

## Méthodes de travail dans les réseaux GNSS 4<sup>e</sup> partie

### Le positionnement cinématique temps-réel suivant les méthodes "NRTK" et "RTK pivot libre"

■ Romain LEGROS - Laurent MOREL - Flavien VIGUIER - Florian BIROT

Après avoir abordé dans les numéros 132, 133 et 134 les méthodes du "filtrage et moyenne de positions NRTK", du "pivot central ou de la station virtuelle" et du "statique multi-stations" consistant dans les trois cas à obtenir les positions précises voire très précises de quelques points levés avec un récepteur stationnaire en mode cinématique ou statique (type de fixation des ambiguïtés entières), nous abordons dans cette quatrième partie les méthodes "NRTK" (Network Real Time Kinematic) et "RTK pivot libre" permettant de lever et surtout d'implanter rapidement et en temps réel un nombre de points très important. En reprenant le Tableau 1 de l'article introductif paru dans le numéro 129, il s'agit des méthodes de travail en réseau GNSS apparaissant en partie gauche encadrée en rouge :

#### MOTS-CLÉS

GNSS, NRTK, RTK, PPK, NPPK, Statique, Statique rapide, RGP, réseaux temps réel

La réalisation d'observations GNSS de qualité						
Levers cinématiques				Levers statiques		
Calcul des positions en temps réel		Calcul des positions en temps différé		Calcul des positions en temps réel	Calcul des positions en temps différé	
NRTK	RTK "Pivot libre"	NPPK	PPK "Pivot libre" (physique ou virtuel)	Filtrage et moyenne de positions obtenues en NRTK	Statique et statique rapide "multi-stations"	Méthodes "indirectes" du "pivot central" ou de la "station virtuelle"

Tableau 1. Structure du document. Les différentes techniques de positionnement GNSS en réseau apparaissent sur la dernière ligne du tableau, la méta-fiche relative à la réalisation d'observations de qualité étant quant à elle représentée sur la première ligne du tableau.

**A noter que le document "Méthodes de travail dans les réseaux GNSS" est librement téléchargeable à l'adresse suivante : <http://geopos.netne.net/spip.php?rubrique55>**

La structure de cet article reprend la trame des fiches correspondantes en y développant un exemple numérique concret afin d'étayer le propos.

#### Objectifs et applications

Ces méthodes de travail permettent de déterminer en temps réel et plusieurs fois par seconde (typiquement 5, 10 et 20 fois par seconde avec un récepteur

fournissant des positions à 5, 10 et 20 Hz) les coordonnées précises du récepteur mobile utilisé. Les coordonnées obtenues sont exprimées dans la référence nationale avec une classe de précision 3D comprise entre 2 et 5 cm à 1  $\sigma$ .

Ces méthodes peuvent donc être utilisées pour :

- Lever des points stationnés sur quelques époques.
- Se diriger vers des points à matérialiser et les implanter en les stationnant sur quelques époques.
- Mettre en référence un lever obtenu par méthodes optiques (topométriques) ou photogrammétriques en déterminant les coordonnées des

points d'appui d'un canevas local.

- Effectuer le contrôle absolu d'un lever obtenu par méthodes topographiques tierces (Station optique - GNSS cinématiques de type RTK pour la méthode du "NRTK", PPK, NRTK pour la méthode du "RTK pivot libre" et enfin NPPK).

Pour les deux derniers champs d'applications (mise en référence et contrôle), la frontière avec la méthode du "filtrage et moyenne de positions NRTK" est ténue et le lecteur est fortement incité, au regard des enjeux et bien entendu dans la mesure du possible, à utiliser cette dernière méthode eu égard à sa très forte "robustesse" (cf. article paru dans le n° 132).



## Principe de la méthode et niveau de difficulté

Le mobile calcule la ligne de base le séparant d'une station de référence du réseau ou du pivot RTK en recevant des "corrections" lui permettant de limiter au maximum l'influence des erreurs spatialement corrélées.

En mode RTK, la base transmet au mobile sa position ainsi que ses observations afin que ce dernier puisse réaliser un calcul différentiel. Les "corrections" mesurées sur la base sont alors directement appliquées sur le récepteur mobile en partant du principe que les postes GNSS sont suffisamment proches l'un de l'autre (ligne de base de quelques centaines de mètres à quelques kilomètres) pour que les erreurs soient quasi identiques sur les deux postes de mesure (i.e. "erreurs" spatialement très corrélées sur de très courtes lignes de bases).

En mode NRTK, ces "corrections" sont issues d'un "calcul réseau" basé sur une interpolation des erreurs géométriques (éphémérides et troposphère) et dispersives (ionosphère) à partir des erreurs effectivement mesurées sur un ensemble de stations entourant le mobile. L'ensemble de ces "corrections" peuvent servir à générer une

Figure 1. Pivot ou Base RTK et récepteur mobile GNSS. A noter que dans le cadre de la méthode NRTK, seul le mobile est nécessaire.

## Matériels nécessaires

- Un mobile GNSS, de préférence bifréquence, équipé d'une radio UHF et/ou d'un modem GPRS-UMTS muni d'une carte SIM DATA permettant de se connecter à Internet pour récupérer les données du pivot ou du réseau GNSS NRTK.
- Un bipode permettant de laisser le mobile en place sur le point stationné de manière suffisamment stable pendant plusieurs époques de mesure en fonction de la qualité requise pour chaque type de point du lever (point de détail permettant d'habiller le lever, points topographiques constitutifs du lever et points de contrôle).
- Dans le cadre de la méthode "NRTK", un abonnement à un service temps réel d'augmentation de précision GNSS.
- Dans le cadre de la méthode "RTK pivot libre"
  - Une base, de préférence bifréquence, équipée d'un trépied et d'une radio UHF et/ou d'un modem GPRS-UMTS muni d'une carte SIM DATA permettant de se connecter à Internet pour mettre à disposition les données du pivot.
  - Un logiciel de post-traitement permettant éventuellement d'effectuer un calcul en réseau (ajustement libre

ou contraint par moindres carrés) installé sur un poste informatique pouvant se connecter à Internet afin de récupérer les observations GNSS réalisées sur un certain nombre de stations permanentes de référence appartenant à un réseau GNSS (typiquement le RGP) ainsi que divers produits utiles (éphémérides précises, modèle ionosphérique, etc.).



Figure 2. Lever en mode NRTK suivant le concept MAC avec une station maîtresse située à 17 km.

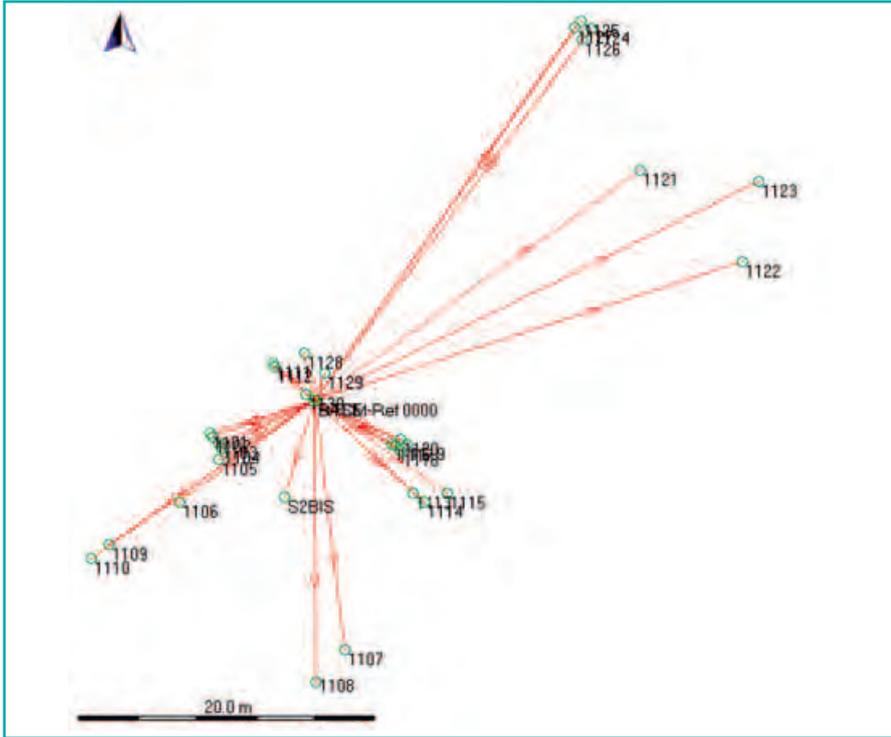


Figure 3. Même lever suivant la méthode du "RTK pivot libre".

station virtuelle à proximité du mobile (mode réseau VRS pour "Virtual Reference Station"), rendant la notion même de réseau transparente pour le récepteur mobile. Ces "corrections" peuvent également être modélisées par un plan comme dans le mode FKP, ce qui permet au mobile d'obtenir ses corrections en interpolant dans le plan dès sa réception. Dans le mode réseau MAC ("Master Auxiliary Concept") normalisé RTCM3, les observations de la station maîtresse et les corrections de différence de phase des 5 stations auxiliaires entourant l'utilisateur (cf. Figure 1 de l'article du numéro 132) sont transmises au mobile qui va pouvoir remonter aux observations de l'ensemble des stations pour calculer de manière autonome (et donc parfaitement maîtrisée) sa propre "correction" pour augmenter la précision de sa solution de positionnement. L'exemple terrain a été réalisé sur la commune d'Arpajon (91) et a consisté à relever une trentaine de points matérialisant une entrée de parking.

Les figures 2 et 3 montrent le lever en mode NRTK avec une station maîtresse (concept MAC) située à Corbeil-Essonnes (ligne de base de 17,3 km) puis le même lever réalisé avec un pivot dis-

posé au centre de la zone relevée de manière à ce que les lignes de base n'excèdent pas 60 mètres.

## Préparation de la mission

La préparation d'un lever NRTK ayant déjà été développée dans l'article du numéro 132 traitant de la méthode du "filtrage et moyenne de position NRTK" nous invitons le lecteur à procéder à une lecture croisée entre les deux articles et nous nous attacherons à décrire dans cette partie la préparation d'un levé dans le cadre de la méthode du "RTK pivot libre".

### ■ Problèmes de télécommunications

Chaque époque de mesure du mobile devant être synchronisée aux informations envoyées par le pivot, il faut pouvoir disposer d'un lien de communication temps réel afin de faire communiquer les deux postes de mesure.

Sur le terrain il est donc indispensable de bien penser le système de communication à utiliser :

- Radios UHF pour des portées maxi-

10 ou 20 km) en ligne de vue directe avec nécessité de s'acquitter d'une licence d'utilisation auprès de l'ANFR (Agence Nationale des Fréquences Radioélectriques) pour un coût d'environ 1100 € HT annuels au 01/02/2012 pour l'utilisation d'une des deux fréquences itinérantes 444.8375 MHz ou 444.9875 MHz à une distance maximale de 20 km.

- Internet mobile pour des portées illimitées avec des coûts assujettis aux coûts des abonnements afférents (environ 300 € HT annuels pour un abonnement GPRS-EDGE-UMTS en connexion illimitée au 01/02/12)

Dans le cas de l'utilisation d'une radio UHF, il faudra veiller à monter la radio émettrice le plus haut possible de manière à augmenter les portées, les deux antennes radio devant a priori être reliées par une ligne de vue directe. Si les deux fréquences itinérantes étaient déjà utilisées par d'autres utilisateurs (444.8375 et 444.9875 MHz), il demeurera possible de décaler l'émission de quelques millisecondes afin de pouvoir partager une même fréquence à plusieurs utilisateurs.

Si en UHF les données transitent dans l'air entre l'émetteur et le récepteur en quelques millisecondes, il n'en est pas de même quand lesdites données transitent dans un réseau télécom complexe comme le réseau GPRS-EDGE où la latence moyenne est de 750 ms avec un écart-type de 750 ms à un sigma.

Il est alors assez fréquent que les données arrivent avec une latence de 2 secondes d'où la nécessité de configurer le récepteur mobile utilisé en mode "interpolé" afin d'effectuer un lever en temps réel ("Low Latency" chez TRIMBLE, "Précision" chez LEICA, "Extrapolation" chez TOPCON, etc.). Ce mode est à opposer au mode "synchronisé" où le mobile attend de recevoir la correction à synchroniser à sa mesure pour générer une position. Avec de tels modèles d'interpolation, les corrections reçues par le mobile à typiquement 1 Hz (une correction par seconde) lui permettent de monter un modèle d'interpolation dans lequel il va pouvoir aller chercher les 5, 10 ou 20 corrections à synchroniser à ses 5, 10 ou 20 mesures faites chaque



seconde pour calculer des solutions de positionnement à 5, 10 ou 20 Hz.

La limite de validité en extrapolation d'un tel modèle étant d'environ 3 secondes, son utilisation permet de pallier les petites coupures télécoms inhérentes à l'utilisation du réseau GPRS-EDGE.

Pour faire face à des coupures plus importantes de la liaison télécom, mais aussi à toutes fins de contrôle et de traçabilité, enregistrez les données brutes en statique comme en itinérant afin de pouvoir recalculer en post-traitement (PPK "pivot libre") l'ensemble de votre chaîne cinématique à partir des données observées sur les stations de votre opérateur réseau et/ou celles du RGP tel que décrit dans le prochain article.

### ■ Vérification du matériel

Il est également recommandé de s'assurer, conformément aux bonnes pratiques et aux prérequis rappelés en préambule du document, que le matériel est apte à être utilisé dans le cadre d'un lever de précision (qualité de la bulle et longueur de la canne - grille de conversion altimétrique, modèles d'antennes et version du firmware du récepteur GPS/GNSS à jour).

## Phase terrain

Les phases terrain afférentes à un lever NRTK ayant déjà été développées dans l'article du numéro 132 traitant de la méthode du "filtrage et moyenne de position NRTK" nous invitons le lecteur à procéder à une lecture croisée entre les deux articles et décrivons dans cette partie la préparation et la réalisation d'un levé et de son contrôle dans le cadre de la méthode du "RTK pivot libre".

### ■ Lever cinématique

1. Trouvez un point central sécurisé, stable, bien dégagé et permettant la réalisation d'observations GNSS de qualité conformément aux prérequis afin de mettre votre pivot ou base en station.

Dans l'exemple nous intéressant, le

pivot est installé sur une station nommée "S1". De manière à pouvoir remettre votre pivot en station si vous aviez à démonter votre appareil (chantier durant plusieurs jours et emplacement "moyennement" sécurisé), commencez par matérialiser au sol l'endroit de votre mise en station pour réoccupation ultérieure.

2. Mettez en place la base et son moyen de communication, mesurez bien la hauteur d'antenne (3 lectures les plus indépendantes possibles), vérifiez votre mise en station (bulle et plomb optique) et allumez le récepteur. Dès que votre récepteur est en mesure de déterminer une position en mode "naturel", fixez-la arbitrairement comme position connue de votre base via la fonction "ici" de son module de mise en station.
3. Lancez ensuite l'enregistrement des données brutes toutes les secondes (1 Hz) sur votre base pour le post-traitement des coordonnées du pivot et éventuellement sur votre mobile pour un recalcul de votre chaîne cinématique à toute fin de contrôle (*cf. prochain article*).
4. Vérifiez la bonne émission des "corrections" sur votre moyen de communication.
5. Allumez votre mobile et vérifiez la qualité du flux de "corrections" avant de vous déplacer sur la zone à lever. Les "corrections" doivent alors arriver toutes les secondes de manière très régulière et votre système doit normalement très rapidement passer en mode "RTK Fixe", c'est-à-dire réaliser son initialisation (fixation des ambiguïtés entières).
6. Une fois sur zone, attendez que votre système initialise et vérifiez la qualité de l'initialisation en comparant 3 fois de suite les coordonnées données par le système sur le premier point du lever après avoir retourné l'antenne de votre mobile en direction du sol jusqu'à perte complète de la poursuite des satellites (perte de la solution de positionnement).

Si votre système met plus de temps que d'habitude à fixer les ambiguïtés entières (opération typiquement de

l'ordre de la minute), soyez sur vos gardes (masques, multitrajets, qualité du flux de correction, phénomènes météorologiques ionosphériques ou troposphériques, trop forte décorrélation entre les observations réalisées sur votre pivot et celles réalisées sur le mobile, etc.) et ayez plutôt tendance à "sur-contrôler" votre lever.

7. Effectuez votre lever en respectant les consignes suivantes, sans oublier l'ensemble des bonnes pratiques décrites dans les prérequis du document :

a) Stationnez les points de détails 1 seconde (habillage de votre lever), les points topo entre 3 et 5 secondes (points essentiels de votre lever) et les points de contrôle 180 secondes, le fait de moyenner les positions permettant de fiabiliser le résultat. Pour ce faire, réglez dans la configuration de votre récepteur mobile le nombre d'époques à mesurer pour lever un point en conséquence. Il faut prendre l'ensemble des points importants au moins deux fois en laissant passer au moins 20-30 minutes entre deux déterminations successives de manière à laisser suffisamment changer l'état de la constellation et l'ensemble des autres paramètres d'état du système (état ionosphérique et troposphérique). Plus vous aurez de déterminations indépendantes pour un même point, plus sa qualité sera avérée.

De manière à automatiser le plus possible ce processus de multi-détermination d'un même point, vous pouvez conserver d'une fois sur l'autre le nom du point et régler convenablement les tolérances planimétriques et altimétriques autorisées entre deux déterminations.

De manière à aller au bout de cette démarche de multi-détermination d'un même point, vous pouvez vous référer à l'article paru dans le numéro 132 traitant de la méthode de "filtrage et moyenne de positions NRTK" en généralisant le terme "NRTK" au concept de "positions obtenues sur quelques époques".



- b) Au-delà des estimateurs de la précision horizontale et verticale fournis par votre capteur (indicateurs statistiques), ne levez pas avec un GDOP ou un PDOP de respectivement de plus de 3-4 et 2-3. Pour ce faire, vous pouvez surveiller ce paramètre en temps réel et/ou définir un masque de lever.
- c) En cas de perte du statut centimétrique de votre solution de positionnement (perte de l'initialisation), par exemple après être passé près d'un bâtiment ou sous un arbre, rendez-vous dans un endroit bien dégagé afin de reprendre une initialisation fiable en contrôlant sa qualité comme indiqué au point 6. Dans la mesure du possible, redéterminez les coordonnées du dernier point levé avec l'initialisation précédente afin de contrôler l'écart de position obtenu dans l'optique d'assurer la cohérence interne de votre lever. En cas d'impossibilité, essayez de repasser ultérieurement sur un point déjà levé avec l'initialisation précédente afin de contrôler l'écart de position obtenu. Pour ce faire, essayez de passer par un chemin libre de tout obstacle afin de ne pas perdre l'initialisation que vous cherchez à valider. En cas d'incohérence, répétez la procédure avant de remettre en cause l'initialisation antérieure.

### ■ Moyens de contrôle

A la fin de votre lever, terminez par la redétermination du premier point et contrôlez l'écart de position. Si vous avez respecté les recommandations ci-dessus (en cas de perte d'initialisation afin d'assurer la cohérence entre les différentes initialisations) et si cet écart est cohérent avec les spécifications de votre lever, la cohérence interne de votre lever devrait normalement être assurée.

Le nombre de points de contrôle sera d'au moins 3 pour un levé linéaire (bien répartis sur la longueur du projet (début, milieu, fin)) ou de 4-5 (quatre coins et centre du rectangle englobant l'ensemble des points levés) pour un levé surfacique :

#### 1. Contrôle relatif :

- a) Stationnez plusieurs fois le point de contrôle à différents moments de la journée de manière à obtenir le maximum de déterminations indépendantes du même point comme expliqué dans la partie liée au levé de point de contrôle dans la phase terrain. Plus le nombre de déterminations indépendantes du même point sera important plus la fiabilité de ce point sera avérée.
- b) Si votre chantier était amené à durer plusieurs jours, n'hésitez pas à effectuer vos différentes sessions de mesure pour un même point sur plusieurs jours à des heures bien distinctes. En effet, les constellations GPS et GLONASS se répètent de jour en jour aux mêmes heures avec respectivement des décalages de 4 et 90 minutes. Cette recommandation vous permettra d'éviter de vous retrouver avec des DOPs similaires, même si les conditions atmosphériques ont changé.
- c) Pour aller au bout de cette démarche de multi-détermination d'un même point, vous pouvez vous référer au numéro 132 traitant du "filtrage et moyenne de positions NRTK" en généralisant le terme "NRTK" au concept de "positions obtenues sur quelques époques" dans le cas de la méthode du "RTK pivot libre".
- d) Si vous disposez d'une station optique procédez à des contrôles de distances et d'azimuts (dans cet ordre de préférence).
- e) A toutes fins utiles, enregistrez les données brutes en statique comme en itinérant afin de pouvoir recalculer en post-traitement (PPK ou NPPK) l'ensemble de votre chaîne cinématique à partir des données observées sur les stations de votre opérateur réseau et/ou celles du RGP.

**2. Contrôle absolu :** Stationnez tous les points connus en coordonnées (RBF, NGF, autres, etc) afin d'assurer un contrôle absolu de la qualité de votre lever ou procédez aux observations nécessaires pour un contrôle par méthodes statiques. Ce contrôle doit permettre d'obtenir des coordonnées

au moins deux fois plus précises que celles obtenues en mode RTK (ou NRTK le cas échéant) pour votre point de contrôle (conformément aux modalités de l'arrêté du 16 septembre 2003 relatif aux classes de précision). En d'autres termes et si aucun point de contrôle n'était disponible, utilisez la méthode statique "multi-stations" en prenant toutes les précautions nécessaires permettant d'obtenir les coordonnées "les plus précises possible" par méthodes GNSS, même si le coefficient de sécurité de 2 mentionné dans l'arrêté du 16 septembre 2003 sera parfois difficile à justifier. Pour ce faire, référez-vous à l'article paru dans le numéro 134 sur les méthodes "statique multi-stations" en procédant aux observations à un autre moment que celui de votre chantier (observations indépendantes) et en effectuant si possible le calcul de post-traitement avec des stations de référence différentes de celles utilisées pour mettre en place le pivot.

Idéalement, revenez sur vos points de contrôle à chaque étape de votre levé, surtout si ce dernier était amené à durer plusieurs jours.

Soyez très précautionneux sur le choix des sites ainsi que sur vos mises en stations conformément aux prérequis.

Si votre levé était amené à durer plusieurs jours et si vous aviez à démonter votre pivot (conseil également valable si vous aviez à changer votre pivot de place pour des problèmes de portée radio), mettez votre pivot en place sur un point déjà levé et matérialisé en conséquence. Vous pourrez ainsi saisir ses coordonnées précédemment obtenues en mode RTK lors de votre nouvelle mise en station. Respectez ensuite le reste de la procédure à compter de l'étape 4 consistant à vérifier la bonne émission de "correction" via le média utilisé (radio UHF ou GPRS-UMTS).

La redétermination d'un certain nombre de points de votre levé est également envisageable en utilisant un autre pivot complètement indépendant.

Dans l'exemple développé, une station nommée "S2" a été rattachée au RGF93 en post-traitement à partir des



données du RGP en suivant la méthode "statique multi-station" telle que décrit dans l'article du n° 134 afin de pouvoir servir de point de contrôle absolu.

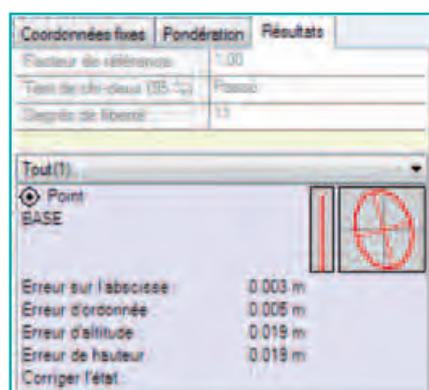
A noter que la station "S1" sur laquelle est mise en place la base RTK pourra également servir de point de contrôle dans le cadre de la méthode "NRTK".

## Phase bureau

### ■ Positionnement du pivot dans le cadre de la méthode du "RTK pivot libre"

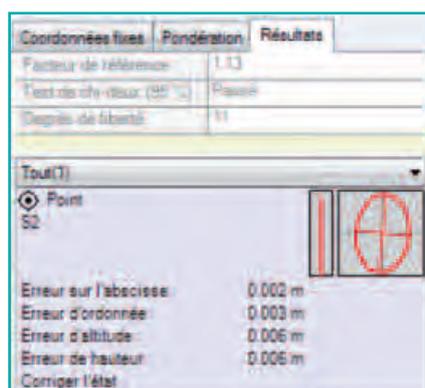
De retour au bureau, commencez par déterminer la position de votre pivot dans le système RGF93 en le rattachant par post-traitement à partir des données des stations du RGP et/ou de votre opérateur temps réel conformément aux recommandations parues dans le n° 134.

La *figure 4* montre l'ellipsoïde d'erreur sur la station "S1" après calcul dans le système RGF93 via les stations permanentes du RGP :



**Figure 4.** Paramètres de l'ellipsoïde d'erreur associé à la station "S1" sur laquelle est stationnée la base RTK.

Dans le cas où vous auriez la possibilité de vous mettre sur un point préalablement connu en coordonnées (situation hors du champ du document traitant des méthodes de travail dans les réseaux GNSS), enregistrez tout de même les observations brutes de votre pivot pour le rattacher en post-traitement et comparez les coordonnées obtenues aux coordonnées connues comme moyen de contrôle.



**Figure 5.** Paramètres de l'ellipsoïde d'erreur associé à la station "S2" servant de contrôle dans le cadre des deux méthodes.

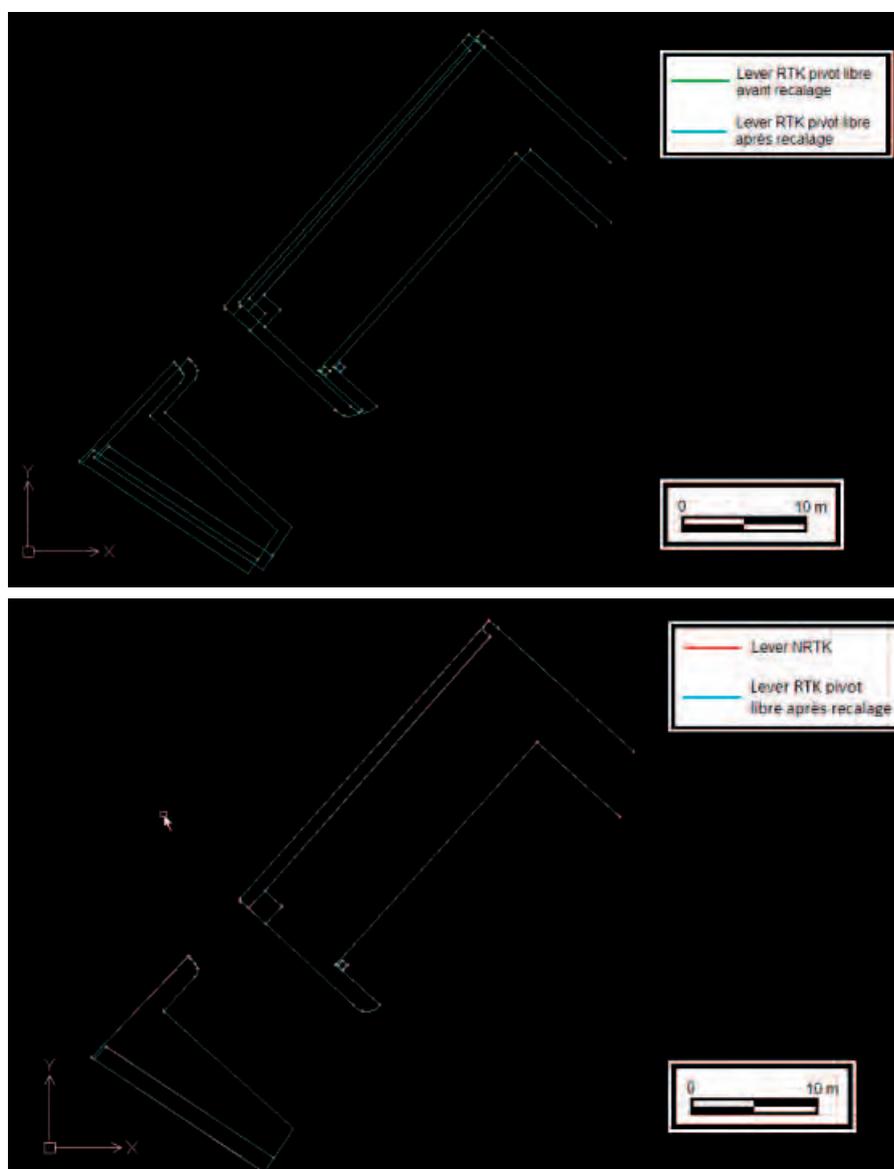
### ■ Calcul des points de contrôle pour un contrôle absolu

La *figure 5* montre l'ellipsoïde d'erreur sur la station "S2" après calcul dans le système RGF93 via les stations permanentes du RGP :

Comme précédemment mentionné, la station "S1" pourra également servir de contrôle dans le cadre de la méthode "NRTK".

### ■ Traitement de la chaîne cinématique

1. Dans le cadre de la méthode du "RTK pivot libre", les lignes de base calculées



**Figure 6.** Comparaison entre le lever obtenu en mode "RTK pivot libre" en fixant arbitrairement une position WGS84 au pivot (en vert) et le même lever suite à la mise en référence du pivot dans le RGF93 (en bleu). A titre indicatif, le lever NRTK est également représenté (en rouge).



S2 – RGF 93 projection Lambert93 / IGN69	Début de lever (temps t)	Fin de lever (temps t+30min)	Ecart
E (m)	644005.514	644005.515	+0.001
N (m)	6833416.722	6833416.721	-0.001
H (m)	86.838	86.843	+0.005

**Tableau 1.** Coordonnées de la station “S2” obtenues suivant la méthode du “RTK pivot libre” en début et fin de lever après recalage du pivot dans le RGF93.

lées en temps réel entre le pivot et l’ensemble des points de votre chaîne cinématique dans le système WGS84 (utilisation des éphémérides radiodiffusées) seront alors appliquées aux coordonnées RGF93 du pivot calculé à l’étape précédente. La *figure 6* permet de voir ce processus de “calage” du lever RTK dans la référence nationale :

Dans le cadre de la méthode “NRTK”, passez directement à l’étape ci-dessous.

2. Exportez votre lever exprimé dans le RGF93 afin d’obtenir la liste des points avec leurs différents attributs (DOPs, âge de la correction, SNRs, etc.) puis effectuez un filtrage multicritères. De la sorte, vous vous assurez, au-delà des précautions prises

sur le terrain, de la qualité de votre lever.

3. Pour tous les points de contrôle relatif déterminés au moins deux fois, vérifiez la moyenne obtenue ainsi que les écarts de chaque point à la moyenne afin de juger de la cohérence interne du lever.

Dans le cadre de notre exemple numérique, voici ce que cela donne pour la station “S2” déterminée suivant la méthode du “RTK pivot libre” (*Tableau 1*).

4. Pour tous les points de contrôle absolus stationnés lors de votre lever afin de contrôler son exactitude et sa précision dans le but d’évaluer leur cohérence absolue, vérifiez leur écarts entre les coordonnées obtenues

en temps réel et les coordonnées des points de contrôle telles que publiées sur les fiches géodésiques (ou les coordonnées obtenues par une méthode de travail au moins deux fois plus précise que l’estimation de la classe de précision de votre lever “RTK pivot libre” ou “NRTK” (conformément aux modalités de l’arrêté du 16 septembre 2003).

Dans le cadre de notre exemple numérique, voici ce que cela donne pour la station “S2” déterminée suivant la méthode du “RTK pivot libre” (*Tableau 2*).

5. Pour tous les points de contrôle relatifs obtenus en déterminant plusieurs dizaines ou centaines de fois le même point en RTK (afin de valider la précision interne de votre lever), calculez les différents indicateurs statistiques tels qu’explicités dans l’article paru dans le numéro 132 traitant du “filtrage et moyenne de positions NRTK” en généralisant le terme “NRTK” au concept de “positions obtenues sur quelques époques”.

6. Enfin et dans le cadre de notre exemple, la comparaison entre les points obtenus suivant la méthode du “RTK pivot libre” en utilisant les stations du RGP permet également de contrôler les coordonnées obtenues suivant la méthode “NRTK” sur l’ensemble du lever tel que repris dans le *tableau 3*.

S2 – RGF 93 projection Lambert93 / IGN69	Post-traitement état de l’art	RTK pivot libre (moyenne début et fin de lever)	Ecart
E (m)	644005.541	644005.515	-0.026
N (m)	6833416.722	6833416.722	0.000
H (m)	86.825	86.841	+0.016

**Tableau 2.** Coordonnées de la station “S2” obtenues suivant la méthode du “RTK pivot libre” après recalage du pivot dans le RGF93 et coordonnées de cette même station après post-traitement RGP.

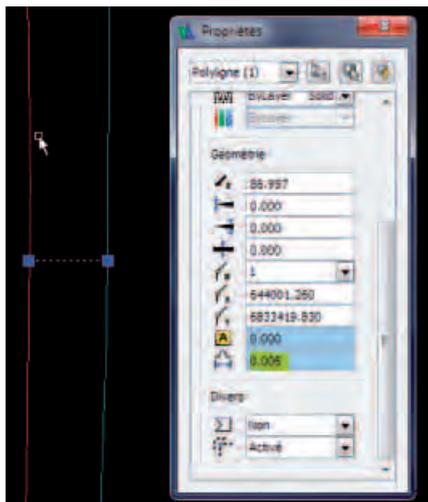
Point NRTK	E (m) NRTK	$\Delta E$ avec le lever “RTK pivot libre” (m)	N (m) NRTK	$\Delta N$ avec le lever “RTK pivot libre” (m)	H (m) NRTK	$\Delta H$ avec le lever “RTK pivot libre” (m)
1006	644014.191	+0.004	6833416.942	+0.007	86.636	-0.013
1007	644014.963	+0.009	6833416.424	+0.011	86.620	-0.011
1008	644016.416	-0.002	6833416.963	+0.016	86.614	-0.010
1009	644012.723	+0.005	6833420.307	+0.017	86.479	-0.013

**Tableau 3.** Coordonnées et écarts entre points homologues déterminés suivant les méthodes “NRTK” et “RTK pivot libre”.

## Conclusion

L’exemple considéré montre bien l’équivalence des deux méthodes de travail en terme de classe de précisions atteignables pour la réalisation de





**Figure 7.** Comparaison entre le lever obtenu suivant la méthode "RTK pivot libre" après mise en référence du pivot dans le RGF93 (en bleu) et le lever obtenu suivant la méthode "NRTK" (en rouge) montrant un écart planimétrique de 6 mm entre deux déterminations d'un même point terrain.



levers cinématiques temps réel et d'implantations.

La méthode du "RTK pivot libre" présente certains désavantages en termes de moyens matériels et logiciel à mettre en œuvre sur le terrain (2 récepteurs GNSS et un logiciel de post-traitement) et de temps passé au bureau pour réaliser le post-traitement du pivot et la

translation du lever. La stabilité de la base doit enfin être assurée durant toute la durée du lever, ladite base devant parfois être surveillée dans des endroits peu sûrs. Il s'agit cependant de la seule méthode qui fonctionnera strictement partout en mode de transmission UHF lorsque la méthode "NRTK" restera assujettie à la bonne couverture GPRS du chantier (97 % du territoire).

Nous aborderons justement dans le prochain article les méthodes cinématiques post-traitées qui pourront être utilisées pour du lever lorsque le mobile sortira de la zone de couverture de la radio UHF de la base (méthode PPK) ou lorsque le mobile arrivera dans une zone non suffisamment couverte par le ou les réseaux. ●

### Contacts

**Romain LEGROS** Directeur Général de la société GEODATA DIFFUSION  
romain.legros@geoaction.eu

**Laurent MOREL**  
Maître de conférences à l'ESGT  
laurent.morel@esgt.cnam.fr

**Flavien VIGUIER**  
Direction de l'ingénierie de la SNCF  
flavien.viguier@sncf.fr

**Florian BIROT** - Responsable technique de la société GEODATA DIFFUSION  
florian.biro@geoaction.eu

### COMITÉ DE LECTURE D'XYZ

**BAILLY André**, ingénieur, Paris  
**BOTTON Serge**, ingénieur, ENSG Marne-la-Vallée  
**CHRISMAN Nicholas**, professeur, RMIT (Australie)  
**DUQUENNE Françoise**, ingénieur en chef des ponts et chaussées, Saint-Mandé  
**DURAND Stéphane**, maître de conférences, ESGT Le Mans  
**FLACELIÈRE Bernard**, ingénieur topographe, Pau  
**GRUSSENMEYER Pierre**, professeur des universités, INSA Strasbourg  
**KASSER Michel**, professeur, HEIG-VD (Suisse)  
**KOEHL Mathieu**, maître de conférences, INSA Strasbourg  
**LANDES Tania**, maître de conférences, INSA Strasbourg  
**MAILLARD Jean-Pierre**, géomètre-expert foncier, Marne-la-Vallée  
**MAINAUD DURAND Hélène**, ingénieur topographe, CERN Genève  
**MISSIAEN Dominique**, ingénieur topographe, CERN Genève  
**MOREL Laurent**, maître de conférences, ESGT Le Mans  
**NATCHITZ Emmanuel**, ingénieur, EIVP Paris  
**PANTAZIS N. Dimos**, professeur, TEI Athènes  
**POLIDORI Laurent**, professeur, ESGT Le Mans  
**REIS Olivier**, ingénieur, traducteur Sarreguemines  
**ROCHE Stéphane**, professeur, Université Laval (Québec)  
**VINCENT Robert**, ingénieur, Paris

## Olivier Reis

*Ingénieur géomètre-topographe  
ENSAI Strasbourg - Diplômé de l'Institut  
de traducteurs et d'interprètes (ITI) de Strasbourg*

9, rue des Champs F-57200 SARREGUEMINES  
Téléphone / télécopie : 03 87 98 57 04  
Courriel : o.reis@infonie.fr

**Pour toutes vos traductions d'allemand  
et d'anglais en français  
en topographie – géodésie – géomatique  
– GNSS**

## Reinhard Stölzel

*Ingénieur géomètre-topographe  
Interprète diplômé de la Chambre de commerce  
et d'industrie de Berlin*

Heinrich-Heine-Straße 17, D-10179 BERLIN  
Téléphone : 00 49 30 97 00 52 60  
Télécopie : 00 49 30 97 00 52 61  
Courriel : stoelzelr@aol.com

**Pour toutes vos traductions de français  
et d'anglais en allemand  
géomatique – GNSS – infrastructures  
de transport**

**Des topographes traducteurs d'expérience à votre service**