

SYSTÈME GPS
Guide d'information
et de bonnes pratiques



SYSTÈME GPS
Guide d'information
et de bonnes pratiques

Direction des inventaires forestiers
Direction de l'assistance technique

en collaboration avec les
directions régionales du MRNFP

Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs

Décembre 2004

Réalisation

Direction des inventaires forestiers

Jean-Marie Bilodeau, ing.f., M. Sc., coordonnateur
Marcel Lamontagne, tech.f.
Patrice Caron, B. Sc. A.

Direction de l'assistance technique

Mario Blanchette, ing.f.
Bruno Canuel, tech. f.

Directions régionales du MRNFP

Gleason Gagnon, tech. f., Région 01
Sylvain Gagnon, tech. f., Région 03
Hector Hubert, tech. f., Région 07
Laurent Normandeau, tech. f., Région 06
Rosaire Tremblay, tech. f., Région 09

Collaborateurs

Isabelle Forgues, M. Sc.
Pierre Turcotte, ing.f., FERIC
Yen-Emmanuel Tran, ing.f., FERIC
Rick Reynolds, RPF, chercheur FERIC
Rock Santerre, a.-g., Ph. D.
Alain Bernard, B.Sc.A, DGIG
Yves Thériault, a.-g., M. Sc., DGIG
Julie Carrier (DIF)

Révision linguistique

Marie-France Leblanc

Pour obtenir des renseignements additionnels, veuillez communiquer avec le ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs :

Direction des inventaires forestiers

880, chemin Sainte-Foy, 3^e étage
Québec (Québec) G1S 4X4
Téléphone : (418) 627-8669, poste 4311
Sans frais : 1 877 9FORÊTS (936-7387)
Télécopieur : (418) 644-9672
Courriel : inventaires.forestiers@mrnfp.gouv.qc.ca

Direction des communications

Service aux citoyens

5700, 4^e Avenue Ouest, B 302
Charlesbourg (Québec) G1H 6R1
Téléphone : (418) 627-8600
Sans frais : 1 866 CITOYEN (248-6936)
Télécopieur : (418) 643-0720
Courriel : service.citoyens@mrnfp.gouv.qc.ca

Le texte de la présente publication est disponible dans le site **Internet** du ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs à l'adresse suivante :
<http://www.mrnfp.gouv.qc.ca/forets/connaissances/connaissances-inventaire-publications.jsp>

© Gouvernement du Québec

Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, 2004

Dépôt légal – Bibliothèque nationale du Québec, 2004

ISBN 2-550-43496-x

Code de diffusion : 2004-3039

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	1
1 NOTIONS GÉNÉRALES	3
1.1 Aperçu du système GPS	3
1.1.1 Historique	3
1.1.2 Description des composantes	4
1.1.3 Potentiel d'utilisation	5
1.2 Concepts de base.....	5
1.2.1 Types d'observations GPS	5
1.2.2 Géométrie du positionnement GPS	7
1.3 Précision du positionnement GPS.....	9
1.4 Modes opératoires.....	13
1.4.1 Modes statique et cinématique	13
1.4.2 Observations à proximité d'un couvert forestier.....	14
1.4.3 Observations sous couvert forestier	14
2 PARAMÉTRAGE	16
2.1 PDOP (≤ 8).....	16
2.2 Masque d'élévation de 10° à 15°	16
2.3 SNR : 40 % de l'échelle du manufacturier.....	16
2.4 Collecte de données 3D	16
2.5 Dictionnaire d'attributs.....	16
2.6 Modes statique et cinématique	17
3 TYPES DE RELEVÉS ET MODES OPÉRATOIRES	18
3.1 Localisation de chemins	18
3.2 Localisation de ponceaux	18
3.3 Contours d'intervention (travaux admissibles en paiement des droits)	18
3.4 Contours d'intervention (mise à jour)	18
3.5 Règlement sur les normes d'intervention dans les forêts du domaine de l'État (RNI)	19
3.6 Infractions.....	19

3.7 Placettes-échantillons, établissement et remesurage	19
3.8 Autres	19
4 RÉSULTATS DES TESTS RÉALISÉS PAR LE GROUPE DE TRAVAIL	21
4.1 Dispositif expérimental	21
4.2 Résultats	23
5 PLANIFICATION DE LA COLLECTE DE DONNÉES	25
6 TRAITEMENT DE LA DONNÉE.....	27
CONCLUSION.....	27
ANNEXE Principales caractéristiques des modèles utilisés au MRNFP	28
BIBLIOGRAPHIE.....	30

Liste des tableaux et figures

Tableau 1 Résumé des types d’erreurs inhérentes au système GPS.	11
Tableau 2 Ordre de grandeur de la précision horizontale du positionnement en fonction du mode opératoire.....	13
Tableau 3 Paramètres recommandés.....	17
Tableau 4 Recommandations sur les modes opératoires	20
Tableau 5 Résultats des tests réalisés sous couvert forestier	23
Figure 1 Pseudodistance et phase de la porteuse	6
Figure 2 Principe de trilatération spatiale	7
Figure 3 Illustration d’un bon et d’un mauvais DOP.....	9
Figure 4 Positionnement relatif.....	10
Figure 5 Exemple de comparaison entre le relevé GPS et le contour étalon.....	22
Figure 6 Planification d’une session de collecte de données.....	26

INTRODUCTION

À différentes reprises, la Division du support géomatique régional de la Direction des inventaires forestiers de même que la Direction de l'assistance technique ont reçu de la part des directions régionales des demandes concernant l'utilisation en foresterie du système GPS (Global Positioning System). En 2003, la Table des répondants géomatiques régionaux a mandaté la Division du support géomatique régional pour organiser un atelier sur l'utilisation de ce système en milieu forestier. Un groupe de travail, composé de représentants des directions régionales ainsi que des directions des inventaires forestiers et de l'assistance technique a été formé pour élaborer le contenu de cet atelier.

La première démarche du groupe de travail a été de déterminer les différentes applications et utilisations du système GPS en cours au ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs (MRNFP) :

- atelier sur le système GPS pour les directions régionales;
- volet sur le GPS dans la Norme d'échange numérique du plan d'interventions forestières et, éventuellement, dans celle du rapport annuel d'interventions forestières;
- norme quant au GPS en cours de rédaction à la Direction de l'assistance technique;
- norme d'utilisation du GPS à la Division sondage (DIF).

De plus, une brève consultation a mis en lumière les nombreux usages que font les différentes directions du système GPS. Il en ressort qu'il n'existe pas d'uniformité quant au choix de la technologie selon les différentes applications courantes.

Le groupe de travail a également réalisé une série de tests dans le but de comparer les différentes précisions obtenues selon les principaux modèles présentement utilisés dans les directions régionales. Les résultats de ces tests ont permis au groupe de travail de faire des recommandations d'utilisation selon la précision nécessaire à une réalisation donnée.

L'atelier a eu lieu au mois de janvier 2004 et on y a réuni plus de 100 utilisateurs, principalement des directions régionales. Lors des discussions en sessions de travail, ces utilisateurs ont fait ressortir le besoin d'avoir, dans un seul document, les principales notions théoriques traitant de la technologie GPS et la précision des principaux modèles utilisés en région. De plus, ce document les guiderait quant aux choix des méthodes d'utilisation leur permettant d'atteindre les précisions nécessaires selon la tâche qu'ils ont à réaliser.

Ainsi, *SYSTÈME GPS Guide d'information et de bonnes pratiques* vise à orienter les utilisateurs GPS du MRNFP sur le choix de la technologie à utiliser afin qu'ils atteignent les précisions nécessaires à l'exercice de leur fonction. Le document comprend des notions théoriques, des recommandations sur le paramétrage du GPS ainsi que sur les modes opératoires, des résultats sur les tests effectués et une description des principaux modèles utilisés au MRNFP.

Il est à noter que les recommandations d'utilisation sont basées sur l'expérience du personnel ayant participé à l'atelier ainsi que sur les tests que le groupe de travail a réalisés. Il est important de souligner que certains tests ont démontré que des technologies présentaient un potentiel d'utilisation intéressant (par exemple le système WAAS). Toutefois, d'autres tests devront être réalisés afin de préciser des pistes d'amélioration dans l'utilisation de ce système. En collaboration avec FERIC, le groupe de travail planifie des travaux de ce type durant les mois à venir.

Afin que le guide soit plus facile à consulter, un encadré comme celui-ci est inséré dans chacun des chapitres et présente les éléments importants de celui-ci.

1 NOTIONS GÉNÉRALES¹

Le système GPS a déjà révolutionné beaucoup de domaines liés à la navigation, à la localisation et au positionnement. Toutes les disciplines de la géomatique (géodésie, photogrammétrie, télédétection, cartographie et système d'information à référence spatiale) profitent pleinement de cette technologie. Les forestiers, par leurs fréquents besoins en référence spatiale, y ont trouvé un outil puissant et abordable qui les aide dans la saine gestion du territoire et de la ressource.

Le principal objectif de ce chapitre est de présenter les concepts essentiels à la compréhension du système GPS et de faire connaître son potentiel d'utilisation en foresterie.

1.1 Aperçu du système GPS

1.1.1 Historique

Le système GPS se compose d'une constellation de 24 satellites. Cette constellation a été complétée en 1993 au coût de dix milliards de dollars américains.

Le premier satellite artificiel mis en orbite autour de la Terre, Sputnik 1, a été lancé en octobre 1957 par l'Union soviétique. Cet événement marquant a donné le départ d'une course effrénée à la conquête de l'espace. En effet, dès le début des années 1960, un système de navigation par satellites (couramment appelé système Transit) était déjà exploité par la marine américaine.

Quant à lui, le système GPS a été conçu par le département de la Défense des États-Unis au début des années 1970. Les quatre premiers satellites prototypes ont été lancés en 1978. Une constellation de 24 satellites opérationnels a été complétée en 1993. Le coût de l'opération se chiffrait alors à quelque dix milliards de dollars américains. Aujourd'hui, un système russe (GLONASS) est en opération. Un système de positionnement européen (Galileo) est également en élaboration.

1. Le contenu de ce chapitre provient du texte *Utilisation du système de positionnement GPS en foresterie* inclus dans le *Manuel de foresterie*. L'accord des auteurs et des Presses de l'Université Laval a été obtenu pour cette reproduction. Seuls quelques éléments ont été modifiés ou ajoutés pour fins d'actualisation et d'uniformisation.

1.1.2 Description des composantes

Le système GPS comprend 3 composantes principales :

- la composante spatiale constituée de 24 satellites en orbite autour de la Terre (ces 24 satellites sont répartis sur 6 plans orbitaux inclinés de 55° par rapport à l'équateur. Ils orbitent à une altitude de 20 000 km et ont une période de révolution de 11 h 58.);
- la composante de contrôle formée de 5 stations de poursuite au sol (les stations de poursuite ont pour principale fonction de calculer la position des satellites, information qui est par la suite transmise aux récepteurs.);
- la composante usager qui comprend les récepteurs mobiles.

Les 24 satellites sont des satellites NAVSTAR (NAVigation Satellite Timing And Ranging). Ils sont répartis sur six plans orbitaux (quatre par plan) dont l'inclinaison est de 55° par rapport à l'équateur terrestre. Ils orbitent à une altitude de 20 000 km au-dessus de la surface terrestre (soit trois fois le rayon de la Terre), ce qui leur confère une période de révolution de 11 h 58. La même configuration de satellite se présente donc quatre minutes plus tôt chaque jour. L'altitude élevée à laquelle orbitent les satellites permet à des utilisateurs très éloignés (plusieurs centaines de kilomètres) de capter simultanément les signaux des mêmes satellites. Aux latitudes du Québec, un satellite passe, au maximum, six heures au-dessus de l'horizon local, entre son lever et son coucher. Au minimum, 4 satellites (parfois même 12) sont toujours disponibles en tous points du globe, 24 heures par jour, indépendamment des conditions météorologiques.

Les stations de poursuite de la composante de contrôle ont pour principale fonction de calculer la trajectoire des satellites. Au nombre de cinq, ces stations sont situées sur les îles d'Ascension (océan Atlantique), de Diego Garcia (océan Indien), de Kwajalein et d'Hawaii (océan Pacifique) ainsi qu'à Colorado Springs (station maîtresse). Les stations de poursuite sont équipées, entre autres, de récepteurs GPS stationnés sur des points géodésiques dont les coordonnées sont précisément connues. Les observations recueillies permettent de calculer la position des satellites sous forme d'éphémérides. Cette information est communiquée aux satellites et mise en mémoire de leur ordinateur de bord, pour être par la suite rediffusée aux utilisateurs, par les signaux émis par les satellites eux-mêmes.

Enfin, la composante usager comprend les récepteurs. Ces récepteurs passifs ne font que recevoir les signaux transmis par les satellites. Ils ont pour fonctions de mesurer des distances entre l'antenne réceptrice et les satellites émetteurs, de décoder les messages radiodiffusés qui contiennent les éphémérides servant aux calculs de la position des satellites au temps d'observation, et de calculer la position de l'utilisateur. Plusieurs types de récepteurs offrent des fonctions de navigation et la possibilité d'enregistrer les coordonnées calculées et les observations. Mentionnons qu'il n'y a pas de frais inhérents à l'utilisation des signaux GPS (exception faite de l'achat ou de la location des récepteurs).

1.1.3 Potentiel d'utilisation

Grâce au système GPS, la position tridimensionnelle d'un utilisateur peut être calculée. La vitesse et la direction du mouvement d'un récepteur mobile peuvent aussi être déterminées.

Avec le système GPS, la position tridimensionnelle (latitude, longitude et altitude) d'un utilisateur peut être calculée, de manière continue et instantanée, en tout endroit sur Terre. Lorsqu'un récepteur GPS est mobile, sa vitesse et la direction de son mouvement peuvent être également déterminées. De plus, le système GPS fournit de l'information temporelle, c'est-à-dire qu'un utilisateur peut associer un indicateur de temps à toutes les informations qui sont recueillies ou à tous les événements qui se produisent lors de levés de terrain.

Conçu à l'origine pour des fins de navigation militaire, le système GPS a vite été utilisé pour des fins de localisation et de positionnement tant civiles que militaires. Le système GPS est une solution potentielle à presque toutes les applications nécessitant une référence spatiale (coordonnées) telles que la géodésie, l'hydrographie, la gestion de flottes de transport, la circulation aérienne, la foresterie, et bien d'autres encore.

Avant de décrire les principales utilisations du système GPS en foresterie, il est primordial de connaître les concepts de base du positionnement GPS. La prochaine section traite des types d'observations, de la géométrie et de la précision du positionnement GPS en fonction de la méthodologie utilisée.

1.2 Concepts de base

1.2.1 Types d'observations GPS

En foresterie, on utilise la mesure de pseudodistance, c'est-à-dire que l'on évalue la distance entre le récepteur et le satellite. En observant quatre satellites, on peut ainsi calculer une position en 3D (x, y, z et synchronisation de l'horloge du récepteur). Des observations en 2D, c'est-à-dire que l'on n'utiliserait que trois satellites (x, y et synchronisation de l'horloge du récepteur), amènent une perte de précision non négligeable.

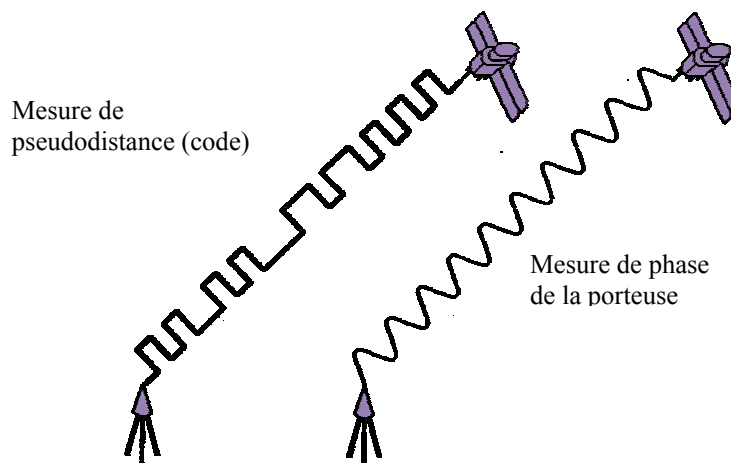
Les signaux dans lesquels l'armée américaine introduisait volontairement des erreurs ne sont actuellement plus brouillés.

Les satellites NAVSTAR transmettent leur information sur deux ondes porteuses appelées L1 à 1,6 GHz et L2 à 1,2 GHz, dont les longueurs d'onde sont de 19 et 24 cm, respectivement. L'onde porteuse L1 est modulée par deux codes (C/A : *Clear/Access* ou *Coarse/Acquisition* et P : *Precise* ou *Protected*) et par un message contenant entre autres les éphémérides. Il est à noter que le code Y, qui est une modification du code P, est exclusivement relié aux opérations militaires. Pour sa part, l'onde porteuse L2 n'est pas modulée par le code C/A. La fréquence des ondes porteuses et la séquence des codes sont régies par des horloges atomiques à bord des satellites. À cause de la fréquence des ondes porteuses, les signaux GPS sont arrêtés ou atténués par des obstacles tels que les édifices, les montagnes, les arbres. Il y a trois types d'observations GPS possibles : les mesures de

pseudodistance, les mesures de phase de l'onde porteuse et les mesures de fréquence Doppler.

La mesure de pseudodistance est, en termes simples, une mesure du temps de propagation requis pour qu'une marque horaire transmise par un satellite atteigne le récepteur sur Terre. Ces marques horaires sont codées sur les ondes porteuses par la technique de modulation de phase, telle que cela est illustré à la figure 1.

Figure 1 Pseudodistance et phase de la porteuse



Afin qu'un récepteur puisse reconnaître le satellite observé, chaque satellite transmet un code qui lui est propre. Une réplique de la séquence du code est générée par le récepteur en même temps qu'au satellite. Le décalage que doit subir la réplique afin de coïncider avec le code reçu correspond au temps de propagation qu'a pris le signal pour parcourir la distance satellite-récepteur. Cette différence de temps multipliée par la vitesse de la lumière dans le vide (environ 300 000 km/s) donne une mesure de distance. Cette mesure est faussée entre autres par la propagation de l'onde dans l'atmosphère ainsi que par les erreurs de synchronisation entre les horloges du satellite et du récepteur. Une erreur de 1/1000 de seconde représente une erreur de distance de 300 km. Pour ces raisons, cette mesure de distance est appelée pseudodistance.

Avant mai 2000, l'armée américaine introduisait volontairement des erreurs dans les éphémérides et des variations dans la fréquence nominale des horloges des satellites. Ce dispositif de sécurité se nomme la disponibilité sélective (SA [*selective availability*]). Il avait pour but de restreindre l'accès au plein potentiel du GPS. Avec ce dispositif, alors que la précision du positionnement horizontal est de ± 100 m, la précision verticale est de ± 150 m, 95 fois sur 100. Depuis mai 2000, l'armée américaine ne brouille plus les signaux satellites et, théoriquement, ne les brouillera plus. Cela permet donc une précision de beaucoup supérieure aux conditions d'observation lors de brouillage des signaux. Plus loin dans le guide, les différentes précisions possibles en fonction des différents modes opératoires sont expliquées.

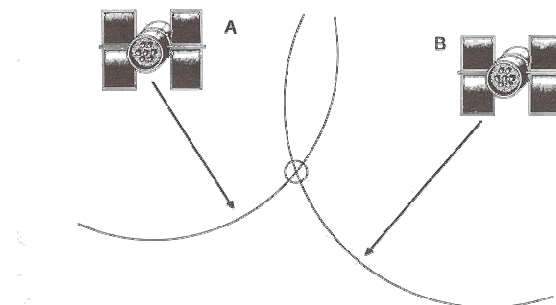
La mesure de phase de l'onde porteuse consiste à comparer la phase de l'onde reçue au récepteur avec la phase d'une onde générée par celui-ci. Cette mesure de phase est multipliée par la longueur d'onde de l'onde porteuse (λ) pour la convertir en mètres. Malheureusement, le nombre entier de longueur d'onde initial contenu dans la distance récepteur-satellite n'est pas mesurable par le récepteur. Cette inconnue est appelée l'ambiguïté de phase initiale. Par contre, le récepteur est à même de compter le nombre entier de cycles (ainsi que la partie fractionnaire) cumulé depuis l'époque (ou le temps) d'observation initiale, s'il n'y a pas d'interruption dans la réception du signal. Les interruptions provoquent des sauts de cycle et sont principalement causées par les obstacles (édifices, montagnes, arbres...) entre les satellites et le récepteur. C'est pourquoi la mesure de phase ne peut être utilisée en milieu forestier.

La mesure de fréquence Doppler est la différence entre la fréquence reçue et la fréquence nominale de transmission causée par le mouvement relatif entre le satellite et le récepteur. Cette mesure est surtout utilisée pour déterminer la vitesse instantanée de récepteurs mobiles et pour détecter et corriger les sauts de cycle potentiellement présents dans les mesures de phase.

1.2.2 Géométrie du positionnement GPS

Le positionnement GPS est basé sur le principe de la trilatération spatiale. Prenons l'exemple d'un levé planimétrique (en 2D) tel qu'il est utilisé en topométrie. La mesure de distance effectuée depuis un point inconnu vers deux points dont les coordonnées sont connues permet de calculer les coordonnées du point inconnu, puisqu'il se trouve à l'intersection des deux cercles centrés sur les points connus (voir la figure 2). Les rayons des cercles sont donnés par la mesure des deux distances. Seuls deux points correspondent aux équations des deux cercles, l'un de ces deux points peut être rejeté puisqu'il est trop éloigné des coordonnées approchées du point à déterminer.

Figure 2 Principe de trilatération spatiale



En positionnement spatial, l'espace tridimensionnel oblige l'utilisateur à effectuer une mesure de distance sur trois points dont les coordonnées sont connues. La position recherchée se trouve à l'intersection de trois sphères. Chacune des sphères étant centrée à

la position connue du satellite (calculée avec les éphémérides) au moment de la mesure de distance. Les rayons des sphères correspondent aux mesures de distance. Dans la pratique, puisque les mesures de distance sont affectées par les erreurs d'horloge, une mesure de distance simultanée sur un quatrième satellite permet de résoudre les quatre inconnues que sont les coordonnées tridimensionnelles et l'erreur d'horloge du récepteur. L'erreur d'horloge du satellite est corrigée à l'aide des termes correctifs transmis dans le message radiodiffusé par les satellites eux-mêmes. Si plus de quatre satellites sont observés, la précision et la fiabilité du positionnement sont plus élevées.

Les coordonnées tridimensionnelles obtenues sont exprimées dans le système de coordonnées utilisé pour le calcul des positions des satellites. Ce système de coordonnées est le WGS-84 (World Geodetic System de 1984). Le WGS-84 est pratiquement équivalent au système NAD-83 (North American Datum de 1983) adopté pour tout le continent nord-américain depuis 1990. Les coordonnées GPS sont donc uniformes et compatibles avec les coordonnées des points géodésiques et les cartes topographiques. Par contre, l'altitude obtenue du système GPS est mesurée au-dessus de l'ellipsoïde de référence (altitude géodésique), et non par rapport au niveau moyen des mers (altitude orthométrique, telle qu'elle est obtenue avec le nivellement géométrique). Au Québec, la différence entre le niveau moyen des mers et l'ellipsoïde de référence (différence aussi appelée ondulation du géoïde) peut atteindre une quarantaine de mètres.

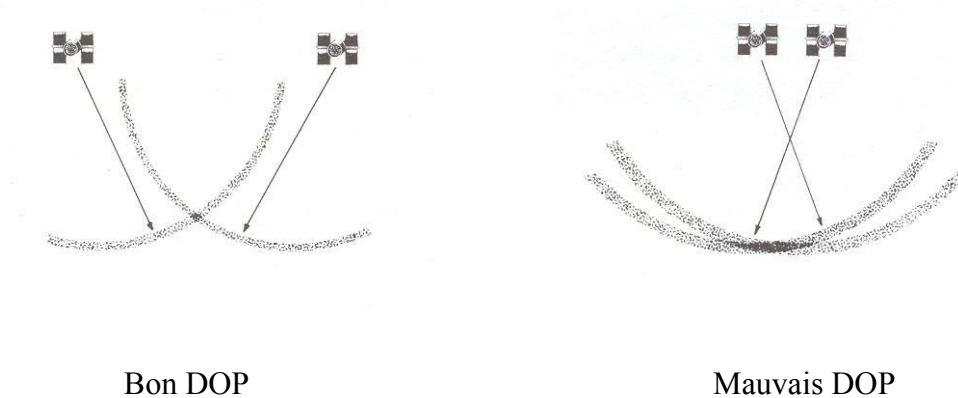
Le DOP (dilution of precision) consiste en une évaluation de la géométrie des satellites observés. Un DOP inférieur ou égal à 6 est considéré comme précis, alors qu'un DOP supérieur à 6 entraîne une perte de précision.

Du point de vue géométrique, si les intersections des sphères se font à angles trop aigus ou trop obtus, la qualité du positionnement sera compromise (voir la figure 3). En clair, il ne suffit pas seulement de mesurer des distances sur un minimum de quatre satellites. De plus, la distribution des satellites par rapport au site d'observation doit être favorable. Des satellites bien répartis dans le ciel (bonne géométrie) est une situation préférable à celle où les satellites se retrouvent tous dans une même portion du ciel (faible géométrie). La constellation des satellites GPS a été conçue dans le but de répondre à ce critère. Cependant, si des obstacles au-dessus du site d'observation ne permettent pas la réception des signaux de satellites dans certaines directions du ciel, la géométrie de la trilatération peut poser problème. La dégradation de précision géométrique (GDOP [*geometrical dilution of precision*]) est un paramètre qui permet de quantifier l'impact de la configuration des satellites. Ce paramètre indique dans quelle proportion les erreurs de mesures de distance se propagent dans les inconnues à résoudre (coordonnées et paramètre d'horloge). Le GDOP indique l'effet de la configuration des satellites sur la précision du positionnement instantané.

Le GDOP peut être segmenté, par exemple selon la position tridimensionnelle (PDOP), la composante horizontale (HDOP) et la composante verticale (VDOP). La constellation des satellites GPS a été conçue de façon que le PDOP n'excède que très rarement une valeur de 6, lorsqu'il n'y a pas d'obstacle pour masquer les signaux des satellites. À l'aide des positions approchées des satellites calculées avec les almanachs, il est possible de prédire

dans le temps les valeurs des DOP pour un site d'observation donné. Il est important de noter que les prédictions des DOP doivent tenir compte des obstacles aux sites d'observation et du nombre de satellites pouvant être captés simultanément par les récepteurs utilisés. D'une façon générale, un PDOP de 6 ou moins est considéré comme bon. À l'inverse, un PDOP supérieur à 6 détériore la qualité du positionnement.

Figure 3 Illustration d'un bon et d'un mauvais DOP



1.3 Précision du positionnement GPS

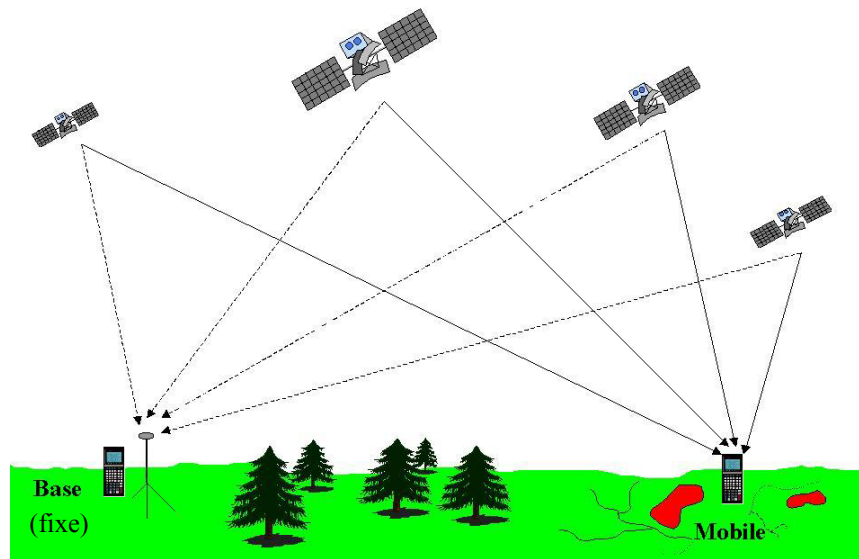
La précision du positionnement GPS est influencée par des erreurs de transmission dans l'ionosphère et la troposphère, des erreurs des satellites, d'horloges et des multitrajets. On peut observer en mode absolu, c'est-à-dire avec un seul récepteur. Toutefois, le mode relatif, utilisé en observant simultanément un mobile et une base dont on connaît précisément les coordonnées, permet de corriger les erreurs de la majorité des facteurs mentionnés ci-dessus. Cette correction différentielle peut s'effectuer en temps réel ou en post-traitement.

Le type de positionnement dont il a été question jusqu'à présent était effectué à l'aide d'un seul récepteur. Ce type de positionnement se nomme positionnement absolu, puisque seules les observations recueillies par un récepteur contribuent à la détermination de sa position. La précision théorique du positionnement absolu pourrait être d'environ 10 à 20 m avec la mesure de code.

Un moyen efficace permettant de réduire l'effet des différentes erreurs liées au GPS est le positionnement relatif (voir la figure 4). Le principe consiste à recueillir simultanément des observations à un récepteur localisé à une station de référence dont les coordonnées sont connues. Les mesures de distance sont comparées aux distances théoriques calculées à partir des coordonnées connues de la station et des satellites. Ces différences de distance représentent les erreurs de mesure et sont calculées pour chaque satellite à chaque époque d'observation. Par la suite, ces différences de distance deviennent des termes correctifs

(aussi appelés corrections différentielles) qui sont appliqués aux mesures de distance recueillies par le récepteur mobile. De cette façon, les erreurs d'observation communes de la station de référence et du récepteur mobile sont éliminées. Les erreurs sont d'autant plus identiques que les deux récepteurs sont plus rapprochés.

Figure 4 Positionnement relatif



La précision du positionnement relatif (avec des mesures de pseudodistance) est de l'ordre de 2 à 10 m en milieu forestier. Des observations en milieu découvert sans obstacle donnent théoriquement une précision de l'ordre de 1 à 5 m. Cette précision est fonction de la précision des mesures de pseudodistance, de la géométrie, de la configuration des satellites et de l'espacement entre les récepteurs, espacement qui peut facilement aller jusqu'à quelques centaines de kilomètres. Il est important de mentionner que les corrections différentielles ne doivent pas être appliquées aux coordonnées, sauf si les mêmes satellites sont observés par les deux récepteurs. Les corrections différentielles peuvent être appliquées à plus d'un récepteur mobile, et l'intervisibilité entre les récepteurs n'est pas requise.

Le positionnement relatif réduit plusieurs erreurs inhérentes au système GPS, comme le démontre le tableau 1. Malheureusement, le positionnement relatif (corrections différentielles) n'élimine pas les multitrajets, puisque les conditions propices aux réflexions des signaux, sur des surfaces réfléchissantes à proximité des antennes, ne sont pas les mêmes d'un site à l'autre. L'interférence à l'antenne, entre l'onde directe qui arrive du satellite et l'onde du même satellite qui est réfléchi, cause une erreur dans la mesure de la distance satellite-récepteur. Cette erreur peut atteindre plusieurs mètres pour les mesures de pseudodistance et quelques centimètres pour les mesures de phase. L'utilisation d'un

masque d'élévation diminuera la réception des multitrajets, toutefois sans les éliminer complètement.

Un masque d'élévation consiste à limiter la réception au-delà d'un certain angle. Cette technique permet d'exclure de la réception les ondes qui arrivent au-dessous d'un angle donné par rapport à l'horizontale. Il est toutefois à noter qu'un masque d'élévation trop grand peut exclure la réception de certains satellites.

Tableau 1 Résumé des types d'erreurs inhérentes au système GPS

Erreur	Solution
Orbite satellite	Mode relatif
Horloge satellite	Termes correctifs radiodiffusés, mode relatif
SA	Mode relatif
Ionosphère	Mode relatif, récepteurs bi-fréquence
Troposphère	Mode relatif, modèle fonction des conditions météo
Multitrajets	Surfaces réfléchissantes à proximité des antennes à éviter, sélection des antennes, masque d'élévation
Horloge du récepteur	<ul style="list-style-type: none"> • Paramètre intervenant directement dans le calcul de la position • En général, plus les récepteurs sont dispendieux, plus l'horloge est précise
Bruit pseudodistance (SNR [<i>signal-to-noise ratio</i>])	Redondance d'observations, filtrage avec mesures de phase

Lorsque la précision du positionnement relatif est nécessaire en temps réel (par exemple, pour la navigation), un lien de communication radio-électrique (VHF, UHF, téléphonie cellulaire...) doit être établi pour assurer la transmission des termes correctifs. Un organisme appelé RTCM (Radio Technical Commission for Maritime Services) a établi un protocole de communication de corrections différentielles en temps réel, protocole appelé RTCM-104. Dans les autres cas, les corrections peuvent être appliquées en post-traitement (en temps différé), pourvu que les observations brutes aient été préalablement enregistrées. Un tel format d'échange de données entre récepteurs de fabricants différents a été mis sur pied par des géodésiens. Ce format s'appelle RINEX (Receiver INdependent EXchange format).

Pour effectuer la correction différentielle, le MRNFP s'est doté d'un réseau de bases qui couvrent l'ensemble du territoire québécois. Les données en provenance de ces stations sont disponibles dans son Intranet.

Le système WAAS permet une correction différentielle en temps réel avec certains récepteurs qui en reconnaissent le signal. Toutefois, comme le satellite qui en émet le signal se situe à l'équateur et que les stations se trouvent aux États-Unis, les conditions nordiques et celles sous couvert forestier ne sont théoriquement pas favorables à son utilisation. Au cours des prochains mois, le MRNFP effectuera des tests complémentaires afin de valider les possibilités du système WAAS, avec des récepteurs équipés d'une technologie qui permet, en cas de perte de signal, de maintenir une correction différentielle pendant 45 minutes. Cette technique permet un meilleur positionnement parce que les algorithmes utilisés permettent de prévoir les variations dans les erreurs (ionosphérique, horloge et trajectoire des orbites) pendant une perte de signal. Dans le présent document, quand nous mentionnerons cette technologie, nous parlerons WAAS simulé pendant plus de 45 minutes (avec anticipation de variations dans les erreurs).

Depuis mars 2003, le système WAAS (Wide Area Augmentation System) a été mis en place pour la navigation aérienne américaine. Le principe du WAAS consiste en la réception de signaux permettant la correction différentielle en temps réel par l'entremise d'un satellite géostationnaire (donc, situé à l'équateur). Vingt-cinq stations américaines transmettent les informations sur la correction à appliquer au satellite. Ce dernier émettant les signaux qui sont véhiculés sur la fréquence L1, plusieurs modèles de récepteurs peuvent les capter et effectuer des corrections différentielles en temps réel. Ces caractéristiques permettent donc à l'utilisateur d'obtenir des observations plus précises en temps réel sans avoir recours à la communication radio, communication généralement nécessaire pour des corrections en temps réel. Lors de tests réalisés par le groupe de travail, groupe qui a réalisé ce guide, de bons et de moins bons résultats ont été obtenus sous couvert forestier. En effet, le couvert forestier constitue un obstacle qui nuit à la réception des signaux du WAAS, ce qui amène des erreurs reliées au mode de positionnement absolu. Par contre, les différents modèles de récepteurs GPS ne gèrent pas tous le WAAS de la même façon. Dans certains cas, « l'âge » de la correction est de 4 minutes, alors que dans d'autres cas, elle peut aller jusqu'à 45 minutes. Le WAAS fonctionne actuellement avec des stations américaines, mais l'administration de l'aviation fédérale américaine vise à étendre le réseau de stations au sol à la grandeur de la planète.

Au Canada, les gouvernements provinciaux et fédéral ont conçu le système CDGPS (Carrier-Phase Differential Global Positioning System). Ce système est semblable au système WAAS et a été mis en fonction en octobre 2003. La fréquence est différente du GPS, et c'est pourquoi il faut une radio pour ajuster le CDGPS à un récepteur GPS. Théoriquement, l'onde est plus forte et doit donner de meilleurs résultats en milieu forestier. Toutefois, le CDGPS a été peu testé sous couvert forestier².

2. Au cours des prochains mois, il est prévu que le MRNFP réalise ou coordonne des tests complémentaires concernant l'utilisation du WAAS et du CDGPS.

1.4 Modes opératoires

1.4.1 Modes statique et cinématique

Le GPS peut être utilisé en mode statique, c'est-à-dire que l'on cumule des observations sur un point fixe. Il peut également être utilisé en mode cinématique, c'est-à-dire que l'on observera une série de points en se déplaçant. La fréquence des observations est alors guidée par des distances (ex. : une observation tous les 10 m) ou par des périodes de temps déterminées (ex. : une observation par seconde). On peut également collecter des données qui seront représentées en entités ponctuelles, linéaires ou polygonales.

Lorsque le récepteur est au repos, le positionnement est dit statique; quand le récepteur est en mouvement, on parle de positionnement cinématique. L'avantage du positionnement statique est que le nombre de mesures recueillies sur une même station devient bien supérieur au nombre d'inconnues à résoudre, d'où une plus grande précision du positionnement. C'est ce qui est appelé une solution cumulée, puisque les observations sont cumulées pour calculer une position unique. En mode cinématique, trois nouvelles coordonnées doivent être estimées à chaque époque d'observation. Dans ce dernier cas, une solution doit être calculée à chaque époque d'observation, d'où le terme *solution instantanée*. En mode cinématique, on récoltera des observations selon une distance parcourue ou selon un intervalle de temps déterminé. Enfin, on parlera de mode semi-cinématique lorsque le récepteur est configuré en mode cinématique mais que l'on active ou désactive la fonction « pause » pour faire des observations à des endroits précis

L'opération des récepteurs GPS est simple et ne cause pas de difficultés importantes. Cependant, la principale difficulté pour l'utilisateur est de pouvoir sélectionner l'équipement et le mode opératoire qui permettront d'atteindre la précision désirée à moindre coût en ce qui concerne tant la location ou l'achat de l'équipement que le temps d'exécution des levés et du traitement des données. En d'autres mots, il est important de bien définir ses besoins et de sélectionner la meilleure méthodologie pour les combler. Le tableau 2 contient quelques exemples de modes opératoires et l'ordre de grandeur de la précision du positionnement pouvant être atteinte dans différentes conditions d'observation. Les résultats sont basés sur la littérature et sur les tests réalisés par le groupe de travail.

Tableau 2 Ordre de grandeur de la précision horizontale du positionnement en fonction du mode opératoire

Positionnement	Observation	Durée	Précision horizontale
Absolu (milieu forestier)	Pseudodistance	Instantanée	10-20 m
Relatif (milieu forestier)	Pseudodistance	Instantanée	2-10 m
Relatif (milieu dégagé)	Phase (ambiguïtés résolues)	5-10 minutes	1-5 cm

Les deux premiers exemples du tableau 2 traitent du positionnement en modes absolu et relatif avec les mesures de pseudodistance. L'autre exemple est relié à l'utilisation des mesures de phase.

Notons qu'en général, la précision de l'altitude est environ deux fois moins grande que la précision des coordonnées horizontales.

1.4.2 Observations à proximité d'un couvert forestier

Les signaux satellites sont influencés, voire bloqués par différents obstacles comme le couvert forestier. Donc, lors d'observations sous couvert ou à proximité d'un couvert, il faut que l'utilisateur soit vigilant afin d'avoir une bonne réception. Dans ce contexte, l'utilisation d'une antenne externe et d'un récepteur comportant un nombre élevé de canaux favorisera une meilleure réception.

L'utilisation de récepteurs GPS à proximité d'un couvert forestier, comme pour la détermination de contours de traitements sylvicoles ou la localisation de sentiers, peut présenter une certaine problématique. Il faut donc que l'utilisateur soit vigilant pour effectuer une bonne collecte de données.

En général, l'obstacle que représente le couvert forestier peut être minimisé par l'utilisation de récepteurs possédant une bonne quantité de canaux. Avec ces options, un plus grand nombre de satellites peuvent être suivis. L'utilisateur peut également obtenir plus d'observations avec une bonne géométrie des satellites. Avec certains modèles de récepteur, un signal sonore qui avertit l'utilisateur de la perte des signaux des satellites permet à ce dernier de pallier ce problème, soit en diminuant la vitesse de déplacement, soit en effectuant du positionnement statique pendant quelques instants.

1.4.3 Observations sous couvert forestier

Les observations sous couvert forestier présentent assurément plusieurs limitations. Il a été démontré expérimentalement que le couvert forestier nuit à la réception des signaux GPS. Une étude effectuée par Deckert et Bolstad (1994) démontre que des observations effectuées sous couvert forestier de feuillus ont été plus précises que des observations similaires sous couvert de résineux. D'autres études ont démontré que le taux d'humidité du feuillage (à l'intérieur du feuillage et sur celui-ci) influence également la qualité de la réception du signal. À ce jour, aucune étude systématique n'a clairement défini la relation exacte entre la nature, la densité et le taux d'humidité du couvert forestier et la qualité de réception des signaux.

Il est cependant permis d'affirmer qu'il est possible d'effectuer des observations GPS sous couvert. Ici, le mode statique favorise grandement une meilleure précision. Des études montrent l'obtention de solutions de positionnement à près de 5 m de précision, après deux minutes d'observation, et ce, même sous des densités de couvert très élevées. Il est donc

possible de localiser des placettes-échantillons ou de déterminer des points sur le contour d'éclaircie précommerciale.

Les observations sous couvert ayant des conditions très particulières (interruption des signaux, affaiblissement par le feuillage, multitrajets), le choix de récepteurs avec des options comme un grand nombre de canaux et un haut taux d'échantillonnage augmenteront les chances de succès. Dans certains cas particuliers, il peut même être opportun d'utiliser des instruments complémentaires de mesures d'angle et de distance (boussole, télémètre portatif, etc.), pour rattacher l'élément d'intérêt à un point où il a été possible d'obtenir une position GPS précise.

2 PARAMÉTRAGE

Pour utiliser le GPS en foresterie, il faut tenir compte de l'environnement dans lequel le récepteur est utilisé, de la nature du relevé et de la précision recherchée. En effet, le milieu forestier peut nuire à la réception du signal, et certaines précautions doivent être prises pour obtenir de bons résultats. De plus, en tant que vérificateur, le MRNFP ne peut pas obtenir de résultats moins précis que ceux de sa clientèle en ce qui concerne la mesure des contours et des relevés. Dans bien des cas, les relevés servent à mettre à jour des cartes forestières ou à attribuer des sommes d'argent. Ainsi, ce chapitre présente des recommandations quant au paramétrage pour obtenir des résultats précis. Le tableau 3 résume ces recommandations.

2.1 PDOP (≤ 8)

La majorité des gens en région travaillent avec une configuration du paramètre de PDOP de 6 ou moins. Toutefois, on peut fixer le PDOP à 8 afin d'être productif et de ne pas perdre de temps inutilement lorsque le DOP passerait au dessus de 6. Comme il a été mentionné dans le chapitre précédent, un PDOP égal ou inférieur à 6 est jugé précis. Mesurer entièrement un contour avec un PDOP de 8 entraînera une perte de précision significative.

2.2 Masque d'élévation de 10° à 15°

Ces paramètres permettront de diminuer considérablement les multitrajets en milieu forestier. L'utilisateur doit comprendre les principes du masque d'élévation et s'ajuster au besoin. Le masque d'élévation ne devrait toutefois jamais être inférieur à 10°.

2.3 SNR : 40 % de l'échelle du manufacturier

Dans les modèles testés, cette option n'est disponible que sur les récepteurs *Trimble* et le chiffre ici recommandé fait l'unanimité des utilisateurs.

2.4 Collecte de données 3D

D'une façon générale, on doit viser un mode de capture 3D pour un travail de qualité. Dans certaines conditions difficiles, une faible proportion de 2D peut être acceptée.

2.5 Dictionnaire d'attributs

Pour maximiser la saisie des données descriptives, on doit utiliser le dictionnaire d'attributs. L'harmonisation des collectes de données et d'un dictionnaire provincial de données serait souhaitable selon le personnel qui a participé à l'atelier.

2.6 Modes statique et cinématique

Généralement, c'est à l'utilisateur d'adapter le mode selon la nature du relevé, la nature de la superficie et celle des conditions de terrain. Dans l'ensemble, les paramètres suivants sont préconisés :

- On utilise le mode statique pour les petites superficies (avec peu d'ondulation sur le pourtour de l'intervention) et le mode cinématique pour les superficies plus importantes.
- Mode statique : récolter 10 à 20 points par sommet pour des contours d'intervention. Ici, un sommet signifie un point d'inflexion d'un angle dans la délimitation du contour ou de la ligne. Cet angle doit être suffisamment important pour permettre de bien délimiter l'entité à relever.
- En mode cinématique, on recommande la réception en mode seconde qui donne comme résultat des points espacés de 5 m. Il faut également tenir compte de la capacité du récepteur à emmagasiner des données dans un contexte de sorties prolongées sans transfert de données.
- Pour la localisation d'éléments ponctuels, 30 points sont généralement suffisants pour obtenir une précision à l'intérieur de 10 mètres. La variation des positions calculées est statistiquement fiable après 30 points.

Tableau 3 Paramètres recommandés

Paramètres	Recommandations
PDOP	<ul style="list-style-type: none"> • On peut fixer le PDOP à 8, mais on vise généralement 6 ou moins. L'utilisateur joue un rôle important dans le respect de ce paramètre • Trop d'observations à 8 diminueront la précision de celles-ci
2D-3D	Le mode de capture 3D est la norme. Dans certains cas où la réception est difficile, on peut accepter une faible proportion de 2D.
SNR	40 % de l'échelle du fabricant est recommandé. Cette option est disponible sur les récepteurs <i>Trimble</i> uniquement.
Masque d'élévation	Un masque d'élévation de 10° à 15° est recommandé.
Mode statique	Pour obtenir une précision à l'intérieur de 10 mètres, 30 points sont généralement suffisants.
Mode cinématique	Lorsque cela est possible, on utilise le mode seconde.
Mode semi-cinématique	Récolter 10 à 15 points / sommet (mode ligne ou polygone).
Intervalle de temps	Récolte d'une position à toutes les trois secondes (adapté au terrain).
Intervalle de distance	<ul style="list-style-type: none"> • L'intervalle de distance est non recommandé, sauf dans des cas de rubanage où le GPS ne doit pas capter de point lors des arrêts fréquents • La distance de captage devrait alors être de 5 à 10 m. Les déplacements obligatoires non requis pour le relevé peuvent être éliminés par l'utilisation du mode « pause »

3 TYPE DE RELEVÉS ET MODES OPÉRATOIRES

Dans les paragraphes qui suivent, des recommandations sont données quant au mode opératoire à utiliser pour chaque type de relevé. Les recommandations sont résumées au tableau 4.

Comme on l'a mentionné précédemment, en tant que vérificateur, le MRNFP a à prendre les moyens nécessaires pour obtenir les résultats les plus précis selon la nature du relevé. La correction différentielle en post-traitement est donc fortement recommandée lorsque la précision des relevés est un enjeu important pour l'attribution de sommes d'argent en fonction de la superficie traitée ou pour la mise à jour de cartes forestières. Les tests effectués démontrent que la technologie WAAS simulé pendant 45 minutes (avec anticipation de variations dans les erreurs) permet de faire un travail à peu près équivalent à de la correction différentielle en post-traitement. Cette technologie peut donc être utilisée pour plusieurs applications. Il faut toutefois valider la qualité de la communication récepteur-ordinateur ainsi que la qualité de la réception du signal WAAS.

3.1 Localisation de chemins

La localisation de chemins établis peut être réalisée en mode statique ou cinématique selon le cas. Il faut s'assurer d'avoir un minimum de points et de ne relever le trajet qu'une seule fois. La correction différentielle en post-traitement ou l'utilisation du WAAS simulé pendant plus de 45 minutes (avec anticipation de variations dans les erreurs) sont préconisées.

3.2 Localisation de ponceaux

La localisation de ponceaux s'effectue évidemment en mode statique. L'utilisation du WAAS ou de la correction différentielle post-traitement sont ici recommandées.

3.3 Contours d'intervention (travaux admissibles en paiement des droits)

Les modes cinématique, statique et semi-cinématique sont recommandées selon la nature du terrain. Comme les relevés impliquent des sommes d'argent importantes, la correction différentielle en post-traitement ou l'utilisation du WAAS simulé pendant plus de 45 minutes (avec anticipation de variations dans les erreurs) sont préconisées.

3.4 Contours d'intervention (mise à jour)

Lors de relevés qui ne seraient pas visibles sur les ortho-images, les relevés GPS peuvent être utilisés pour mettre à jour des cartes forestières. Toutefois, la position relative des éléments relevés joue ici un rôle important. On doit donc arrimer ces relevés et les éléments de contexte comme les chemins, les ruisseaux ou les interventions adjacentes. De plus, un certain lissage devra être effectué. On entend par lissage l'élimination des relevés en « dents de scie », ceux-ci étant difficiles à intégrer à la carte forestière. La correction différentielle en post-traitement ou l'utilisation du WAAS simulé pendant plus de 45 minutes (avec anticipation de variations dans les erreurs) pendant plus de 45 minutes sont

préconisées. En fonction des conditions terrain, on optera pour des relevés en mode cinématique, semi-cinématique ou statique.

3.5 Règlement sur les normes d'intervention dans les forêts du domaine de l'État (RNI)

Pour que la vérification soit valable, il faut prendre les modes opérationnels requis selon la nature du relevé pour s'assurer d'une précision adéquate. L'utilisation d'antenne externe et la correction différentielle en post-traitement ou du WAAS simulé pendant plus de 45 minutes (avec anticipation de variations dans les erreurs) sont préconisées.

3.6 Infractions

Selon la nature de l'infraction, on utilise le mode cinématique ou statique. La correction différentielle en post-traitement ou l'utilisation du WAAS simulé pendant plus de 45 minutes (avec anticipation de variations dans les erreurs) sont ici nécessaires. Il est à noter que l'utilisation d'un contour GPS peut être une preuve considérée en cour, à la condition qu'elle permet de démontrer clairement la nature de l'infraction (superficie, localisation). La personne qui se présentera au tribunal doit être celle qui a réalisé les relevés démontrant l'infraction. Cette dernière doit également avoir une connaissance approfondie de la technologie GPS, une expérience d'utilisation reconnue et la capacité d'en analyser les résultats.

3.7 Placettes-échantillons, établissement et remesurage

Les GPS qui favorisent une bonne navigation sont préconisés. De plus, l'utilisation du WAAS et d'une antenne externe est fortement recommandée. En ce qui concerne l'établissement d'une placette-échantillon, deux approches peuvent être préconisées.

La première veut que l'on établisse une placette-échantillon à l'endroit indiqué par le GPS. La deuxième veut que l'on se rapproche de la position de la placette-échantillon au GPS et que l'on termine le trajet avec topofil et boussole.

Dans tous les cas où est effectué un deuxième retour sur la placette-échantillon, la position de celle-ci doit être saisie en mode statique après que son emplacement a été déterminé par navigation.

3.8 Autres

Il est possible de relever d'autres éléments. Comme ceux-ci sont variables et qu'ils peuvent être compris de diverses façons, on doit adapter l'équipement et le mode opératoire pour obtenir une précision adéquate selon la situation.

Tableau 4 Recommandations sur les modes opératoires

Nature du relevé	Mode préconisé
Localisation de chemins établis	<ul style="list-style-type: none"> • Mode statique ou cinématique • Correction différentielle en post-traitement • WAAS simulé pendant plus de 45 minutes (avec anticipation de variations dans les erreurs)⁽¹⁾ • Antenne externe • Une vitesse modérée, lors de relevé de chemins en véhicule, permettra un meilleur positionnement
Localisation de ponceaux	<ul style="list-style-type: none"> • Mode statique • Correction différentielle en post-traitement ou avec WAAS • Antenne externe
Contours d'intervention (travaux admissibles en paiement des droits)	<ul style="list-style-type: none"> • Mode cinématique, semi-cinématique ou statique • Correction différentielle en post-traitement • WAAS simulé pendant plus de 45 minutes (avec anticipation de variations dans les erreurs)⁽¹⁾ • Antenne externe <p>Note : Se référer au document <i>Méthodes d'échantillonnage pour les inventaires d'intervention (inventaire avant traitement) et pour les suivis des interventions forestières (après martelage, après coupe et années antérieures)</i> .</p>
Contours d'intervention (mise à jour)	<ul style="list-style-type: none"> • Mode cinématique, semi-cinématique ou statique • Arrimage des relevés et des éléments de contexte lorsque la précision est suffisante (chemin, lac, etc.) et lissage des contours • Correction différentielle en post-traitement • WAAS simulé pendant plus de 45 minutes (avec anticipation de variations dans les erreurs)⁽¹⁾ • Antenne externe <p>Note : Se référer à la <i>Norme de saisie et de structuration des données écoforestières</i> et au document traitant de la finition de la carte de la Direction des inventaires forestiers.</p>
RNI	<ul style="list-style-type: none"> • Mode opératoire à choisir en fonction de la nature du relevé • Antenne externe • Correction différentielle en post-traitement • WAAS simulé pendant plus de 45 minutes (avec anticipation de variations dans les erreurs)⁽¹⁾
Infractions	<ul style="list-style-type: none"> • Mode statique ou cinématique • Correction différentielle post-traitement • WAAS simulé pendant plus de 45 minutes (avec anticipation de variations dans les erreurs)⁽¹⁾
Placettes-échantillons, établissement et remesurage	<ul style="list-style-type: none"> • Navigation avec le mode WAAS • Antenne externe • Navigation pour la localisation de l'emplacement de la placette-échantillon • Mode statique pour le relevé de la localisation de la placette-échantillon

⁽¹⁾ La technologie Coast^(TM) a été utilisée pour les tests. Au cas où de nouveaux modèles se rapprocheraient techniquement de la simulation du signal WAAS, il serait opportun d'analyser quelques résultats avant de procéder à son utilisation sur une base de production.

4 RÉSULTATS DES TESTS RÉALISÉS PAR LE GROUPE DE TRAVAIL

Pour élaborer le contenu de l'atelier sur le système GPS, certains tests ont été réalisés afin de bien déterminer le potentiel d'utilisation des principaux modèles de récepteurs utilisés au MRNFP. Ainsi sont présentés dans ce chapitre le dispositif expérimental ainsi que les précisions moyennes obtenues. Une fiche descriptive des principaux modèles utilisés au MRNFP se trouve en annexe.

4.1 Dispositif expérimental

Les tests ont été réalisés à l'arboretum Morgan, situé à Sainte-Anne-de-Bellevue dans l'ouest de Montréal. Le parcours a été déterminé de façon à englober différents types de couverts forestiers. Ainsi, 27 bornes d'arpentage décrivaient un parcours polygonal ayant un périmètre de 1,20 km. Le polygone avait une superficie totale de 5,5 hectares. Les tests ont tous été effectués sous couvert forestier. Dans les conditions réelles d'utilisation, des relevés sont fréquemment récoltés non pas sous couvert mais à proximité de celui-ci. Toutefois, le couvert étant à proximité des récepteurs, il est difficile d'effectuer des tests selon tous les types de conditions d'observation (hauteur, densité, nature et orientation du couvert) pouvant causer de l'obstruction. Ainsi, en procédant à des observations sous couvert, les recommandations d'utilisation se révéleront valables, peu importe les conditions d'observation.

Des relevés en mode cinématique ont d'abord été effectués avec les différents modèles. La précision des superficies relevées a été évaluée selon les deux méthodes définies par FERIC. Ces deux méthodes consistent en l'évaluation de l'erreur relative et de l'erreur réelle.

L'erreur relative représente une simple comparaison de la superficie entre la surface étalon et celle déterminée par observation au GPS. Pour calculer l'erreur relative, on ne tient pas compte de la forme de la superficie ou de son emplacement. La formule suivante permet de calculer l'erreur relative :

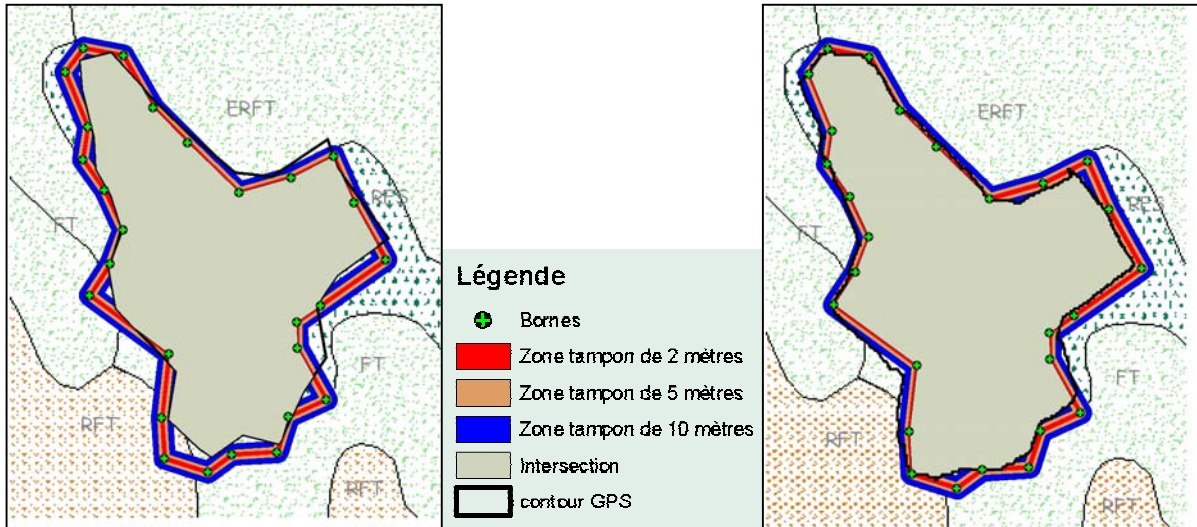
$$\text{Erreur relative} = ((\text{superficie relevée} - \text{superficie étalon}) / \text{superficie étalon}) \times 100$$

Pour tenir compte de la superficie, de sa forme et de son emplacement, on utilise l'erreur réelle. Avec cette erreur, les parties manquantes à l'intérieur du polygone étalon ainsi que les parties relevées à l'extérieur de ce dernier sont considérées. L'erreur réelle est calculée selon la formule suivante :

$$\text{Erreur réelle} = (((\text{sup. étalon} + \text{sup. relevée}) - (2 \times \text{sup. commune})) / \text{sup. étalon}) \times 100$$

Lors des tests, chacune des bornes composant le périmètre du polygone ont été relevées en mode statique, avec une collecte de 30 points chacune.

Figure 5 Exemple de comparaison entre le relevé GPS et le contour étalon



Mode statique

Précision = 19,5 m

N^{bre} de points < 10 m = 19 %

Mode cinématique

Erreur relative = 9,4 %

Erreur réelle = 14,95 %

N^{bre} de points < 10 m = 66 %

4.2 Résultats

Tableau 5 Résultats des tests réalisés sous couvert forestier

Modèle ⁽¹⁾	Paramétrage	Mode statique		Mode cinématique		
		Précision obtenue (m)	% de points à l'intérieur de 10 m	Erreur relative obtenue (%)	Erreur réelle obtenue (%)	% de points à l'intérieur de 10 m
March II	Mode seconde Antenne interne Correction différentielle	8,6	62	1,8	6,4	99
Trimble, Geo CE	Mode seconde Antenne interne Correction différentielle	3,5	96	1	3,3	100
Geneq, SXBlue	Mode seconde Antenne externe WAAS	4,6	98	1,5	4,9	99
Garmin, Vista	Mode distance (10 m) Antenne interne WAAS	19,5	19	9,4	14,95	66
Garmin M76 (test A)	Mode distance (10 m) Antenne interne WAAS	19,03	40	2,4	21	63
Garmin M76 (test B)	Mode seconde Antenne externe WAAS	9,85	72	3,23	13,10	91
Garmin M76 (test C)	Mode seconde Antenne externe WAAS	-	-	1,1	9,8	100

(1) Lors des tests, le PC5 a été défectueux. C'est pourquoi les résultats obtenus avec ce modèle ne sont pas présentés ici. De plus, le système CDGPS a été testé tard à l'automne 2003. Lors de ces tests, une forte pluie a nui grandement à la réception du signal. Les résultats obtenus avec ce système ne sont donc pas présentés ici.

Note : D'autres appareils qui n'ont pas été testés par le groupe de travail, et dont on ne fait pas mention ici, peuvent parfaitement répondre aux besoins des utilisateurs de cette technologie. Il faut alors se fier aux différentes caractéristiques de ces appareils pour en évaluer le potentiel d'utilisation.

Les tests réalisés démontrent que les modèles permettant la correction différentielle en post-traitement sont les plus fiables. L'utilisation du WAAS avec le SXBlue a donné de bons résultats. Toutefois, des tests complémentaires seront réalisés dans des conditions plus nordiques afin de valider la réception dans des latitudes élevées ainsi qu'en territoire accidenté. On réalisera également d'autres tests pour préciser le pourcentage de réception du WAAS sous couvert forestier. Par ailleurs, les précisions obtenues avec le March II ont été moins bonnes que celles auxquelles on s'attendait. Les précisions ont été de l'ordre de 8 m en mode statique, et ce, même après post-traitement. Lors de chaque test effectué avec le modèle Garmin M76, on a obtenu des résultats différents. L'utilisation en mode seconde, avec le WAAS et une antenne externe, a toutefois donné de meilleurs résultats que prévu. Il serait préférable d'effectuer d'autres tests dans différentes conditions pour bien évaluer le potentiel d'utilisation de ce modèle. Selon des utilisateurs, ce modèle donne généralement de bons résultats, mais, à l'occasion, ceux-ci sont moins bons, et l'on ne peut dire pourquoi. On a également tenté d'obtenir de l'information sur les différents paramètres internes du produit (DOP, masque d'élévation, etc.) afin d'être en mesure d'interpréter ces différences, mais sans succès.

5 PLANIFICATION DE LA COLLECTE DE DONNÉES

Il arrive que des facteurs autres que le couvert forestier viennent influencer grandement la réception des signaux. Il en est ainsi d'une pluie abondante ou d'une activité solaire intense (orage magnétique). Pour obtenir une bonne réception des signaux, on planifiera ainsi la collecte de données. Les logiciels de post-traitement fournis avec les récepteurs permettent de faire de la planification, de façon journalière, à l'aide d'un almanach.

La constellation actuelle des satellites GPS permet d'observer, sans obstacle et en tout temps, un minimum de quatre satellites. Contrairement aux années passées où la constellation était incomplète, la prévision des fenêtres d'observations journalières est maintenant moins cruciale. Par contre, pour des levés GPS prévus à proximité d'un couvert forestier ou sous couvert forestier, il peut être recommandé de choisir les périodes où un plus grand nombre de satellites sont disponibles au-dessus de l'horizon local. Dans ces conditions, la probabilité de capter un nombre minimal de satellites avec une bonne géométrie est accrue.

Lors de l'atelier, plusieurs participants ont prétendu qu'il existait un « trou du midi » voulant que la réception soit généralement moins bonne à l'heure du dîner. Cela est faux, car la même configuration des satellites se répète de jours en jours, mais avec un décalage de quatre minutes chaque jour. C'est dire que s'il y a une période où la réception est moins bonne, cette période se présentera quatre minutes plus tôt le jour suivant.

Par ailleurs, les principaux points à considérer lors de l'utilisation des récepteurs mobiles sont l'objectif du relevé, le choix de l'appareil, le choix du mode de positionnement, la collecte elle-même ainsi que le transfert et l'analyse des résultats. La figure suivante montre le cheminement logique d'une bonne collecte de données, de la planification à l'analyse.

Figure 6 Planification d'une session de collecte de données (chronologie)

Objectif du relevé

- Mandat
- Précision recherchée

Préparation de la mission

- Période prévue, connaissance de l'utilisateur, durée
- Disponibilité des satellites (surtout si précision élevée nécessaire)
- Météo spatiale

Choix de l'appareil

- Disponibilité du récepteur et équipement connexe
- Caractéristiques (antenne, WAAS, etc.)
- Capacité à utiliser l'appareil judicieusement
- Paramétrage de l'appareil
- Dictionnaire d'attributs
- Vérification l'état de l'équipement (logiciel interne, câblage, etc.)

Choix du mode de positionnement

- Absolu ou relatif
- Post-traitement, WAAS ou CDGPS

Choix du mode opératoire

- Statique ou cinématique
- Navigation assistée ou non

Choix du mode de saisie

- Point, ligne ou polygone

Collecte de données

- Téléchargement de la donnée de référence s'il y a lieu
- Vérification de la réception :
 - Nombre de satellites
 - WAAS s'il y a lieu
 - PDOP
- Validation sommaire de la collecte (de façon visuelle ou de façon descriptive selon les modèles)

Transfert et analyse

- Transfert des données (choix du système de coordonnées, filtrage des points imprécis)
- Nomenclature (toujours donner des noms significatifs aux différents fichiers créés)
- Visualisation et validation de l'emplacement
- Correction s'il y a lieu (post-traitement)
- Validation de la correction et analyse des données corrigées
- Lissage et/ou édition s'il y a lieu

6 TRAITEMENT DE LA DONNÉE

Plusieurs produits permettent la correction du relevé GPS afin que celui-ci remplisse les exigences de son utilisation. Ainsi, la donnée peut être lissée, filtrée, corrigée de façon différentielle et arrimée aux éléments de contexte. Pour obtenir plus d'information sur l'ensemble des possibilités de traitement de la donnée, on consultera les outils géomatiques disponibles. Il faudra toutefois s'assurer que les versions de ces logiciels seront à jour pour réaliser les meilleurs traitements possibles et obtenir la meilleure précision possible.

CONCLUSION

Le système GPS sera opérationnel au moins pour les 20 prochaines années. L'utilisation de ce système en foresterie n'est pas nouvelle, et tout indique qu'il sera de plus en plus utilisé dans les activités courantes du MRNFP. Le système GPS peut être utilisé sans aucun problème pour plusieurs applications en foresterie. Cependant, il faut se rappeler que le couvert forestier nuit à la réception des signaux. Il faut donc utiliser le GPS adéquatement.

En terminant, soulignons que malgré la sophistication de la technologie, l'utilisation du GPS doit s'intégrer dans une démarche définie de saisie et de mise à jour de données sur le territoire afin que l'équipement, les logiciels et le mode d'utilisation conviennent bien à la situation.

La qualité des résultats est fonction non seulement de l'équipement et des méthodes utilisés, mais également de la bonne manipulation et du jugement de l'utilisateur.
--

ANNEXE
PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES DES MODÈLES UTILISÉS

PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES DES MODÈLES UTILISÉS

Caractéristiques	MarchII	PC5L	SXBlue, Toughbook (TB)	GeoExplorer CE, GeoXM	Garmin GPSMAP 76 ⁽¹⁾	Garmin Etrex, Vista ⁽¹⁾
Réception						
Nombre de canaux	8	6	12	8	12	12
WAAS	Non	Non	Oui	Oui	Oui	Oui
« Âge » de la correction	Non	Non	45 min	4 min	Non	Non
Post-traitement	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Non
Paramétrage						
Intervalle	Temps	≥ 1 s	≥ 1 s	≥ 1 s	≥ 1 s	≥ 1 s
	Distance	Non	Non	≥ 1 m	≥ 1 m	≥ 10 m
	Auto	Non	Non	Non	Non	5 modes
PDOP	1-15	1-15	1-99	1-99	Non ⁽⁸⁾	Non ⁽⁸⁾
Masque d'élévation	1-89	1-89	1-89	1-89	Non ⁽⁸⁾	Non ⁽⁸⁾
Physique						
Poids (g)	935	794 ⁽²⁾	725 ⁽⁴⁾	725	218	150
Dimension (cm)	20,0 x 9,9 x 7,6	23,9 x 10,3 x 5,0	11,3 x 8,5 x 3,5 (SXBlue) 17,3 x 9,9 x 4,1 (TB)	21,5 x 9,9 x 7,7	15,7 x 6,9 x 3,0	11,2 x 5,1 x 3,1
Mémoire (MO)	2	4 ou 8	32 ou 512 ⁽⁵⁾	128 ou 512	8 ⁽⁹⁾	24 ⁽⁹⁾
Durée (h)	5	5	8	8	16	12
Température (°C)	- 10 à 54	- 40 à 54 ⁽³⁾	- 40 à 70	- 10 à 50	- 15 à 70	- 15 à 70
Antenne externe	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Non ⁽¹⁰⁾
Étanchéité	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Écran couleur	Non	Non	Oui	Oui	Non	Non
Écran tactile	Non	Non	Oui	Oui	Non	Non
Nombre de touches	14	55	38 (TB)	2	9	5
Son à la collecte	Oui	Oui	Oui (TB)	Oui	Non	Non
Logiciel SIG	Non	Non	FieldCE	ArcPad	Non	Non
Excel, Word, etc.	Non	Non	Oui	Oui	Non	Non
Logiciel post-traitement	Oui	Oui	Oui ⁽⁶⁾	Oui	Non	Non
Prix						
Récepteur et logiciel de traitement	MarchII 2 950 \$ (accessoires inclus et PCGPS 3.8)	4 500 \$ (selon disponibilité) (accessoires inclus et PCGPS 3.8)	SXBlue et Toughbook 4 500 \$ FieldCE 1 400 \$ (accessoires inclus)	GeoXM 4 800 \$ PathFinder Terrasync 4 450 \$ ArcPad ⁽⁷⁾ 750 \$ (accessoires inclus)	GPSMAP 76 425 \$ Antenne extérieure 125 \$	Vista 550 \$

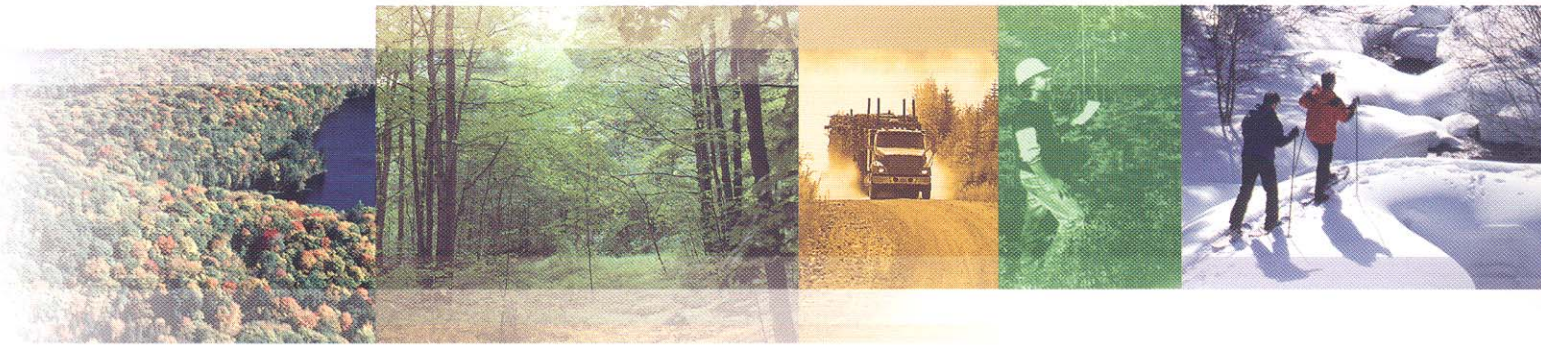
Note : Les caractéristiques données dans ce tableau proviennent des publicités faites par les fabricants à propos de leurs produits au mois de décembre 2003.

Caractéristiques	MarchII	PC5L	SXBlue, Toughbook	GeoExplorer CE, GeoXM	Garmin GPSMAP 76 ⁽¹⁾	Garmin Etrex, Vista ⁽¹⁾
Information						
Site Web	www. cmtinc.com	www.cmtinc. com	www. geneq.com	www. trimble.com	www. garmin.com	www. garmin.com
Personnes-ressources au MRNFP (ayant participé à la rédaction du guide et à la réalisation des tests)						
	Laurent Normandeau et Rosaire Tremblay	Laurent Normandeau Rosaire Tremblay et Bruno Canuel	Laurent Normandeau	Gleason Gagnon et Bruno Canuel	Hector Hubert, Sylvain Gagnon et Bruno Canuel	Hector Hubert

- (1) D'autres modèles existent avec des caractéristiques différentes.
- (2) Appareil seul, sans l'antenne GPS.
- (3) Avec une autre pile pour le chauffe-écran.
- (4) SXBlue et Toughbook combinés.
- (5) Dépend de la carte mémoire de type SD.
- (6) Possible avec un utilitaire gratuit disponible chez le fabricant.
- (7) Peut fonctionner sans ce logiciel qui donne plus de possibilités à la cartographie.
- (8) Valeur interne pour les appareils qui captent le WAAS.
- (9) Mémoire pour le MapSource.
- (10) Possible avec une antenne radiante.

BIBLIOGRAPHIE

- BILODEAU, J.-M., et autres. « Operational integration of GPS into forest management activities which use a GIS to monitor forest operations », dans *Proceedings of the Seventh Annual Symposium on GIS in Forestry*, Environmental and Natural Resources Management, 15-18 février 1993, Vancouver, Environmental and Natural Resources Management, 1993, p. 196-200.
- BILODEAU, J.-M., et R. SANTERRE. « Utilisation du système de positionnement GPS en foresterie », dans *Manuel de foresterie*, Sainte-Foy, Presses de l'Université Laval, Sainte-Foy, Ordre des ingénieurs forestiers du Québec, 1996, p. 587-603.
- Cartographie de coupes forestières à l'aide d'appareils GPS fixés à des abatteuses*, Forêts Canada, 1994 (Collection Projet essais, expérimentations et transfert technologique en foresterie).
- DECKERT, C., et P. V. BOLSTAD. « Terrain and canopy influence on code-phase GPS position accuracy », dans *Proceedings of the Eighth Annual Symposium on GIS in Forestry*, Environmental and Natural Resources Management, 21-24 février 1994, Vancouver, Environmental and Natural Resources Management, 1994, p. 385-394.
- DIRECTION DE L'ASSISTANCE TECHNIQUE. *Méthode d'échantillonnage pour les inventaires d'intervention (inventaire avant traitement) et pour les suivis des interventions forestières (après martelage, après coupe et années antérieures)*, [En ligne], 2004, ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, [www.mrnfp.gouv.qc.ca/publications/forets/entreprises/meth2004fin.pdf].
- GOSSELIN, S., et J.-M. BILODEAU. « Le système de positionnement GPS en foresterie : potentiel, limites et applications », *L'aubelle*, n° 95, p. 22-23; n° 96, p. 12-14.
- Localisation des travaux sylvicoles à l'aide d'un système de positionnement géographique par satellite*, Forêts Canada, 1992 (Collection Projet essais, expérimentations et transfert technologique en foresterie).
- SANTERRE, R., et I. FORGUES. « Méthode statique rapide : principes et résultats », *Arpenteur-géomètre*, vol. 20, n° 4, 1993, p. 10-12.
- SANTERRE, R., et D. PARROT. *Introduction au positionnement par satellites GPS*, 1993. Programme de formation continue en géomatique organisé en collaboration avec le Centre de recherche en géomatique et la Chaire industrielle en géomatique appliquée à la foresterie de l'Université Laval.
- SANTERRE, R., et Y. ROY. « Optimisation de l'utilisation du système GPS en milieu boisé », *Geomatica*, vol. 47, n° 1, 1993, p. 39-46.
- THÉRIAULT, Y. *Évaluation du système GPS sous un couvert forestier*, Québec, Service de la recherche, Direction des systèmes informationnels, ministère de l'Énergie et des Ressources, 1992.



**Ressources
naturelles,
Faune et Parcs**

Québec 