

Ce travail s'effectuera par groupe de deux. Nous vous recommandons vivement de vous organiser pour effectuer des tâches en parallèle, ceci afin de pouvoir mener ce projet à son terme dans les temps.

L'objectif de cette étude est :

- de déterminer le mouvement de la plaque tectonique eurasienne à l'aide de données brutes GNSS ;
- de vérifier que ce mouvement n'est pas observable lorsque les coordonnées des stations GNSS sont exprimées dans le *système de référence terrestre européen* (ETRS89).

Vous devrez calculer dans un premier temps les coordonnées de quelques stations permanentes GNSS en Europe. Ces coordonnées seront déterminées en mode *Precise Point Positioning* (PPP) et donc exprimées dans une réalisation du *système international de référence terrestre* (ITRS).

I Calculs GNSS et validation

- I.1 Téléchargez les données GNSS au format RINEX des stations permanentes LROC, ZIMM, WTZR, HERS sur le site Internet suivant : <http://epncb.oma.be/ftp/obs/>. Les données des 1er février 2015 et 2025 seront à télécharger et calculer par la suite.
- I.2 Consultez les séries temporelles de positions sur cette page <http://epncb.oma.be/productsservices/timeseries/hybrid.php> (résultats les plus récents, mais non homogènes) pour vérifier si les séries temporelles de positions avec tendance en ITRS présentent des discontinuités liées à des changements de matériel sur la période 2015 à 2025.
- I.3 Récupérez les coordonnées approchées des stations dans les fichiers RINEX et visualisez leur localisation dans QGIS.
- I.4 A l'aide du logiciel RTKlib, calculer les coordonnées cartésiennes de ces 4 stations avec les données GPS uniquement à l'aide du mode de positionnement PPP (solution flottante). Notez qu'il est nécessaire d'utiliser un certain nombre de fichiers de produits principalement par le Service International des GNSS (IGS) pour effectuer un calcul PPP (voir les sections III.2 et II.1 de la documentation ENSG fournie) :
 - + des fichiers de correction de centre de phase compatibles avec les repères de références IGS08 et IGS20 (fichiers .atx fournis, ils ont été préparés à partir de fichiers fournis par l'IGS https://files.igs.org/pub/station/general/pcv_archive/). Notez que les repères IGS08 et IGS20 sont deux repères dérivés respectivement de l'ITRF2008 et l'ITRF2020 pour les rendre cohérents avec des fichiers de corrections de centre de phase actualisés.
 - + des orbites précises. Nous proposons d'utiliser les orbites finales GPS IGS (nommée « igs », fichiers .sp3.gz). A noter que les orbites sont compatibles avec le système de référence

ITRF2008 pour les orbites de 2014 (et le fichier de corrections de centre de phase igs08.atx) et ITRF2020 (respectivement igs20.atx) pour les orbites de 2024.

+ lorsque les fichiers de navigation sont indisponibles (ou corrompus), il est possible d'accéder aux messages de navigations des satellites dans des fichiers journaliers brdc* fournis par l'IGN à l'adresse suivantes : <ftp://rgpdata.ensg.eu/pub/data> ou ftp://rgpdata.ensg.eu/pub/data_v3 pour les données récentes

+ des corrections d'horloge satellite précises associées (fichiers *.clk_30 ou *_30S_CLK.CLK)

+ des corrections de marées solides (option à activer dans RTKlib, voir notice)

+ des corrections de marée polaire (fichiers .erp ou .ERP)

+ des corrections de surcharge océanique (fichier .blq fourni. Obtenu depuis <http://holt.oso.chalmers.se/loading/>, modèle « FES2014b »)

NB : rappel, nous effectuerons un calcul PPP sans fixation d'ambiguïtés, la précision sera moins bonne qu'un calcul avec fixation des ambiguïtés (PPP-AR).

- I.5 Valider les coordonnées obtenues à l'aide du service de calcul PPP en ligne de l'IGN. Commenter les différences de coordonnées obtenues. Si une transformation de coordonnées pour changer de repère de référence doit être effectuée pour cette comparaison, faites-la.

II interprétation

- II.1 Calculer les déplacements des 4 stations en ITRF2020 et en ETRF2020. La transformation de coordonnées devra être effectuée en python avec la librairie *pyproj*.
- II.2 La transformation de coordonnées effectuée avec *pyproj* devra avoir été validée par une commande *proj* qu'il faudra exposer.
- II.3 Les déplacements que vous avez obtenus dans les 2 repères vous paraissent-ils cohérents ?

III Un peu plus de proj

- Votre commanditaire souhaite par ailleurs une validation de votre calcul GNSS et souhaite disposer de coordonnées fournies dans un système de référence de coordonnées compatible avec la [directive INSPIRE \(2007/2/CE\)](#). Calculer vos coordonnées ETRF2020 dans une projection dont l'emprise couvre l'Europe entière et compatible avec la réglementation européenne. S'il n'existe pas de grille de conversion permettant d'obtenir des coordonnées verticales dans un système de référence vertical européen, nous vous proposons de calculer des altitudes orthométriques EGM2008.

Livrables attendus par groupe :

- Un tableur contenant :
 - o Les résultats des calculs GNSS en sortie de RTKlib avec la mention pour chaque calcul de la date des coordonnées et du repère de référence terrestre
 - o Les déplacements pour chaque station en ITRF2020
 - o Les déplacements pour chaque station en ETRF2014
- Les fichiers de calculs RTKlib (.pos).
- Le code python.
- ! Tout autre fichier est inutile et ne devra pas être ajouté à l'archive !

Un seul fichier archive au format .7z par groupe, nommé « nom1_nom2.7z » devra être déposé sur la plateforme sur le lien suivant :

<https://cloud.univ-eiffel.fr/s/DZ5GgytWEbz6RKc>

Password: w6rT;cFhQsUK_"

N'oubliez pas de tester si l'archive n'est pas corrompue après l'avoir fabriquée.

Documentation fournie :

- Doc RTKlib ENSG : X. Collilieux (2024), Initiation au traitement de données GNSS avec RTKlib, ENSG
- Manuels « officiel RTKlib » et « RTKlib demo 5 »