choix de l'intervalle des mesures (taux d'enregistrement des données) est régi par la technique GPS employée pour l'exécution du levé. Règle générale, plus le taux d'enregistrement des mesures est élevé, plus il est facile de déceler et de corriger les sauts de cycles. Par contre, un taux élevé génère des fichiers encombrants. En général, dans le cas d'un positionnement statique, un taux d'enregistrement d'une observation toutes les 15 secondes est apparu satisfaisant. Dans le cas d'un positionnement cinématique, un taux plus élevé pourrait être nécessaire. Quelle que soit la technique adoptée, le taux d'enregistrement doit s'avérer adéquat lors du levé de validation.

2.4.4 Observations météorologiques de surface

Les exigences relatives aux observations météorologiques de surface dépendent des exigences de précision, de la longueur des vecteurs, des différences d'altitude entre les stations et des objectifs du levé.

Généralement, pour des réseaux de petite et de moyenne envergure (où la longueur des vecteurs est moins que 100 km), des observations météorologiques ne sont pas nécessaires. Dans de tels cas, de petites erreurs dans les observations météorologiques, causées par l'étalonnage des instruments, les effets de la topographie et les effets du microclimat local peuvent introduire de plus grandes erreurs dans le modèle

troposphérique que si l'on emploie des valeurs atmosphériques normalisées (caractérisées par un ensemble unique de données météorologiques de surface) avec un modèle du type de Saastamoinen ou de Hopfield (Beutler et al., 1988).

Dans le cas de levés où l'on veut un degré de précision de l'ordre de 0,1 p.p.m. ou mieux, dans celui des levés de grande échelle où la longueur du vecteur est constamment supérieure à 100 km, ou dans celui des levés où il existe de grandes différences de hauteur entre les stations, les observations météorologiques de surface peuvent devenir nécessaires. Dans ce dernier cas, lorsqu'il existe de grandes différences d'altitude entre les stations (plusieurs centaines de mètres), on doit intégrer les observations de surface à un modèle tel qu'expliqué dans (Beutler et al., 1989), où les observations météorologiques de surface servent à déterminer un profil de l'atmosphère en fonction de l'altitude, dans la couche comprise entre la station la plus basse et la station la plus élevée, occupées durant la même séance. Le délai de propagation final dans l'atmosphère est calculé comme étant la somme du délai de propagation au-dessous de la station la plus haute (d'après le profil météo de surface) et du délai de propagation au-dessus de la station la plus haute calculé à partir de valeurs atmosphériques normalisées et des modèles tels que ceux de Saastamoinen ou de Hopfield.

Si nécessaire, on devrait enregistrer les observations des conditions météorologiques (température au thermomètre sec, température au thermomètre mouillé ou humidité et pression atmosphérique) au commencement et à la fin de la séance d'observation, s'il se produit une variation soudaine des conditions atmosphériques, et au moins toutes les heures si la séance dure plusieurs heures. Idéalement, on mesure la température et l'humidité à une hauteur de 3 mètres ou plus au-dessus du niveau du sol pour éviter une partie de l'effet du réchauffement de la surface. On devrait enregistrer les températures au dixième de degré centigrade ($0,1^{\circ}$ C) le plus proche, et l'humidité avec une approximation de 2 %. On devrait mesurer la pression atmosphérique à la hauteur de l'antenne et l'enregistrer à la fraction de 0,3 millibar la plus proche. On doit comparer les instruments météorologiques à un étalon avant d'exécuter le projet de levé et les réunir à des fins de comparaison au moins une fois par semaine durant le projet, et prendre des mesures correctives si les différences sont supérieures à la précision requise.

Dans le cas des levés précis ou de grande envergure, une approche plus sophistiquée que la modélisation du délai de propagation dans l'atmosphère au moyen des observations météorologiques de surface, consiste à modéliser le délai de propagation entre chaque station par un procédé stochastique, en estimant les valeurs correspondant à chaque époque, avec une limitation (vitesse admissible de variation des conditions troposphériques) imposée par le modèle stochastique. L'estimation stochastique donne des résultats géodésiques comparables aux résultats obtenus avec des méthodes basées sur l'emploi d'instruments tels que des radiomètres à vapeur d'eau (Water vapor radiometers, WVR)(Tralli et Lichten, 1990).

2.4.5 Notes de terrain

Afin de faciliter le traitement des données, on doit tenir un carnet de terrain, que celui-ci soit sur papier ou électronique. Des formulaires courants, comme ceux figurant à l'annexe D, suffisent. L'information minimum à inclure est la suivante :

- Date des observations (année, mois, jour et numéro dans le calendrier julien)
- Identification des séances
- Identification des stations (nom et numéro fournis par le chef de projet)
- Modèle de récepteur
- Numéros de série du récepteur, de l'antenne et du collecteur de données
- Hauteur du centre de phase de l'antenne au-dessus du repère (à 1 mm près) et toutes les mesures effectuées pour calculer cette hauteur (un croquis illustrant la procédure est également recommandé)
- L'excentricité de l'antenne par rapport au repère, le cas échéant (distance et azimut)
- Le début et la fin (temps universel) des observations
- Les conditions météorologiques générales et les variations météorologiques qui ont pu se produire au cours de la séance d'observation
- Des observations météorologiques détaillées, le cas échéant
- Tous les problèmes de matériel ou de poursuite ou tout comportement inhabituel

On peut également ajouter dans le carnet de terrain un diagramme indiquant tout obstacle ayant un angle d'élévation supérieur à 15° , tel que mesuré depuis l'emplacement de l'antenne.

2.5 TRAITEMENT DES DONNÉES

2.5.1 Logiciels et procédures de traitement

Le logiciel utilisé pour le traitement des données doit donner les positions relatives ou les différences de coordonnées pour les stations simultanément observées, et des statistiques connexes rigoureuses de variances-covariances pouvant servir de données d'entrée dans un programme de compensation tridimensionnelle du réseau.

Toutes les corrélations mathématiques et physiques entre les observations GPS devraient idéalement être considérées et correctement modélisées. Bien qu'elle ait un impact minimal sur la précision des coordonnées calculées, une manipulation rigoureuse des corrélations entre les observations GPS a des répercussions incontestables sur les estimations de la précision et l'information statistique connexe. Cette information est primordiale lors de l'intégration des résultats dans un réseau plus important.

Mais pour l'instant, rares sont les logiciels qui permettent de traiter la corrélation physique. Par conséquent, jusqu'à ce que soient élaborés des modèles qui tiennent compte adéquatement des corrélations physiques, le logiciel de traitement devrait au moins pouvoir tenir compte des corrélations mathématiques entre les observations. L'approche privilégiée est de modéliser les corrélations mathématiques en utilisant un logiciel de traitement GPS permettant le calcul simultané de toutes les observations d'une même séance (traitement par vecteurs multiples). Cependant la plupart des logiciels disponibles commercialement n'ont que la capacité de calculer un seul vecteur à la fois (traitement par vecteur simple) et ne tiennent pas compte de la corrélation entre ceux-ci. Si l'on emploie un tel logiciel de traitement, on doit inclure toutes les combinaisons de vecteurs dans la compensation du réseau (incluant aussi les vecteurs qui sont la combinaison linéaire de d'autres) et un facteur d'échelle $n/2$ doit être appliqué à la matrice de covariances de chacun des vecteurs (n étant le nombre de stations positionnées simultanément). Craymer et Beck (1992) présentent une comparaison détaillée du traitement par vecteur simple et par vecteurs multiples.

Le logiciel utilisé pour la compensation du réseau doit fournir des valeurs résiduelles d'observation (ou leur équivalent) que l'on examinera pour s'assurer qu'il ne reste pas d'effets systématiques. Il doit aussi pouvoir produire l'entière matrice de covariances de toutes les coordonnées estimées.

On doit mettre à l'épreuve le logiciel et les procédures de traitement, et obtenir des résultats concluants, en traitant les ensembles de données recueillies sur le réseau de validation, avant de les adopter pour effectuer un levé de production.

2.5.2 Éphémérides

Les éphémérides satellitaires employées pour calculer les positions des satellites sont soit prédites et incluses dans le message GPS radiodiffusé, soit post-calculées et accessibles à partir de diverses sources.

Les éphémérides radiodiffusées sont prédites par le segment central de contrôle GPS. Ces prédictions sont des extrapolations d'orbites basées sur une orbite de référence calculée d'après cinq sites d'observation répartis sur le globe.

Le Naval Surface Warfare Center (NSWC), en collaboration avec la U.S. Defense Mapping Agency (DMA), produit ce qui est actuellement connu sous le nom d'«éphémérides précises». Ces éphémérides post-calculées sont basées sur des données transmises par 10 sites de poursuite satellitaire répartis sur le globe. Elles sont également appelées orbites «ajustées», parce qu'elles sont calculées précisément à partir de l'ensemble de données sans qu'aucune extrapolation ne soit faite. Celles-ci ne sont cependant pas disponibles au public en général. La U.S. National Geodetic Survey (USNGS) génère aussi des éphémérides post-calculées d'après des données recueillies aux stations de poursuite satellitaire du Réseau international coopératif de poursuite GPS (CIGNET). Ces éphémérides sont accessibles au public par le biais du panneau d'affichage électronique du Centre d'information GPS (GPSIC) sous la tutelle de la garde côtière américaine (U.S. Coast Guard) (voir annexe A). La Division des levés géodésiques du Centre canadien des levés a commencé à calculer des éphémérides précises à partir des données observées aux stations de son Système de contrôle actif (SCA) et quelques stations additionnelles réparties à travers le monde. La Division prévoit établir dans un avenir prochain un système électronique de distribution pour satisfaire aux besoins des usagers du GPS.

Les éphémérides extrapolées (radiodiffusées) comportent naturellement des erreurs plus importantes que les éphémérides précises parce qu'elles sont exposées à l'effet de perturbations non modélisées. Elles conviennent cependant à la plupart des applications de levés. Des études ont montré que les éphémérides radiodiffusées (non affectées par une disponibilité sélective) sont comparables aux éphémérides précises NSWC/DMA au niveau de trois à huit mètres selon que les satellites fonctionnaient avec une horloge au césium ou au rubidium (Remondi et Hofman-Wellenhof, 1989). Ceci influencerait le positionnement relatif dans une proportion de 0,2 à 0,5 partie par million.

Cependant, avec la dégradation intentionnelle de la précision des éphémérides radiodiffusées pendant la période de disponibilité sélective, on peut prévoir des incertitudes de l'information orbitale de l'ordre de 100 mètres ou plus, et des éphémérides précises ou post-calculées pourraient être nécessaires pour obtenir une précision de l'ordre de quelques parties par million. On peut s'attendre à un retard de quelques semaines à quelques mois quant à l'obtention d'éphémérides précises à partir de sources extérieures.

Si l'on veut obtenir des vecteurs avec une précision de 0,1 p.p.m. ou mieux, les éphémérides précises peuvent ne pas être suffisamment exactes. Une autre solution

consiste à employer les données recueillies à des points géodésiques de référence (points de poursuite continue périphériques au projet) qui sont traités simultanément aux observations GPS du projet. Dans cette méthode, les points géodésiques de référence restent fixes et les coordonnées orbitales du satellite sont ajustées en même temps que sont résolues les différences des coordonnées des stations. Avec l'introduction de la disponibilité sélective et la dégradation intentionnelle de l'information orbitale, ceci pourrait devenir une méthode viable ou même une méthode préférable à l'attente d'éphémérides post-calculées.

2.5.3 Traitement et analyse des données

Afin de détecter plus rapidement les problèmes que peuvent poser les données et de prendre les mesures correctives qui s'imposent, les données devraient être traitées aussi vite que possible après la séance d'observation. Toutes les étapes de traitement et les épisodes inhabituels, incohérences ou erreurs rencontrés doivent être notés. Les procédures qui suivent fournissent l'information sur la cohérence et la fiabilité des données. Elles devraient être utilisées aussi souvent que possible et de préférence quotidiennement.

On doit calculer les différences dans les mesures des vecteurs répétés, pour repérer les erreurs grossières et obtenir des estimations initiales de la cohérence interne du réseau GPS. Les différences ne devraient pas dépasser les exigences de précision en fonction de la longueur des vecteurs.

Lorsque possible, on devrait comparer les vecteurs déjà établis (entre deux points d'appui par exemple) aux vecteurs observés. On devrait examiner les écarts supérieurs à ceux spécifiés par les exigences de précision relatives au levé.

À mesure que progresse le projet de levé, on doit inclure les résultats des nouvelles séances d'observation dans une compensation avec contrainte minimum (c'est à dire avec un seul point fixe par rapport à chacune des trois coordonnées) pour observer la cohérence interne du réseau. L'analyse des valeurs résiduelles normalisées (valeurs résiduelles multipliées par la racine carrée de leur poids) facilitera la détection des vecteurs problématiques et indiquera peut-être où de nouvelles observations pourraient devenir nécessaires.

Une fois le projet achevé, on doit effectuer une compensation avec contrainte minimum. On doit utiliser les coordonnées NAD83 ou toutes autres coordonnées géocentriques connues, fournies par le chef de projet pour le point fixé. La compensation avec contrainte minimum permet d'examiner les résultats obtenus avec le GPS sans l'influence du réseau de base existant.

Si l'on utilise un logiciel traitant par vecteur simple, on doit inclure toutes les combinaisons de vecteurs dans la compensation du réseau et un facteur d'échelle $n/2$ doit être appliqué à la matrice de covariances de chacun des vecteurs (n étant le nombre de stations occupées simultanément durant la séance d'observation).

De plus, parce que les logiciels de traitement des données GPS existants donnent généralement des matrices de covariances excessivement optimistes, il est aussi acceptable d'ajuster d'un facteur d'échelle la matrice de covariances formelle qu'ils fournissent avant la compensation finale. Un facteur d'échelle ou algorithme peut déjà être inclus dans le logiciel GPS utilisé. Dans tous les cas, si la matrice de covariances est mise à l'échelle, le chef de projet doit être informé de la technique employée, le facteur d'échelle doit être appliqué à toute la matrice de covariances de façon à ne pas changer la corrélation et il faut également que cette technique de mise à l'échelle soit appliquée lors de l'exécution du levé de validation.

2.6 Rapport et résultats

Le rapport final doit contenir toute l'information nécessaire pour évaluer si les objectifs du projet ont été réalisés de façon satisfaisante. Il s'agit aussi de fournir suffisamment d'information avec les résultats pour pouvoir traiter à nouveau les données brutes si nécessaire. Dans la section 5, figure un résumé des résultats et des détails du rapport requis.

3.0 LEVÉ DE VALIDATION DU «SYSTÈME DE LEVÉ» GPS

Le levé de validation permet essentiellement d'évaluer tout le «système de levé» GPS que l'on se propose d'utiliser lors d'un levé de production, et de déterminer avec confiance si oui ou non il donne des résultats fiables qui satisfassent aux exigences de précision.

On définit ici le «système de levé» comme le système employé depuis l'étape de la collecte des données jusqu'à l'établissement des coordonnées finales obtenues par une compensation dans les trois dimensions avec contrainte minimum. Ceci comprend le matériel et toutes les procédures utilisées pour recueillir des données ainsi que le matériel, les procédures et les logiciels employés pour traiter les données et produire les résultats finaux.

Le levé de validation est effectué de manière analogue à un levé de production. La principale différence est que la plupart des stations ont des coordonnées connues qui servent à l'évaluation des résultats expérimentaux par le chef de projet. La configuration du réseau de production et la logistique nécessaire ne sont pas vérifiées pendant le levé de validation, mais sont spécifiquement examinées dans la section 4.

Une fois que l'essai d'un «système de levé» GPS a donné des résultats concluants lors d'un levé de validation, ce système doit être adopté dans sa totalité en vue de l'exécution du levé de production pour lequel il a été proposé.

3.1 RÉSEAU DE VALIDATION

Le chef de projet doit choisir le réseau de validation et les stations spécifiques à établir. Le réseau de validation devrait avoir été établi par des méthodes qui donnent de meilleurs résultats que ceux prévus pour le levé de production.

Le réseau doit comporter au moins six stations qui représentent aussi bien que possible les conditions physiques prévues lors du levé de production. C'est surtout le cas pour l'emplacement géographique (p. ex. la latitude du levé explique en grande partie le degré d'activité ionosphérique) et pour la distance et la différence d'altitude entre les stations.

Bien qu'il y ait d'autres choix possibles, les réseaux d'étalonnage GPS actuellement établis partout au pays par la Division des levés géodésiques en collaboration avec les organismes provinciaux responsables des levés, répondent à toutes les exigences nécessaires à la réalisation de la plupart des levés de validation. Ils comprennent au moins six stations, marquées par des piliers à centrage forcé, espacés d'environ 2, 10, 40 et 50 km dans la plupart des cas, et de 100 et 150 km en d'autres endroits stratégiques. Également, la plupart des réseaux d'étalonnage comprennent une base géodésique d'étalonnage pour les instruments de mesure électronique des distances (EDM), qui ajoute un choix de longueurs plus courtes si nécessaire.

Le besoin d'établir ces réseaux d'étalonnage dans l'ensemble du pays a été reconnu en 1986. Au début de 1987, la Division des levés géodésiques a publié l'ouvrage intitulé *Preliminary recommendations for establishment of GPS calibration basenets*, recommandations qui ont été suivies pour la conception et l'établissement des réseaux d'étalonnage existants.

3.2 EXÉCUTION DU LEVÉ DE VALIDATION

Dans le cas du levé de validation, il faut tenir compte des directives présentées dans le présent document, sans pour autant restreindre l'usage de méthodes nouvelles. Cependant, pour satisfaire aux objectifs du levé de validation, le schéma des observations doit inclure certaines conditions (par exemple les occupations multiples des stations, les vecteurs répétés et un degré suffisant de redondance) pour rendre possible une évaluation détaillée des données.

Pour corrélérer autant que possible les résultats donnés par le levé de validation avec ceux que l'on devrait obtenir avec le levé de production, on devrait effectuer le levé de validation approximativement au même moment de la journée (en raison de l'étroite corrélation avec le comportement de l'ionosphère) et en utilisant la même configuration des satellites que ce qui est prévu pour le levé de production.

Les résultats du levé de validation doivent être soumis en conformité avec les spécifications décrites dans la section 5. On doit fournir suffisamment d'information pour pouvoir évaluer la précision interne et la précision externe des résultats.

Étant donné que l'information statistique fournie par les logiciels de traitement GPS est généralement trop optimiste, on peut si cela se justifie mettre à l'échelle les matrices de covariances avant de procéder à la compensation finale. Il est possible qu'un facteur d'échelle ou un algorithme soient déjà intégrés au progiciel du GPS employé. Dans tous les cas, si la matrice de covariances est mise à l'échelle, la technique employée doit être appliquée à toute la matrice de covariances et fait alors partie des procédés à valider. Par conséquent, on doit employer la même technique de mise à l'échelle lors du levé de production.

3.3 ÉVALUATION DES RÉSULTATS

Un «système de levé» GPS doit être considéré comme acceptable dans le cas d'un levé de production spécifique, si les résultats du levé de validation répondent aux conditions suivantes :

Précision interne :

Les vérifications de la cohérence telles que décrites dans la section 2.5.3 sont accomplies et aucun écart ne reste inexplicé.

Les régions de confiance tridimensionnelles relatives de 95 %, pour la compensation finale du réseau, telles que déterminées d'après la matrice de covariances du réseau, satisfont aux exigences de précision du levé de production.

Précision externe :

Les coordonnées finales compensées de toute station observée lors du levé de validation sont statistiquement équivalentes aux valeurs connues au niveau de confiance de 95 %.

Il est possible d'effectuer une transformation de Helmert des coordonnées finales du levé de validation relativement aux coordonnées connues. Jusqu'à sept paramètres peuvent être utilisés (3 rotations, 3 translations et une mise à l'échelle) pour déceler les distorsions systématiques à l'échelle du réseau causées par des erreurs non modélisées des données GPS. Cette analyse pourrait aider à identifier les problèmes, au cas où les résultats du levé de validation ne seraient pas statistiquement équivalents aux valeurs connues.

Une fois qu'un «système de levé» a été validé, il doit être adopté dans sa totalité en vue de l'exécution du levé de production. Si le matériel, les procédures ou le logiciel sont modifiés d'une manière quelconque, on doit en avertir le chef de projet, à sa demande, répéter le levé de validation en totalité ou en partie, selon la nature de la modification. Toute modification du logiciel de traitement seul n'exigerait pas de nouvelles observations du réseau, bien que de nouveaux calculs et une analyse des résultats s'imposent alors.

4.0 SPÉCIFICATIONS RELATIVES À LA RÉALISATION DES LEVÉS GPS

Dans cette section, les exigences obligatoires relatives à la réalisation des levés GPS pour le compte de la Division des levés géodésiques sont résumées. La section 2 du présent document contient davantage d'information sur les procédures recommandées.

On doit évaluer lors d'un levé de validation, la totalité du «système de levé» GPS que l'on se propose d'utiliser pour effectuer un levé de production afin de déterminer avec confiance s'il donne ou non des résultats fiables qui satisfassent aux exigences de précision. Une fois qu'un «système de levé» a été validé, il doit être adopté dans sa totalité en vue de l'exécution du levé de production. Si le matériel, les procédures ou les logiciels sont modifiés d'une manière quelconque, le chef de projet doit en être averti et, à sa demande, le levé de validation doit être répété en totalité ou en partie selon la nature de la modification.

4.1 CHOIX DU MATÉRIEL

On peut utiliser des récepteurs de divers modèles ou produits par divers fabricants pour l'exécution du même projet. La compatibilité et la simultanéité des observations doivent cependant être vérifiées lors du levé de validation.

Bien qu'il soit recommandé d'utiliser le même type d'antenne sur tous les récepteurs lors de la réalisation d'un projet, pour réduire autant que possible les erreurs dues à la déviation des centres de phase, il est permis d'utiliser divers types d'antennes, mais celles-ci doivent être mises à l'épreuve durant le levé de validation.

En raison de l'imprévisibilité et de l'irrégularité de l'ionosphère, il est recommandé d'employer des récepteurs à double fréquence dans la zone aurorale ou aux latitudes plus élevées pour tous les levés afin d'assurer la fiabilité des données; l'utilisation de récepteurs à double fréquence est obligatoire si l'on recherche une précision du deuxième ordre (57 p.p.m., niveau de confiance tridimensionnel de 95 %) ou mieux.

L'ionosphère étant plus homogène dans la zone subaurorale (régions méridionales du Canada), l'influence de l'ionosphère présente une étroite corrélation avec la distance entre les stations. Il est également recommandé d'utiliser des récepteurs à double fréquence pour tous les levés, mais ceci devient obligatoire si l'on recherche une précision du premier ordre (23 p.p.m., niveau de confiance tridimensionnel de 95 %) ou mieux, et si la longueur des vecteurs dépasse continuellement 15 km.

4.2 CONFIGURATION DU RÉSEAU

On doit inclure dans tout projet de levé GPS au moins trois points d'appui connus dans les trois dimensions ou bien une combinaison équivalente de points d'appui planimétrique et de points d'appui altimétrique.

Chaque station doit être directement reliée à au moins deux autres points du réseau.

Comme il est généralement plus facile de résoudre les ambiguïtés de phase sur de courts vecteurs et que l'on s'assure ainsi d'un réseau plus fort, les occupations simultanées de stations adjacentes sont préférables à l'observation de vecteurs plus longs.

Des occupations multiples (l'occupation pendant au moins deux séances d'observation) sont obligatoires si l'on recherche une précision tridimensionnelle de 5 p.p.m. ou mieux (niveau de confiance de 95 %).

Le plan d'observation doit être élaboré de façon à ce que dans le réseau final, un vecteur commun existe d'une séance à l'autre. C'est à dire, que toutes séances doivent être rattachées au reste du réseau de sorte qu'un lien continu soit maintenu à travers tout le projet par le biais de vecteurs communs. Les longueurs de ces vecteurs répétés doivent être représentatives des longueurs des vecteurs adjacents rencontrés au cours du projet. Si l'on n'utilise que deux récepteurs, il faut répéter chaque vecteur.

On doit soumettre au chef de projet un plan détaillé établi à une échelle convenable, montrant pour chaque séance le schéma d'observation proposé (stations observées simultanément, vecteurs répétés, etc.) avant de commencer les observations sur le terrain.

On doit effectuer une reconnaissance du terrain pour choisir les sites spécifiques ou pour vérifier que les stations, si elles sont déjà établies, se prêtent à des observations par la méthode GPS.

4.3 OBSERVATIONS EFFECTUÉES SUR LE TERRAIN

Dans tous les projets, on doit utiliser des embases à vis calantes permettant la mise au niveau de l'antenne, en même temps qu'un dispositif optique ou mécanique permettant un centrage précis au-dessus du repère. On doit vérifier le dispositif de centrage avant et après le levé, et chaque semaine pendant toute la durée du levé.

On doit mesurer la hauteur du centre de phase de l'antenne au-dessus du repère au millimètre près, avant et après chaque séance d'observation. On doit noter dans le carnet de terrain toutes les mesures prises pour calculer la hauteur totale du centre de phase de l'antenne au-dessus du repère.

Si un récepteur doit rester à la même station pendant au moins deux séances d'observation, on doit repositionner l'antenne entre chaque séance, et mesurer à nouveau la hauteur de l'antenne puis la noter au début et à la fin de chaque séance.

La durée de la séance d'observation (collecte simultanée des données) doit être prouvée suffisante dans les conditions prévues pour le déroulement du levé de production, au cours du levé de validation.

L'intervalle des mesures (taux d'enregistrement des données) doit être prouvé suffisant au cours du levé de validation.

On doit tenir un carnet de terrain détaillé, soit sur papier ou électronique. Il doit au moins contenir les renseignements suivants :

- Date des observations (année, mois, jour et numéro dans le calendrier julien)
- Identification des séances
- Identification des stations (nom et numéro fournis par le chef de projet)
- Modèle de récepteur
- Numéros de série du récepteur, de l'antenne et du collecteur de données
- Hauteur du centre de phase de l'antenne au-dessus du repère géodésique (à 1 mm près), et toutes les mesures effectuées pour calculer cette hauteur (un croquis illustrant la procédure est également recommandé)
- L'excentricité de l'antenne par rapport au repère, le cas échéant (distance et azimut)
- Le début et la fin (temps universel) des observations
- Les conditions météorologiques générales et les variations météorologiques qui ont pu se produire au cours d'une séance d'observation
- Des observations météorologiques détaillées si nécessaire
- Tous les problèmes de matériel ou de poursuite, ou tout comportement inhabituel.

4.4 TRAITEMENT DES DONNÉES

Le logiciel utilisé pour le traitement des données doit donner les positions relatives ou les différences de coordonnées pour les stations simultanément observées, et des statistiques connexes rigoureuses de variances-covariances pouvant servir de données d'entrée dans un programme de compensation tridimensionnelle du réseau.

Les logiciels de traitement GPS et de compensation devraient produire des solutions qui intègrent toutes les observations et toutes les stations d'une même séance et tiennent compte des corrélations mathématiques entre les observations. L'approche privilégiée est de modéliser directement les corrélations mathématiques en utilisant un logiciel de traitement GPS permettant le calcul simultané de toutes les observations d'une même séance (traitement par vecteurs multiples). Si l'on emploie un logiciel ne permettant le calcul que d'un seul vecteur à la fois (traitement par vecteur simple), on doit inclure toutes les combinaisons de vecteurs dans la compensation du réseau (incluant aussi les

vecteurs qui sont la combinaison linéaire de d'autres) et un facteur d'échelle $n/2$ doit être appliqué à la matrice de covariances de chacun des vecteurs (n étant le nombre de stations positionnées simultanément).

Le logiciel utilisé pour la compensation du réseau doit fournir des valeurs résiduelles d'observation (ou leur équivalent) que l'on examinera pour s'assurer qu'il ne reste pas d'effets systématiques. Il doit aussi produire l'entière matrice de covariances de toutes les coordonnées estimées.

On doit mettre à l'épreuve le logiciel et les procédures de traitement, et obtenir des résultats concluants, en traitant les ensembles de données recueillies sur le réseau de validation, avant de les adopter pour effectuer un levé de production.

On doit noter toutes les étapes de traitement, toutes les incohérences ou toutes les erreurs ainsi que tous les détails inhabituels rencontrés.

On doit calculer les différences dans les mesures des vecteurs répétés, afin de repérer les erreurs grossières et d'obtenir des estimations initiales de la cohérence interne du réseau GPS. Les différences ne devraient pas dépasser les exigences de précision relativement à la longueur des vecteurs.

À mesure que progresse le projet de levé, on doit inclure les résultats des nouvelles séances d'observation dans une compensation avec contrainte minimum (c'est à dire avec un seul point fixe par rapport à chacune des trois coordonnées) pour observer la cohérence interne du réseau. L'analyse des valeurs résiduelles normalisées (valeurs résiduelles multipliées par la racine carrée de leur poids) facilitera la détection des vecteurs problématiques et indiquera peut-être où de nouvelles observations pourraient devenir nécessaires.

Une fois le projet achevé, on doit effectuer une compensation finale avec contrainte minimum. On doit utiliser les coordonnées NAD83 ou toutes autres coordonnées géocentriques connues, fournies par le chef de projet pour le point fixé.

Étant donné que les logiciels de traitement des données GPS existants fournissent généralement des matrices de covariances excessivement optimistes, il est acceptable d'ajuster d'un facteur d'échelle la matrice de covariances formelle que fournissent ces logiciels avant de procéder à la compensation finale. Un facteur d'échelle ou algorithme peut déjà être inclus dans le logiciel GPS utilisé. Dans tous les cas, si la matrice de covariances est mise à l'échelle, le chef de projet doit être informé de la technique employée, le facteur d'échelle doit être appliqué à toute la matrice de covariances de façon à ne pas changer la corrélation; il faut également que cette technique de mise à l'échelle soit appliquée lors de l'exécution du levé de validation.

5.0 SPÉCIFICATIONS CONCERNANT LE RAPPORT ET LES RÉSULTATS GPS

Le rapport final sur un projet de levé par la méthode GPS doit donner toute l'information nécessaire pour évaluer l'achèvement satisfaisant des objectifs du projet. L'un des objectifs est également que les résultats contiennent suffisamment d'informations pour que l'on puisse traiter à nouveau les données brutes si nécessaire. Le sommaire des détails de rapport précisés ci-dessous représente le minimum des éléments à présenter. Selon les méthodes et le matériel employés, il peut être nécessaire de disposer d'informations supplémentaires.

5.1 DESCRIPTION DU PROJET

On doit fournir une brève description des objectifs du projet, de l'emplacement des levés et du nombre de stations établies.

Un plan ou une carte indiquant tous les repères occupés doit être présenté. Ce plan à l'échelle doit montrer les vecteurs observés, les dates et moments des observations et les vecteurs communs entre les séances d'observation.

5.2 PROCÉDURES DE LEVÉS

Les résultats soumis doivent être accompagnés d'une description claire des procédures de levé employées sur le terrain. L'information fournie doit inclure, sans s'y limiter, les détails suivants :

- (i) Un sommaire du matériel utilisé, y compris les numéros de série, et une brève description des caractéristiques et des principes de fonctionnement;
- (ii) L'information sur les procédures spécifiques utilisées sur le terrain, comme la période de réchauffement de l'oscillateur, le procédé de synchronisation (s'il est applicable), les procédures de détermination de la hauteur d'antenne et le taux d'enregistrement des données;
- (iii) Un sommaire indiquant pour chaque séance d'observation les stations occupées, le début et la fin de la collecte des données et les satellites simultanément observés;
- (iv) Une description des procédures utilisées pour les rattachements excentrés, et l'explication du besoin d'établir une station excentrée, si tel est le cas;

(v) L'information logistique, en particulier : les moyens de transport, le schéma de déploiement du matériel, le personnel impliqué et ses attributions, les difficultés rencontrées et la façon dont celles-ci ont été surmontées.

5.3 DONNÉES BRUTES ET NOTES DE TERRAIN

Toutes les données originales recueillies sur le terrain doivent être fournies au chef de projet. Elles comprennent :

- i) Toutes les données GPS brutes sur support d'origine, correctement étiquetées et décrites. Si les données sont emmagasinées dans une mémoire interne, le premier support numérique portatif sur lequel elles sont transférées est considéré comme le support d'origine dans le cadre de cette exigence. Les données devraient être aussi fournies dans le format RINEX (Receiver Independent Exchange);
- (ii) Les carnets de terrain d'origine tels que décrits dans la section 4.3, imprimés ou présentés sous forme numérique;
- (iii) Toutes les notes de terrain provenant de levés classiques, pour les rattachements excentrés qui étaient nécessaires à l'accomplissement du projet;
- (iv) Toute mise à jour des descriptions des stations.

5.4 PROCÉDURES DE TRAITEMENT

On doit présenter une description détaillée des procédures employées pour traiter et pour vérifier les données sur le terrain et dans les bureaux. L'information fournie doit inclure sans s'y limiter les détails suivants :

- (i) L'ordinateur et les logiciels (numéro et date de la version) utilisés pour le traitement et la compensation des données;
- (ii) Une description détaillée de la façon dont les détails suivants ont été traités :
 - les corrélations mathématiques entre les stations
 - la mise à l'échelle des matrices de covariances pour tenir compte de la surestimation du degré de liberté si le traitement par vecteur simple est utilisé
 - la mise à l'échelle des matrices de covariances pour tenir compte de l'optimisme élevé des estimés d'erreurs;
- (iii) L'information et les explications relatives à l'épuration des données, y compris le pourcentage des données rejetées pour chaque station et les critères de rejet;

- (iv) La description des modèles utilisés de l'ionosphère et de la troposphère;
- (v) Une description des procédures de la détection des sauts de cycles et de rectification;
- (vi) Un sommaire des méthodes de résolution des ambiguïtés de phase et des résultats.

5.5 RÉSULTATS DES LEVÉS

On doit présenter les résultats dans le format et sur le support spécifiés par le chef de projet; ce travail doit inclure :

- (i) Les observations de différences de coordonnées, avec les matrices de covariances associées pour chaque séance individuelle, dans le format spécifié par le chef de projet (la Division des levés géodésiques exige actuellement un format GHOST ou GEOLAB);
- (ii) Les coordonnées tridimensionnelles obtenues par compensation avec contrainte minimum du réseau, ainsi que la matrice entière et formelle de covariances des paramètres compensés (y compris les paramètres indésirables);
- (iii) Les vérifications statistiques des résultats en fonction de la compensation du réseau, y compris l'analyse du facteur de variance, les demi grands axes des régions de confiance tridimensionnelles relatives de 95 % entre tous les couples possibles de stations (qui doivent respecter les exigences de précision imposées par le projet), les valeurs résiduelles et les valeurs résiduelles non homogènes;
- (iv) Les résultats de toute vérification de cohérence ou de validation des données, telle que la concordance entre les vecteurs répétés, la concordance avec les vecteurs déjà établis, la comparaison des vecteurs provenant de la résolution par séance comparativement à la solution provenant de la compensation de tout le réseau.

BIBLIOGRAPHIE

- Beck, N., R. Duval and P.T. Taylor (1989). "GPS Processing Methods: Comparison with Precise Trilateration.". American Society of Civil Engineering, Journal of Surveying Engineering, Vol. 115, No. 4.
- Beutler, G. (1989). "Relative static positioning with the Global Positioning System: Basic considerations and recent results". Presented at Geodetic Survey Division, Ottawa, Ont., September.
- Beutler, G., I.Bauersima, W. Gurtner, M. Rothacher and T. Schildknecht (1988). "Atmospheric refraction and other important biases in GPS carrier phase observations". Monograph 12, School of Surveying, University of New South Wales, Australia.
- Beutler, G., W. Gurtner, M. Rothacher, T. Schildknecht and I.Bauersima (1986). "Using the Global Positioning System (GPS) for high precision geodetic surveys: highlights and problem areas". University of Bern, Astronomical Institute, Bern, Switzerland.
- Beutler, G., W. Gurtner, M. Rothacher, V. Wild. and E. Frei. (1989). "Relative Static Positioning with the Global Positioning System: Basic Technical Considerations." IAG/IUGG. 125th Anniversary General Meeting, Edinburgh, Scotland, August 3-12.
- Beutler, G., W. Gurtner, U. Hugentobler, M. Rothacher, T. Schildknecht and U. Wild (1988). "Ionosphere and GPS processing techniques". Presented at the Chapman Conference on the Use of GPS for Geodynamics, Fort Lauderdale, Florida, September 19 - 22.
- Clynch, J.R. and D.S. Coco (1986). "Error characteristics of high quality geodetic GPS measurements: clocks, orbits, and propagation effects". Presented at the Fourth Int. Symposium on Satellite Positioning, Austin, Texas, April 28 - May 2.
- Cover, C. (1988). "The impact of ionospheric disturbances on GPS data". Proceedings, 1988 In-House R & D Symposium, Geodetic Survey of Canada, Ottawa, Ont., March.
- Craymer, M.R. and N. Beck (1992). "Session versus baseline GPS processing." Proceedings of the 5th International Technical Meeting of the Institute of Navigation, ION GPS-92, Albuquerque, NM, September 16-18.
- Craymer, M.R., D.E. Wells and P. Vaníček (1989). Report on urban GPS research project phase III — Evaluation, Volume 3: Specifications and guidelines. Contract report for the City of Edmonton, Transportation Dept., Engineering Division, Edmonton, Alberta. Geodetic Research Services Limited, Fredericton, N.B.
- Craymer, M.R., D.E. Wells, P. Vanicek and R. Devlin (1990). "Specifications for Urban GPS Surveys." Surveying and Land Information Systems, Vol. 50, No. 4, pp. 251-259.
- Delikaraoglou, D. and F. Lahaye (1989). "Optimization of GPS theory, techniques and operational systems: progress and prospects". IAG/IUGG 125th Anniversary General Meeting, Edinburgh, Scotland, August 3-12.

- Geiger, A. (1988). "Simulation of disturbing effects in GPS measurements by continuous satellite distribution". Presented at GPS'88 - Engineering applications of GPS satellite surveying technology, American Society of Civil Engineers annual meeting, Nashville, TN, May 11-14.
- Geodetic Survey of Canada (1987). "Preliminary recommendations for establishment of GPS calibration basenets". Geodetic Survey Division, Surveys, Mapping and Remote Sensing Sector, Energy, Mines and Resources Canada, Ottawa, Ont., February.
- Georgiadou, Y. and A. Kleusberg (1988). "On the effect of ionospheric delay on geodetic relative GPS positioning". *Manuscripta geodaetica* 13, 1-8.
- Gurtner, W. and G. Mader, (1989). "Receiver Independent Exchange Format Version 2". GPS bulletin vol.3, no.3 . CSTG GPS subcommission, Rockville, MD.
- Héroux, P. (1988). "Experiences processing GPS data from Canadian auroral zone with DIPOP 2.0". Department of Surveying Engineering, University of New Brunswick, Fredericton, N.B.
- Héroux, P. (1988). "GPS and the ionosphere in auroral regions". Department of Surveying Engineering, University of New Brunswick, Fredericton, N.B.
- Hothem, L.D. (1988). "GPS surveying standards and specifications". Presented at GPS'88 - Engineering applications of GPS satellite surveying technology, American Society of Civil Engineers annual meeting, Nashville, TN, May 11-14.
- King, R.W. and G. Blewitt (1989). "Present capabilities of GPS for high precision regional surveys". IAG/IUGG 125th Anniversary General Meeting, Edinburgh, Scotland, August 3-12.
- Kouba, J. (1986). "GPS Capabilities and Limitations for Geodynamics". Internal report, Geophysics Division, GSC, EMR. Dec.
- Lichten, S.M. and S. Kornreich Wolf (1989). "Stochastic GPS estimation of tropospheric path delays". Presented at AGU Fall Meeting, San Francisco, California, December 4-8.
- Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec, (1989). Instructions pour les levés géodésiques par la méthode GPS. Service de la géodésie, publication no PT8903D10, Sainte-Foy, Qué.
- Minkel, D.H. (1988). "GPS antenna - Field operation aspects: equipment, set-up procedures, and error sources". Presented at GPS'88 - Engineering applications of GPS satellite surveying technology, American Society of Civil Engineers annual meeting, Nashville, TN, May 11-14.
- Mrstik, P. (1990). Private communication about data processing and verification in the field, Geosurv Inc., Ottawa, Ontario.

- National Mapping Council of Australia, (1989). "Standards and specifications for control surveys", draft no.7.
- Neilan, R.E. (1987). "JPL standards for GPS site selection, monumentation, and referencing". Document 335.4-87-70, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, CA.
- Rapatz, P.J.V., M.Craymer, A. Kleusberg, R.B. Langley, S.H. Quek, J. Tranquilla and D.E. Wells (1987). Specifications and procedures for urban GPS surveys. Department of Surveying Engineering, University of New Brunswick, Fredericton, N.B.
- Rapatz, P.J.V., R. Devlin, C. Barnes and D.E. Wells (1988). "GPS specifications for urban surveys". Presented at GPS'88 - Engineering applications of GPS satellite surveying technology, American Society of Civil Engineers annual meeting, Nashville, TN, May 11-14.
- Remondi, B.W. and B. Hofmann-Wellenhof (1989). "GPS Broadcast Orbits versus Precise Orbits: A Comparison Study". Presented at IAG/IUGG 125th Anniversary General Meeting, Edinburg, Scotland, August 3-12.
- Santerre, R. (1989) "GPS satellite sky distribution: Impact on the propagation of some important errors in precise relative positioning". Ph. D. dissertation, Department of Surveying Engineering Technical Report No. 145, University of New Brunswick, Fredericton, New Brunswick.
- Steeves, R.R., P. Héroux, D.J. McArthur and K. Lochhead (1987). "Development of GPS data processing software at the Canadian Geodetic Survey". Presented at the 80th annual general meeting of the Canadian Institute of Surveying and Mapping, Charlottetown, P.E.I., June 22-26.
- Surveys and Mapping Branch, (1974). "Field manual for first-order horizontal control surveys". Department of Energy, Mines and Resources Canada, Ottawa, Ont.
- Surveys and Mapping Branch, (1978). "Specifications and recommendations for control surveys and survey markers". Department of Energy, Mines and Resources Canada, Ottawa, Ont.
- Tralli, D.M. and S.M. Lichten (1990). "Stochastic estimation of tropospheric path delays in Global Positioning System geodetic measurements". Bulletin Géodésique, 64, 127-159.
- Tranquilla, J.M. (1986). "Multipath and imaging problems in GPS receiver antennas". Presented at the Fourth Int. Symposium on Satellite Positioning, Austin, Texas, April 28 - May 2.
- Wells, D.E., N. Beck, D. Delikaraoglou, A. Kleusberg., E.J. Krakiwsky, G. Lachapelle., R. Langley, M. Nakiboglu., K.P. Schwarz, J. Tranquilla, P. Vanicek. (1986). Guide to GPS Positioning. Canadian GPS Associates, Fredericton, New Brunswick.

**SOURCES D'INFORMATIONS RELATIVES AU
SYSTÈME DE POSITIONNEMENT GLOBAL (GPS)**

SOURCES D'INFORMATIONS RELATIVES AU SYSTÈME DE POSITIONNEMENT GLOBAL (GPS)

PRÉVISION DE L'ACTIVITÉ GÉOMAGNÉTIQUE

La Division de géophysique du ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources offre au public un service de prévision du niveau d'activité géomagnétique. Un bulletin de prévisions à long terme renouvelé toutes les trois semaines, applicable à une période de 28 jours (1 cycle solaire) est régulièrement envoyé par la poste aux personnes qui en font la demande; des bulletins de prévisions à court terme couvrant une période de 72 heures et renouvelés quotidiennement sont disponibles sous une forme détaillée par liaison informatisée, ou présentés brièvement sous forme d'un message sonore enregistré. Les usagers du GPS sont invités à utiliser ces prévisions avant et pendant leurs projets.

Pour obtenir le message enregistré (72 heures), composer le (613) 992-1299.

Pour faire partie des abonnés du bulletin de prévisions à long terme ou pour pouvoir consulter les prévisions à court terme détaillées, prière de communiquer avec le chef du Service de prévisions géomagnétiques au (613) 837-3527, ou d'écrire à l'adresse suivante :

Service de prévisions géomagnétiques
Division de géophysique
1, rue de l'Observatoire
Ottawa (Ontario)
K1A 0Y9

Il est aussi possible d'obtenir les observations géomagnétiques aux stations monitrices individuelles. Cette information est parfois utile pour confirmer que des problèmes sont causés par l'activité ionosphérique élevée locale. Les procédures d'accès à cette information sont aussi disponibles à l'adresse ci-dessus.

ÉTAT DE FONCTIONNEMENT DES SATELLITES

(i) Centre d'information sur le GPS

Le Global Positioning System Information Centre (GPSIC) offre aux usagers civils du GPS NAVSTAR l'information sur l'état de fonctionnement du système et d'autres types d'information. Le GPSIC est exploité par la U.S. Coast Guard. Il reçoit les messages relatifs à l'état de fonctionnement du GPS de la U.S. Air Force qui dirige le système et diffuse largement l'information. Bien que cette information ne soit remise à jour que pendant les heures d'ouverture du GPSIC, les services de consultation sont accessibles 24 heures sur 24, sept jours par semaine.

L'information disponible comprend l'état actuel de la constellation de satellites (satellites en bon état de fonctionnement / mauvais état de fonctionnement), les pannes récentes, les pannes prévues, les données relatives à la description des orbites courantes

(données d'almanach) qui conviennent pour la prévision de la couverture par le GPS et de la visibilité des satellites et les éphémérides précises calculées par le U.S. National Geodetic Survey (NGS).

Un bref sommaire relatif à l'état de fonctionnement des satellites est disponible sur un enregistrement sonore au numéro (703) 313-5907.

On peut obtenir une information plus détaillée en consultant un panneau d'affichage électronique. Celui-ci est d'accès gratuit. L'inscription est effectuée en ligne durant la première séance. On obtient l'accès au panneau d'affichage en composant le (703) 313-5910. Les liaisons modem de 300 à 14 400 bps sont possibles. Les paramètres de transmission sont les suivants : 8 bits d'information, 1 bit d'arrêt, aucune parité

Pour tout renseignement supplémentaire sur le Centre ou sur le panneau d'affichage électronique, prière de s'adresser par écrit au Commandant, U.S. Coast Guard, Omega Navigation System Centre, 7323 Telegraph Road, Alexandria, VA 22310-3998, U.S.A. ou de téléphoner au (703) 313-5900

(ii) Panneau d'affichage électronique GPS du Naval Observatory

Exploité par le U.S. Air Force Naval Observatory à Washington (D.C.). Celui-ci offre des données d'horloge et de l'information générale sur le GPS, en particulier l'état de fonctionnement parmi la constellation des satellites, un courrier électronique, des fichiers téléchargeables et un service d'assistance à l'utilisateur.

On peut accéder à ce panneau d'affichage électronique en appelant soit au (202) 653-0155 soit au (202) 653-0068. Les paramètres de transmission sont les suivants : aucune parité, 8 bits d'information et 1 bit d'arrêt. On doit utiliser le mot de passe «CESIUM 133» pour accéder au système et continuer avec l'inscription en ligne.

Pour tout renseignement supplémentaire ou toute assistance, prière de téléphoner au (202) 653-1525 ou au (202) 653-1034.

(iii) Panneau d'affichage électronique GPS à Holloman

Exploité par la U.S. Air Force à la base aérienne de Holloman au Nouveau-Mexique. Celui-ci offre aussi de l'information sur le GPS, particulièrement l'état de fonctionnement parmi la constellation des satellites, les données d'almanach, un courrier électronique, des fichiers téléchargeables et un service d'assistance à l'utilisateur.

On peut accéder à ce panneau d'affichage électronique en téléphonant au (505) 679-1525. Le système utilise un modem «intelligent» et effectue un réglage automatique pour l'établissement du protocole. Pour tout renseignement supplémentaire ou toute assistance, prière de téléphoner au (505) 679-1657 ou (505) 679-1787.

LE SYSTÈME DE CONTROLE ACTIF

LE SYSTÈME DE CONTROLE ACTIF

La Division des levés géodésiques du Secteur des levés, de la cartographie et de la télédétection, en partenariat avec la Commission géologique du Canada, fait présentement la mise au point du prototype d'un Système de contrôle actif (SCA) pour servir la communauté grandissante d'utilisateur du GPS au Canada. Le système comprend un certain nombre de stations monitrices automatisées, appelées Points de contrôle actif (PCA), qui enregistrent de façon continue les mesures de pseudo-distances et la phase de l'onde porteuse des signaux pour les satellites GPS en vue. Les données observées à chacun des PCAs sont transmises journallement au centre de traitement à Ottawa. Le SCA devrait améliorer de façon significative l'efficacité des applications du GPS. Les quatre objectifs principaux sont: (1) de vérifier le rendement et l'intégrité du système GPS par l'analyse des données de poursuite continue; (2) de calculer des éphémérides orbitales précises pour le positionnement géodésique à partir des données provenant des PCAs canadiens et de quelques stations monitrices internationales; (3) de fournir des stations d'appui pour les usagers du GPS ainsi que des sites d'étalonnage; (4) d'évaluer et distribuer les corrections pour le GPS différentiel.

Des PCAs sont présentement établis à Yellowknife (T. du N.-O.), au Parc Algonquin (Ont.), à Saint-Jean (T.-N.), à Penticton et à Victoria (C.-B.). Chacun des PCAs est doté d'un récepteur de précision à double fréquence et d'une horloge atomique. Des observations météorologiques comprenant la température, la pression atmosphérique et l'humidité relative, sont aussi enregistrées à certains sites. La validation des données et le calcul de la position ponctuelle effectués individuellement pour chacun des PCAs fournissent une mesure du rendement du système GPS et du niveau de la "disponibilité sélective" (Héroux et Caissy, 1992).

Les éphémérides orbitales précises, générées à partir des données GPS du SCA, offrent aux usagers canadiens effectuant des levés géodésiques des avantages importants. En utilisant cette information les erreurs dues à l'imprécision orbitale dans la détermination des vecteurs de position sont réduites à environ 0,1 p.p.m.. Ces erreurs peuvent atteindre un niveau de 5 p.p.m. quand les éphémérides radiodiffusées sujettes à la disponibilité sélective sont utilisées. L'utilisation des éphémérides précises provenant du SCA permet un traitement plus efficace des données GPS, optimisant la détection et la correction des sauts de cycle ainsi que la résolution des ambiguïtés de phase. Puisque l'utilisation d'orbites précises limite les erreurs systématiques d'échelle et d'orientation, le nombre de points d'appui requis pour l'intégration dans le système NAD 83 peut aussi être réduit, optimisant ainsi les opérations sur le terrain et le traitement des données. Étant donné que les PCAs sont positionnés avec précision relativement au réseau de base existant, l'utilisation d'un seul récepteur GPS combiné aux données provenant du SCA permettent l'établissement immédiat de coordonnées dans le système NAD 83. Comme discuté dans les Directives et spécifications concernant les levés avec le système de positionnement global, les objectifs, la précision désirée et les besoins locaux quant l'intégration dans le système NAD 83 détermineront pour un projet de levés GPS spécifiques quels rattachements supplémentaires à des points d'appui planimétrique ou altimétrique seront nécessaires.

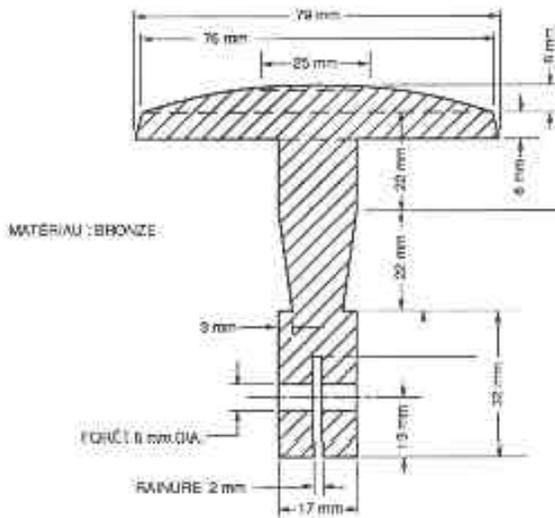
Le SCA dessert présentement les usagers canadiens du GPS en fournissant l'information sur l'intégrité du système et en mettant à leur disposition les données enregistrées aux PCAs de façon continue. Les éphémérides précises, en plus d'optimiser la productivité et l'efficacité des opérations de levés sur le terrain, va permettre d'atteindre une plus grande précision de positionnement. L'impact qu'aura le concept d'un système de contrôle actif pour un grande variété d'applications sera clairement démontré suite au complètement de la constellation GPS prévue en 1993.

Référence

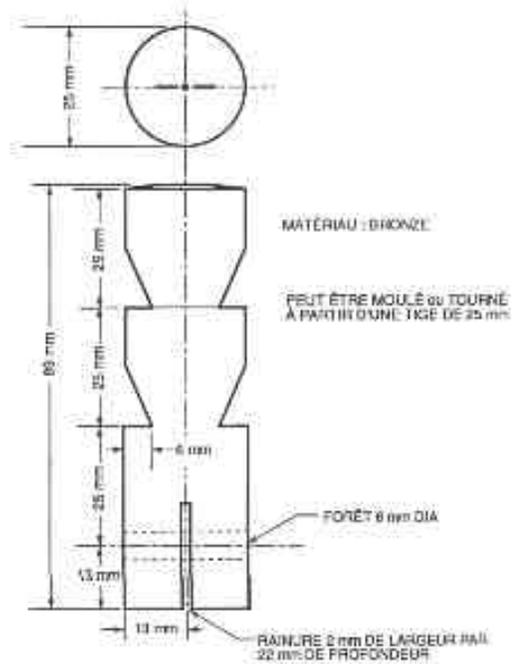
Héroux, P. et M. Caissy (1992). " Canada's Active Control System Data Acquisition and Validation" Présenté à la quatre-vingt-cinquième réunion annuelle de l'Association canadienne des sciences géodésiques et cartographiques, Whitehorse, Yukon, 23-26 juin.

REPÈRES GÉODÉSIQUES

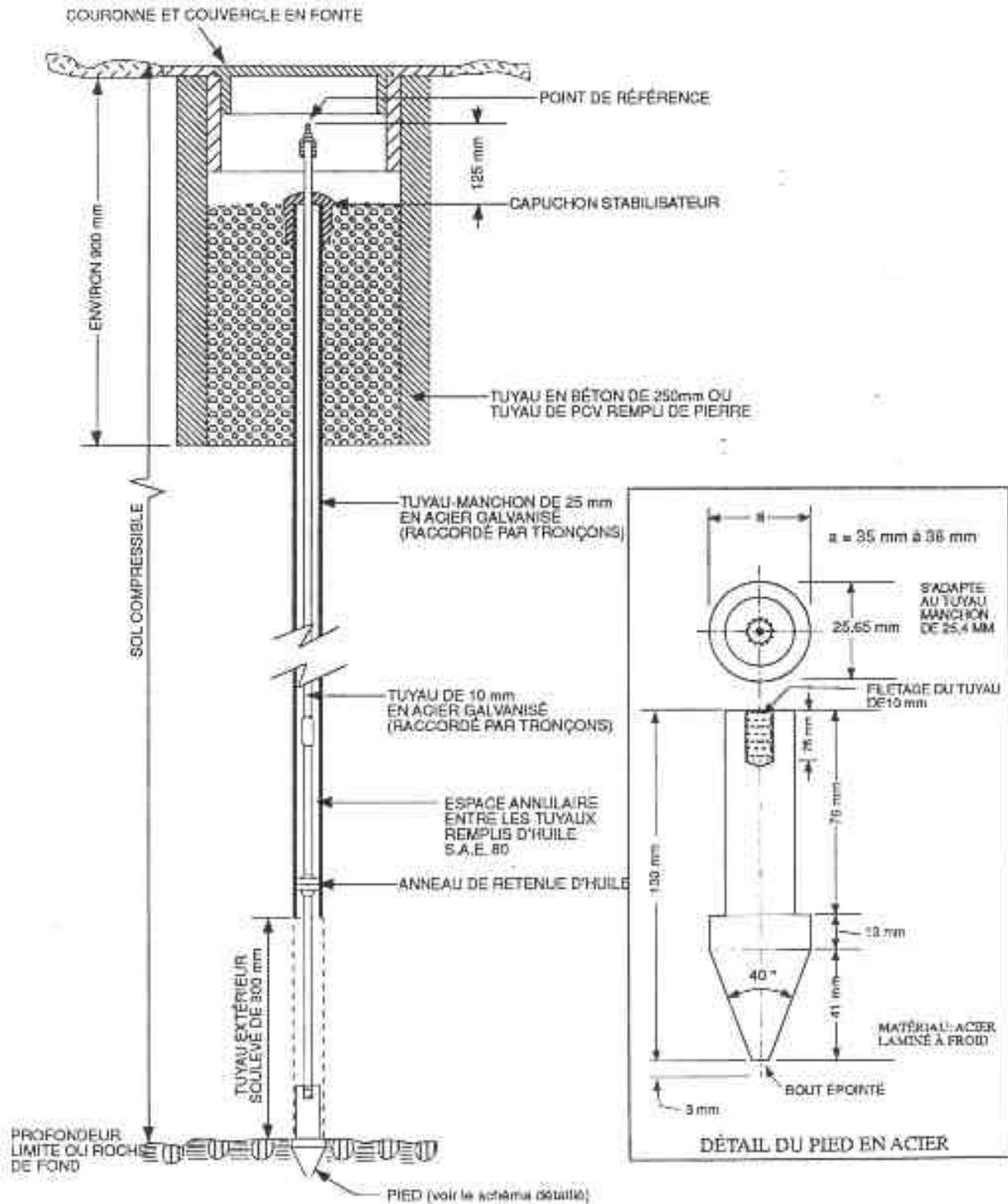
- C.1 Repère médaillon et repère boulon
- C.2 Repère en profondeur du CNRC
- C.3 Repère géodésique 3-D
- C.4 Repère tuyau avec hélice
- C.5 Repère à pieu



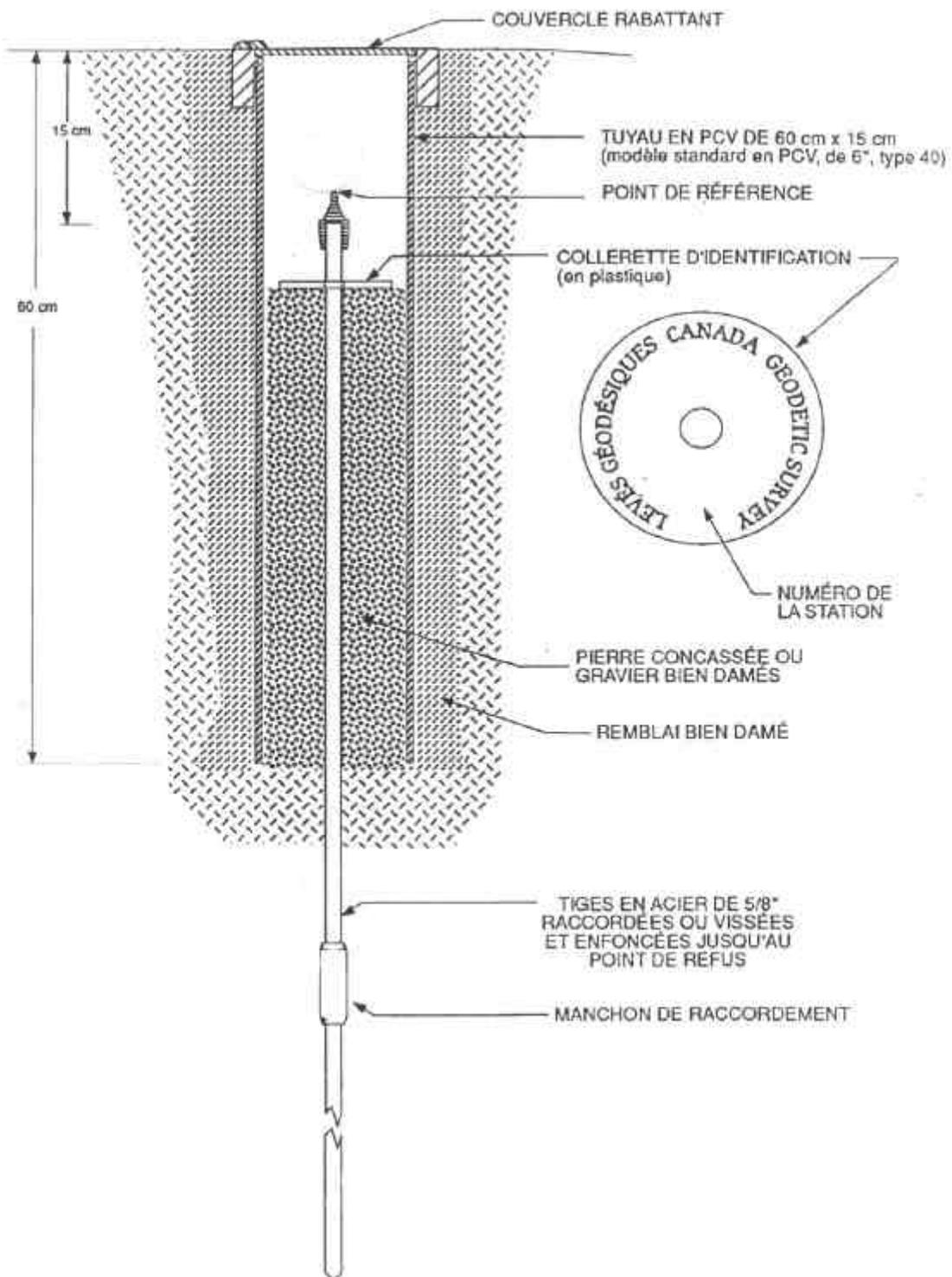
Repère médaillon



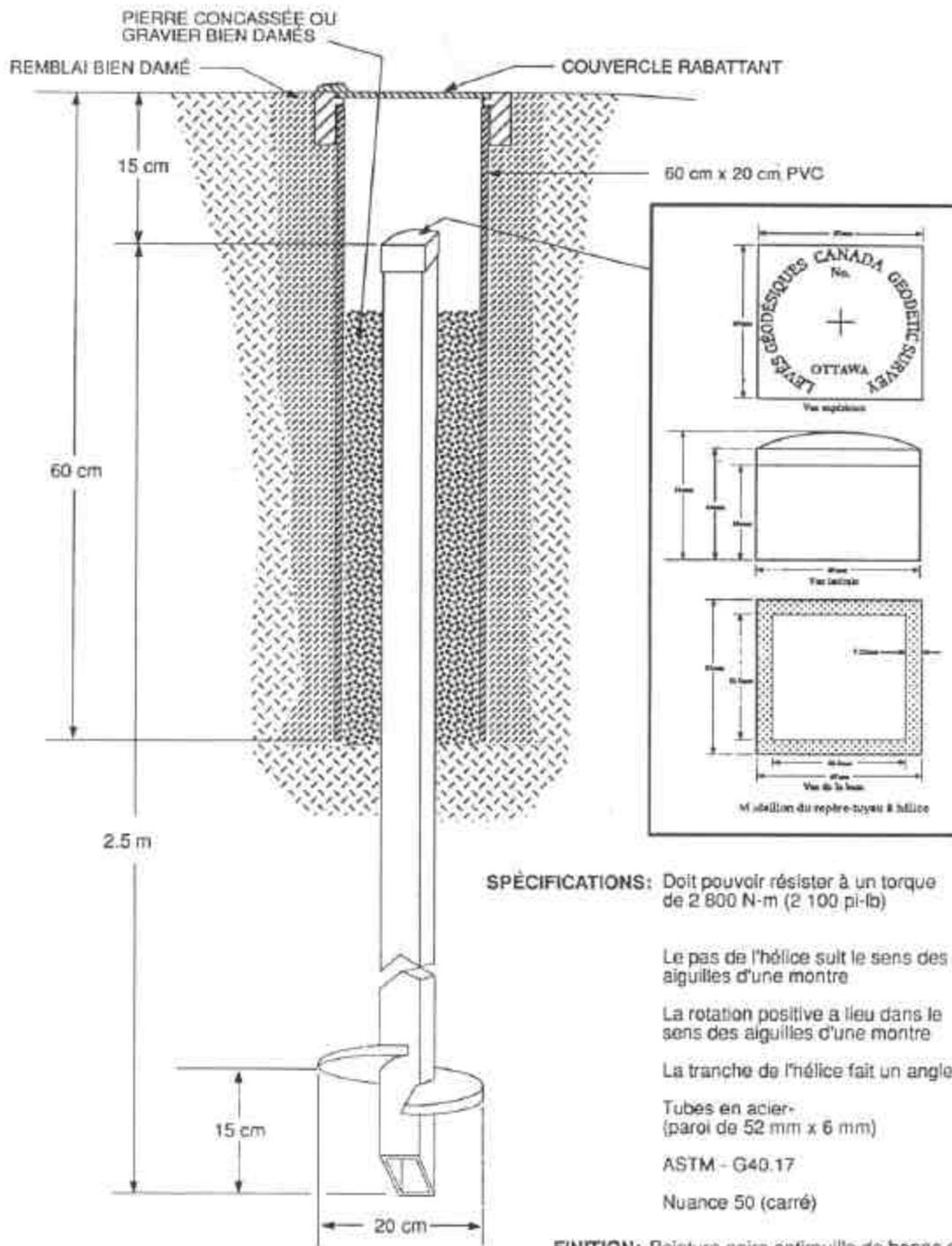
Repère boulon



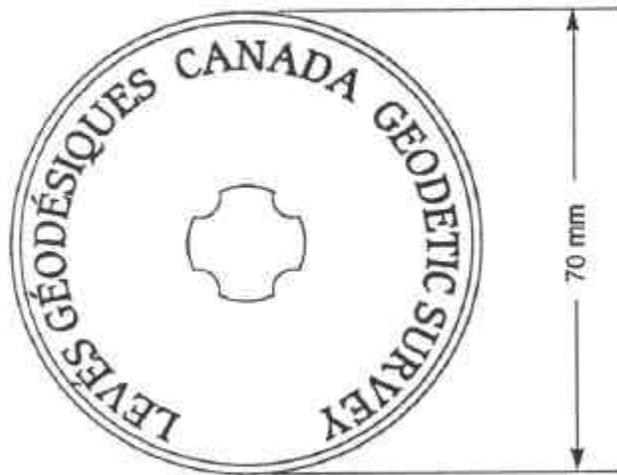
Repère en profondeur du CNRC



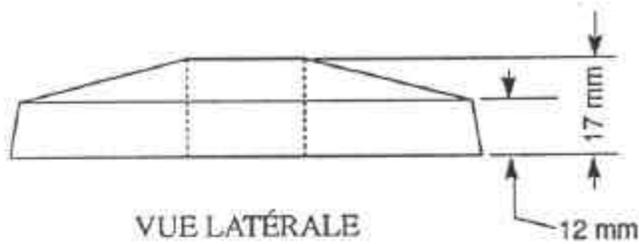
Repère 3-D 1990



Repère-tuyau à hélice



VUE SUPÉRIEURE

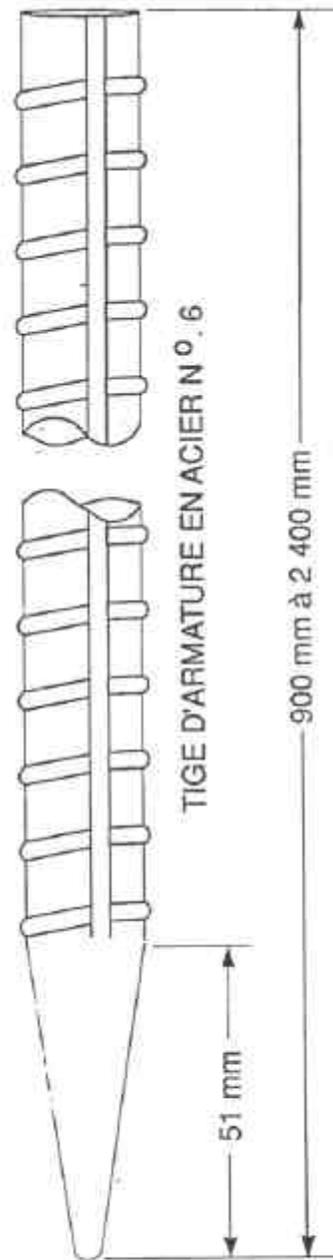


VUE LATÉRALE

Médaillon en fonte d'aluminium

Utiliser avec une tige d'armature en acier non filetée n° 6.

Le sommet de la tige doit être poinçonné après son installation



Repère à pieu

ÉCHANTILLON DE FICHES DE CARNET DE TERRAIN

CARNET D'OBSERVATIONS GPS

Page 1 de _

Projet _____ No du projet _____

Récepteur: Modèle/No _____	Station _____
Version du logiciel _____	Numéro _____
Collecteur: Modèle/No _____	Code d'ident. _____
Antenne: Modèle/No _____	Date _____
Longueur de câble _____	Séance d'obs. _____
Base de l'antenne prolongée Oui () Non ()	Opérateur _____

Collecte des données	Position du récepteur
Taux d'enregistrement _____	Latitude _____
Début: Jour/Heure _____	Longitude _____
Fin: Jour/Heure _____	Altitude ellips. _____

Obstruction(s) ou source(s) possible(s) d'interférence _____

Conditions météorologiques générales _____

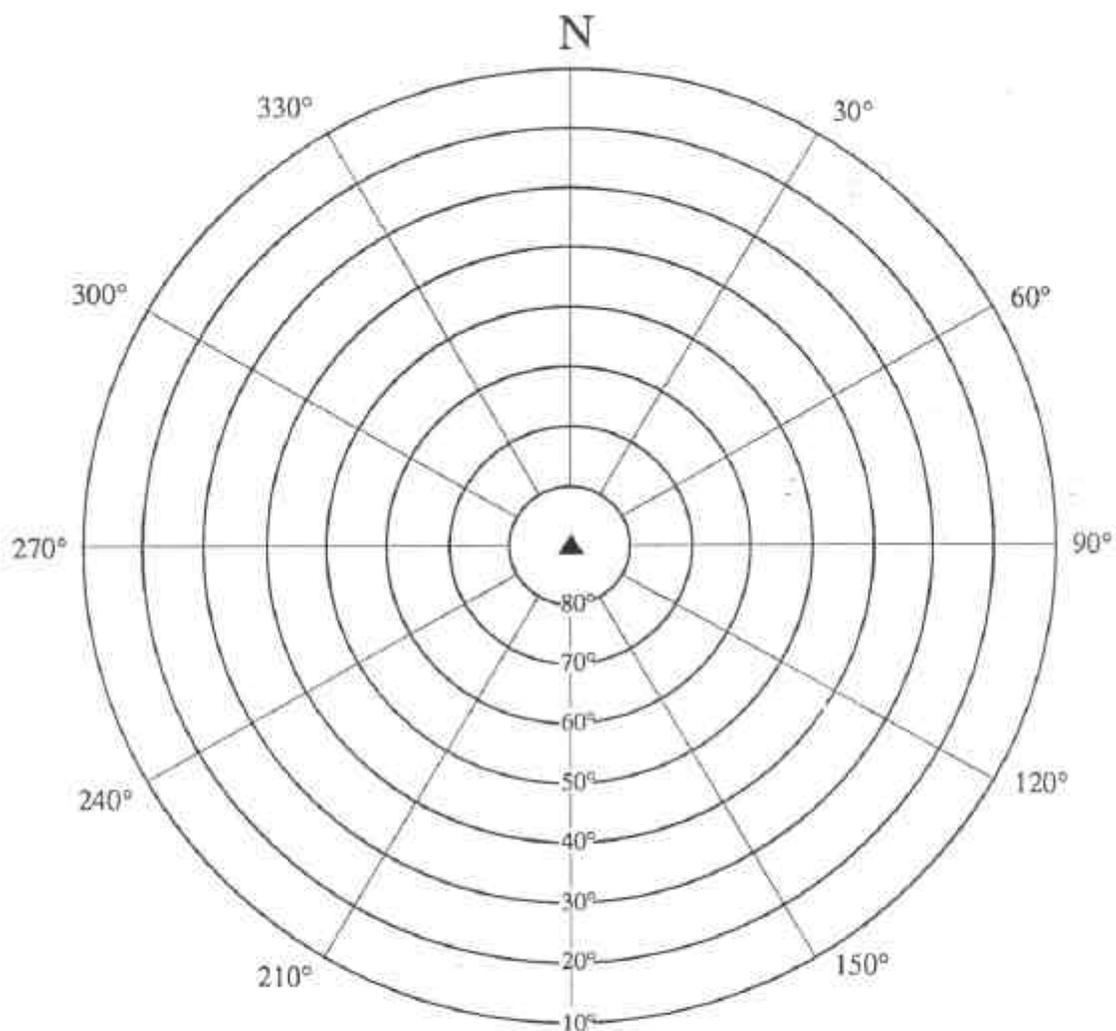
Observations météorologiques détaillées prises en note Oui () Non ()

Mesure de la hauteur de l'antenne

Montrez les mesures effectuées pour calculer la hauteur d'antenne. Si des mesures inclinées sont prises, elles doivent être prises sur deux cotés opposés de l'antenne. Prenez les mesures avant et après la séance d'observation.

Mesures verticales ()	
Mesures inclinées () : rayon _____ m	
AVANT	APRÈS
_____ m _____ po.	_____ m _____ po.
_____ m _____ po.	_____ m _____ po.
Moyenne _____ m	
Ramenée à la verticale si mesures inclinées _____ m	
Décalage vertical du centre de phase _____ m	
Autre décalage (montrez sur le croquis) _____ m	
HAUTEUR FINALE _____ m	
Vérfié par: _____	

STATION GPS SCHÉMA D'OBSTRUCTIONS



Indiquez les obstructions
et leur élévation vues du
repère marquant la station.

Indiquez la distance à toutes structures
métalliques ou surfaces réfléchissantes.

Déclinaison magnétique _____

On a tenu compte de la déclinaison dans ce schéma Oui ()
Non ()

Hauteur au-dessus du repère
à laquelle l'horizon est décrit: _____

Station _____	Date _____
Numéro _____	Opérateur _____

