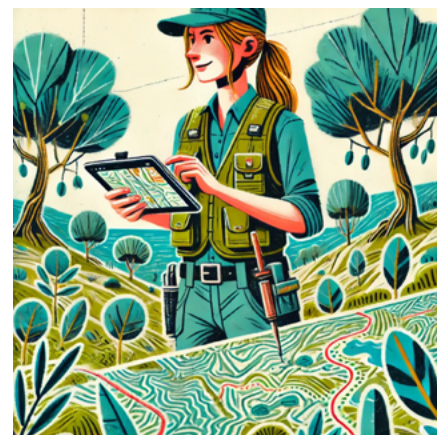




Guide des termes de Géopositionnement

Table des Matières

Guide des Termes Clés en Géo-Positionnement		4
Présentation	4	
Systèmes de Positionnement par Satellite (GNSS)		4
Équipements de Réception GNSS		5
Méthodes de Correction GNSS		6
Processus de Transformation des Signaux GNSS en Position		7
Indicateurs de Qualité des Mesures GNSS	8	
Mock Providers et connexion GNSS	8	
Erreurs et Limitations GNSS	9	
Différence entre code et phase pour un gps?		10
EGNOS et le Différentiel de Code		10
• Points Clés	10	
Vélocité	10	
Datums et Référentiels		11
Origine des Biais Observés		11
• Explication Technique	11	
• Solutions	11	
Versions de wgs 84.		11
• Principales Révisions de WGS 84	12	
• Impact des Versions sur les Biais	12	
• Pourquoi c'est important ?	12	
Types de messages en sortie		12
NMEA, RTCM, ou des formats propriétaires selon les fabricants.	12	
Principaux messages:	12	
1. Messages NMEA 0183 (Norme standard, utilisée par de nombreux logiciels et équipements)	12	
2. Messages RTCM (Utilisés pour la correction différentielle RTK)	12	
3. Messages propriétaires (spécifiques aux fabricants comme Trimble, Leica, Topcon, Septentrio, Unicore...)	12	
4. Messages HAS (High Accuracy Service, Galileo)	13	
Le PPK, ou «Post-Processed Kinematic» (Cinématique Post-Traitée en français)		13
Tableau comparatif :	14	
Caractéristique	14	
Post-traitement traditionnel	14	
PPK (Post-Processed Kinematic)	14	

En résumé :	15	
PPP (Precise Point Positioning)		15
et RTK (Real-Time Kinematic)		15
Applications adaptées	16	
Apports d'une IMU dans le positionnement		17
Guide de Contrôle Qualité des Points GNSS		19

Guide des Termes Clés en Géo-Positionnement

Présentation

Ce guide a pour objectif de clarifier et d'expliquer les termes essentiels liés aux technologies de géo-positionnement. Il s'adresse aux professionnels, aux étudiants et aux passionnés souhaitant mieux comprendre les systèmes GNSS, les équipements de réception, les méthodes de correction, ainsi que les différents facteurs influençant la précision des relevés. Vous y trouverez des explications sur les concepts fondamentaux, les outils utilisés et les bonnes pratiques pour optimiser la qualité des mesures.

Systèmes de Positionnement par Satellite (GNSS)



1.1 GNSS (Global Navigation Satellite System)

Systèmes de satellites utilisés pour la navigation et la localisation. Inclut le GPS (USA), Galileo (UE), GLONASS (Russie) et BeiDou (Chine).

1.2 GPS (Global Positioning System)

Système GNSS américain, souvent utilisé à tort comme synonyme de GNSS.

1.3 Glonass

Système GNSS Russe

1.4 Beidou

Système GNSS Chinois

1.5 Galileo

Système GNSS Européen

1.6 Multi Constellation

Utilisation simultanée de plusieurs constellations GNSS (GPS, Galileo, GLONASS, BeiDou) pour améliorer la précision et la fiabilité.

1.7 Multi-fréquence

Réception de plusieurs fréquences émises par les satellites, permettant de mieux compenser les erreurs ionosphériques et d'améliorer la précision.

Équipements de Réception GNSS



2.1 Antenne GNSS

Dispositif de réception des signaux satellites. Sa qualité et son positionnement influencent la précision des mesures.

2.2 Récepteur GNSS

Appareil qui traite les signaux satellites pour calculer des positions géographiques.

2.3 **IMU** (Inertial Measurement Unit)

Capteur mesurant les accélérations et rotations, souvent combiné au GNSS pour améliorer la précision et la continuité du positionnement.

2.4 Télémètre Laser

Dispositif mesurant des distances précises, complémentaire au GNSS dans certaines applications topographiques.

2.5 Rover

Récepteur GNSS mobile utilisant les corrections d'une base RTK pour obtenir une précision centimétrique.

2.6 Base RTK

Station GNSS fixe diffusant des corrections pour améliorer la précision des récepteurs mobiles.

Avec Galilée...



Méthodes de Correction GNSS

3.1 Corrections en Temps Réel



RTK (Real-Time Kinematic) : Technique de correction différentielle permettant d'obtenir une précision centimétrique en temps réel grâce à des bases fixes et des corrections transmises par radio ou Internet. Précision : 1 à 2 cm.

NTRIP (Networked Transport of RTCM via Internet Protocol) : Protocole de transmission des corrections différentielles via Internet, utilisé dans les réseaux RTK. Précision : 1 à 2 cm (équivalent RTK).

SBAS (Satellite-Based Augmentation System) : Corrections diffusées par satellite (ex : EGNOS en Europe, WAAS aux USA). Précision : ≤ 1 mètre.

HAS (High Accuracy Service) : Service de correction offert par Galileo permettant d'améliorer la précision des positions GNSS sans infrastructure locale. Le HAS est une forme de PPP (Precise Point Positioning) en temps réel. Précision : 20 à 30 cm et moins.

3.2 Corrections Post-traitées

PPK (Post-Processed Kinematic) : Corrections appliquées après acquisition des données pour obtenir des résultats très précis. Précision : 1 à 2 cm.

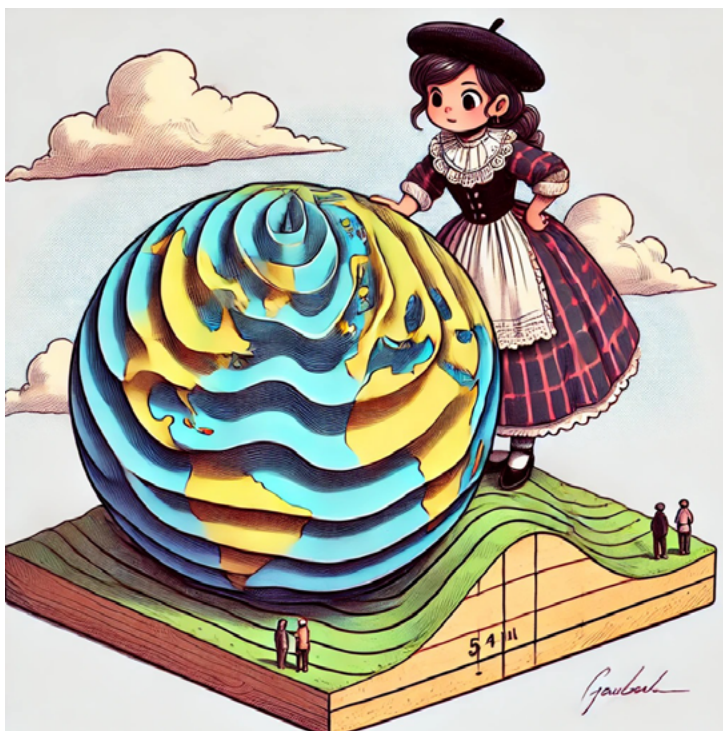
PPP (Precise Point Positioning) : Méthode de correction utilisant des données précises d'horloge et d'orbite sans besoin de base locale. Précision : 10 cm à quelques décimètres.

Processus de Transformation des Signaux GNSS en Position

4.0 Code et phase

La mesure par code compare le code transmis par le satellite avec celui généré par le récepteur. Le décalage entre les deux permet d'estimer la distance.

Les satellites transmettent également une onde porteuse très stable. Le récepteur peut mesurer la phase de cette onde. La longueur d'onde étant très petite (quelques centimètres), la mesure devient beaucoup



plus précise.

Les mesures par code permettent d'obtenir rapidement une position approximative, tandis que les mesures par phase permettent d'atteindre une précision centimétrique lorsque les ambiguïtés de phase sont résolues.

4.1 De la réception à la position: Les systèmes GNSS permettent de déterminer une position sur Terre à partir des signaux radio émis par des satellites. En mesurant le temps que mettent ces signaux à atteindre le récepteur, celui-ci peut estimer sa distance à plusieurs satellites et calculer sa position géographique.

Ce calcul de position repose sur un principe appelé trilatération, qui consiste à déterminer un point à partir de sa distance à plusieurs satellites.

4.1 Géoïde

Modèle de la forme de la Terre servant de référence pour les mesures altimétriques. Un géoïde est une surface équipotentielle du champ de gravité de la Terre, utilisée comme référence pour les altitudes. Les modèles de géoïdes (par exemple, EGM96, EGM2008) permettent de convertir les hauteurs ellipsoïdales (mesurées par GNSS) en hauteurs orthométriques (altitudes).

4.2 Grille altimétrique (Ex : RGF93/RA20)

Modèle numérique servant à ajuster les altitudes selon les variations locales du géoïde.

4.3 Projections Cartographiques

Les projections cartographiques sont des méthodes pour représenter la surface courbe de la Terre sur un plan. Les projections courantes incluent :

UTM (Universal Transverse Mercator); Lambert (pour les régions de taille moyenne); Mercator (pour la navigation maritime)

Transformation des coordonnées sphériques en coordonnées planes (ex : Lambert 93, UTM).

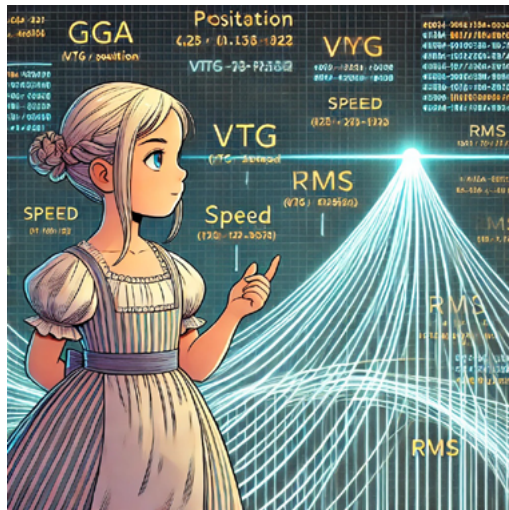
4.4 Systèmes de Références Géodésiques

Modèles mathématiques définissant la forme de la Terre pour positionner précisément des points.

Indicateurs de Qualité des Mesures GNSS

5.1 **NMEA** (National Marine Electronics Association)

Format standard de données pour les équipements GNSS.



5.2 **DOP** (Dilution of Precision)

Indicateur de la qualité de la géométrie des satellites.

5.3 **RMS** (Root Mean Square)

Indicateur statistique de la précision.

5.4 Gestion des Données GNSS

Formats de fichiers (RINEX, RTCM), procédures de stockage et traitement des données pour assurer la qualité.

Mock Providers et connexion GNSS

6.1 **Mock Provider**

Service logiciel simulant un récepteur GNSS.

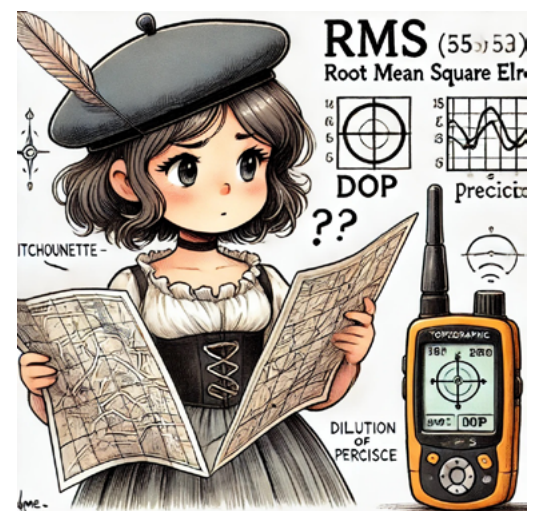
6.2 **Solutions par Système d'Exploitation**

Windows : GPSTalk.

macOS/iOS : Core Location.

Linux : gpsd.

Android : Mock Locations.



Erreurs et Limitations GNSS

7.1 Cycle Slip

Interruption des signaux satellites.

7.2 Multi-trajets

Les multi-trajets se produisent lorsque les signaux GNSS sont réfléchis par des surfaces (bâtiments, sol, etc.) avant d'atteindre le récepteur, ce qui peut causer des erreurs de positionnement.

7.3 Jamming

Interférences intentionnelles ou accidentelles.

7.4 Spoofing

Manipulation frauduleuse des signaux GNSS.

7.5 Conditions Environnementales

Obstacles physiques, météo et couvertures végétales réduisant la précision.



Différence entre code et phase pour un gps?

Le code et la phase sont deux types de signaux utilisés pour déterminer la position. Ils diffèrent principalement par leur précision et leur mode de mesure.

1. Mesure de Code (Pseudo-distance)

Utilise des codes pseudo-aléatoires (comme C/A ou P(Y)) modulés sur les signaux.

Le récepteur mesure le temps que met le signal à arriver du satellite.

Précision : de l'ordre de quelques mètres.

Usage : navigation grand public, smartphone, voiture, randonnée.

2. Mesure de Phase (Phase de la porteuse)

Utilise la phase de l'onde porteuse du signal GNSS (L1, L2, L5).

Le récepteur mesure la différence de phase entre le signal émis et reçu.

Précision : de l'ordre du millimètre à quelques centimètres.

Usage : géodésie, topographie, agriculture de précision, RTK.

Inconvénient : Ambiguïté de cycle (il faut résoudre combien de cycles entiers la phase a parcourus).

• Résumé

Code = rapide et simple, mais moins précis.

Phase = complexe, mais beaucoup plus précis.

Avec du matériel RTK et Galileo HAS, le code est exploité pour l'acquisition rapide et la phase pour la précision centimétrique.

EGNOS et le Différentiel de Code

EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service) corrige principalement les erreurs des signaux GNSS (orbites, horloges satellites, effets ionosphériques).

Il travaille sur les pseudodistances (code), pas sur la phase de la porteuse.

Résultat : une précision améliorée à 1-2 m horizontalement, parfois meilleure sous de bonnes conditions, mais rarement sous les 50 cm.

Comment Hemisphere Atteint 30-50 cm

Les puces Hemisphere peuvent intégrer des services de correction différentielles avancées (comme Atlas, SBAS étendu) ou des algorithmes de filtrage sophistiqués.

La précision peut aussi être optimisée avec des fréquences multiples (L1/L2/L5) et des corrections ionosphériques améliorées.

L'usage du Galileo HAS pourrait aussi contribuer à des précisions proches du décimètre.

• Points Clés

EGNOS seul, en différentiel de code, plafonne autour de 1 m de précision.

30-50 cm RMS suppose soit une amélioration logicielle, soit des corrections différentielles plus avancées.

La différence entre ITRF 2008 et 2014 n'impacte pas significativement ces précisions.

Pour une précision meilleure que 30 cm, il faudra probablement passer par des corrections de phase (RTK/PPP) ou des services comme Galileo HAS.

Vélocité

En géodésie, le terme "vélocité" utilisé par les anglophones désigne la vitesse de déplacement des plaques tectoniques, qui influence les mesures GNSS au sol. Ce mouvement continu génère un biais dans les systèmes de référence comme NAD83 et WGS 84, qui évoluent différemment selon leur gestion des déformations crustales.

- **Impact des Mouvements Tectoniques**

WGS 84 est un système global qui suit les mouvements des plaques tectoniques, mis à jour périodiquement pour rester cohérent avec l'ITRF.

NAD83, plus statique, ne prend pas directement en compte ces déplacements, créant des écarts régionaux avec les systèmes dynamiques.

- **Vélocité en Géodésie**

La vitesse correspond à la vitesse de déplacement d'un point sur la croûte terrestre, généralement exprimée en mm/an.

Elle est essentielle pour corriger les coordonnées GNSS, surtout dans les régions tectoniquement actives.

En français, on parle souvent de "vitesse de déplacement tectonique" ou "taux de déplacement", mais le terme "vélocité" est parfois conservé dans les contextes techniques.

Datums et Référentiels

EGNOS fournit des corrections basées sur le référentiel WGS 84, qui évolue avec le temps en intégrant les mouvements tectoniques.

ETRS89 est fixe par rapport à la plaque eurasiatique et ne suit pas les mouvements tectoniques.

Depuis sa définition en 1989, la dérive entre WGS 84 et ETRS89 atteint environ 2,5 cm/an, soit 60-70 cm aujourd'hui.

Galileo HAS s'aligne mieux sur des référentiels modernes et dynamiques (ITRF), ce qui explique pourquoi tu ne constates pas ce biais avec ce service.

Origine des Biais Observés

Le biais de 60-70 cm orienté nord-est dans le sud de la France est cohérent avec la dérive tectonique de la plaque eurasiatique.

En PPP post-traité, si les données sont ramenées à ETRS89 sans corriger les mouvements tectoniques, des écarts similaires apparaissent.

- **Explication Technique**

WGS 84 (aligné sur l'ITRF) évolue avec la tectonique.

ETRS89 reste fixe. les coordonnées GNSS non corrigées dérivent.

EGNOS, en se basant sur le code, n'intègre pas toujours les dernières mises à jour des référentiels.

Galileo HAS est plus dynamique et suit mieux l'ITRF, limitant les biais.

- **Solutions**

Vérifier le référentiel de sortie des mesures (WGS 84 vs ETRS89).

Appliquer des corrections de vitesse tectonique si nécessaire.

Utiliser des services de correction plus récents (comme Galileo HAS) qui sont mieux alignés avec les référentiels actuels.

Ce biais est donc directement lié à la gestion des datums et des mouvements tectoniques.

Versions de wgs 84.

Le WGS 84 a connu plusieurs mises à jour pour rester aligné avec les référentiels géodésiques mondiaux, notamment l'ITRF. Ces mises à jour tiennent compte des mouvements tectoniques et des améliorations des systèmes de positionnement.

• Principales Révisions de WGS 84

WGS 84 (Original - 1987) : Modèle initial, sans prise en compte des mouvements tectoniques.

WGS 84 (G730 - 1994) : Aligné sur ITRF 1992.

WGS 84 (G873 - 1997) : Aligné sur ITRF 1994.

WGS 84 (G1150 - 2002) : Aligné sur ITRF 2000.

Meilleure gestion des mouvements tectoniques.

Plus grande précision des orbites satellites.

WGS 84 (G1674 - 2012) : Aligné sur ITRF 2008.

WGS 84 (G1762 - 2013) : Ajustements mineurs, toujours basé sur ITRF 2008.

WGS 84 (G2139 - 2021) : Aligné sur ITRF 2014, mieux adapté aux dernières observations GNSS.

• Impact des Versions sur les Biais

EGNOS utilise généralement une version antérieure de WGS 84, ce qui peut expliquer des écarts si les corrections ne tiennent pas compte des mises à jour.

Galileo HAS et les services modernes s'alignent sur des versions récentes de WGS 84 ou directement sur l'ITRF, réduisant ainsi les biais.

• Pourquoi c'est important ?

Si tes équipements ou corrections sont basés sur différentes versions de WGS 84, des décalages apparaissent, notamment liés aux mouvements tectoniques.

En France, la dérive entre ETRS89 et WGS 84 (récent) est d'environ 2,5 cm/an, soit 60-70 cm depuis les années 1990, ce qui correspond aux biais que tu as observés.

Pour éviter ces écarts, il est essentiel de connaître la version de WGS 84 utilisée par les corrections ou les équipements.

Types de messages en sortie

NMEA, RTCM, ou des formats propriétaires selon les fabricants.

Principaux messages:

1. Messages NMEA 0183 (Norme standard, utilisée par de nombreux logiciels et équipements)

\$GGA : Position globale avec heure, latitude, longitude, altitude, nombre de satellites, DOP et état de la solution (fixe, flottante, etc.).

\$GSA : Statut de la solution, dilution de la précision (PDOP, HDOP, VDOP), et satellites utilisés.

\$GSV : Informations sur les satellites visibles (numéro PRN, élévation, azimuth, et force du signal).

\$RMC : Position minimale recommandée, incluant heure, latitude, longitude, vitesse, cap et date.

\$VTG : Cap et vitesse sol.

\$ZDA : Date et heure GPS avec précision.

2. Messages RTCM (Utilisés pour la correction différentielle RTK)

RTCM v3.x : Contient les corrections de phase et pseudo distance pour le positionnement RTK.

Type 1004 / 1012 : Corrections de phase pour GPS / GLONASS.

Type 1005 / 1006 : Position de la station de référence.

Type 1033 : Informations sur l'équipement utilisé.

3. Messages propriétaires (spécifiques aux fabricants comme Trimble, Leica, Topcon, Septentrio, Unicore...)

Certains récepteurs utilisent des protocoles propres (ex. Trimble GSOE, Leica LB2, NovAtel Binary) pour fournir des données plus détaillées, comme la qualité des signaux, les corrections avancées, ou l'intégration

avec des capteurs externes.

4. Messages HAS (High Accuracy Service, Galileo)

E6B corrections : Données fournies via le signal E6 pour améliorer la précision sans besoin d'une base RTK.

Certains récepteurs permettent de récupérer et d'interpréter ces messages directement via des logs spécifiques.

Le PPK, ou «Post-Processed Kinematic» (Cinématique Post-Traitée en français)

... est une technique de positionnement GNSS (Global Navigation Satellite System) de haute précision. Elle est souvent comparée au RTK (Real-Time Kinematic), mais avec une différence fondamentale : le traitement des données.

En quoi consiste le PPK ?

Contrairement au RTK qui effectue les corrections en temps réel pendant la phase de mesure (par exemple, pendant le vol d'un drone), le PPK enregistre les données brutes du récepteur GNSS (observations des satellites) et les corrige après la collecte des données, en post-traitement.

Comment ça marche ?

1/ Collecte des données : Un récepteur GNSS mobile (par exemple, sur un drone, un véhicule ou un opérateur à pied) enregistre les données brutes des signaux GNSS pendant la mission. Simultanément, un récepteur GNSS de base, positionné sur un point fixe connu (ou dont les coordonnées seront déterminées avec précision par la suite), enregistre également des données.

2/ Post-traitement : Après la mission, les données brutes du récepteur mobile et du récepteur de base sont traitées ensemble à l'aide d'un logiciel spécialisé. Le logiciel compare les données des deux récepteurs et calcule une trajectoire précise du récepteur mobile en corrigeant les erreurs dues à l'atmosphère, aux erreurs d'orbite des satellites et aux erreurs d'horloge des récepteurs.

Avantages du PPK par rapport au RTK :

Pas de liaison radio nécessaire : Contrairement au RTK qui nécessite une liaison radio constante entre le récepteur mobile et la base pour transmettre les corrections en temps réel, le PPK ne requiert aucune communication pendant la phase de mesure. Cela offre une plus grande flexibilité et permet d'opérer dans des environnements où la communication radio est difficile ou impossible (zones urbaines denses, zones montagneuses, etc.).

Moins sensible aux interférences : L'absence de liaison radio rend le PPK moins vulnérable aux interférences électromagnétiques qui peuvent perturber les communications RTK.

Potentiellement plus précis : Le post-traitement permet d'utiliser des algorithmes plus sophistiqués et d'intégrer des données supplémentaires (par exemple, des modèles atmosphériques plus précis) pour obtenir une précision potentiellement supérieure au RTK dans certains cas.

Inconvénients du PPK par rapport au RTK :

Traitement différé : Le principal inconvénient du PPK est le traitement différé des données. Les résultats ne sont pas disponibles immédiatement sur le terrain, ce qui peut être un inconvénient pour certaines applications nécessitant un positionnement en temps réel.

Nécessité d'un logiciel de post-traitement : L'utilisation du PPK requiert un logiciel de post-traitement spécifique, ce qui peut représenter un coût supplémentaire.

Applications du PPK :

Le PPK est utilisé dans de nombreux domaines nécessitant un positionnement de haute précision :

- Photogrammétrie par drone : Cartographie, modélisation 3D, inspection d'infrastructures.
- Topographie et géodésie : Levés topographiques, implantation d'ouvrages.
- Agriculture de précision : Guidage d'engins agricoles, cartographie des rendements.
- Inspection d'ouvrages d'art : Ponts, barrages, etc.
- Véhicules autonomes : Navigation et localisation précise.

En résumé :

Le PPK est une technique de positionnement GNSS de haute précision qui offre une alternative intéressante au RTK, notamment dans les environnements difficiles ou pour les applications où la liaison radio est problématique. Bien que nécessitant un traitement différé des données, il offre une grande flexibilité et une précision potentiellement supérieure dans certains cas.

La différence entre le PPK (Post-Processed Kinematic) et le post-traitement GNSS traditionnel réside principalement dans la manière dont les données sont traitées et dans le type de données utilisées.

Post-traitement GNSS traditionnel :

Le post-traitement traditionnel se concentre généralement sur l'amélioration de la précision des données statiques, c'est-à-dire des mesures effectuées avec un récepteur GNSS immobile sur un point fixe pendant une période prolongée.

- Données utilisées : Observations de code et/ou de phase des signaux GNSS collectées en mode statique.
- Objectif principal : Améliorer la précision de la position du point fixe en corrigeant les erreurs dues à l'atmosphère, aux erreurs d'orbite des satellites et aux erreurs d'horloge des récepteurs.
- Méthodes utilisées :
 - Positionnement absolu : Utilisation des éphémérides précises des satellites pour calculer la position.
 - Positionnement différentiel : Utilisation des données d'une station de référence (ou d'un réseau de stations) pour corriger les erreurs.
- Applications typiques : Géodésie, création de points de contrôle, levés de précision.



Tableau comparatif :

Caractéristique	Post-traitement traditionnel	PPK (Post-Processed Kinematic)
Type de données	Statique	Cinématique
Type d'observations	Code et/ou phase	Phase
Objectif principal	Positionnement d'un point fixe	Calcul d'une trajectoire
Mobilité du récepteur	Immobile	En mouvement
Station de base	Optionnelle (peut utiliser des données d'éphémérides)	Essentielle
Précision	Haute (sub métrique à centimétrique)	Très haute (centimétrique)
Applications	Géodésie, points de contrôle	Photogrammétrie, topographie mobile

En résumé :

Le post-traitement traditionnel est plus général et s'applique principalement aux données statiques pour déterminer la position précise d'un point fixe. Le PPK est une technique plus spécifique, axée sur les données cinématiques pour calculer une trajectoire précise d'un récepteur en mouvement. Le PPK utilise principalement les observations de phase et nécessite l'utilisation d'une station de base pour atteindre une précision centimétrique, tandis que le post-traitement traditionnel peut utiliser des observations de code et/ou de phase et peut parfois se passer d'une station de base en utilisant des éphémérides précises. Le PPK est donc une forme plus avancée et spécialisée de post-traitement, adaptée aux applications nécessitant un positionnement de haute précision en mouvement.

PPP (Precise Point Positioning) et RTK (Real-Time Kinematic)

Les corrections du PPP (Precise Point Positioning) et du RTK (Real-Time Kinematic) ont des principes différents, bien que toutes deux visent à améliorer la précision du positionnement GNSS. Voici une comparaison détaillée de leur fonctionnement :

Source des corrections		
Critère	PPP	RTK
Corrections d'orbite et d'horloge	Fournies par des centres d'analyse GNSS (ex: IGS, Galileo HAS, RTX)	Déduites en temps réel par la station de base
Corrections ionosphériques et troposphériques	Modélisation globale et estimation	Différences entre la base et le rover
Biais matériels et erreurs multi-trajets	Modélisation et estimation	Éliminés par le principe des différences entre la base et le mobile

Mode de fonctionnement		
Critère	PPP	RTK
Principe de base	Calcul précis de la position en absolu	Comparaison des phases entre une base et un rover
Type de corrections	Post-traitement ou temps réel via satellites ou Internet	Temps réel, corrections envoyées en direct depuis une base
Type de positionnement	Absolu (système de référence global)	Relatif (position par rapport à la base)
Format des corrections	Fichiers de correction ou flux RTCM	Différences de phase en temps réel (RTCM, CMR, etc.)

Précision et convergence		
Critère	PPP	RTK
Précision	10 cm à 2 cm selon le service et la convergence	1 à 2 cm en général
Temps de convergence	De quelques minutes à plus de 20 min selon les fréquences utilisées et la couverture	Instantané (quand les corrections sont reçues)

Avec Galileo HAS et des récepteurs multi-fréquences, le PPP devient plus rapide et peut rivaliser avec le RTK pour certaines applications.

Dépendances et Contraintes		
Critère	PPP	RTK
Besoin d'une station de base	☹ Non	😊 Oui (fixe ou réseau NRTK)
Connexion internet requise	☹ Non (peut recevoir via satellites)	😊 Oui (via NTRIP) ou radio locale
Couverture	Global	Locale (10-50 km autour de la base)
Utilisation en mer ou zones isolées	😊 Oui	☹ Non (sans base)

Applications adaptées		
Application	PPP	RTK
Cartographie SIG	😊 Oui	☹ Pas toujours nécessaire
Géodésie / Altimétrie	😊 Oui	😊 Oui
Guidage machine (agriculture, BTP)	☹ Trop lent	😊 Oui
Topographie / Implantation	☹ Trop lent	😊 Oui
Suivi de bouées GNSS / Océanographie	😊 Oui	☹ Non
Drones GNSS PPK / Post-traitement	😊 Oui	😊 Oui

- Le PPP est un positionnement absolu basé sur des corrections globales, indépendant d'une station de base, mais nécessitant un temps de convergence.
- Le RTK est un positionnement relatif utilisant une base GNSS pour envoyer des corrections instantanées, mais il est limité en portée.

Apports d'une IMU dans le positionnement

L'intégration d'une unité de mesure inertielle (IMU, pour Inertial Measurement Unit) dans un système de positionnement, tel qu'un récepteur GNSS, apporte plusieurs avantages significatifs, en particulier dans des applications exigeantes où la continuité et la précision du positionnement sont essentielles. Voici les principaux apports d'une IMU dans le positionnement :

Capteurs inertiels:

Accéléromètres : Mesurent les accélérations linéaires selon trois axes (X, Y, Z). Ces données permettent de calculer les changements de vitesse et de position par intégration.

Gyroscopes : Mesurent les vitesses angulaires autour des trois axes. Ils permettent de déterminer l'orientation et les rotations de l'objet.

Magnétomètres (optionnels) : Mesurent le champ magnétique terrestre pour aider à estimer l'orientation par rapport au nord magnétique.

Fusion de données

Filtrage (ex : filtre de Kalman) : Les données brutes des capteurs sont souvent bruitées. Un filtre de Kalman ou d'autres algorithmes de fusion de données sont utilisés pour combiner les informations des accéléromètres, gyroscopes et magnétomètres afin d'obtenir une estimation précise de la position et de l'orientation.

Compensation des erreurs : Les IMU souffrent de dérives (drift) au fil du temps, notamment à cause de l'intégration des accélérations. Des techniques de correction sont appliquées pour limiter ces erreurs.

1. Maintien de la continuité du positionnement

L'IMU permet de compenser les interruptions temporaires du signal GNSS, telles que :

Les zones urbaines denses avec des obstructions par des bâtiments.

Les passages dans des tunnels ou sous des ponts.

Les environnements forestiers ou des zones où les signaux satellites sont bloqués ou fortement réfléchis.

L'IMU utilise une technique de navigation inertielle pour estimer la position à partir de mesures de vitesse et d'accélération pendant ces interruptions.

2. Amélioration de la précision de la trajectoire

En fusionnant les données GNSS avec celles de l'IMU (technique de fusion de capteurs, souvent via un filtre de Kalman), on obtient :

Une meilleure précision dans les mouvements rapides ou complexes, comme les virages serrés.

Une réduction des erreurs GNSS, en particulier celles dues aux réflexions (multipath) ou aux perturbations du signal.

3. Calcul des orientations (attitude)

L'IMU permet de mesurer directement l'orientation (roulis, tangage et lacet) du dispositif ou véhicule. Ceci est crucial dans :

Les applications de cartographie mobile (Mobile Mapping), où la géoréférenciation des capteurs (caméras, LiDAR) dépend de l'attitude.

Les véhicules autonomes et la robotique, où l'orientation est essentielle pour la navigation.

4. Amélioration du temps de convergence

Lors du démarrage ou après une perte de signal, l'IMU aide à réduire le temps de convergence RTK ou PPP, car elle fournit des estimations initiales pour la position et la vitesse.

5. Précision accrue dans les environnements dynamiques

Pour des applications en mouvement rapide (par exemple, drones, véhicules), l'IMU compense les limitations des GNSS à suivre les variations rapides de position et d'orientation. Cela est particulièrement utile pour :

Suivi en temps réel.

Applications maritimes ou aériennes.

6. Détection de mouvements subtils

L'IMU est sensible aux vibrations et aux mouvements mineurs, ce qui permet :

De détecter des changements fins dans la position ou l'orientation.

D'améliorer la précision dans des environnements où le GNSS seul ne capte pas bien ces variations.

Limites des IMU

Cependant, l'IMU seule a des limites :

Dérive : Les erreurs d'estimation (biais, bruit) s'accumulent rapidement avec le temps si l'IMU fonctionne seule sans GNSS.

Coût : Les IMU de haute précision (grade tactique ou navigation) sont coûteuses.

Complexité : L'intégration et la fusion GNSS/IMU nécessitent des algorithmes avancés et une calibration précise.

L'IMU est une brique essentielle pour renforcer la robustesse et la précision des systèmes GNSS dans des environnements ou conditions défavorables.



Guide de Contrôle Qualité des Points GNSS

1. Introduction

Pourquoi vérifier la qualité des points GNSS ?

La qualité des mesures GNSS impacte directement la précision des données SIG. Une mauvaise vérification peut entraîner des erreurs systématiques ou des points aberrants. Ce guide permet d'appliquer des contrôles simples et efficaces.

2. Contrôles sur le Terrain

2.1. Vérifications essentielles à réaliser

Avant la mesure :

- Vérifier que le récepteur est bien en mode RTK Fixe ou PPP Convergé.
- S'assurer que les corrections sont bien reçues et sans latence excessive ($< 2-3s$).
- Confirmer un bon nombre de satellites utilisés (≥ 10 satellites).
- Éviter les zones avec des obstacles (bâtiments, arbres, surfaces réfléchissantes).

Pendant la mesure :

- Surveiller les indicateurs de précision :

PDOP < 2 (bonne géométrie des satellites).

SNR > 35 dB (bonne qualité de signal).

- Faire plusieurs mesures du même point pour vérifier la stabilité (écart max < 2 cm en RTK Fixe).
- Vérifier que l'IMU/Inclinomètre compense bien les inclinaisons (tester avec et sans compensation).

Si un problème est détecté : • Ne pas enregistrer le point et identifier la cause (signal faible, interférence, obstacle).

- Changer de position si besoin et refaire une acquisition.



3. Contrôle Qualité en Post-Traitement

3.1. Comparaison avec des points de référence

- Comparer les coordonnées des points mesurés avec des points de référence connus.
- Si écart > 2 cm (en XY) ou > 5 cm (en Z) en RTK, refaire une vérification.

3.2. Stabilité des mesures

- Si plusieurs relevés d'un même point ont des écarts > 2 cm, suspecter une erreur GNSS.
- Importer les points dans un SIG pour visualiser la cohérence spatiale.

4. Automatisation et Amélioration Continue

4.1. Filtres automatiques sur le terrain

- Configurer des seuils de qualité dans le récepteur (PDOP, SNR, mode Fixe/Float).
- Activer un rejet automatique des points hors tolérance.

4.2. Validation automatique en SIG

- Importer les données GNSS dans QGIS et utiliser un script de vérification.
- Filtrer les points ayant un écart important ou hors seuils prédéfinis.

5. Conclusion

En appliquant ces contrôles simples, la fiabilité des relevés GNSS est améliorée. Pour aller plus loin, des vérifications avancées et des automatisations peuvent être mises en place progressivement.