

INSTALLATION ET EXPLOITATION DE STATION DE RÉFÉRENCE GNSS

MEILLEURES PRATIQUES

Sources	2
Préface	2
1.0 Introduction	2
2.0 Terminologie	3
3.0 Installation	4
3.1 Emplacement du site	4
3.2 Visibilité des satellites	5
3.3 Environnement de radiofréquences	5
3.4 Support d'antenne	6
3.5 Bornes au sol	7
3.5.1 Piliers	7
3.5.2 Bornes haubanées	8
3.6 Bornes sur le toit	9
3.6.1 Support structural	9
3.6.2 Fixation à la structure	10
4.0 Exploitation	12
4.1 Antenne	12
4.2 Récepteurs	13
4.3 Alimentation électrique et calculs	14
4.4 Communication et accès aux données	14
4.5 Contrôle de qualité	15
Observations finales	16
Références	16
Annexe 1 : Conventions d'affectation des noms de dossiers et de fichiers	17
Annexe 2 : Données sur la profondeur du gel	20

Sources

Les lignes directrices qui suivent en matière de meilleures pratiques sont fondées sur un document rédigé à l'origine par Service Nouvelle-Écosse dans ses efforts de modernisation du *Nova Scotia Coordinate Reference System*. Les données de conception des bornes sont inspirées du document *Guidelines for New and Existing Continuously Operating Reference Stations (CORS)*, NGS, NOS, NOAA, Silver Spring, MD 20910, février 2006 (http://geodesy.noaa.gov/CORS/Establish_Operate_CORS.shtml) [en anglais seulement].

Les Levés géodésiques du Canada (LGC) seraient heureux de recevoir des commentaires sur le contenu du présent document. Prière de les adresser à :

Levés géodésiques du Canada
Ressources naturelles Canada
Ottawa (Ontario)
Canada

Courriel : geodeticinformation-informationgeodesique@nrcan-rncan.gc.ca

Préface

Au Canada, la responsabilité de fournir les coordonnées des points de contrôle géodésiques ainsi que les normes et les produits d'accès à une infrastructure géospatiale nationale cohérente a traditionnellement incombé à des organismes du secteur public. Grâce à la technologie GNSS, les utilisateurs comptent aujourd'hui largement sur les données acquises et diffusées directement des stations de poursuite GNSS – appelées stations de contrôle actif (SCA) ou références cinématiques en temps réel (RTK). Pour que ce mode de fonctionnement ne gêne pas l'accès libre et fiable à un cadre de référence géodésique cohérent, il est essentiel d'adopter des meilleures pratiques dans l'installation et l'exploitation des stations.

La densification et l'expansion de la composante « active » de notre infrastructure de positionnement nationale exigent que nous adoptions une stratégie d'intégration des coordonnées des stations de référence dans le Système canadien de référence spatiale (SCRS) afin d'assurer l'uniformité de la matrice géodésique. Les présentes lignes directrices à l'intention des opérateurs de station de référence favoriseront la sélection d'emplacements convenables et le déploiement de matériel GNSS approprié pour remplir les exigences de performance de la plupart des utilisateurs. Plus particulièrement, elles contribueront à protéger les intérêts des arpenteurs professionnels, qui comptent sur ces stations et qui constituent le point d'entrée des processus d'administration des terres au Canada.

1.0 Introduction

Depuis le début du XX^e siècle, les Levés géodésiques du Canada (LGC) ont pour mandat de fournir un système de coordonnées de référence (SCR) national. Le NAD83 (SCRS) en version 2010 est présentement le SCR le plus moderne pour le Canada. Un SCR est généralement matérialisé par un réseau intégré de bornes géodésiques de contrôle, observées à intervalles réguliers (mode passif) ou en continu (mode actif) et dont les coordonnées sont mises à la disposition des utilisateurs au moyen de données et de produits. Aujourd'hui, les coordonnées précises des centres de phase d'antennes des satellites GNSS ou des stations de référence font aussi partie de notre SCR national, bien que ces éléments ne soient pas des objets matériels ancrés dans la croûte terrestre comme le sont les repères de contrôle de levés classiques.

LGC est chargé de la réalisation nationale du NAD83 (SCRS), mais ce sont les organismes provinciaux qui

ont compétence pour la version du NAD83 adoptée sur leur territoire. Aujourd'hui, cette situation a conduit à l'adoption de deux versions distinctes du NAD83 au Canada, celles de 1997 et de 2002. Ces différences de version entraînent des écarts de coordonnées représentant quelques centimètres le long de certaines frontières provinciales. Le SCR provincial constitue généralement le fondement de toutes les données géographiques. À haut niveau, un SCR uniforme permet d'améliorer la gestion des biens et le déploiement des infrastructures. Il incombe à chaque province de représenter les intérêts de sa population en assurant en permanence l'accès précis et étendu au SCR provincial.

La diffusion des données GNSS des SCA ou des stations (ou réseaux) RTK fonctionnant en permanence est devenue un moyen populaire de donner accès à des systèmes précis de coordonnées de référence géodésique. Les Canadiens cherchant à profiter de cette technologie, il est important d'encourager l'utilisation de meilleures pratiques dans l'installation et l'exploitation de SCA/stations RTK et d'en surveiller la stabilité. Le présent document est rédigé à cette fin. Il vise aussi à servir de complément au document intitulé [Lignes directrices concernant les levés GNSS en mode RTK/RTN au Canada](#), accessible auprès de Ressources naturelles Canada. En définissant clairement les meilleures pratiques à l'intention des opérateurs de stations de référence GNSS et des utilisateurs, les résultats obtenus seront vraisemblablement plus cohérents.

Ces lignes directrices exposent les meilleures pratiques touchant divers éléments du fonctionnement des stations RTK, qui s'attaquent aux problèmes suivants :

- a) emplacement de borne, stabilité d'antenne et visibilité de satellite;
- b) caractéristiques techniques et déploiement du matériel GNSS;
- c) normes sur les communications et les données et métadonnées.

Ces lignes directrices visent à faciliter l'intégration des références RTK dans le réseau du système canadien de contrôle actif (SCCA) et à favoriser l'utilisation des coordonnées NAD83 (SCRS) intégrées par les fournisseurs de services GNSS NRTK.

2.0 Terminologie

Étant donné que les lignes directrices ont pour but d'encourager les fournisseurs de données RTK à appliquer des meilleures pratiques, la terminologie employée dans le document devrait refléter les recommandations qui y sont faites. L'adhésion aux pratiques recommandées devrait permettre l'apport de corrections GNSS assurant le positionnement centimétrique (1 sigma dans chaque élément), traçable au NAD83 (SCRS).

La terminologie suivante a été adoptée dans ce document :

- **Borne** : structure (p. ex., pilier, bâtiment, etc.), y compris le support, qui retient l'antenne GNSS à la surface de la Terre.
- **Centre de phase d'antenne (CPA)** : point électrique, à l'intérieur ou à l'extérieur d'une antenne, où le signal GNSS est mesuré. La réalisation du centre de phase est déterminée par l'ensemble des corrections des variations de centre de phase (VCP) d'antenne nécessaires à la prise en compte de la réponse électrique non idéale en fonction des angles d'élévation et d'azimut.
- **Excentricité d'antenne** : distances verticale et horizontale entre le repère et le PRA.
- **Opérateur de site** : personne chargée d'exploiter un site SCA.

- **Point de référence d'antenne (PRA)** : point sur la partie extérieure de l'antenne où la hauteur d'antenne est mesurée.
- **Registre de site** : fichier texte ASCII contenant toutes les données historiques à propos d'un site et la description détaillée du matériel et de la borne utilisée.
- **Repère** : point unique et permanent de la borne où le point de référence d'antenne est mesuré. Ce repère devrait demeurer invariable par rapport à la borne.
- **Station de contrôle actif** : matériel GNSS installé en permanence sur un repère de référence de coordonnées destiné à la distribution de corrections de positionnement GNSS différentiel.
- **Support** : dispositif utilisé pour fixer l'antenne à la borne.

3.0 Installation

Aucune installation de site de référence n'est parfaite. Il existe toutefois des conceptions connues pour entraîner (ou vraisemblablement entraîner) la dégradation de la qualité des données, et qui devraient être évitées. Les lignes directrices exposées dans les sous-sections qui suivent contribuent à faire en sorte que le déploiement du matériel GNSS dans un site de référence fournisse des données de haute qualité. En règle générale, les facteurs suivants devraient être pris en compte, par ordre d'importance, dans le choix du meilleur emplacement d'une borne de SCA :

1. emplacement du site;
2. visibilité des satellites;
3. facteurs de dégradation des données;
4. sécurité du matériel;
5. proximité d'alimentation électrique et de moyens de communication.

3.1 Emplacement du site

L'emplacement du site devrait être choisi de manière à maximiser la stabilité du point de référence d'antenne GNSS (conservation d'une position fixe dans les trois dimensions) et à réduire au minimum la mesure des effets proches de la surface. La partie la plus élevée du sol est celle qui est soumise aux plus grands mouvements (p. ex., expansion et contraction du sol en raison des variations de saturation en eau, du soulèvement par le gel et de la dégradation minérale). Généralement, l'augmentation de la profondeur de la borne en accroît la stabilité. Il est essentiel de veiller à ce que l'antenne soit bien ancrée au sol par l'intermédiaire de la borne, de façon à ce que la position et la vitesse associées à un site donné représentent la position et la vitesse crustales du site, et non seulement celles de l'antenne. On trouvera des explications détaillées sur la stabilité des points géodésiques et les bornes dans DLG (1978), NOAA (1978) et USACE (2012).

Les sites SCA devraient être conçus pour réduire au minimum l'incidence des éléments suivants :

- cavernes, dolines et mines;
- zones de pompage actif de liquide ou de gaz;
- soulèvement par le gel, retrait et gonflement du sol et des roches;

- expansion et contraction du sol;
- instabilité de pente;
- stabilisation du sol;
- mouvements intrinsèques de la borne, p. ex, dilatation et contraction thermiques.

En cas de conditions géologiques et du sol douteuses, il convient de prendre un scénario conservateur, du « pire cas ».

3.2 Visibilité des satellites

Il convient de choisir une zone ouverte comportant un minimum d'obstructions et dont les alentours de la borne sont le moins susceptibles de changer avec le temps. Éviter les sites où pourront ultérieurement croître des arbres ou arbustes, être construits des bâtiments, être ajoutés des éléments sur les toits, où il y aura de nouveaux mâts d'antennes, des antennes paraboliques, des stationnements, des clôtures à mailles losangées, etc. Éviter aussi la proximité (dans les 30 m) avec des réflecteurs tels que des véhicules, des murs métalliques ou des panneaux métalliques, qui peuvent provoquer les trajets multiples de signaux.

Les obstructions devraient être maintenues sous 10 degrés au-dessus de l'horizon à partir du PRA et leur nombre devrait être minime entre 0 et 10 degrés (voir figure 1). Plus le volume d'espace au travers duquel les signaux peuvent atteindre l'antenne sans être interrompus/réfléchis est grand, plus la probabilité d'obtenir une évaluation solide de la position est élevée. Il ne devrait pas y avoir de paratonnerres, d'antennes de radiodiffusion ou autres objets au-dessus de l'antenne ni à moins de 3 m de l'antenne, et ceux-ci devraient se trouver sous 0 degré de la surface horizontale sur laquelle se trouve le PRA.

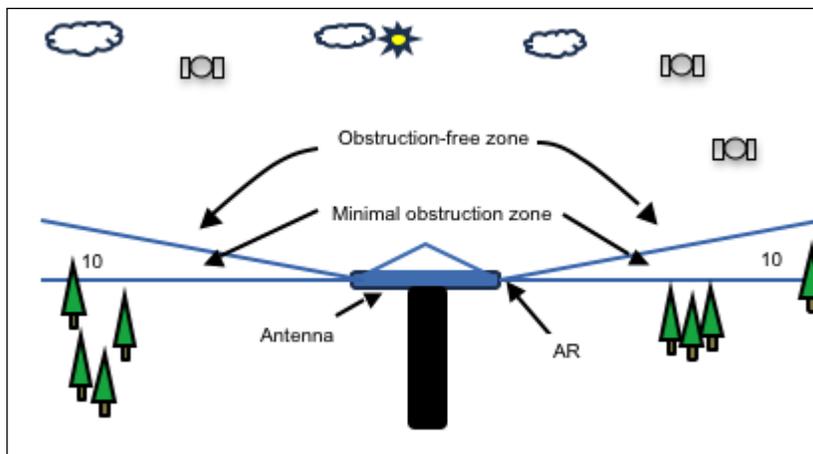


Figure 1 : Zone dégagée autour de l'antenne

3.3 Environnement de radiofréquences

Les signaux parvenant à l'antenne de SCA et au récepteur peuvent être brouillés par d'autres sources de radiofréquences (p. ex., téléviseurs, fours micro-ondes, stations de radio FM, téléphones cellulaires, répéteurs VHF et UHF, radars, lignes haute tension). Ces éléments peuvent accroître le bruit électrique, entraîner une perte intermittente ou partielle du verrouillage ou même rendre des sites inopérants. Il faut éviter la proximité

avec ces types d'appareils dans toute la mesure du possible. Le cas échéant, la présence de ce type de matériel devrait être documentée dans le registre du site.

3.4 Support d'antenne

Il **devrait** y avoir un dispositif entre la borne et l'antenne, de manière à ce que :

- a) l'antenne puisse être mise de niveau et orientée vers le nord; et
- b) lorsque l'antenne est remplacée, le nouveau PRA puisse être situé exactement à la même position dans l'espace tridimensionnel que le PRA précédent ou que le changement de position entre le repère et le PRA soit mesuré à ± 1 mm.

Si l'antenne est simplement fixée à une tige filetée, la nouvelle antenne peut ne pas être placée dans la même position dans l'espace ou peut avoir une orientation différente (ce dernier fait n'est négligeable que si le modèle de variation de centre de phase est parfaitement symétrique). Les deux situations nécessiteraient le calcul d'une nouvelle position, ce qui n'est pas souhaitable. L'antenne devrait être de niveau à 0,15 degré ou 2,5 mm/m près (il est facile de remplir cette condition au moyen d'un niveau à bulle de qualité, qu'on peut se procurer dans la plupart des quincailleries). Les embases à vis calantes sont interdites, car elles n'ont pas de mécanisme permettant de verrouiller les molettes réglables en place. Il existe un certain nombre de dispositifs pouvant le faire (voir figure 2). Par exemple :



Figure 2 : Support d'antenne

www.ngs.noaa.gov/CORS/Articles/modifying_a_tribrach_adaptor.pdf (en anglais seulement)

[Support d'antenne GNSS](#) (en anglais seulement)

L'antenne devrait être orientée vers le nord vrai au moyen de la convention d'alignement du point de fixation du câble d'antenne, sauf si le point nord inscrit pour l'antenne est différent. Il ne faut pas oublier que la déclinaison est l'angle formé par le nord magnétique et le nord géographique (vrai). Un calculateur de déclinaison magnétique permettant de régler un compas avec exactitude est accessible à l'adresse : <https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/calculators/magcalc.shtml> (en anglais seulement). La déclinaison devrait être inscrite dans le fichier journal (voir section 4.4, Registre de site). Tous les diagrammes de centre de phase d'antenne tiennent compte d'une antenne orientée et les valeurs de centre de phase peuvent différer d'une valeur pouvant atteindre 1 cm entre le nord et l'est.

Le câble d'antenne ne devrait pas être tendu. Le meilleur moyen d'éviter ce problème est de faire une boucle

dans la première partie du câble adjacente à l'antenne et de la fixer au support. Si le câble ne court pas dans un conduit, il faut prendre soin qu'il ne s'abîme pas en bougeant. Porter une attention particulière aux points où le câble est soumis à un frottement accru, p. ex., les arêtes et les points de sortie. L'affaiblissement de signal des câbles d'antenne GNSS type pour SCA (RG213/RG214) est de 9 dB/100pi (30 m) à 1 GHz. L'affaiblissement total pour une longueur de câble installée à une SCA ne devrait pas dépasser 9 dB, c.-à-d. que la longueur maximale est de 100 pi (30 m). Si un câble plus long est nécessaire, il faut utiliser un câble entraînant un affaiblissement de signal inférieur (le type, le fabricant et la longueur du câble devraient être indiqués dans le registre du site, voir section 4.4).

Le câble d'antenne devrait être raccordé directement au récepteur et à l'antenne ou au coupleur d'antenne. Aucun connecteur ne devrait être inséré pour convertir le type de connecteur (p. ex. TNC à N). Après raccordement du câble d'antenne et de l'antenne, le point de jonction devrait être scellé au moyen d'un matériau étanche (p. ex., un ruban de caoutchouc butyle). Les opérateurs de site devraient placer un parafoudre sur le câble d'antenne entre l'antenne et le récepteur, raccordé à sa propre mise à la terre, distincte. Le parafoudre devrait être situé à l'extérieur du bâtiment au point ou près du point de sortie du câble du bâtiment. Le récepteur sera ainsi protégé en cas d'impact de la foudre sur l'antenne ou à proximité. Il peut être utile de consulter l'URL suivante, qui indique clairement l'affaiblissement de signal potentiel entraîné par un parafoudre mal choisi :

<http://kb.unavco.org/article.php?id=462> (en anglais seulement).

Si l'antenne ne se trouve pas dans un emplacement protégé, un mécanisme de sécurité devrait être prévu pour réduire au minimum le risque que l'antenne soit enlevée. Schmidt *et coll.* (2000) présentent un exemple de dispositif de sécurité.

3.5 Bornes au sol

3.5.1 Piliers

Les bornes au sol du type pilier respectent les lignes directrices suivantes :

- i. Avoir une hauteur d'environ 1,5 m au-dessus du sol pour reproduire la géométrie utilisée dans les installations d'étalonnage de centre de phase d'antenne du *National Geodetic Survey* (NGS) des États-Unis. En cas d'obstructions, il peut être nécessaire de prévoir une borne plus élevée.
- ii. Comporter une fondation profonde (p. ex., béton ou substrat rocheux), atteignant au moins 4 m sous la profondeur de gel (voir annexe 2) et/ou le centre de gravité du pilier devrait se trouver sous la profondeur de gel.
- iii. Le sommet du pilier est plus étroit que la partie la plus large de l'antenne et, de préférence, de la plus petite surface possible. Dans la fabrication du pilier, tenir compte du fait que l'encombrement des antennes ultérieures sera peut-être réduit; c'est pourquoi le sommet le plus étroit est le meilleur. La distance entre le sommet du pilier (s'il a une surface) et l'antenne devrait être d'au moins 5 cm ou supérieure à une longueur d'onde GNSS (~20 cm). Cette distance laisse suffisamment d'espace pour manœuvrer un dispositif de mise de niveau et d'orientation. Ces recommandations s'appliquent au sommet du pilier uniquement. Un pilier de très faible diamètre ou largeur serait instable et n'est pas recommandé. Toutefois, les piliers coniques sont bons. Le respect de ces consignes permet de

réduire les problèmes de trajets multiples. Le pilier en acier représenté dans Schmidt *et coll.* (2000) est recommandé (voir figure 3).

La figure 4 représente une borne de style pilier en béton.

3.5.2 Bornes haubanées

Les bornes haubanées (voir figure 5) sont particulièrement stables et bien ancrées au sol, mais coûtent plus cher que les piliers. UNAVCO donne accès à des schémas exhaustifs contenant les détails de tous les aspects des constructions, aux adresses suivantes :

<https://kb.unavco.org/article/unavco-resources-gnss-station-monumentation-104.html> (en anglais seulement)

<https://kb.unavco.org/category/gnss-and-related-equipment/monumentation/deep-drilled-braced/109/> (en anglais seulement)



Figure 3 : Socle GPS (Schmidt et coll., 2000)



Figure 4 : Pilier en béton au sol



Figure 5 : Pilier haubané (UNAVCO, 2012)

3.6 Bornes sur le toit

3.6.1 Support structural

Les bâtiments en maçonnerie ou en acier de structure ancrés sur des fondations en béton sont permis. Les bâtiments solides en briques ou en béton renforcé sont recommandés. Le bâtiment devrait être construit depuis au moins 5 ans, pour augmenter les possibilités que les tassements primaires du bâtiment aient eu lieu. Il ne devrait pas y avoir de fissures visibles sur les murs extérieurs ou intérieurs. Pour réduire au minimum les effets de la dilatation thermique et les problèmes de trajets multiples, les bâtiments aux caractéristiques suivantes ne sont pas recommandés :

- i. bâtiments de plus de deux étages;
- ii. bâtiments en bois;
- iii. bâtiments à charpente métallique à murs ou à toit métallique.

3.6.2 Fixation à la structure

Voici les lignes directrices à suivre pour le positionnement et la fixation de la borne de SCA au bâtiment.

- i. L'acier inoxydable ou galvanisé est recommandé pour la longévité (cornière ou tuyau circulaire). L'aluminium n'est pas recommandé, car il présente une dilatation thermique deux fois supérieure à celle de l'acier et du béton.
- ii. Le support d'antenne devrait être boulonné directement sur la partie principale du bâtiment; la position recommandée est sur un mur porteur, près d'un coin.
- iii. L'emploi d'époxyde et de pièces de fixation (boulons/ancrages/tiges) à enduits freins pour filet est fortement recommandé.
- iv. La fixation à une cheminée n'est pas recommandée, sauf si cette dernière a été remplie de béton ou est particulièrement robuste.
- v. Le support ne devrait pas empiéter sur un toit remplaçable de bâtiment. La probabilité de perturbation du support au moment du remplacement du toit est alors réduite au minimum.
- vi. Fixation latérale à un mur porteur :
 - a. Le support devrait dépasser la ligne de toit d'environ 0,5 m et être fixé au bâtiment sur une longueur d'au moins 1 m au moyen d'au moins 2 ancrages/boulons (3 ou plus de préférence). Le rapport de la partie libre sur la partie boulonnée devrait être de 1:2 ou mieux.
 - b. Les boulons ou ancrages devraient traverser directement le support (pas de boulons en U ou de pièces de fixation unistrut avec attaches ou colliers métalliques). Les entretoises destinées à empêcher le support d'être appuyé contre le mur sont acceptables.
- vii. Fixation verticale à un mur principal :
 - a. Un boulon ou une tige devrait être ancré dans un mur porteur.
 - b. Prendre garde d'invalider la garantie du toit.
 - c. Sur un parapet, éviter les solins métalliques.
- viii. L'esthétique de l'ensemble devrait être vérifiée avant de quitter un site, particulièrement si on loue l'espace du matériel. Les mâts d'antenne devraient s'harmoniser aux couleurs du bâtiment. Il convient d'éviter les couleurs foncées pour réduire les effets de la chaleur. La peinture contribue aussi à réduire la corrosion de certains matériaux.

La figure 6 représente la fixation d'un mât d'antenne à un mur porteur au moyen de boulons traversants (voir figure 7)

Même s'il porte un revêtement métallique, le bâtiment de la figure 8 a un mur intérieur en béton. Le mât d'antenne est fixé au mur de béton intérieur au moyen de boulons traversants (voir figure 9).



Figure 6 : Mât d'antenne fixé à un mur porteur à l'aide de boulons pour la fixation



Figure 7 : Boulons traversants pour la fixation du mât d'antenne



Figure 8 : Installation sur un revêtement métallique et dans un mur intérieur en béton



Figure 9 : Boulons traversants dans le béton

Certains emplacements, comme celui qui est présenté à la figure 10, exigent de l'ingéniosité. En raison des

obstructions voisines, le meilleur choix d'emplacement de l'antenne était le sommet de la flèche. L'antenne est fixée directement à l'acier de structure.



Figure 10: Installation sur flèche

Installation sur flèche où l'antenne est directement fixée à la structure d'acier afin d'éliminer les obstructions proximales.

4.0 Exploitation

L'exploitation continue et fiable d'un site de référence GPS nécessite que tout le matériel déployé réponde aux spécifications et qu'il soit bien configuré. En règle générale, les caractéristiques des éléments de station de poursuite GNSS suivants sont spécifiées de manière à garantir la satisfaction des besoins de l'utilisateur sur le plan de la disponibilité du service RTK et de la précision du positionnement :

1. antenne;
2. récepteur;
3. alimentation électrique et calculs;
4. communication et archivage;
5. contrôle de la qualité;
6. proximité de l'alimentation électrique et des moyens de communication.

Il est fortement recommandé de mettre le matériel à niveau et/ou de le remplacer au rythme des progrès de la technologie (p. ex., ajout de nouveaux signaux GNSS). Il importe toutefois de réduire au minimum les changements d'équipement, car ils risquent de modifier la position du repère.

4.1 Antenne

Il est essentiel d'avoir un centre de phase et un PRA uniformes pour l'antenne, pour faire correspondre les

mesures GNSS au repère de référence situé sur la borne. Ne pas tenir compte des variations de centre de phase peut entraîner des erreurs de plusieurs centimètres. Toute l'analyse des données GNSS devrait être exécutée au moyen d'un modèle de centre de phase validé par le NGS, intégré aux calculs des coordonnées de position officielles pour un site de SCA. Les antennes devraient être inspectées au moins une fois par année pour vérifier l'absence de dommages.

L'antenne de SCA utilisée devrait :

- i. être de qualité géodésique, de préférence du type « Choke-Ring »;
- ii. suivre les signaux GPS L1/L2 et GLONASS L1/L2;
- iii. avoir une plage de températures de fonctionnement de -40 °C à +55 °C;
- iv. être étanche;
- v. permettre d'atténuer les effets de l'accumulation de neige sans incidence négative sur le centre de phase d'antenne;
- vi. avoir un modèle de centre de phase étalonné du NGS. Si un radôme est installé, un étalonnage spécial de la paire antenne et radôme devrait être exécuté pour le modèle de centre de phase d'antenne;
- vii. comporter un coupleur de signal amplifié entraînant une distorsion minimale des signaux et d'une fonction d'isolement de canaux, au besoin.

4.2 Récepteurs

Les opérateurs de site devraient tenir à jour les micrologiciels des récepteurs et garder les administrateurs de réseau informés des mises à jour prévues. Les récepteurs de SCA devraient avoir les caractéristiques suivantes :

- i. suivre les signaux GPS L1/L2 et GLONASS L1/L2 et être en mesure de suivre les signaux modernes (GPS L2C/L5, Galileo, Compass);
- ii. suivre au moins 14 satellites sur L1 et L2 au-dessus de 0 degré;
- iii. fournir la pseudodistance en code C/A L1 ou la pseudodistance en code P et la phase de porteuse de longueur d'onde intégrale dans les fréquences L1 et L2;
- iv. échantillonner à une fréquence d'au moins 1 Hz;
- v. prendre en charge la fonctionnalité de client et serveur NTRIP (prise en charge simultanée d'au moins 10 clients);
- vi. prendre en charge les entrées-sorties RTCM SC104 versions 2.x et 3.x;
- vii. avoir une plage de températures de fonctionnement de -40 °C à +55 °C;
- viii. avoir une consommation électrique < 10 W;
- ix. avoir une précision de mesure de phase de porteuses L1 et L2 < 2 mm (moyenne quadratique);
- x. comporter une capacité de stockage de données équivalant à au moins 24 heures de données brutes à 1 Hz;
- xi. comprendre une interface Ethernet.

Les récepteurs devraient être configurés de manière :

- i. à ne pas appliquer de lissage aux variables observables;
- ii. à assurer la poursuite à angle de masquage de 0 degré;
- iii. à ce que les observations soient enregistrées à intervalle d'échantillonnage d'au moins 1 Hz;
- iv. à ce que les blocs horaires (de grande préférence) ou les blocs de 24 heures de données soient consignés en fonction de l'heure GNSS;
- v. à ce que la poursuite de tous les satellites soit exécutée, quel que soit l'état de fonctionnement, puisque les critères employés par le département de la Défense des États-Unis pour désigner un satellite en mauvais état de fonctionnement ne s'appliquent pas toujours aux utilisateurs de SCA.

4.3 Alimentation électrique et calculs

Toutes les SCA devraient être équipées d'une alimentation sans coupure assurant une autonomie de fonctionnement d'au moins 24 heures pour le récepteur et tout autre équipement nécessaire à l'archivage d'au moins 24 heures de données brutes à l'intervalle d'échantillonnage du récepteur.

Les fournisseurs de services GNSS RTK devraient utiliser une infrastructure de serveurs redondants pour la distribution des données de SCA aux utilisateurs. Chaque serveur devrait être raccordé à une alimentation sans coupure capable de fournir au moins 2 heures de fonctionnement en cas de panne de courant. Le système de prestation de service devrait être évolutif, de manière à pouvoir prendre en charge des milliers d'utilisateurs potentiels.

4.4 Communication et accès aux données

L'accès aux fichiers de données du serveur du fournisseur de services GNSS RTK en mode réseau (NRTK) devrait être réalisé par Internet. Les fichiers de données GNSS devraient être transférés suivant le protocole de transfert de fichiers Internet (FTP). Les données stockées devraient pouvoir être extraites immédiatement après l'heure, soit toutes les heures, soit à la fin de la journée (24 h 00 heure GNSS). Le serveur Web et le serveur FTP du fournisseur de services GNSS NRTK devraient prendre en charge l'accès continu aux fichiers.

Les noms de fichiers et les dates associées devraient être enregistrés par rapport à l'heure GNSS, non à l'heure locale. La plupart des récepteurs GNSS convertissent automatiquement l'heure UTC en heure GNSS. Les recommandations sur la structure des dossiers et les conventions d'affectation des noms de fichiers sont présentées à l'annexe 1.

Le fournisseur de services GNSS NRTK devrait stocker les données de poursuite observées en format d'origine et aussi les mettre à disposition en format ASCII RINEX (version 2 ou ultérieure).

Un ensemble de photographies numériques nettes (résolution d'au moins 1 mégapixel) est nécessaire pour la documentation du site. Les photographies devraient présenter une vue claire du matériel utilisé, de la façon dont il est assemblé ainsi que des alentours, pour quelqu'un qui ne s'est pas rendu sur le site. Ces photographies devraient être mises à jour si le matériel change ou si l'espace physique autour de l'antenne subit des modifications.

Un registre de site contenant toutes les données historiques sur le site et le détail du matériel et de la borne utilisés est essentiel. Le registre de site est aussi important que les données GNSS recueillies au site. Il devrait suivre le format prescrit par l'IGS (International Global Navigation Satellite System Service). On

trouvera un modèle de registre de site vierge à l'adresse <https://files.igs.org/pub/station/general/blank.log> (en anglais seulement).

Toutes les parties dont les données sont connues devraient être remplies. Les sections non remplies ou sans objet ne devraient pas être supprimées. Le fichier devrait être « lisible par une machine » et donc enregistré au format ASCII avec les espacements exacts décrits dans les instructions consultables à l'adresse https://files.igs.org/pub/station/general/sitelog_instr.txt (en anglais seulement).

La plupart des entrées ne devraient occuper qu'une ligne; si plus d'information est nécessaire, les données devraient être entrées dans la partie d'information supplémentaire (*Additional Information*) de la section correspondante. On trouvera des exemples de registres de site à l'adresse <http://www.igs.org/network> (en anglais seulement).

4.5 Contrôle de qualité

La qualité des observations faites par une station de référence GNSS peut être établie en fonction de la répétabilité et de la stabilité à long terme des coordonnées estimées pour son centre de phase d'antenne. Le calcul des coordonnées à l'intérieur d'un cadre de référence géodésique particulier, tel que le NAD83 (SCRS), est effectué par l'intégration de la station de référence à un réseau de contrôle existant. Cette intégration peut être accomplie sur une base continue, à intervalles prescrits, en combinant les données de la référence GNSS à celles des stations de contrôle actif des alentours dans une compensation de réseau des moindres carrés. Une autre méthode consiste à occuper un nombre de points de contrôle passif matérialisés autour de la station de référence et d'évaluer les coordonnées périodiquement, par traitement différentiel. Bien qu'elle soit possible, cette méthode est moins efficace et ne donne pas la possibilité de surveiller la position de la station en continu.

Il est aussi vital d'affecter les coordonnées aux données de la station dans un logiciel RTK utilisé pour calculer les corrections à l'aide d'une seule station ou d'un réseau, pour faire en sorte que les solutions de l'utilisateur se trouvent dans un cadre de référence bien défini et traçable. Les coordonnées du NAD83 (SCRS) indiquant la version (l'époque) sont recommandées.

En conséquence, les fournisseurs de services GNSS RTK **devraient** :

- a) surveiller les processus d'acquisition de données pour détecter les sites qui ne fonctionnent pas;
- b) exécuter, tous les jours, des compensations de réseau ou des positionnements ponctuels précis (PPP) d'une station pour détecter les stations de référence instables;
- c) signaler les stations de référence qui connaissent de soudains changements de coordonnées. À titre de règle générale, les stations de référence devraient être jugées instables si les changements de coordonnées dépassent :
 - i. 5 mm horizontalement ou 10 mm verticalement en moins d'une heure; ou
 - ii. 10 mm horizontalement et 15 mm verticalement sur une période de 24 heures.

Observations finales

Les renseignements présentés dans ce document ont été rassemblés pour informer les fournisseurs de services GNSS RTK des points à considérer au moment d'installer une station de référence GNSS pour exploitation permanente. Les recommandations s'adressent en particulier aux fournisseurs ayant l'intention de fournir des solutions de positionnement de qualité géodésique dans un cadre de référence normalisé tel que le NAD83 (SCRS). Compte tenu des avantages associés à l'intégration des données géospatiales dans un cadre de référence uniforme à l'échelle nationale pour en préserver la valeur à long terme, tous les fournisseurs sont invités à adopter les meilleures pratiques proposées et à contribuer ainsi au maintien d'une référence géodésique uniforme et précise à l'échelle du pays.

Références

Engineering Toolbox. *Coefficients of Linear Thermal Expansion* (en ligne), The Engineering Toolbox, 2012. Sur Internet : http://www.engineeringtoolbox.com/linear-expansion-coefficients-d_95.html (en anglais seulement).

DLG. *Spécifications pour levés de contrôle et recommandations sur la construction de repères* (en ligne), Division des levés géodésiques, Ressources naturelles Canada, 1978.

NOAA. *Guidelines for New and Existing Continuously Operating Reference Stations (CORS)*, 2006 (en ligne), National Geodetic Survey National Ocean Survey, NOAA, Silver Spring, MD 20910, 2006. Sur Internet : http://www.ngs.noaa.gov/PUBS_LIB/CORS_guidelines.pdf (en anglais seulement).

NOAA. *NOAA Manual NOS NGS 1. Geodetic Bench Marks* (en ligne), U.S. Department of Commerce. National Oceanic and Atmospheric Administration, National Ocean Survey, Rockville, Md., 1978. Sur Internet : http://www.ngs.noaa.gov/PUBS_LIB/GeodeticBMs/ (en anglais seulement).

Schmidt, M., H. Dragert, W. Hill et N. Courtier. *New GPS monument design for permanent GPS installations in the Western Canada Deformation Array* (en ligne), Proceedings, IGS Network Workshop 2000, 12 au 14 juillet 2000, Soria Moria, Oslo, Norvège, 2000.

SNSMR. *NSCRS Modernization Strategy*, Ébauche de document stratégique disponible auprès de Service Nova Scotia and Municipal Relations - Geographic Information Services, 2012.

UNAVCO. *Permanent Station GPS/GNSS* (en ligne), UNAVCO, 2012. Sur Internet : <http://kb.unavco.org/article/unavco-resources-permanent-gps-gnss-stations-634.html> (en anglais seulement).

URECON. *Températures ambiantes – sous le sol*, Profondeur de gel (en ligne), 2012. Sur Internet : http://français.urecon.com/applications/municipal_ambient_below.html.

USACE. *Survey Markers and Monumentation* (en ligne), US Army Corps of Engineers, 2012. Sur Internet : http://www.publications.usace.army.mil/Portals/76/Publications/EngineerManuals/EM_1110-1-1002.pdf (en anglais seulement).

Annexe 1 : Conventions d'affectation des noms de dossiers et de fichiers

Données d'origine :

/dossier_principal/origine/aaaa/jjj/ssss/ssssjjjh[mm].[c]

Données RINEX :

/dossier_principal/rinex/aaaa/jjj/ssss/ssssjjjh[mm].aat.[c]

Si le fournisseur de services GNSS NRTK souhaite livrer les fichiers RINEX d'observations, de météorologie, de navigation, etc. dans un même ensemble de fichiers, les fichiers **ne devraient pas être compressés** et l'archive devrait être appelée :

ssssjjjh[mm].aa.c

Les noms de fichiers devraient respecter la convention suivante, tout en minuscules, selon la convention RINEX :

ssssjjjh[mm].aat.[c]

Les variables suivantes sont utilisées :

dossier_principal : dossier dans le serveur FTP de l'opérateur du site dans lequel les données seront stockées.

ssss : quatre caractères de l'ID du site.

jjj : jour de l'année GNSS.

aaaa : quatre chiffres de l'année GNSS.

h : lettre correspondant à une tranche de temps GNSS d'une heure (voir ci-dessous) ou 0 (zéro) pour indiquer une tranche de temps GNSS de 24 heures.

00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t	u	v	w	x

mm : ne s'applique qu'aux sites qui enregistrent en tranches de temps de moins d'une heure et indique le nombre de minutes après l'heure du début du fichier; ainsi, pour les fichiers de 30 minutes de collecte, les nombres 00 et 30 seraient utilisés.

aa : deux derniers chiffres de l'année GNSS (p. ex, 04 pour 2004).

t : type de fichier, indiqué comme suit :

Type	Description
o	Observations
d	Observations compressées au format Hatanaka. Le code source pour créer et décompresser ce format est accessible sur : http://terras.gsi.go.jp/ja/crx2rnrx.html .
m	Météorologie
n	Navigation

s	Sommaire
c	<p>La compression est facultative, mais recommandée pour économiser de la bande passante. Un des formats suivants devrait être utilisé :</p> <ul style="list-style-type: none"> a) zip – archive zip b) gz – gzip – zip GNU (privilégié) et accessible à : http://www.gnu.org/software/gzip c) Z – UNIX compressé.

Les fichiers binaires d'origine portent des extensions propres au fabricant, mais devraient correspondre le plus possible au format mentionné ci-dessus.

Photographies :

/dossier_principal/origine/aaaa/jjj/ssss/ssssjjjh[mm].[c]

Elles devraient porter le nom de fichier indiqué en gras entre les tirets – (où ssss est l'ID de site à 4 caractères). La convention pour la direction en azimut est 000 – nord, 090 – est, 180 – sud et 270 – ouest. Le format JPG est privilégié. Les noms de fichiers de photographies devraient inclure :

- a) ssss_**monu**.jpg – Photographie montrant la borne (pilier/haubanée/sur bâtiment) et l'antenne. La partie au sol du bâtiment ou de la borne et l'antenne devrait être visible.
- b) ssss_**mark**.jpg – Photographie montrant le repère. Si aucun repère unique n'existe, une photographie de la partie filetée du support, vue de côté ou du dessus de la borne devrait être prise. Si le site recueille activement des données, **NE PAS ENLEVER** l'antenne et ne pas tenir compte de cette exigence.
- c) ssss_**ant_monu**.jpg – Photographie en gros plan montrant la façon dont l'antenne est fixée à la borne.
- d) Quatre photographies d'orientation prises à hauteur de la surface du PRA. L'antenne devrait figurer sur la photographie, sans toutefois obstruer significativement la vue de ce qu'il y a derrière elle, la photo étant prise à une distance de 3 à 5 m. S'il est impossible de procéder de cette manière, poser l'appareil photo directement au-dessus et au centre de l'antenne et pointer vers la direction voulue :
 - i. ssss_ant_000.jpg – Nord (000)
 - ii. ssss_ant_090.jpg – Est (090)
 - iii. ssss_ant_180.jpg – Sud (180)
 - iv. ssss_ant_270.jpg – Ouest (270)
 - v. Si des photographies d'autres directions peuvent être utiles, indiquer l'azimut approprié dans le nom de fichier.

Si l'antenne se trouve sur un toit, il convient d'ajouter aussi ce qui suit :

- a) ssss_**ant_bldg**.jpg – Photographie représentant « clairement » la façon dont l'antenne est fixée au bâtiment.
- b) ssss_**ant_roof**.jpg – Photographie représentant l'antenne et la surface du toit.
- c) ssss_**ant_sn**.jpg – Photographie en gros plan de l'antenne montrant le modèle et le numéro de série.

- d) **ssss_rec_sn.jpg** – Photographie en gros plan du récepteur montrant le modèle et le numéro de série.
- e) **ssss_rec.jpg** – Photographie de l'emplacement du récepteur.

Annexe 2 : Données sur la profondeur du gel

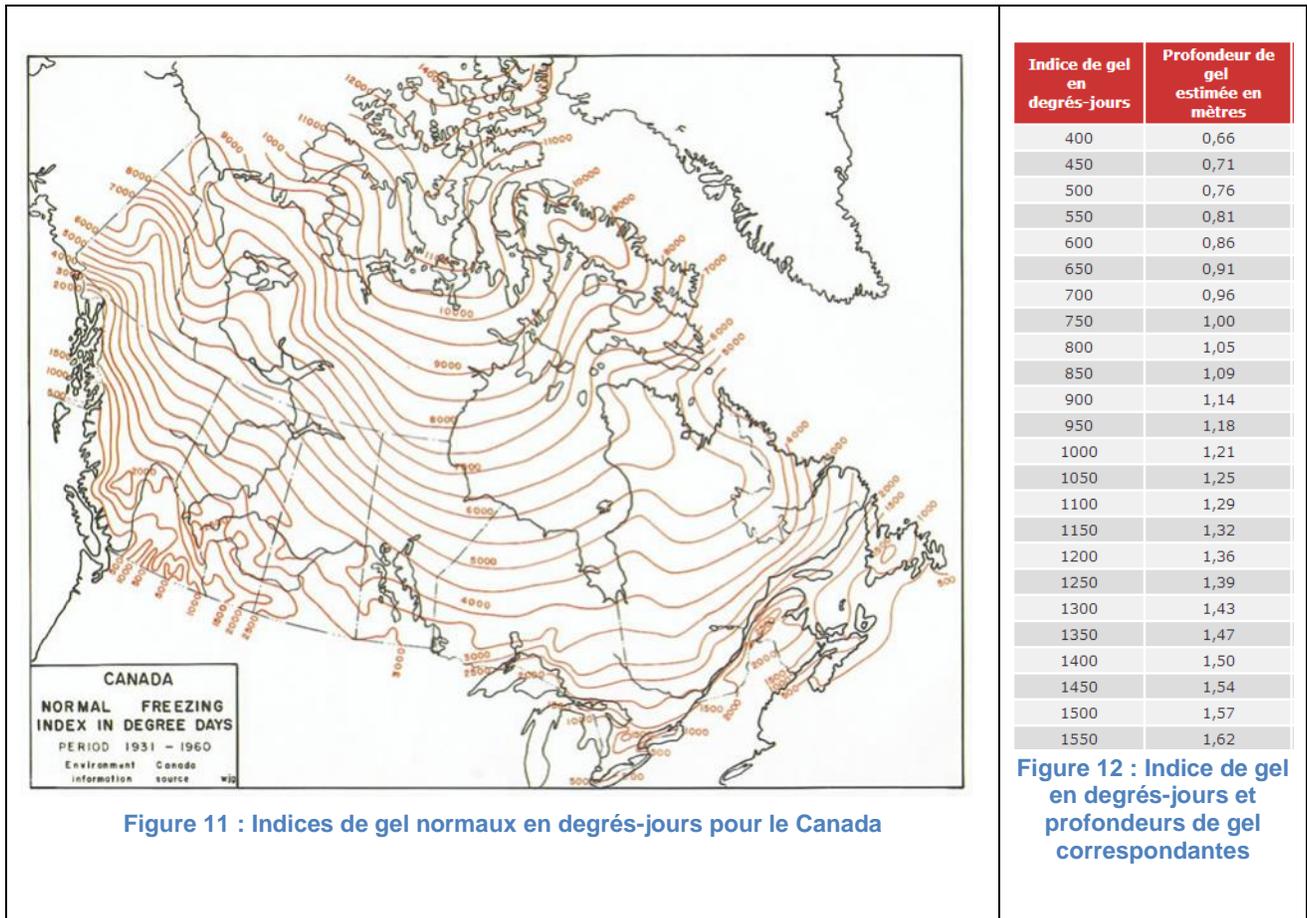


Figure 11 : Indices de gel normaux en degrés-jours pour le Canada

Indice de gel en degrés-jours	Profondeur de gel estimée en mètres
400	0,66
450	0,71
500	0,76
550	0,81
600	0,86
650	0,91
700	0,96
750	1,00
800	1,05
850	1,09
900	1,14
950	1,18
1000	1,21
1050	1,25
1100	1,29
1150	1,32
1200	1,36
1250	1,39
1300	1,43
1350	1,47
1400	1,50
1450	1,54
1500	1,57
1550	1,62

Figure 12 : Indice de gel en degrés-jours et profondeurs de gel correspondantes