

# Comparaison du positionnement temps réel classique RTK et du positionnement GPS temps réel réseau

## Mise en œuvre dans le réseau ORPHEON

■ Laurent MOREL - Stéphane DURAND

### MOTS-CLÉS

RTK, Réseau Temps Réel, Orphéon, MAC

*Plusieurs réseaux GPS temps réel poursuivent leur implantation sur le territoire national pour délivrer de nouveaux services de*

*positionnement par GNSS. En s'appuyant sur les principes du RTK avec une seule station, cet article explicite le concept maître auxiliaire à la base de la nouvelle norme de transmission RTCM version 3. Nous présentons ensuite les résultats d'une campagne de mesures mettant en œuvre ces deux types de positionnement : le RTK classique et le RTK dans le réseau Orphéon. Afin de comparer ces deux modes de positionnement RTK, nous avons fait varier la distance à la station de référence utilisée pour le mode RTK classique, utilisé les mêmes observations pour les deux calculs en temps réel, considéré différents environnements (rural, semi-urbain, urbain). Nous avons également comparé les positions RTK à des positions RGF93 obtenues par post-traitement. Les principaux résultats montrent une précision du positionnement RTK réseau d'au moins aussi bonne qualité que le positionnement RTK classique et de l'ordre de 2 cm. Les temps d'initialisation sont également similaires et proches de 10 secondes en moyenne.*

### Introduction

Ces dernières années, la France se retrouve dans une situation plutôt privilégiée en ce qui concerne l'évolution des services pour le positionnement par GNSS. Alors que nombre de nos voisins européens possèdent un, voire plusieurs réseaux temps réel, la métropole française dispose actuellement de trois réseaux privés dont le but est de couvrir l'ensemble du territoire : Orphéon, Teria et S@t-info. Ainsi il existe une offre diversifiée allant au-delà du simple choix économique de l'opérateur. D'un point de vue technologique, ces trois réseaux font cohabiter trois techniques différentes pour le calcul et la modélisation des corrections RTK : le concept MAC pour Orphéon, le FKP pour Teria et le VRS pour S@t-info.

Cette émulation s'accompagne par ailleurs d'un contexte légal sans équivoque puisque la récente promulgation de l'obligation de se rattacher au RGF93 à partir de 2009 et des projections Coniques Conformées 9 zones lève, s'il en était besoin, les dernières réticences au rattachement en RGF93. Avec un réseau GNSS temps réel, l'opération de rattachement est considérablement facilitée car immédiate en RGF93, compte tenu que les stations du réseau sont connues dans ce système.

Toutefois, comme pour toute nouvelle technologie, sa mise en place doit s'accompagner de formations et d'informations. Il s'agit de rassurer l'utilisateur en lui procurant le plus d'éléments possible pour lui permettre d'employer, d'évaluer et d'optimiser cette nouvelle technique dans ses travaux. Bien entendu, plus les techniques évoluent et plus il devient complexe d'en maîtriser tous les aspects. Mais les topographes doivent s'en saisir entre autres pour prendre les bonnes orientations en considérant notamment des réels apports techniques.

Cet article a le souhait de réaliser ces objectifs en rapportant les résultats d'une campagne test dans le réseau temps réel Orphéon. La première partie fournit quelques rappels sur le temps réel cinématique (RTK) afin d'introduire plus aisément le Concept Maître Auxiliaire (MAC) et ses produits réseaux dérivés dans une seconde partie. Dans une troisième partie, la campagne de tests sera décrite en insistant sur son caractère reproductible. La quatrième partie décrit les observations et le calcul des points de référence dans le RGF93 et la cinquième partie compare le positionnement GPS dans le réseau Orphéon par rapport à un positionnement RTK classique.

### Rappels sur le positionnement cinématique temps réel (RTK)

Cette technique de positionnement par GPS est apparue au début des années 1990 et a progressivement remplacé les techniques dites de Stop and Go, utilisées plus particulièrement dans le cadre des opérations de levé. Le principe est le différentiel GPS avec un récepteur fixe sur un point connu (station de l'utilisateur ou station d'un réseau) et un récepteur mobile qui se déplace sur des points dont on souhaite déterminer précisément les coordonnées. Les deux récepteurs réalisent des

▶ observations de déphasage et de décalage de temps, qui peuvent être modélisées de la manière suivante (Leick, 2004) :

$$L_i^j = \lambda \phi_i^j = \rho_i^j + c(dt^j - dt_i) - \lambda N_i^j + \rho_i^{j,iono} + \rho_i^{j,tropo} \quad (1)$$

$$R_i^j = c\Delta t_i^j = \rho_i^j + c(dt^j - dt_i) - \rho_i^{j,iono} + \rho_i^{j,tropo} \quad (2)$$

Avec :

$\phi_i^j$  : déphasage observé (en cycles)

$\Delta t_i^j$  : observation de décalage de temps

$\rho_i^j$  : distance géométrique entre le récepteur  $i$  et le satellite  $j$

$dt^j$  : décalage de l'horloge satellite par rapport au temps GPS

$dt_i$  : décalage de l'horloge récepteur par rapport au temps GPS

$N_i^j$  : terme d'ambiguïté entière

$\rho_i^{j,iono}$  : correction de distance due à la traversée de l'ionosphère

$\rho_i^{j,tropo}$  : correction de distance due à la traversée de la troposphère

Le récepteur fixe, communément appelé la référence ou la base, transmet ses observations et ses coordonnées par l'intermédiaire d'un modem (radio, GSM ou GPRS) au récepteur mobile qui les reçoit grâce à un modem équivalent. Le mobile dispose donc de ses propres observations, de celles de la référence sur les mêmes satellites et également des coordonnées connues de la référence. Différents formats, propriétaires ou ouverts peuvent être utilisés pour la transmission de ces informations et nous avons choisi d'utiliser dans notre campagne la norme internationale élaborée par l'organisation américaine Radio Technical Commission Maritime (RTCM) dans sa version 2.3, disponible sur la plupart des récepteurs GNSS. Comme dans un logiciel de post-traitement, le récepteur mobile réalise un calcul de ligne de base avec des algorithmes pour élaborer les doubles différences de phase, déterminer les valeurs flottantes des ambiguïtés (et les valeurs provisoires des autres paramètres), fixer les ambiguïtés et résoudre finalement les autres paramètres dont la position du mobile. Si l'on note  $\Delta \nabla$  l'opérateur de double différenciation, l'expression d'une double différence entre référence (ref) et mobile (mob) sur les satellites  $j$  et  $k$  est :

$$\Delta \nabla \phi_{ref,mob}^{j,k} = \Delta \nabla \rho_{ref,mob}^{j,k} - \lambda \Delta \nabla N_{ref,mob}^{j,k} + \Delta \nabla \rho_{ref,mob}^{j,iono} + \Delta \nabla \rho_{ref,mob}^{j,tropo} \quad (3)$$

Cette première méthode s'appuie sur la transmission des observations brutes contenues dans les messages 18 (observations de phase) et 19 (observations de pseudo-distance) au format RTCM 2.3 ainsi que sur les messages 3 et 22 (position du centre de phase de l'antenne de la référence).

Une autre possibilité est offerte par la transmission des corrections des mesures plutôt que de mesures brutes, avec les messages 20 (corrections de phase) et 21 (corrections de pseudo-distance) au format RTCM 2.3. Les étapes suivantes décrivent succinctement la procédure d'utilisation de ces corrections :

• **Elaboration des corrections à la base pour tous les satellites :** Etant donné que la position du récepteur fixe est connue, on peut calculer les distances géométriques ( $\rho_{ref}^j$ ) entre ce récep-

teur et tous les satellites et les retrancher aux observations brutes. La correction est alors la différence entre l'observation et la distance géométrique :

$$Corr\phi_{ref}^j = \lambda \phi_{ref}^j - \rho_{ref}^j = c(dt^j - dt_{ref}) - \lambda N_{ref}^j + \rho_{ref}^{j,iono} + \rho_{ref}^{j,tropo} \quad (4)$$

#### • Transmission des corrections au mobile

La transmission se fait en utilisant les messages RTCM version 2.3 de type 20 et 21. La latence, qui correspond au délai entre l'instant d'observation par le récepteur fixe et l'application de la correction au récepteur mobile, dépend principalement du vecteur utilisé pour la transmission (GSM, radio, GPRS) et de la quantité de données à transmettre.

#### • Application des corrections au mobile

Le mobile retranche simplement la correction  $Corr\phi_{ref}^j$  à sa propre mesure  $\phi_{mob}^j$ , pour obtenir une mesure corrigée  $\delta\phi_{ref,mob}^j$

$$\begin{aligned} \delta\phi_{ref,mob}^j &= \lambda \phi_{mob}^j - Corr\phi_{ref}^j \\ &= \lambda \phi_{mob}^j - (\lambda \phi_{ref}^j - \rho_{ref}^j) \\ &= \rho_{mob}^j + c(dt^j - dt_{mob}) - \lambda N_{mob}^j + \rho_{mob}^{j,iono} + \rho_{mob}^{j,tropo} \\ &\quad - c(dt^j - dt_{ref}) + \lambda N_{ref}^j - \rho_{ref}^{j,iono} - \rho_{ref}^{j,tropo} \\ &= \rho_{mob}^j - c\Delta t_{mob} + c\Delta t_{ref} - \lambda \Delta N_{ref,mob}^j + \Delta \rho_{ref,mob}^{j,iono} + \Delta \rho_{ref,mob}^{j,tropo} \end{aligned} \quad (5)$$

Cette mesure corrigée est très similaire à une simple différence entre les deux récepteurs. Pour la suite, exprimons ces mesures corrigées entre référence et mobile pour les satellites  $j$  et  $k$  :

$$\begin{aligned} \delta\phi_{ref,mob}^j &= \rho_{mob}^j - c\Delta t_{mob} + c\Delta t_{ref} - \lambda \Delta N_{ref,mob}^j + \Delta \rho_{ref,mob}^{j,iono} + \Delta \rho_{ref,mob}^{j,tropo} \\ \delta\phi_{ref,mob}^k &= \rho_{mob}^k - c\Delta t_{mob} + c\Delta t_{ref} - \lambda \Delta N_{ref,mob}^k + \Delta \rho_{ref,mob}^{k,iono} + \Delta \rho_{ref,mob}^{k,tropo} \end{aligned} \quad (6)$$

#### • Construction des simples différences sur satellite

La dernière étape consiste à différencier deux mesures corrigées sur deux satellites différents,  $j$  et  $k$  par exemple, pour obtenir une simple différence de mesures corrigées sur satellite :

$$\begin{aligned} SD_{ref,mob}^{j,k} &= \delta\phi_{ref,mob}^j - \delta\phi_{ref,mob}^k \\ &= \rho_{mob}^j - c\Delta t_{mob} + c\Delta t_{ref} - \lambda \Delta N_{ref,mob}^j + \Delta \rho_{ref,mob}^{j,iono} + \Delta \rho_{ref,mob}^{j,tropo} \\ &\quad - [\rho_{mob}^k - c\Delta t_{mob} + c\Delta t_{ref} - \lambda \Delta N_{ref,mob}^k + \Delta \rho_{ref,mob}^{k,iono} + \Delta \rho_{ref,mob}^{k,tropo}] \\ &= \Delta \rho_{mob}^{j,k} + \lambda \Delta \nabla N_{ref,mob}^{j,k} + \Delta \nabla \rho_{ref,mob}^{j,k,iono} + \Delta \nabla \rho_{ref,mob}^{j,k,tropo} \end{aligned} \quad (7)$$

Cette dernière équation de simple différence de mesures corrigées sur satellite est donc similaire à une Double Différence dans la méthode précédente à la seule différence que le terme connu de simple différence de distance géométrique est dans le membre de droite. D'un point de vue résolution, cela n'a strictement aucune influence et on peut donc appliquer les mêmes algorithmes que dans le cas précédent. Par contre cela explique qu'il ne sera pas nécessaire de transmettre la position de la station connue, qui est en fait contenue dans la correction transmise.

À l'étape 1, on peut aussi réduire la taille de la correction en modélisant partiellement dans l'observation de phase les décalages d'horloge (les  $dt^j$  sont calculables en partie à partir des messages de navigation et les  $dt_i$  sont toujours estimés à quelques microsecondes près dans une première phase de calcul). Dans ce cas, cette réduction devra aussi être faite au niveau du mobile avant d'appliquer l'étape 3.

Cette seconde méthode est équivalente à la première et offre



les avantages suivants : moins de bits sont nécessaires pour coder la correction par rapport à l'observation, les corrections sont moins sensibles au temps, le débit sera plus rapide, le récepteur est déchargé d'une partie du calcul et enfin, les coordonnées de la station de référence n'ont plus besoin d'être transmises (Neumann et al, 1996).

Enfin quelle que soit l'une ou l'autre des deux méthodes, la précision sur la détermination de la ligne de base vaut en théorie 1 cm + 1 ppm en planimétrie et est environ deux fois moins bonne en altimétrie (soit 2 cm + 1 ppm) si l'on se réfère à la documentation technique du système 1200 de Leica, ce matériel étant utilisé au cours de notre campagne. On trouvera sans doute dans la littérature des différences sur la valeur de la constante mais par contre tout le monde s'accorde sur une dégradation de la précision en fonction de la distance. Les erreurs géométriques ou atmosphériques ne s'éliminent plus aussi bien lorsque l'on réalise des longues lignes de base. Cette limitation importante justifie en partie l'émergence des concepts sur les réseaux temps réel à la fin des années 90, sans même parler de la notion de redondance en cas de panne apportée par les réseaux.

## Le positionnement temps réel GPS en réseau : MAC et application

La densité de stations permanentes sur un même territoire incita très rapidement les spécialistes à proposer des solutions technologiques avancées. D'un point de vue économique, il fit peu de doutes qu'un marché existait compte tenu des gains de temps envisageables : le rattachement devient obsolète et ne mobilise plus ni récepteur ni opérateur supplémentaires. De plus, la disponibilité et la fiabilité augmentent proportionnellement au nombre de stations dans le réseau. Les constructeurs GPS en viennent donc rapidement à proposer de nouvelles solutions dans des rapports qualité/prix non envisageables avec des solutions classiques différentielles temps réel (sur le code ou la phase, respectivement le DGPS et le RTK). Alors que le temps réel classique fait intervenir deux récepteurs, un seul capteur suffit maintenant pour la détermination des points dans un réseau GPS temps réel. L'investissement matériel pour du DGPS réseau (NDGPS) permettant de se positionner avec une précision décimétrique ainsi que l'investissement matériel pour du RTK réseau (NRTK) permettant d'atteindre une précision centimétrique reste moindre par rapport à l'achat d'un couple de récepteurs, même s'il faut ajouter les abonnements et les communications à ces éventuels coûts d'équipement.

### ■ Les différentes solutions technologiques

Pour se positionner en temps réel à partir de plusieurs stations de référence, il faudrait pouvoir transmettre à un mobile les observations de plusieurs stations tout en conservant un court délai de transmission, ce qui n'est technologiquement pas possible. Et même si cela l'était, il resterait à déterminer quelles stations choisir et que faire des différentes corrections au mobile. Parmi de nombreuses solutions technologiques, les concepts FKP (paramètres de correction de surface)

(Fotopoulos and Cannon, 2001 ; Wübbena and Bagge, 2001) et VRS (station virtuelle de référence) (Vollath et al, 2000) vont s'imposer progressivement car ils dédient au serveur central une part importante des calculs à travers une algorithmie propriétaire non connue du récepteur mobile car non normalisée. La norme RTCM dans sa version 2.3 est peu adaptée mais rend malgré tout possible leur application. La nouvelle norme RTCM 3.1, mettant en œuvre le Concept Maître Auxiliaire (MAC), permet de diffuser au récepteur mobile les observations réalisées sur un sous-ensemble de 6 stations entourant l'utilisateur appelé "cellule" puis de laisser le récepteur mobile gérer de manière transparente sa stratégie de positionnement dans un contexte réseau. Ce concept est utilisé par le réseau Orphéon pour transmettre des données temps réel via le logiciel SpiderNET de Leica. La part du calcul se retrouve dans ce cas transférée à nouveau au mobile. En soi, le concept Maître Auxiliaire n'est donc pas directement comparable à VRS ou FKP mais doit s'accompagner de traitements supplémentaires (réalisés au mobile alors que ceux de FKP et VRS étaient essentiellement réalisés au serveur) comme c'est le cas pour la solution MAX de Leica que nous avons utilisée dans notre campagne.

Dans le cadre de notre campagne dans le réseau Orphéon qui utilise la norme RTCM version 3.1, il nous apparaît nécessaire de décrire plus en détail le concept Maître Auxiliaire et une de ses applications au niveau du mobile.

### ■ Le Concept Maître-Auxiliaire

Ce concept s'applique pour au moins 3 stations et plus généralement dans un sous-réseau du réseau complet (cf. figure 1) appelé cellule. Il reprend dans un premier temps les mêmes étapes que dans le cas de VRS et FKP.

#### • Rapatriement des observations des stations du réseau au serveur central

Simple à définir, cette étape n'en est pas moins la plus critique technologiquement parlant. Elle suppose que des observations soient réalisées sur des sites de qualité puis récupérées par le centre de contrôle via un réseau de télécommunication. Ces données doivent être transmises le plus

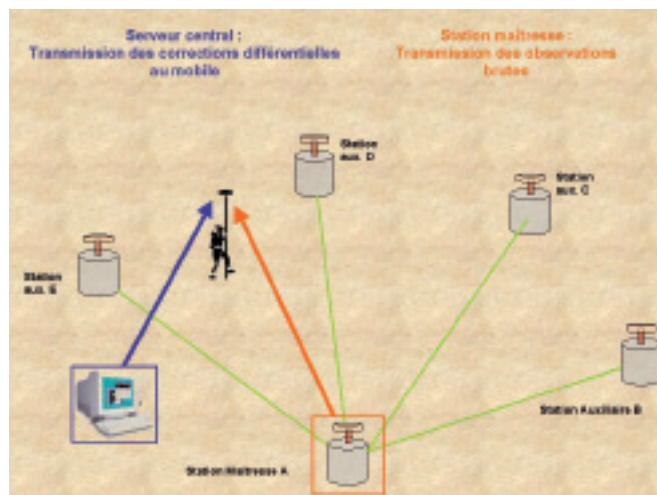


Figure 1. Concept Maître Auxiliaire.

rapidement possible au serveur de calcul, ceci 24h/24 et 7j/7. En effet, elles servent ensuite dans la résolution des ambiguïtés entières et la construction des corrections différentielles qui seront transmises au mobile sur le terrain. La latence finale, le temps entre l'instant des observations et l'utilisation des produits dérivés (corrections différentielles, observation de la station maîtresse) au niveau du mobile pour obtenir son positionnement, dépend du délai nécessaire à la transmission des observations au serveur de calcul et doit être la plus faible possible, inférieure à 1 seconde au maximum. Au-delà, les corrections ne sont plus valables pour être utilisées avec les observations présentes au mobile compte tenu des erreurs dispersives et non dispersives qu'elles modélisent. Le réseau de télécommunication joue donc un rôle primordial et la réalisation de cette étape nécessite notamment des transmissions haut débit par des réseaux télécom privés (Legros et al, 2005).

#### • Résolution des ambiguïtés au sein du réseau

Comme précédemment, la réalisation de cette étape est complexe car les distances inter-stations sont en général voisines de 60 à 70 km. Le logiciel de calcul du serveur central (GPSNet, GNSmart, SpiderNET...) doit résoudre en permanence les quantités  $\Delta N_{AB}^{j,i}$ , doubles différences d'ambiguïtés, pour toutes les stations et tous les satellites afin de pouvoir construire les corrections différentielles à l'étape suivante.

#### • Calcul des corrections différentielles

Comme toutes les stations du réseau sont connues dans la référence nationale, on peut calculer les corrections pour chacune d'entre elles en appliquant les équations établies dans la précédente partie.

A ce stade, les trois techniques vont procéder différemment et pour ce qui est de MAC, le logiciel va classer une station du réseau comme maîtresse (la plus proche du mobile par exemple) et les autres stations de la cellule comme auxiliaires. Dans les équations suivantes, nous appelons M la station maîtresse et A, B, deux stations auxiliaires de la cellule.

On peut alors construire toutes les corrections différentielles entre la station maîtresse et les stations auxiliaires :  $CD_{AM}^j$ ,  $CD_{BM}^j$  (Ouaknine, 2007).

$$CD_{AM}^j = Corr\phi_M^j - Corr\phi_A^j$$

$$= [\lambda\phi_M^j - \rho_M^j - c(dt^j - dt_M) + \lambda N_M^j] - [\lambda\phi_A^j - \rho_A^j - c(dt^j - dt_A) + \lambda N_A^j] \quad (8)$$

$$= \lambda\Delta\phi_{AM}^j - \Delta\rho_{AM}^j + cdt_{AM} + \lambda\Delta N_{AM}^j$$

$$CD_{BM}^j = \lambda\Delta\phi_{BM}^j - \Delta\rho_{BM}^j + cdt_{BM} + \lambda\Delta N_{BM}^j \quad (9)$$

On remarque que pour calculer les corrections on retranche à la mesure de phase la distance géométrique, comme en RTK, mais également les décalages d'horloge et les ambiguïtés entières. Par conséquent, pour construire les corrections différentielles, tous les termes doivent être connus :

-  $\Delta\phi_{AM}^j$  se calcule à partir des observations de phase,

-  $\Delta\rho_{AM}^j$  se calcule à partir de la position connue des stations et des éphémérides des satellites,

-  $dt_{AM}^j$  est la différence des estimations de décalage d'horloge des récepteurs des deux stations,

-  $\Delta N_{AM}^j$  peut s'obtenir à partir des ambiguïtés de double différence calculées à l'étape 2.

En effet, on peut remonter aux ambiguïtés de simple différence à partir des ambiguïtés de double différence par la relation suivante (Jaggi et al, 2001) :

$$\Delta N_{AM}^j = \Delta N_{AM}^{j,ref} - \Delta N_{AM}^{j,ref} \quad (10)$$

Le terme  $\Delta N_{AM}^{j,ref}$  est choisi arbitrairement mais sera le même par rapport à tous les satellites. Il s'éliminera plus tard quand on réalisera les simples différences sur satellite.

Ces corrections différentielles seront établies pour tous les satellites et pour toutes les stations de la cellule. Cette étape correspond à ce que l'on nomme la mise à un niveau commun d'ambiguïté puisque toutes les ambiguïtés de double différence sont déterminées par rapport à une station maîtresse commune lors de la création des corrections différentielles.

#### • Transmission

Le serveur central va transmettre au mobile en format RTCM 3.1 l'ensemble des observations de la station maîtresse (messages RTCM 1003 et 1004) ainsi que les corrections différentielles de toutes les stations de la cellule par rapport à la station maîtresse (message RTCM 1017). La taille limitée des corrections différentielles rend possible cette transmission tout en respectant des temps de latence convenables. Le serveur transmet également les coordonnées de la station maîtresse (messages RTCM 1005 ou 1006) ainsi que les différences de coordonnées des stations auxiliaires par rapport à la station maîtresse (message RTCM 1014) via un serveur sur le réseau Internet. L'utilisateur doit donc se connecter depuis son récepteur mobile au réseau Internet, puis au serveur diffusant les données. La connexion au réseau Internet se fait en général par le biais d'un réseau de téléphonie mobile en utilisant le GPRS (General Packet Radio Service). Les données sont acheminées par paquets ce qui permet notamment une facturation au volume et non plus au temps passé. Comme cette technologie s'appuie sur les réseaux GSM traditionnels, la durée et la qualité de transmission dépendent de l'opérateur du réseau.

Au final, le récepteur dispose de toutes les informations pour remonter à un niveau d'ambiguïté près aux observations brutes de tous les récepteurs. Un des avantages de cette nouvelle norme MAC est donc de laisser le choix du traitement au mobile qui dispose de toutes les données pour mettre en œuvre différentes méthodes (interpolation par exemple).

#### • Interpolation des corrections différentielles

L'interpolation des corrections est une possibilité parmi d'autres sachant que l'on peut aussi bien travailler avec les observations quasi brutes et réaliser par exemple du multi ligne de base. Parmi toutes les possibilités d'interpolation, on peut citer l'interpolation poids/distance qui permet de calculer une correction différentielle entre le mobile et la station maîtresse.

$$CD_{\text{amb},M}^j = \frac{\sum_{k=1}^N \left( \frac{CD_{A,M}^j}{D_k} \right)}{\sum_{k=1}^N D_k} \quad (11)$$

Expression dans laquelle  $D_k$  est la distance entre le mobile et la station  $k$  et  $CD_{A,M}^j$  est la correction différentielle entre la station maîtresse et la station auxiliaire  $k$  pour le satellite  $j$ .

Cette correction sera ensuite traitée de la même manière qu'en mode RTK classique en réalisant des simples différences sur satellite. Pour les mêmes raisons que dans la partie précédente, cette différentiation sera similaire au final à une double différence et pourra ainsi faire l'objet des traitements de résolution classique. D'autres traitements plus complexes peuvent être mis en œuvre par les algorithmes des récepteurs en incluant par exemple des éléments statistiques sur l'ionosphère. C'est le cas de la technologie MAX que l'on retrouve dans les récepteurs 1200 de Leica que nous avons utilisés lors de notre campagne et que nous nommerons NRTK dans la suite (Euler et al, 2002).

## Description de la procédure de tests en réseau temps réel

L'objectif principal de cette campagne est de comparer les résultats du positionnement temps réel cinématique (RTK) avec ceux du positionnement temps réel cinématique en réseau (NRTK) dans le cadre du réseau temps réel Orphéon. Notre but est d'informer les utilisateurs sur la réalité de l'opérationnalité du réseau, sur sa disponibilité, sa fiabilité, sa précision interne et sa précision de rattachement dans la référence nationale. Notre objectif n'est pas d'intercomparer les offres réseaux temps réel actuelles car bien d'autres critères que ceux énoncés précédemment entrent en ligne de compte : l'aspect économique, l'adéquation entre le réseau et les besoins de l'utilisateur notamment. Nous ne pouvons pas maîtriser ces aspects ni nous substituer à l'utilisateur mais par contre, nous pouvons informer sur les réalités du positionnement dans ces réseaux par rapport à un positionnement plus classique. Cette première campagne concerne un réseau particulier, pour une zone géographique donnée et sur deux jours d'observation. Nous prévoyons par conséquent de réitérer ces tests dans d'autres zones géographiques, à d'autres périodes de l'année et également pour les autres réseaux. Dans la construction des tests que nous décrivons ci-dessous, l'accent a été mis sur le caractère reproductible de cette campagne.

Les moyens mis en œuvre au cours de ces deux journées complètes d'observation furent 4 récepteurs Leica 1200 mis à disposition par Leica Geosystems, 2 splitters pour dupliquer les observations d'une antenne, 2 récepteurs Leica GPS500 pour le rattachement et 2 niveaux avec mires pour la mesure précise des hauteurs d'antenne. Pour des raisons pratiques, notre campagne s'est déroulée à l'Est de Chartres en bordure du réseau Orphéon actuel (cf. figure 2). Les observations ont mobilisé deux équipes de deux personnes les 31 juillet et 1<sup>er</sup> août 2007 ainsi que deux véhicules de l'Ecole Supérieure des Géomètres et Topographes (ESGT).

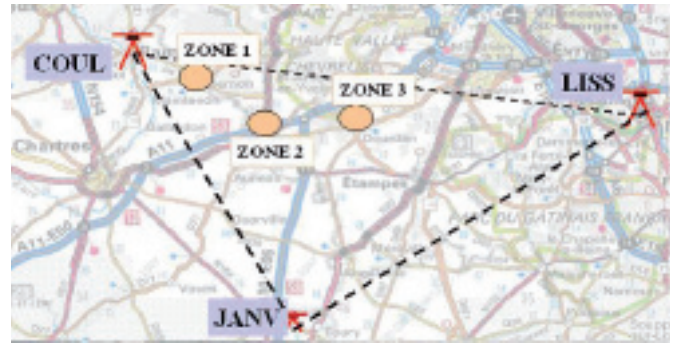


Figure 2. Localisation des zones de travail dans le réseau Orphéon.

### ■ Plusieurs zones

Afin de tester l'évolution de la qualité du positionnement en fonction de la distance à la station de référence la plus proche, nous avons sélectionné trois zones éloignées respectivement de 10 km, 20 km et 30 km de la station COUL (cf. figure 2). L'un de nos objectifs étant de comparer le RTK classique et le RTK réseau quant à leur aptitude à éliminer les erreurs géographiquement corrélées, nous avons choisi de faire du RTK classique avec de longues lignes de base, même si cela ne correspond pas toujours à son mode d'utilisation courant. Le nombre de zones à prendre en considération dépend de la distance inter-station du réseau lui-même si bien que dans le cas du réseau Orphéon (60 km en moyenne entre les stations) une quatrième zone à 40 km n'a pas de raison d'être puisque l'on se rapprocherait d'une autre station de référence. Par ailleurs, le choix des zones s'est fait autant que possible le long de la bissectrice du triangle formé par les trois stations entourant notre chantier (COUL, JANV et LISS). Bien que le calcul s'opère avec plus de trois stations (cf. figure 1), le triangle reste l'unité géométrique de base à prendre en compte.

### ■ Plusieurs points dans chaque zone

Afin de tester l'influence de l'environnement sur la qualité du positionnement, nous avons choisi plusieurs points dans chaque zone :

- 1 point rural : lieu dégagé sans masques,
- 2 ou 3 points semi-urbain : lieux avec des masques d'élévation moyens dans toutes les directions,
- 2 ou 3 points urbains : lieux avec au moins un masque total dans une direction (en pratique, ces points entourent l'église du village).

### ■ Réalisation des tests

La campagne s'est déroulée comme indiqué dans le tableau 1 pour les points sur les 3 zones. Pour chaque point, on a réalisé :

- un positionnement RTK classique à partir de la station COUL (RTCM 2.3),
- un positionnement NRTK (corrections MAX en RTCM 3.1).

Ces deux positionnements furent réalisés simultanément avec les mêmes observations en utilisant un splitter qui permet de connecter une même antenne sur deux récepteurs.

Dans le souci de limiter dans le temps la campagne afin de la rendre la plus reproductible possible, nous avons choisi de

Jour 1		9 h - 12 h	13 h - 15 h	15 h - 16 h 30	16 h 30 - 18 h
	<b>Zone 1</b> (Equipe 1)	1 point rural (Z1R)	1 point semi-urbain (Z1SUf)	2 points semi-urbain (Z1SU1, Z1SU2)	2 points urbain (Z1U1, Z1U2)
	<b>Zone 2</b> (Equipe 2)	1 point rural (Z2R)	1 point semi-urbain (Z2SUf)	2 points semi-urbain (Z2SU1, Z2SU2)	3 points urbain (Z2U1, Z2U2, Z2U3)
Jour 2		9 h - 12 h	13 h - 15 h	15 h - 16 h 30	16 h 30 - 18 h
	<b>Zone 3</b> (Equipe 1)	1 point rural (Z3R)	1 point semi-urbain (Z3SUf)	2 points semi-urbain (Z3SU1, Z3SU2)	1 point urbain (Z3U1)
	<b>Rattachements</b> (Equipe 2)	Levé statique et statique rapide des points			

Tableau 1. Déroulement de la campagne.

réaliser sur un même point plusieurs sessions de mesures (10 minutes maximum) en coupant le récepteur entre chaque session.

Les longs créneaux horaires sur les points ruraux et le premier point semi-urbain permettent d'étudier l'influence des valeurs de DOP sur les deux modes de positionnement.

Enfin, pour pouvoir comparer les différentes zones et les différents milieux entre eux, les mesures des mêmes types de points sont réalisées aux mêmes moments entre les zones.

Avant de mesurer le point suivant, la hauteur d'antenne est mesurée par nivellement de précision.

Ce tableau de marche permet également de libérer la seconde équipe le deuxième jour afin de réaliser les observations nécessaires aux calculs des rattachements dans la référence nationale.

Cette première campagne met en place une procédure de tests qu'il conviendra d'affiner au travers de futures expériences.

## Coordonnées de référence des points

Pour disposer d'une position de référence pour l'ensemble des points de la campagne (cf. tableau 1), nous les avons rattachés en RGF93 en utilisant exclusivement les stations du RGP en post-traitement. Nous déterminons le point rural pour chaque zone en positionnement statique puis tous les autres points de la zone par positionnement statique rapide à partir du point rural précédemment déterminé. Tous ces autres points sont également déterminés par rapport aux stations RGP les plus proches afin de contrôler les coordonnées déterminées à partir du point rural.

Dans un premier temps, nous avons utilisé le logiciel SkiPro 3 de Leica pour réaliser ces traitements. Nous envisageons de faire également un calcul avec le logiciel Bernese pour valider ces résultats en utilisant les coordonnées ITRF des stations du RGP.

Le tableau 2 résume les résultats obtenus lors du rattachement du point rural de chaque zone à partir des stations du RGP.

Les écarts planimétriques et altimétriques du tableau 2 proviennent des résultats donnés par SkiPro 3, ils correspondent aux écarts à la moyenne pondérée (calculée à partir des écarts-types a posteriori sur les coordonnées).

Au vu de ces résultats, on peut dire que la précision planimétrique des points de la campagne dans le RGF93 est de l'ordre de 5 mm et que la précision altimétrique est de l'ordre de 1.3 cm. Ces résultats sont de très bonne qualité, voire optimistes en planimétrie, compte tenu de la précision actuelle du réseau RGP (1 à 2 cm) et montrent que le rattachement à la référence nationale se réalise très bien dans ce réseau même avec certaines lignes de base très longues.

Pour ce calcul, toutes les stations du RGP à proximité furent sélectionnées et on ne retrouve dans le tableau 2 que celles conservées. Les lignes de base depuis les stations SIRT (41 km) et LENE (82 km) ne furent pas résolues et les résultats altimétriques issues de FAVI et OUTA étaient systématiquement au-delà de 5 cm ce qui nous a contraints à les retirer.

A partir de ces points calculés en statique avec près de 3 h d'observation en moyenne, les autres points furent calculés en statique rapide. Nous n'avons conservé les points que dans la mesure où un calcul avec les stations du RGP venait contrôler les résultats en regard de la précision du statique

Stations RGP	Z1R (3h17min)			Z2R (2h41min)			Z3R (3h27min)		
	distance (km)	Ecart plani (cm)	Ecart alti (cm)	distance (km)	Ecart plani (cm)	Ecart alti (cm)	distance (km)	Ecart plani (cm)	Ecart alti (cm)
BRET	46,9	0,2	0,9	39,5	0,0	1,0	30,0	0,2	0,7
CHPH	21,0	0,4	2,6	22,9	0,3	1,3	32,9	0,1	1,8
MELN	73,7	0,4	0,3	64,9	0,7	0,3	54,2	0,7	0,5
VSFR	27,0	0,5	1,3	32,2	0,7	1,6	34,7	0,5	0,8

Tableau 2. Rattachement des points ruraux au RGF93 dans chaque zone.



ZONE 1										PLANIMETRIE				ALTIMETRIE			
										RTK		NRTK		RTK		NRTK	
POINTS	Durée	HDOP	VDOP	n (RTK)	n (NRTK)	N (RTK)	N (NRTK)	TTF (s) (RTK)	TTF (s) (NRTK)	Ecart-type (cm)	EMQ (cm)	Ecart-type (cm)	EMQ (cm)	Ecart-type (cm)	EMQ (cm)	Ecart-type (cm)	EMQ (cm)
Z1R	3h43	1,0	1,7	9281	9355	23	22	5	3	1,0	1,5	0,8	1,4	1,5	1,8	1,4	2,0
Z1SU1	1h52	1,2	2,1	5824	5803	15	13	2	2	0,9	1,2	0,9	1,5	0,8	0,8	1,0	1,2
Z1SU1	0h16	1,0	1,6	687	3	3	3	2	2	0,6	1,6	0,6	1,3	0,6	0,6	0,6	0,6
Z1SU2	0h13	1,0	1,4	316	294	2	2	8	4	0,9	2,0	0,3	2,2	0,9	3,7	0,2	2,9
Z1U1	0h10	2,4	3,9	206	345	2	4	136	51	0,7	0,8	0,4	0,9	0,5	0,5	1,7	2,5

Tableau 3. Résultats des positionnements RTK et NRTK en zone 1.

ZONE 2										PLANIMETRIE				ALTIMETRIE			
										RTK		NRTK		RTK		NRTK	
POINTS	Durée	HDOP	VDOP	n (RTK)	n (NRTK)	N (RTK)	N (NRTK)	TTF (s) (RTK)	TTF (s) (NRTK)	Ecart-type (cm)	EMQ (cm)	Ecart-type (cm)	EMQ (cm)	Ecart-type (cm)	EMQ (cm)	Ecart-type (cm)	EMQ (cm)
Z2R	3h06	1,0	1,7	4933	5105	20	22	7	8	1,0	1,8	0,8	1,4	1,5	2,4	1,3	2,3
Z2SU1	2h05	1,2	1,9	2246	1873	18	17	11	16	1,6	2,0	0,7	1,5	2,2	2,2	1,4	1,6
Z2SU1	0h13	1,1	1,7	374	177	2	3	9	6	0,7	1,6	0,9	2,3	0,8	3,7	1,1	1,8
Z2U1	0h11	3,3	3,8	575	297	3	1	76	117	3,1	5,5	2,1	4,1	4,7	5,0	3,2	3,6
Z2U3	0h07	2,0	2,3	402	408	1	2	7	12	1,7	20,0	0,9	20,8	0,7	5,8	0,7	52,7

Tableau 4. Résultats des positionnements RTK et NRTK en zone 2.

ZONE 3										PLANIMETRIE				ALTIMETRIE			
										RTK		NRTK		RTK		NRTK	
POINTS	Durée	HDOP	VDOP	n (RTK)	n (NRTK)	N (RTK)	N (NRTK)	TTF (s) (RTK)	TTF (s) (NRTK)	Ecart-type (cm)	EMQ (cm)	Ecart-type (cm)	EMQ (cm)	Ecart-type (cm)	EMQ (cm)	Ecart-type (cm)	EMQ (cm)
Z3R	2h53	1,0	1,6	9147	9124	17	18	0	0	0,7	1,3	0,7	1,3	1,1	2,5	0,8	2,0
Z3SU1	2h41	1,2	1,9	8270	8090	18	18	0	2	1,1	2,8	0,9	2,0	1,9	2,9	1,8	2,1
Z3SU1	0h10	3,3	3,4	572	975	2	3	128	50	1,6	3,4	1,3	2,4	1,5	2,4	0,9	3,1
Z3SU2	0h12	1,9	2,0	698	311	2	1	3	0	0,7	1,4	0,1	1,3	0,4	2,9	0,4	1,6
Z3U1	0h13	2,5	2,5	296	491	3	1	95	24	1,8	8,1	0,6	7,0	1,4	2,9	0,7	5,2

Tableau 5. Résultats des positionnements RTK et NRTK en zone 3.

rapide. Les coordonnées retenues pour la suite sont celles provenant du rattachement aux points ruraux.

### Résultats des comparaisons RTK / NRTK

Les analyses suivantes s'appuient sur les tableaux 3, 4 et 5 qui résument les résultats respectivement pour les zones 1, 2 et 3. Pour chaque point, on trouve dans l'ordre la durée cumulée

des sessions, le HDOP et le VDOP moyen, le nombre de positions calculées en RTK et NRTK, le nombre de sessions en RTK et en NRTK, les temps d'initialisation en RTK et NRTK (Time To Fix en secondes), l'écart-type et l'EMQ en RTK et NRTK pour la planimétrie, l'écart-type et l'EMQ en RTK et NRTK pour l'altimétrie. Ces valeurs statistiques sont des moyennes calculées à partir de l'ensemble des positions calculées pour le point.

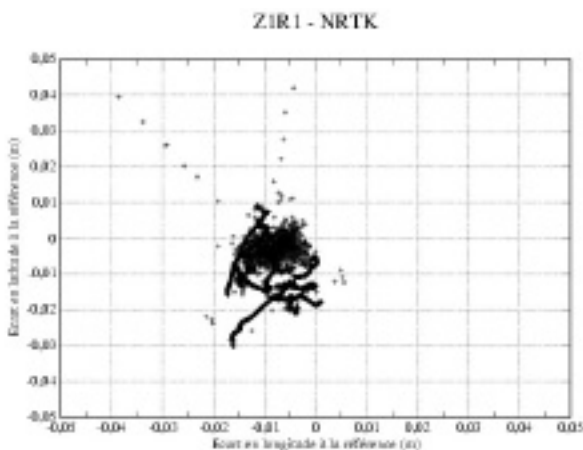


Figure 3. Ecarts planimétriques du positionnement NRTK en zone 1 (relativement à la position de référence calculée en statique dans le RGP)

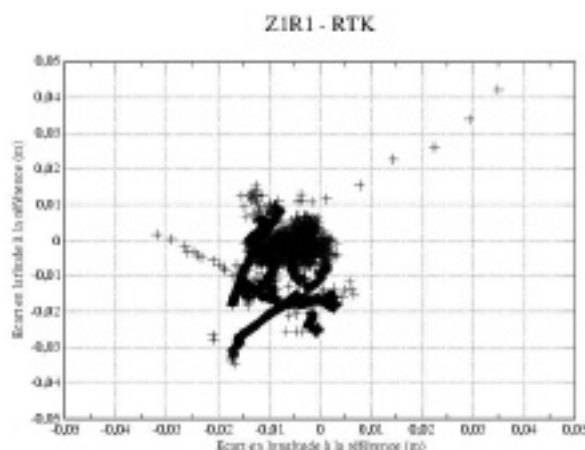


Figure 4. Ecarts planimétriques du positionnement RTK en zone 1 (relativement à la position de référence calculée en statique dans le RGP)

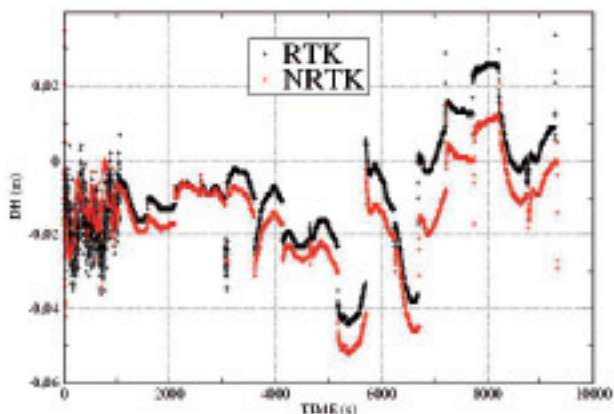


Figure 5. Écarts altimétriques des positionnements RTK et NRTK en zone 1 (relativement à la position de référence calculée en statique dans le RGP).



### ■ Etude de la répétitivité

L'objectif consiste à analyser la capacité de la stratégie de positionnement à retrouver la même position au cours du temps. Pour cela nous étudions les écarts-types de toutes les sessions ainsi que leurs moyennes au cours du temps (cf. tableaux 3, 4 et 5).

En planimétrie, on note que la répétitivité du NRTK est inférieure à 1 cm (0.7 cm en moyenne), quelle que soit la zone tant que les valeurs de DOP restent faibles (cf. figure 3). Dans le cas du RTK, les valeurs de répétitivité sont systématiquement légèrement supérieures pour toutes les sessions (1.1 cm en moyenne), (cf. figure 4).

En altimétrie, la répétitivité moyenne est proche de 1 cm en NRTK et de 1.1 cm en RTK (cf. figure 5). Comme pour la planimétrie les valeurs RTK sont à deux exceptions près supérieures à celles du NRTK et restent similaires quelle que soit la zone. On remarque logiquement une dégradation immédiate de ces valeurs lorsque les valeurs de DOP passent de 1 à 3.

### ■ Etude de la précision

Par l'examen des EMQ des tableaux 3, 4 et 5, on peut dire quelle a été lors de notre campagne la qualité du positionnement NRTK et RTK en RGF93 dans le réseau Orphéon. Ces EMQ se rapportent à la position de référence dont les calculs ont été présentés dans la précédente partie.

En planimétrie, la précision du positionnement NRTK Orphéon est en moyenne de 1.6 cm, variant entre 1.3 cm et 2.3 cm pour les sessions dont les valeurs de HDOP restent inférieures à 3 (cf. figures 3 et 6). En RTK, on retrouve une précision similaire avec toutefois des variations plus importantes pouvant atteindre presque 3 cm (cf. figure 7). On remarque pour la plupart des sessions des valeurs d'EMQ légèrement supérieures en RTK mais pas vraiment d'augmentation significative avec l'éloignement à la station de référence (COUL) si l'on compare notamment les figures 4 et 7. Sur les figures 4, 5, 6 et 7, on voit très clairement un décalage au Sud-Ouest du nuage de points des positions temps réel par rapport au point de référence. On retrouvera cette caractéristique pour tous les nuages de points

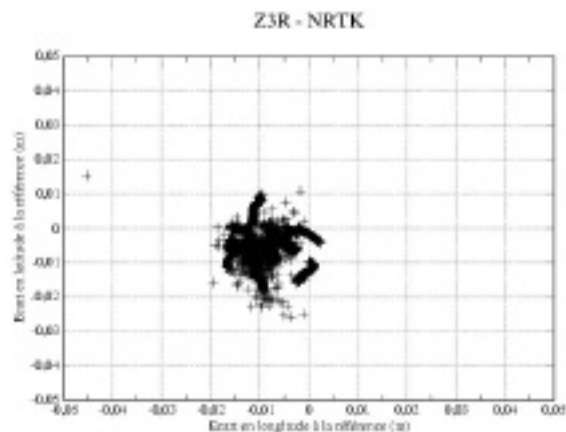


Figure 6. Écarts planimétriques du positionnement NRTK en zone 3 (relativement à la position de référence calculée en statique dans le RGP).

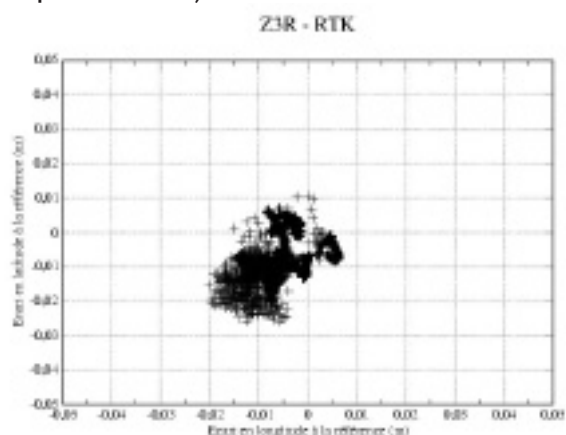


Figure 7. Écarts planimétriques du positionnement RTK en zone 3 (relativement à la position de référence calculée en statique dans le RGP).

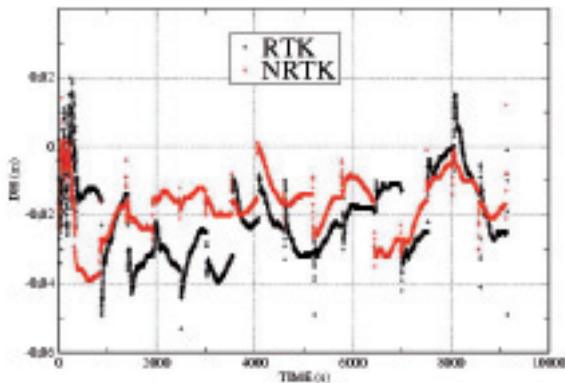
avec un décalage de 1 à 2 cm, ce qui n'excède pas la précision planimétrique de nos points de référence.

En altimétrie, la précision du positionnement NRTK Orphéon est en moyenne de 1.9 cm variant entre 0.6 cm et 2.9 cm quelle que soit la zone pour les sessions dont les valeurs de HDOP restent inférieures à 3 (cf. figures 5 et 8). En RTK, on peut apporter les mêmes commentaires que pour la planimétrie, à savoir que la plupart du temps les valeurs des précisions sont légèrement supérieures au NRTK mais qu'on ne voit pas de dégradation nette en fonction de la zone.

Enfin, aussi bien en altimétrie qu'en planimétrie, on trouve deux sessions avec des précisions dégradées, supérieures à 5 cm (cf. tableaux 4 et 5), alors que les valeurs de DOP sont inférieures à 3. Ces sessions devront faire l'objet d'une étude plus approfondie mais on peut d'ores et déjà noter que cette dégradation de précision concerne aussi bien le NRTK que le RTK.

Pour conclure sur ces analyses de précisions interne et externe, on peut dire que lors de notre campagne de tests le NRTK s'avère un positionnement d'aussi bonne voire de meilleure qualité que le RTK classique, aussi bien en planimétrie qu'en altimétrie, avec une précision de l'ordre de 2 à 2.5 cm. On remarque que le positionnement RTK s'est avéré être aussi de très bonne qualité avec une très faible dégrada-





**Figure 8.** Écarts altimétriques des positionnements RTK et NRTK en zone 3 (relativement à la position de référence calculée en statique dans le RGP).

tion de sa qualité avec la distance. Les conditions atmosphériques idéales et constantes dans lesquelles nous avons travaillé expliquent sans aucun doute cette caractéristique d'autant plus que les récepteurs 1200 Leica utilisés modélisent par une méthode stochastique les résidus ionosphériques subsistant après différentiation. Cela montre que ces tests doivent être renouvelés régulièrement (dans des conditions moins favorables) et que l'intercomparaison des campagnes et des réseaux n'a pas vraiment de sens d'un point de vue précision sauf si cette intercomparaison pouvait être réalisée en permanence. A ce sujet, il est intéressant de noter qu'il est possible pour un opérateur réseau de proposer des cartes rafraîchies en temps réel permettant de donner les erreurs résiduelles existant en tout point du réseau, une autre méthode consistant à suivre en permanence la qualité du positionnement d'une station permanente ne servant pas dans l'élaboration de la solution réseau mais jouant le rôle de "mobile permanent"

### ■ Influence du milieu environnant et des facteurs de DOP

Dans les deux études précédentes, nous nous sommes essentiellement concentrés sur les résultats des deux premiers types de points : rural et semi-urbain, pour lesquels les valeurs de DOP se sont révélées être faibles. Dans cette partie, nous regardons plus particulièrement les points semi-urbains et urbains pour lesquels les valeurs de DOP sont plus élevées. Bien que l'on ne puisse pas lier uniquement le milieu environnant aux valeurs de DOP, il est inversement presque impossible de les décorréler. Dans cette étude, nous avons choisi au départ de nous mettre dans des cas réels en augmentant les masques et en les orientant différemment selon les points. Cette méthode ne se traduit pas toujours par une augmentation du DOP aux instants d'observation ce qui limite au final les analyses.

Sur les tableaux 3, 4 et 5, on constate que le HDOP et le VDOP influencent directement et significativement les répétitivités planimétriques et altimétriques ainsi que les précisions planimétriques et altimétriques dès lors qu'il dépasse 3, en NRTK aussi bien qu'en RTK. En deçà, les effets ne sont pas réellement significatifs. Il semble également que cette dégradation soit en général moins importante dans le cas du NRTK, en planimétrie et altimétrie. Toutefois cette conclusion mériterait des

tests complémentaires sur d'autres points masqués ou par simulation de masques.

### ■ Temps d'initialisation

Dans les tableaux 3, 4 et 5, on retrouve les temps de fixation des ambiguïtés (TTF : Time To Fix) en RTK et NRTK pour tous les points dans les trois zones. Ces valeurs ont été extraites des trames NMEA qui contiennent un code relatif au type de positionnement enregistré chaque seconde. Lorsque les valeurs de HDOP et VDOP sont inférieures à 2, les temps d'initialisation pour obtenir un positionnement RTK ou NRTK sont quasi instantanés quelle que soit la zone. Une légère dégradation de ce temps d'initialisation semble survenir en zone 2 mais elle ne se confirme pas du tout en zone 3. Par ailleurs, on n'observe pas de différence significative de ces temps d'initialisation entre le RTK et le NRTK.

Lorsque les valeurs de DOP augmentent, on constate une augmentation immédiate des temps d'initialisation. A l'exception d'un point, la fixation des ambiguïtés passe en moyenne de 10 s à 2 minutes en RTK et de 10 s à 1 minute en NRTK. Il semble donc que la durée d'initialisation est significativement plus courte en NRTK lorsque les valeurs de DOP augmentent. Comme pour la précédente partie, des études complémentaires seront nécessaires en développant notamment des tests systématiques avec des masques artificiels (variation de l'angle de coupure). Il serait également intéressant de tester des matériels différents pour étudier la dépendance entre temps d'initialisation et type de matériel.

### ■ Disponibilité du positionnement

Cette disponibilité dépend du bon fonctionnement de toute la chaîne, des observations GPS réalisées aux sites permanents jusqu'à l'utilisation des corrections différentielles au mobile pour déterminer la position du point. On a rappelé précédemment que la transmission des observations GPS au serveur central était assurée par un réseau télécom privatif, en particulier pour garantir une bonne latence finale. Ensuite, la transmission des corrections différentielles s'effectue par GPRS par l'intermédiaire des fournisseurs opérant sur les réseaux d'antennes GSM actuels. Actuellement, aucun de ces réseaux ne couvre totalement la métropole ce qui implique que certaines zones ne disposent pas de solutions réseaux temps réel.

Des analyses rapides basées sur les tableaux 3, 4 et 5 permettent d'affirmer que nous avons obtenu un positionnement NRTK dans 95 % des cas lorsque nous avons un positionnement RTK. L'analyse fine des trames NMEA a montré également que nous obtenions un positionnement NRTK dans 80 % des cas lorsque nous avons une position en mode absolu. Ces résultats sur la disponibilité s'appuient sur des milliers de positions enregistrées au cours de nombreuses sessions réparties sur plusieurs points et au cours de deux journées. Ils témoignent également de la bonne qualité de réception des données par GPRS dans la zone considérée. Des tests avec deux opérateurs de réseau GSM différents ont donné des résultats similaires dans cette zone.

## Conclusion

Après avoir dans une première partie rappelé les principes et les équations du positionnement RTK simple, nous avons pu expliciter le fonctionnement du positionnement RTK réseau et plus particulièrement le concept Maître-Auxiliaire. Notre campagne d'observations a mis en œuvre ces deux modes de positionnement temps réel en comparant chacun d'eux à des positions de référence obtenues par positionnement statique. Le calcul des coordonnées de référence des points montre qu'on peut atteindre des précisions en dessous de 1 cm en planimétrie et de 1.3 cm en altimétrie dans la référence nationale RGF93 avec les stations du RGP les plus proches.

Nous avons ensuite montré que les répétitivités en RTK et NRTK étaient très similaires et de l'ordre de 1 cm en planimétrie et altimétrie, quel que soit l'éloignement à la station de référence COUL pour le RTK.

L'analyse des précisions par rapport aux coordonnées de référence montrent que la précision du NRTK dans le réseau Orphéon est en moyenne de 1.6 cm en planimétrie et 1.9 cm en altimétrie. Lorsque l'on compare à la précision du RTK, on constate des valeurs semblables avec une très légère dégradation lorsque l'on s'éloigne de la station de référence COUL. Cette très bonne qualité du positionnement RTK, même à plus de 40 km, s'explique par les bonnes conditions météorologiques d'une part et par la faible activité ionosphérique d'autre part. En effet, il est important de noter que dans le cycle d'activité solaire de 11 ans, principal responsable du contenu électronique de l'ionosphère, nous étions au mois d'août 2007 dans la période de plus faible activité. Il sera donc très intéressant de renouveler ce type d'étude dans le temps pour observer si le RTK conserve d'aussi bons résultats que le NRTK en période d'activité ionosphérique plus intense.

Pour les temps d'initialisation, ils apparaissent quasiment identiques et de l'ordre d'une dizaine de secondes aussi bien pour le RTK que le NRTK. Enfin nous n'avons pas noté de difficulté de disponibilité de la position NRTK. De plus le positionnement NRTK présente une tolérance aux pannes car si une station tombe en panne, les autres prennent le relais. Toutefois il convient de rappeler que nos résultats ont été obtenus dans une zone bien couverte par les réseaux de téléphonie mobile (GPRS) ce qui peut parfois ne pas être le cas. Nous reproduirons ce même type d'étude à la fois pour les autres réseaux et dans le temps. Cette première campagne constitue pour nous un point de départ, nous ferons évoluer nos tests afin de mieux rendre compte du milieu environnant et des dégradations des valeurs de DOP en particulier. ●

## Remerciements

Nous remercions chaleureusement Rani El Meouche et Omar Kokoch pour leur participation à la campagne d'observations. Nous remercions la société Leica Geosystems pour leur prêt de 4 récepteurs GPS 1200 et plus particulièrement Farouk Kadded, responsable support technique, pour ses commentaires éclairés sur notre étude.

Nous remercions la société Geodata Diffusion pour la prise en charge des connections et des communications au réseau

Orphéon et plus particulièrement Romain Legros pour son aide précieuse.

Nous remercions Aurélie Maurisset, Agnès Paris, Er Rachid Boulamain, Sofiane Rekhis (anciens étudiants de l'ESGT) pour avoir consacré leur projet de troisième année à une première campagne de test et avoir ainsi permis une première réflexion sur le sujet.

## Contacts

### Laurent MOREL

ESGT - Laboratoire de Géodésie et Géomatique (L2G)  
laurent.morel@esgt.cnam.fr

### Stéphane DURAND

ESGT - Laboratoire de Géodésie et Géomatique (L2G)  
stephane.durand@esgt.cnam.fr

## Bibliographie

**Euler H.-J., Zebhauser B. E., 2002.** *Comparison of different proposals for reference station network information distribution formats.* ION GPS 2002.

**Fotopoulos and Cannon, 2001.** *An overview of Multi-Reference station method for cm-level positioning.* GPS Solutions, Vol. 4, No 3, pp 1-10.

**Jäggi A., Beutler G., Hugentobler U., 2001.** *Using double difference information from network solution to generate observations for a virtual GPS reference receiver.* IAG 2001 scientific assembly.

**Legros R., Molle F., Balard N.** *Le point sur les traitements de données GNSS en réseau pour un positionnement centimétrique temps réel de meilleure qualité.* XYZ 105, 2005.

**Leick A., 2004.** *Satellite Surveying.* 3rd Edition.

**Neumann J. N., VanDierendonck K. J., Manz A., Ford T. J., 1996.** *Real time carrier phase positioning using the RTCM standard message types 20/21 and 18/19.* Novatel Inc., Technical papers.

**Ouaknine J. C., 2007.** *Développement d'un logiciel de traitement de GNSS en réseau.* Mémoire de TFE ESGT.

**Vollath U., Buecherl A., Landau H., Pagels C., Wagner B., 2000.** *Multi-base RTK positioning using virtual reference stations.* ION GPS 2000.

**Wübbena and Bagge, 2002.** *RTCM type 59-FKP for transmission of FKP.* GEO++ White Paper Nr. 2002.01.

## ABSTRACT

**Key words:** RTK, Network RTK, Orpheon, MAC

*Several Real Time GNSS networks pursue their development in France, in order to provide new GNSS positioning services. Using classical RTK principles with a single station, this article explains the Master Auxilliary Concept involved in the new RTCM standard in its 3rd version. Then, we present the results of a campaign using these methods for differential positioning: classical RTK positioning and network RTK positioning using the Orpheon's network. In order to compare classical RTK and network RTK positioning, distance to the reference station used for classical RTK positioning has been changed, the same data for both processings have been used, and several surroundings areas (rural, semi-urban and urban) are considered. We also compared RTK positions to RGF93 positions obtained by post-processing. Main results show a positioning accuracy of network RTK mode at least as good as classical RTK mode, and of about 2 cm. Initialization times (in order to obtain a fixed position) are also similar and close to 10 seconds on average.*