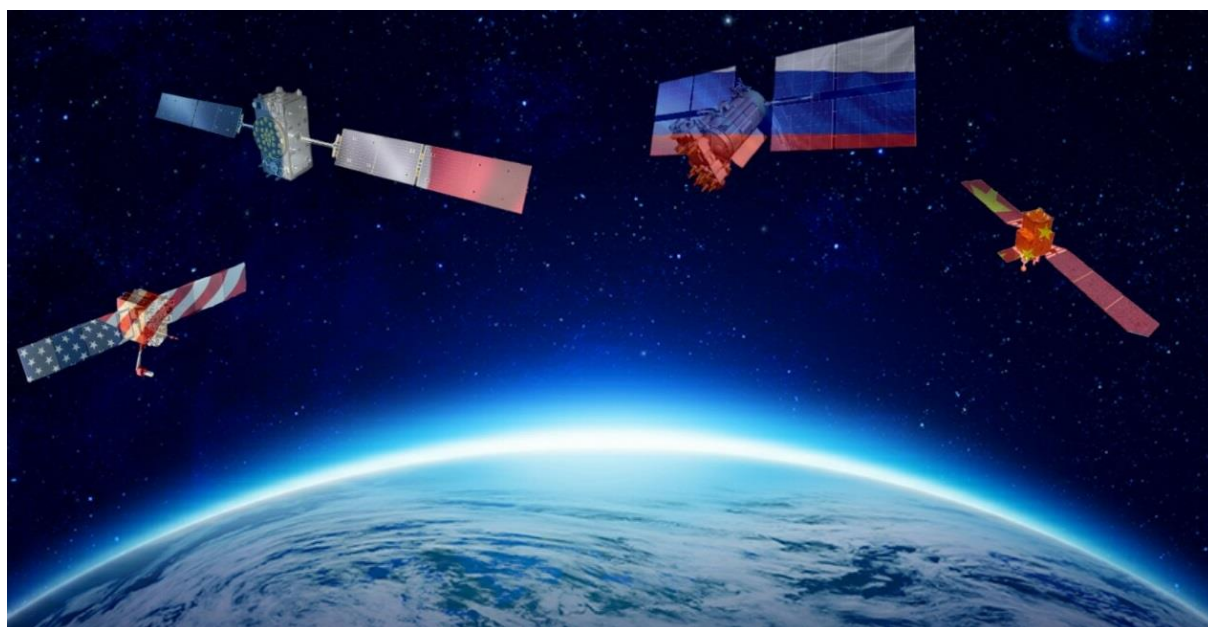


Rapport de projet de fin de stage

« Etude et comparaison des constellations GNSS »

Forcalquier juillet 2019



Alarcon Aurore

Bierlaire Jules

D'Andigné Charles

Guillot Benoît

Jeannest Lucie

Commanditaire : Serge Botton

TABLE DES MATIERES

I Analyse et objectifs du projet

I.1. Objectifs généraux

I.2. Résultats graphiques attendus

I.3. Stratégie d'approche

II Acquisition

II.1 Présentation du matériel et mode opératoire

II.2 Statique

II.3 Cinématique

II.4 Problèmes rencontrés

III Traitement

III.1 Statique

III.2 Cinématique

III.3 Problèmes rencontrés

IV. Résultats

IV.1 Statique

IV.2 Cinématique

La constellation européenne de GNSS (Global Navigation Satellite System), dénommée GALILEO, mise en service en 2016 afin d'apporter une autonomie en positionnement pour les pays de l'union européenne vient concurrencer et compléter les trois constellations GPS, GLONASS et BeiDou, mises respectivement en service par les américains, les russes, et les chinois.

Nous pouvons nous demander si, pour des raisons de souveraineté ou simplement techniques, il est possible d'exploiter des combinaisons de ces différentes constellations sans perdre en robustesse et précision dans divers milieux. En effet nous ne pouvons prévoir ce que chaque puissance peut faire de ses propres satellites ni leur capacités à les maintenir. Ce projet a donc pour objectif de tester la robustesse et la précision des constellations GLONASS, GPS, et BeiDou, ainsi que la récente GALILEO en étudiant leur complémentarité et leurs distinctions.

I.1. Objectifs généraux

Au prisme des exigences du terrain concernant en particulier les militaires et les géologues, nous cherchons à éprouver la robustesse et la précision des constellations. Le terme de robustesse qualifie la capacité des satellites de la constellation à s'affranchir de masques, pour transmettre au récepteur sa position. Nous appelons masque l'ensemble des éléments matériels qui peuvent s'interposer entre le récepteur et le satellite. Par exemple le houppier des arbres, les bâtiments d'un canyon urbain, le relief, etc. La précision, quant à elle, correspond à l'exactitude du positionnement.

Un récepteur GNSS recevant régulièrement des signaux, il est également important de déterminer le centrage et la précision des différents points acquis pour éprouver la qualité des données.

I.2. Résultats attendus

Nous souhaitons mesurer précision et robustesse de chaque constellation, il est donc nécessaire de connaître les résultats altimétriques et planimétriques de chaque acquisition. Le but est donc de calculer les différences de hauteur avec la moyenne pour chaque point acquis, et de transformer les coordonnées géométriques en coordonnées cartésiennes.

Les résultats graphiques attendus sont deux graphiques et un nuage de point. Le premier graphique permet de visualiser les différences de hauteur entre la moyenne et la hauteur de chaque point pour une constellation donnée. Le second graphique permettra de visualiser le point planimétrique moyen pour chaque constellation, et d'en représenter la moyenne. Enfin, le nuage de point permettra de visualiser chaque point acquis par la station. Si ce nuage de point est source de beaucoup d'écart ou si les ambiguïtés sont majoritairement flottantes, on pourra conclure sur la robustesse de la constellation.

Le lecteur pourra se renseigner sur la réalisation de ce traitement grâce à l'annexe « Demo.pdf », expliquant le programme python permettant la réalisation de ces deux objectifs.

I.3. Stratégie d'approche

Pour répondre à la problématique nous avons choisi de procéder de la manière suivante : d'abord effectuer des mesures dans le centre pour effectuer un premier jet de tests, puis aller sur le terrain : en statique puis en cinématique.

En effet, l'objectif est de couvrir tous les types d'environnement énoncés plus haut. Les tests dans le centre nous permettent de nous donner une idée des résultats qui suivront lors des expériences grandeur nature.



II. Acquisition

II.1 Présentation du matériel et mode opératoire

Nous avons utilisé durant toute la durée du projet des récepteurs GNSS du fabricant Spectra : Les SP80.

Nous pouvons choisir d'enregistrer uniquement les signaux des satellites des constellations GPS, GLONASS, BeiDou et GALILEO.

II.2 Statique

La première semaine a été dédiée à l'acquisition statique. Ainsi, nous avons réalisés de nombreuses mesures dans des endroits divers pendant ces jours-ci. Nous laissons le GNSS positionné sur un trépied pendant une heure en moyenne avec une prise de points toutes

les secondes afin d'acquérir suffisamment de données et de tester la précision des différentes constellations

II.3 Cinématique

La deuxième semaine nous sommes partis faire des acquisitions en cinématique. Plus précisément nous collectons nos données en RTK (Cinématique en temps réel) par deux méthodes. La première était la méthode pédestre où nous embarquions un ou deux GNSS sur sac à dos en rover en les connectant à la base du centre IGN ou sur une base que nous installions en ville, la seconde était la méthode automobile. En effet nous avons fixé trois supports pour GNSS sur la galerie d'un véhicule Renault Kangoo nous permettant de faire des levés sur des distances importantes. Nous testions ainsi la robustesse des constellations et donc la capacité à recevoir des signaux malgré les masques ou les aléas du terrain.

II.4 Problèmes rencontrés

GALILEO :

Entre le 11 et le 18 juillet nous n'avons plus pu acquérir de données GALILEO en raison d'un gros problème technique du segment sol, connu de la GSA (European GNSS Agency).

La panne de 7 jours de GALILEO a démontré que cette technologie, finalement extrêmement récente à l'échelle humaine n'est pas infaillible. En effet plus que jamais la redondance d'informations avec les multi-constellations a révélé son importance.

Mais que s'est-il réellement passé et cela pourrait-il arriver à GPS ?

Il s'agit en fait d'un problème d'horloges au sol: le système de synchronisation a cessé de fonctionner et les temps de navigation, c'est-à-dire les heures des satellites, ne pouvaient plus être fournis. Or, c'est bien la précision des horloges qui est actuellement un challenge technologique et économique.

Des équipes ont été mobilisées 24h/24 et 7jours/7 pour régler le problème. 5 jours ça peut paraître énorme pour régler le problème, mais finalement vu sa complexité (nombreux tours d'horloge) ce n'est pas si long.

Quant à GPS, il faut noter que cette constellation est composée de 31 satellites opérationnels en orbite, GALILEO n'en a pour l'instant que 22 (même si 30 sont prévus) et est encore officiellement en phase de tests. C'est donc un bon système pour obtenir de la redondance et renforcer les constellations existantes, mais avec notre matériel, il était impossible de l'utiliser seul.

De plus, GPS est une constellation plus ancienne qui en est à sa troisième génération (version avec d'avantage de problèmes résolus).

Par ailleurs alors que GALILEO est géré par l'agence spatiale européenne, GPS est dépendant de l'US Air Force. C'est donc une technologie résolument militaire.

En effet, GPS rapporte beaucoup. Des études ont d'ailleurs été réalisées pour étudier les retombées d'une potentielle panne de GPS.

Ainsi les pertes sont estimées à 1 milliard de dollars par jour.

Ce sont les services de télécommunications qui sont les plus grands bénéficiaires du GPS qui seraient touchées, mais également l'agriculture, ainsi que le domaine de la finance.

SP80 :

D'autre part il est à noter que l'utilisation du SP80 a été délicate pour certaines acquisitions (cf Annexe 12).

III. Traitement

III.1 Statique

Une fois les fichiers récupérés, nous les convertissons en RINEX, le format scientifique universel pour les données GNSS.

Nous récupérons les données de la station permanente de Forcalquier sur le serveur TychoBrahe que nous devons décompresser grâce à CRX2RNX.

Puis, après avoir récupéré les données d'antennes sur <https://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/>, nous traitons nos données sur RTKlib, en choisissant les constellations à garder pour le calcul, afin d'obtenir un graphique (fichier .pos).

Enfin, grâce à un programme Python que nous avons développé, nous calculons la position moyenne et la dispersion des points acquis toutes les secondes et affichons un graphique permettant de comparer les différentes combinaisons de constellations.

(cf annexes 5 à 10)

III.2 Cinématique

Concernant le traitement des données acquises sur les GNSS embarqués sur la galerie d'un Renault Kangoo, il suffisait de récupérer les points enregistrés par ceux-ci dans un fichier .csv ou .txt depuis les contrôleurs des spectra contenant les numéros des points et les coordonnées planes de ceux-ci en Lambert 93.

Ensuite, nous pouvons aisément traiter ces coordonnées en Python et visualiser les points enregistrés sur QGIS en les superposant à des orthophotographies des zones concernées.

(cf annexes 1 à 4)

III.3 Problèmes rencontrés

Le traitement a cependant posé nombre de problèmes, notamment avec GALILEO :

Nous voulions dans un premier temps tester les capacités de GALILEO lors d'acquisitions en statique. Nous avons alors remarqué qu'il était impossible de paramétrer l'acquisition en ne captant que GALILEO sur les appareils que nous utilisons. Nous avons donc décidé de faire les acquisitions en captant GPS, GLONASS, et GALILEO, dans le but de les séparer ensuite en post-traitement.

Pour le post-traitement, nous avons eu plusieurs problèmes nous empêchant de traiter correctement les données de GALILEO sur une acquisition statique.

Tout d'abord, en convertissant nos fichiers d'acquisition à l'aide de RINEX Converter, nous avons remarqué que tous les RINEX en version inférieure à 2.12 ne tenaient pas compte de GALILEO, et donc supprimaient toutes les données de ces satellites. Seulement, les observations récupérées sur tychobrahe étaient en version 2.11. En convertissant ces fichiers 2.11 en 2.12 à l'aide de RINEX Converter, nous avons réussi à faire fonctionner les calculs sur RTKLib (du moins pour GPS et GLONASS).

Ensuite, nous avons essayé de trouver des éphémérides des satellites de GALILEO. Dans un premier lieu, nous avons cherché des fichiers .yy1 sur rgp.ign.fr, mais nous avons rencontré un bug bien connu du rgp: ces fichiers étaient vides. Après un échange de mails avec le rgp, nous avons cherché des données sur [ftp://rgpdata.ign.fr](http://rgpdata.ign.fr). Seulement, nous n'avons trouvé qu'une seule station fournissant des données, et ces données ne fonctionnaient pas non plus. Nous avons ensuite envoyé des mails à la GSA et à l'ESA, qui ne nous ont malheureusement pas répondu. Finalement il s'agissait du fameux problème d'horloges énoncé plus haut.

Par ailleurs nous avons pu finalement trouver les éphémérides jusqu'au 10 juillet pour GALILEO sur [ftp://igs.ensg.eu/](http://igs.ensg.eu/).

IV. Résultats

IV.1 Statique

Le but était de qualifier précision et robustesse de chaque constellation GNSS. Nous avons pu traiter GPS, GALILEO, GLONASS et BeiDou. En statique, nous avons pu réaliser des tests dans plusieurs types d'endroits. Les canyons urbains (rues encastrées), le couvert végétal, les espaces dégagés, les rues larges et plusieurs points tests au centre ont pu être acquis.

Espace dégagé

Dans les espaces dégagés, aux Mourres, à la citadelle ou même au centre, il est très vite apparu que les résultats étaient satisfaisants (quelques centimètres).

Pour un test aux Mourres (voir Fiche_Mourres02.odt), on voit que les résultats de l'acquisition GPS et GLONASS ont une précision centimétrique au niveau planimétrique, comme le montre la *figure 1.1* (voir échelle en bas à gauche)

La constellation GLONASS est cependant beaucoup moins précise en altitude. La *figure 1.2* représente la différence d'altitude par rapport à la moyenne de chaque point prit par une constellation. Pendant que les écarts du GPS sont bon ($<0.01\text{m}$), les écarts de GLONASS sont beaucoup plus important (parfois plus de 0.03m).

Une première hypothèse nous indique donc que le GPS est plus précis que le GLONASS. Ces résultats sont confirmés par le point n°2 au centre.

La *figure 1.3* représente différents couplages de constellation en espace dégagé. Dès qu'il y a présence de GPS, les résultats d'altitude sont plus précis. Le couplage GALILEO/GLONASS offre une très mauvaise précision, avec des écarts de plus de 10cm . On peut se convaincre de la plus grande précision du GPS en observant les nuages de points des *figures 1.4 et 1.5*.

Les mesures ont pu être prises en ambiguïtés fixées car en espace dégagé, l'antenne captait sans problème les différentes constellations.

Ainsi, il semble qu'en espace dégagé, toutes les constellations sont précises (autour d'une dizaine de centimètres), mais le GPS est beaucoup plus précis (quelques centimètres).

Couvert végétal

Le couvert végétal nous a permis d'estimer la robustesse des différentes constellations : si les mesures sont toujours cohérentes, la constellation sera robuste

Une mesure dans la forêt de cruix a pu directement permettre de confirmer nos inquiétudes. Comme le montre la *figure 2.1*, seul le GPS était capté par l'antenne. Concernant le GLONASS, les ambiguïtés sont flottantes, comme le montre la *figure 2.2*.

Les mesures d'altitude sont cependant acceptables pour le GPS, comme le montre la *figure 2.3*, avec des erreurs de l'ordre de grandeur de GLONASS en espace dégagé. Les mesures prises grâce au GLONASS sont très étalées. La preuve est sur la *figure 2.4* : avec des

ambiguïtés flottantes, les résultats d'altitude sont aberrants, jusqu'à plus d'1,5m de différence entre deux points.

Voici donc pour GPS et GLONASS. Concernant GALILEO, les mesures sont acceptables, mais étrangement éloignées des mesures GPS. Comme expliqué précédemment, on obtient les mesures de GALILEO par couplage. Il est donc difficile d'exprimer l'apport seul de cette constellation. Nous pouvons tout de même dire que celui-ci n'est pas extrêmement pertinent, au vu des ambiguïtés flottantes majoritairement présentes et de l'éloignement avec les mesures GPS, comme le montre la *figure 2.5*. La présence de GPS ajoute des mesures avec ambiguïtés fixées. Ces mesures sont précises : de l'ordre du dixième de mètre.

Enfin, concernant BeiDou, en couplant ces mesures avec celles du GPS, les résultats sont robustes sous couvert végétal, mais la présence de GLONASS diminue la robustesse, comme le montre la *figure 2.6*. Les mesures sont en effet précises, pour le couplage GPS + BEI, à environ 5 cm tandis que les mesures sont beaucoup plus éloignées pour le couplage GLO + BEI.

Cette conclusion planimétrique se retrouve extrêmement bien au niveau des altitudes, grâce notamment aux résultats de la *figure 2.7*. Les écarts du couplage GLONASS et BeiDou sont parfois de 10m.

En conclusion le GPS est bien robuste, même si il indique plus de mesures en ambiguïtés flottantes qu'en ambiguïtés fixées. Les trois autres constellations ne traversent pas bien ce couvert végétal.

Rue large

Les rues larges permettent de trouver un juste milieu entre couvert végétal et espace dégagé. La présence de bâtiment n'est pas excessive, mais leur présence est tout de même suffisante pour tester la robustesse et la précision des différentes constellations.

Nous avons pu tester cela sur la rue Eugène Bernard, à Forcalquier.

Comme attendu, les mesures du GPS restent précises, et également robustes. Les mesures GLONASS sont légèrement plus disparates, avec quelques valeurs extrêmes. La *figure 3.1* illustre ce propos. La constellation GLONASS a quelques valeurs extrêmes en altitude, mais reste précise. Les mesures GPS oscillent peu, de l'ordre de 0.1m, comme le montre la *figure 3.2*.

Les résultats qui ressortent donc jusqu'ici sont une précision et robustesse excellente du GPS, avec GLONASS qui vient en second plan, et GALILEO et BeiDou qui sont difficiles à caractériser seuls du fait des couplages.

C'est particulièrement visible dans la *figure 3.3* : avec le GPS, BeiDou à une précision de l'ordre de 50cm, mais couplé avec GLONASS, cette précision explose à plusieurs mètres,

Jusqu'à ne plus vouloir rien dire. À nouveau, la *figure 3.4* d'altitude confirme à nouveau nos suppositions, BeiDou est plus précis couplé au GPS que couplé à GLONASS.

Il peut être intéressant de comparer les résultats issus des acquisitions couplés GPS + GLONASS et GPS + GALILEO. Même en vue d'un grand nombre d'ambiguïtés flottantes, le couplage GPS + GLONASS est plus précis que le couplage avec GALILEO, comme le montre la *figure 3.5*.

Nous pouvons donc dire que GALILEO est moins robuste que GLONASS, lui-même moins robuste que GPS.

Notons cependant que le couplage des trois constellations offre un résultat satisfaisant en robustesse et précision (hors ambiguïtés flottantes), voir la *figure 3.6*.

Canyon urbain

Le canyon urbain est en quelque sorte l'équivalent du couvert végétal, mais en ville. En effet, ces acquisitions se sont faites en rue très étroite dans Forcalquier, au niveau de la vieille ville.

Le comportement des constellations GPS et GLONASS reste le même : GPS est plus précis, donc plus robuste ici du fait de la situation que la constellation GLONASS. Les altitudes respectent ces conclusions. Voir *figures 4.1 et 4.2*.

Nous n'avons pas été en mesure de capter BeiDou et GALILEO en statique pour ce type de zone.

Conclusion statique

Enfin, nous pouvons donc conclure que la constellation GPS est la plus précise et la plus robuste. Celle-ci est suivie par GLONASS, qui reste plus robuste que la constellation GALILEO. BeiDou est quant à elle très imprécise dans tout type de zone. Sa précision relative n'est en effet que due au couplage avec le GPS.

Nous pouvons cependant souligner que les problèmes rencontrés avec GALILEO et les SP80 pour BeiDou nous ont empêchés de prendre toutes les mesures souhaitées.

IV.2 Cinématique

Méthode pédestre :

Afin de comparer GPS, GLONASS, et GALILEO nous nous sommes déplacés avec nos sacs à dos à travers Forcalquier et les Mourres. Comme GALILEO ne fonctionnait pas la première semaine, nous sommes retournés sur le terrain à posteriori pour faire des acquisitions l'intégrant.

Cependant, il était impossible de le découpler de GLONASS ou GPS sur le sp80 ce qui complique l'analyse.

Espace dégagé de type champs, crêtes :

De manière générale dans les parties des Mourres dégagées nous n'avions aucun mal à recevoir les signaux de toutes les constellations donc aucun problème de robustesse. Les différentes constellations renvoyaient des tracés assez cohérents: quelques centimètres d'écarts sur une même période d'acquisition et jusqu'à 1m entre les acquisitions réalisées sur 2 jours différents.

(cf annexe 2)

Espace fortement boisé et canyon urbain

En revanche quand le couvert végétal devenait trop important, il n'était plus possible de capter GLONASS. GALILEO a cependant été d'une aide précieuse : couplé avec d'autres systèmes, il aidait à gagner en robustesse.

Ainsi, lors du suivi d'un lit de rivière dans un canyon, seul le combo GPS+GALILEO était assez robuste pour percevoir des signaux.

(cf annexe 2)

Espace couvert urbain:

Pour les parties dégagées nous avons bien sûr observé ici le même comportement que dans les Mourres.

En revanche GALILEO semblait davantage gêné par les murs des maisons et autres mobiliers urbains que GLONASS.

(cf annexe 1)

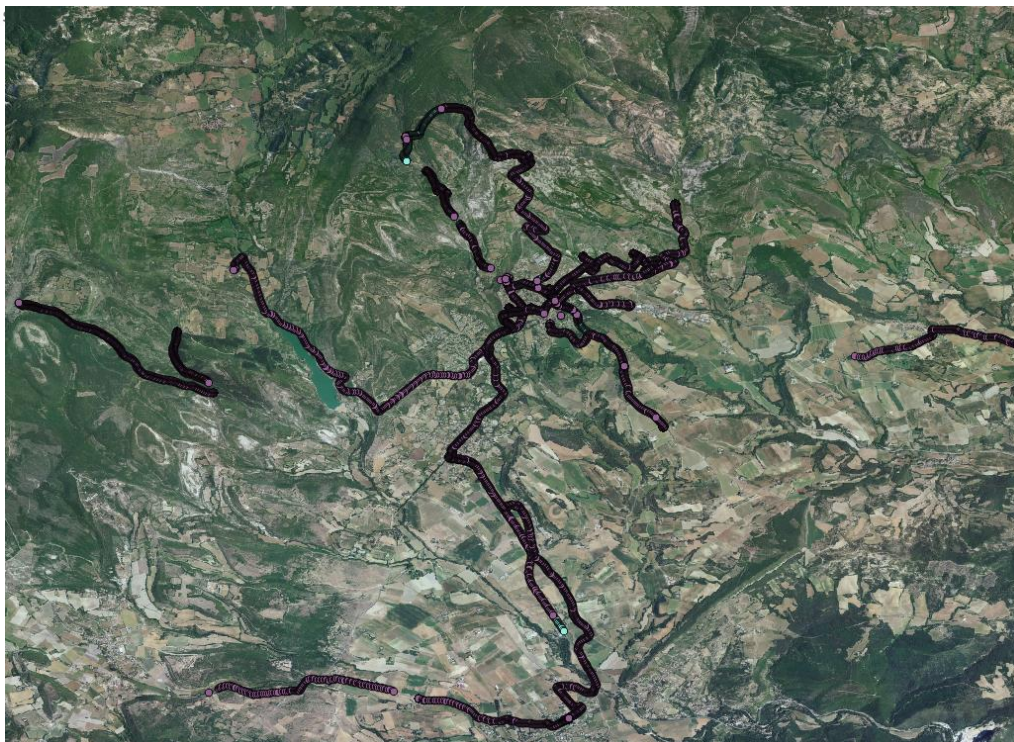
Conclusion :

Ici, les positionnements semblent identiquement précis avec GPS, GLONASS, GALIELO. GPS permet un positionnement plus robuste que GLONASS et GALILEO.

Méthode automobile :

Toujours dans l'optique d'éprouver la robustesse des constellations GNSS, les tests réalisés en véhicule concernaient initialement GPS, GLONASS et GALILEO jusqu'à la panne de ce dernier qui nous a fait revoir nos tests pour GPS et GLONASS uniquement.

Puis à la suite des traitements, nous avons constaté des complémentarités et des singularités en fonction du terrain :



Emprise de la zone traitée en voiture

Espace dégagé de type champs, crêtes :

Les points obtenus par GPS et GLONASS offrent une précision assez forte sont cohérents entre eux et avec la trajectoire de la voiture.

Le GPS seul présente très peu d'écart avec la combinaison GPS+GLONASS, comme si l'apport de GLONASS était négligé, ce qui est logique car il y a une majorité de satellites GPS.

Le GLONASS seul présente une trajectoire assez éloignée des deux autres.

Concernant la robustesse, elle fut la même sur ce terrain, à savoir qu'il n'y pas eu de problèmes de réception pour ces deux constellations.

Espace boisé et sous couvert urbain léger:



En violet : GLONASS, GALILEO (inactif)

En bleu : GPS, GLONASS, GALILEO (inactif)

Il est nécessaire de distinguer le couvert forestier et urbain léger avec le couvert dense qui viendra ensuite. En effet les zones très boisées ont montré des divergences de robustesse avec celles peu boisées ou avec un couvert urbain peu dense.

Ainsi, pour ce type de zones nous avons comme résultat :

La combinaison de GPS et GLONASS offre une moins bonne robustesse que GLONASS seul qui a été capté tout au long de notre trajet à la différence du duo de constellations. Ainsi, GLONASS apporte une plus grande robustesse que GPS sur ce type de terrain.

Espace fortement boisé et canyon urbain

Ce type de terrain fut plus délicat que les autres car nos récepteurs Spectra en rover avaient du mal à se connecter aux stations. Cependant nous avons pu apporter des résultats et les conclusions suivantes :

Concernant la robustesse, GLONASS s'est montré le plus performant ayant capté le signal sur environs 75% du temps de trajet alors que GPS est autour des 59%.

Ainsi, GLONASS est toujours plus robuste que GPS.

Conclusion :

GLONASS permet un positionnement plus robuste que GPS, mais a plus tendance à diverger de la trajectoire empruntée.

CONCLUSION DU PROJET :

GALILEO est précis mais manque de robustesse dans certains cas. Par ailleurs, comme la constellation est récente, les logiciels et le matériel ne sont pas adaptés pour le traiter à part.

Pour l'instant elle permet d'obtenir de la redondance et renforce les informations obtenues par GPS mais elle n'est pas prête de s'y substituer.

Voici un tableau comparatif pour conclure sur les différents systèmes :

Satellite	Précision				Robustesse			
	GPS	GLO	GAL	BEI	GPS	GLO	GAL	BEI
Espace dégagé								
Rue large								
Canyon Urbain								
Couvert végétal léger								
Couvert végétal dense								

Remerciements :

Nous tenons à remercier notre encadrant et commanditaire Serge Botton, ainsi que Jacques Beilin et Christian Le Page dit Pageot, pour leur précieuse aide

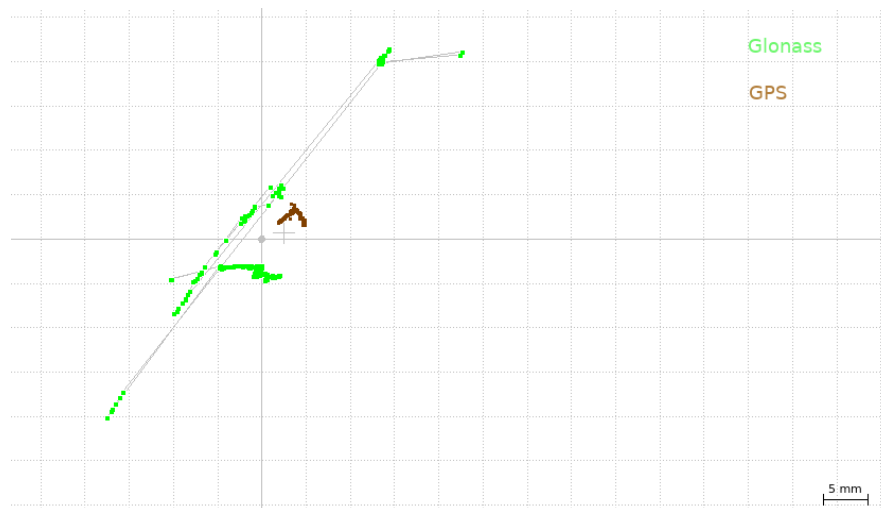


Figure 1.1

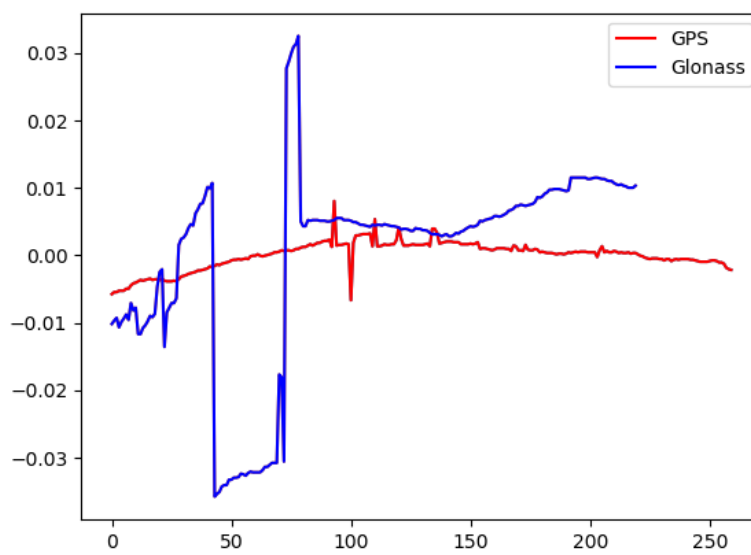


Figure 1.2

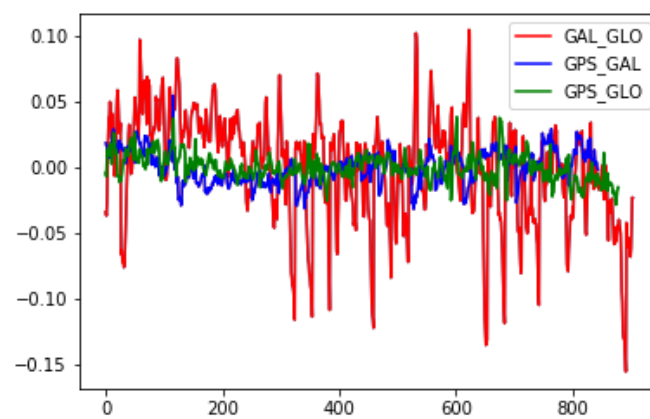


Figure 1.3

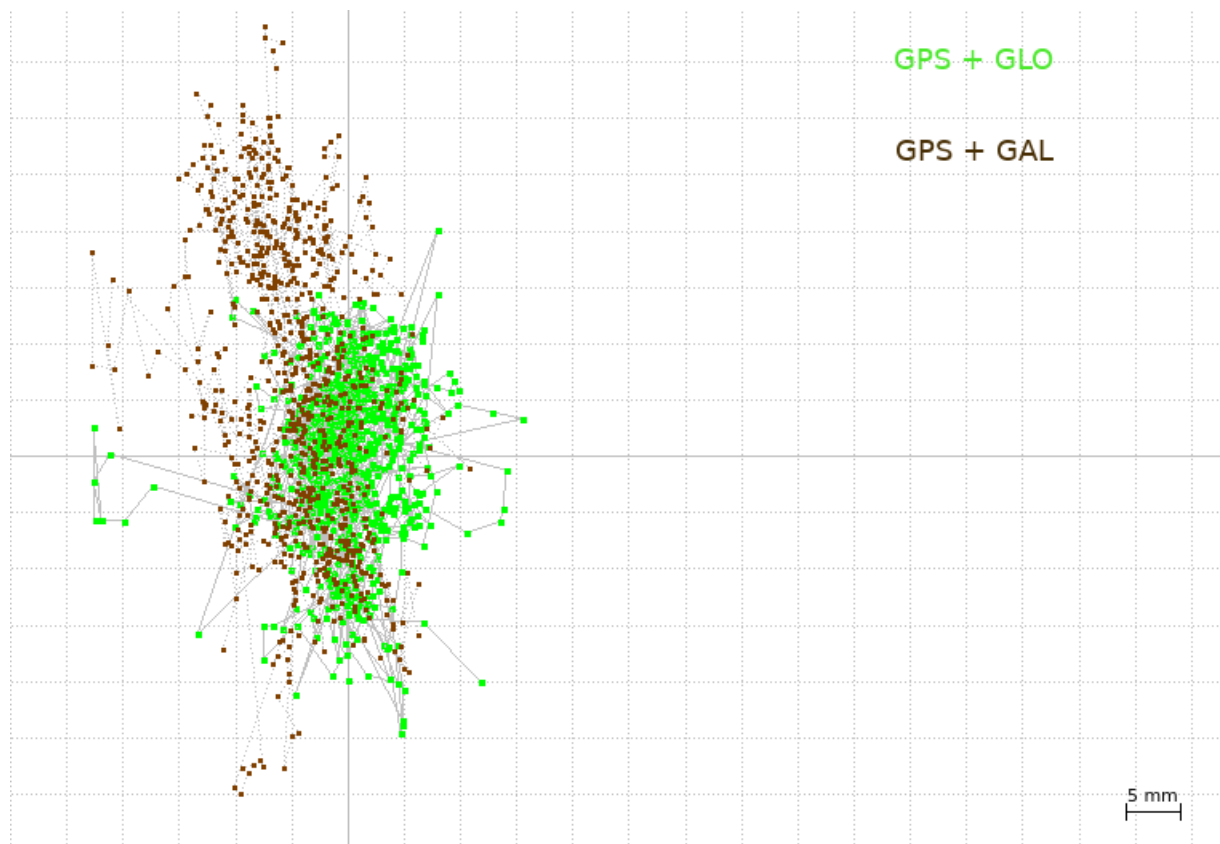


Figure 1.4

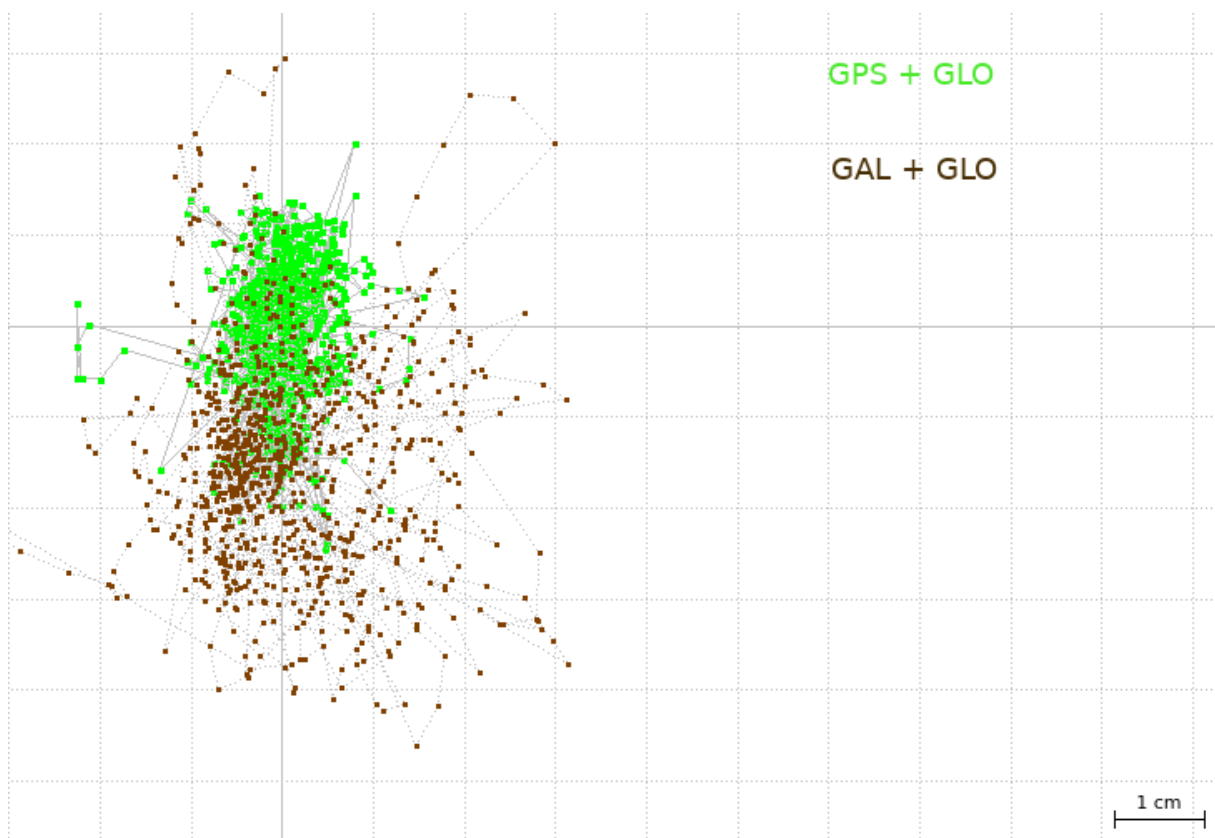


Illustration 1: Figure 1.5

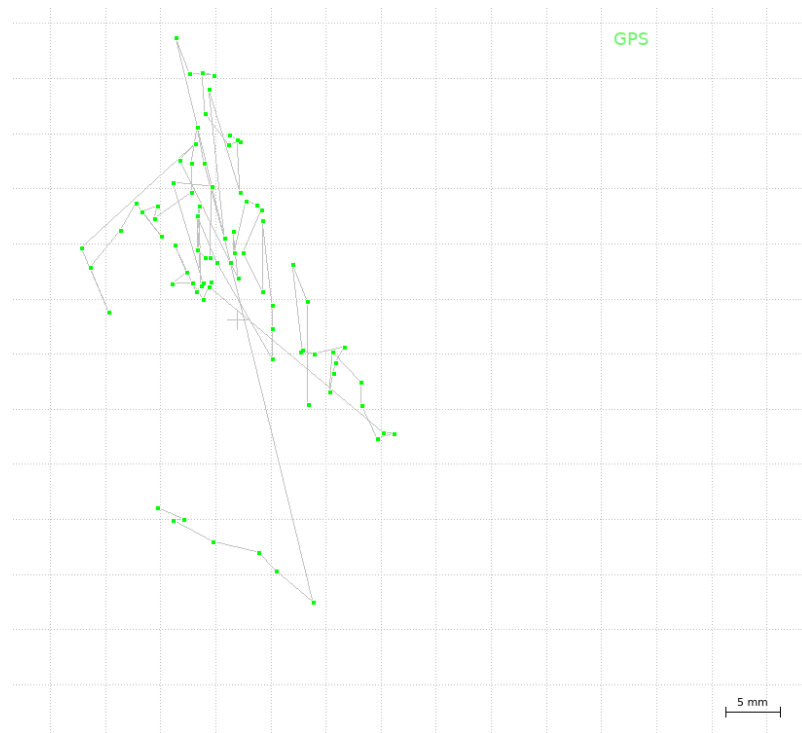


Figure 2.1

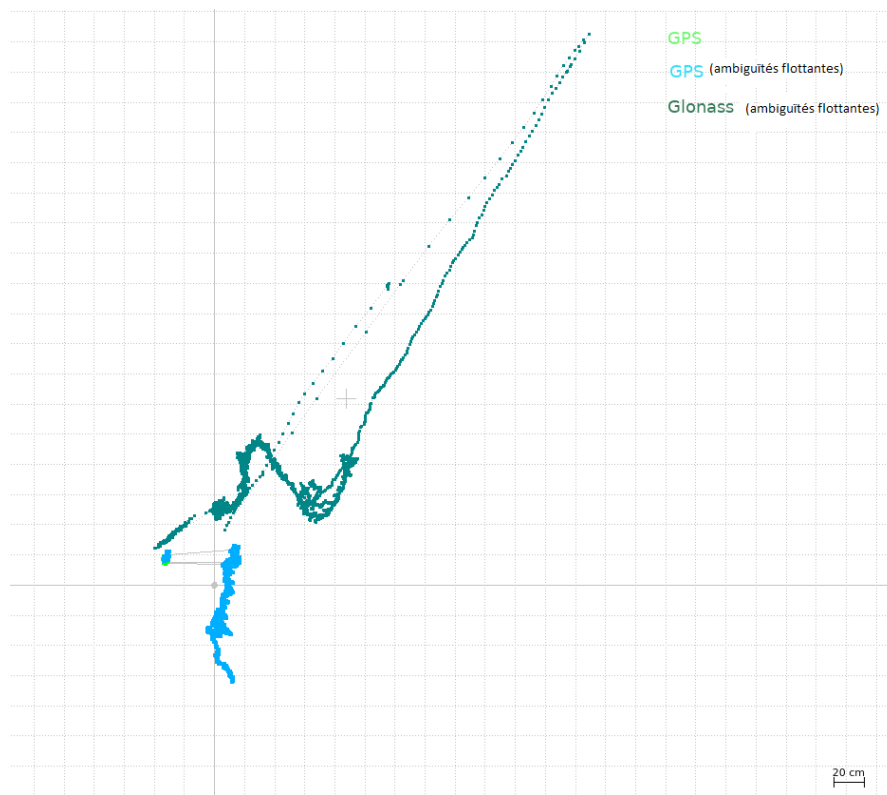


Figure 2.2



Figure 2.3

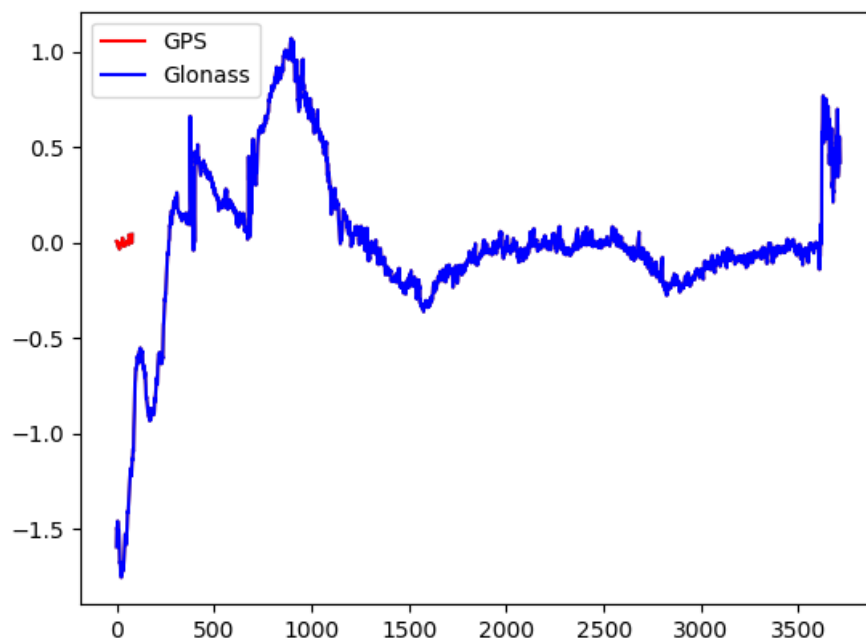


Figure 2.4

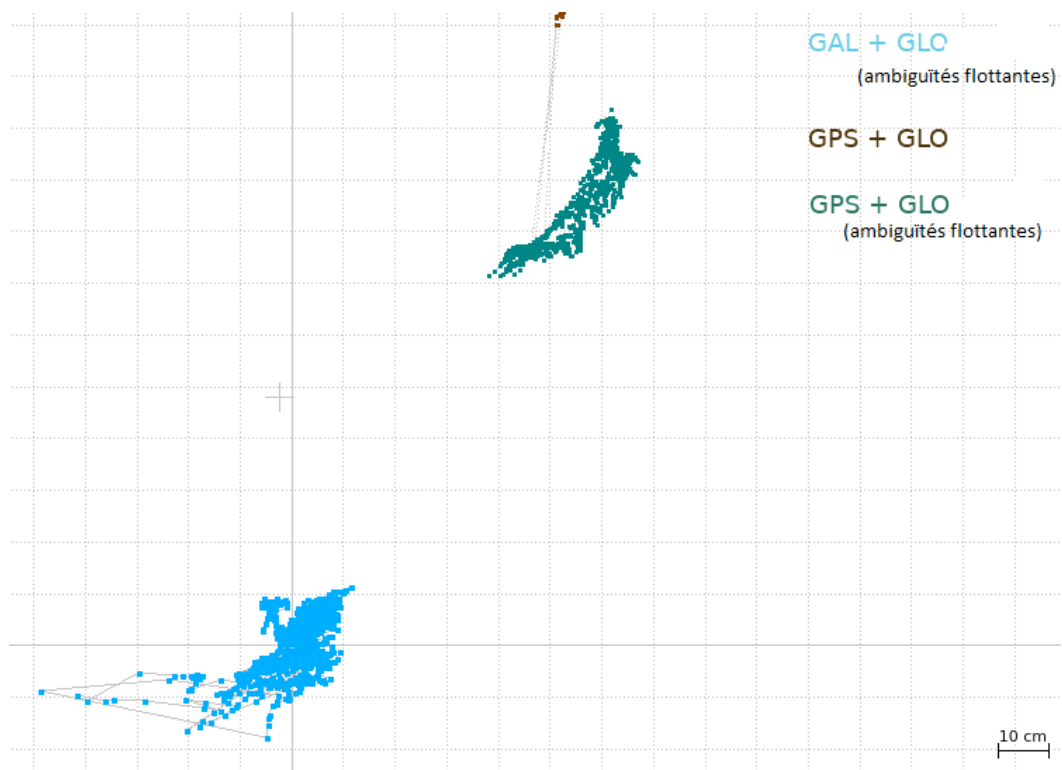


Figure 2.5

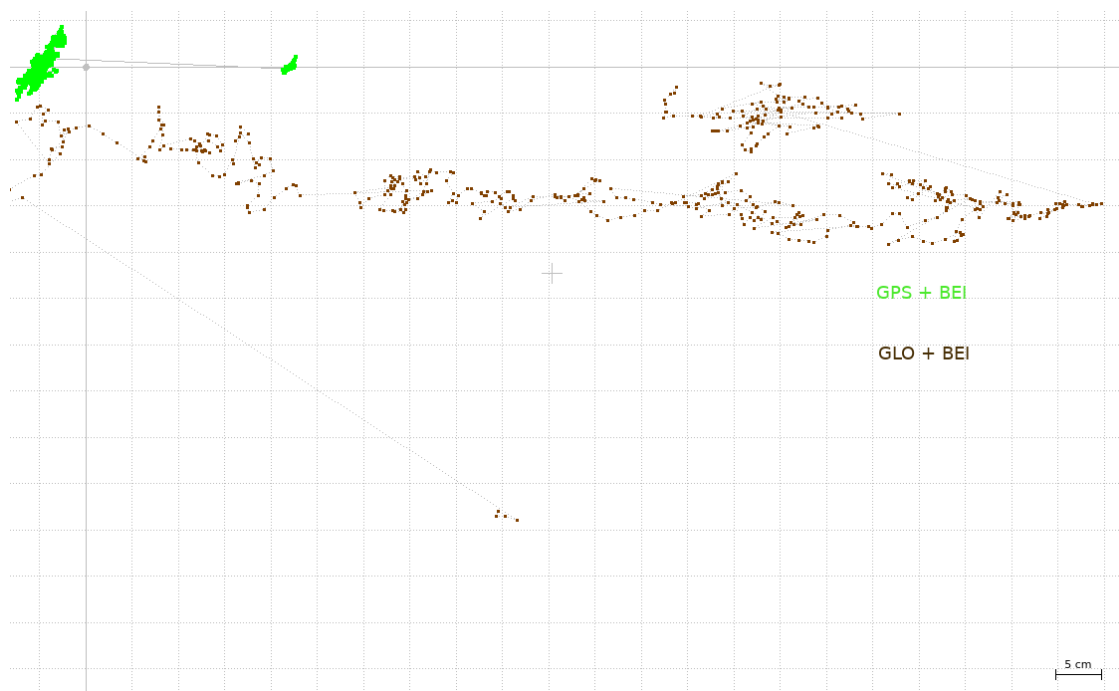


Figure 2.6

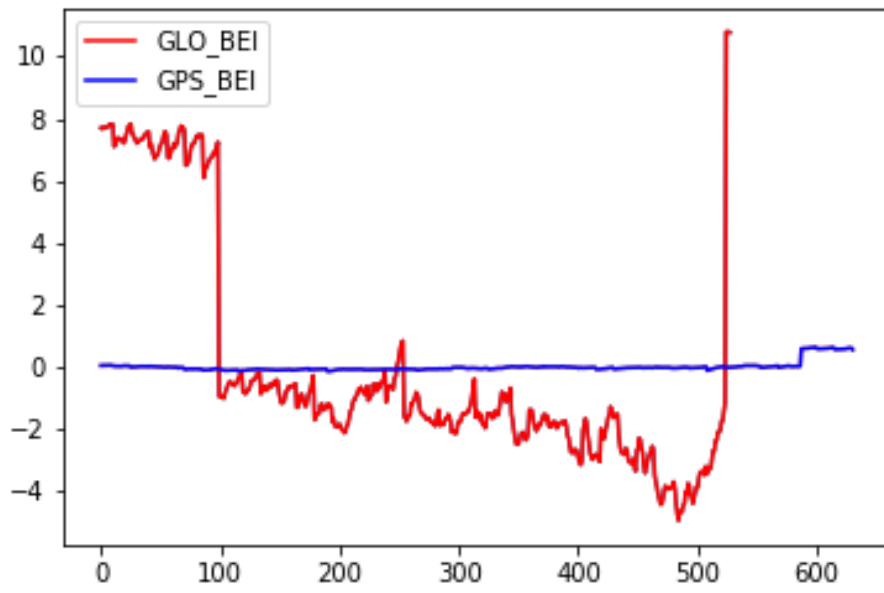


Figure 2.7

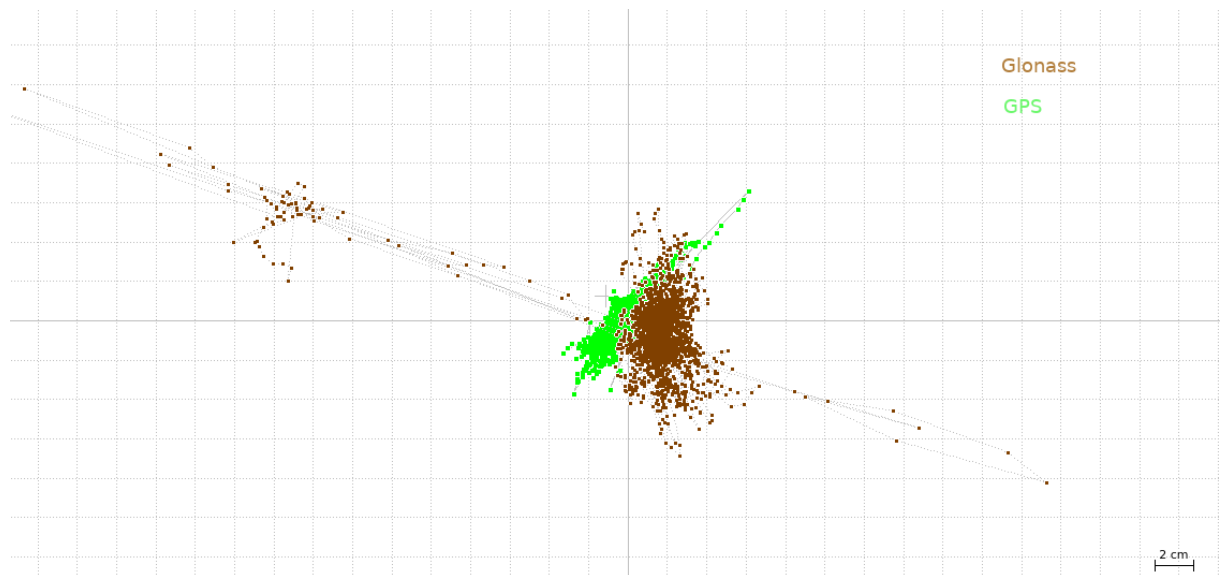


Figure 3.1

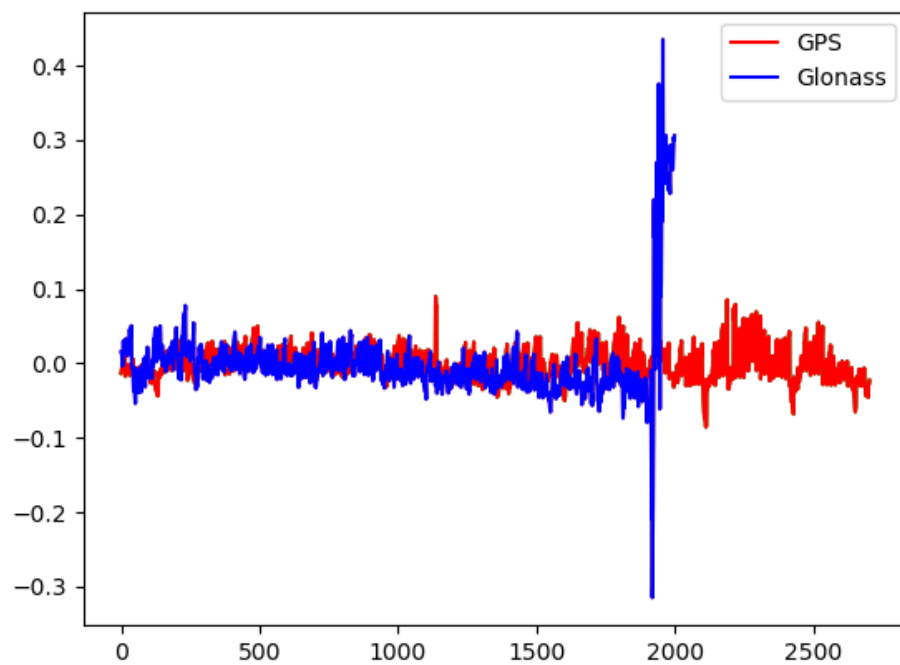


Figure 3.2

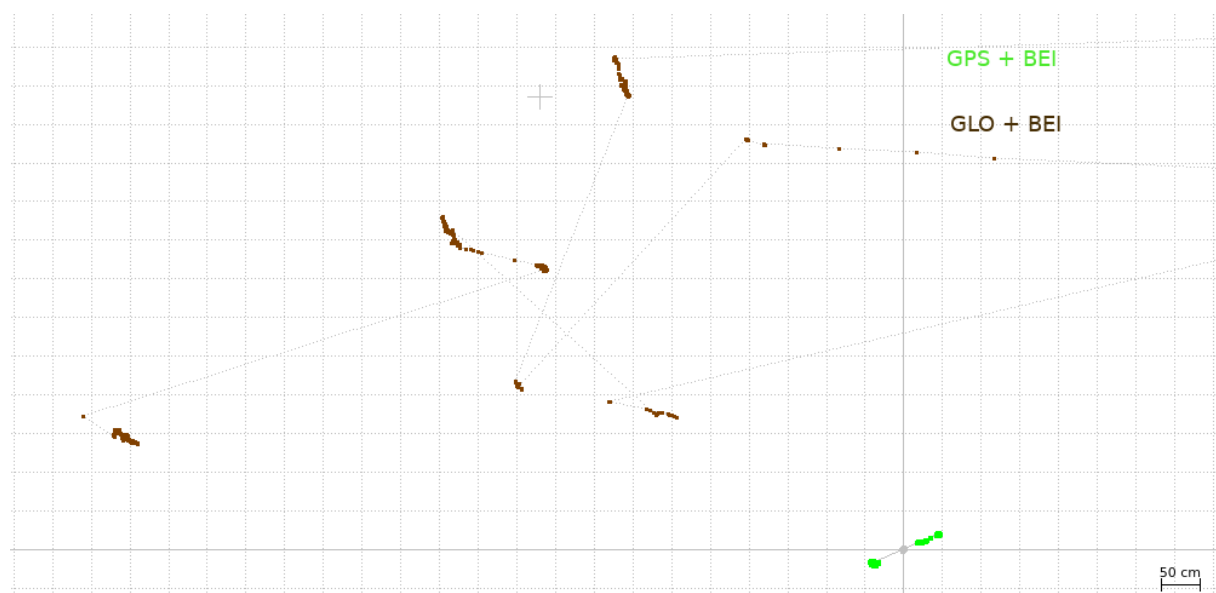


Figure 3.3

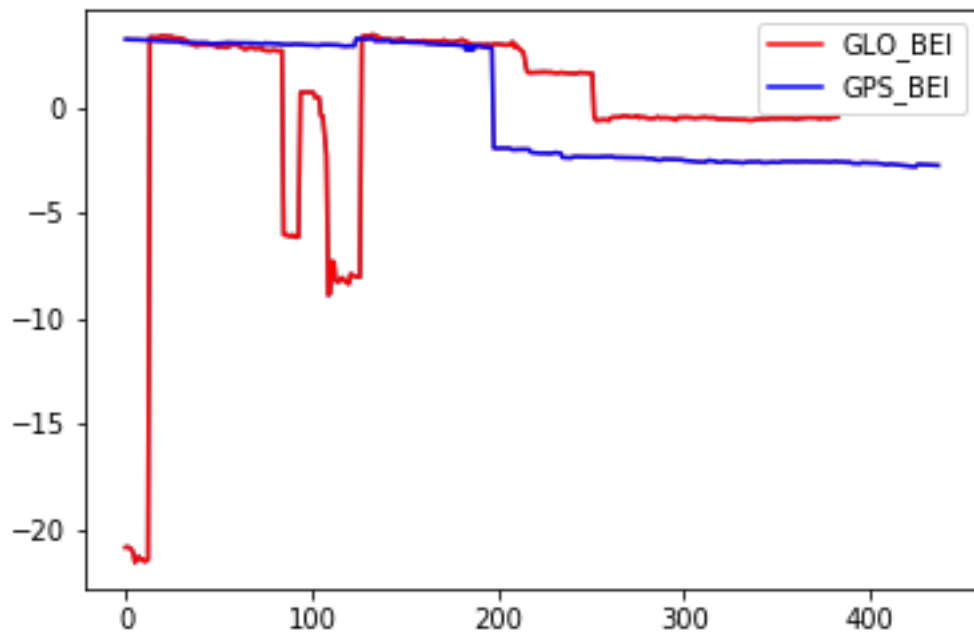


Figure 3.4

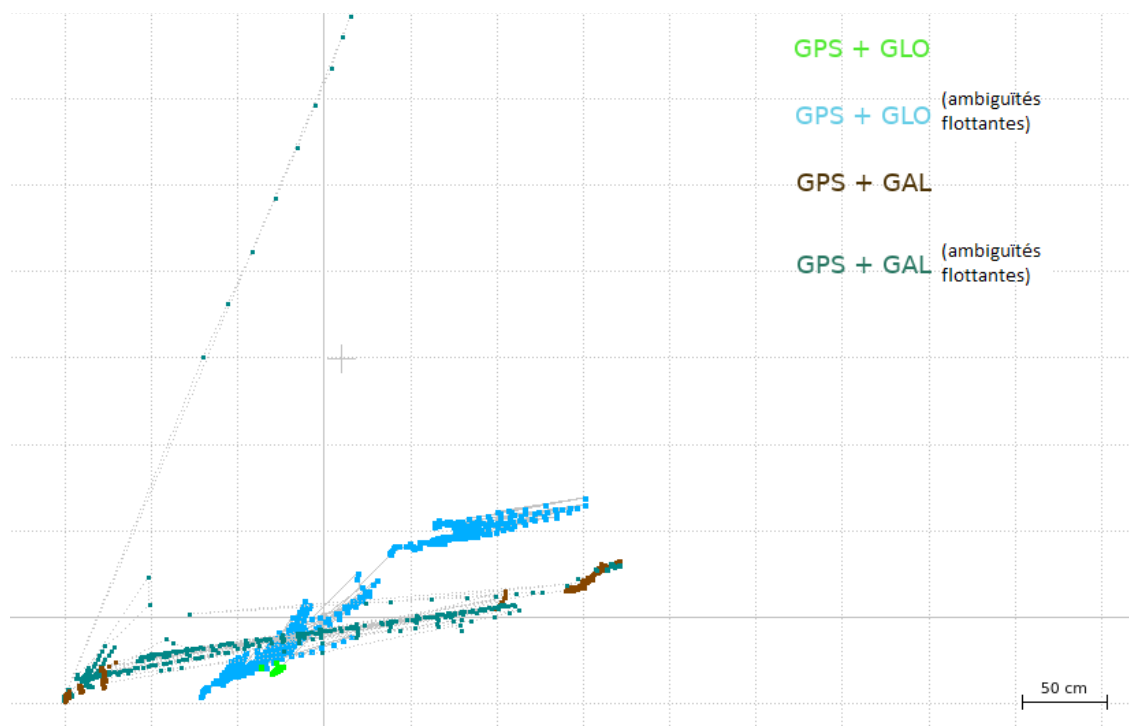


Figure 3.5

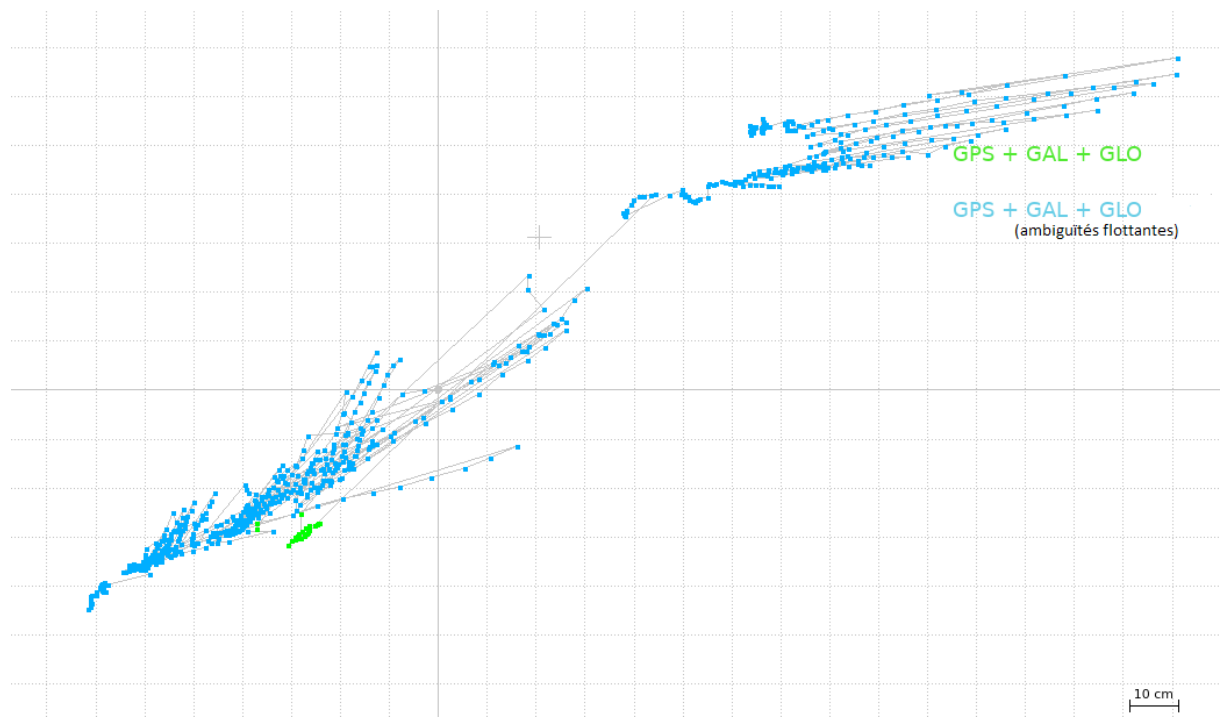


Figure 3.6

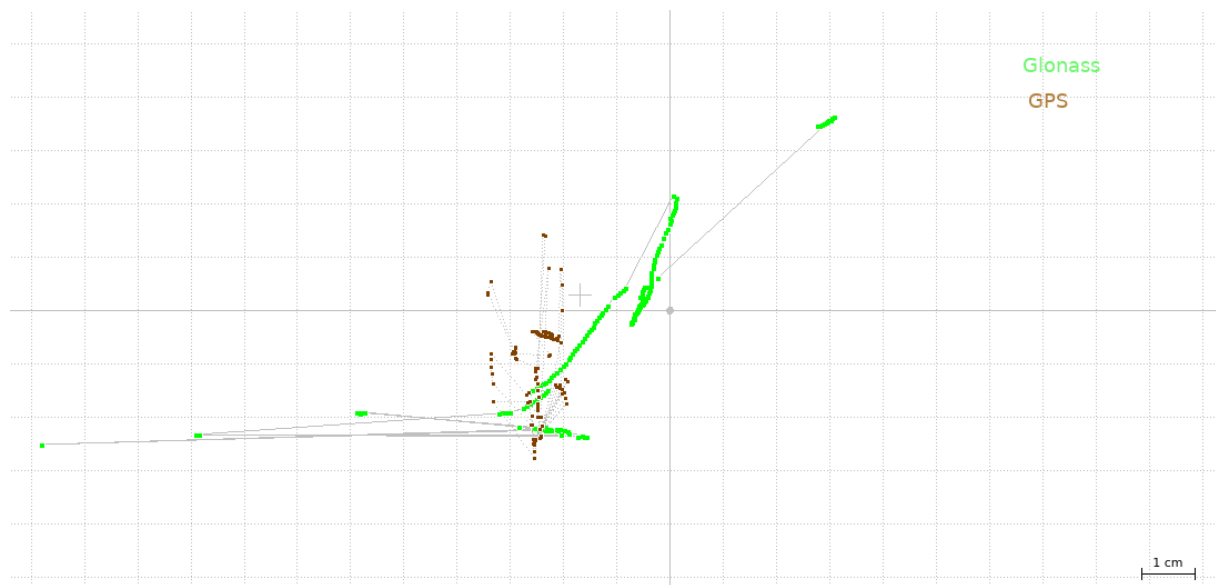


Figure 4.1

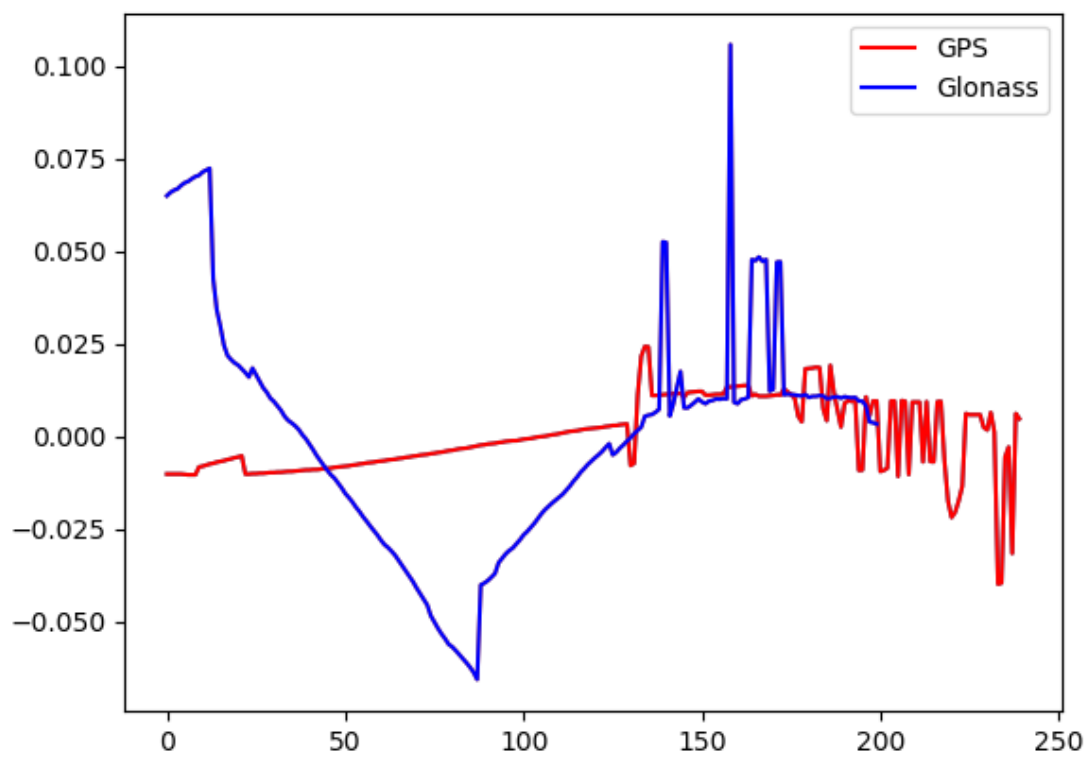


Figure 4.2

Présentation du programme moyenne.py

Exemple avec le fichier « Mourres01 ».

Après traitement des fichiers rinex par rtklib, l'utilisateur peut recevoir deux fichiers, GPS et Glonass.

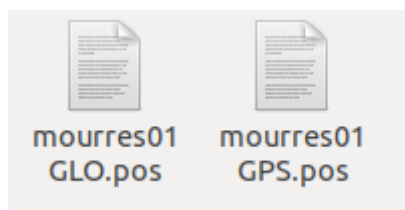


Illustration 1: Fichiers après traitement sous RTKlib

Les fichiers pos sont assez compliqués à lire :

```
% program : RTKPOST ver.2.4.3 b29
% inp file : D:\GM3\Fichiers GPS\Mourres01\0398190a.19o
% inp file : D:\GM3\Fichiers GPS\Mourres01\forc190n.19o
% inp file : D:\GM3\Fichiers GPS\Mourres01\forc190n.19g
% obs start : 2019/07/09 12:26:00.0 GPST (week2061 217560.0s)
% obs end : 2019/07/09 13:31:00.0 GPST (week2061 221460.0s)
% pos mode : static
% freqs : L1+L2
% solution : combined
% elev mask : 15.0 deg
% dynamics : off
% tidecorr : off
% ionos opt : broadcast
% tropo opt : saastamoinen
% ephemeris : broadcast
% navi sys : glonass
% amb res : continuous
% amb glo : on
% val thres : 3.0
% antenna1 : SPP91564 2 NONE (-0.0000 -0.0000 1.5630)
% antenna2 : ASH111661 NONE (-0.0000 -0.0000 0.0000)
% ref pos : 43.962599433 5.774162455 655.3820
%
% (lat/lon/height=WGS84/ellipsoidal,Q=1:fix,2:float,3:sbas,4:dgps,5:single,6:ppp,ns=# of satellites)
% GPST latitude(deg) longitude(deg) height(m) Q ns sdn(m) sde(m) sdu(m) sdne(m) sdeu(m)
2019/07/09 12:59:30.000 43.980277226 5.773251648 784.8033 1 7 0.0020 0.0009 0.0050 0.0002 -0.0004
2019/07/09 13:00:00.000 43.980277228 5.773251647 784.8028 1 7 0.0020 0.0009 0.0049 0.0002 -0.0004
2019/07/09 13:00:30.000 43.980277229 5.773251647 784.8027 1 7 0.0020 0.0009 0.0049 0.0002 -0.0004
2019/07/09 13:01:00.000 43.980277229 5.773251647 784.8025 1 7 0.0019 0.0009 0.0048 0.0002 -0.0004
2019/07/09 13:01:30.000 43.980277234 5.773251647 784.8033 1 7 0.0019 0.0009 0.0047 0.0003 -0.0003
2019/07/09 13:02:00.000 43.980277234 5.773251646 784.8033 1 7 0.0019 0.0008 0.0047 0.0003 -0.0003
2019/07/09 13:02:30.000 43.980277233 5.773251645 784.8036 1 7 0.0019 0.0008 0.0047 0.0003 -0.0003
2019/07/09 13:03:00.000 43.980277233 5.773251646 784.8038 1 7 0.0019 0.0008 0.0047 0.0003 -0.0003
2019/07/09 13:03:30.000 43.980277234 5.773251645 784.8036 1 7 0.0019 0.0008 0.0047 0.0003 -0.0003
2019/07/09 13:04:00.000 43.980277234 5.773251645 784.8037 1 7 0.0019 0.0008 0.0047 0.0003 -0.0003
2019/07/09 13:04:30.000 43.980277233 5.773251646 784.8035 1 7 0.0019 0.0008 0.0047 0.0003 -0.0003
2019/07/09 13:05:00.000 43.980277233 5.773251645 784.8035 1 7 0.0019 0.0008 0.0047 0.0003 -0.0003
2019/07/09 13:05:30.000 43.980277264 5.773252042 784.7284 2 8 0.0132 0.0119 0.0236 -0.0036 0.0070
2019/07/09 13:06:00.000 43.980277236 5.773251646 784.8029 1 7 0.0019 0.0008 0.0047 0.0003 -0.0003
2019/07/09 13:06:30.000 43.980277236 5.773251645 784.8031 1 7 0.0019 0.0008 0.0047 0.0003 -0.0003
2019/07/09 13:07:00.000 43.980277330 5.773251951 784.7254 2 8 0.0142 0.0129 0.0254 -0.0037 0.0073
```

Illustration 2: Un fichier .pos

ANNEXE N°0

Le but de l'opération est de :

- Calculer les différences de hauteur pour chaque point acquis (Hp-Hmoy)
- Transformer les coordonnées géométriques en coordonnées cartésiennes (E,N)

Le traitement des données va être lourd, et être source de beaucoup de nouveaux fichiers. Afin de s'y retrouver, nous plaçons les fichiers pos dans un dossier correspondant au GPS ou au Glonass.



Illustration 3: On place les fichiers .pos dans les dossiers correspondant

On peut alors passer au traitement des données. La fonction spliter(file) prend en entrée un fichier pos, afin de créer deux fichiers :

- **altitude** : fichier ne contenant que la colonne « height » du fichier pos
- **forcirce** : fichier comprenant latitude, longitude et hauteur dans cet ordre. Afin de convertir les données géométriques en coordonnées cartésiennes, il est nécessaire d'entrée les données géométriques dans le logiciel Circée, qui réalisera la conversion. Nous détaillerons cette étape plus tard

```
spliter("Mourres01/GPS/mourres01GPS.pos")
```

Illustration 4: commande spliter après tri des fichier pos

ANNEXE N°0

Cette commande va donc créer deux fichiers, *altitude* et *forcirce*. Cependant, ces deux fichiers seront créés dans la racine du dossier, là où le fichier *moyenne.py* est situé :

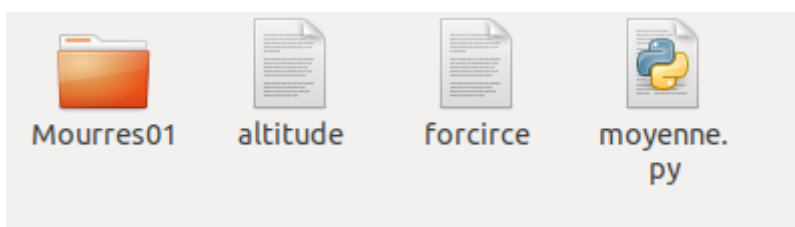


Illustration 5: Fichiers à déplacer

Il faut donc déplacer ces fichiers à l'endroit souhaité. Nous avons splité le fichier *mourres01GPS.pos*, il faut donc déplacer « *altitude* » et « *forcirce* » dans le dossier *Mourres01/GPS/...*

Une fois cette opération terminée, il faut procéder de même pour les données Glonass, et donc pour cela refaire un spliter avec *Mourres01/GLO/mourres01GLO.pos* puis déplacer les fichiers obtenus. Le résultat sera donc le suivant :



Illustration 6: Contenu du dossier *Mourres01/GLO/*

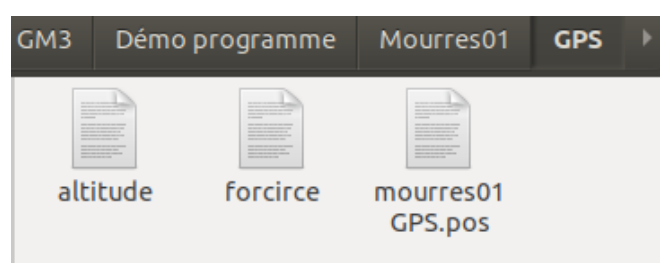


Illustration 7: Contenu du dossier *Mourres/GPS/*

L'étape de séparation des données dans les fichiers est terminée. Nous pouvons donc passer au calcul.

ANNEXE N°0

Pour ouvrir Circé, il faut ouvrir VirtualBox, et lancer Circe 5 France dans le menu démarrer.

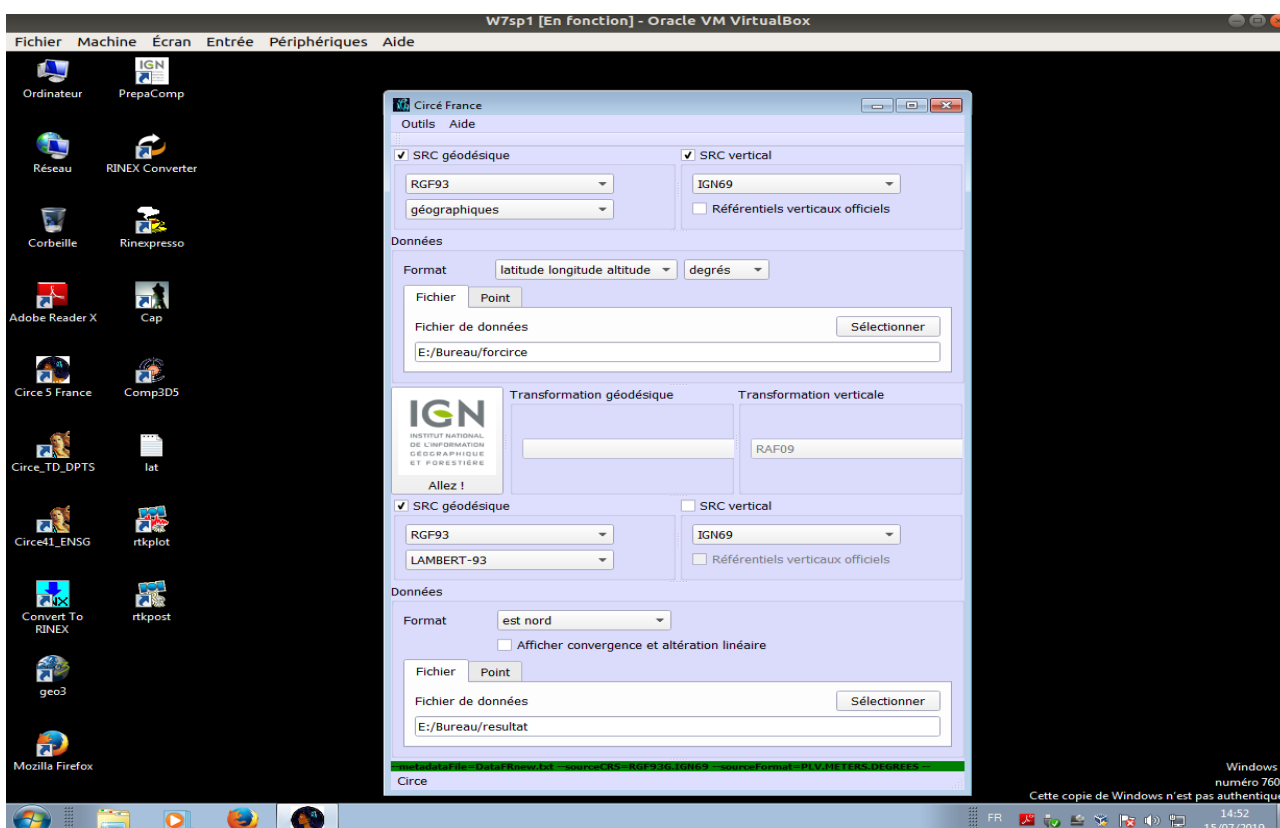


Illustration 8: Ouverture de Circe 5 France dans la VirtualBox d'Ubuntu

Il faut donc maintenant convertir les fichiers à l'aide du logiciel, via la VirtualBox.

Pour cela, il faut copier/coller chaque fichier « *forcirce* » sur le bureau d'Ubuntu.

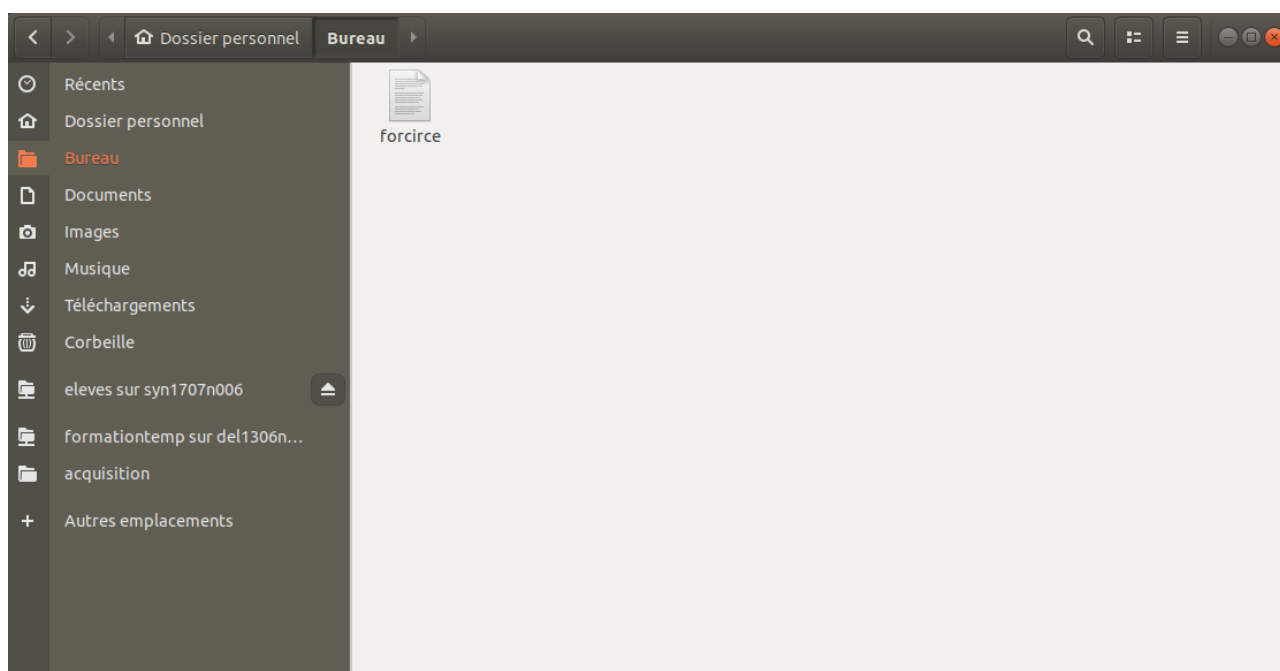


Illustration 9: Copie du fichier GPS "forcirce" sur le bureau

ANNEXE N°0

Ainsi, le fichier sera visible dans le chemin Ordinateur/formation/Bureau de la VirtualBox :

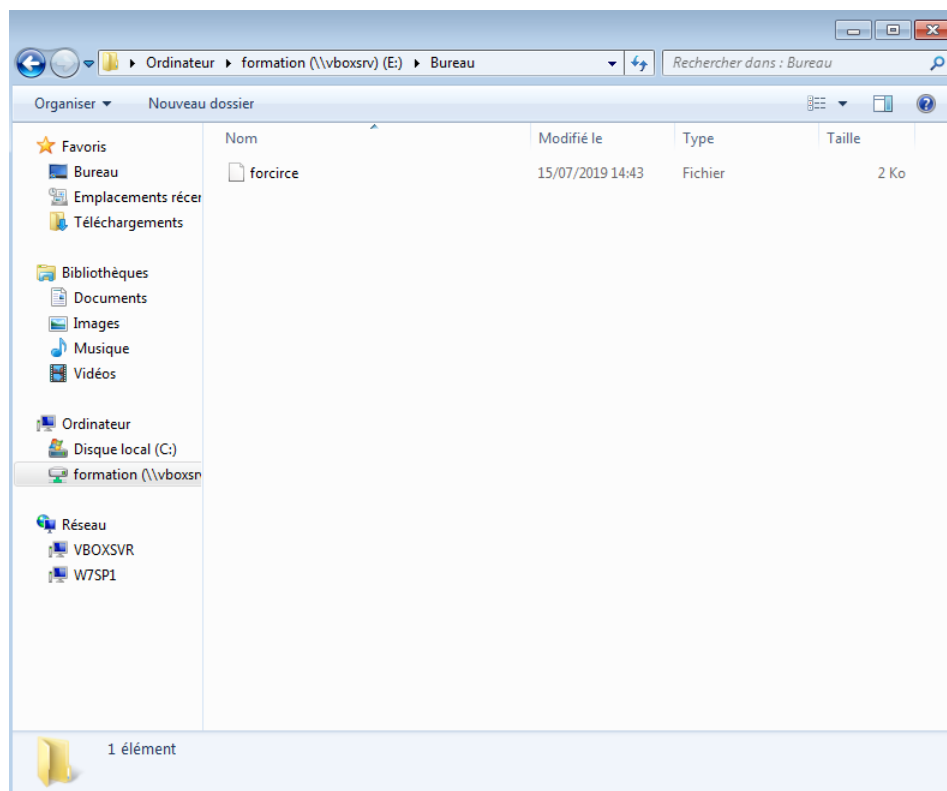


Illustration 10: On retrouve bien le même fichier forcirce

Une fois ce fichier *forcirce* copié dans l'espace bureau de la VirtualBox, il ne reste plus qu'à lancer le calcul de Circe 5 France, avec les paramètres suivant :

ANNEXE N°0

Circé France

Outils Aide

☒ SRC géodésique ☒ SRC vertical

RGF93 IGN69

géographiques ☐ Référentiels verticaux officiels

Données

Format latitude longitude altitude degrés

Fichier Point

Fichier de données Sélectionner

E:/Bureau/forcirce

IGN
INSTITUT NATIONAL
DE L'INFORMATION
GÉOGRAPHIQUE
ET FORESTIÈRE

Allez !

Transformation géodésique

Transformation verticale

RAF09

☒ SRC géodésique ☐ SRC vertical

RGF93 IGN69

LAMBERT-93 ☐ Référentiels verticaux officiels

Données

Format est nord

☐ Afficher convergence et altération linéaire

Fichier Point

Fichier de données Sélectionner

E:/Bureau/resultat

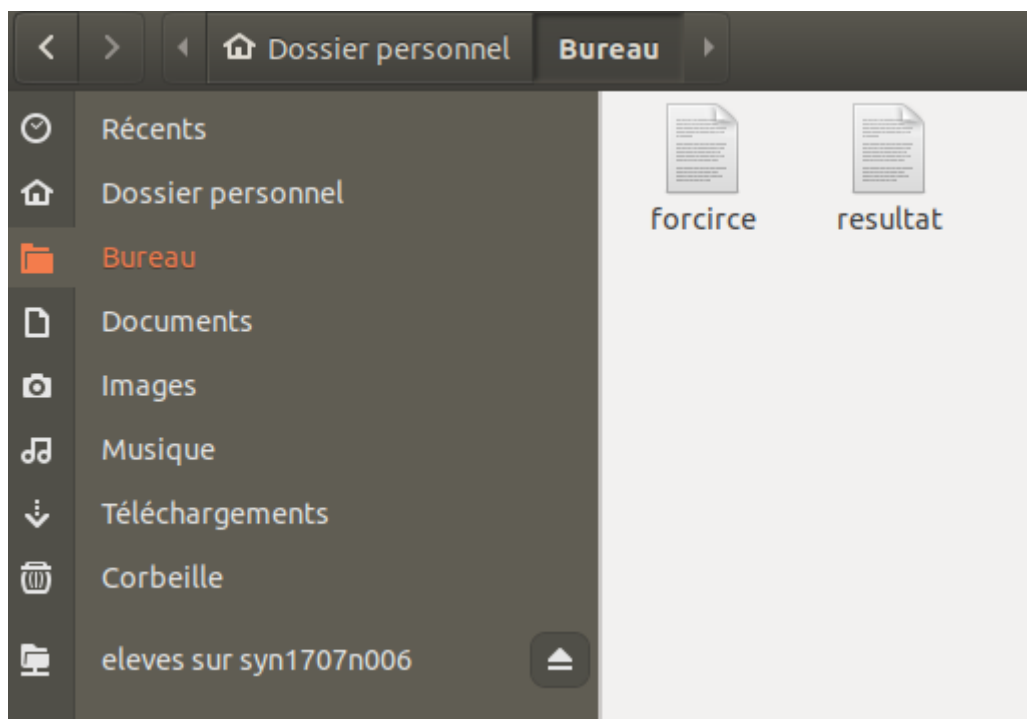
—metadataFile=DataFRnew.txt —sourceCRS=RGF93G,IGN69 —sourceFormat=PLV,METERS,DEGREES —

Illustration 11: Options à remplir dans Circe

Ce traitement nous fournira alors un fichier *resultat*, qui sera au même emplacement dans la VirtualBox que le fichier *forcirce*.

Ainsi, de par la connexion faite par la VirtualBox, le fichier *resultat* se retrouve sur le bureau d'Ubuntu.

ANNEXE N°0



Il faut
alors
déplace
r ce
fichier
resultat
dans le
dossier
corresp
ondant.
Ici,
nous
avons
utilisé
le

Illustration 12: On retrouve le fichier *resultat* sur le bureau d'Ubuntu

fichier *forcirce* du dossier Mourres01/GPS/, il faut donc mettre le fichier *resultat* à cet endroit.

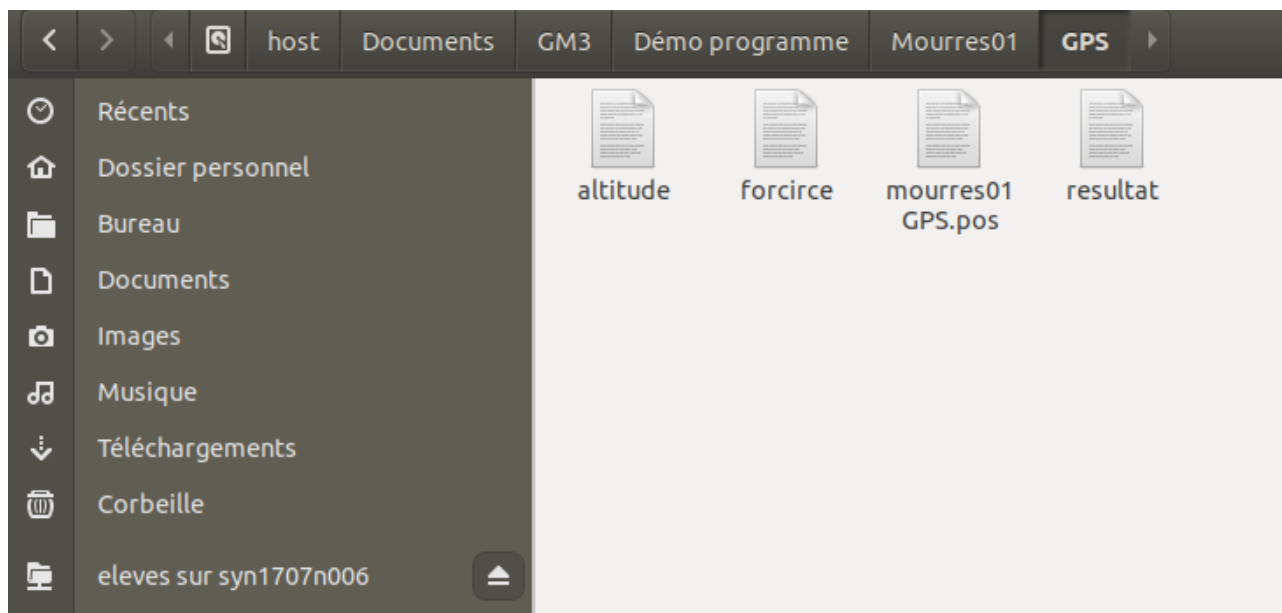


Illustration 13: Déplacement du fichier *resultat*

On réitère ces étapes pour le dossier Mourres01/GLO/, afin d'obtenir un fichier *resultat* dans ce dossier.

ANNEXE N°0

Il y a alors un fichier resultat pour chaque constellation GNSS (ici GPS et Glonass), et un fichier altitude.

Nous pouvons comparer les altitudes à l'aide la commande

alt_comparaison(a_file,b_file). Cette fonction fera appel à la fonction **avg_altitude(file)** qui renvoie l'altitude moyenne d'une liste de points, ainsi qu'une liste d'unités arbitraires de temps (ni des secondes, ni des minutes...).

alt_comparaison retournera une figure, représentant les différences de hauteurs calculées entre chaque point GNSS par constellation en fonction du temps.

```
In [179]: alt_comparaison("Mourres01/GPS/altitude", "Mourres01/GL0/altitude")
```

Illustration 14: Commande de comparaison d'altitude dans notre exemple

La
résultat

de la
fonction
sera le
fichier
alt.png, créé
à la racine
du dossier,
là où se
situe le
fichier
moyenne.py
:

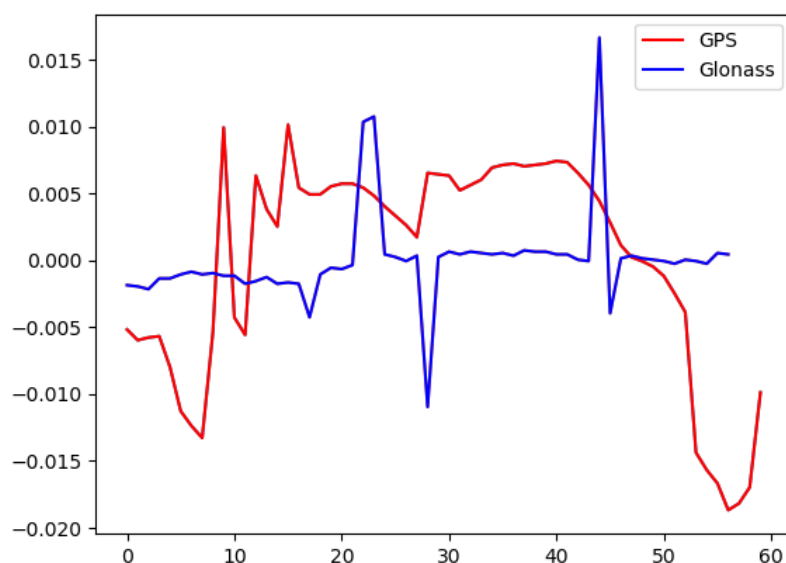


Illustration 15: Résultat de la fonction alt_comparaison

ANNEXE N°0

Remarque : Pour que la légende soit respecté, il est essentiel que a_file corresponde à un fichier GPS et b_file à un fichier Glonass.

On peut également créer le pointé de la position du point acquis, selon la constellation utilisée. Pour cela, on utilise la commande **comparaison_extended(file)**. Cette fonction fera appel à la fonction **moyenne(file)**, qui fait elle-même appel à la fonction split_file.

Explicitons ces fonctions.

split_file(file) prend en entrée un fichier converti par Circe 5 France. Circe rajoute en effet des lignes qui ne nous sont pas utiles dans le calcul.

```

|*!SOURCE: E:/Bureau/forcirce
*!CODE: RGF93G.IGN69
*!REPERE GÉODÉSIQUE: RGF93
*!COORDONNÉES: géographiques
*!ELLIPSOÏDE: GRS 1980
*!UNITÉ: degrés
*!REPERE VERTICAL: IGN69
*!
*!CIBLE:
*!CODE: RGF93LAMB93.
*!REPERE GÉODÉSIQUE: RGF93
*!COORDONNÉES: projetées
*!ELLIPSOÏDE: GRS 1980
*!PROJECTION: LAMBERT-93
*!
*!      E      N      geod.prec.  vert.prec.
922463.186 6324048.674    no info    < 5 cm
922463.187 6324048.675    no info    < 5 cm
922463.187 6324048.674    no info    < 5 cm
922463.187 6324048.674    no info    < 5 cm
922463.187 6324048.674    no info    < 5 cm
922463.187 6324048.675    no info    < 5 cm
922463.187 6324048.675    no info    < 5 cm
922463.187 6324048.675    no info    < 5 cm
922463.187 6324048.675    no info    < 5 cm
922463.185 6324048.673    no info    < 5 cm
922463.180 6324048.668    no info    < 5 cm
922463.185 6324048.673    no info    < 5 cm
922463.186 6324048.673    no info    < 5 cm
922463.182 6324048.669    no info    < 5 cm
922463.183 6324048.670    no info    < 5 cm
922463.184 6324048.671    no info    < 5 cm

```

Illustration 16: Fichier converti par Circe 5 France

split_file(file) permet donc d'isoler les colonnes E et N.

ANNEXE N°0

moyenne(file) calcule ensuite la coordonnée est moyenne et la coordonnée nord moyenne.

Il ne reste plus qu'à ploter le résultat, en appelant la fonction

comparaison_extended(file). Ici, file prend uniquement le dossier source, la fonction ira chercher toute seule les dossiers à comparer.

```
comparaison_extended("Mourres01")
```

*Illustration 17: Appel de la fonction
comparaison_extended dans notre
exemple*

La fonction créera alors la figure suivante, dévoilant les coordonnées moyennes des centres, acquis par chaque constellation, ainsi que la position moyenne de ces deux constellations. Cette image se situera à nouveau à la racine du dossier, là où se situe le fichier moyenne.py.

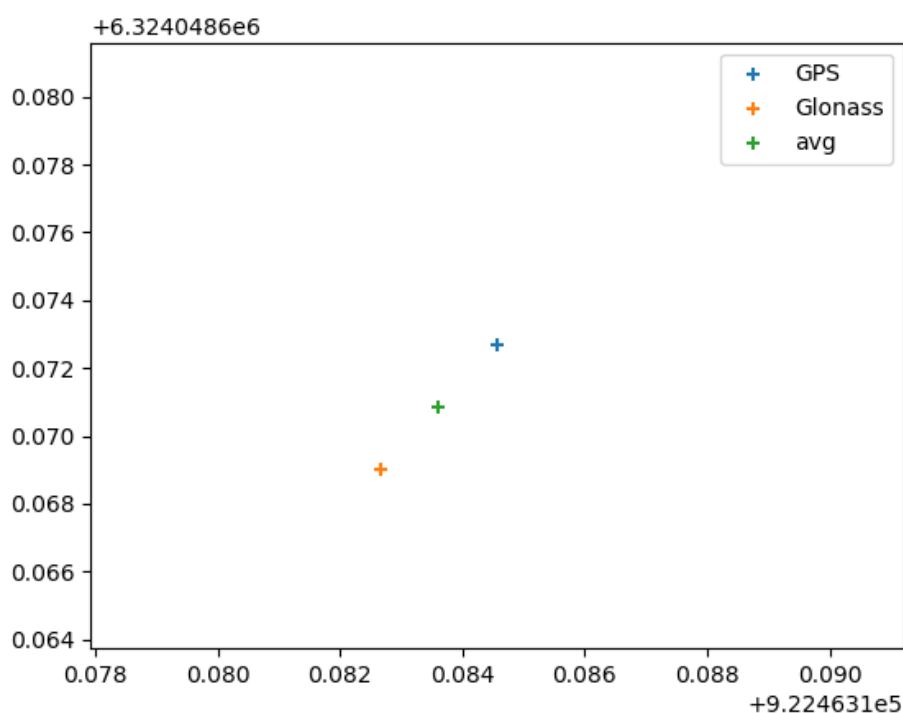


Illustration 18: Résultat de la fonction comparaison_extended

On a alors les deux fichiers alt.png et avg_distance.png, qui sont bien ce que nous cherchions à faire.

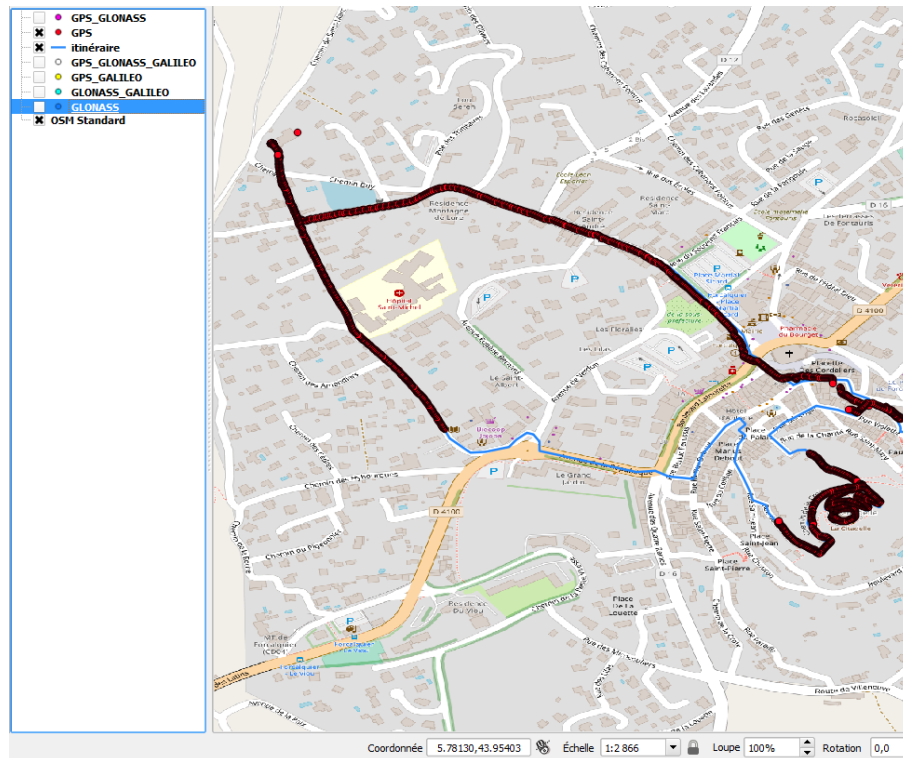
ANNEXE N°1

Centre-ville de Forcalquier :

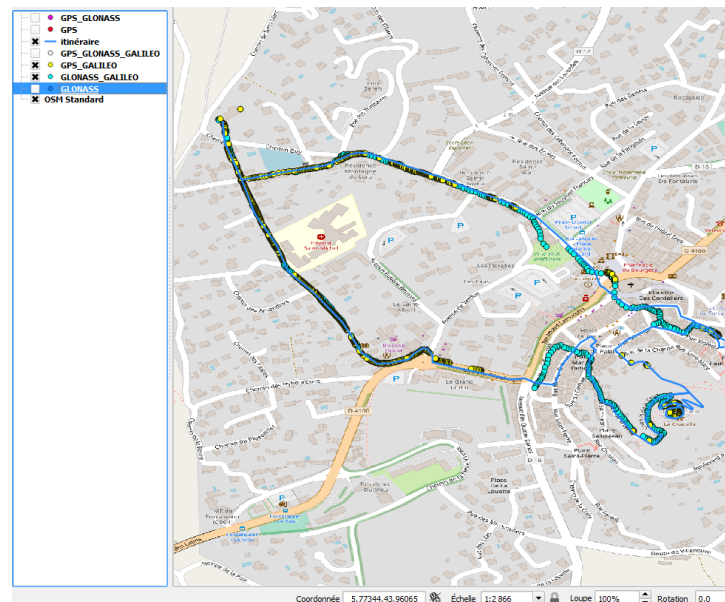
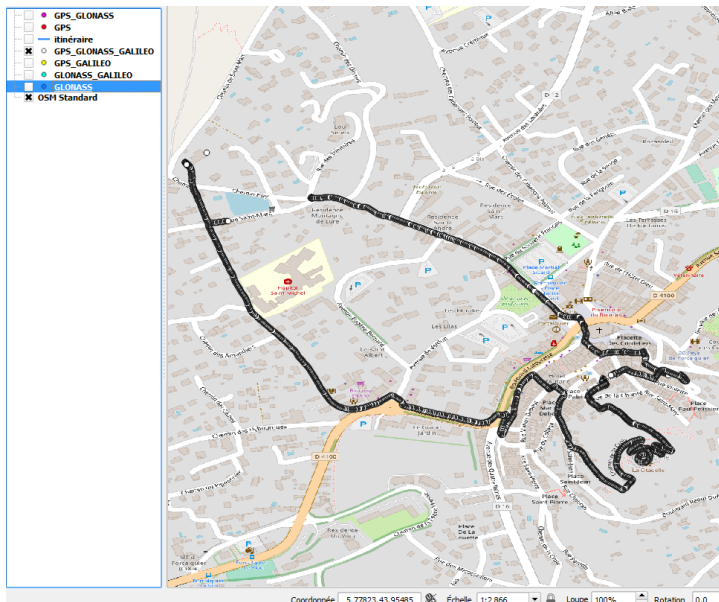
Ce que nous remarquons de manière générale, c'est que les différences de précision des différents systèmes n'est pas significative (quelques centimètres d'écart sur une précision centimétrique).

En revanche, en passant à la fois dans des corridors urbains et des espaces dégagés nous avons pu éprouver la robustesse des différents systèmes.

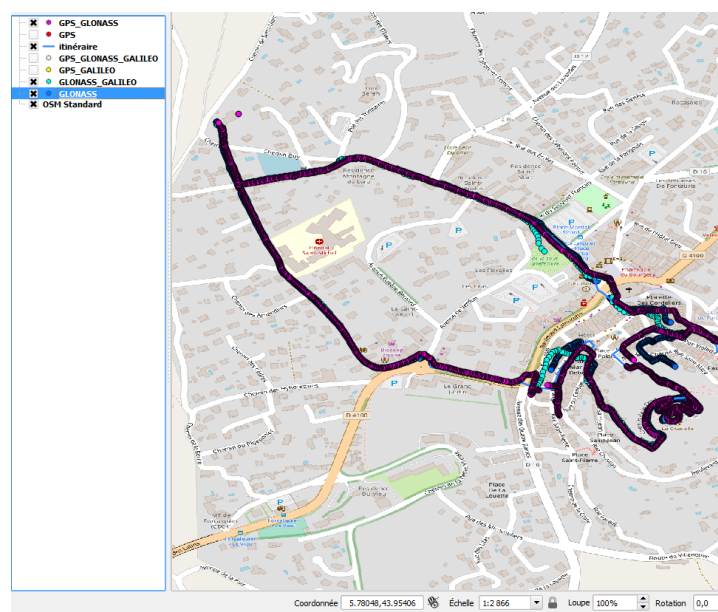
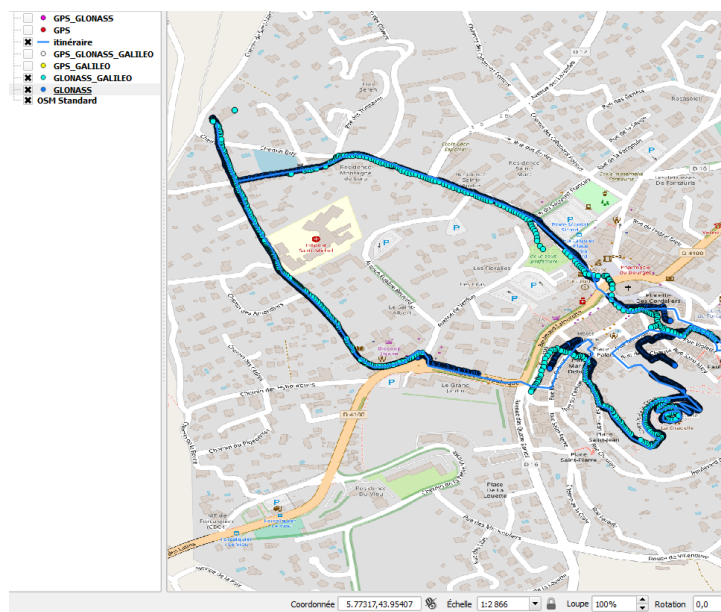
En effet, nous remarquons que GPS seul est assez robuste, même si le fait d'ajouter les autres constellations renforce les acquisitions :



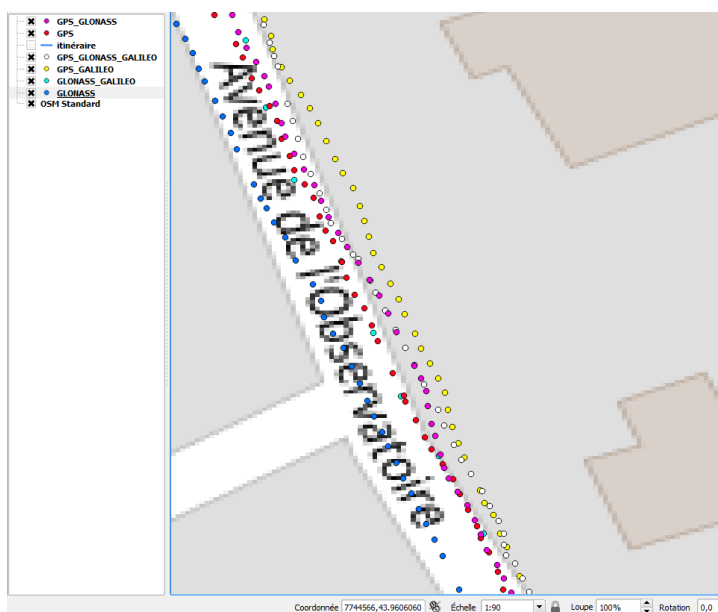
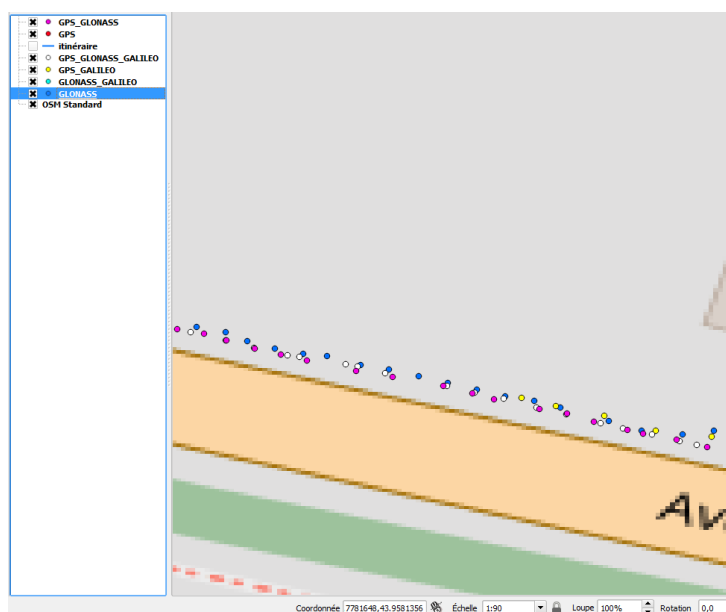
En revanche GLONASS et particulièrement GALILEO, quand ils sont étudiés à part, sont peu performants :



ANNEXE N°1



Concernant la précision :

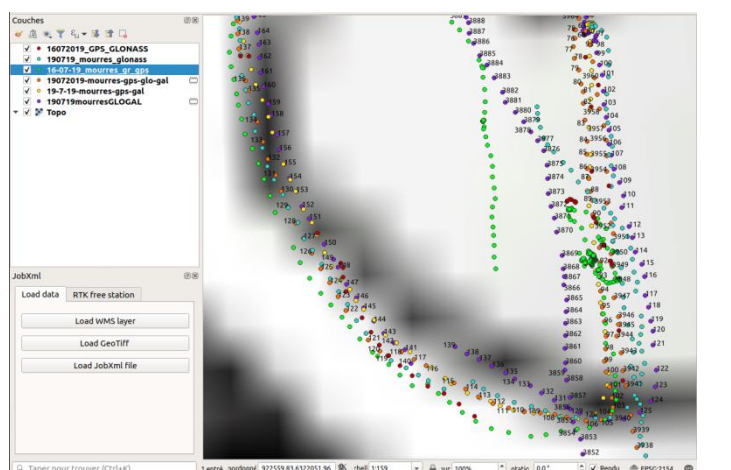
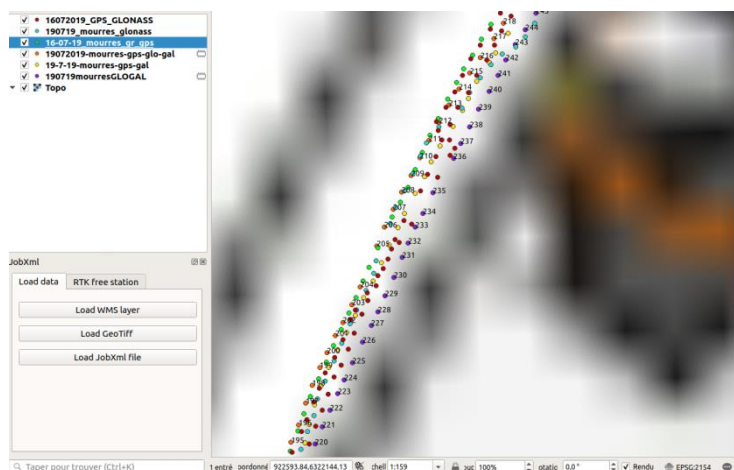
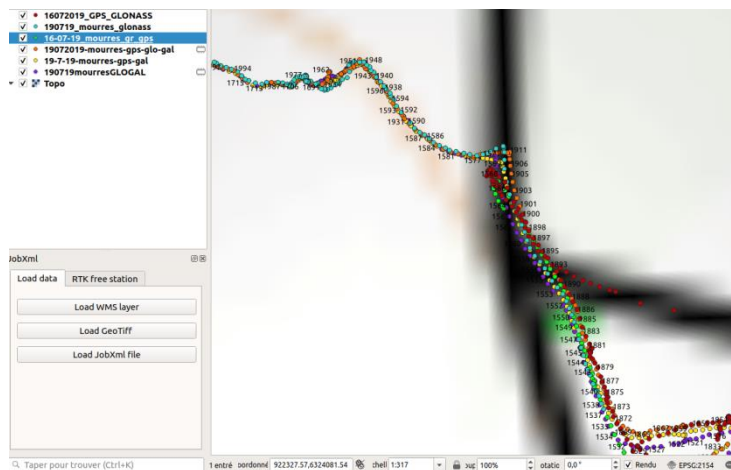
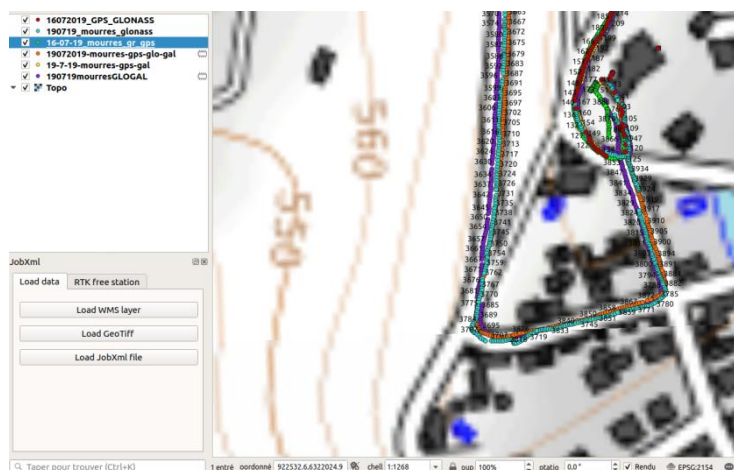


Comme nous pouvons le voir sur ces images zoomées, les écarts entre les différents tracés sont inférieurs au mètre. Ce trajet ayant été effectué plusieurs fois de manière indépendante, nous avons pu nous décaler assez facilement de plus de 50 cm sans s'en rendre compte. De plus, nous ne savions pas exactement où nous devons passer : nous ne pouvons donc pas comparer précisément le tracé obtenu et le tracé effectué. Le chemin suivi ne peut pas être déterminé plus précisément que la largeur de la route, qui est largement supérieure à l'écart entre les lignes suivies.

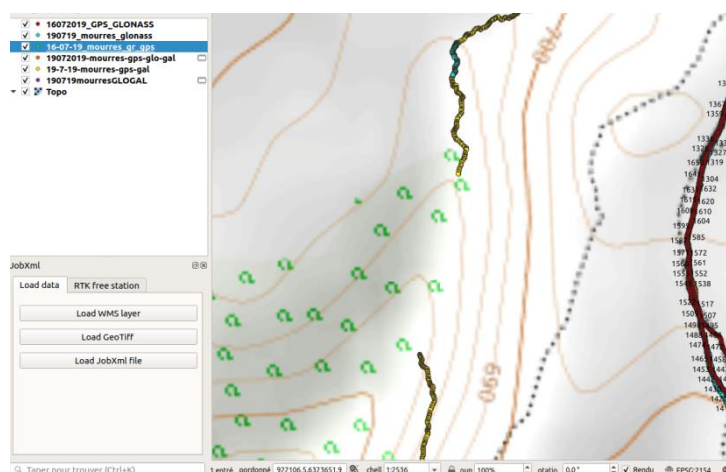
ANNEXE N°2

Les Mourres et Gorges :

Encore une fois, nous avons davantage éprouvé la robustesse que la précision des différentes constellations. Les systèmes suivent tous bien le tracé de la route :

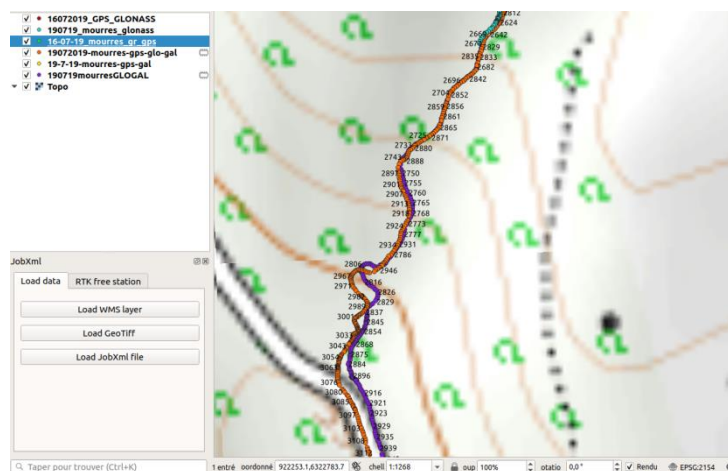


Notamment, nous avons à un moment suivi un lit de rivière asséché dans des gorges, sous les arbres et cela a été sans appel : nous avons fini tôt ou tard par perdre tous les signaux :

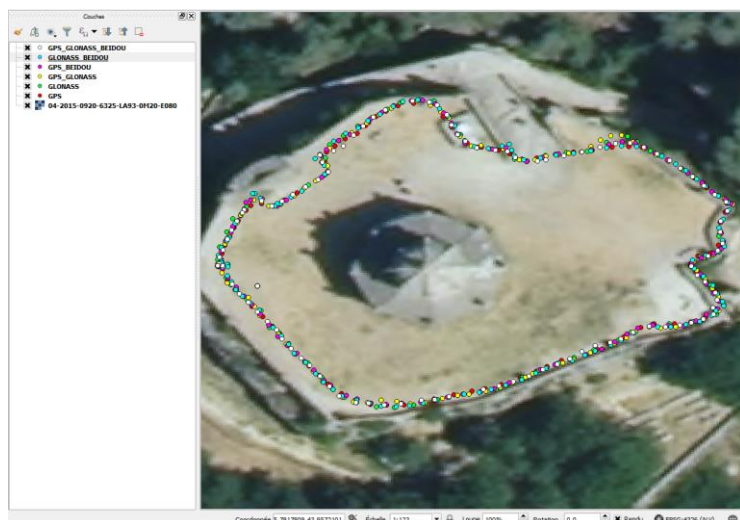


ANNEXE N°2

Cependant, même dans des zones assez dégagées nous perdions le signal de GLONASS seul :



Test citadelle 18/07/2019



BeiDou n'étant pas assez robuste pour permettre de s'éloigner de la base, nous avons décidé d'effectuer une batterie de tests en longeant la bordure de la plateforme entourant la citadelle. Nous avons donc parcouru tout le contour de la citadelle 6 fois pour traiter les différentes combinaisons de constellations (en utilisant GLONASS, BeiDou et GPS). Malheureusement, nous ne captions pas suffisamment de satellites BeiDou pour l'utiliser seul.

Les tests que nous avons faits ne sont cependant pas concluants. En effet, on remarque que souvent, les écarts entre les différentes constellations se font très peu ressentir sur des zones dégagées. De plus, des incertitudes sont rajoutées à cause du fait que le trajet a été recommencé 6 fois, et pas toujours par la même personne. On peut donc monter à des différences de trajectoire de 30cm assez facilement entre deux trajets différents. Les traces ne différant pas de plus d'une vingtaine de centimètres, on ne peut pas savoir si la différence est due aux constellations ou à l'opérateur.



ANNEXE N°4

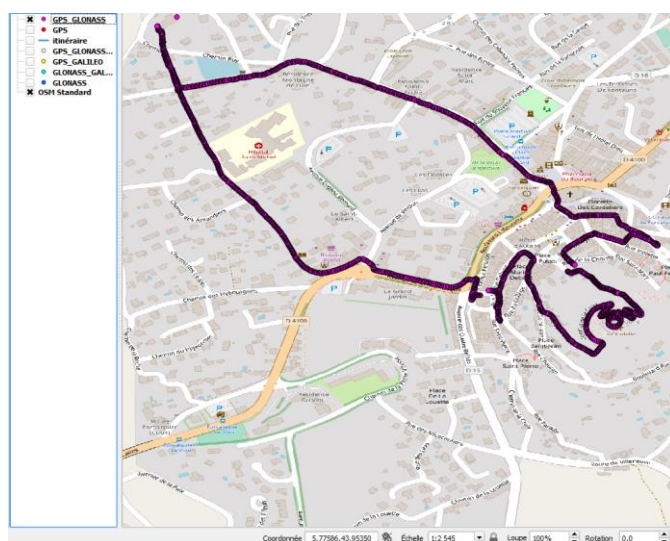
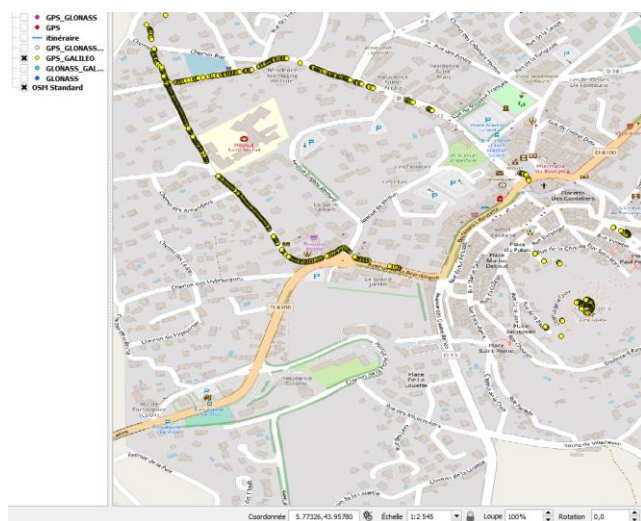
Comparaison Dynamique Galiléo-Glonass

-GALILEO + GPS

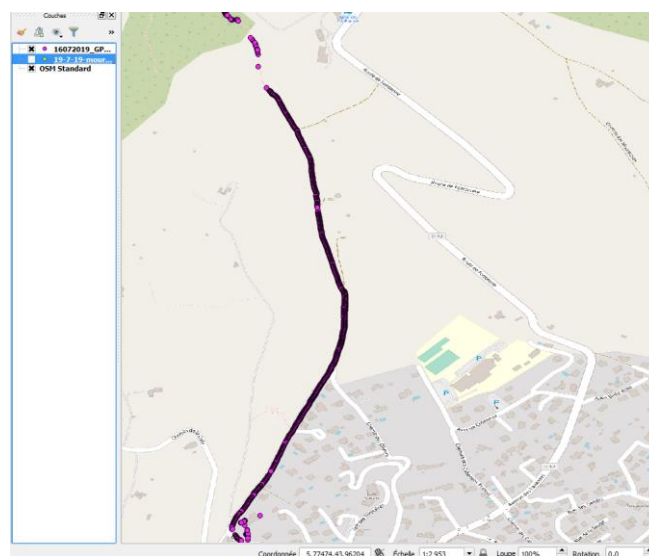
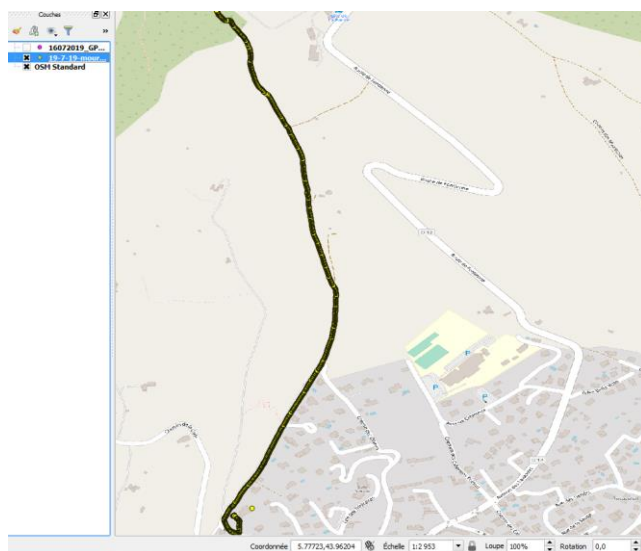
-GLONASS+GPS

Les deux constellations sont équivalentes. Si GLONASS+GPS a été plus efficace en milieu urbain, GALILEO+GPS fut légèrement plus efficace dans la nature.

Centre de Forcalquier :



Mourres :

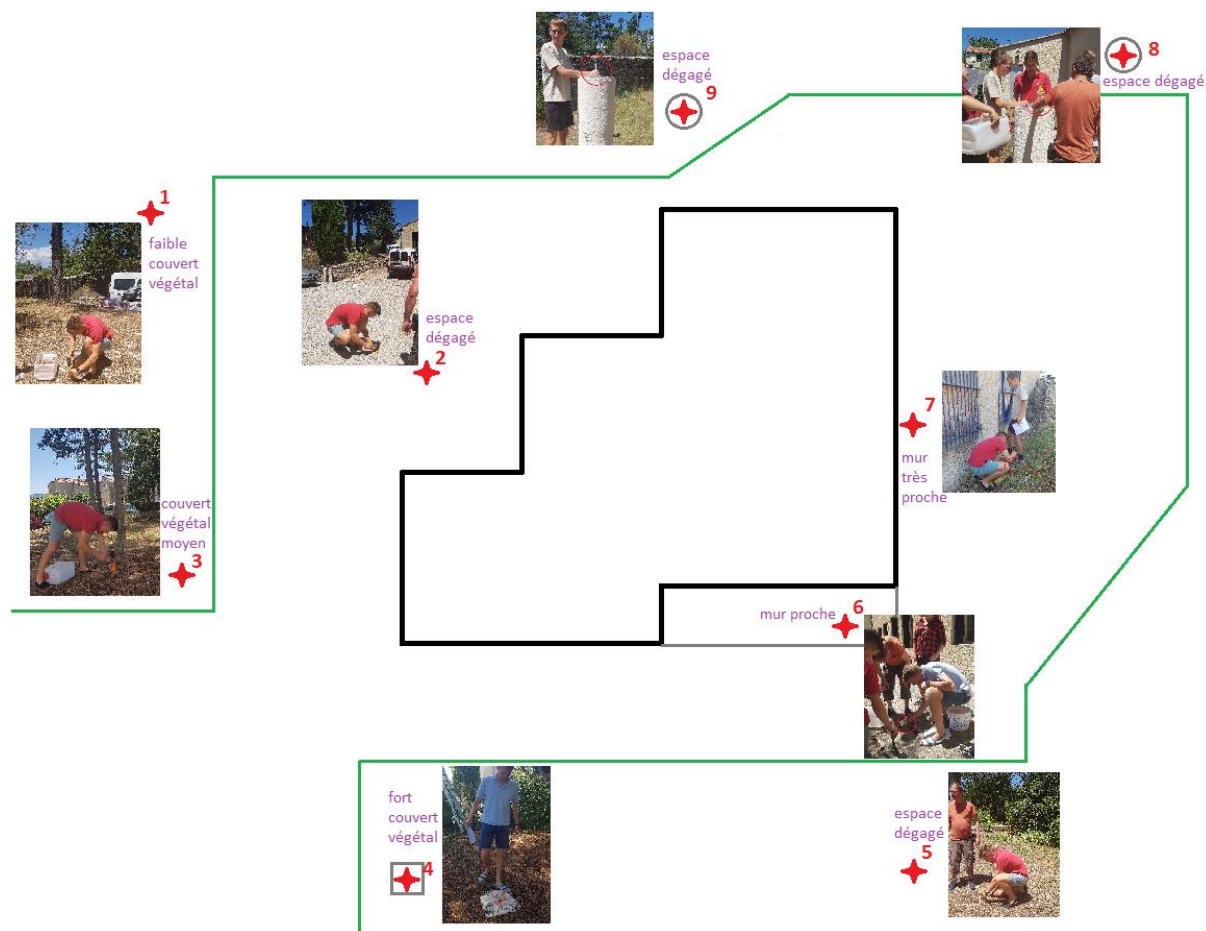


ANNEXE N°5

Présentation des tests effectués dans le centre IGN

Dans un premier temps, nous avons effectué une batterie de tests à l'intérieur du centre IGN, de manière à avoir une grande variété de masques, tout en restant au centre pour pouvoir réagir rapidement en cas de problème avec le matériel.

Nous avons placé les points selon le schéma suivant :



Les points ont été relevés deux fois chacun (sauf le 8 et le 9 que nous n'avons pas pu reprendre car un autre groupe d'élèves utilisaient déjà les points) : Une fois avec GPS, GLONASS et GALILEO (avant la panne) et une fois avec GPS, GLONASS, et BeiDou.

ANNEXE N°5

Point n°1 :

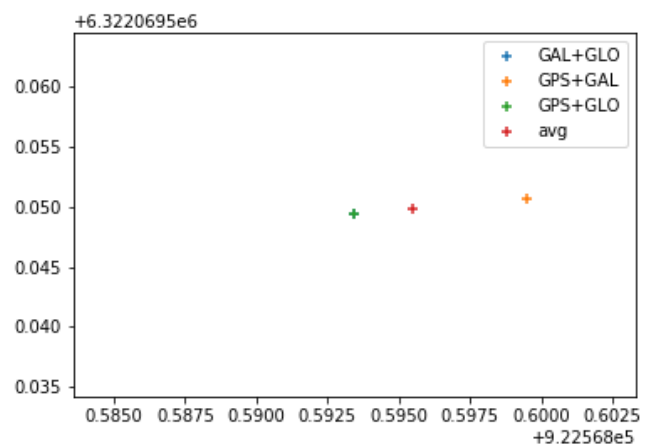
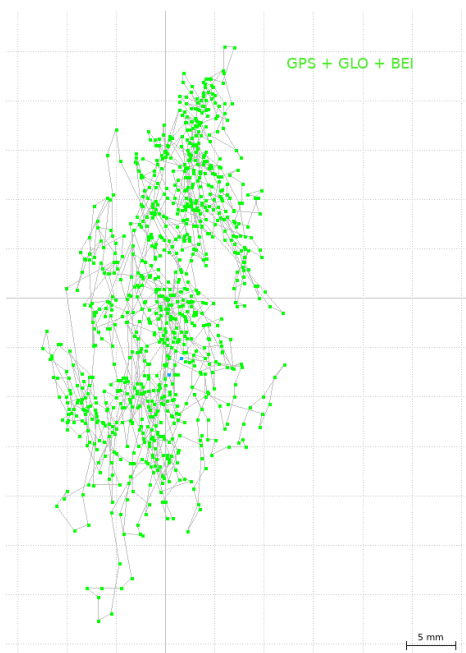
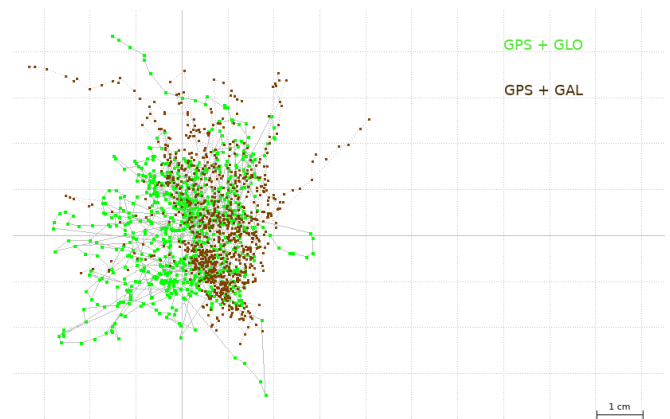
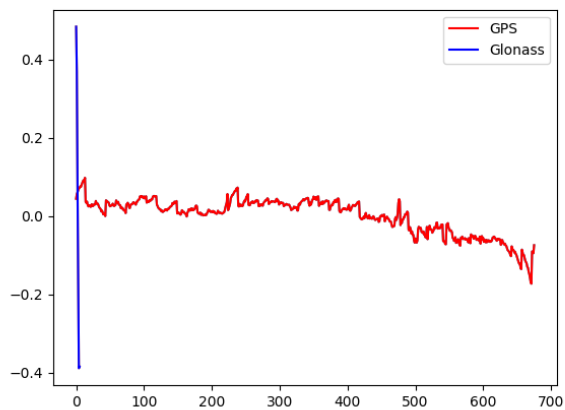
Vue des masques :



Vue globale du point :



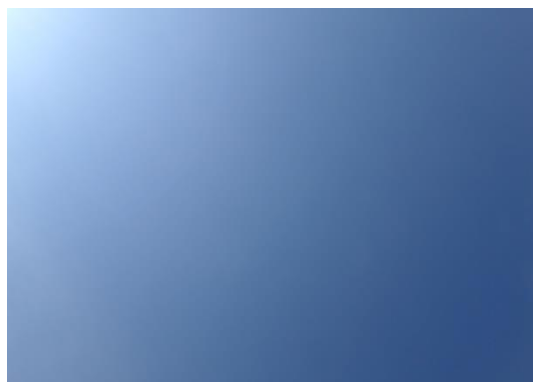
Résultats RTKLib et Python :



ANNEXE N°5

Point n°2 :

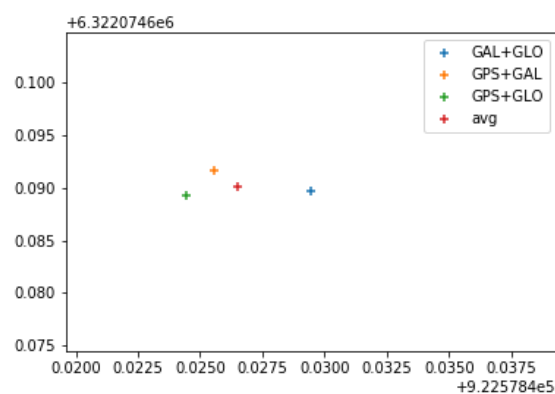
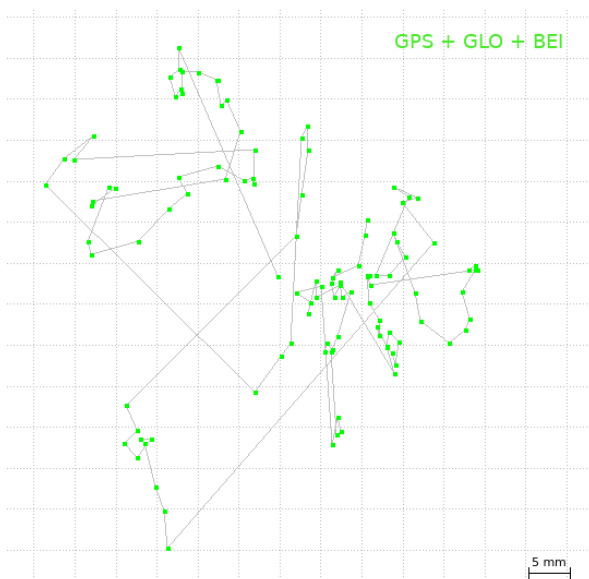
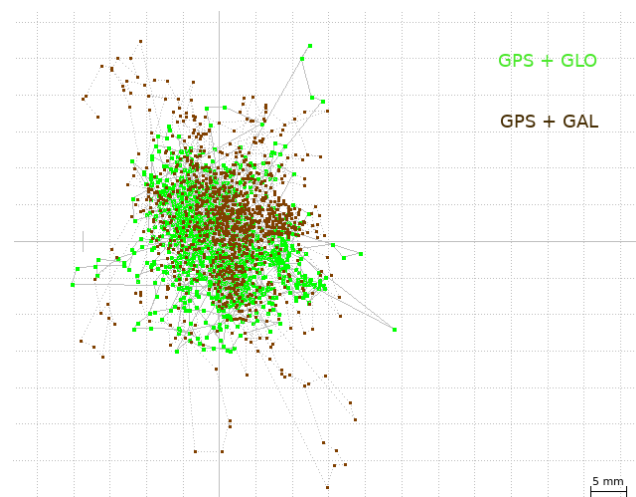
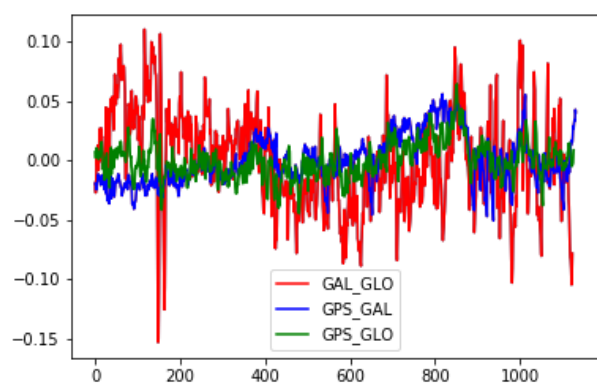
Vue des masques :



Vue globale du point :



Résultats RTKLib et Python :



ANNEXE N°5

Point n°3 :

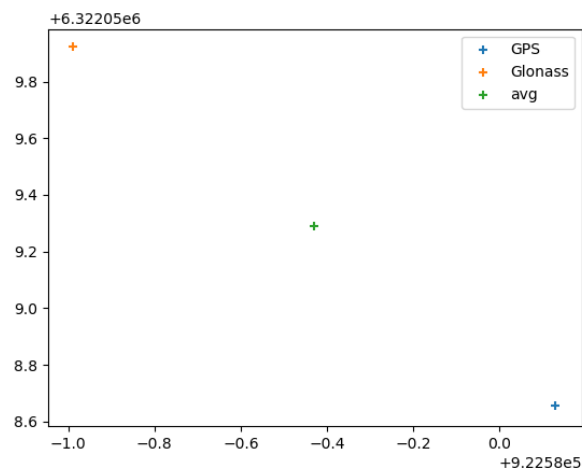
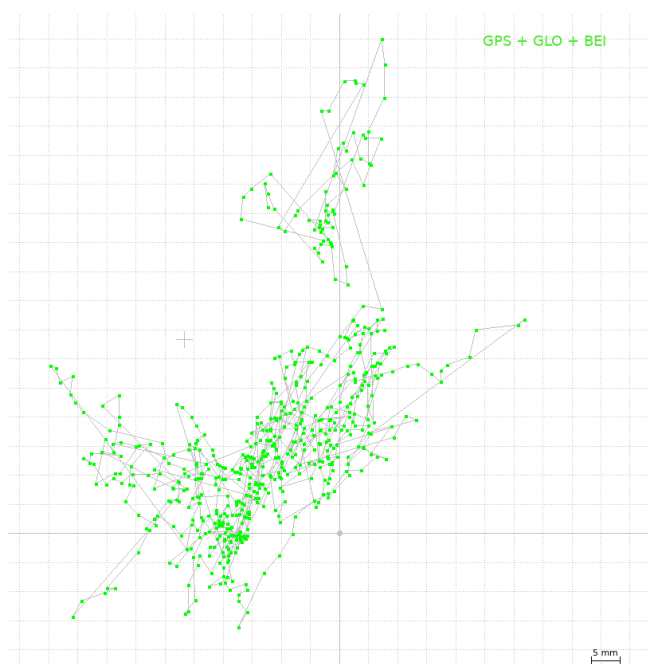
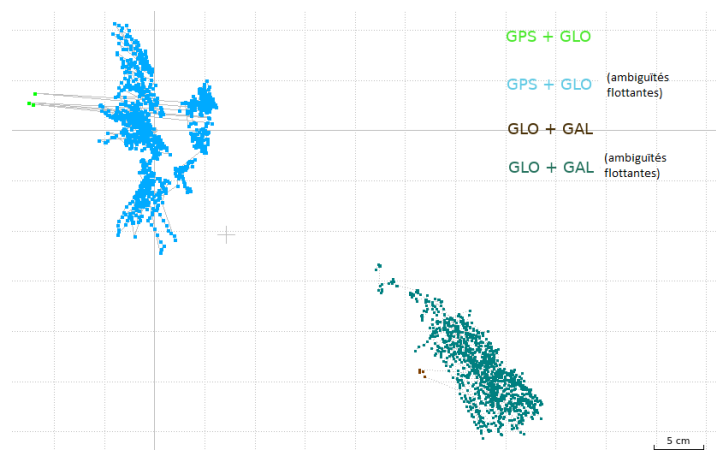
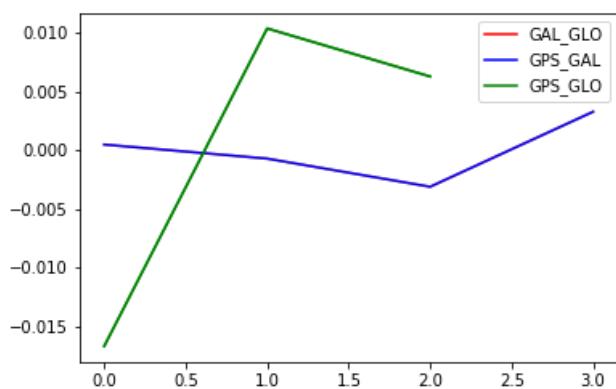
Vue des masques :



Vue globale du point :



Résultats RTKLib et Python :



ANNEXE N°5

Point n°4 :

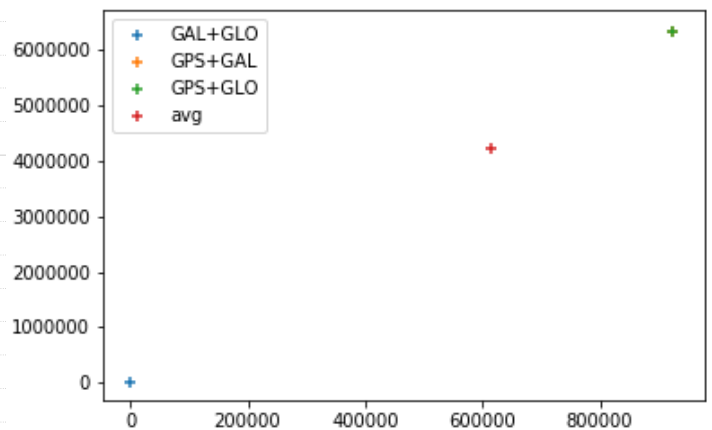
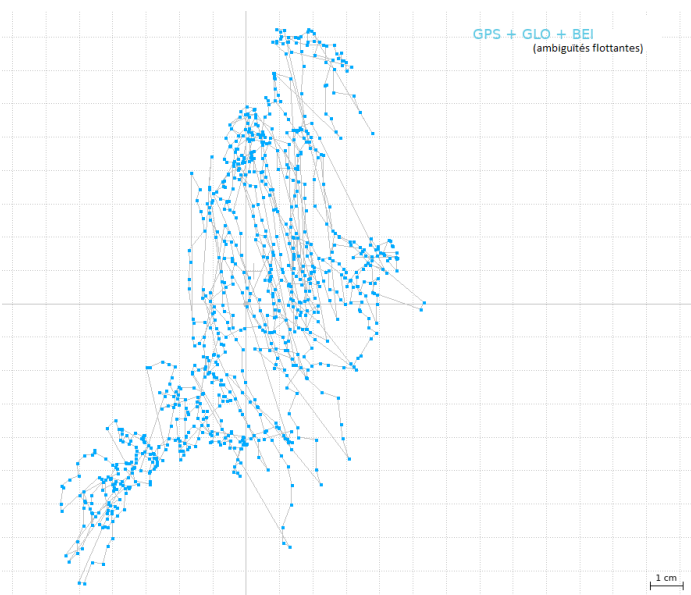
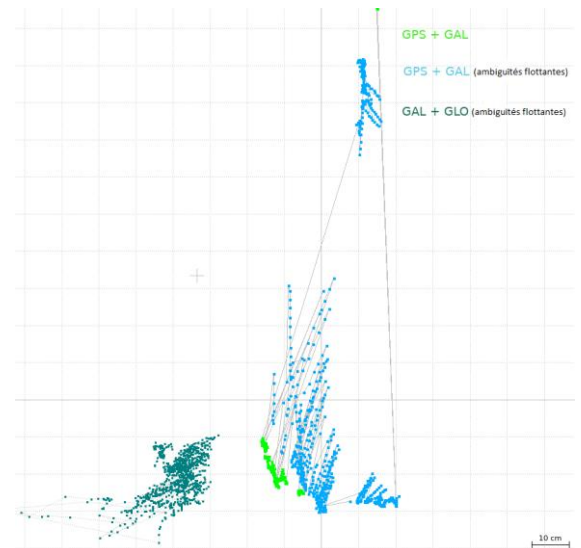
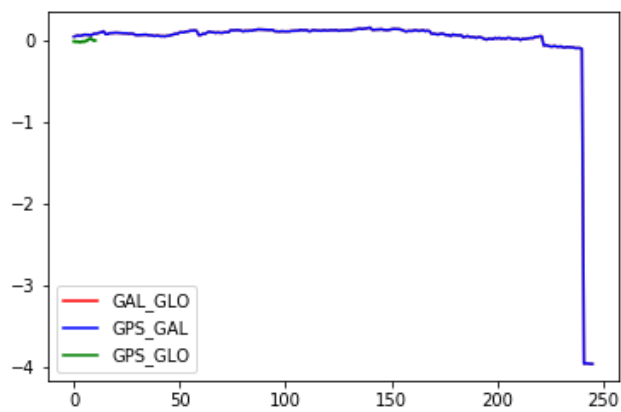
Vue des masques :



Vue globale du point :



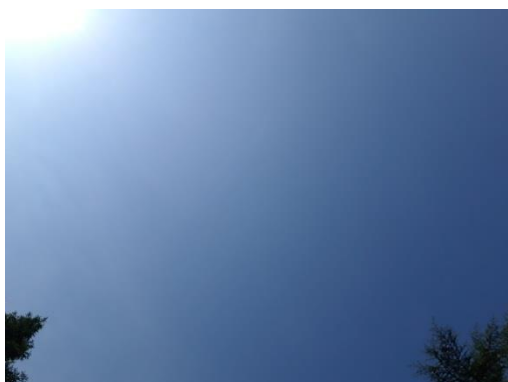
Résultats RTKLib et Python :



ANNEXE N°5

Point n°5:

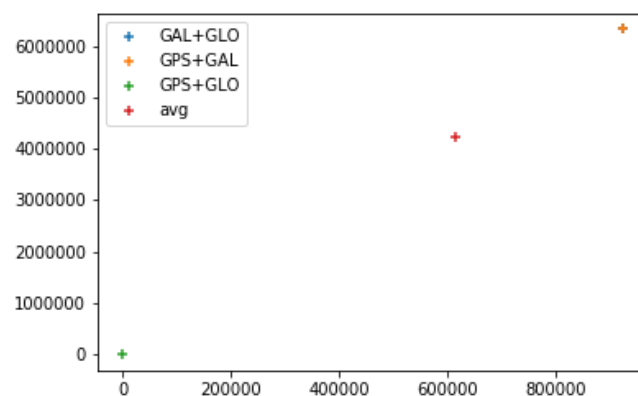
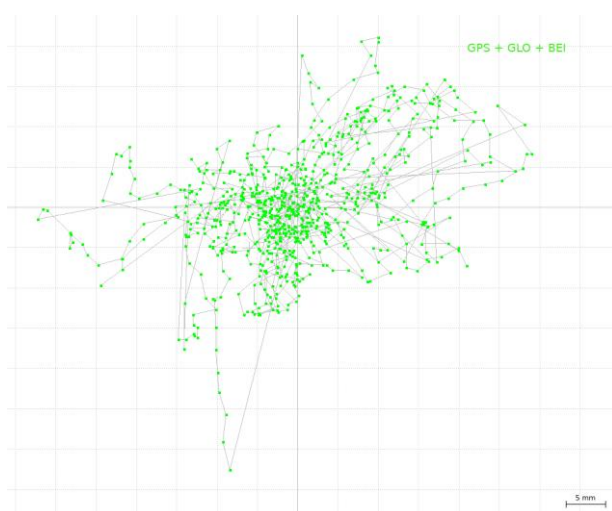
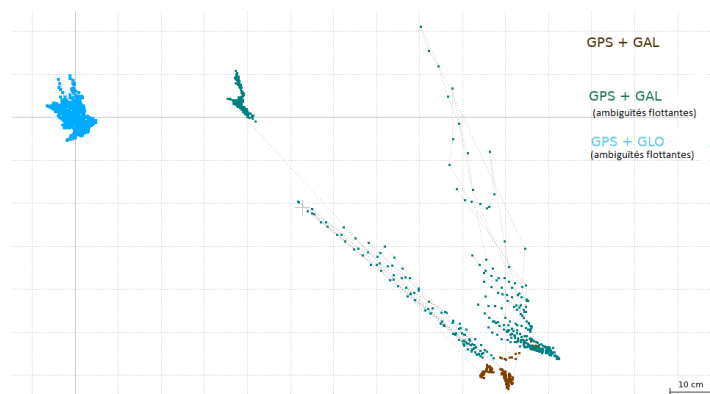
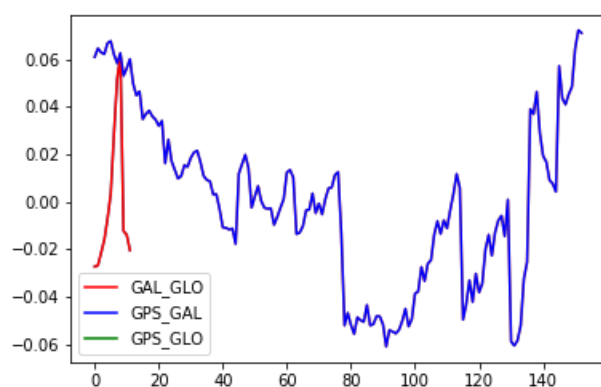
Vue des masques :



Vue globale du point :



Résultats RTKLib et Python :



ANNEXE N°5

Point n°6 :

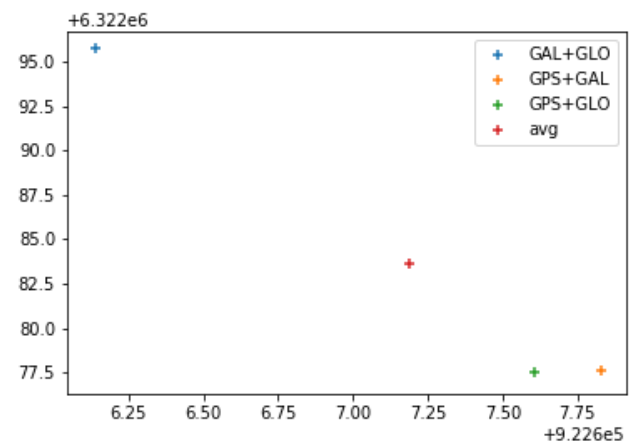
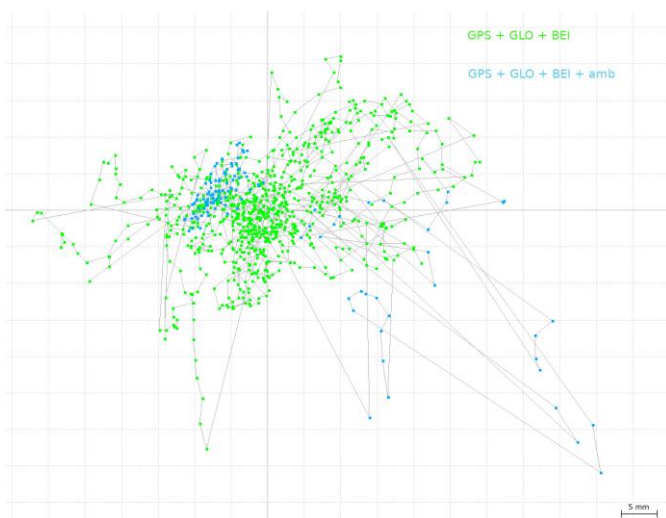
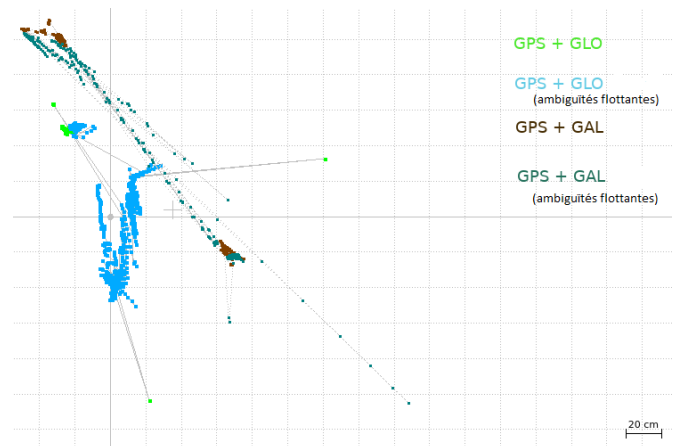
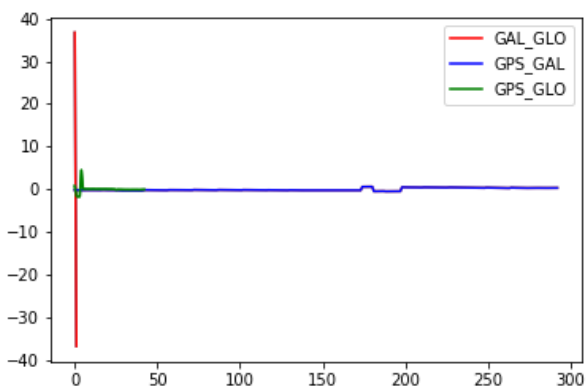
Vue des masques :



Vue globale du point :



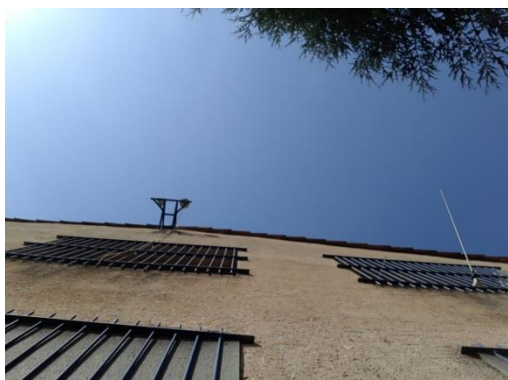
Résultats RTKLib et Python



ANNEXE N°5

Point n°7 :

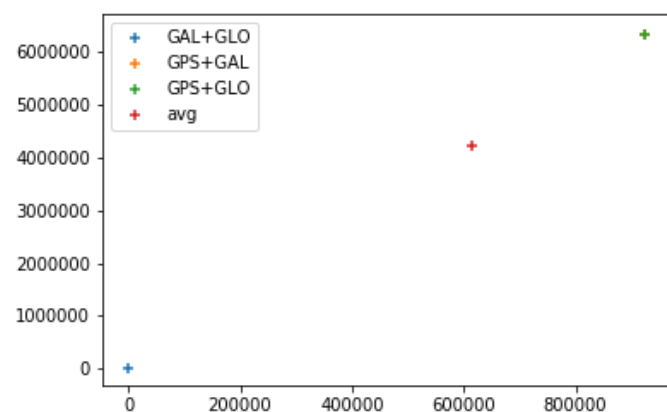
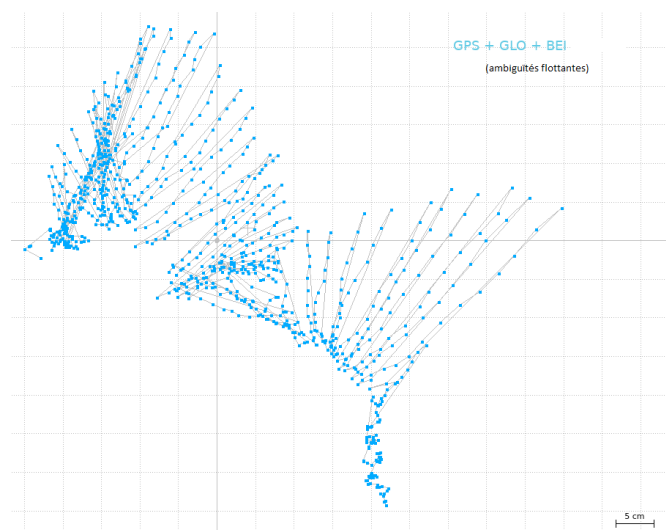
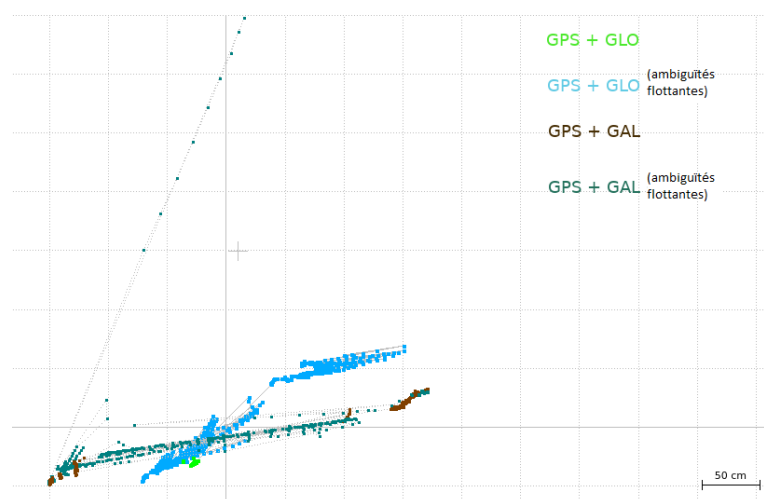
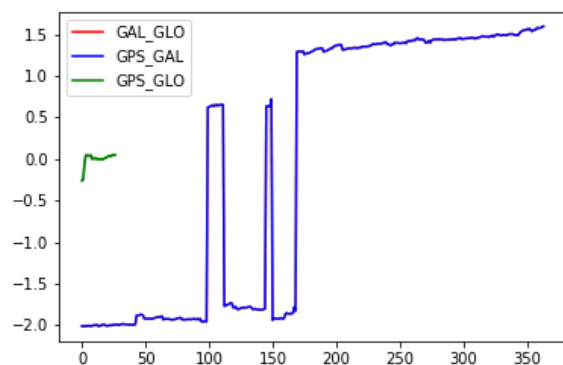
Vue des masques :



Vue globale du point :



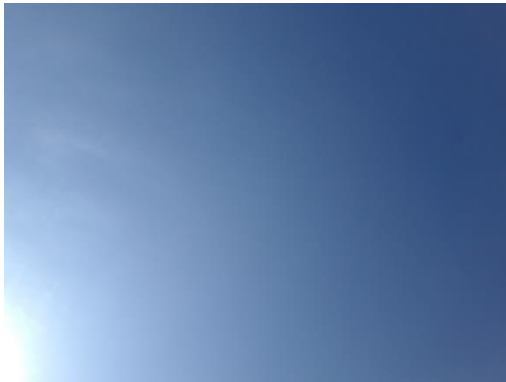
Résultats RTKLib et Python :



ANNEXE N°5

Point n°8 :

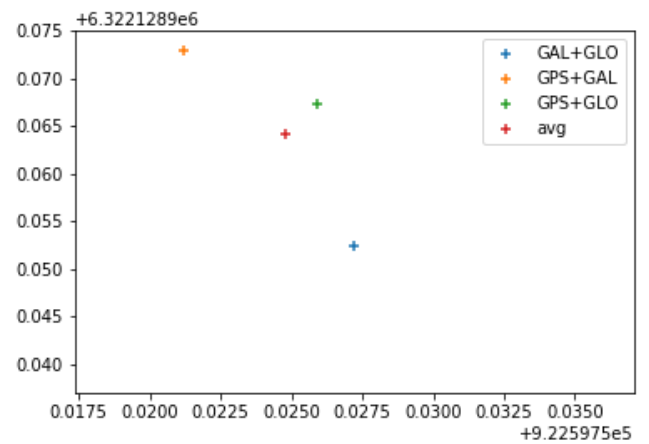
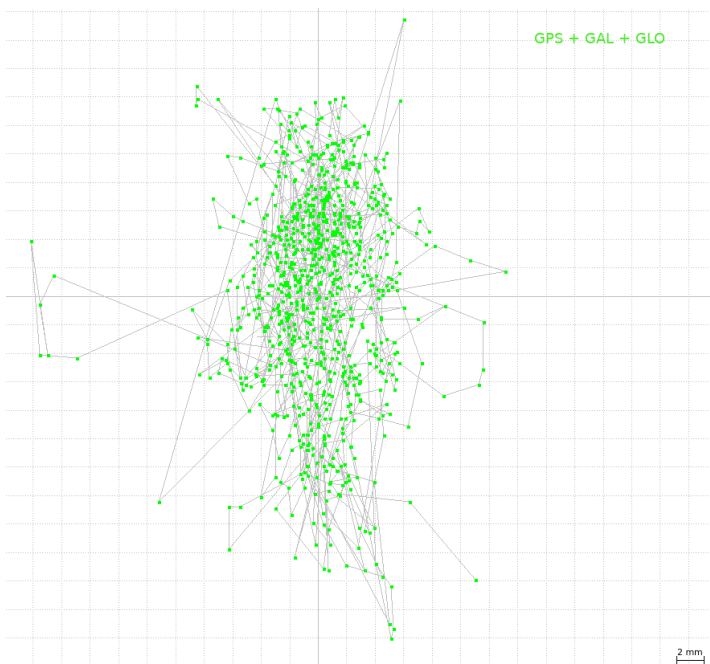
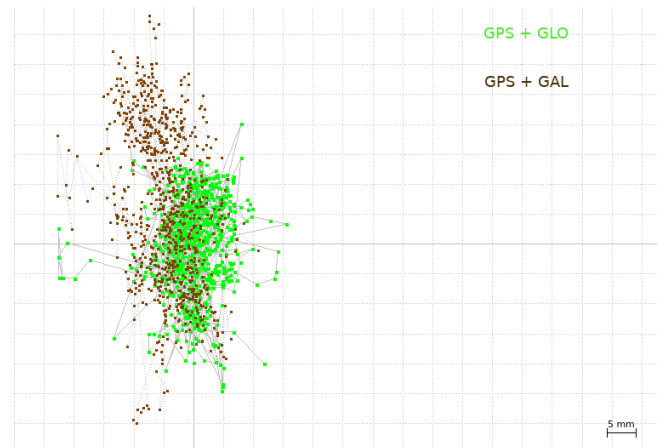
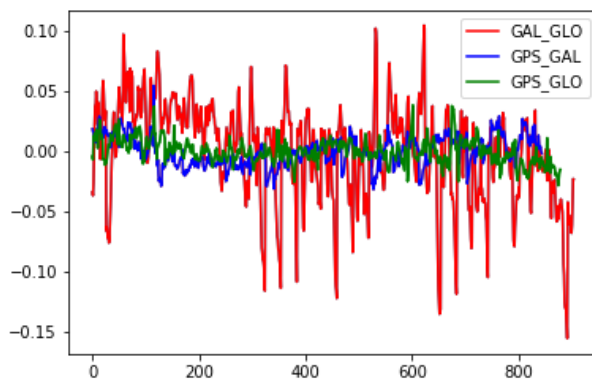
Vue des masques :



Vue globale du point :



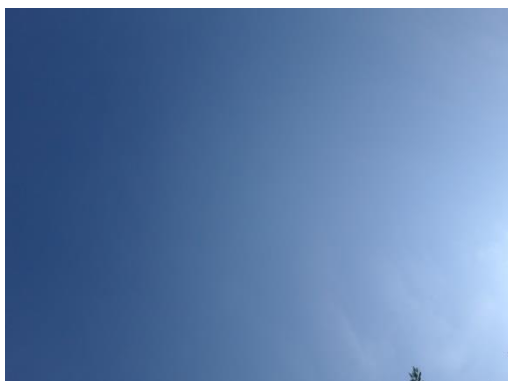
Résultats RTKLib et Python :



ANNEXE N°5

Point n°9:

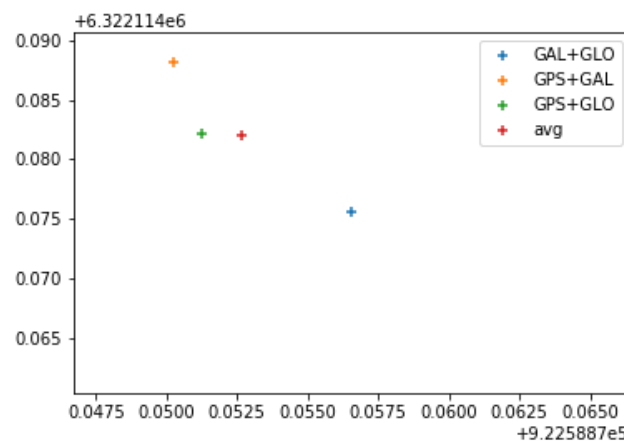
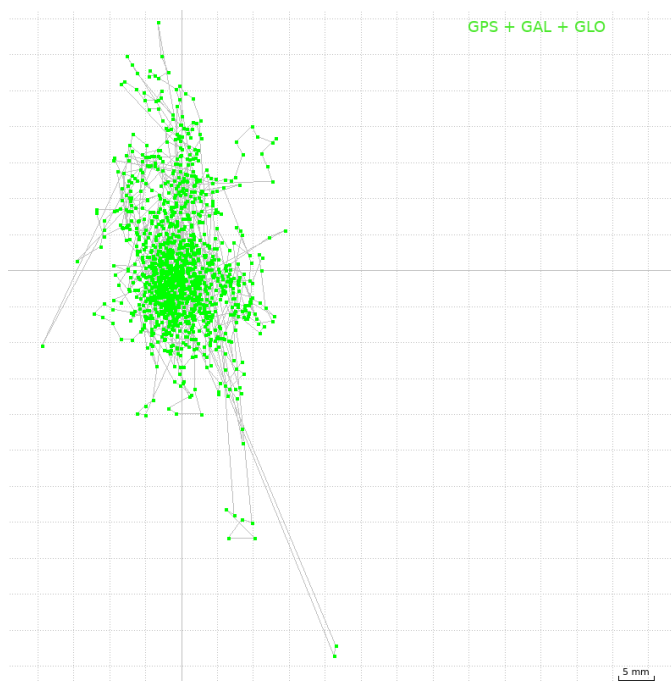
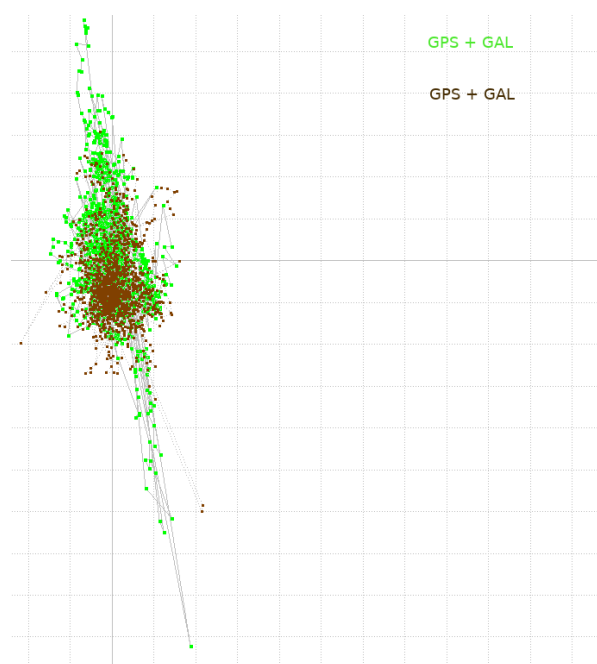
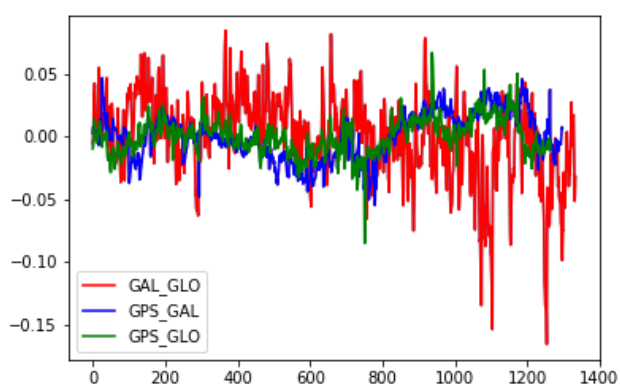
Vue des masques :



Vue globale du point :



Résultats RTKLib et Python :



ANNEXE N°6

Situation :

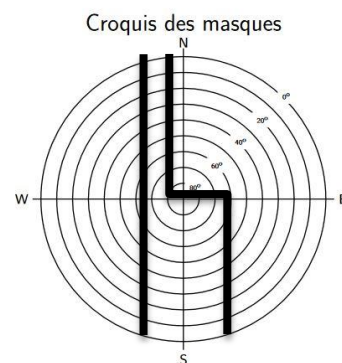
Matériel : SP80 en statique (GLONASS+GPS)

Lieu : coin place Saint-Michel (très nombreux masques)

Opérateurs : Lucie/Aurore

Nom du fichier : G0077D19.19

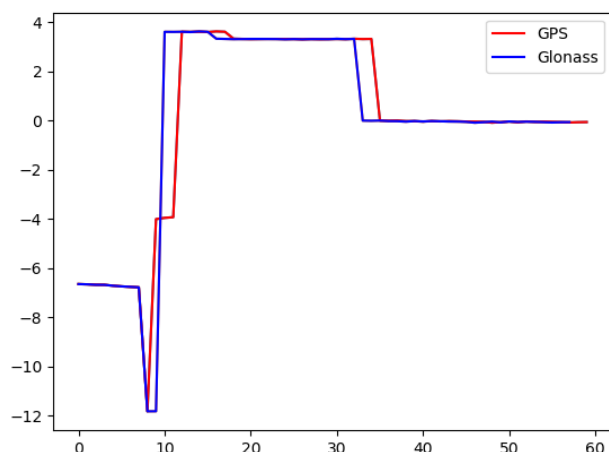
Temps d'acquisition (UTC) : de 12h14 à 13h



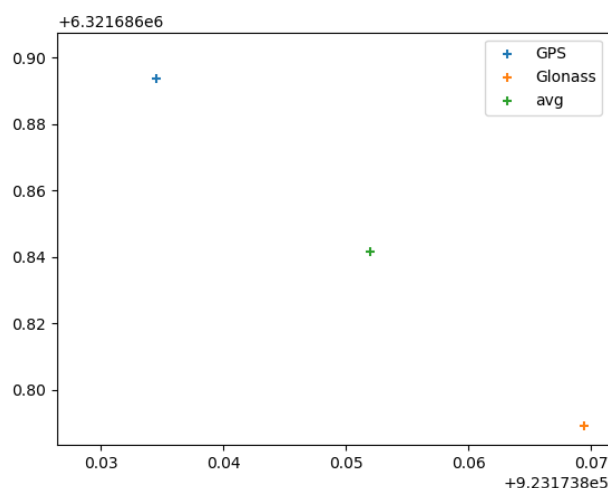
Traitement RTKLib et Python:

Etant donné les nombreux masques, les résultats sur cette acquisition sont très mauvais.

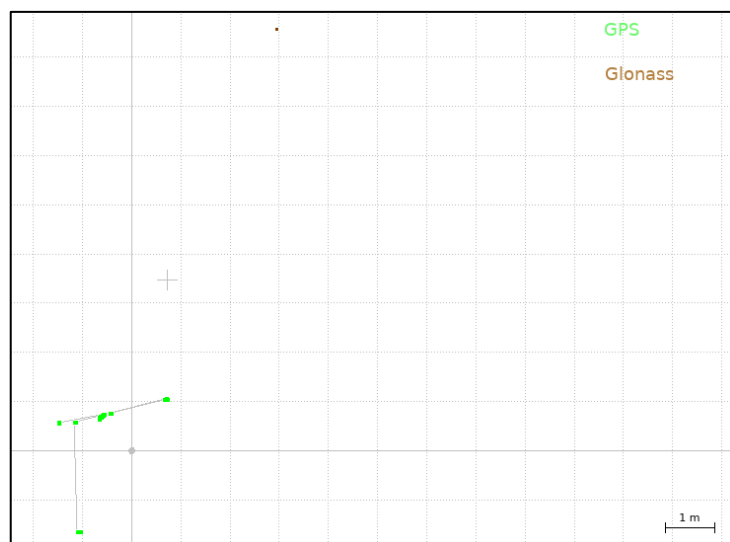
Variations d'altitudes :



Comparatif des positions planimétriques :



Graphique des positions planimétriques :



Nous observons ci-contre que la robustesse de GLONASS a été mise à rude épreuve (un seul point visible). Quant à la précision elle est mauvaise dans les deux cas car les écarts sont métriques.

ANNEXE N°7

Situation :

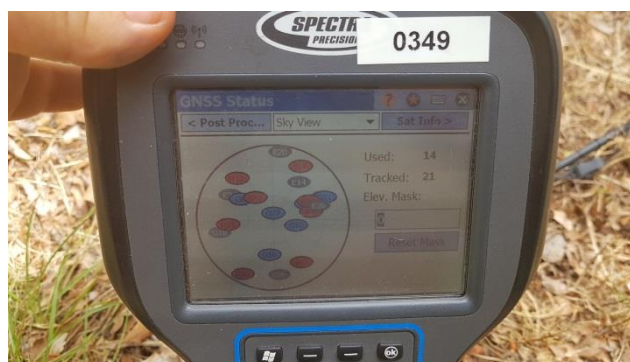
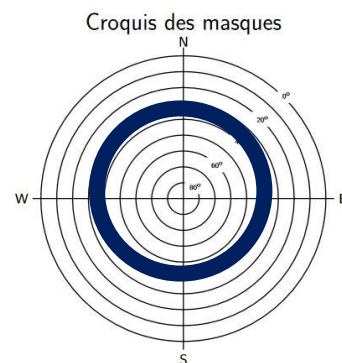
Matériel : SP80 en statique (GLONASS+GPS)

Lieu : Jas Neuf, forêt de Cruis (zone boisée)

Opérateurs : Charles/Aurore

Nom du fichier : G0349A19.192

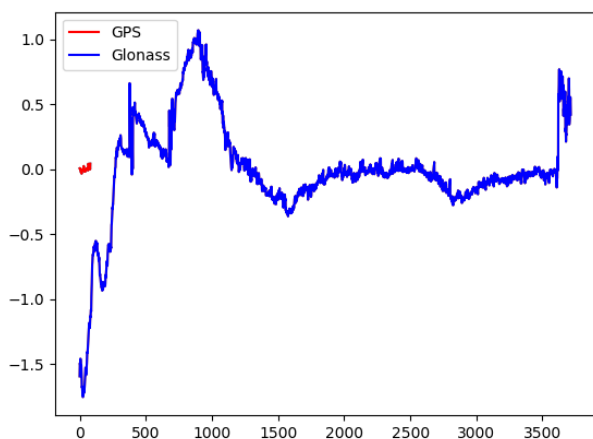
Temps d'acquisition (UTC) : de 13h12 à 14h14



Traitement RTKLib et Python :

Nous avons ici de bonnes données quand les ambiguïtés de GPS sont fixées. En revanche cela a été impossible pour GLONASS dont la robustesse a été mise à l'épreuve une fois de plus.

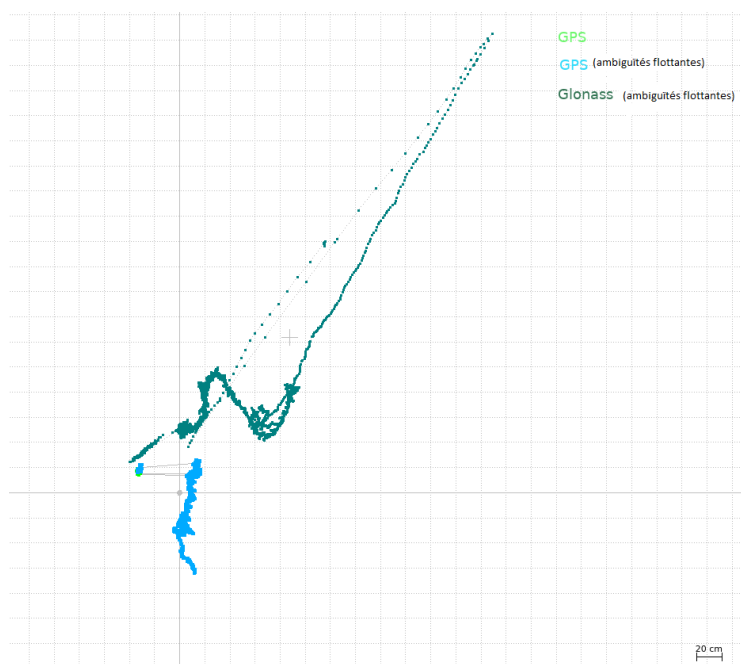
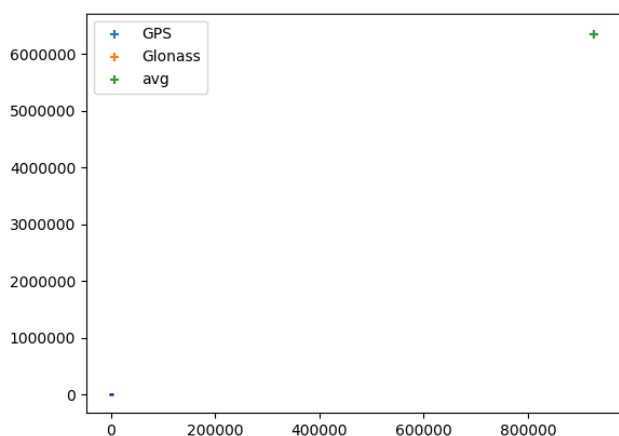
Variations d'altitudes :



Zoom sur GPS :



Position planimétrique :



ANNEXE N°8

Situation :

Matériel : SP80 en statique (GLONASS+GPS)

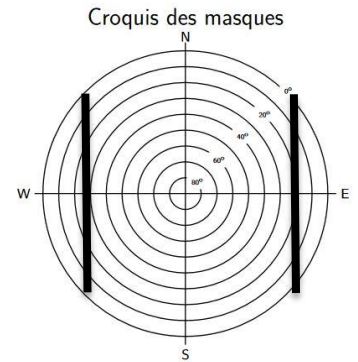
Lieu : Avenue Eugène Bernard (rue large dégagée)

Opérateurs : Lucie/Aurore

Nom du fichier : G0077C19.19

Temps d'acquisition (UTC) : de 11h13 à 12h00

NB : point connu (relevé en stage de topométrie)



ANNEXE N°8

Voici un tableau comparant les coordonnées du point relevées en stage de topométrie et celles issues des acquisitions statiques avec différents systèmes.

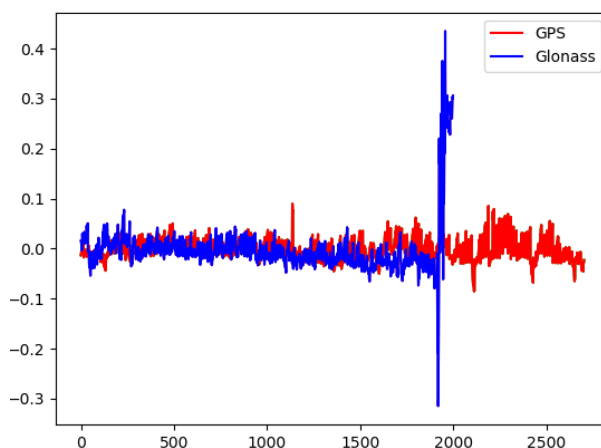
Les écarts sont décimétriques, peu importe les constellations, ce qui est tout de même élevé.

	E	N	DE/pt_topo	DN/pt_topo
Point topo connu	922913,577	6321680,96	0	0
GPS+GLONASS	922914,0918	6321681,8090425900	0,514754596	0,8490425898
GPS	922914,0853	6321681,811	0,508280695	0,85112167
GLONASS	922914,0982	6321681,807	0,521228497	0,8469635

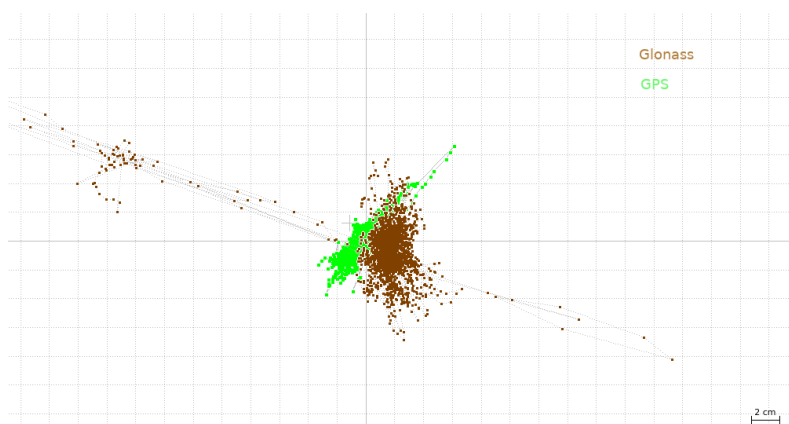
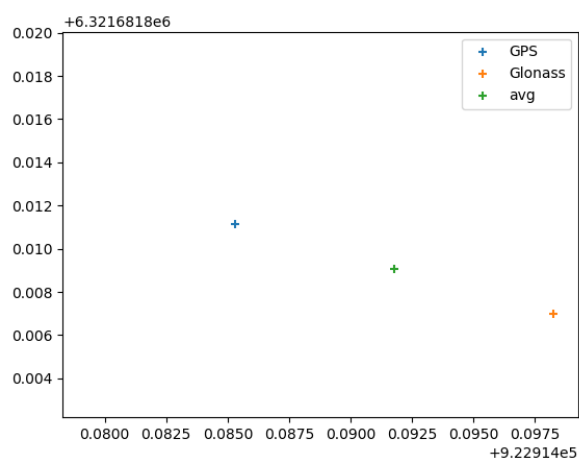
Traitement RTKLib et Python :

Ici, comme nous nous situons dans un espace dégagé, GPS comme GLONASS sont efficaces. Il y a peu d'écarts de précision, toutes deux proches entre elles et centimétriques.

Variations d'altitude :



Position planimétrique :



ANNEXE N°9

Situation :

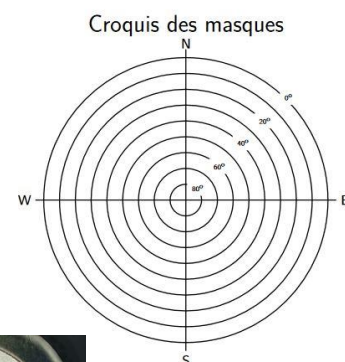
Matériel : SP80 en statique

Lieu : Site des moulins

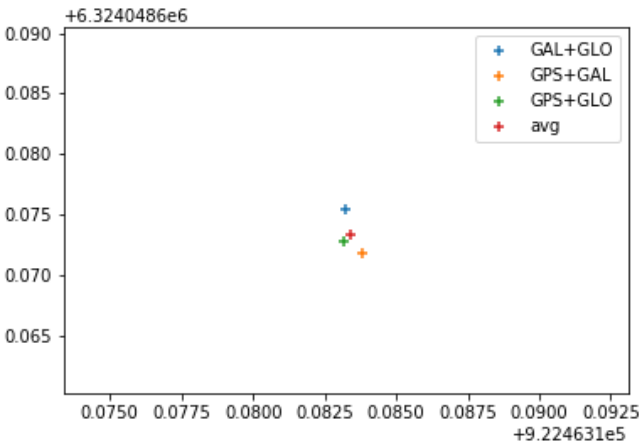
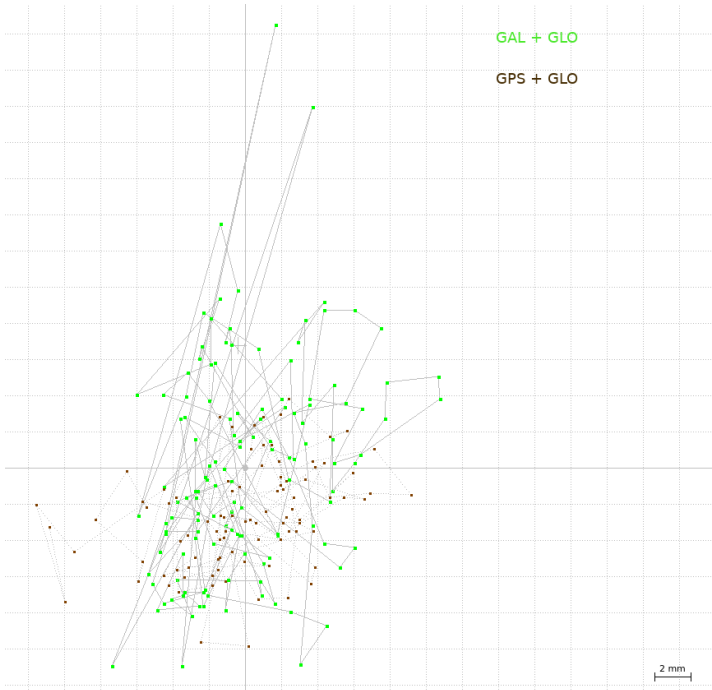
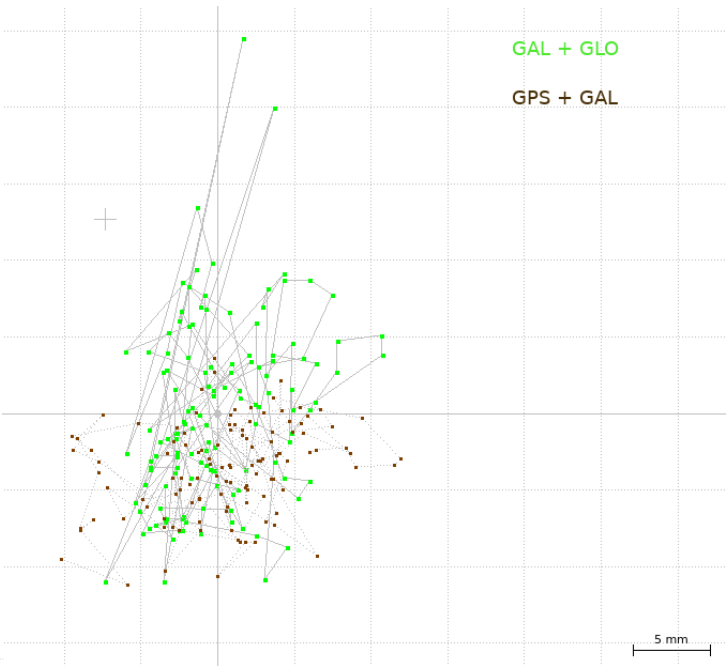
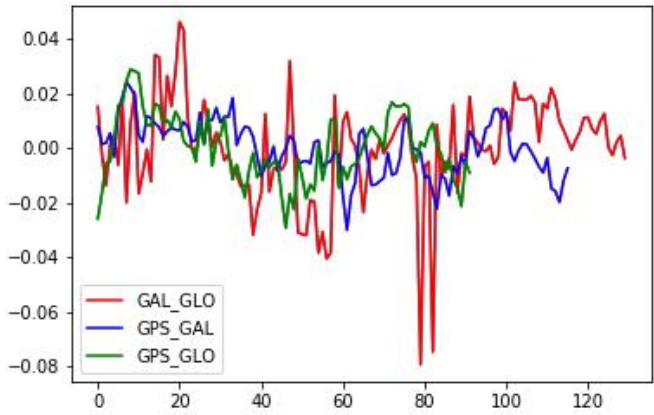
Opérateurs : Benoît/Jules

Nom du fichier : G0398A19.190

Temps d'acquisition (UTC) : de 12h26 à 13h31



Traitement RTKLib et Python:



ANNEXE N°10

Situation :

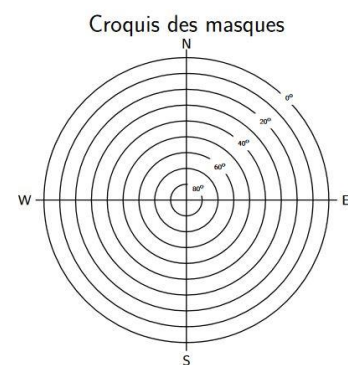
Matériel : SP80 en statique (GLONASS+GPS)

Lieu : Site des Mourres

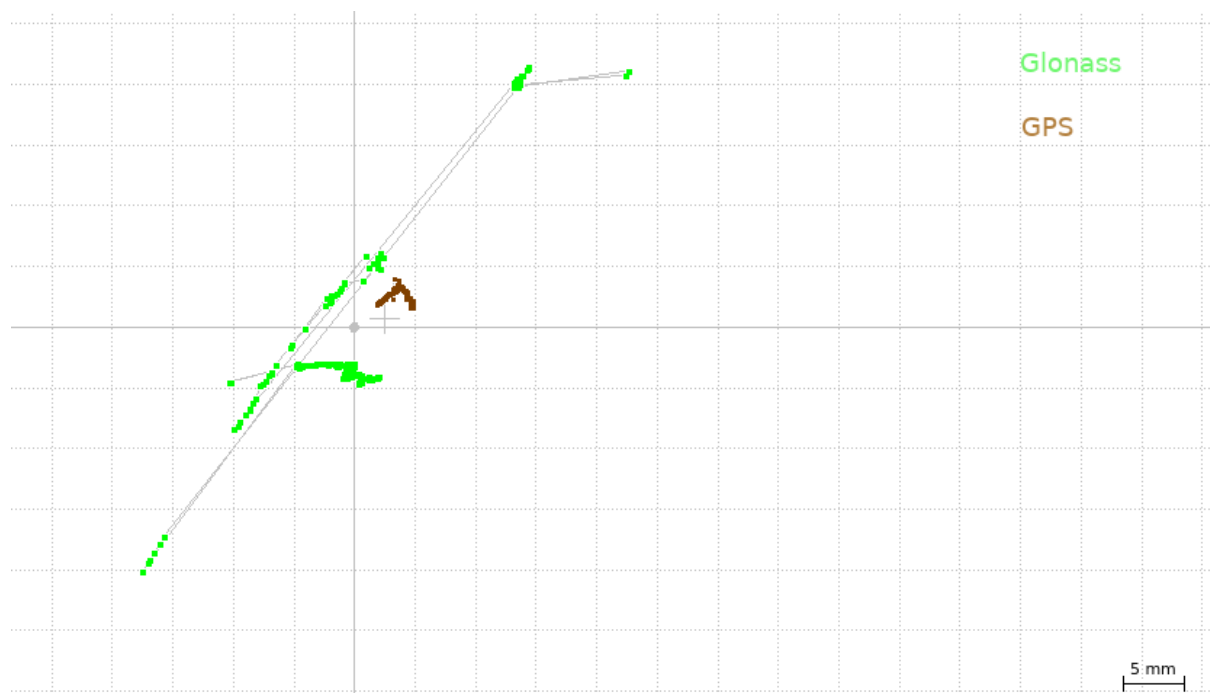
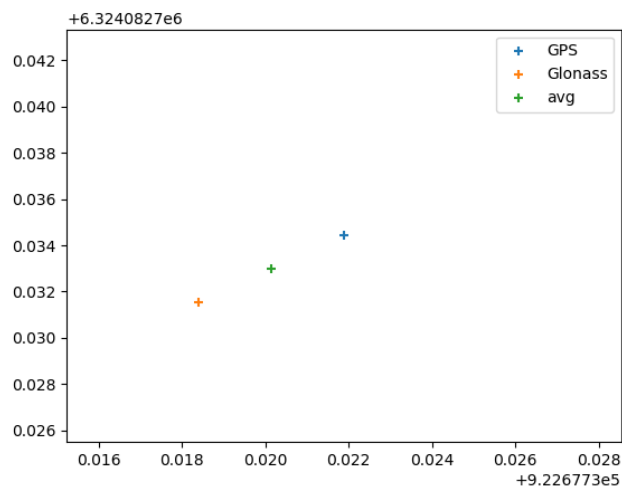
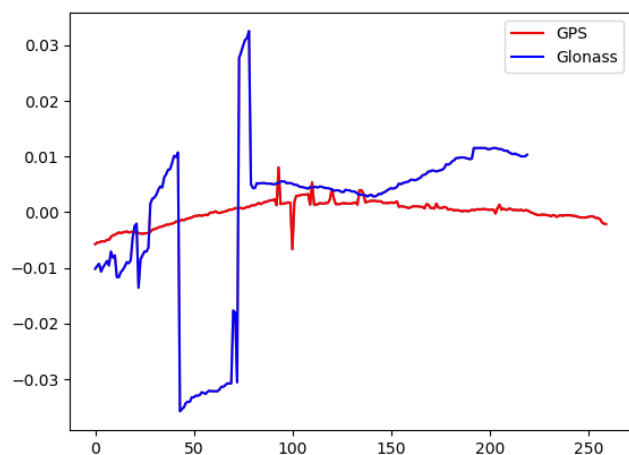
Opérateurs : Benoît/Jules

Nom du fichier : G0077B19.193

Temps d'acquisition (UTC) : de 10h51 à 11h43



Traitement RTKLib et Python:



ANNEXE N°11

Analyse dynamique dans Forcalquier

Nous avons décidés de tester la précision et la robustesse sur plusieurs types de constellations. Un récepteur GNSS était chargé de capter Galileo et Glonass (en cyan), et l'autre récepteur captait GPS, Galileo, Glonass et Beidou (en violet).

On remarque tout de suite que la robustesse générale du deuxième récepteur, constitué de plusieurs constellations, est meilleure. Pour un même itinéraire, la combinaison des 4 constellations permet d'acquérir plus de points.



Cependant, quand on zoome dans Forcalquier, on se rend compte que la précision n'est pas liée à la robustesse. Cette fois, c'est le récepteur captant Galileo et Glonass qui est plus précis, mais s'il capte moins de constellations :



On voit très clairement ici que les points violets sont beaucoup moins précis, et nous font passer sur la place ! À l'inverse, les points en cyan suivent bien la route, et sont précis.

Ce constat est renforcé par sa récurrence. Dans tout Forcalquier et aux alentours, la précision du couplage Galileo/Glonass est plus précise que le couplage des 4 constellations. Voir ci-dessous quelques exemples.



Le couplage des 4 constellations indique un itinéraire qui n'existe pas.

Mais ce manque de précision n'est pas uniforme. En espace dégagé, la précision des deux systèmes est équivalente, même dans Forcalquier.



Dans certains cas, en réalité plus ou moins dégagés, la précision des deux systèmes est équivalente. Notons que le couplage Galileo/Glonass reste tout le temps précis et fidèle à l'itinéraire.

Pour conclure, le couplage Galileo/Glonass est moins robuste mais plus précis que la réunion des 4 constellations GPS, Galileo, Glonass et Beidou.

En analysant ces résultats et en les liant aux résultats des tests statiques, nous pouvons penser que Beidou, qui est le moins précis des systèmes, tire les positions vers des valeurs plus ou moins extrêmes, ce qui donne le résultat violet moins bon que le résultat cyan, malgré la présence de GPS.

NOTE SUR LE SP-80

Notre stage ne fut rendu possible que grâce à l'utilisation de GNSS. Nous avons exclusivement utilisé les SP-80 commercialisés par SPECTRA. En effet nous avons besoin de machines relativement récentes et nous n'avions pas non plus le choix car seul ce modèle était en quantité suffisante.

Pour cette raison nous pouvons en souligner des défauts qui nous ont plus ou moins handicapés pendant ce projet.

Le premier de ces défauts, celui qui nous a le plus contrarié, est l'impossibilité de travailler avec la constellation GALILEO seule ainsi que BEIDOU. Nous n'avons pas pu en post-traitement nous affranchir de ce problème.

Ensuite les fonctionnalités de l'appareil, notamment « collect feature » tendent à n'apparaître qu'aléatoirement entre les différents appareils.

Le mode « collect features » est en lui-même très peu intuitif. En effet pour faire une acquisition de points fix et float sans interruption il a fallu tâtonner pour finalement lancer une acquisition sans que la machine ne nous signale un float. D'ailleurs une option permettant de couper le son serait la bienvenue lorsque nous partons en acquisition pendant 4h à pieds.

Quant à la radio (émetteur ou récepteur) elle ne permet pas de s'éloigner suffisamment de la base lorsque celle-ci est un SP-80 et que le récepteur en est un aussi.

Références

<https://www.gsa.europa.eu/newsroom/news/GALILEO-initial-service-recovery-actions-underway>

Podcast sur verySpatial.com : épisode 622 (July 17th 2019) : about the important of GNSS : <https://veryspatial.com/2019/07/a-veryspatial-podcast-episode-622/>

<https://decryptageo.fr/et-si-le-gps-ne-marchait-plus-combien-ca-couterait/>

<https://www.geoportail.gouv.fr/>

<ftp://tychobrahe2018forca>

<ftp://igs.ensg.eu>

<ftp://rgpdata.ign.fr>

<https://rgp.ign.fr>

<https://www.gsa.europa.eu/>

<https://www.esa.int/>