

Version 3 du SCRS-PPP : Tutoriel

Simon Banville

Levés géodésiques du Canada, direction de l'arpenteur général, Ressources naturelles Canada

Dernière mise à jour : 2020-08-25

Motivation	1
Nouvelles caractéristiques	2
Résolution d'ambiguïtés	3
Principes	3
À quoi s'attendre	4
Tracé de l'état des ambiguïtés	6
Exemple 1	7
Exemple 2	8
Exemple 3	9
Limites journalières	10
Références	12

Motivation

Le service Positionnement ponctuel précis du Système canadien de référence spatiale (SCRS-PPP) a été lancé en 2003. Il permet aux utilisateurs de systèmes mondiaux de navigation par satellite (GNSS) de recueillir des données sur le terrain et de téléverser ces données dans des serveurs de Ressources naturelles Canada (RNCAN). En quelques minutes, les utilisateurs obtiennent une estimation de leur position, ou trajectoire, ainsi que des estimations de la qualité et un rapport de contrôle visuel de la qualité.

SCRS-PPP utilise des corrections d'orbites, d'horloges et de biais de satellite calculées à partir d'un réseau mondial de récepteurs pour obtenir les positions exactes des utilisateurs. Cette méthode diffère de celle employée par d'autres services de positionnement en ligne qui s'appuient sur un positionnement différentiel, c'est-à-dire qui font appel à des stations de base à proximité. SCRS-PPP permet d'obtenir une précision allant jusqu'au millimètre près pour les longues séances d'observation (24 heures ou plus) en mode statique, mais une précision à quelques centimètres près peut généralement être atteinte en une heure.

Le 16 août 2018, une nouvelle version du logiciel qui prend en charge SCRS-PPP a été lancée. Ce remplacement de logiciel était la première étape du plan de modernisation de SCRS-PPP, lequel prévoit également un PPP avec résolution d'ambiguïtés (PPP-AR), une convergence plus rapide à l'aide de

l'information ionosphérique externe et un traitement d'observations multi-GNSS. La version 3 de SCRS-PPP, décrite dans le présent document, met en œuvre le PPP-AR.

Au cours de la dernière décennie, les algorithmes de PPP-AR ont évolué, passant de solutions expérimentales à des solutions opérationnelles. Les résolutions d'ambiguïtés offrent de grands avantages aux utilisateurs en transformant les observations ambiguës de phase de la porteuse en mesures précises. Des précisions centimétriques peuvent ainsi être souvent obtenues plus rapidement. De plus, pour des raisons de géométrie des satellites, la résolution d'ambiguïtés de la phase de la porteuse permet d'obtenir de meilleures estimations de la composante longitudinale (Est).

Ce document présente à l'utilisateur les nouvelles caractéristiques du logiciel. Il explique les principes de base de la résolution d'ambiguïtés et donne, à l'aide d'exemples, un aperçu de ce que peut faire la version 3 de SCRS-PPP.

Nouvelles caractéristiques

La principale nouveauté de la version 3 de SCRS-PPP est la mise en œuvre d'algorithmes de PPP-AR. Outre cet important changement, d'autres modifications ont été apportées qui pourraient avoir une incidence sur les résultats par rapport à la version 2 de SCRS-PPP, telles que :

- De nouveaux produits disponibles : pour résoudre les ambiguïtés, les biais de phase de satellite correspondant aux corrections d'orbites et d'horloges de satellite doivent être disponibles. C'est pourquoi RNCAN génère désormais ses propres produits de PPP-AR :
 - DCU : produits ultra-rapides
 - DCR : produits rapides
 - DCF : produits finaux, utilisant une combinaison d'orbites de l'International GNSS Service (IGS) et des corrections d'horloges générées à l'interne
- Des changements aux données de sortie : les estimations de retards zénithaux troposphériques et d'horloges de récepteur sont passées du fichier « .pos » aux fichiers « .tro » et « .clk », respectivement. Les fichiers « [.tro](#) » et « [.clk](#) » sont des normes de l'IGS.
- En mode statique *seulement*, les écarts-types signalés des estimations de retards zénithaux troposphériques et d'horloges de récepteur sont mis à l'échelle afin d'obtenir des valeurs plus réalistes. Le facteur d'échelle appliqué est le même que pour les écarts-types de position, qui étaient déjà mis à échelle dans la version 2 de SCRS-PPP. Il se peut qu'en raison de cette mise à l'échelle les valeurs sigma signalées en mode statique soient plus grandes qu'en mode cinématique.
- L'utilisation de biais satellite de chaque type d'observations : pour réduire autant que possible les erreurs qui pourraient avoir une incidence sur la résolution des ambiguïtés, la version 3 de SCRS-PPP n'accepte que les signaux pour lesquels elle a des corrections explicites de biais de code. C'est

pourquoi il est fortement recommandé que les utilisateurs présentent des données GNSS en format RINEX 3.

- Le franchissement amélioré des limites journalières : quand des observations durent plus d'une journée GPS, les utilisateurs de SCRS-PPP observent une discontinuité à minuit en raison de problèmes d'harmonisation d'horloges entre les journées. Ces discontinuités sont réduites dans la version 3 de SCRS-PPP, bien qu'elles puissent encore se produire (voir la section Limites journalières).
- Des seuils modifiés de détection de sauts de cycle : des seuils plus rigoureux sont maintenant utilisés pour améliorer la détection de sauts de demi-cycle. Une conséquence naturelle de ce changement pourrait être un plus grand nombre de sauts de cycle signalés dans la version 3 de SCRS-PPP.

Résolution d'ambiguïtés

La version 3 de SCRS-PPP comporte de nouvelles fonctions de résolution d'ambiguïtés pour les données recueillies le 1^{er} janvier 2018 ou après cette date. La présente section décrit d'abord, en termes généraux, les principes de base de cette caractéristique. Des exemples sont ensuite fournis pour aider les utilisateurs à mieux comprendre leurs résultats.

Principes

Lorsqu'un ensemble précis de corrections est appliqué à des observations de phase de la porteuse et que des paramètres de biais de phase sont estimés, les paramètres d'ambiguïtés définis dans le filtre de PPP ont une nature entière. Cela signifie qu'il est possible, à l'aide d'algorithmes sophistiqués, de déterminer ces nombres entiers et de restreindre leurs valeurs. L'ajout de cette information supplémentaire à la solution améliore en général la précision et réduit les incertitudes signalées.

Dans la version 3 de SCRS-PPP, la résolution d'ambiguïtés est effectuée dans le cadre du traitement à rebours. Cela signifie que les époques sont d'abord traitées en ordre chronologique pour veiller à ce que toute l'information soit disponible avant de résoudre les ambiguïtés. Ensuite, en commençant par la dernière époque traitée avec succès, une résolution d'ambiguïté est effectuée. Ce processus est répété pour toutes les époques par ordre inverse (c.-à-d. de la dernière époque à la première époque). Soulignons que cet algorithme séquentiel n'est pas optimal en principe. Bien qu'une résolution simultanée de toutes les ambiguïtés doive normalement produire de meilleurs résultats, elle est soumise à d'importantes restrictions de charge de calcul dans le cas des ensembles de données avec plusieurs centaines de paramètres d'ambiguïtés. L'algorithme séquentiel mis en œuvre est rapide et donne habituellement des résultats identiques à l'algorithme optimal.

Une fois le traitement à rebours terminé, une substitution est effectuée pour obtenir les valeurs finales des paramètres : retards zénithaux troposphériques, horloges de récepteur et positions (en mode cinématique).

À quoi s'attendre

Bien qu'une résolution réussie des ambiguïtés soit profitable pour la solution, une résolution incorrecte de certaines ou de plusieurs des ambiguïtés peut avoir des conséquences désastreuses. C'est pourquoi plusieurs mécanismes ont été mis en œuvre pour réduire les risques de résolution incorrecte des ambiguïtés :

- Les ambiguïtés associées à des données de moins de 5 minutes ne sont pas résolues.
- Aucune tentative de résolution d'ambiguïtés pour les satellites GLONASS n'est faite.
- Une résolution partielle d'ambiguïtés est exécutée. Autrement dit, ce ne sont pas toutes les ambiguïtés qui doivent être résolues.
- Cependant, la validation d'ambiguïtés ne réussit que si au moins 4 satellites lèvent des ambiguïtés simultanément.
- La validité du modèle stochastique est prise en considération dans le processus de validation des ambiguïtés. Cette vérification sous-entend que si des résidus d'ambiguïté (c.-à-d. la différence entre les estimations flottantes et les valeurs entières) sont beaucoup plus grands que leur précision, le processus est abandonné.
- En raison de l'incohérence des retards d'équipement associés aux observations de code, la résolution d'ambiguïtés est désactivée pour les récepteurs de corrélation croisée :
 - AOA ICS-4000Z
 - ROGUE SNR-12
 - ROGUE SNR-12 RM
 - ROGUE SNR-8
 - ROGUE SNR-800
 - ROGUE SNR-8000
 - ROGUE SNR-8100
 - ROGUE SNR-8C
 - SPP GEOTRACER100
 - TOPCON GP-DX1
 - TOPCON TT4000SSI
 - TRIMBLE 4000SSE
 - TRIMBLE 4000SSI
 - TRIMBLE 4000SST

SCRS-PPP utilise le champ « REC # / TYPE / VERS » dans l'en-tête RINEX pour déterminer le type de récepteur.

Bien que l'on puisse parfois résoudre des ambiguïtés avec aussi peu que 15 minutes de données, des séances d'observation plus longues donnent généralement lieu à un plus grand nombre d'ambiguïtés résolues.

Le fichier « .sum » contient l'étiquette « IAR », qui indique le pourcentage d'ambiguïtés résolues. Cette valeur est calculée en prenant en compte les observations de phase de la porteuse avec résolution d'ambiguïtés plutôt que les arcs avec résolution d'ambiguïtés. Voyons un exemple simple avec deux arcs de satellites :

- Le satellite G01 est observé pendant 90 époques et ses ambiguïtés ont été résolues.
- Le satellite G02 est observé pendant 10 époques, mais ses ambiguïtés n'ont pu être résolues.

Dans ce cas, le taux de réussite du traitement des ambiguïtés est de 90 % car il représente le pourcentage d'observations de la phase de la porteuse avec des résolutions d'ambiguïtés.

Le pourcentage d'ambiguïtés résolues est également indiqué sur la première page du rapport PDF, comme le montre la Figure 1.

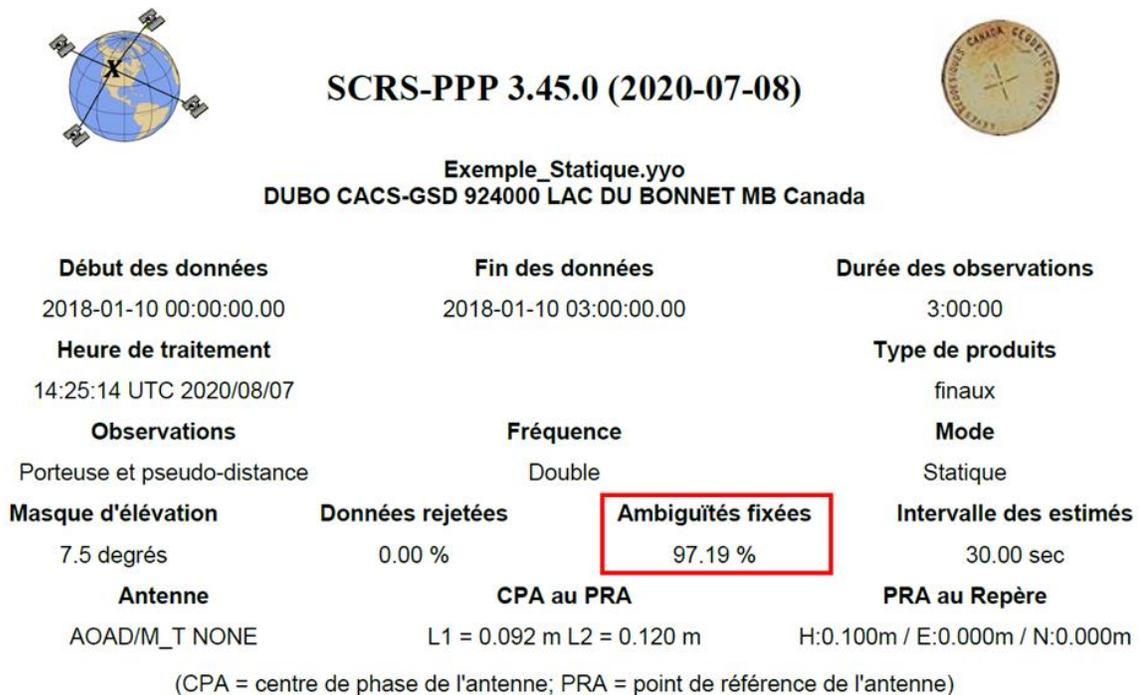


Figure 1 : Rapport PDF montrant le pourcentage d'ambiguïtés résolues

Tracé de l'état des ambiguïtés

Le rapport PDF de la version 3 de SCRS-PPP comprend maintenant un tracé de l'état des ambiguïtés. Ce tracé indique, pour tous les satellites à chaque époque, l'état des paramètres:

- **Olive** : ambiguïté non-résolue. Cette ambiguïté n'a pu être résolue en nombre entier, soit parce que le logiciel ne pouvait pas le faire avec suffisamment d'assurance ou parce que la résolution d'ambiguïtés n'est pas activée dans le système (p. ex. GLONASS).
- **Bleu** : ambiguïté de référence. La version 3 de SCRS-PPP met en œuvre le concept d'ambiguïté de référence de Collins et coll. (2010). Pour estimer les paramètres supplémentaires de biais de phase du récepteur définis dans le filtre PPP, le filtre doit résoudre *a priori* un certain nombre d'ambiguïtés. Ces ambiguïtés sélectionnées sont appelées *ambiguïtés de référence*.
- **Vert** : ambiguïté résolue. Les ambiguïtés entières validées par les algorithmes du logiciel sont indiquées en vert.
- **Rouge** : nouvelle ambiguïté/nouvel arc. Un paramètre d'ambiguïté observé initialement est tracé en rouge.

Voyons quelques exemples de tracés de l'état des ambiguïtés pour apprendre à les interpréter.

Exemple 1

Cet exemple montre les données d'une séance statique de 24 heures recueillies à l'aide d'instruments géodésiques de haute qualité. Comme prévu, la plupart des ambiguïtés GPS sont résolues (98,52 %) et sont indiquées en vert. Comme la fonction de résolution d'ambiguïtés n'est pas activée pour GLONASS, toutes les ambiguïtés sont flottantes et tracées en vert olive. Si votre tracé de l'état des ambiguïtés ressemble à ceci, la solution PPP-AR est vraisemblablement de bonne qualité.



Figure 2 : Tracé de l'état des ambiguïtés pour un ensemble de données statiques de 24 heures

Exemple 2

Cet exemple montre une courte séance d'observation de 15 minutes où les ambiguïtés ont été résolues avec succès. Comme la version 3 de SCRS-PPP n'effectue qu'une résolution partielle des ambiguïtés, les ambiguïtés n'ont pas toutes été résolues. Le rapport PDF indique que 68,54 % des ambiguïtés ont été résolues. Bien que ce pourcentage puisse paraître faible, il n'y a aucune raison de croire qu'il y a des ennuis avec la solution. Le satellite G06 n'as pas été observé pendant toute la séance, ce qui constitue une période d'observation trop courte pour résoudre avec assurance les ambiguïtés. Bien que le satellite G31 ait été observé pendant toute la séance, il a été observé à un angle d'élévation faible et ses ambiguïtés ne pouvaient, encore une fois, pas être résolues avec assurance.

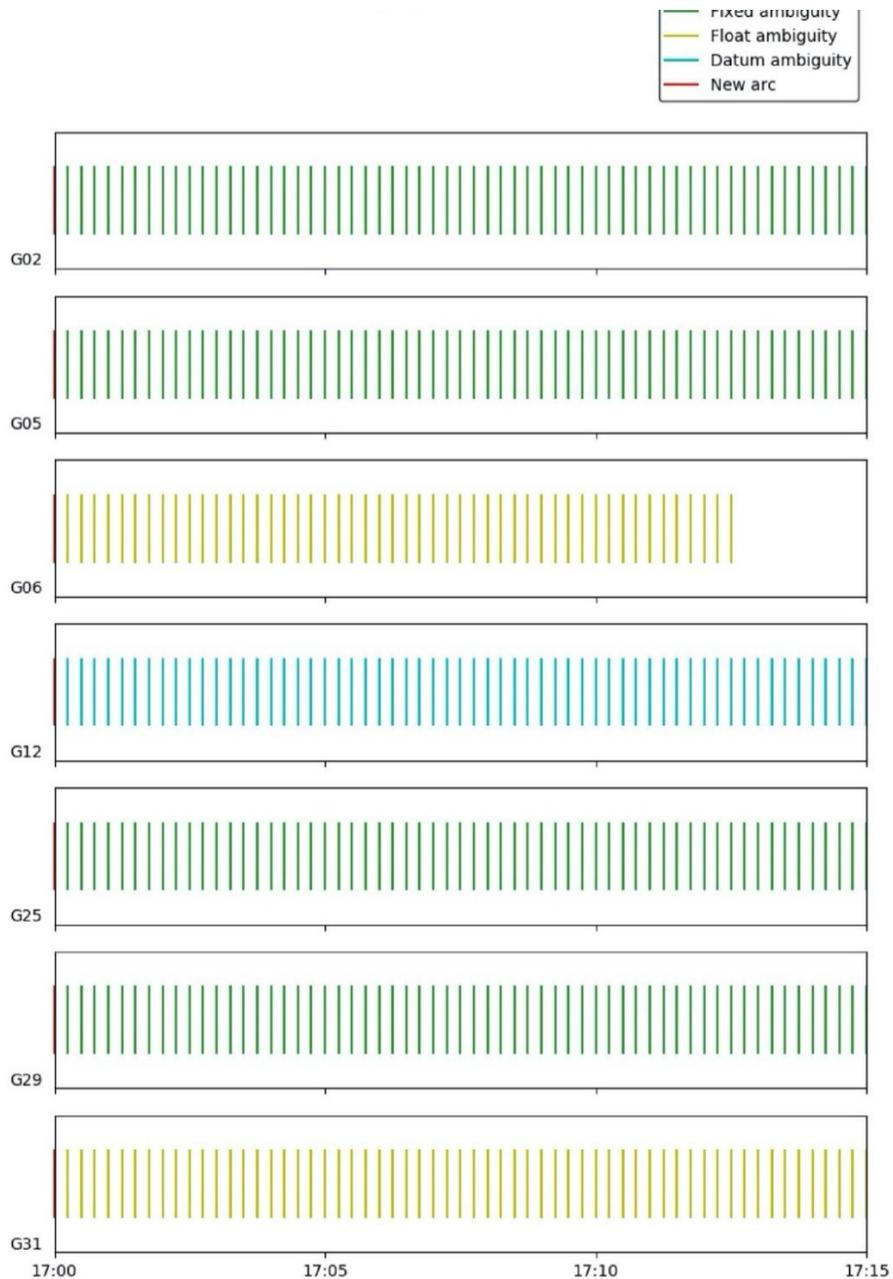


Figure 3 : Tracé de l'état des ambiguïtés pendant une séance d'observation plus courte

Exemple 3

Cet exemple montre une séance d'observation de 30 minutes où aucune ambiguïté n'a été résolue. La raison devrait être évidente lorsqu'on examine le tracé de l'état des ambiguïtés : les nombreux sauts de cycle (indiqués en rouge) ont contaminé les données, donnant lieu à des arcs très courts. Dans ce cas, le logiciel ne pouvait pas résoudre avec assurance les ambiguïtés et a fourni une solution flottante.

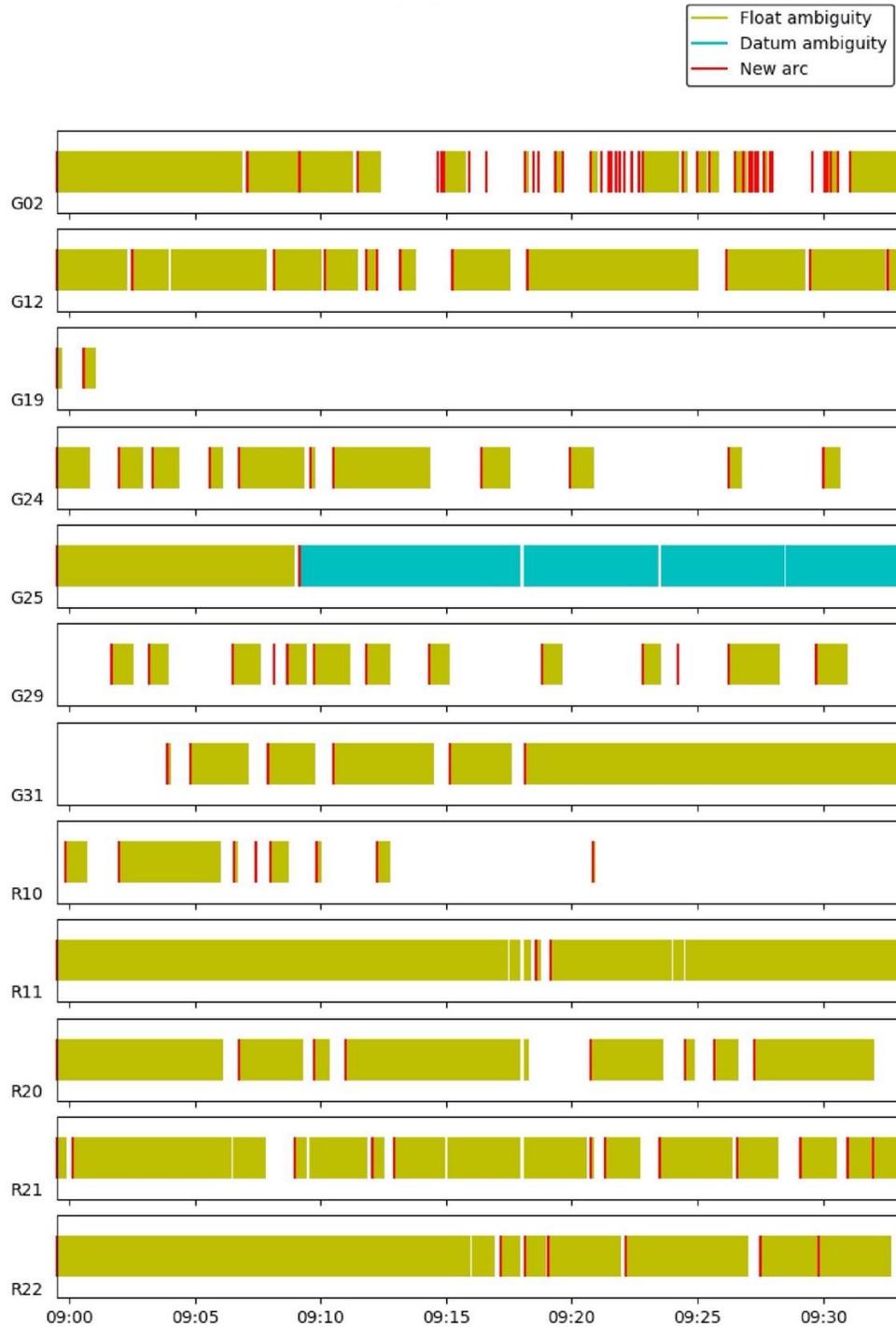


Figure 4 : Tracé de l'état des ambiguïtés pour une séance avec de nombreux sauts de cycle

Limites journalières

Un avantage des corrections d'horloge de satellite « en valeurs entières » offertes dans les solutions de PPP-AR est qu'elles peuvent être harmonisées avec précision au jour le jour. Les sauts de position qui ont lieu lorsque des observations s'étalent sur deux jours GPS peuvent ainsi être réduits au minimum. À titre d'exemple, les données de la station ALGO située au Canada ont été traitées de 2019-08-14 23:00:00 à 2019-08-15 01:00:00 à l'aide des versions 2 (Figure 5) et 3 (Figure 6) de SCRS-PPP.

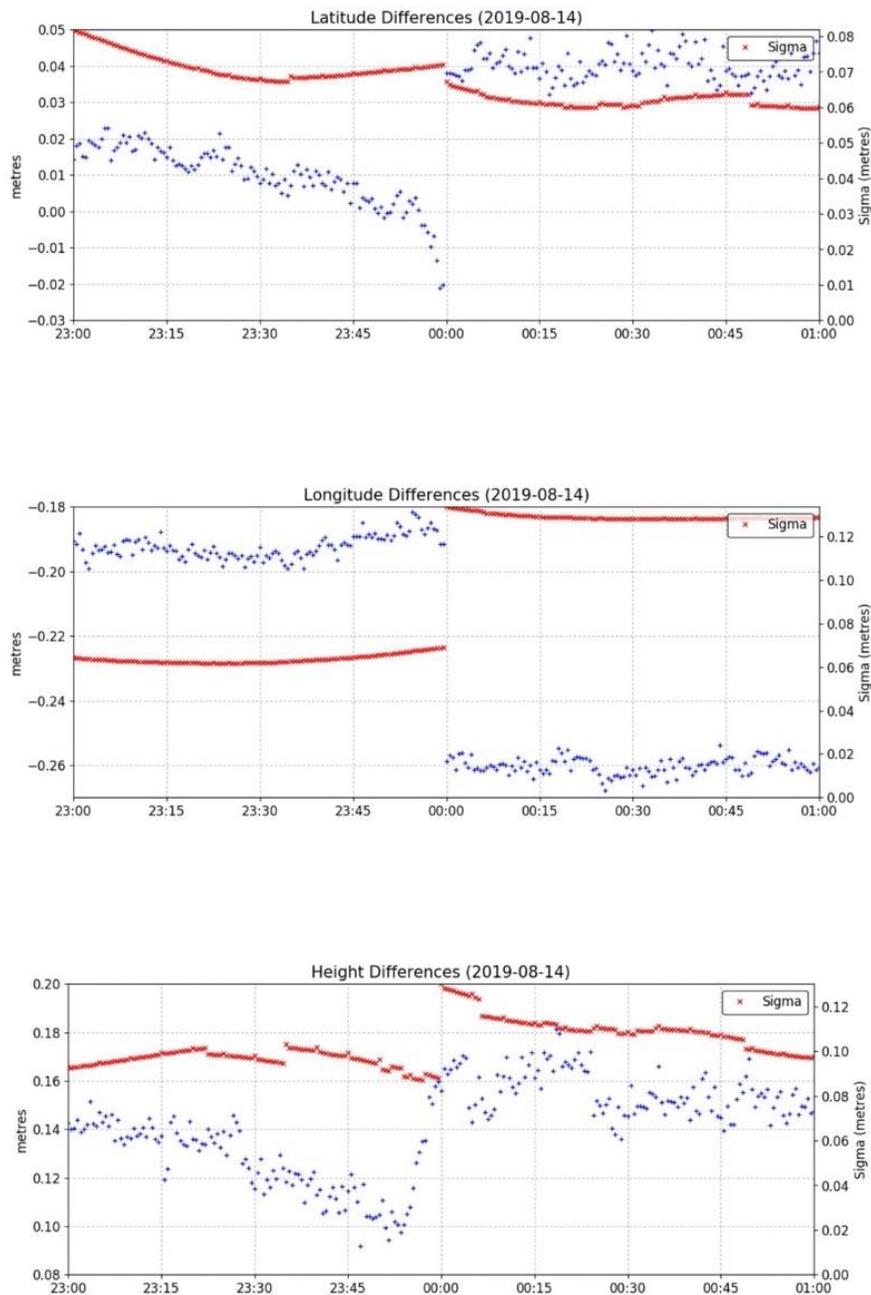


Figure 5 : Estimations de position à l'aide de la version 2 de SCRS-PPP durant un franchissement de limite journalière

Avec la version 2 de SCRS-PPP, des sauts de position d'environ 6 cm en latitude et de 7 cm en longitude peuvent être observés, même si le récepteur a gardé un verrouillage en continu de tous les satellites. Cela est attribuable au manque d'harmonisation des produits d'horloge de l'IGS entre deux jours consécutifs. Avec la version 3 de SCRS-PPP, aucun saut en latitude ne peut être observé et la discontinuité de longitude a été réduite à 1,5 cm. Cette dernière s'explique par des erreurs d'interpolation d'orbites de satellite provoquées par l'utilisation de deux fichiers d'orbite (SP3). Les avantages du PPP-AR (et des produits utilisés) sont tout de même évidents.

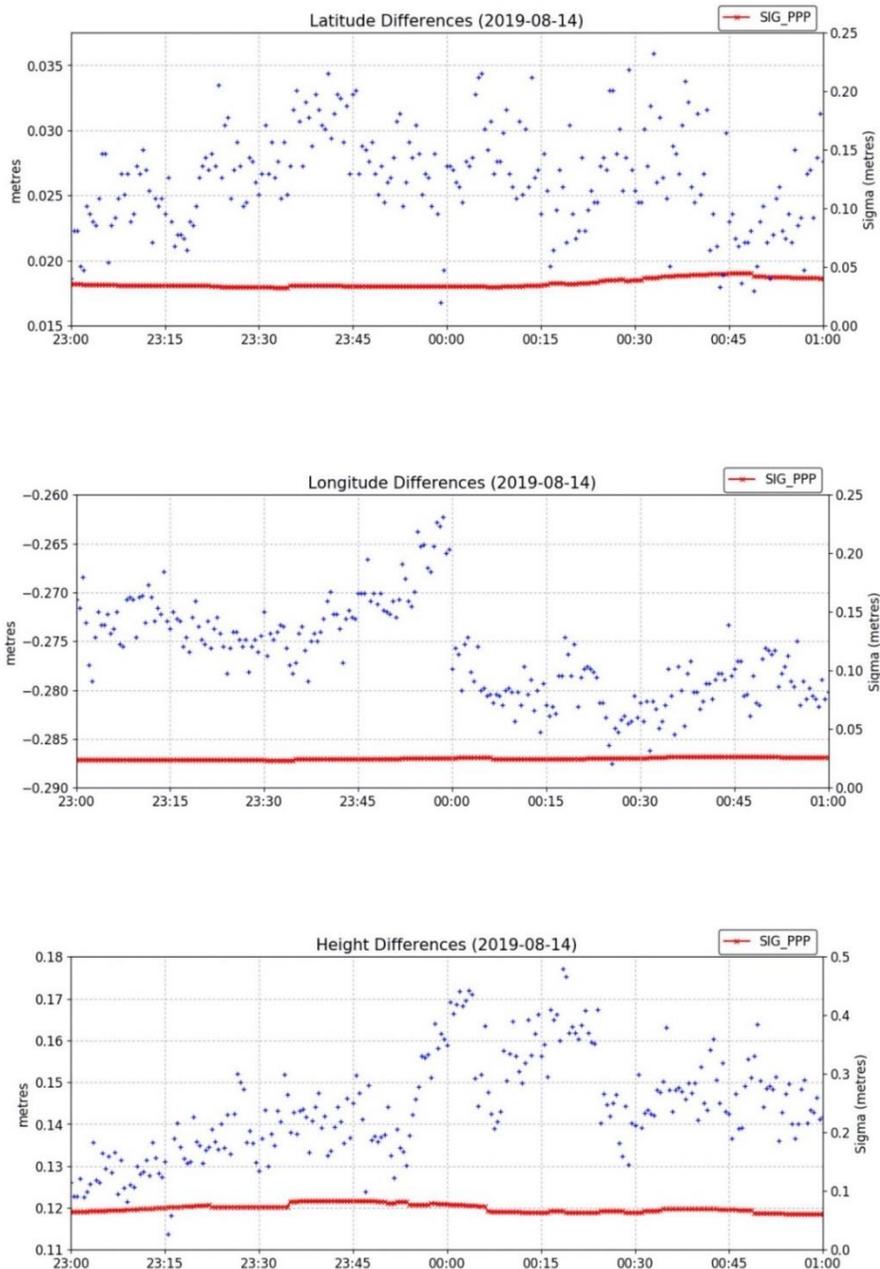


Figure 6 : Estimations de position à l'aide de la version 3 de SCRS-PPP durant un franchissement de limite journalière

Références

Collins P., S. Bisnath, F. Lahaye, P. Héroux. (2010). « Undifferenced GPS ambiguity resolution using the decoupled clock model and ambiguity datum fixing ». *Navigation* 57(2), 123-135