Zeitschrift: Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik : VPK = Mensuration, photogrammétrie, génie rural

Herausgeber: Schweizerischer Verein für Vermessung und Kulturtechnik (SVVK) = Société suisse des mensurations et améliorations foncières (SSMAF)

Band: 94 (1996)

Heft: 4

Artikel: Faisabilité d'un service public GPS "Real Time Kinematic" (RTK)

Autor: Hagin, C.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-235238

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 15.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Une nouvelle volée quitte l'EPFL

Le règlement des études à l'EPFL prévoit un travail pratique de quatre mois pour l'obtention du diplôme. Pour nos jeunes ingénieurs, cette période d'intense activité vient de s'achever. Au sein de l'Institut de Géomatique (IGEO) qui regroupe les chaires de systèmes d'information à référence spatiale (SIRS), de photogrammétrie (PHOT) et de topométrie (TOPO), trois étudiants ont choisi d'effectuer le travail pratique dans cette dernière discipline.
Grâce à la durée de quatre mois, il est facile de motiver des partenaires extérieurs à l'Ecole pour participer à la définition et à la supervision de ces travaux. Parmi les sujets proposés, les candidats ont choisi d'orienter leurs efforts dans des directions qui illustrent bien les mutations professionnelles en cours. Bien sûr on traite du GPS et d'informatique de terrain, mais la tachéométrie est aussi de la partie et ceci devrait rassurer tous ceux qui songent à ranger leurs théodolites aux archives.
Les techniques satellitaires sont de plus en plus efficaces, mais aucune méthode de levé ne sera jamais la panacée. Certes on cherche à améliorer l'utilisation de GPS lorsque des obstacles masquent le ciel en choisissant les périodes d'observation sur des bases plus rationnelles qu'aujourd'hui, mais en cetains endroits le levé terrestre restera plus économique.
Notre compétitivité ne dépend pas de la maîtrise d'une technique particulière, mais de notre capacité à intégrer les nouveaux outils. Pendant des décennies, les géomètres ont su préserver leur domaine d'activité en intégrant terrain *et* bureau, mesures *et* calculs. Le défi que nous devons relever consiste à intégrer GPS *et* télécommunications, théodolite *et* planchette électronique, topologie *et* précision. Le but, lui, demeure immuable: mesurer *et* décrire l'espace.
Dans cette perspective, nous souhaitons à ces jeunes ingénieurs de pouvoir exprimer leur endurance et leur créativité.

Prof. Bertrand Merminod

Faisabilité d'un service public GPS «Real Time Kinematic» (RTK)

Ch. Hagin

Le but de ce travail de diplôme est d'étudier la faisabilité d'un service public de Global Positioning System (GPS) en temps réel (Real Time Kinematic, RTK) par radiodiffusion des mesures de phase. La précision escomptée d'un tel système est de l'ordre de quelques centimètres. Au vu du rapide développement dans le domaine du RTK, l'Office Fédéral de Topographie (OFT) et Telecom étudient la possibilité d'établir un réseau de stations permanentes GPS, qui couvrirait toute la Suisse. Ce projet a été nommé «Automatisches GPS Netz Schweiz» (AGNES). C'est la première fois en Suisse que l'on fait des tests à grande échelle avec du GPS-RTK et ces essais devront permettre de découvrir les problèmes principaux relatifs à la mise en place d'un tel service public.

Ziel dieser Diplomarbeit ist die Abklärung, ob ein öffentlicher Dienst für Global Positioning System (GPS) in Real Time Kinematic (RTK) durch Rundfunkübertragung der Phasenmessungen möglich ist. Eine Genauigkeit von ein paar Zentimetern wird für ein solches System erwartet. Aufgrund der raschen Entwicklung in RTK studieren das Bundesamt für Landestopographie und Telecom die Möglichkeit, ein Netz von permanenten Stationen aufzubauen, das die ganze Schweiz umfassen würde. «Automatisches GPS-Netz Schweiz» (AGNES) wurde dieses Projekt genannt. Im Grossmassstab mit GPS-RTK realisierte Teste wurden erstmals in der Schweiz gemacht. Sie sollten zeigen, welche Hauptprobleme im Zusammenhang mit einem solchen öffentlichen Dienst zu erwarten sind.

Le scopo di questo lavoro di diploma è di studiare la fattibilità di un servizio pubblico del sistema satellitare GPS (Global Positioning System) in tempo reale (Real Time Kinematic, RTK) per la radiodiffusione delle misure di fase. La precisione attesa da un tale sistema è dell'ordine di qualche centimetro. In vista del rapido sviluppo del concetto RTK, l'Ufficio Federale di Topografia (UFT) e la Telecom studiano la possibilità di stabilire una rete di stazioni permanenti GPS che coprirebbe tutta la Svizzera. Questo progetto è stato chiamato «Automatisches GPS Netz Schweiz» (AGNES). Questa è la prima volta in Svizzera che si effettuano dei test su grande scala con il sistema GPS-RTK e queste prove dovranno permettere di mettere in luce i problemi principali relativi alla messa in esercizio di un tale servizio pubblico.

1. Le positionnement relatif en temps réel

En fonction du mode de mesure pratiqué au moyen de GPS, on peut parler d'un positionnement absolu, lorsque un seul récepteur est utilisé, fournissant une précision de 50–100 mètres en temps réel, ou d'un positionnement relatif, lorsque au minimum deux récepteurs sont utilisés, dont un en position fixe.
Jusqu'à ces dernières années, le positionnement relatif nécessitait un traitement ultérieur (post-processing) des observations à l'aide de divers logiciels (SKI, GPSurvey, etc.).
Actuellement, de nouveaux systèmes permettent d'arriver à une précision de l'ordre du mètre (système DGPS) et du centimètre (système GPS-RTK) en temps réel. Ce positionnement est dit positionnement relatif en temps réel. Le système DGPS est le projet pilote mis sur pied par l'OFT et les Telecom. Un prospectus a été encarté dans le numéro 1/96 de la revue MPG.

1.1 Principe

Le positionnement relatif en temps réel est une combinaison de deux récepteurs GPS ou plus, (principe identique au levé statique ou statique rapide) et d'un système de communication qui relie la station de référence au récepteur mobile (rover). Mais en RTK, à la place d'enregistrer les mesures dans la station de référence et le rover, des corrections sont envoyées de la station de référence dans un format standard, via un système de télécommunication, voie hertzienne ou autres, au rover qui peut ainsi corriger les positions reçues, en temps réel. Le fonctionnement du posi-

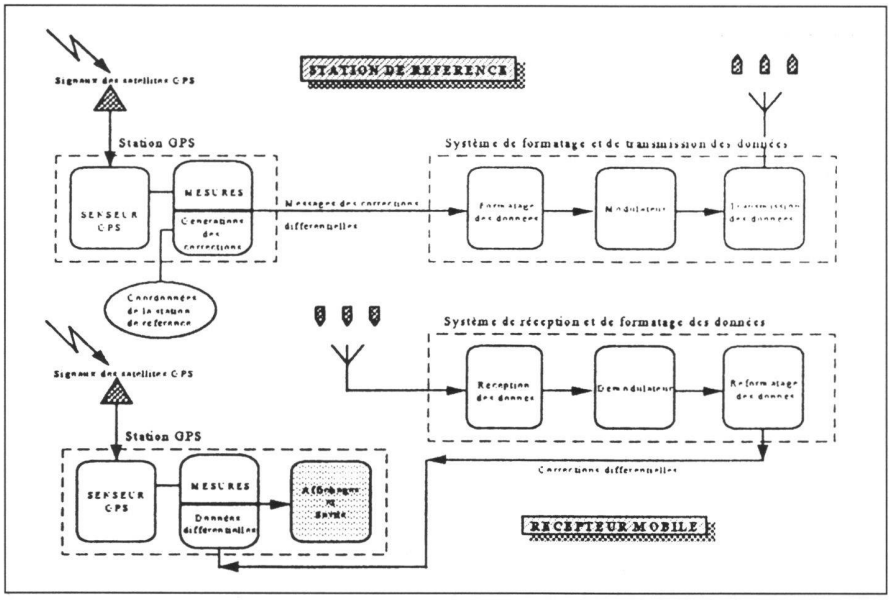

Fig. 1: Principe du positionnement relatif en temps réel.

tionnement différentiel est décrit à la figure 1.

1.2 Les systèmes de positionnement relatif en temps réel

«Differential GPS» (DGPS) et «Real Time Kinematic» (GPS-RTK ou RTK) sont les deux manières de faire du positionnement relatif en temps réel. La principale différence est la précision de ces systèmes. En effet, le DGPS, qui emploie les mesures de code, peut atteindre une précision de l'ordre du mètre, alors que le RTK, utilisant les mesures de phase, avoisine le centimètre (toujours en temps réel!). Il va de soit que l'équipement, et par ailleurs son coût, ne sont pas les mêmes, si l'on utilise du DGPS ou du RTK.
Selon les systèmes utilisés, on a aussi la possibilité d'enregistrer les mesures afin de pouvoir vérifier, corriger, améliorer, faire un post-traitement de ces positions, si nécessaire.

2. Real Time Kinematic (RTK)

Le GPS-RTK s'appuie sur le même principe que le DGPS: le positionnement relatif en temps réel.
La précision escomptée avec RTK est de l'ordre du centimètre, ainsi ce système est beaucoup plus utile à des géomètres que le DGPS. C'est pourquoi des firmes telles que Leica ou Trimble ont mis sur le marché des systèmes RTK. Malheureusement ces systèmes étaient jusqu'alors des systèmes propriétaires. Mais l'élaboration d'un format standard permet de normaliser les transferts des corrections et, à terme, d'assurer la compatibilité entre les différentes marques de récepteur GPS.

Le format RTCM

En 1983, la «Radio Technical Commisson for Maritime applications» (RTCM) fut mandatée par l'Institut de Navigation des Etats-Unis (ION), afin de rechercher des nouveaux moyens (des standards) de transmissions appliqués aux divers domaines de la navigation aérienne.
Ainsi, cette commission a créé un comité spécial, Special Commitee N° 104, chargé de s'occuper plus particulièrement du GPS. Le SC-104 a donc proposé différents formats pour la transmission des corrections de navigation dont le RTCM version 2.0 pour le DGPS (1990), puis RTCM version 2.1 pour le RTK (1994).
Ce format RTCM est composé de 63 types de messages différents.

3. Le projet «AGNES»

3.1 Description générale

Comme décrit ci-dessus, il existe actuellement sur le marché des systèmes RTK qui fournissent, en temps réel, des mesures avec une précision de quelques centimètres, donc bien meilleure qu'avec du DGPS.
Malheureusement, ces systèmes RTK sont limités pour l'instant à des réseaux de petite taille (1–5 km), car de gros problèmes de transmission apparaissent lorsque l'éloignement entre la station de référence et le rover devient plus grand. D'autre part, ces systèmes ont des formats propriétaires et, par conséquent, l'utilisateur est lié à la marque des récepteurs achetés.
Au vu du rapide développement dans le domaine du RTK, l'OFT et les Telecom étudient la possibilité d'établir un réseau de stations permanentes GPS, qui couvrirait toute la Suisse. Ce projet a été nommé «Automatisches GPS Netz Schweiz» (AGNES).
En plus du positionnement en temps réel avec une précision de quelques centimètres, un des buts du projet AGNES est de mettre à disposition du public le réseau de points de la nouvelle mensuration officielle (LV-95) d'une façon moderne. Le développement des télécommunications couplé avec le système GPS ouvre la voie à de nouvelles façons de travailler, aussi bien en post-traitement qu'en temps réel.
Une fois mis en place, ce système aurait la configuration suivante: un nombre, à déterminer en fonction du système de communication et de récepteurs GPS choisis, de stations de référence à travers la Suisse, qui desservirait les divers utilisateurs en fonction de leur emplacement du moment.
L'idée serait de mettre ces stations de référence sur des points très bien déterminés, comme par exemple les points LV-95. Mais en réalité, les stations de référence ne seraient pas toutes exactement sur ces points pour des raisons simplement techniques. En effet, comme ces stations nécessitent une ligne téléphonique, du courant électrique, ainsi que certaines commodités comme l'accès ou une protection, il serait plus judicieux de les mett-

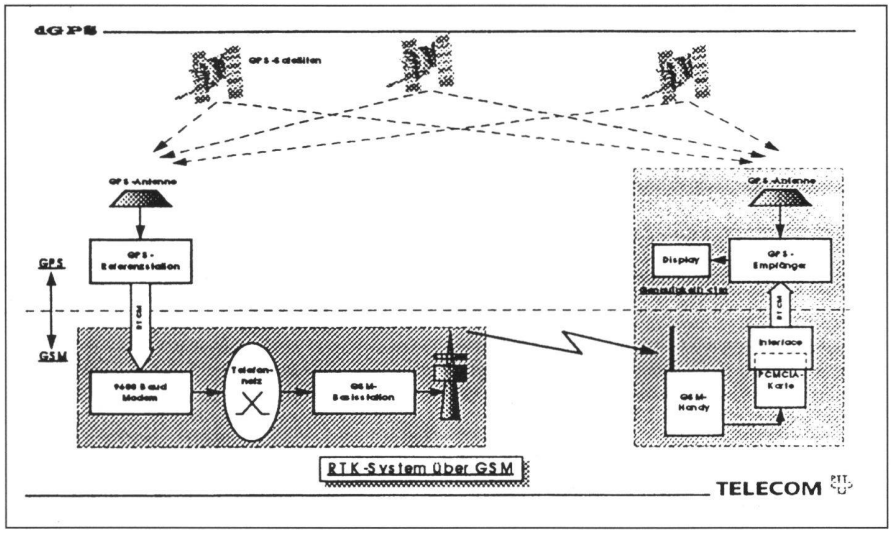

Fig. 2: Schéma de l'installation Natel D.

re, par exemple, sur des bâtiments dans les environs des points LV-95. Ces derniers serviront bien évidemment à la détermination des coordonnées de ces stations. Ce service devrait donc intéresser de nombreuses personnes, car de plus en plus, la précision recherchée pour le positionnement et la navigation tend à devenir la même.

3.2 Les problèmes de mise en place

Les problèmes techniques qui se posent pour la réalisation de ce projet sont actuellement de quatre ordres:

1. Par quel système de communication doit-on envoyer les corrections RTCM de la station de référence à la station mobile de l'utilisateur (rover)?
2. Quelle distance maximum peut-on avoir entre la station de référence et le rover, afin de garantir un positionnement d'une précision de quelques centimètres?
3. Ce système peut-il garantir une même précision d'utilisation en mode cinématique?
4. Ce système permet-il la compatibilité avec des appareils de marques différentes?

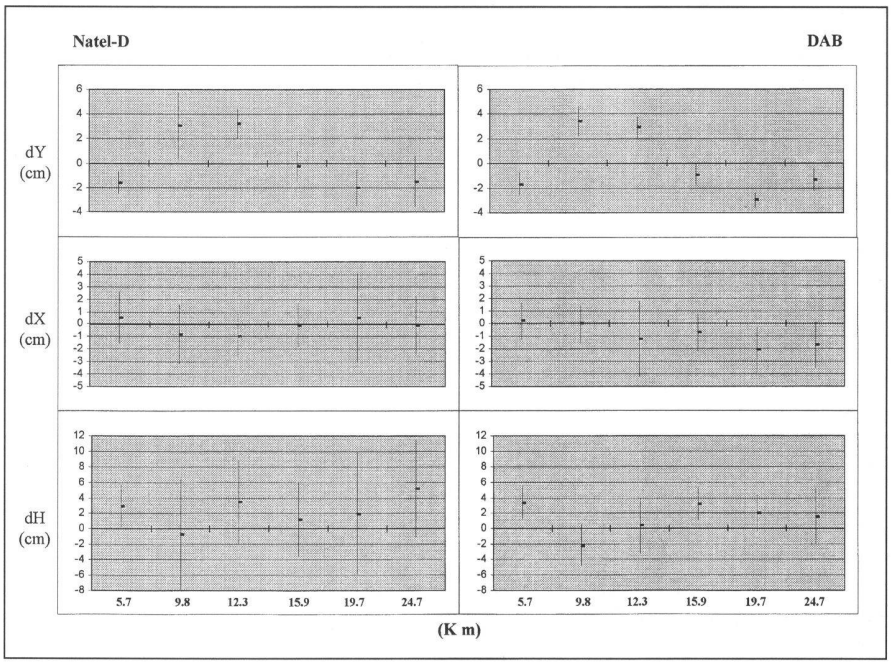

Fig. 3: Variation (cm) des mesures des points selon Y, X et H en fonction de leur distance à la station de référence de l'OFT (Km).

4. Les possibilités de transfert des corrections

Vu la quantité supérieure d'information à transmettre en utilisant le système RTK par rapport au DGPS (9600 bps contre 37 bps), les solutions possibles retenues par les Telecom et l'OFT sont le réseau de Natel D et le Digital Audio Broadcasting (DAB). Ces systèmes devraient permettre de répondre à la première des quatre questions ci-dessus.
Il faut noter que les systèmes recherchés sont des systèmes existants ou futurs, qui ne sont ou ne seront pas utilisés exclusivement pour le projet AGNES, mais aussi pour d'autres applications, afin de répartir les coûts.

4.1 NATEL-D GSM

Successeur du Natel-C, le standard GSM (Global System for Mobile communications), appelé Natel-D par les TelecomPTT, offre désormais d'autres possibilités que la simple liaison téléphonique. En effet, grâce à ce système complètement numérique, les utilisateurs ont la possibilité d'échanger fax et données entre les pays européens partenaires du Natel-D (appelé aussi «Roaming International»), moyennant un équipement adéquat, c'est-à-dire:

- Un téléphone mobile permettant de gérer l'échange de données (ou de fax).
- Un ordinateur (ou fax, terminal, etc.).
- Un équipement de connexion spécial, par exemple une carte PCMCIA (Personal Computer Memory Card International Association) pour connecter le téléphone mobile et le terminal.
- Un logiciel de communication.

4.2 DAB (Digital Audio Broadcasting)

Après huit ans de travail, le système de radiodiffusion numérique DAB, étudié dans le cadre du programme de recherches européen Eureka-147, regroupant une quarantaine de membres, est pratiquement au point. Sur le plan technique, l'introduction du DAB en Europe pourrait intervenir en 1997 déjà. La décision définitive a toutefois été retardée en raison des coûts supplémentaires induits par l'utilisation d'émetteurs et de récepteurs spéciaux.

Ce nouveau procédé entièrement numérique devrait permettre de corriger les défauts de la diffusion des signaux radio sur les OUC (Ondes Ultra Courtes) – notamment ceux liés à la réception mobile qui n'était pas prévue pour les OUC – voire de remplacer carrément le système OUC, mais pas avant 2030.
A la différence de la radio analogique traditionnelle, le système DAB transmet simultanément plusieurs programmes sur le même canal. Les programmes sont multiplexés et transmis à partir du même émetteur. Le nombre de programmes d'un «ensemble» (le multiplex) dépend du compromis entre:

- Le débit binaire codé par programme son ou données
- La protection de la voie contre les erreurs sur le trajet de propagation (plus de protection signifie moins de débit)
- Le flux de données nécessaires aux divers services (de données) associés aux programmes.

5. Mise en place du réseau test de distance

Afin de répondre à la deuxième question, il a été mis en place un réseau de points connus, soit des points LV-95, soit des points de triangulation, sur lesquels le rover pourra être placé. Ainsi, un ordre de grandeur de la distance maximum possible entre une station de référence et le point mobile le plus éloigné, pourra être déterminé.
Les points choisis se situent jusqu'à une quarantaine de kilomètres de la station de référence située sur le toit de l'Office Fédéral de Topographie. Les quatre critères pour choisir ces points ont été:

1. Un dégagement suffisant autour du point afin, de ne pas gêner la réception des signaux émis par les satellites.
2. Des points situés dans des zones où le Natel-D passe suffisamment bien, c'est-à-dire au moins une réception de 2/5 sur l'échelle d'indication du Natel; ceci est le critère minimum pour émettre ou recevoir sans problèmes des données.
3. Des points dont les coordonnées sont suffisamment précises et fiables pour permettre un stationnement dans le centimètre.
4. D'utiliser les mêmes points pour les tests avec le Natel-D et le DAB.

6. Essais RTK avec transmission par Natel-D et DAB

6.1 Transmission par Natel-D

Pour transmettre les corrections de la station de référence au rover, le matériel suivant a été utilisé:

- un Natel-D «Nokia 2110» (mis à disposition par les Telecom)
- une carte Nokia PCMCIA, «Cellular Data Card for GSM and DCS 1800»
- un PC portable «Compaq» avec port PCMCIA intégré
- un modem « High Speed modem »
- le programme Terminal de Windows, un programme terminal des Telecom, ainsi qu'un programme de la maison DCI, «RTCMON», pour transformer le format ASCII brut en un format RTCM permettant la visualisation de ces corrections
- 2 GPS «Trimble» 4000 SSI possédant l'un l'option RTCM version 2.1 output (référence) et l'autre RTCM version 2.1 input (rover).

Ce matériel encombrant (cf. fig. 2) est utilisé pour les essais, car il permet de suivre toutes les étapes de la transmission à la réception des corrections. Si ce système fournit toutes les satisfactions, le matériel sera réduit à un appareil de type «boîte noire» beaucoup plus léger!

6.2 Transmission par DAB

La station de référence utilisée lors des mesures avec le DAB est identique à celle utilisée avec le Natel-D. En ce qui concerne le rover, un récepteur DAB fournit par les Telecom remplace le Natel-D.

6.3 Résultats des mesures

Les résultats comparés Natel-D – DAB montrent, en tenant compte des nombreux problèmes techniques affectant les deux systèmes de communication, qu'en règle générale, les mesures obtenues avec le DAB ou avec le Natel-D sont similaires (cf. figure 3).

Si l'on considère les intervalles de confiance de trois fois l'écart-type (qui correspond à un intervalle dans lequel doit se trouver le 98% des mesures), ils sont bien plus significatifs avec le DAB qu'avec le Natel.

De ce fait, la précision du système RTK jusqu'à 24.7 km est de l'ordre d'environ 5 centimètres en planimétrie et de l'ordre d'une dizaine de centimètres en altimétrie pour un intervalle de confiance de 98%. Au-delà de cette distance, la tolérance de précision de quelques centimètres n'est plus respectée.

6.4 L'avenir d'AGNES

De par ces résultats, la réalisation technique d'un tel service est très encourageante. De plus, les améliorations suivantes ne pourront que renforcer l'opportunité du système GPS-RTK:

1. Possibilité de transmettre dans le message de type 3, les coordonnées de la station de référence dans le millimètre, car actuellement seul le centimètre est possible.
2. Amélioration des problèmes relatifs à la communication Natel et DAB.

Malgré la légitimité des deux systèmes Natel et DAB pour un tel projet, le DAB a certainement plus d'avenir que le Natel, non seulement au vu des résultats obtenus, mais aussi de par le confort qu'il offre pour la réception continue des corrections, sans compter encore les atouts techniques qu'il possède pour la réception mobile et portative.

Pour cela, il faudra que le DAB parvienne à s'imposer comme le système de transmission numérique du siècle prochain.

Ainsi, en l'état actuel de la situation, la précision du système est de l'ordre de 5 centimètres pour une distance de 25 kilomètres entre la station de référence et le rover. Les problèmes relatifs à la communication résolus, il est difficile de dire si la distance peut être encore augmentée.

Mais, en admettant une distance maximum de 25 kilomètres, il faudrait environ 35 stations pour couvrir tout le territoire suisse.

7. Essais cinématiques et compatibilité

Des essais cinématiques ont été effectués sur un tronçon des CFF entre Riedwil et Herzogenbuchsee qui se situe sur la ligne Berne-Zürich.

Pour ce faire, l'OFT a loué un petit chariot (50 Kg) au bureau d'ingénieur «Wild + Grunder AG». Ce chariot est conçu pour le levé cinématique sur des voies CFF. Grâce à des senseurs, l'antenne se trouve toujours au centre des voies indépendamment d'un rétrécissement ou d'un élargissement des rails.

Rapidement un gros problème d'initialisation est apparu. En effet, la perturbation due notamment aux câbles électriques au-dessus des voies rend l'initialisation quasiment impossible, même avec un nombre de satellites largement suffisant.

Malgré cela, quelques mesures ont pu être effectuées sur une distance d'environ 700 mètres. La comparaison des mesures obtenues avec des points des CFF se trouvant sur l'axe, démontre une très bonne précision du système RTK. La différence obtenue entre ces deux séries de points varie entre 3 et 7 cm. Une fois les problèmes relatifs à l'initialisation éliminés, les levés cinématiques sont envisageables. Mais ces problèmes sont encore mal déterminés et n'ont pu être résolus dans le cadre de ce travail. Cela d'autant plus que la série 4000 SSI de Trimble devait permettre ce genre de levé.

Des tests de compatibilité ont aussi été effectués entre des appareils RTK de Leica et de Trimble. Ces essais ont montré que lorsque la station de référence est un Trimble et le rover un Leica, la compatibilité des appareils ne posait pas de problème. En revanche, des problèmes subsistent lorsque le Leica est en station de référence et le Trimble en rover. Il semble donc que tous les fabricants ne s'en tiennent pas encore strictement au format normalisé.

8. Conclusion

Les divers essais effectués avec le GPS en mode RTK, dans le cadre du projet AGNES, ont montré qu'un tel service est tout à fait envisageable. En effet, malgré les problèmes liés aux télécommunications et à l'utilisation de systèmes «combinés» pour l'occasion, la précision moyenne reste de quelques centimètres en temps réel à 25 kilomètres de distance entre la station de référence et le rover.

Les applications qui en découlent, ou en découleront, peuvent viser autant un public de professionnels que d'amateurs. En effet, la précision recherchée tend à devenir la même, que l'on fasse du positionnement ou de la navigation.

Toutefois la diversité des secteurs concernés par la mise au point d'un tel système demande une coopération très étroite entre les principaux protagonistes. Par exemple, la mise en place du système GPS-RTK avec transmission des corrections par DAB implique une participation de l'OFT, des Telecom, de l'Office Fédéral des COMmunications (OFCOM) et de l'Union Européenne de Radio-Télévision (UER), sans compter les problèmes engendrés par les questions administratives, techniques, légales et financières.

Pour l'instant, la mise en place sur tout le territoire du service DGPS est prioritaire. Elle permettra ainsi de faire l'inventaire des aspects positifs et négatifs sur le positionnement ou la navigation dans le mètre en temps réel. Une bonne partie des enseignements et des expériences du DGPS seront bénéfiques pour le GPS-RTK.

Le projet AGNES doit encore franchir quelques étapes de prendre le relais du service DGPS pour le positionnement et la navigation. Il faudra par exemple améliorer les techniques de communication, tester la précision et la fiabilité des mesures à une plus grande échelle et résoudre les problèmes de compatibilité ainsi que les difficultés d'initialisation.

Adresse de l'auteur:

Christian Hagin
Ch. de la Bergerie 31
CH-1806 St-Légier