

# Lignes directrices concernant les levés GNSS en mode RTK/RTN au Canada



**Juillet 2013**  
**Version 1.1**



Natural Resources  
Canada

Ressources naturelles  
Canada



**Ontario**  
Ministry of Transportation  
Ministère des Transports

SECTEUR DES SCIENCES DE LA TERRE

PRODUIT D' INFORMATION GÉNÉRAL 100-F

Auteurs Principaux: Brian Donahue, Jan Wentzel, Ron Berg

Lignes directrices concernant les levés GNSS en mode RTK/RTN au Canada

Direction de l'arpenteur général  
Ressources naturelles Canada

2013

© Sa Majesté la Reine du Chef du Canada, 2013

## Table des matières

Préface .....	4
Sigles et acronymes .....	5
1. Introduction .....	6
2. Aperçu et description des levés RTK/RTN .....	7
2.1 Levés en mode RTK et RTN .....	8
2.2 Facteurs à considérer en mode RTN.....	9
2.3 Facteurs à considérer en mode RTK.....	10
2.3.1 Conditions d'installation du site.....	10
2.3.2 Coordonnées de la station de base.....	11
3. Planification du projet.....	12
3.1 Pertinence théorique .....	13
3.2 Considérations pratiques .....	13
3.2.1 Site du projet.....	13
3.2.2 Communication .....	14
3.2.3 Stations de base RTN.....	14
3.2.4 Stations de base RTK.....	15
3.2.5 Récepteurs mobiles du RTK/RTN .....	15
3.3 Configuration du projet.....	15
4. Procédures de levés de terrain.....	15
4.1 Étalonnage et installation de l'équipement.....	16
4.1.1 Réglages du récepteur mobile.....	16
4.1.2 Antenne du récepteur mobile .....	18
4.2 Initialisation du récepteur mobile et conditions environnementales .....	19
4.2.1 Initialisation RTK.....	19
4.2.2 Sources d'erreur dues aux conditions environnementales.....	20
4.3 Levés sur le terrain .....	21
4.3.1 Communications .....	22
4.3.2 Indicateurs QC du récepteur mobile.....	22
4.3.3 Contrôle de la qualité.....	22
4.3.4 Contrôle de la qualité de la station de base du RTK.....	24
4.4 Post-traitement.....	24
4.4.1 Étalonnage horizontal .....	24
4.4.2 Étalonnage vertical .....	25
5. Récapitulatif et conclusions.....	25
RÉFÉRENCES .....	28
Annexe A – Récapitulatif du système NAD83 (SCRS) au Canada .....	29
Annexe B – Liste de vérification utilisée sur le terrain.....	30
Annexe C – Questions à poser au fournisseur de services RTN .....	33
Annexe D – Couverture RTN au Canada.....	34



## Préface

Cette série de lignes directrices pour les levés cinématiques en temps réel (RTK)/réseaux cinématiques en temps réel (RTN) utilisant le Système mondial de navigation par satellite (GNSS) a été préparée afin d'aider la communauté canadienne d'arpentage en partageant ce que nous considérons comme étant les meilleures pratiques. Ces lignes directrices ont été préparées en réponse aux besoins exprimés par les membres fédéraux, provinciaux et territoriaux du Conseil canadien de géomatique (COCG).

Le Comité canadien du système de référence géodésique (CCSRG), un sous-comité du COCG, a coordonné le travail tandis que les lignes directrices ont été développées par une équipe formée d'organismes variés autant fédéraux que provinciaux. D'autres individus, organismes et associations d'arpenteurs professionnels au Canada ont aussi contribué à réalisation de ces lignes directrices et nous tenons à les en remercier. Bien que les auteurs s'efforcent d'obtenir la meilleure précision, nous vous saurions gré de bien nous communiquer les omissions et les erreurs que nous aurions pu oublier et nous appliquerons ces corrections dans les versions futures.

Nous aimerions remercier spécialement Brian Donahue de la Division des levés géodésiques; Jan Wentzel de la direction de l'arpenteur général; et Ron Berg du Ministère des Transports Ontario; pour leur direction, ainsi qu'à tous les membres du CCSRG qui ont fourni des commentaires précieux tout au long de la rédaction de ce guide.

Nous espérons sincèrement que ces lignes directrices apporteront une contribution positive à l'arpentage au Canada.



Denis Hains  
Directeur, Division de Levés géodésiques  
Direction de l'arpenteur général  
Secteur des sciences de la Terre  
Ressources naturelles Canada



Peter Sullivan  
Arpenteur général,  
Commissaire de la frontière internationale  
Directeur général, Direction de l'arpenteur  
général  
Secteur des sciences de la Terre  
Ressources naturelles Canada

## Sigles et acronymes

- **CACS** : Système canadien de contrôle actif
- **GDOP** : Dilution de la précision d'origine géométrique (*Geometric dilution of precision*)
- **GLONASS** : *Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema* ou système mondial de navigation par satellite (Russie)
- **GNSS** : Système mondial de navigation par satellite
- **GPS** : Système mondial de localisation (États-Unis)
- **HI** : Hauteur d'instrument. En mode de levé RTK, distance entre le point physique et le point de référence de l'antenne (PRA).
- **NAD83** : Système de référence nord-américain de 1983
- **PCA** : Décalage moyen du centre de phase
- **PDOP** : Dégradation de précision en position
- **PRA** : Point de référence de l'antenne
- **RBC** : Réseau de base canadien
- **RGP** : Réseaux de haute précision des provinces
- **RINEX** : Receiver Independent Exchange Format ou format d'échange indépendant pour les récepteurs
- **RTK** : Cinématique en temps réel
- **RTN** : Réseau RTK en temps réel
- **SCRS** : Système canadien de référence spatiale
- **SCRS-PPP** : Service de positionnement ponctuel précis (PPP) en ligne

# 1. Introduction

Le positionnement en mode cinématique en temps réel (RTK) réalisé au moyen des systèmes mondiaux de navigation par satellites (GNSS) constitue de nos jours une technique courante pour effectuer des levés d'arpentage et d'études scientifiques au Canada. Au cours des dernières années, le nombre et l'étendue des réseaux RTK en temps réel (RTN) publics et privés au Canada ont augmenté rapidement. Même si les levés RTN sont de plus en plus populaires dans les zones où leur mise en œuvre est possible, les levés RTK s'avèrent souvent la seule option disponible dans de nombreux endroits du Canada. Pour visualiser la couverture actuelle des réseaux RTN au Canada, se reporter à la carte figurant à l'annexe D.

Ces deux techniques de levés de terrain GNSS, en mode RTK et RTN, permettent d'obtenir un positionnement relatif avec une exactitude centimétrique lorsqu'ils sont exécutés en respectant de meilleures pratiques de travail. La réalisation de levés RTK/RTN exige que l'on prenne en compte plusieurs facteurs importants, dont un bon nombre s'appliquent également à d'autres types d'utilisation du GNSS. Les facteurs en question sont l'étalonnage de l'équipement, les erreurs atmosphériques, le multitrajét, la configuration géométrique des satellites visibles, l'intégration au système de référence, la redondance et la validation. Quelques recommandations faites dans le présent document s'appliquent spécifiquement à certaines conditions propres aux levés en mode RTK/RTN, telle la configuration du récepteur mobile, les problèmes de communication, l'établissement de fenêtres temporelles d'observation et l'initialisation.

Le but du présent document est de fournir aux arpenteurs professionnels un ensemble de lignes directrices concises et faciles à suivre sur les meilleures pratiques pour réaliser des levés RTK/RTN de précision centimétrique. Le document contient des recommandations touchant tous les aspects des levés RTK/RTN et compare les techniques entre elles. Des références bibliographiques et des hyperliens recommandés ont également été insérés à l'intention des utilisateurs. Le présent document peut ainsi tenir lieu de référence et d'aide-mémoire. L'annexe B contient une liste exhaustive de vérifications utiles pouvant être modifiées selon les besoins spécifiques de l'utilisateur lors de levés terrain en mode RTK/RTN tandis que l'annexe C dresse la liste des questions importantes que l'utilisateur en mode RTN devrait poser à son fournisseur dans le cadre de la planification de projet de levés.

Les présentes lignes directrices ont été développées par un groupe de travail composé de Brian Donahue, de la Division des levés géodésiques (DLG) de Ressources naturelles Canada, de Jan Wentzel, de la Direction de l'arpenteur général (DAG) de Ressources naturelles Canada, et de Ron Berg, du ministère des Transports de la province de l'Ontario (MTO). Les recommandations faisant partie de ce document ont été mises au point en tenant compte de l'expérience des auteurs, des lignes directrices émises par d'autres organismes et d'études théoriques.

Les termes et sigles ci-dessous sont utilisés tout au long du document :

- **Utilisateur** : Toute personne qui effectue des levés GNSS en mode RTK ou RTN.
- **GNSS** : Systèmes mondiaux de navigation par satellites. Le GNSS sera utilisé pour désigner indifféremment le GPS ou le GPS+GLONASS, ainsi que d'autres systèmes

(Galileo) lorsqu'ils deviendront opérationnels. Les utilisateurs devraient généralement appliquer des pratiques similaires, qu'ils utilisent le GPS seulement ou les GNSS. Le principal avantage des GNSS réside dans la disponibilité d'un plus grand nombre de satellites, un facteur susceptible d'améliorer la géométrie des satellites visibles au-dessus de l'horizon d'un utilisateur (particulièrement lorsqu'on travaille dans des canyons urbains ou dans d'autres zones partiellement obstruées).

- **RTK** : Levés GNSS en mode cinématique en temps réel à une seule base.
- **RTN** : Levés GNSS en mode cinématique en temps réel réalisé en mode réseau. Le RTN est également utilisé pour décrire le réseau des stations de base en temps réel. Le RTN est également connu sous l'appellation Réseau RTK (NRTK).
- **Système de référence** : Le cadre de référence officiel du Canada est le NAD83 (SCRS), mais de nombreuses versions (ou adaptations) de ce cadre sont utilisées (voir Annexe A). Ce document utilise le terme « système de référence » pour désigner une réalisation particulière du cadre de référence.

## 2. Aperçu et description des levés RTK/RTN

La technique de levés en mode RTK est une technique de positionnement relatif qui permet de mesurer en temps réel la position d'une antenne GNSS par rapport à une autre. Une des antennes est installée en un point fixe dont les coordonnées sont connues. On appelle cette antenne station de base. La station de base RTK transmet ses observations brutes au récepteur mobile en temps réel. Ce dernier utilise à la fois ses propres données et celles de la station de base en mode différencié pour calculer sa position par rapport à la station de base (voir la figure 2-1).

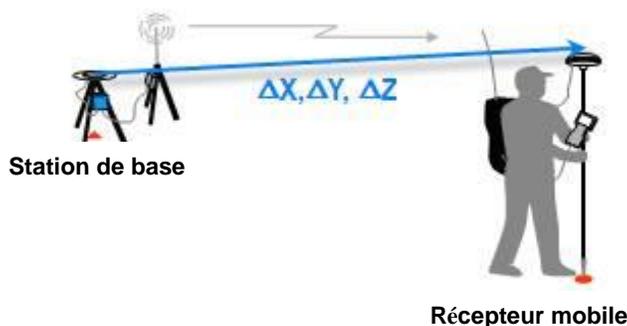


Figure 2-1 Configuration type du RTK

Après un court délai d'initialisation (habituellement moins d'une minute), le récepteur mobile peut déterminer en continu un vecteur 3D précis par rapport à la station de base. Ce type de levé suppose l'établissement d'un lien de communications fiable entre la base et le récepteur mobile, car ce dernier a besoin de recevoir en continu les données de la base. Lorsqu'on utilise un récepteur mobile à moins de 10-20 km de la station de base dans un endroit bien dégagé offrant une bonne géométrie de satellites, les vecteurs 3D peuvent être calculés avec une exactitude de l'ordre de quelques centimètres (ou mieux).

Le mode cinématique en temps réel s'est révélé un moyen fiable et efficace pour déterminer des vecteurs précis. Il n'en demeure pas moins que cette méthode est limitée à des vecteurs d'environ 10 à 20 km dus aux erreurs (atmosphériques et orbites des satellites) qui augmentent en fonction de la distance, réduisant ainsi la capacité de résolution d'ambiguïtés de phase (initialisation) et la précision de la solution. Plus la distance entre le récepteur mobile et la base augmente, plus la précision du mode RTK diminue. Les levés en mode RTN ont été élaborés afin de remédier à cette restriction. Dans le cas du RTN, un ensemble de stations de référence ou de base font la collecte des données GNSS et les transmettent en temps réel à un système de traitement central. Ce système compile les données provenant de toutes les stations de référence (ou d'un sous-ensemble) et calcule une solution de réseau. Les erreurs d'observation et leurs corrections sont calculées à partir de cette solution de réseau, puis transmises aux récepteurs mobiles travaillant dans les limites du RTN. Plusieurs solutions techniques RTN sont utilisées, telles que la méthode de station de référence virtuelle (SRV), le concept d'auxiliaire principal (MAC) et le Flächen Korrektur Parameter (FKP [paramètre de correction de zone]). Pour en savoir plus sur les différentes approches RTN, il est conseillé de consulter la documentation du fabricant ou certaines références mentionnées dans le présent document.

## **2.1 Levés en mode RTK et RTN**

La présente section met en évidence les principales différences entre les travaux en mode RTK et RTN. Les deux méthodes permettent d'obtenir des précisions 3D relatives de l'ordre de 1 à plusieurs cm et la plupart des différences entre les deux méthodes sont liées à la productivité et au coût.

### Station de base

L'exécution de travaux en mode RTK suppose l'achat, l'entretien, la surveillance et la configuration d'une ou de plusieurs stations de base. Ce type de levé peut se révéler à la fois complexe et coûteux. D'un point de vue technique, il peut également constituer un défi pour les novices. Dans le cas du RTN, les utilisateurs délèguent le fardeau lié à l'installation, à l'entretien et à la surveillance des stations de base à l'opérateur du réseau. L'utilisateur du mode RTN se limite à acheter un abonnement au réseau pour pouvoir accéder aux données des stations de base. Par contre, pour certains utilisateurs expérimentés, le fait de travailler avec leurs propres stations de base leur permet de maîtriser davantage les aspects techniques liés à l'installation de la station de base et à la transmission des corrections.

### Communications

Les opérateurs de réseaux RTN utilisent généralement les réseaux de téléphonie cellulaire. Par conséquent, les corrections distribuées ne peuvent être reçues que dans les limites de la couverture des réseaux en question. Les levés RTK qui mettent en œuvre une seule station de base exploitent généralement des fréquences UHF, VHF ou de l'équipement radio à large spectre. Cette option permet de contourner le problème de couverture des réseaux cellulaires, mais elle limite la longueur des vecteurs à la portée de la liaison radio, ce qui complique les levés RTK effectués sur de grandes étendues.

Qualité de la solution

Plus la longueur du vecteur augmente, plus la précision d'un levé RTK diminue. Le mode RTN a été élaboré pour contrevenir à cette limite de distance. Ce mode offre des résultats comparables indépendamment de l'endroit où l'utilisateur se situe à l'intérieur du polygone formé par les stations du réseau jusqu'à une distance d'environ 50km de la station de base. Pour obtenir la même précision que le RTN en mode RTK, il peut se révéler nécessaire de configurer plusieurs stations de base ou d'utiliser une méthode de saute-mouton et des vecteurs relativement courts, les deux options faisant augmenter les coûts et réduisant l'efficacité du levé.

## **2.2 Facteurs à considérer en mode RTN**

L'utilisation de RTN publics ou privés peut se révéler un moyen très précis et efficace pour réaliser des levés cadastraux et d'études scientifiques. Cependant, si l'utilisateur du réseau ignore certains aspects importants du RTN, il peut obtenir des résultats erronés. Comme précisé ci-haut, les modes RTK/RTN permettent de déterminer la position de l'antenne mobile par rapport aux stations de base. Dans le cas des solutions RTN, la position du récepteur mobile est établie à l'intérieur du système de référence du réseau, lui-même défini par les coordonnées assignées aux stations de base du réseau. En conséquence, l'utilisateur doit connaître le système de référence utilisé par le fournisseur du réseau. Il est donc primordial d'établir des communications fiables avec le fournisseur du réseau pour connaître cette information. Il appartient à l'utilisateur de s'assurer que ses résultats sont en accord avec le système de référence exigé pour le projet de levé. Dans la plupart des cas, il est nécessaire que l'utilisateur vérifie l'exactitude de la position obtenue pour son récepteur mobile au sein du RTN en comparant cette position avec des points connus dans le système de référence exigé.

Au Canada, le cadre de référence officiel est le système de référence NAD83 (SCRS). Il importe de connaître la version et l'époque du NAD83 (SCRS) exigées dans le cadre des levés. Différentes versions du cadre de référence officiel ont été adoptées par différentes juridictions. L'annexe A présente l'évolution du SCRS et traite de l'adoption du système au Canada jusqu'en 2012. En plus de travailler avec différentes versions du NAD83 (SCRS), il se peut que l'utilisateur soit amené à travailler dans un système de référence local complètement différent. En pareille situation, l'utilisateur devra étalonner ses levés en appliquant la procédure décrite à la section 4.4.

Un autre détail important à prendre en compte lorsqu'on travaille avec un RTN est de s'assurer que l'opérateur du réseau surveille l'intégrité de ses stations de base. Tout défaut dans l'établissement et l'utilisation des coordonnées fixes d'une ou de plusieurs stations de base du réseau se transmet directement ou partiellement à l'utilisateur et affecte le calcul de la position de son récepteur mobile. Il est conseillé aux utilisateurs d'obtenir confirmation par les fournisseurs de réseau du système de référence utilisé ainsi qu'un rapport sur la stabilité des coordonnées.

## **2.3 Facteurs à considérer en mode RTK**

Plusieurs des aspects abordés au paragraphe 2.2 s'appliquent également au mode RTK. La particularité propre au mode RTK est qu'il appartient généralement à l'utilisateur d'assurer la qualité de la station de base et de ses métadonnées, ainsi que l'exactitude des coordonnées de la station de base. Dans certains cas, l'utilisateur peut accéder à des corrections RTK à partir d'une autre source, telle qu'un point de contrôle actif (PCA) à proximité, mais cette éventualité est rare étant donné la quantité de ces stations PCA diffusant des corrections en temps réel et leur dispersion géographique au Canada. L'annexe D présente la couverture actuelle (mai 2013) de stations RTK publiques actuellement disponible au Canada.

### **2.3.1 Conditions d'installation du site**

Avant d'installer une station de base RTK, l'utilisateur doit prendre connaissance des recommandations applicables à l'utilisation d'un récepteur mobile RTK, telles qu'énoncées au chapitre 4. Les nombreux aspects qui sont importants pour le récepteur mobile le sont encore davantage pour l'installation d'une station de base. Plusieurs autres facteurs importants doivent également être pris en compte au moment d'installer la station de base RTK. L'utilisateur doit avoir une vue dégagée du ciel et il doit aussi tenir compte de la stabilité de l'antenne et d'un repère monumenté et de l'accès au système de référence choisi. Il est primordial d'accorder l'importance voulue à chacune de ces conditions avant de définir l'emplacement et la procédure d'installation de la station de base.

L'exécution de levés de terrain RTK suppose qu'un grand nombre de satellites puissent être observés simultanément à partir des antennes de la station de base et du récepteur mobile. Pour tirer pleinement profit des observations de la station de base, il est nécessaire que l'antenne de cette station bénéficie d'une vue dégagée du ciel au-delà de 10 à 15 degrés. Ainsi, il est préférable d'installer une nouvelle station ayant une bonne visibilité des satellites que d'occuper une station existante offrant une visibilité restreinte (Henning, 2011).

Comme pour n'importe quel travail de levé de terrain GNSS, la stabilité de la station de base (répétabilité) est cruciale. Il convient de suivre les étapes ci-dessous pour garantir une répétabilité de la station de base acceptable.

- Il est conseillé d'installer les stations de base provisoires dans un endroit stable en utilisant un équipement de centrage, de mise à niveau et de mesure de la HI étalonné selon les exigences du fabricant.
- La HI de la station de base devrait être mesurée et enregistrée dans les systèmes métrique et impérial.
- Il est conseillé de configurer les récepteurs de manière à ce qu'ils enregistrent les observations brutes pouvant être converties en format standardisé et traitées au moyen du SCRS-PPP ou du logiciel du fournisseur afin de vérifier la stabilité de l'installation.

### 2.3.2 Coordonnées de la station de base

L'accès au système de référence exigé est un autre aspect important à considérer lorsqu'on installe une station de base RTK. Il est possible d'accéder au système de référence en respectant trois conditions. La première condition consiste à installer la station en un point dont les coordonnées sont connues dans ce système; les deux autres conditions portent sur l'installation d'une nouvelle station de base et l'intégration de ses coordonnées au cadre NAD83.

#### Point d'appui existant

Lorsque cela est possible, la meilleure façon d'accéder au système de référence consiste à installer la station de base à un repère existant ayant une précision suffisante. Il peut s'agir d'un repère du RBC, RHP ou d'un réseau de niveau inférieur. Chaque fois qu'un utilisateur utilise un repère existant, il lui est conseillé de se raccorder à d'autres repères du secteur pour vérifier l'exactitude des coordonnées publiées du repère. Une autre méthode fiable consiste à enregistrer des observations brutes de la station de base et à les traiter après coup pour vérifier l'installation.

#### Traitement de phase de la porteuse différenciée

Lorsqu'il n'y a aucun point d'appui disponible pour installer une station de base à proximité d'une région où des levés sont requis, mais qu'un ou plusieurs points d'appui existent dans un rayon de 30 à 50 km, l'utilisateur peut établir un point d'appui local par rapport au point d'appui distant en appliquant une technique de positionnement GNSS relatif en mode statique. Pour ce faire, il peut calculer des vecteurs GNSS multiples et redondants avec un logiciel de post-traitement. Lorsqu'on établit un point d'appui pour des stations de base RTK, il est important de suivre les lignes directrices du présent document (se reporter aux paragraphes 4.3 et 4.4) et de faire en sorte que le récepteur enregistre des observations brutes pour permettre le calcul des coordonnées estimées avec un logiciel de post-traitement.

#### Positionnement ponctuel précis (PPP)

De nombreux utilisateurs GNSS utilisent à présent le PPP pour établir leurs propres points d'appui. Cette technique se révèle particulièrement utile dans les endroits éloignés où aucun point d'appui monumenté et précis n'existe. Même lorsqu'un point d'appui se trouve à une distance raisonnable, il est parfois avantageux d'utiliser le PPP pour établir un nouveau point d'appui. Au Canada, il existe un service en ligne gratuit exploité par la Division des levés géodésiques (DLG) de Ressources naturelles Canada appelé SCRS-PPP. La figure 2-2 illustre la logique de travail du SCRS-PPP.



Figure 2-2 *Aperçu du SCRS-PPP*

Le SCRS-PPP permet la soumission de fichiers de données GNSS sous format RINEX et produit en retour des positions calculées, leur incertitude et un rapport de traitement. Les utilisateurs devraient vérifier la hauteur HI et le type d'antenne assumé pendant le traitement afin de confirmer que les positions obtenus sont effectivement pour le monument désiré. De plus, les utilisateurs devraient enregistrer suffisamment de données GNSS continues pour atteindre les précisions voulues (voir par exemple Berg et Holliday, 2011). Au minimum, les utilisateurs devraient vérifier que les incertitudes des positions obtenues sont au niveau désiré. Les utilisateurs devraient se familiariser avec les rapports générés par le CSRS-PPP, en fonction de leurs objectifs de précision et exactitudes. Tétreault et Sauvé, 2010, donne plus de détails sur le service SCRS-PPP.

Voici quelques remarques concernant le SCRS-PPP :

- L'utilisateur peut choisir le système de référence NAD83 (SCRS) à différentes époques.
- Comme pour les autres levés GNSS, la précision des positions dépend de l'équipement utilisé, la localisation, la période d'occupation ainsi que les conditions environnementales.
- Due à la disponibilité des produits d'orbites et d'horloges précises, des solutions uniquement GPS peuvent être obtenues 90 minutes après le temps d'acquisition des données tandis que les solutions GNSS sont obtenues le jour suivant.
- Règle générale, 12-24 heures d'observations GNSS bi-fréquence permettent d'atteindre une exactitude centimétrique, tandis que 2-4 heures permettent d'obtenir une exactitude < 5 cm et que 1-2 heures donneront une exactitude < 10 cm.

### **3. Planification du projet**

La présente section traite plus particulièrement des étapes de planification requises pour effectuer des levés en mode RTK/RTN. Comme pour tout levé de positionnement, on part du principe que l'utilisateur a déjà déterminé ce qui suit :

- le système de référence à utiliser;
- l'exactitude recherchée.

## **3.1 Pertinence théorique**

Selon les exigences de positionnement propres au projet (exactitude, système de référence, etc.), il incombe à l'utilisateur de déterminer si les levés et la technologie RTK/RTN apporteront les résultats escomptés. Dans certains cas, il se peut que le mode RTK soit pertinent pour une partie du projet seulement. Par exemple, la précision horizontale pourrait être adaptée au mode RTK, alors que la précision verticale ne pourrait être obtenue qu'en utilisant un niveau (CRGB, 2009).

Pour déterminer le mode de levé, l'utilisateur doit tenir compte :

- des spécifications techniques fournies par le fabricant de l'équipement;
- des renseignements fournis par les fournisseurs de service RTN;
- des études indépendantes et des documents traitant des capacités des systèmes RTK/RTN;
- des résultats des essais de validation spécifiques à la configuration de son équipement;
- de l'expérience qu'il a acquise lors de l'utilisation répétée de l'équipement dans diverses conditions.

L'ensemble de ces paramètres permettra à l'utilisateur de déterminer :

- si les méthodes RTK/RTN permettront d'obtenir l'exactitude des résultats voulue;
- le type d'équipement RTK/RTN et la configuration à adopter;
- la méthodologie à appliquer sur le terrain.

## **3.2 Considérations pratiques**

Lorsqu'il a été établi qu'en théorie les levés en mode RTK/RTN devraient permettre d'obtenir les résultats voulus pour un projet particulier, l'utilisateur doit prendre en compte, sur le plan pratique, un certain nombre d'aspects propres au projet.

### **3.2.1 Site du projet**

Certaines conditions relatives au site du projet peuvent révéler que le mode RTK/RTN ne constitue pas l'outil approprié à utiliser. Les levés effectués principalement en forêt et en régions urbaines où se retrouvent de grands immeubles en béton (canyons urbains) imposent des contraintes pouvant affecter la performance de la technique et l'obtention de résultats due aux obstructions des signaux satellitaires et/ou de communications, a fortiori s'ils nécessitent une grande exactitude. Même si les forêts ou les canyons urbains ne posent pas de problème, il est recommandé d'évaluer certains sites à l'intérieur de la zone de projet afin d'éviter les phénomènes d'obstruction qui entraveraient la transmission des signaux satellites ou constitueraient des sources de signaux réfléchis qui augmentent les effets de multitrajet.

Lorsqu'un réseau RTN existe, il est primordial que les utilisateurs connaissent l'étendue du réseau en question ainsi que l'emplacement de leur zone de projet par rapport au

réseau. Plus la zone du projet d'étude s'éloigne de la zone de couverture du RTN, plus la précision des levés se détériore rapidement (Henning, 2011a).

La plupart des levés RTK/RTN exigeront l'utilisation de points d'appui existants, soit pour implanter des stations de base, soit pour vérifier les positions calculées du RTN. L'étape de planification du projet devrait inclure la collecte du plus grand nombre de données possible en ce qui a trait à l'emplacement des points d'appui, afin d'aider le personnel œuvrant sur le terrain à repérer les points d'appui *in situ*.

### **3.2.2 Communication**

La réussite d'un levé RTK/RTN dépend de la qualité des communications entre la base et le ou les récepteurs mobiles. Dans le cas de levés en mode RTN, la méthode de communication la plus courante est celle qui exploite les réseaux de téléphonie cellulaire. Il est conseillé de consulter les fournisseurs de services de RTN pour connaître les configurations optimales requises concernant le matériel et le logiciel, le but étant de tirer pleinement parti des services offerts. Ces fournisseurs devraient également être en mesure de fournir des directives concernant les secteurs de réception favorable à l'intérieur ou à l'extérieur du réseau, et de mentionner les zones d'interruption de service ou de service réduit.

Dans le cas des levés en mode RTK, les communications entre la base et le récepteur mobile sont généralement établies au moyen de radios UHF, VHF ou à large spectre. Les fabricants d'équipement peuvent fournir des renseignements sur les plages de couverture maximales, bien que les résultats obtenus sur le terrain puissent varier du fait de certaines conditions, le relief par exemple. Il se peut aussi que les communications radios soient limitées et que l'utilisateur soit contraint à mettre en place plusieurs stations de base dans le cadre d'un projet donné. La connaissance approfondie des limites et des plages maximales d'un système de communication particulier permettra de mieux cerner la conception du réseau, notamment le nombre de stations de base requis et leur emplacement optimal.

### **3.2.3 Stations de base RTN**

Le fournisseur de services RTN devra être contacté avant le début du projet dans le but de confirmer l'état des services. Il est également conseillé à l'utilisateur de confirmer le système de référence utilisé et de vérifier si des changements visant le matériel, le logiciel, les coordonnées de la station de base ou d'autres composantes de la prestation de service ont été apportés depuis la dernière utilisation des services. Toutes les mises à niveau matérielles ou logicielles recommandées par le fournisseur devraient être prises en compte en détail. Le personnel œuvrant sur le terrain devrait également être en possession de l'information requise pour contacter le fournisseur de services afin de s'assurer que les services sont opérationnels au moment d'effectuer le levé.

### **3.2.4 Stations de base RTK**

L'utilisateur doit considérer plusieurs facteurs concernant les stations de base RTK. Il est recommandé d'utiliser un pilier du RBC ou RGP établi avec plaque à centrage forcé. L'inconvénient est qu'il est rare que ce genre de point soit suffisamment proche du site du projet et, dans la plupart des cas, seuls des points d'appui secondaires sont disponibles. Parfois, aucun point d'appui adéquat n'existe et il importe d'établir un point d'appui local sur le site. Dans tous les cas, l'utilisateur devrait utiliser les critères suivants au moment de choisir une station de base.

- Les valeurs et la précision des coordonnées pour les points d'appui connus : sont-elles suffisantes pour les exigences du projet?
- Le site choisi pour la station de base est-il stable, accessible et offre-t-il une vue dégagée du ciel?
- Le site de la station de base se trouve-t-il dans une zone sûre? Est-il possible de laisser le site sans surveillance?
- Comment les coordonnées de la station de base seront-elles déterminées? Le paragraphe 2.3.2 énumère quelques méthodes courantes pour ce faire.

### **3.2.5 Récepteurs mobiles du RTK/RTN**

Il convient de vérifier l'équipement du récepteur mobile, y compris le matériel de communication sans fil, afin de s'assurer d'utiliser le micrologiciel (*firmware*) et le logiciel recommandés par le fabricant. Selon l'étendue du projet, l'utilisateur doit évaluer le nombre de récepteurs mobiles requis pour mener à terme le projet dans un délai donné.

## **3.3 Configuration du projet**

Étant donné le nombre de stations à positionner, les conditions d'accessibilité, les stations de base à utiliser, les limites de communications ou d'étendue du RTN, il est judicieux de préparer un plan de logistique terrain afin que tous les membres de l'équipe sachent ce que l'on attend d'eux, collectivement et individuellement.

Pour optimiser l'efficacité des mesures, chaque opérateur de récepteur devrait se voir remettre un plan individuel récapitulatif :

- les points qui seront occupés;
- les procédures de levés de terrain applicables (se reporter au paragraphe 4.3);
- les renseignements à enregistrer manuellement;
- les questions liées à l'accès;
- la description des points;
- les contraintes de temps.

## **4. Procédures de levés de terrain**

Le présent chapitre porte sur les procédures à suivre lors d'un levé de terrain en mode RTK/RTN. Le chapitre comprend 4 sections. La section 4.1 décrit la meilleure façon d'installer le récepteur mobile. La section 4.2 traite de l'initialisation du récepteur mobile et de la marche à suivre pour atténuer les erreurs liées à l'environnement des levés. La section 4.3 décrit les procédures à appliquer lors des levés sur le terrain. Enfin, la section 4.4 aborde les questions liées au post-traitement et au système de référence.

## **4.1 Étalonnage et installation de l'équipement**

Comme c'est le cas avec les levés GNSS traditionnels, il est important de s'assurer que tout l'équipement est convenablement étalonné avant de commencer l'étude. Dans le cas d'un levé RTK/RTN, il est également nécessaire de s'assurer que le récepteur mobile (et la base, s'il y a lieu) a été configuré avec des valeurs de réglage adaptées au projet en cours. Même si aucun changement connu n'a été apporté à la configuration du récepteur mobile, il convient d'en vérifier l'installation. La mise à jour du micrologiciel du récepteur, par exemple, pourrait rétablir certains réglages aux valeurs prédéfinies établies par le fabricant sans que personne ne s'en rende compte.

### **4.1.1 Réglages du récepteur mobile**

Avant d'entamer un levé RTK/RTN, il est important de s'assurer que le récepteur mobile est configuré du mieux possible en fonction de l'exactitude recherchée. Plusieurs réglages importants doivent être enregistrés dans le récepteur mobile.

#### **Observation des satellites**

Les trois réglages configurables dans la plupart des récepteurs sont l'angle de masquage, le nombre minimum de satellites observés et la GDOP maximale. La GDOP (dilution de la précision d'origine géométrique) est une mesure sans unité exprimant la qualité de la géométrie définie par la position relative des satellites GNSS observés de l'emplacement de l'utilisateur. Plus la GDOP est faible, mieux c'est, et il est recommandé de régler la GDOP maximale entre 2 et 3 dans le récepteur.

L'angle de masquage est un angle d'élévation en deçà duquel le récepteur est contraint de ne pas observer les signaux GNSS. Il est conseillé de régler cet angle à un minimum de 10 degrés et, de préférence, à 15 degrés. Cette pratique est préférable sachant que les signaux qui passent près de l'horizon parcourent le trajet le plus long dans l'atmosphère, ont un rapport signal-bruit inférieur et sont les plus touchés par les effets de multitrajet local. Il est bon de se rappeler qu'une augmentation de l'angle de masquage au-delà de 15 degrés peut se traduire en une réduction du nombre de satellites observés et par une augmentation de la GDOP à une valeur supérieure au niveau désiré.

Il faut prévoir l'observation d'au moins cinq satellites pour effectuer des levés de terrain en mode RTK/RTN (six, lorsqu'on combine des satellites GPS et GLONASS, car le décalage temporel du système GPS/GLONASS doit également être résolu). Des études

ont montré qu'un minimum de sept satellites GNSS donne des résultats plus précis (Aponte et alia, 2009). Les recommandations stipulent de configurer le récepteur mobile de manière à ce qu'il observe au moins six satellites dans le cas des levés GPS et sept à huit dans le cas des levés GNSS. L'avantage d'observer davantage de satellites est que la résolution des ambiguïtés de phase est généralement plus rapide et plus fiable.

### **Planification de la mission**

Même en présence de constellations de satellites GPS et de GLONASS pleinement opérationnelles, à certaines heures du jour, le nombre de satellites visibles au-delà de 15 degrés dans une zone donnée peut se limiter à quatre (GPS uniquement). Il est essentiel d'utiliser le logiciel de planification de mission du fabricant de l'équipement pour déterminer la période la plus propice pour faire des levés de terrain RTK/RTN dans la zone visée. La plupart des logiciels de planification de mission permettent également de régler des angles de masquage dans le but de simuler les conditions dans des environnements où l'horizon n'est pas dégagé. Lorsqu'on travaille dans des canyons urbains, il est recommandé d'utiliser un équipement compatible GNSS et d'utiliser le logiciel de planification de mission afin de déterminer l'heure optimale pour effectuer les levés.

### **Interopérabilité**

L'utilisateur doit également s'assurer que son équipement GNSS mobile est en mesure de fonctionner avec l'équipement provenant de divers fabricants. L'opérateur du RTN ou le vendeur d'équipement peut confirmer cette capacité. Pour garantir l'interopérabilité du matériel, il est conseillé de maintenir le micrologiciel du récepteur à jour en utilisant la dernière version recommandée du fabricant.

### **Altitudes orthométriques et géodésiques**

Pour obtenir des altitudes orthométriques en temps réel, il est impératif de charger un modèle du géoïde ou des paramètres de transformation des altitudes dans le récepteur mobile. Au Canada, le système de référence officiel est le système canadien de référence altimétrique de 1928 (CGVD28). Il est possible d'y accéder en utilisant le modèle du géoïde hybride HT2. Ce modèle transforme les altitudes géodésiques en altitudes orthométriques en appliquant un modèle du géoïde qui a été modifié de manière à s'adapter aux repères de nivellement du CGVD28. Il est important de noter qu'un nouveau système canadien de référence altimétrique (CGVD2013) sera mis en place au Canada à la fin de l'année 2013.

Dans certains secteurs, il se peut que le modèle du géoïde ne satisfasse pas aux exigences de précision du projet. Dans ce cas, l'utilisateur doit aussi étalonner les altitudes selon les repères altimétriques existants (se reporter à la section 4.4.2). Il doit appliquer la transformation officielle (HT2\_0) ou un étalonnage vertical local s'il est nécessaire d'obtenir des altitudes orthométriques en temps réel. Il est également recommandé d'enregistrer les altitudes géodésiques obtenues afin de pouvoir les transformer à d'autres systèmes de référence lors du post-traitement.

### **Type de résolution RTK**

Il est également conseillé à l'utilisateur de régler le type de solution RTK à utiliser dans le récepteur mobile. Il est recommandé d'utiliser uniquement des solutions d'ambiguïté **FIXES** pour lesquelles les ambiguïtés de phase ont été résolues à des nombres entiers. Il ne faut jamais utiliser des solutions à ambiguïtés flottantes ou DGPS lorsqu'on effectue des levés de terrain de haute précision. L'exactitude de ces solutions est de l'ordre du mètre; il est conseillé de les utiliser uniquement pour les travaux ne nécessitant pas une grande précision. Si le récepteur mobile affiche l'âge de la dernière solution RTK, il est également important de surveiller cette valeur. Si l'âge (décalage des corrections) est supérieur à quelques secondes, cela signifie qu'il y a peut-être un problème de communication. En pareilles circonstances, il convient d'utiliser les résultats avec précaution.

### **Valeurs QC**

De nombreux récepteurs permettent aussi à l'utilisateur de régler les valeurs QC (contrôle de qualité) horizontales et verticales. Ces valeurs sont calculées par le récepteur et donnent une indication de la précision d'une seule mesure. On recommande généralement de régler les valeurs QC horizontales et verticales à 1 cm pour les points d'appui et entre 2 et 3 cm pour les points topographiques.

## **4.1.2 Antenne du récepteur mobile**

La position GNSS mesurée est toujours déterminée par rapport au CPA. Par contre, sur le terrain, l'arpenteur recherche habituellement les coordonnées d'un point au sol. Il importe de tenir compte de plusieurs facteurs importants pour traduire une position au CPA en une position physique (au sol).

- L'utilisateur doit employer un type d'antenne avec étalonnage absolu et appliquer un modèle d'étalonnage. La plupart du temps, cela signifie la saisie du bon type d'antenne dans le récepteur. Le logiciel du récepteur prendra soin d'appliquer le modèle. Il est possible de trouver de plus amples renseignements et des modèles d'étalonnage absolu à l'adresse <http://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/>.
- L'utilisateur doit enregistrer la HI de l'antenne dans le système métrique et impérial (ou utiliser un montant à hauteur fixe) de manière à obtenir une HI précise. Il est également recommandé de noter manuellement les mesures de HI de l'antenne à des fins de vérification ultérieure ainsi que pour vérification sur le terrain.
- L'utilisateur doit également noter le point de référence de l'antenne (PRA) utilisé et le type d'antenne, manuellement.
- L'utilisateur doit s'assurer que les poteaux et les nivelles sphériques sont étalonnés avant de commencer les levés.
- L'utilisateur doit utiliser un trépied ou un support à deux pieds s'il souhaite obtenir des positions plus précises.

Avant de commencer le levé, il est également conseillé de vérifier le câble de l'antenne. Si des connecteurs du câble sont desserrés ou si des câbles sont coudés, les signaux seront plus bruyants, sans compter que ce type d'anomalie peut entraîner une perte de signal des satellites à basse élévation, l'augmentation des bruits de code et possiblement une résolution d'ambiguïté incorrecte et des résultats erronés.

## 4.2 Initialisation du récepteur mobile et conditions environnementales

Les sections qui suivent traitent des problèmes liés à la résolution de la valeur entière des ambiguïtés des observations la phase de l'onde porteuse entre chaque satellite et le récepteur mobile (on parle de l'initialisation RTK) et des problèmes causés par les conditions environnementales.

### 4.2.1 Initialisation RTK

Lorsque le récepteur mobile est mis sous tension et qu'il commence à chercher les signaux des satellites, il mesure d'abord une phase partielle de la porteuse GPS, puis il commence à en compter les cycles complets. Au début, le récepteur ne connaît pas le nombre exact des longueurs d'onde entières entre le satellite et le CPA du récepteur. La résolution d'ambiguïté consiste à déterminer le nombre total de cycles entiers entre le récepteur et le satellite. Cette étape est nécessaire lorsque les levés nécessitent une précision de l'ordre du centimètre. Dans le cadre du mode RTK, le récepteur mobile détermine ce nombre entier de cycles pendant l'initialisation. Les deux méthodes les plus couramment utilisées pour résoudre les ambiguïtés sont expliquées ci-dessous.

#### **Initialisation au fur et à mesure (OTF : on-the-fly)**

L'initialisation « au fur et à mesure » suppose que la station de base et le récepteur mobile observent au moins cinq satellites communs. L'initialisation permet à l'utilisateur de se déplacer pendant que le logiciel de son récepteur corrige les ambiguïtés. Une fois que les ambiguïtés atteignent leurs valeurs entières et qu'une solution **FIXE est obtenue**, l'utilisateur devrait mesurer une nouvelle fois un point connu ou un point défini antérieurement afin de vérifier l'initialisation. S'il n'y a pas de points connus à proximité, il est conseillé à l'utilisateur de mesurer un point, de réinitialiser et de comparer de nouveau. La réinitialisation devrait se traduire par la perte complète de verrouillage sur tous les signaux satellites, suivi par leur réacquisition avec ambiguïtés de phase à valeurs entières.

#### **Point connu**

L'initialisation au moyen d'un point connu permet à l'utilisateur d'entrer des coordonnées connues dans le récepteur mobile et de procéder à l'initialisation alors qu'il se tient fixe à la verticale du point connu. Cette méthode peut servir à vérifier l'initialisation en comparant la position mesurée du point après initialisation par rapport aux coordonnées connues. Si le système ne parvient pas à initialiser dans un délai normal, l'utilisateur doit vérifier l'exactitude des coordonnées saisies. Il doit également s'assurer que l'emplacement ne se trouve pas dans un environnement comportant des effets de propagation multitrajet important. Il se peut alors qu'il soit nécessaire de se déplacer vers un nouvel emplacement et de procéder à une initialisation de type OTF.

En temps normal, les ambiguïtés devraient être résolues en moins d'une minute. Il est recommandé de surveiller le délai nécessaire pour obtenir une solution fixe. Au-delà d'un délai de 1 à 2 minutes, il faut obtenir une nouvelle solution fixe distincte. Une bonne pratique consiste également à réinitialiser et à remesurer périodiquement, pendant le levé, des points connus ou déjà mesurés antérieurement afin de vérifier la validité de chaque nouvelle initialisation. Plusieurs récepteurs calculent continuellement de nouvelles initialisations en cours de route, à des fins de validation. Il est conseillé à l'utilisateur de vérifier tous les levés de points importants au moins deux fois en procédant à des initialisations indépendantes à titre de validation.

#### **4.2.2 Sources d'erreur dues aux conditions environnementales**

Plusieurs facteurs environnementaux peuvent réduire la précision ou l'exactitude des positions obtenues des levés de terrain RTK/RTN. Il peut s'agir de facteurs propres au site, tels que les obstructions des signaux et les effets de propagation multitrajet, ou de facteurs atmosphériques, tels que les erreurs liées à la troposphère ou à l'ionosphère.

##### **Obstructions de signal**

Lors de levés terrain en mode RTK/RTN dans un environnement ne permettant pas une bonne visibilité des satellites (i.e. canyons urbains, forêt), l'utilisateur doit être conscient de l'impact des obstructions de signaux sur les résultats. L'obstruction de signaux GNSS est un problème connu des levés exécutés sous une couverture d'arbres et peut appauvrir la géométrie satellitaire, allonger la période nécessaire pour l'initialisation de la solution et causer des positions erronées. Le problème d'obstructions de signaux peut être résolu en utilisant de l'équipement multi-constellation lors de levés dans des environnements offrant une visibilité partielle du ciel. Cependant, l'utilisateur devrait surveiller les valeurs de SNR et PDOP, et être conscient que le RTK/RTN peut ne pas être la technique appropriée.

##### **Propagation multitrajet**

La propagation multitrajet est un décalage relatif de phase ou un délai de propagation entre des signaux radio reçus directement et indirectement (GSD, 1992). Lorsque des signaux GNSS sont réfléchis par des structures adjacentes et qu'ils atteignent l'antenne via un trajet indirect, l'erreur de mesure de la distance augmente. Les erreurs de propagation multitrajet qui se produisent sur une courte période de temps peuvent passer inaperçues dans le récepteur et donner lieu à des erreurs de position à l'insu de l'utilisateur. Par conséquent, l'utilisateur doit réoccuper des points de levé importants, en effectuant une nouvelle initialisation, après un laps de temps permettant un changement appréciable de la géométrie des satellites.

##### **Erreurs troposphériques**

La troposphère est la couche neutre de l'atmosphère située entre la surface terrestre et une altitude d'environ 10 km. Contrairement à l'ionosphère, cette couche atmosphérique entraîne un délai qui est indépendant de la fréquence des signaux GNSS. Les logiciels de traitement de données RTK tentent d'éliminer les délais troposphériques encourus par les signaux GPS qui touchent la base et le récepteur mobile en faisant l'hypothèse qu'ils

sont égaux et s'éliminent d'eux-mêmes lors de la différenciation des observations. L'utilisateur doit donc savoir que des différences d'altitude ou de conditions atmosphériques entre la base et le récepteur mobile peuvent entraîner un décalage troposphérique relatif, induisant à son tour une erreur de la hauteur estimée du récepteur mobile. Il est conseillé à l'utilisateur du mode RTK de maintenir la station de base et le récepteur mobile à des altitudes similaires et d'éviter de faire des levés lorsque des fronts météorologiques traversent la zone d'étude. Les stratégies RTN semblent être en mesure d'atténuer la plupart des erreurs troposphériques résiduelles dues aux différences de hauteur du mobile (Edwards et alia, 2008). Il n'en demeure pas moins que l'utilisateur du RTN devrait éviter de travailler lorsqu'un front météorologique traverse la zone d'étude.

### **Erreurs ionosphériques**

L'ionosphère consiste en la partie supérieure de l'atmosphère et (à la différence de la troposphère) est dispersive (selon la fréquence). Les systèmes GNSS bi-fréquence tirent profit de la nature dispersive de l'ionosphère et sont capables, en conditions normales, de calculer et de supprimer la majeure partie des écarts. C'est pour cette raison qu'il est recommandé de procéder à des levés de terrain en mode RTK uniquement au moyen de récepteurs bi-fréquence. Il est également conseillé, avant de se rendre à la zone du projet, de consulter le Space Weather Prediction Centre (SWPC) à <http://www.swpc.noaa.gov/> de la NOAA afin de s'assurer qu'aucune perturbation ionosphérique importante (c.-à.-d. due aux taches solaires, ou éruptions solaires) n'est prévue pendant la durée du projet. De telles conditions ionosphériques peuvent avoir une incidence sur les communications, l'observation des signaux provenant des GNSS et les résultats RTK/RTN. L'utilisateur sera en mesure de mieux cerner ce genre de facteurs au fur et à mesure qu'il acquiert de l'expérience et qu'il se familiarise avec son équipement et la zone de travail.

## **4.3 Levés sur le terrain**

La section ci-dessous énumère certains aspects pratiques à prendre en compte lorsqu'on effectue des levés de terrain en mode RTK/RTN. Les aspects en question englobent divers critères de fonctionnement du récepteur mobile que l'on peut surveiller pour assurer la qualité et la précision requises, ainsi que l'application de certaines techniques permettant de garantir l'exactitude des levés par le biais de travaux de redondance, de validation et d'étalonnage.

### 4.3.1 Communications

Il est important de vérifier la qualité des communications et l'âge des corrections pendant le levé. Un positionnement RTK/RTN précis requiert qu'un ensemble de messages de correction intègres et complets soient reçus sans délai. Si les délais de transmission de correction sont supérieurs à 2 secondes ou si les communications deviennent intermittentes, la précision des coordonnées en souffrira (Henning, 2011a). En cas d'interruption des communications, on conseille à l'utilisateur de vérifier la solution en la réinitialisant et en procédant à une vérification à partir d'un point mesuré antérieurement (ou connu).

### 4.3.2 Indicateurs QC du récepteur mobile

Lorsqu'il effectue des levés de terrain en mode RTK, l'utilisateur doit bien connaître les divers indicateurs de qualité habituellement affichés par le récepteur mobile. Il se peut que les tolérances de plusieurs de ces indicateurs QC aient été configurées dans le récepteur et que le dépassement de ces valeurs donne lieu au rejet des points observés. L'utilisateur doit prendre connaissance des recommandations mentionnées à la section 4.1.1 avant de configurer le récepteur mobile. Il est conseillé de vérifier régulièrement les indications énumérées ci-dessous lorsqu'on effectue un levé :

- L'état de l'initialisation devrait demeurer à **FIXE**.
- Précision des coordonnées (valeur QC) : Il est conseillé de surveiller cette valeur afin de s'assurer que la précision horizontale et verticale est satisfaisante.
- Si cela est possible, il faudrait régler le seuil de qualité des coordonnées à un niveau légèrement inférieur à l'exactitude requise pour les levés. Il ne faut pas régler le seuil QC trop en deçà de la précision recherchée, sinon un grand nombre d'observations pourrait être rejeté. Cela aurait pour effet de prolonger inutilement les temps d'observation à chaque point (Bisnath, 2011).
- On recommande à l'utilisateur de surveiller les valeurs du rapport signal-bruit (SNR) calculées par le récepteur. L'affichage des valeurs SNR varie selon les fabricants; l'utilisateur devra donc consulter les manuels et faire appel à son expérience personnelle pour déterminer la plage normale de ce rapport. Les valeurs du rapport signal-bruit peuvent se révéler utiles pour diagnostiquer des erreurs dues à la propagation multitrajet, aux perturbations atmosphériques et les problèmes d'initialisation.

### 4.3.3 Contrôle de la qualité

Comme c'est le cas avec toute technique de mesure, il est impératif de multiplier les observations si l'on veut obtenir une solution précise et fiable. Les indicateurs de qualité du récepteur sont utiles pour signaler des problèmes potentiels à l'utilisateur, mais ce dernier doit également prendre des mesures pour réduire au minimum les erreurs aléatoires et systématiques liées aux levés de terrain RTK/RTN. Tous les points définis par le mode RTK sont des vecteurs uniques partant de la base (physique ou virtuelle) et allant au récepteur mobile. La fiabilité des résultats devrait être vérifiée au moyen d'un

contrôle de qualité. Le niveau de la vérification dépend de l'importance du point sujet au levé. Par exemple, un point d'appui de projet est bien plus important qu'un levé individuel sur un attribut topographique. Par conséquent, les procédures de contrôle de la qualité devraient tenir compte de ces circonstances (Berg, 1998).

### **Fenêtre temporelle moyenne**

La plupart des récepteurs permettent à l'utilisateur de calculer une position sur une période spécifiée (fenêtre temporelle moyenne). Des études ont révélé l'impact des fenêtres temporelles moyennes sur la précision des positions calculées (Bisnath, 2011, Edwards et alia, 2008). Les points d'appui devraient utiliser une fenêtre temporelle moyenne d'au moins 1 minute; les points topographiques, une fenêtre temporelle moyenne d'au moins 5 secondes, et ce jusqu'à l'atteinte des indicateurs QC recherchés. Dans le cas des levés topographiques, l'utilisation de cette fenêtre moyenne de 5 secondes réduit les effets de variation des solutions de coordonnées ponctuelles (Edwards et alia, 2008). Dans le cas des travaux précis, tels que l'établissement d'une station de contrôle, il est conseillé d'utiliser des fenêtres temporelles plus longues allant jusqu'à 5 minutes.

### **Réoccupation**

La fenêtre temporelle moyenne ne suffit pas à offrir une solution précise et fiable. Chaque époque de la fenêtre temporelle repose sur la même initialisation et n'est sujette qu'à des changements géométriques et atmosphériques mineurs. Pour ce qui a trait aux levés importants, il est également nécessaire de faire une nouvelle observation après un certain délai et de procéder à une nouvelle initialisation (fenêtre temporelle double). Pour tirer profit des changements de géométrie des satellites et de conditions atmosphériques, il est recommandé d'établir un délai entre fenêtres de 1 à 2 heures. Un délai de 20 minutes seulement s'est également révélé suffisant pour améliorer la précision des coordonnées de 10 à 20 % (Edwards et alia, 2008). L'autre avantage de la fenêtre temporelle double est qu'elle permet de détecter les erreurs humaines liées aux métadonnées ou à la configuration de la station. Afin de réduire la plus grande source d'erreur humaine lors des levés GNSS – c'est-à-dire l'enregistrement de hauteurs d'antenne incorrectes – il est possible de réintroduire la hauteur de l'antenne du récepteur mobile lors d'occupations multiples d'un point. Dans le cas des points d'appui, il est recommandé de prévoir au moins deux observations distinctes dans des fenêtres temporelles, en procédant à des initialisations distinctes et en prévoyant un espacement d'au moins 20 minutes.

### **Vérifications par rapport à des points d'appui connus**

Une autre étape importante à suivre lorsqu'on souhaite effectuer un levé de qualité consiste à déterminer son exactitude. Les valeurs QC du récepteur, la redondance des mesures et la fenêtre temporelle sont autant de critères utiles pour déterminer et améliorer la précision d'un levé. Il est également important de vérifier l'exactitude d'un levé pour s'assurer qu'il n'y a pas d'écart entre le levé en question et le système de référence du projet. On peut déterminer l'exactitude des levés en effectuant des vérifications par rapport à des points bien connus ou définis avec précision. Cette intégration avec des points connus permet aussi de supprimer les erreurs humaines. Il est recommandé de faire des levés de points connus après initialisation et de comparer les

coordonnées. La différence entre les coordonnées devrait satisfaire aux exigences d'exactitude du levé de terrain. Lorsqu'aucun point d'appui local n'est disponible, il est recommandé d'établir un point d'appui en exécutant une session statique et en utilisant l'une des méthodes décrites à la section 2.3.2. Il est conseillé d'examiner ces points d'appui au moins au début et à la fin du levé, et à chaque fois que les communications ou l'initialisation sont perdues. Étant donné que de nombreux types d'équipement vérifient en continu l'initialisation et la réinitialisation, il est important de faire des vérifications par rapport à des points connus aussi souvent que possible.

#### 4.3.4 Contrôle de la qualité de la station de base du RTK

Lorsqu'on effectue des levés en mode RTK, il appartient à l'utilisateur de vérifier non seulement la qualité des positions du récepteur mobile, mais également la qualité de l'installation de la station de base. La meilleure technique de vérification consiste à établir plusieurs stations de base et à mesurer en alternance la position du récepteur mobile en un point à partir de chacun des emplacements des stations de base. Cette solution permet de vérifier tous les facteurs qui entrent en ligne de compte pour déterminer chaque point : installation de la station de base, coordonnées (référence) de la station de base, configuration du récepteur mobile, hauteurs d'antenne et mesures GNSS. Cette technique offre un niveau de fiabilité élevé, mais elle est plus longue à mettre en œuvre (Berg, 1998). Si elle n'est pas pratique à mettre en place, il faut au moins suivre les recommandations relatives au contrôle de la qualité (section 4.3.3).

### 4.4 Post-traitement

#### 4.4.1 Étalonnage horizontal

Lorsqu'on effectue des levés en mode RTK/RTN, il est nécessaire de s'assurer que les coordonnées calculées sont compatibles avec le système de référence visé. Si les coordonnées ne sont pas compatibles, il est nécessaire d'adapter, de manière empirique, les levés RTK obtenus sur le terrain aux coordonnées publiées des points géodésiques. Cette adaptation est connue sous le nom de **transformation** ou **étalonnage** à l'échelle locale (MTO, 2006).

Il est recommandé de suivre les étapes ci-dessous pour garantir la compatibilité des coordonnées :

- Communiquer avec l'opérateur du RTN pour déterminer le système de référence et l'époque qu'il utilise en guise de référence.
- Si on fait des levés de terrain RTK avec une base unique, vérifier le système de référence des coordonnées des stations de base.
- Lorsque le RTN ou les coordonnées de la base correspondent au NAD83 (SCRS) mais que la version ou l'époque ne coïncide pas avec le système visé, transformer les coordonnées calculées à l'époque de la version désirée en utilisant le logiciel TRX. Le logiciel TRX est disponible auprès de la DLG/RNCan.
- <http://webapp.geod.nrcan.gc.ca/geod/tools-outils/trx.php?locale=fr>

- Après s'être assuré que les coordonnées sont à l'époque appropriée, mesurer la position RTK/RTN du plus grand nombre de points connus possible.
- Si les coordonnées publiées ne correspondent pas avec les mesures faites par rapport aux points connus, procéder à un étalonnage local. Cet étalonnage devrait utiliser au moins quatre points judicieusement répartis tout autour de la zone de projet.

Dans certains cas, il peut se révéler préférable de passer directement à la dernière étape et d'évaluer et d'appliquer des paramètres obtenus à partir d'un étalonnage pour transformer les positions RTK dans le système de référence officiel utilisé par le point d'appui connu. Cette option est parfois plus indiquée localement que celle qui consiste à appliquer une transformation fondée sur des paramètres de transformation du système de référence officiel, car il se peut qu'il y ait des écarts dans les points d'appui locaux existants (Bisnath, 2011).

#### **4.4.2 Étalonnage vertical**

S'il utilise les altitudes géodésiques déterminées dans l'époque appropriée du système NAD83 (SCRS), l'utilisateur peut les transformer en altitudes orthométriques à l'aide du modèle de géoïde hybride HT2\_0. Ce modèle permet de transformer les altitudes géodésiques du système NAD83 (SCRS) en altitudes orthométriques compatibles avec le système canadien de référence altimétrique de 1928 (CGVD28). Il faut cependant savoir que le modèle du géoïde ne tient pas compte des distorsions dans le réseau de nivellement CGVD28 et peut ne pas fournir une précision verticale suffisante pour les besoins de l'étude.

Lorsque l'utilisateur a besoin de hauteurs relatives locales afin d'établir un contrôle vertical, ou lorsque la superficie du projet de levés est grande, il sera nécessaire d'exécuter une calibration verticale. Outre l'étalonnage horizontal, il est possible de procéder à un étalonnage vertical en effectuant une localisation par rapport à au moins quatre repères de confiance. Le mieux est que ces repères forment un rectangle sur le pourtour extérieur de la zone du projet, sur un secteur le plus étendu possible (Henning, 2011a). En utilisant les hauteurs orthométriques estimées d'un minimum de quatre points de contrôle vertical, l'utilisateur peut ajuster un plan incliné à ces points et ajouter une correction aux hauteurs orthométriques estimées. La plupart des logiciels RTK commerciaux, ainsi que GPS-H de la Division des levés géodésiques de Ressources naturelles Canada, peuvent être utilisés pour le calcul et l'application de cette calibration verticale.

## **5. Récapitulatif et conclusions**

Le but du présent document est de présenter aux utilisateurs des méthodes RTK et RTN aux fins de levés de précision centimétrique un ensemble de lignes directrices concises et faciles à suivre concernant les meilleures pratiques de travail à mettre en œuvre. Le présent chapitre résume les recommandations les plus importantes. L'annexe B contient

aussi une liste de vérification qui permet de mieux cerner tous les aspects des levés de terrain.

### **Récapitulatif des recommandations**

- Se familiariser avec le système de référence dans lequel les corrections RTK/RTN sont établies.
- Vérifier la disponibilité et la stabilité des coordonnées des stations de référence RTK/RTN.
- Si une station de base est installée, établir ses coordonnées en utilisant un positionnement relatif utilisant la phase de porteuse GNSS ou un traitement SCRS-PPP.
- Planifier le projet afin de s'assurer que le mode RTK/RTN répond aux besoins du projet (une combinaison de techniques de levé pourrait se révéler plus appropriée et efficace pour satisfaire aux exigences du projet).
- S'assurer que les communications et les corrections RTK/RTN sont disponibles dans toute la zone du projet.
- Régler le récepteur mobile et la station de base comme suit :
  - angle de masquage compris entre 10 et 15 degrés;
  - PDOP comprise entre 2 et 3;
  - observation d'au moins six satellites;
  - utilisation du logiciel de planification de mission pour établir les périodes d'observation les plus favorables, maximisant le nombre de satellites disponibles;
  - utilisation de la dernière version du micrologiciel (firmware) recommandé par le fabricant;
  - enregistrement des altitudes géodésiques dans le récepteur mobile;
  - utilisation des solutions FIXES seulement;
  - réglage des valeurs QC du récepteur à un niveau légèrement inférieur à celui qui correspond aux exigences de précision du projet.
- Vérifier l'initialisation le plus souvent possible.
- Surveiller la continuité, l'intégralité, et le décalage de la réception des données RTK/RTN.
- Éviter d'effectuer de levés de terrain lorsqu'un front météorologique traverse la zone de levés.
- Consulter les prévisions météorologiques spatiales et être vigilant lorsqu'on travaille sous l'influence d'activité ionosphérique plus intense.
- S'assurer que le GNSS est interopérable avec l'équipement de différents fabricants.
- Effectuer une réinitialisation après une perte de communication et procéder à une vérification par rapport à un point connu ou à un point déjà déterminé.
- Surveiller les valeurs du rapport signal-bruit (SNR) en cours d'étude.
- Dans le cas des points de levé importants, procéder à deux observations distinctes dans une fenêtre temporelle d'au moins 1 minute avec des initialisations distinctes.
- Vérifier l'exactitude des méthodes en faisant le plus souvent possible des comparaisons avec des points connus.
- Lorsque les conditions le permettent, utiliser deux stations de base (en enregistrant des observations brutes) lorsqu'on travaille avec un RTK à base unique. Vérifier en alternance les points importants du levé à partir de deux stations de base.
- Au besoin, procéder à un étalonnage horizontal et vertical après le levé de terrain.

Le domaine des levés GNSS évolue rapidement et le présent document est appelé lui aussi à évoluer en fonction des besoins. D'ici peu, de plus en plus de systèmes et de signaux de satellites de navigation seront mis en opération (Galileo par exemple). Il sera donc nécessaire d'étoffer les recommandations énoncées ici à mesure que ces nouveaux systèmes et signaux seront intégrés à l'équipement des utilisateurs.

## RÉFÉRENCES

Aponte, J., X. Meng, C. Hill, T. Moore, M. Burbidge and A. Dodson (2009). « Quality assessment of a network based RTK GPS service in the UK », Journal of Applied Geodesy, vol. 3, pp. 25-34.

Berg, R.E. (1998). « Utilizing Real-Time Kinematic GPS for Control Surveys », Proceedings, Trimble Surveying and Mapping Users Conference, 1998. Trimble Navigation Ltd., 14 au 16 octobre, San Jose, Californie.

Berg, R.E. and T. Holliday (2011). "Precise Point Positioning Accuracy Analysis for Integrated Surveys". Ontario Professional Surveyor, Volume 54, No. 2, Spring 2011, pp. 32-37.

Bisnath, S., J. Wang, A. Saeidi, G. Seepersad (2011). « Utilization of Network RTK GPS in MTO Highway Surveys », Department of Earth and Space Science and Engineering, York University.

Crown Registry and Geographic Base (2009). « Province of British Columbia Guidelines for RTK GPS Surveys », version 1.2, novembre 2009.

Dach, R., U. Hugentobler, P. Fridez and M. Meindl (2007). Bernese GPS Software Version 5.0, Institut d'astronomie, Université de Berne.

Edwards, S., P. Clarke, S. Goebell and N. Penna (2008). « An Examination of Commercial Network RTK GPS Services in Great Britain », Newcastle University, G.-B.

Division des levés géodésiques, Ressources naturelles Canada (1992). « Directives et spécifications pour les levés avec le système de positionnement global (GPS) », version 2.1, Ottawa (Ontario).

Henning, W. (2011a). NGS Guidelines for Real Time GNSS Networks, National Geodetic Survey, version 2.0, mars 2011.

Henning, W. (2011b), NGS User Guidelines for Single Base Real Time GNSS Positioning, National Geodetic Survey, version 2.1, août 2011.

MTO (2006). « Engineering Survey Manual », ministère des Transports de l'Ontario, Bureau de la géomatique.

Odolinski, R. (2010). « Swedish User Guidelines for Network RTK ». FIG, Congress 2010, 11 au 16 avril 2010, Sydney, Australie.

Tétréault, P. and P. Sauvé (2010). CSRS-PPP: A web tool to facilitate NAD83 (CSRS) integration. Ontario Professional Surveyor. Volume 53, No. 1, Winter 2010, pp. 26-30

## Annexe A – Récapitulatif du système NAD83 (SCRS) au Canada

### Évolution du système NAD83 (SCRS) au Canada

Version (époque)	Cadre	Adoptée en	Description
V0	Original	1986-1993	Corrections horizontales
V1 (1998.0)	SCRS96	1996	Transformée de ITRF93
V2 (1997.0)	SCRS98=SCRS	1998	Transformée de ITRF96
V3 (1997.0)		2000	Transformée de ITRF97 (1 <sup>er</sup> RBC complet)
V4 (2002.0)		2002	Transformée de ITRF2000
V5 (2006.0)		2009	Transformée de ITRF2005
V6 (2010.0)		2012	Transformée de ITRF2008

### Récapitulatif de l'adoption du système NAD83 (SCRS) au Canada

Organisme	Version	Commentaires
DLG	V6.0.0 (2010.0) sur CACS/RBC	Versions mixes autres
SHC	V5.0 (2006.0)	Migration vers v6.0.0
C.-B.	V4.0.0 (2002.0)	Réseau public de l'île de Vancouver v3.0 (1997.0)
AB	V4.0.0 (2002.0) sur sous-ensemble 1140, v0 autres	
SK	V2.0.0 (1997.0)	
MB	V2.0.0 (1997.0)	Migration vers v3.0.1
ON	V3.0.1 (1997.0) sur sous-ensemble 6600, v0 autres	v6.0.0 pour 7500 imminent
QC	V2.0.0 (1997.0)	
N.-B.	V2.0.0 (1997.0) sur HPN	
Î.-P.-É.	V2.0.0 (1997.0) sur HPN, NAD27 autres	Migration vers v6.0.0
N.-É.	V3.0.0 (1997.0) sur HPN, ATS77 autres	Migration vers v6.0 pour NÉACS
T.-N.-L.	V6.0.0 (2010.0)	
Territoires	V4.0.0 (2002.0) pour levés récents	Versions mixes autres

## Annexe B – Liste de vérification utilisée sur le terrain

Article	✓ ou S.O.	Notes
<b>Planification générale</b>		
Nombre de stations à positionner		
Durée des travaux		
Nombre de récepteurs mobiles requis		
Nombre de stations de base requises		
Stratégie d'occupation du récepteur mobile		Boucles, occupations répétées, etc.
Dossiers des organismes fournisseurs de points d'appui		Stations connues dans la zone
Fiches descriptives des points d'appui		Pour localiser les stations
Utilisation requise de systèmes multiples?		GLONASS, GPS
Vérification de la disponibilité des satellites		
Vérification de la disponibilité du RTN		Le projet se trouve-t-il dans la couverture du réseau?
<b>Vérification de l'équipement avant d'aller sur le terrain</b>		
Tout le matériel de mesure est complet et en état de fonctionner		Équipement GPS
Micrologiciel et logiciel du récepteur		Station de base et récepteur mobile; radios – à jour
Tout le matériel radio est complet et en état de fonctionner		Récepteur radio, émetteur, antenne – vérifier les réglages et les communications entre les unités
Tous les accessoires ont été pris en compte et vérifiés		Trépieds, bipieds, poteaux, nivelles, embases à vis calantes, supports de montage, sacs à dos à armature, rubans à mesurer
Piles (GPS, radios, etc.)		Bon état et rechargées
Câbles (GPS, radios, etc.)		Tous les câbles sont présents et en bon état
Données du projet		Vérifiées et téléchargées dans la base et les récepteurs mobiles
Saisie des paramètres du projet		Système de référence, projection cartographique, modèle du géoïde
Réglage de la PDOP max. et de l'angle de masquage		PDOP max (2-3); Angle de masquage (10 à 15 degrés)
Réglage du nombre minimum de		GPS uniquement (6); GNSS (7-8)

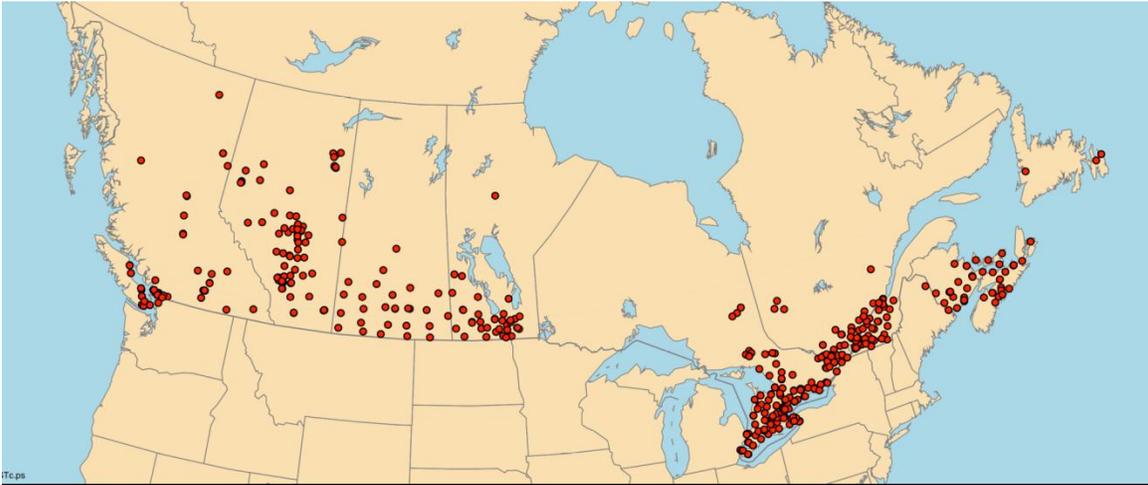
satellites suivi		
<b>Vérifications du RTN avant d'aller sur le terrain</b>		
Contact avec le fournisseur du RTN		Vérifier la mise à jour du matériel et du logiciel, le système de référence, les coordonnées de la base et d'autres paramètres du système.
Vérification du fonctionnement		S'assurer que des corrections peuvent être reçues.
<b>Vérifications sur le terrain – sélection des sites pour les stations de base</b>		
Identification et vérification de la station de contrôle		Vérifier son état, sa description, les liens avec les marques de repérage.
Visibilité du ciel		Ciel dégagé, si possible
Vérification s'il y a des sources de multitrajets		Les supprimer ou les noter, selon le cas.
Sécurité, accessibilité, autorisations des propriétaires fonciers		Site sécurisé ou supervision requise? Permission et/ou clés de portails requises? Chemin, itinéraire court/long, terrain
Installation d'un repère, monument, etc.		Au besoin, pour usage ultérieur
<b>Vérifications sur le terrain - station de base</b>		
Montage de l'antenne GPS		Antenne centrée, mise à niveau et raccordée
Batterie		Raccordée, autonomie suffisante pour le projet
Récepteur opérationnel et en mode d'observation		Vérifier le nombre de satellites observés
Vérification des réglages du récepteur		Paramètres du projet, PDOP, angle de masquage, etc.
Antenne radio		Déployée au maximum et raccordée
Radio		Reliée au GPS et en condition d'émission
Équipement sécurisé		Intempéries, animaux, vol, etc.
<b>Fonctionnement sur le terrain – récepteur mobile</b>		
HI de l'antenne du récepteur mobile		Enregistrement manuel (métrique et impérial)
Type d'antenne du récepteur mobile		Vérifier si le type d'antenne est approprié (ou utiliser NULL)
Vérification des réglages du récepteur		PDOP, angle de masquage, valeurs de QC

Enregistrement du numéro de la station et du temps d'occupation approximatif		Manuellement dans le livret technique
Surveillance des rapports QC du récepteur mobile		Garantir une vérification interne suffisante
Surveillance du délai d'initialisation		Habituellement 1 à 2 minutes dans le cas d'une solution fixe
Contrôle de la qualité de la liaison radio		
Surveillance du délai de transmission du RTK		2 secondes maximum
Surveillance de l'état de l'initialisation		Solution fixe
Surveillance des conditions météorologiques		Éviter les écarts de météo importants entre la base et le récepteur mobile
<b>Vérification des résultats</b>		
Fenêtre temporelle		Minimum 1 minute pour le contrôle et 5 secondes pour les attributs physiques/topographiques
Occupation des points connus		Vérification des contrôles connus à mieux que 3 cm en horizontal, 5 cm en vertical à 95%
Réoccupation des points en utilisant une autre base		Mieux pour la redondance
Réoccupation des points en utilisant la même base ou le même RTN		Réinitialiser à chaque fois, délai d'espacement minimum de 20 minutes, mieux que 3 cm en horizontal et 5 cm en vertical à 95 %
Vérification des conditions atmosphériques		Être attentifs aux activités météorologiques et solaires

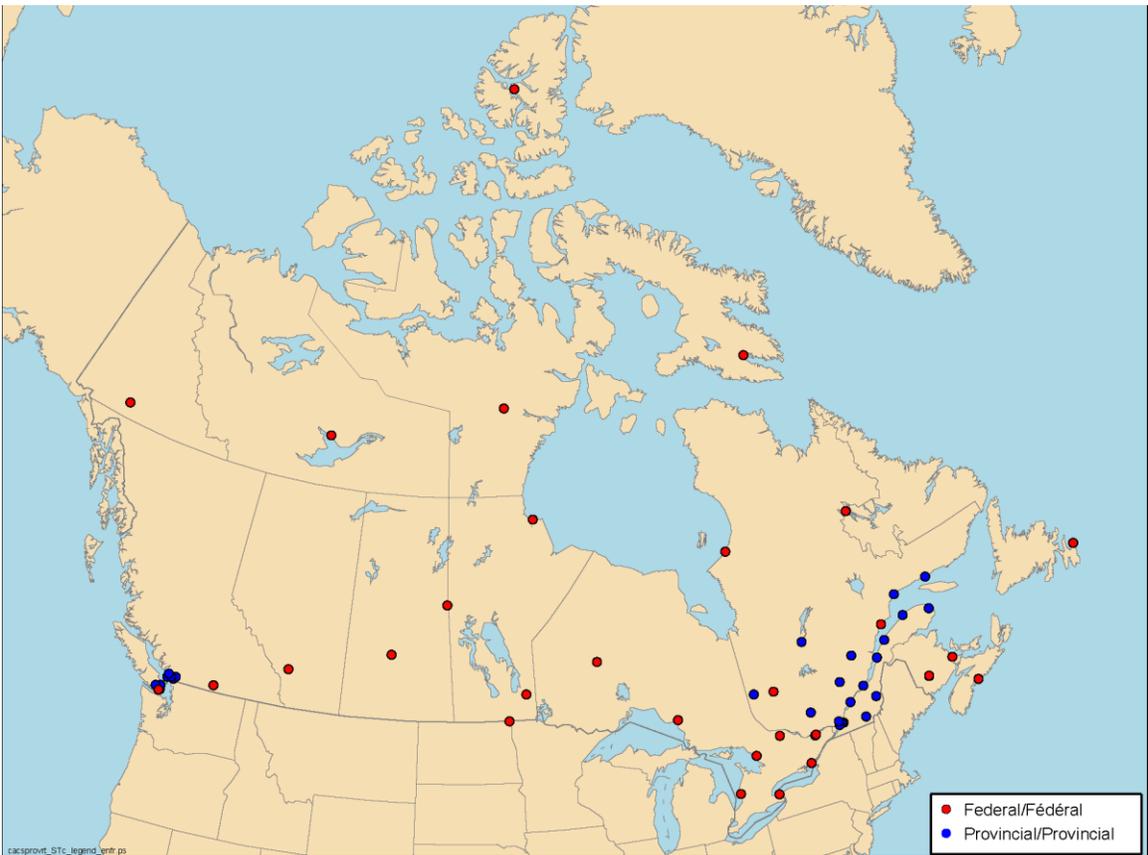
## **Annexe C – Questions à poser au fournisseur de services RTN**

1. Selon quel système de référence et pour quelle époque les corrections RTN sont-elles calculées? Les coordonnées de la station de référence ont-elles été approuvées par l'autorité gouvernementale concernée ?
2. Quel type de contrôle d'intégrité est assuré à l'égard du réseau de stations? Où puis-je trouver un rapport sur la stabilité des coordonnées?
3. Où puis-je me procurer une carte du réseau? La zone de mon projet est-elle couverte par le RTN?
4. Existe-t-il des mises à jour matérielles ou logicielles recommandées concernant mon équipement? Mon équipement est-il affecté par des problèmes d'interopérabilité?
5. Y a-t-il des zones d'interruption ou de service dégradé propres à la zone couverte par le RTN?
6. Où puis-je trouver des renseignements en temps réel sur l'état des services?

## Annexe D – Couverture RTN au Canada



**Réseaux privés en temps réel au Canada (mai 2013)**



**Stations publique en temps réel au Canada (mai 2013)**