

Méthodes de travail dans les réseaux GNSS 5^e partie

Le positionnement cinématique post-traité suivant les méthodes "NPPK" et "PPK pivot libre"

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

Dans la continuité de l'article sur les méthodes "NRTK" et "RTK pivot libre" paru dans le numéro 135, nous allons terminer cette série d'articles par leur pendant "temps différé" avec les méthodes "NPPK" (Network Post Processing Kinematic) et "PPK pivot libre" (Post Processing Kinematic). Ces méthodes, si elles ne permettent plus l'implantation de points de par la perte de leur caractère "temps réel", peuvent avantageusement être utilisées pour lever un nombre de points important, voire très important, en mode cinématique, y compris en topographie continue, c'est-à-dire par intervalles fixes de temps et/ou de distance. Elles deviennent même indispensables dans les éventuelles portions d'un chantier non couvertes par le lien radio UHF associé à une base RTK ou dans des zones mal couvertes par les réseaux GPRS/UMTS dans le cadre de la mise en œuvre de la méthode NRTK. En reprenant le Tableau 1 de l'article introductif paru dans le numéro 129 d'XYZ, 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 σ .

Ces méthodes peuvent donc être utilisées pour :

- Lever des points stationnés 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" ou "NRTK" d'autant plus qu'un jeu de stations de référence différent de celui utilisé dans le calcul temps réel sera utilisé pour le post-traitement).

Pour les deux derniers champs d'applications (mise en référence et contrôle),



le lecteur est incité, au regard des enjeux et bien entendu dans la mesure du possible, à généraliser les concepts développés dans la méthode "filtrage et moyenne de positions NRTK" pour effectuer du "filtrage et moyenne de positions PPK/NPPK" eu égard à leur très forte "robustesse" (cf. article paru dans le numéro 132).

Matériels nécessaires

- Un mobile GNSS, de préférence bifréquence, équipé d'un bipode permettant de laisser le mobile en place sur le point stationné de manière suffisamment stable pendant plusieurs époques de mesure ; la durée d'observation pourra varier 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 cas de la méthode PPK, un second récepteur GNSS, de préférence bifréquence, équipé d'un trépied permettant de laisser le pivot ainsi formé en place lors du lever.
- 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 les divers produits utiles (éphémérides précises, modèles ionosphériques, etc.).

Principe de la méthode

Le lever est réalisé à partir de données brutes observées sur le mobile. Les ambiguïtés entières sont fixées lors du post-traitement. Il faut alors calculer au bureau :

1. Les lignes de base entre le mobile et les stations du réseau GNSS dans le cas de la méthode NPPK.
2. La ligne de base entre le mobile et un pivot dans le cas de la méthode PPK. Le pivot est placé sur le chantier dans un endroit stationnable selon les cri-

tères prérequis. Ses coordonnées dans le RGF93 sont déterminées en post-traitement suivant la méthode "statique multi-stations" (cf. article du numéro 134), "pivot central" (cf. article du numéro 133) ou en temps réel suivant la méthode "filtrage et moyenne de positions NRTK" (cf. article du numéro 132).

Il est également à noter qu'une station virtuelle peut être utilisée comme pivot. Dans ce cas de figure, plusieurs stations GNSS permanentes physiques permettent de calculer les observations virtuelles en correspondance avec les observations qui auraient effectivement pu être réalisées sur la position du pivot que nous aurions eu à mettre en place. Dans ce cas de figure, de nombreuses contraintes opérationnelles disparaissent comme la nécessité de disposer d'un second récepteur GNSS, de le mettre en station dans un endroit sécurisé ou encore de le rattacher à la référence nationale. L'utilisateur devra cependant être conscient que les données d'une station virtuelle obtenues par calcul contiennent déjà une certaine part d'incertitude liée :

- Aux approximations réalisées lors du calcul des observations virtuelles, notamment lors de la modélisation des erreurs spatialement corrélées (erreurs atmosphériques).
- Au fait que la constellation visible sur chacune des stations permanentes servant à modéliser la station virtuelle puisse différer et donc induire un RDOP potentiellement plus fort entre le mobile et la station virtuelle. En effet, la station virtuelle ne contient par nature que les observations virtuelles des satellites communs à toutes les stations de référence utilisées.

Il est alors à noter que cette station virtuelle, pourvu que le réseau de stations permanentes utilisé soit suffisamment dense (stations tous les 60 km), permettra de bien prendre en compte les erreurs géométriques (éphémérides, troposphère) et dispersives (ionosphère) affectant le chantier, et donc de maximiser les résultats, aussi bien en terme de précision que de disponibilité (pourcentage d'époques fixées) : en effet, dans le pire des cas de la méthode NPPK, il faudra être capable, dans le

même contexte réseau, de fixer les ambiguïtés entières à une trentaine de kilomètres des 3 stations les plus proches, les résidus sur de telles lignes de base pouvant potentiellement être très importants, d'autant plus que les points peuvent être calculés sur une seule époque de mesure (résidus accentués en cas de positionnement à plus de 1 Hz par l'utilisation d'un modèle d'interpolation des "corrections" appelé "Low Latency" chez TRIMBLE, "Prévision" chez LEICA, "Extrapolation" chez TOPCON, etc.)

D'un point de vue formel, il s'agit de PPK puisque nous ne calculons qu'une seule ligne de base, mais d'un point de vue plus fondamental, cette station virtuelle étant produite par un réseau, cette manière de faire peut s'apparenter à du NPPK "indirect". Dans le reste du document, nous effectuerons le distinguo entre NPPK "direct" et "indirect".

Quoi qu'il en soit et pour chaque ligne de base, qu'il s'agisse de PPK ou de NPPK, les coordonnées et les observations de la base sont synchronisées aux observations du mobile afin d'effectuer un calcul différentiel à ambiguïtés fixées : 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 moins de 30 kilo-



Figure 1. Mobile utilisé pour développer l'exemple NPPK proposé.



mètres dans le cas NPPK "direct" extrême) pour que les erreurs s'annulent bien par doubles différences (i.e. "erreurs" spatialement corrélées, voire très corrélées, sur des lignes de base courtes, voire très courtes).

L'exemple terrain a été réalisé sur la commune d'ARPAJON (91) et a consisté à relever quelques milliers de points en topographie continue en laissant le récepteur immobile pendant 1 heure et demie en prenant un point par seconde en topographie continue.

Préparation de la mission

■ Détermination des stations de référence à utiliser dans le cas du NPPK

Choisissez au moins deux stations permanentes afin de calculer la position du mobile :

1. Par intersection de deux lignes de base si votre logiciel de post-traitement est capable de réaliser un ajustement
2. Par moyenne pondérée sur la longueur de la ligne de base des deux jeux de coordonnées obtenus si votre logiciel de post-traitement GNSS ne permet pas de réaliser un ajustement

Le fait d'utiliser trois stations permanentes permet de détecter une éventuelle faute de calcul ou d'éliminer la ligne de base apportant le plus d'im-

précision dans la solution tandis qu'une quatrième station permet d'effectuer un éventuel contrôle : idéalement, il faut donc disposer de 3 stations permanentes plaçant le mobile au barycentre d'un triangle quasi équilatéral. Une quatrième station située à proximité du mobile sera également requise pour effectuer un contrôle des travaux (les coordonnées de cette station ne seront pas fixées lors de l'éventuelle phase d'ajustement). En effet en comparant les coordonnées calculées pour ce point avec les coordonnées publiées nous pourrions vérifier la qualité du calcul réalisé sur le mobile.

Deux critères topologiques doivent guider votre choix dans la sélection des stations de référence à savoir proximité et répartition. Il convient de choisir les stations de référence permettant de former les lignes de base les plus courtes possible s'interceptant le plus possible à angles droits afin de limiter au maximum (sur le point calculé) le volume formé par l'intersection des ellipsoïdes d'erreurs associés à chacune des lignes de base.

Pour des applications topographiques avec des logiciels commerciaux, les lignes de base, qui seront calculées en mode cinématique, ne doivent normalement pas excéder 30 km. Encore faut-il de telles distances, prendre toutes les précautions nécessaires afin de pouvoir fixer les ambiguïtés entières et obtenir des résultats sans trop de rési-

lus (éphémérides, modèles ionosphériques, modèles troposphériques, modèles d'antennes, etc.). Le lecteur est alors incité à relire l'article paru dans le numéro 134 traitant de la méthode "statique multi-stations" pour laquelle tous les paramètres d'un calcul en post-traitement sont décrits.

Les stations de référence servent à se rattacher au système géodésique légal en vigueur, à savoir le RGF93. Elles doivent donc être référencées dans ce système ou pour des stations frontalières dans une réalisation d'un système compatible avec le RGF93 et très bien déterminé (système ETRS89 et réalisations associées ETRF) permettant une transformation fiable et précise (le RGF93 étant lui-même compatible avec l'ETRF2000 époque 2009.00).

Le RGP apporte une couverture dense sur le territoire français (plus de 359 stations au 01/08/13). Les données de ce réseau GNSS sont fournies sur le site Internet du RGP au plus tard 1 heure après la dernière heure d'observation (<http://rgp.ign.fr/>).

Dans le cas de la méthode NPPK "indirect", la station virtuelle sera placée au milieu du chantier de manière à avoir des lignes de base n'excédant pas les 2 à 3 km.

■ 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

■ Lever cinématique

Dans le cas de la méthode NPPK, passez directement à l'étape 4 :

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.

De manière à pouvoir remettre votre

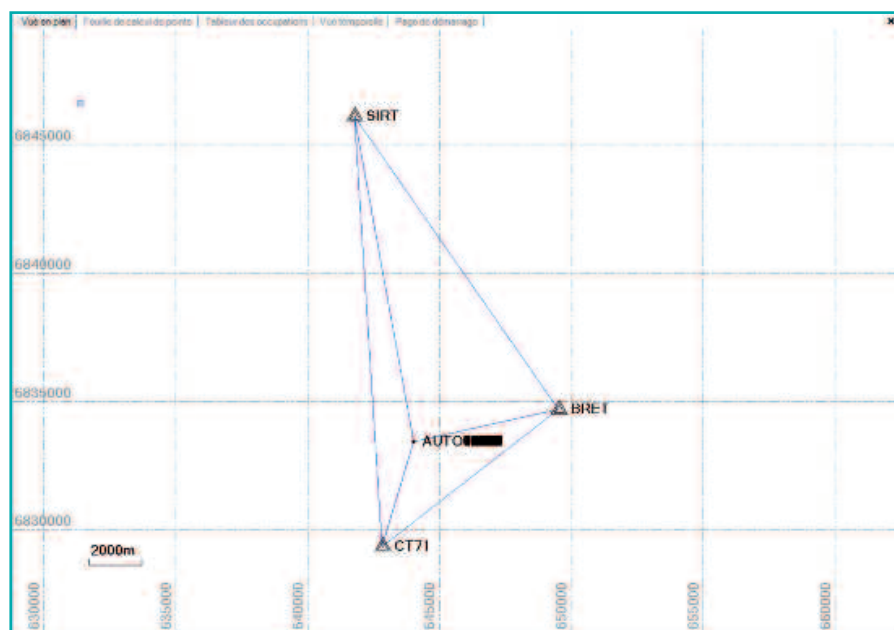


Figure 2. Figure géométrique formée avec les 3 stations du RGP encadrant le chantier.



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 le pivot, mesurez bien la hauteur d'antenne (3 lectures les plus indépendantes possible), vérifiez votre mise en station (bulle et plomb optique) et allumez le récepteur.
3. Lancez ensuite l'enregistrement des données brutes toutes les secondes (1 Hz) sur votre pivot pour le post-traitement des coordonnées du pivot.
4. Lancez alors l'enregistrement des données brutes toutes les secondes (1 Hz) sur votre mobile pour le recalcul en post-traitement de votre chaîne cinématique.
5. Une fois sur zone, effectuez votre lever en respectant les consignes suivantes, sans oublier l'ensemble des bonnes pratiques décrites dans les prérequis.
 - a) De manière à pouvoir post-traiter votre lever, vous devrez procéder à une ou plusieurs phases d'initialisation afin de pouvoir disposer, pour chacune de ces phases, du volume de données continues suffisant à la fixation des ambiguïtés entières.
Ce volume minimal de données continues est spécifié dans le guide

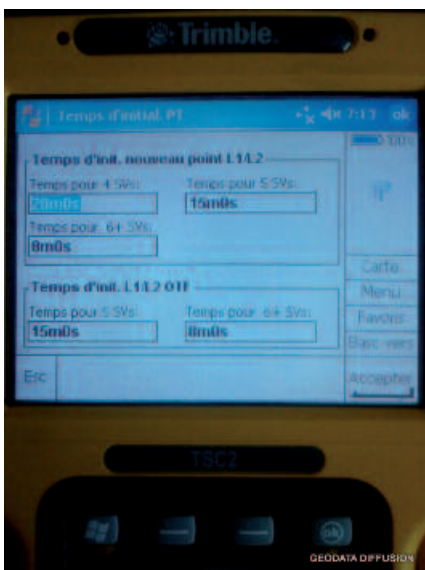


Figure 3. Configuration du mobile TRIMBLE R4 utilisé (logiciel TRIMBLE SURVEY CONTROLLER).

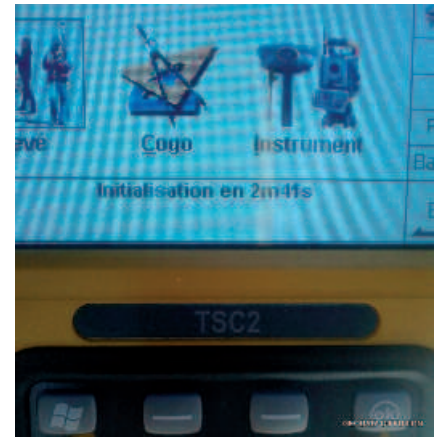
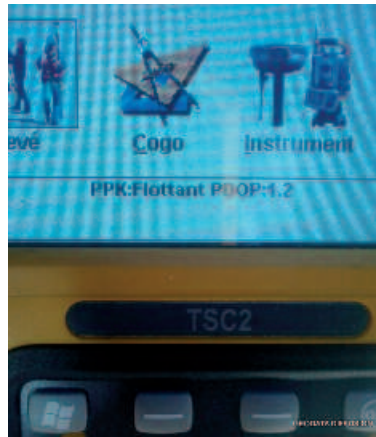


Figure 4. Affichage du statut du mode PPK sur le mobile et temps d'initialisation restant afin de pouvoir traiter la chaîne cinématique suivant les modalités des éléments de configuration repris Figure 3.

d'utilisation de votre récepteur mobile ou de votre logiciel de post-traitement, 8 minutes sans sauts de cycles pour 6 satellites étant une valeur minimale recommandée assez répandue.

Votre calcul de post-traitement pouvant se faire avec des stations assez éloignées, il est plus prudent de considérer un volume de données GNSS sans coupure d'au moins une vingtaine de minutes. En effet, actuellement avec des stations permanentes distantes d'une soixantaine de kilomètres dans le cas des réseaux NRTK, 40 minutes d'observations peuvent être nécessaires si l'on se situe au centre d'un triangle de stations ayant une altitude sensiblement similaire à l'altitude du mobile : l'équation empirique suivante permet de donner une idée de la durée à respecter pour recueillir le volume de données nécessaire à la fixation des ambiguïtés entières :

$$\text{temps de station} = 10 \text{ minutes} + 1 \text{ minute par kilomètre de ligne de base} + 1 \text{ minute par } 100 \text{ mètres de dénivelée}$$

Équation 1. Temps de station nécessaire en fonction des paramètres d'une ligne de base.

Soyez précautionneux lors de vos déplacements entre les points à lever afin de ne pas perdre la poursuite des satellites ce qui vous contraindrait à repartir pour une

phase d'initialisation. Pour ce faire :

- Tenez votre canne la plus verticale possible lors de vos déplacements
- Choisissez si possible des trajets dégagés de tous masques entre les points à stationner

Lorsque vous commencerez votre lever, votre récepteur mobile vous indiquera si vous avez atteint le volume minimal d'observations pour pouvoir fixer les ambiguïtés sur votre chaîne cinématique en vous affichant un message du type "PPK Flottant" avec le temps restant pour passer en "PPK Fixe" comme illustré Figure 4, le volume minimal d'observation étant défini lors du réglage de vos récepteurs (cf. Figure 3) :

- b) 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 "filtrage et moyenne de positions NRTK" en généralisant le terme "NRTK" au concept de "positions obtenues sur quelques époques".

c) 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 plus de 3-4 ou 2-3.

Pour ce faire, vous pouvez surveiller ce paramètre en temps réel et/ou définir un masque de lever.

d) En cas de perte du suivi d'un satellite ou d'un saut de cycle, par exemple après être passé près d'un bâtiment ou sous un arbre, rendez-vous dans un endroit bien dégagé afin de mettre toutes les chances de votre côté pour pouvoir reprendre une initialisation fiable lors de la phase de post-traitement (minimum de 8 minutes continues sans sauts de cycles pour 6 satellites). Dans la mesure du possible, et afin de pouvoir contrôler la qualité de votre initialisation, toujours lors de la phase de post-traitement, restationnez le dernier point levé avant la perte de suivi ou le saut de cycle, afin de pouvoir contrôler l'écart de position obtenu. Cette démarche vous permettra d'assurer la cohérence interne de votre lever. En cas d'impossibilité, essayez de repasser ultérieurement sur un point déjà levé avec la chaîne d'initialisation précédente afin de contrôler l'écart de position obtenu. En cas d'incohérence, répétez la procédure avant de remettre en cause la chaîne d'initialisation antérieure.

■ Moyens de contrôle

1. 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.

2. 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 pour un levé surfacique (quatre coins et centre du rectangle englobant l'ensemble des points levés) :

a. Contrôle relatif :

- 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 précédemment (point 5) b) ci-dessus). Plus le nombre de déterminations indépendantes du même point sera important, plus la fiabilité de ce point sera avérée.

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.

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".

- Si vous disposez d'une station optique procédez à des contrôles de distances et d'azimuts (dans cet ordre de préférence).

b. **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 PPK/NPPK pour votre point de contrôle (conformément aux modalités de l'arrêté du 16 septembre 2003). En d'autres termes et si aucun point de contrôle n'était disponible, utilisez la méthode statique "multi-stations" telle que décrite dans l'article du numéro 134 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. Procédez aux observations à un autre moment que celui de votre chantier (observations indépendantes) et effectuez si possible le calcul de post-traitement avec des stations de référence différentes de celles utilisées pour le calcul NPPK ou pour la mise en référence du pivot dans le cas de la méthode PPK.

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 vos mises en stations conformément aux prérequis.

3. Pour la méthode PPK, si votre lever était amené à durer plusieurs jours et si vous aviez à démonter votre pivot, remettez votre pivot en place sur un point déjà levé et matérialisé en conséquence puis respectez le reste de la procédure à compter de l'étape 2 : de la sorte, vous assurerez et pourrez contrôler la cohérence interne de votre lever et de ses différentes parties.

4. Toujours dans le cadre de la méthode PPK, la redétermination d'un certain nombre de points de votre levé est également envisageable en utilisant un autre pivot complètement indépendant.



Phase bureau

■ Positionnement du pivot dans le cadre de la méthode du "PPK 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 d'XYZ. Dans le cas où vous auriez la possibilité de stationner 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.

■ Calcul de la chaîne cinématique

Exportez ensuite votre lever exprimé dans le RGF93 afin d'obtenir la liste des points avec leurs différents attributs (DOPs, SNRs, etc.) afin d'effectuer un filtrage multicritères. De la sorte, vous vous assurerez, outre les précautions prises sur le terrain, de la qualité de votre lever.

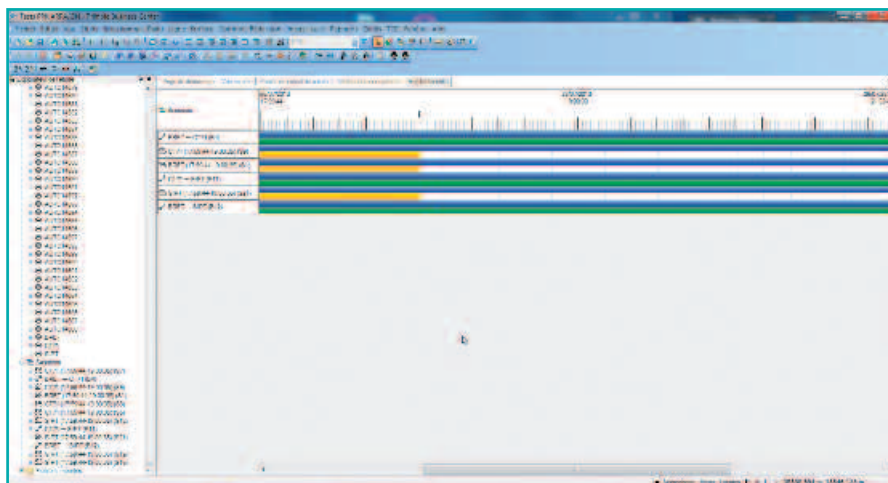


Figure 6. Vue temporelle du projet.

Comme le montre la Figure 5, les points initialement levés dérivent sur plus d'un mètre en 01 h 30 alors que le récepteur est maintenu stationnaire :

Calculez ensuite votre chaîne cinématique à partir de votre pivot (méthode PPK) ou des stations du RGP et/ou de votre opérateur temps réel (méthode NPPK).

La Figure 6 montre alors la vue temporelle du projet :

- les observations en bleu correspondent aux sessions statiques effectuées par le récepteur de base,
- les observations en verte correspondent aux sessions statiques effectuées

par le récepteur dont on cherche à déterminer les coordonnées,

- les observations en jaune correspondent aux sessions cinématiques à segments continus (à différencier des segments mobiles représentés en blanc dans le logiciel utilisé (TRIMBLE BUSINESS CENTER), ces segments mobiles correspondant aux données cinématiques enregistrées lors du déplacement du mobile sans prise de point) :

La Figure 7 montre les résultats du calcul : bien que les lignes de base soient relativement courtes (chantier à environ 12,8 km de la station SIRT, 5,6 km de BRET et 4,2 km de CT71), 8 lignes de

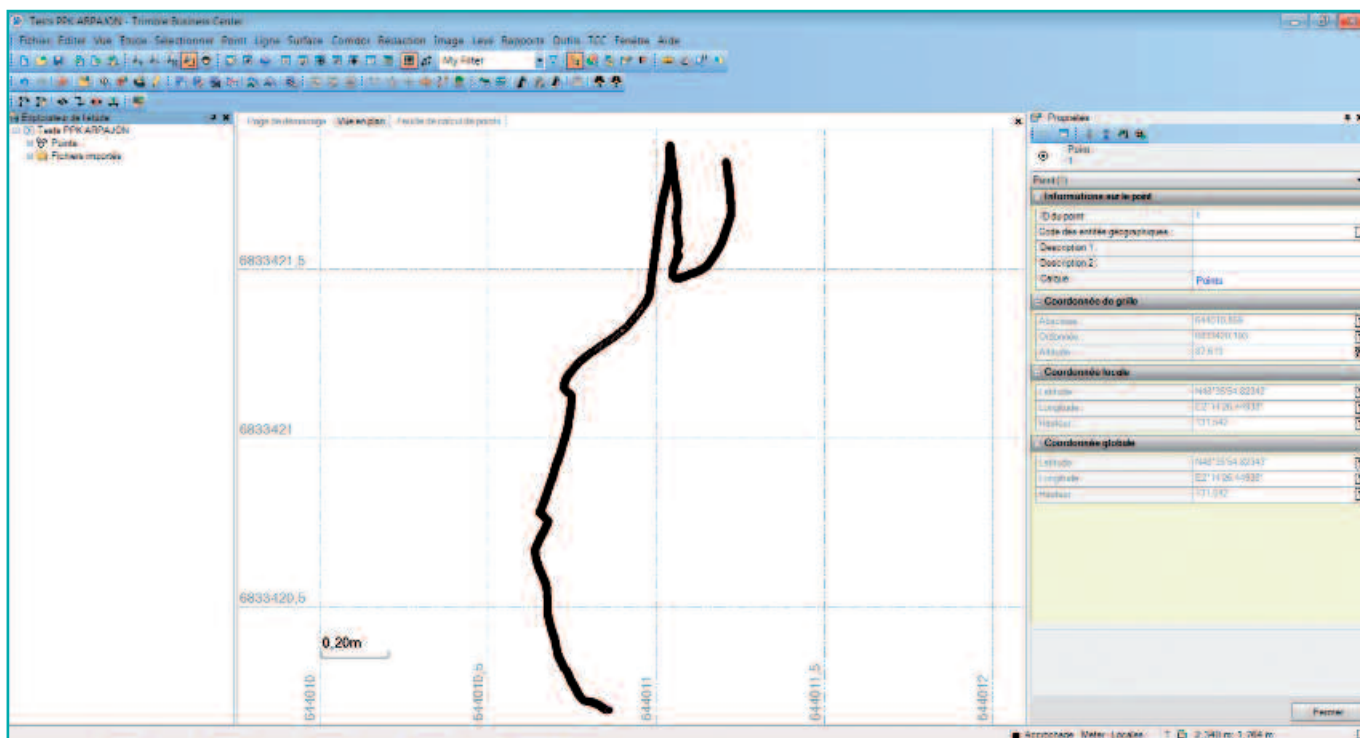


Figure 5. Trace dans le plan des points levés avant le calcul de la chaîne cinématique en post-traitement.

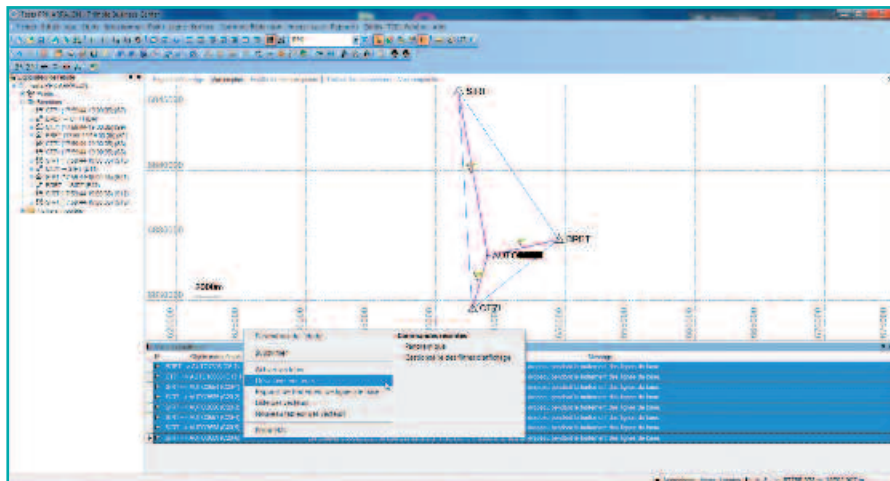


Figure 7. Contrôle des résultats du calcul des lignes de base et désactivation des vecteurs ayant des résidus hors tolérance.

base ne peuvent être utilisées en l'état en raison de trop forts résidus (supérieurs à 5 cm en planimétrie) et ce malgré l'utilisation des éphémérides précises rapides et de récepteurs bifréquences :

Au final et après ajustement en réseau, nous obtenons le nuage de points représenté sur la Figure 8. 95% des points s'inscrivent dans un rayon de 4 cm autour de la moyenne (précision à 2 sigmas) :

Pour tous les points 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.

Pour tous les points de contrôle absolu stationnés lors de votre lever et afin de contrôler leur exactitude et leur précision dans le but d'évaluer leur cohérence absolue, vérifiez pour chaque

point les écarts entre les coordonnées obtenues en temps différé et les coordonnées publiées sur les fiches géodésiques ou les coordonnées obtenues par une méthode statique au moins deux fois plus précise que l'estimation de la classe de précision de votre lever PPK/NPPK (conformément aux modalités de l'arrêté du 16 septembre 2003). Pour tous les points de contrôle relatif (obtenus en déterminant plusieurs dizaines ou centaines de fois le même point en PPK) et afin de valider la précision interne de votre lever, calculez les différents indicateurs statistiques tel qu'expliqué 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".

Conclusion

La méthode du "PPK pivot libre" présente certains désavantages en termes de moyens matériels et logiciel à mettre en œuvre sur le terrain (2 récepteurs

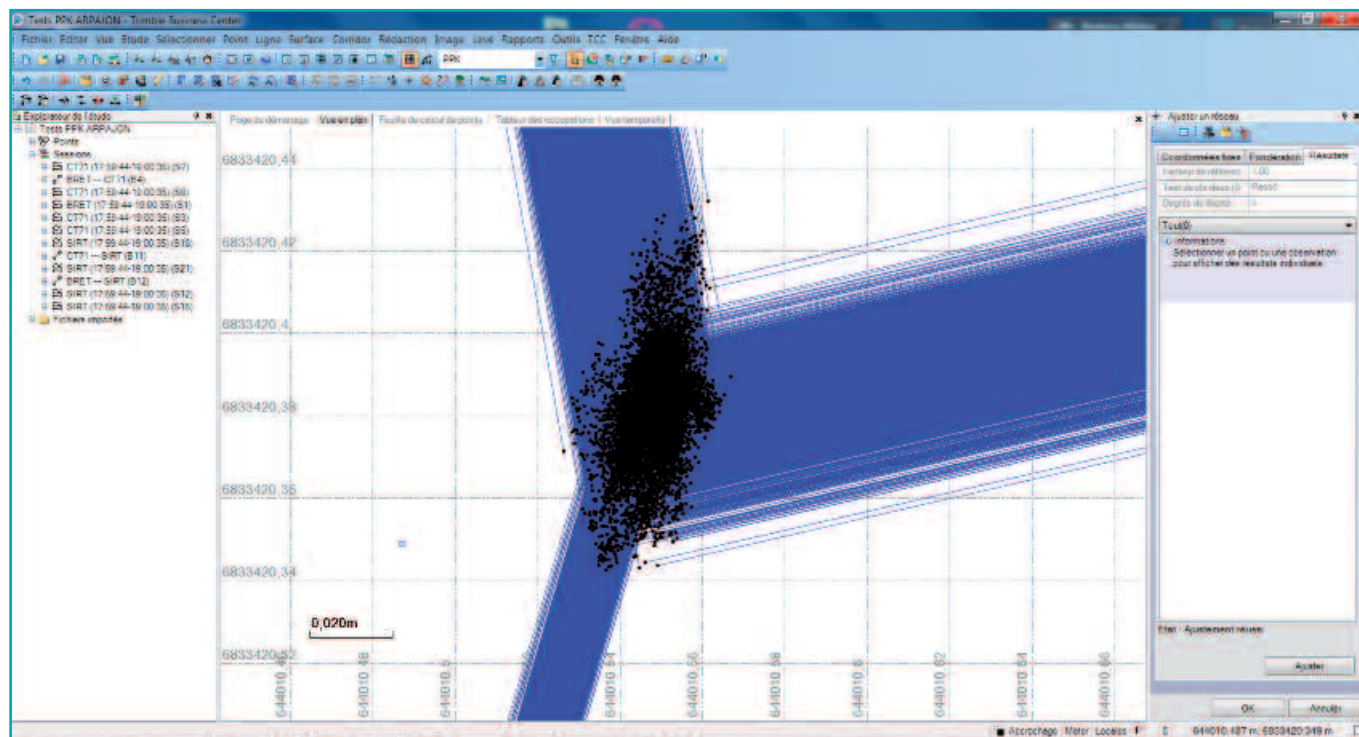


Figure 8. Résultats du calcul après ajustement en réseau. Notez que chaque point mesuré sur le terrain est dupliqué autant de fois qu'il y a de stations de référence (3 dans cet exemple) dans la mesure où la chaîne cinématique est traitée séquentiellement, base après base, avec une numérotation automatique des points la constituant. Sur le terrain, en nommant vos points, cet "artefact" n'apparaîtra pas et chacun de vos points sera relié à l'ensemble des stations permanentes utilisées vous permettant, dans ce type de configuration réseau (au moins 3 stations permanentes), de procéder à un calcul de fermeture de boucle pour chaque point levé en mode cinématique.



GNSS). De plus, la stabilité de la base doit également être assurée durant toute la durée du lever, la base devant parfois être surveillée durant toute la durée du lever dans des endroits peu sûrs.

Néanmoins, cette méthode permettra de maximiser les chances d'obtenir de bons résultats, c'est-à-dire à ambiguïtés entières fixées et faibles résidus : en effet, les "corrections" sont alors issues d'observations locales forcément très cohérentes et corrélées avec celles réalisées sur le mobile, ce qu'une station virtuelle (méthode NPPK "indirecte") ne sera pas toujours en mesure d'apporter, notamment si la densité de stations permanentes ayant servi à son calcul est insuffisante.

Le calcul de l'intersection de plusieurs lignes de base (méthode NPPK "directe") permet de travailler avec des observations tant côté base que mobile, la longueur des lignes de base utilisées pouvant être problématique en terme de productivité : dans l'exemple développé, 8 points n'ont par exemple pas pu être convenablement déterminés, leurs résidus excédant les 5 centimètres. Quoi qu'il en soit, les méthodes cinématiques post-traitées sont réellement à considérer lors d'opérations de lever dans la mesure où elles vous permettront, à n'en pas douter, de vous sortir d'un mauvais pas lorsque le lien télécom sur lequel vous comptiez pour faire du RTK ou du NRTK ne sera plus disponible. Une bonne conclusion globale serait

alors de dire qu'à chaque contexte sa méthode de travail !

N'hésitez donc pas à télécharger le document de référence et à consulter le tableau de synthèse proposé de manière à choisir en toute connaissance de cause la méthode la plus adaptée à votre chantier et pourquoi pas la méthode qui vous permettra de continuer d'avancer en cas d'impondérable en fonction des équipements dont vous disposez (matériels, logiciels) et de vos compétences, en somme de votre contexte d'utilisateur.

Un seul lien pour toutes vos problématiques GNSS : <http://geopos.netne.net/spip.php?rubrique55>

En cas de remarques, questions, etc. n'hésitez pas à faire un retour aux rédacteurs du groupe de travail afin que la prochaine version du document ne soit que meilleure ! ●

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@snfc.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 général des Ponts honoraire, 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