

WALCORS : DE L'ASPECT SCIENTIFIQUE AUX DÉVELOPPEMENTS TECHNOLOGIQUES

Albert COLLIGNON & Jean-Pierre DEJARDIN

Résumé

Les possibilités d'évolution des réseaux GPS de référence sont nombreuses et se situent à plusieurs niveaux. On peut notamment recenser la forme et le contenu des corrections différentielles ainsi que leur mode de diffusion pouvant emprunter de nouveaux médias tels le protocole Internet (IP) et le DAB (*Digital Audio Broadcasting*). La meilleure définition des réseaux géodésique et gravimétrique apportera un gain de précision ainsi que des mesures plus fiables et répétables. Le champ d'application du réseau WALCORS (*Wallonia Continuous Operating System*) est également appelé à s'élargir. Des utilisations les plus pointues, du monitoring d'ouvrages d'art à l'agriculture de précision, en passant par la gestion intégrée de chantiers de génie civil, les opportunités sont multiples.

Abstract

The development possibilities for GPS reference networks are numerous and at several levels. We can notice the format and the content of the differential corrections as well as the way used for broadcasting like the Internet Protocol (IP) or the Digital Audio Broadcasting (DAB). The improved fixing of geodetic and gravimetric networks will bring an accuracy gain and more reliable and reproducible measurements. The sphere of activity of the WALCORS network (Wallonia Continuous Operating System) set to become wider. From specialized uses like permanent object monitoring and integrated building site management to precision farming, opportunities are manifold.

I. INTRODUCTION

Lorsqu'on parcourt les réclames de la presse spécialisée, on peut lire aujourd'hui : « Le contrôle d'engins de chantier en 3D [...] c'est la flexibilité et la précision d'une station totale et c'est basé sur la technologie GPS+ ou GPS mm, qui assure une meilleure précision en temps réel. » Ce type d'annonce publicitaire doit être apprécié à sa juste valeur et avec beaucoup de circonspection, voire de méfiance !

Malgré ces annonces parfois excessives, le réseau permanent de stations GPS de référence WALCORS (*Wallonia Continuous Operating System*) est un outil extraordinaire pour les utilisateurs de terrain d'une part, et pour les chercheurs d'autre part. Les applications pouvant en être dérivées n'ont, à l'évidence, pas encore toutes vu le jour.

II. RÉTROSPECTIVE

Dans les années 80, la précision centimétrique pouvait être atteinte dans des circonstances favorables et après

post-traitements. Une campagne de mesures pouvait nécessiter plusieurs semaines en vue d'aboutir à ces résultats.

Actuellement, on distingue le positionnement DGPS basé sur les codes et le positionnement relatif basé sur les phases. On sait que plus le mobile se trouve à proximité de la station de référence, plus les corrections différentielles apportées à la position du mobile seront efficaces et précises. Pour améliorer la résolution des problèmes en temps réel, ce sont les mesures de phases qui sont exploitées en faisant intervenir les pseudo-distances ou les distances approchées entre le récepteur et les satellites. Après la résolution des ambiguïtés, les mesures en temps réel peuvent débuter. Les pseudo-distances correspondent aux distances réelles inconnues perturbées par les erreurs d'horloges des satellites et du récepteur, par les erreurs de propagation des ondes dans l'atmosphère (troposphère et ionosphère), par les effets de multi trajets, par les caractéristiques des antennes... Les résultats obtenus varient lorsque la distance entre la station de référence et le mobile change.

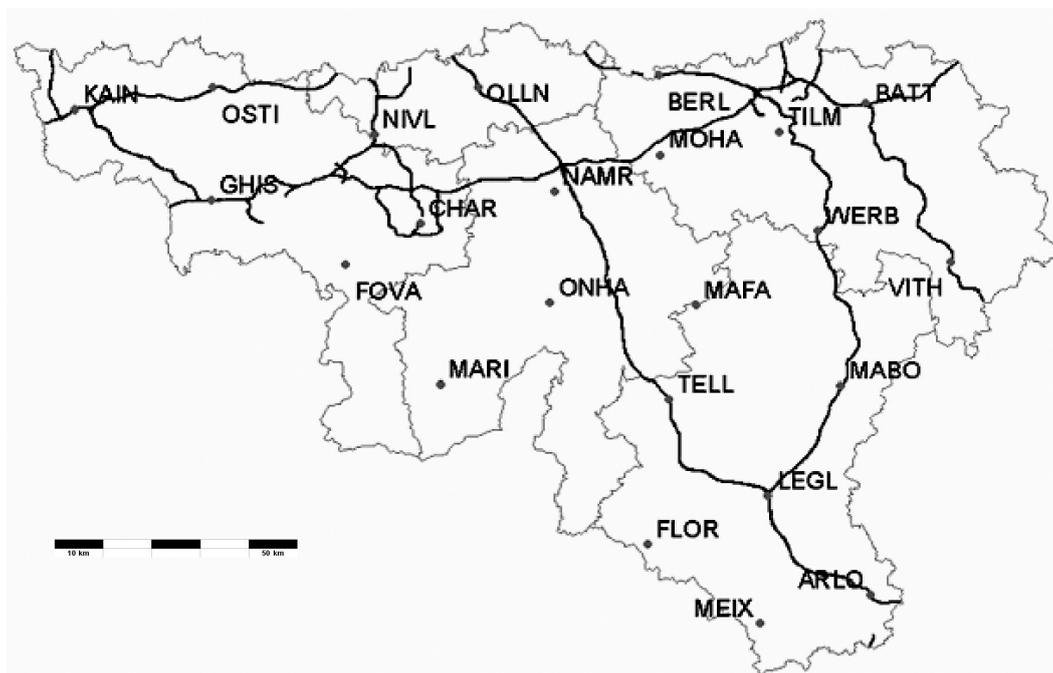


Figure 1. Schéma du réseau WALCORS (Dejardin, 2003)

III. FKP, DE L'UTILITÉ D'UNE SURFACE DE CORRECTION

Il est évident que les recherches en cours tentent d'apporter une fiabilité de plus en plus grande dans l'utilisation des méthodes GPS. On constate un intérêt croissant pour disposer de services qui garantissent aux utilisateurs un niveau de précision homogène et de plus en plus élevé pour la détermination des positions en temps réel RTK (*Real Time Kinematic*). L'utilisateur attend des messages d'avertissement qui l'informent des qualités à attribuer aux mesures en cours. C'est ainsi que des logiciels de paramétrage et de modélisation du milieu traversé par les ondes électromagnétiques se développent.

Pour résumer la problématique, notons qu'à chaque balise de référence est associé un modèle local de corrections à appliquer au mobile pour déterminer sa position vraie. L'utilisation d'une simple station de référence présente comme désavantage que la précision et la fiabilité de la résolution des ambiguïtés se détériorent en fonction de l'augmentation de la distance par rapport à la station de référence. Les corrections transmises par deux stations de référence et utilisées indépendamment peuvent aboutir à des valeurs différentes pour le positionnement d'un même point. Dès lors, un réseau de stations de référence est installé dans le but d'atténuer l'influence de la distance dans des solutions en temps réel (RTK). Avec un tel réseau, il est possible de générer des corrections applicables par les mobiles qui opèrent dans la zone couverte par le réseau.

Les deux types de traitements en réseau les plus souvent

mis en oeuvre sont le mode VRS (*Virtual Reference Station*), initié par Trimble/Terrasat (Trimble Navigation Limited, 2002) et le mode FKP (*Flächen Korrektur Parameter*), développé par GEO++ (Wübbena *et al.*, 2005 ; Wübbena & Bagge, 2006).

Une première méthode pour améliorer le positionnement est de travailler avec l'intervention d'une station virtuelle, qui met à la disposition de l'utilisateur un jeu de paramètres de corrections calculés depuis les informations transmises, par exemple par les trois stations les plus proches. Il s'agit du mode VRS (fig. 2).

Une seconde méthode consiste, au départ des observations de tout un réseau, à modéliser une surface complexe de corrections (FKP). Les paramètres locaux de la correction à appliquer seront transmis en temps réel à l'utilisateur (fig. 3).

Un tel service nécessite une gestion efficace du réseau. WALCORS fonctionne actuellement selon le principe du FKP. Le monitoring d'intégrité du réseau est assuré par l'IGN (Institut Géographique National).

Selon l'expérience que nous en avons, les deux méthodes fournissent des précisions semblables. Suivant un test réalisé le 12 avril 2005 avec une comparaison des valeurs par rapport au Belgium Datum 72 et par rapport au référentiel ETRS 89, on peut voir que seules les valeurs altimétriques présentent quelques différences (tableau 1). Mais, d'autres campagnes devraient valider ou non cette rapide analyse.

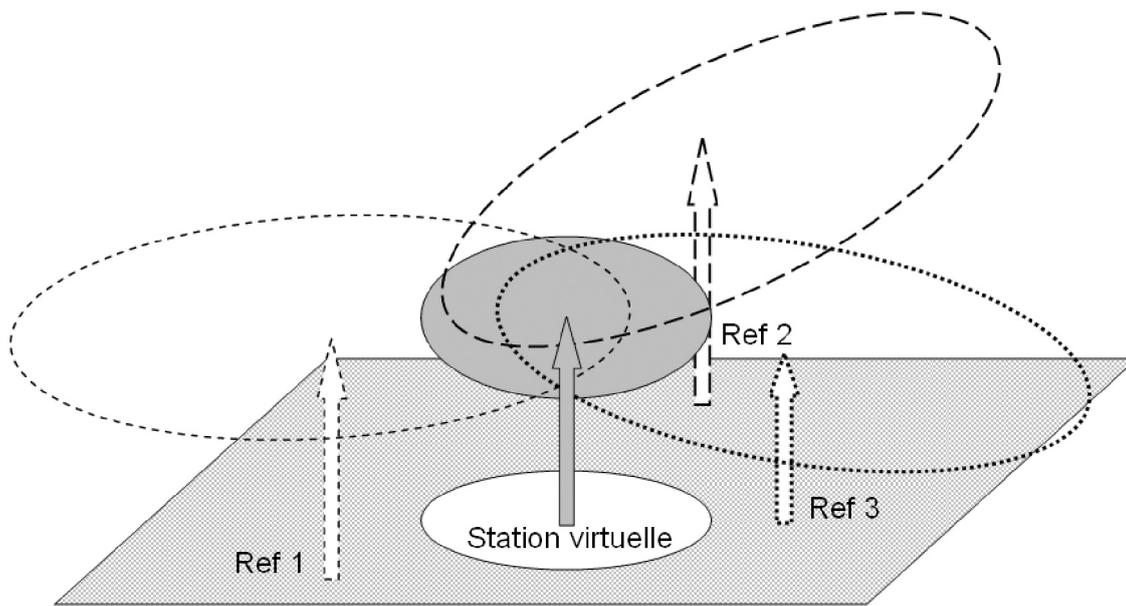


Figure 2. Mode VRS

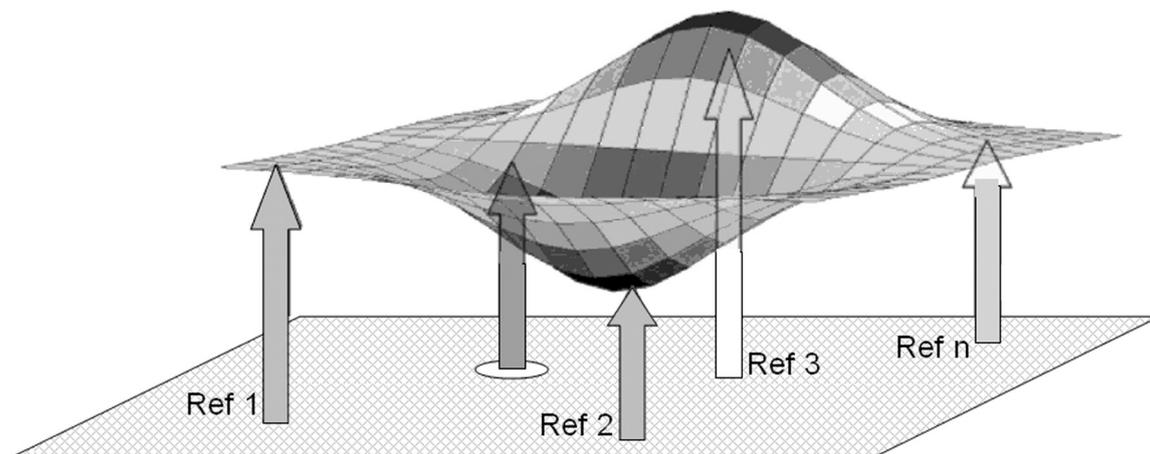


Figure 3. Mode FKP

IV. DIFFUSION DES CORRECTIONS DIFFÉRENTIELLES VIA DAB ET IP

En à peine 18 mois d'exploitation, le réseau WALCORS totalise déjà plus de 10.000 heures de connexion GSM cumulées. Malgré le tarif préférentiel accordé aux utilisateurs (0,144 EUR TVAC / minute), cela représente un coût non négligeable. Dès lors, des alternatives à ce mode de connexion GSM ont été examinées, il s'agit notamment du système DAB (*Digital Audio Broadcasting*) ou radio numérique et du protocole IP (*Internet Protocol*).

Concernant ce dernier, le service est accessible, par exemple, avec un terminal de type GPRS (*General Packet Radio Services*) pour lequel la tarification de l'opérateur se calcule en fonction de la quantité de données échangées, et non plus du temps. De plus, certains forfaits « illimités » (1 Go) sont récemment apparus

sur le marché pour un prix raisonnable (55,00 EUR HTVA / mois).

La méthode utilisée est le protocole NTRIP (*Networked Transport of RTCM via Internet Protocol*) développé par le BKG allemand (*Bundesamt für Kartographie und Geodäsie*) sur base d'un logiciel de lecture audio en transit (*streaming*) via internet. Le système se décompose en trois éléments, soit le serveur NTRIP (connecté directement aux stations de référence), le NTRIP caster (séparé du premier par un serveur mandaté HTTP) et le NTRIP client (correspondant à l'utilisateur). Ce schéma peut être reconduit pour l'échange de données brutes entre réseaux limitrophes.

Pour ce qui concerne le DAB, le coût de connexion est nul puisqu'il s'agit d'une diffusion radio accessible à tout utilisateur disposant d'un récepteur adéquat.

Tableau 1. Comparaison VRS vs FPK (unités en mètres)

ID-Beref	Est BD 72	Nord BD 72	Alt BD 72				
40F12C1	174646,648	139210,687	162,97				
WALCORS	GNSMART	FKP		Delta X	Delta Y	Delta Z	Date
Moyenne	174646,642	139210,692	162,994	-0,006	0,005	0,024	12/04/05
Ecart-type	0,004	0,003	0,009	0,004	0,003	0,009	
WALCORS	GPSNET	VRS					
Moyenne	174646,647	139210,69	163,071	-0,001	0,003	0,101	12/04/05
Ecart-Type	0,002	0,005	0,018	0,002	0,005	0,018	
ID-Beref	X ETRS 89	Y ETRS 89	Z ETRS 89				
40F12C1	4046068,02	333828,737	4902973,808				
WALCORS	GNSMART	FKP		Delta X	Delta Y	Delta Z	Date
Moyenne	4046068,032	333828,73	4902973,817	0,011	-0,006	0,009	12/04/05
Ecart-type	0,007	0,003	0,006	0,007	0,003	0,006	
WALCORS	GPSNET	VRS					
Moyenne	4046068,082	333828,74	4902973,876	0,062	0,003	0,067	12/04/05
Ecart-Type	0,012	0,003	0,014	0,012	0,003	0,014	

Par ailleurs, un service de corrections différentielles sur le code existe déjà sur base de la station de Namur. Il utilise le réseau DAB de la RTBF et fournit une localisation métrique (en conditions normales).

Historiquement, la solution DAB avait été proposée pour le service RTK, mais les contraintes de ce mode quant à la latence du signal nous ont obligés, dans un premier temps, à ne retenir ce média que pour le positionnement moyennement précis. Dans un second temps, un récepteur DAB adapté a été développé spécialement à cette fin sur base d'un appel d'offres que le Ministère de l'équipement et des Transports de la Région wallonne (MET) a lancé en 2002. En fonction des différents récepteurs GPS RTK sur le marché (et de leurs algorithmes respectifs), il a été constaté que la latence ne devrait pas excéder 2 secondes. Or, elle est actuellement de 6,4 secondes. Cela résulte du matériel d'encodage DAB de la RTBF.

Cependant, en application d'accords de partenariat liant le MET (gérant le réseau WALCORS) et la RTBF (gérant le DAB), il est prévu un renouvellement du matériel de la RTBF afin de permettre la diffusion du mode RTK pour l'ensemble du réseau et dans des conditions techniques favorables aux récepteurs GPS RTK du marché. Un test validant ces conditions techniques a été réalisé début 2005. De plus, l'analyse de la dispersion des résultats obtenus avec une connexion GSM ou une connexion DAB ne montre aucune tendance particulière (fig. 5). En outre, signalons que la RTBF s'engage à assurer un niveau de service élevé, grâce notamment à une surveillance automatisée du système.

Sur un plan plus technique, les corrections RTCM (format standard) des 23 stations seront « libérées » de leur contrôle d'intégrité (CRC) afin de diminuer la bande passante nécessaire et elles seront multiplexées en un seul canal afin d'offrir un service unique. Le récepteur DAB devra démultiplexer les 23 stations et envoyer au récepteur GPS les corrections de la station de référence la plus proche, sur base du calcul de la distance entre la position de navigation du GPS reçue via un message NMEA et les coordonnées des stations de référence encodées sous forme de liste dans le récepteur DAB. Parallèlement, il doit recréer à la volée le CRC afin que le signal soit intelligible pour le récepteur GPS. Le service DGPSDATA ainsi créé sur l'ensemble DAB de la RTBF occupera une bande passante de 64 kb/s tout en permettant la diffusion d'informations en temps réel sur l'état du réseau, par exemple sous forme de pages Web.

V. PROBLÉMATIQUE DES FORMULES DE TRANSFORMATION, CONSTATS ET SOLUTIONS

Dès le début de la réalisation de la cartographie topographique numérique de référence de la Région wallonne au début des années 90, l'ensemble des mesures ont été encadrées par des points levés par GPS afin de garantir plus de cohérence et d'homogénéité pour l'ensemble du travail (Ministère de l'équipement et des transports, 2002). Pour ce faire, au début des années 90, il était nécessaire de déterminer une station de référence locale, intitulée station « pivot », en la positionnant par rapport aux points géodésiques dont les coordonnées étaient

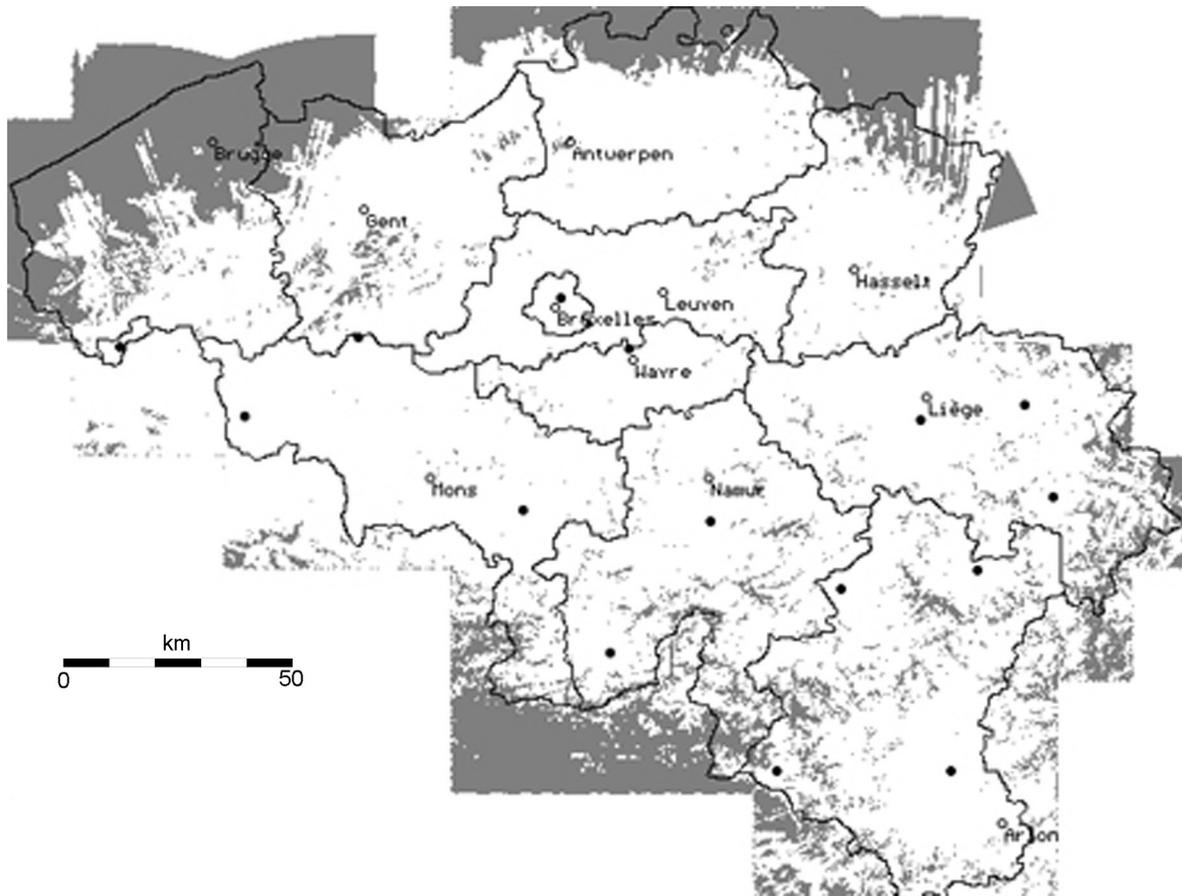


Figure 4. Carte de couverture DAB : en gris, les zones de réception impossible en véhicule
Source : RTBF (<http://www.rtbf.be>)

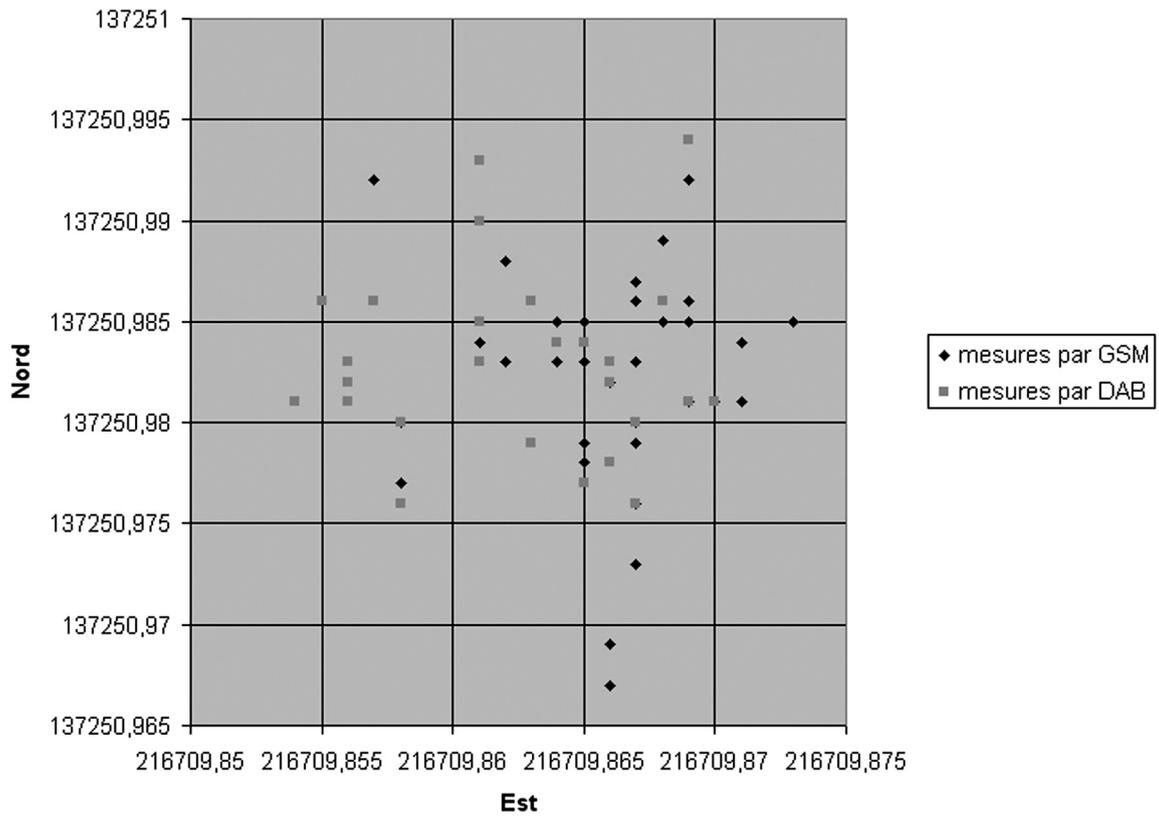


Figure 5. Comparaison GSM vs DAB (d'après Rahier, 2004)

établies par l'IGN. L'ensemble des points mesurés étaient positionnés par rapport à cette station pivot. Un tel processus, permettant la création d'un système local de corrections, nécessitait l'utilisation simultanée d'au moins deux récepteurs GPS. Les paramètres étaient tributaires du nombre et de la qualité des points d'appui extérieurs choisis. Les transformations faisant intervenir les formules bien connues à 7 paramètres, permettaient de passer du référentiel WGS 84 vers le système belge BD 72 (Lambot, 2006).

Ensuite, les premières stations du réseau permanent WALCORS ont permis de travailler avec un seul récepteur puisque les stations WALCORS remplaçaient la station pivot. Ces stations étant connues en position de manière très précise, se sont vues attribuer par l'IGN des paramètres de transformation applicables localement, c'est-à-dire dans la zone d'influence de la station de référence, soit dans un rayon d'une vingtaine de kilomètres.

Entre-temps, le réseau géodésique de l'IGN a fait l'objet d'un nouveau mesurage et d'un nouveau calcul global (compensation). L'utilisation de formules de transformation multiples valables uniquement pour chaque balise de référence pouvait aussi entraîner des imprécisions selon que l'opérateur de terrain choisissait telle ou telle station comme référence (dans la zone de recouvrement). Pour pallier cette situation, l'IGN a utilisé l'ensemble des réseaux existants pour affiner une formule de transformation globale qui s'appuie sur les bornes BeRef. L'utilisation conjointe du réseau WALCORS et de cette nouvelle formule de transformation donne des résultats beaucoup plus homogènes. C'est la solution qui est en vigueur actuellement (Lambot, 2006).

Cependant, l'évolution de ces formules dans le temps est source de difficultés. En effet, des mesures réalisées au début des années 90 avec application d'une formule de correction locale et celles réalisées actuellement avec la formule de transformation générale, peuvent présenter des différences non négligeables.

À titre d'exemples, on voit que dans les environs de Tournai (tableau 2), les différences sont importantes selon X et Z. Dans ce cas, ce sont les valeurs moyennes qui présentent des écarts alors que les écarts-types sont acceptables.

Par contre, dans la région de Lembeek (tableau 3), ce sont les écarts-types qui deviennent inacceptables pour DY et

Tableau 2. Comparaison Walcors vs Beref, région de Tournai (unités en mètres)

Kain/BeRef	Nombre de mesures = 89		
	DX	DY	DZ
Moyenne signée	-0,135	-0,015	0,188
Écart-type	0,015	0,006	0,091

DZ. Dès lors, il faut imaginer des solutions qui reposent sur l'analyse approfondie des différences constatées pour proposer des solutions générales applicables à tous les jeux de données numériques basés sur l'époque des mesures et sur les méthodes mises en œuvre.

La recherche de solutions doit s'articuler sur l'expression des coordonnées dans le système BeRef puisque c'est celui qui garantit la répétitivité des résultats. Cela implique des transformations inverses des données d'origine vers le système WGS 84 et ensuite l'application de la nouvelle transformation vers le système BeRef. Cela peut paraître raisonnable dans l'hypothèse où on part de données basées sur WALCORS pour lesquelles les formules de transformation établies par l'IGN sont bien connues. Par contre, pour les transformations réalisées au moyen de stations pivots, locales et hétérogènes, cela pose d'autres problèmes. Des collaborations existent avec l'IGN pour rechercher les solutions optimales.

VI. WALCORS, AIDE À LA DÉTERMINATION DU GÉOÏDE

S'il est vrai que la modélisation du milieu traversé par les ondes émises par les satellites permet d'améliorer la qualité des mesures, les résultats obtenus sont aussi tributaires de la définition de la position du mobile par rapport à une surface de référence qu'est le géoïde. Le géoïde étant souvent connu de façon trop approximative, il est remplacé par l'ellipsoïde de référence. Or la connaissance plus fine de ce géoïde devient d'une importance non négligeable si l'on souhaite garantir des mesures de précision millimétrique et notamment pour suivre les variations altimétriques. Le réseau WALCORS offre aux utilisateurs de terrain l'opportunité de procéder à des mesures dans un référentiel cohérent et homogène.

WALCORS offre aux spécialistes un ensemble de stations de référence dont la conception et la réalisation garantissent un suivi rigoureux des déformations ponctuelles au droit de chacune de ces stations. C'est ainsi que ce réseau constitue un atout idéal pour tenter de mieux définir le géoïde qui doit servir de référence en Wallonie mais aussi en Europe par l'intégration dans le réseau EUREF.

Une connaissance plus fine du géoïde devrait aussi aboutir à une meilleure détermination des déformations tectoniques pour lesquelles les chercheurs espèrent mettre en évidence des variations annuelles millimé-

Tableau 3. Comparaison Walcors / Beref, région de Lembeek (unités en mètres)

Lembeek/BeRef	Nombre de mesures = 292		
	DX	DY	DZ
Moyenne signée	-0,085	-0,035	0,046
Écart-type	0,114	0,121	0,152

triques en composantes horizontales et de 2 à 3 mm en composante verticale.

Des études de comparaison entre les variations de pesanteur et des mesures GPS ont conclu à l'existence locale de variations annuelles. L'Association Internationale de Géodésie recommande la localisation commune d'un maximum de techniques de mesure sur les réseaux géodésiques de base. Les piliers du réseau WALCORS sont composés d'une enveloppe extérieure indépendante du poteau central protégeant celui-ci de l'action du vent et de l'influence du soleil (fig. 6). Ils ont également été conçus pour pouvoir y installer d'autres équipements, tels que des gravimètres. C'est ainsi que depuis 2003, l'ORB (Observatoire Royal de Belgique) a inclus la balise WALCORS de Battice dans son réseau. Signalons aussi que plusieurs stations sont érigées à proximité de stations météorologiques gérées également par le MET.

WALCORS présente un intérêt pour la géodésie en général et en particulier pour l'établissement d'un réseau gravimétrique de base. Ce réseau participera à l'établissement d'une référence géodésique et d'une référence géodynamique. Il apparaît que, sur base de mesures effectives, d'éventuels déplacements verticaux des stations du réseau WALCORS seraient interprétables avec l'aide des techniques gravimétriques (Everaerts *et al.*, 2005). La gravimétrie combinée avec les mesures GPS devra permettre une meilleure compréhension ou interprétation de signaux particuliers de déformations.

Un projet est en préparation pour garantir les positions altimétriques des stations de WALCORS, afin d'apporter aux utilisateurs qui recherchent la haute précision, les garanties qu'ils souhaitent. Si cela a peu d'importance pour les applications topographiques, cela revêt un immense intérêt lorsqu'il s'agit de suivre les déformations d'ouvrages d'art (ponts, viaducs, barrages...).

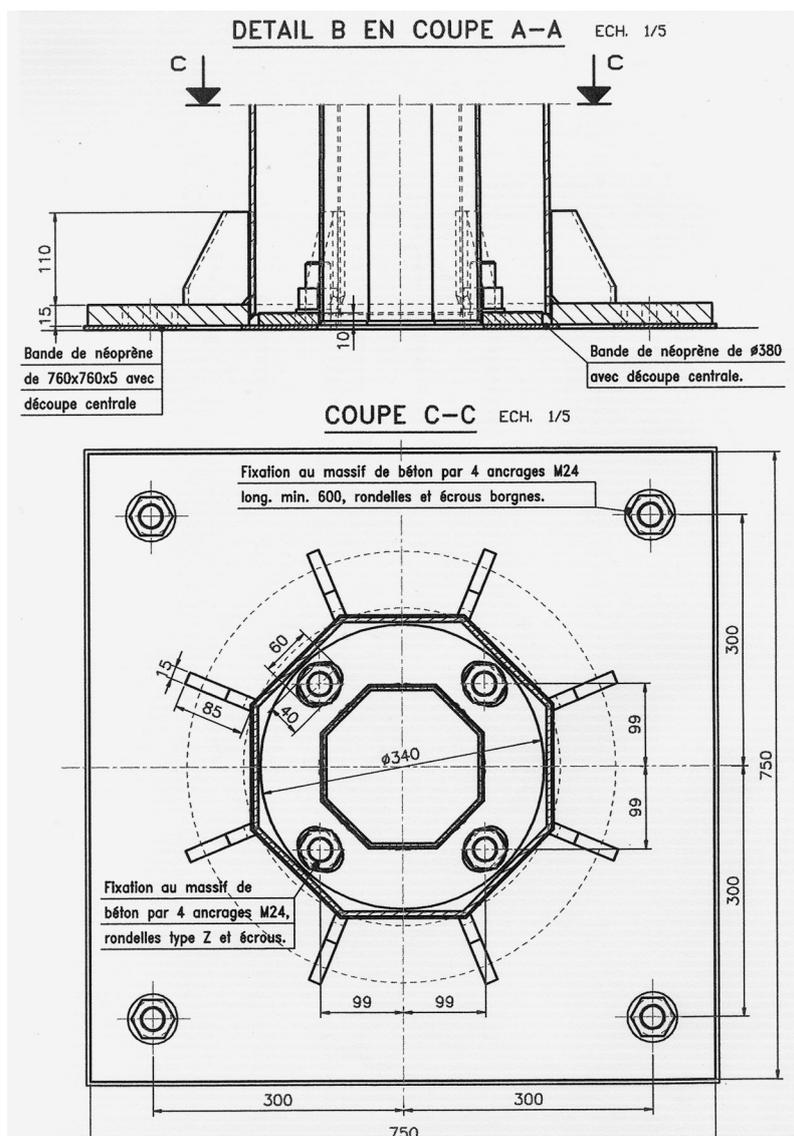


Figure 6. Plan d'un poteau « Walcors »

VII. ORGANISATION DU SUIVI DE DÉFORMATIONS D'OUVRAGES D'ART

Les récentes avancées technologiques permettent d'envisager le contrôle de la stabilité d'ouvrages d'art en utilisant le GPS. En effet, les précisions annoncées sont dans certains cas millimétriques. Cependant, d'autres aspects sont à prendre en considération lors de la mise en œuvre d'un tel projet. Premièrement, il faut définir le type de surveillance. Sera-t-elle permanente (continue) ou événementielle (épreuve de mise en charge) ? Les déplacements observés seront-ils millimétriques ou centimétriques ? Par ailleurs, il conviendra d'analyser le niveau des investissements nécessaires par rapport au nombre et à l'importance (risque encouru, complexité) des sites.

Les avantages apportés par le GPS en la matière sont multiples. Il est possible d'obtenir des résultats en altimétrie et en planimétrie, ceci en temps réel avec des alarmes paramétrables, alors que l'ouvrage est en service. D'autre part, il est à présent possible d'effectuer une surveillance de qualité en utilisant simplement des récepteurs mono-fréquence moins onéreux. En effet, les derniers algorithmes permettent de fixer les ambiguïtés rapidement avec de tels récepteurs. La valeur ajoutée est alors reportée sur la solution logicielle en aval. Ceci est particulièrement intéressant pour les projets nécessitant un grand nombre de senseurs.

Quoi qu'il en soit, il ne faut pas négliger le travail d'intégration, ainsi que toutes les possibilités techniques qui sont offertes. Ainsi, le recours à la technologie GPS n'est pas toujours justifié ; l'ajout d'autres senseurs (clinomètres, par exemple) peut également se révéler judicieux. Le choix de l'emplacement des senseurs doit être réfléchi en fonction de l'opportunité de la mesure, de l'accès aux satellites pour le GPS, des impératifs de protection du matériel (vandalisme, accidents...) et des besoins en alimentation électrique (solaire/secteur) et en moyens de communication (filaire/sans fil).



Figure 7. Bulldozer piloté par GPS

Enfin, l'emploi de pseudolites fonctionnant sur la bande radio ISM (*Industrial, Scientific and Medical*) est une technologie méritant l'attention. Le MET procédera prochainement à un essai comparatif grandeur nature de toutes ces options sur un ouvrage d'art pilote, afin de déterminer précisément les avantages et inconvénients de chacune d'entre elles.

VIII. DU GUIDAGE D'ENGINS À L'AGRICULTURE DE PRÉCISION

Le guidage d'engins de chantier par GPS, ainsi que l'agriculture de précision, sont deux applications qui, d'habitude, font appel à l'utilisation d'une station pivot sur laquelle est connecté un radio-modem diffusant des corrections différentielles. Il est bien entendu que cela n'est réalisable que dans le cadre d'un chantier limité dans l'espace. Ceci a comme conséquence, d'une part, que plusieurs utilisateurs simultanés peuvent se connecter et, d'autre part, que le coût de connexion est nul. Ainsi, les engins de chantier peuvent être guidés en même temps par une station de référence installée localement et temporairement, tandis que l'agriculteur pourra bénéficier de sa station pivot durant toutes ses activités culturales sans bourse délier.

L'avènement des réseaux de référence permet-il les mêmes avantages ? La réponse immédiate est non. Alors que le positionnement précis nécessaire au guidage de machines n'est accessible que par GSM, donc avec un coût de connexion à multiplier par le nombre de machines opérant simultanément, l'agriculteur, s'il veut conserver la gratuité du service, devra se contenter d'une précision moyenne ($eqm = 1m$) en utilisant une correction sur le code, avec pour effet une dégradation du résultat final.

Pourtant, la mise en route prochaine de services RTK précis diffusés par IP, donc à faible coût de connexion, et par DAB, à coût de connexion nul, pourrait bien changer la donne. Il suffira, par exemple, d'une connexion ADSL couplée à un radio-modem pour diffuser localement les corrections du réseau WALCORS à moindres frais et autoriser une gestion intégrée d'un chantier de génie civil.

Par ailleurs, un récepteur DAB couplé au GPS permettra bientôt au cultivateur de garantir un positionnement précis de ses engins de génie rural (pulvérisateur, semoir, moissonneuse...), donnant ainsi la possibilité de calculer au plus juste le rendement et la quantité d'engrais et amendements à apporter aux cultures. Avec l'impact positif tant du point de vue économique que pour l'environnement que l'on imagine...

BIBLIOGRAPHIE

- DEJARDIN, J.-P., 2003. *WALCORS - Réseau permanent de stations GPS de référence*. Ministère de l'équipement et des Transports, Direction de la Topographie et de la Cartographie (<http://gps.wallonie.be/>).
- EVERAERTS, M., DEMOULIN, A., DUCARME, B., 2005. *Joint analysis of GPS and gravity seasonal variations in Eastern Belgium*, EGU General Assembly, April 25-29 2005, Vienna.
- LAMBOT P., 2006. BeRef & projection Lambert, *Bulletin de la Société Géographique de Liège* (même volume).
- MINISTÈRE DE L'ÉQUIPEMENT ET DES TRANSPORTS, 2002. *Le fond de plan cartographique à grande échelle de la Région wallonne* (http://internet.win.be/rainbow/d432/ART_PICC_06_2002_b.pdf).
- RAHIER F., 2004. Rapport de tests GPS : RTK, comparaison des communications GSM et DAB. GEOLINE, Villers-le-Bouillet, inédit, 9 p.
- TRIMBLE NAVIGATION LIMITED, 2002. *Trimble Virtual Reference Station VRS* (http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-36964/VRS_022504-024-FR_lr.pdf).
- WÜBBENA, G. & BAGGE A., 2006. *RTCM Message Type 59-FKP for Transmission of FKP*. Geo++ White Paper, Nr. 2006.1 (<http://www.geopp.de/download/geopp-rtcm-fkp59-1.1.pdf>).
- WÜBBENA G., SCHMITZ M. & BAGGE A., 2005. PPP-RTK: Precise Point Positioning Using State-Space Representation in RTK Networks. Proceedings of the 18th International Meeting ION GNSS05, September 16-16 2005, Long Beach, California (http://www.geopp.de/download/ion2005_fw.pdf).

Adresse des auteurs :

Albert COLLIGNON
et Jean-Pierre DEJARDIN
† Ministère de l'équipement
et des Transports (MET) - D432
Boulevard du Nord, 8
B-5000 Namur
acollignon@met.wallonie.be

