



COMMENT

GÉODÉSIE MONDIALE DES NATIONS UNIES CENTRE D'EXCELLENCE

MODERNISATION DU SYSTEME DE REFERENCE
GÉOSPATIALE
ATELIER SUR LE DÉVELOPPEMENT DES CAPACITÉS

Paramètres de transformation, modèles de
mouvement des plaques et modèles de déformation

Nicholas Brown
Directeur du bureau, UN-GGCE

3e jour, 1ère Séance [3_1_1]

Remerciements: Nic Donnelly (NZ) ; Jan Dostal (UN-GGCE) ; Anna Riddell (AUS) ; Chris Pearson (NZ) ; Alex Woods (AUS)

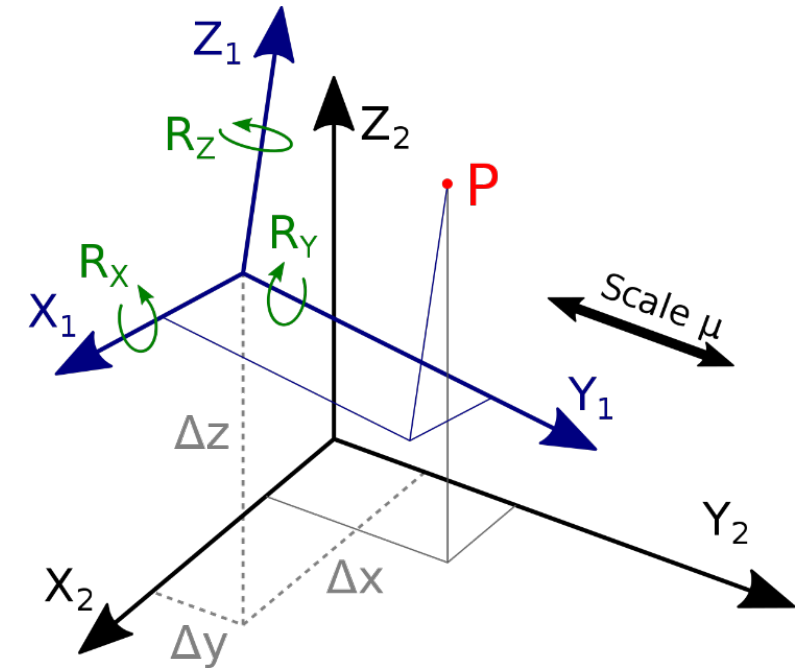
Différents cadres de référence

Variété de cadres de référence

- Différentes échelles : mondiale, régionale, nationale, locale
- Différents objectifs : technique, scientifique, cadastre
- Détérioration au fil du temps due à la dynamique de la Terre
- Évolution technologique - précision accrue

Transformation des coordonnées

- Transformation (changement) des coordonnées d'un point défini dans un cadre de référence vers un cadre de référence différent (par exemple de XYZ dans l'ITRF1996 à XYZ dans l'ITRF2020).
- Les paramètres de transformation géodésique les plus courants sont les suivants :
 - Vecteur de translation : Le déplacement de l'origine du système
 - Angles de rotation : L'angle de rotation d'un système par rapport à un autre.
 - Mise à l'échelle : Redimensionnement dû aux différentes échelles le long de l'axe des coordonnées



Transformation des coordonnées

Équation de la transformation de Helmert

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}^B = \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix} + \mu \cdot \begin{bmatrix} 1 & r_z & -r_y \\ -r_z & 1 & r_x \\ r_y & -r_x & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}^A$$

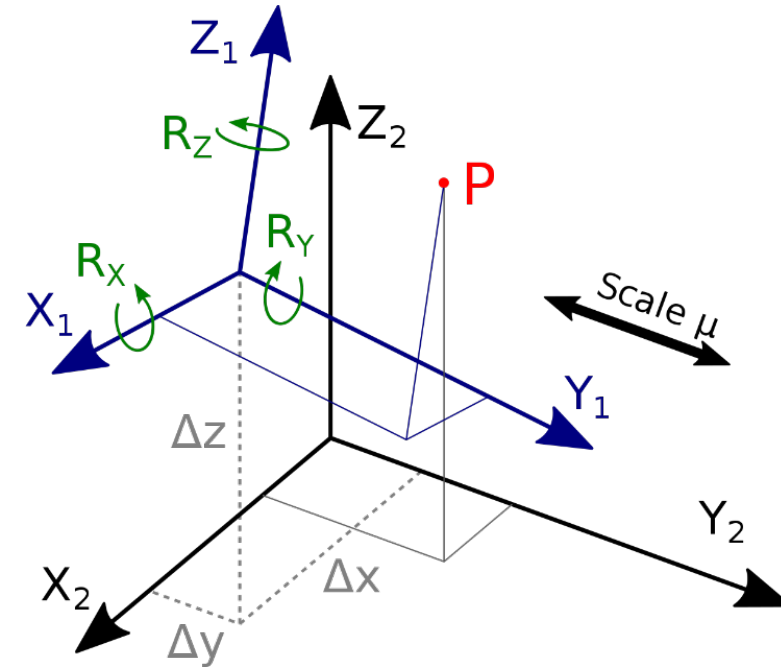
Translation (3) Échelle (1) Rotation (3)

Nouveau
Coordonnées

Original
Coordonnées

7 Paramètres de transformation

- Translation (3)
- Rotation (3)
- Échelle (1)



PLUS
FORTS.
ENSEMBLE

Transformation des coordonnées

Référentiel statique

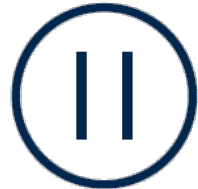


Nouveau référentiel
géocentrique
statique



Transformation de 7
paramètres

Référentiel statique



Ancien référentiel
géodésique
statique

Transformation

Connexion entre
deux référentiels différents

**Cas d'utilisation - amélioration de la
gestion des hauteurs (ITRF1992 et
ITRF2020 ont une différence de 9 cm
dans la hauteur de l'ellipsoïde)*



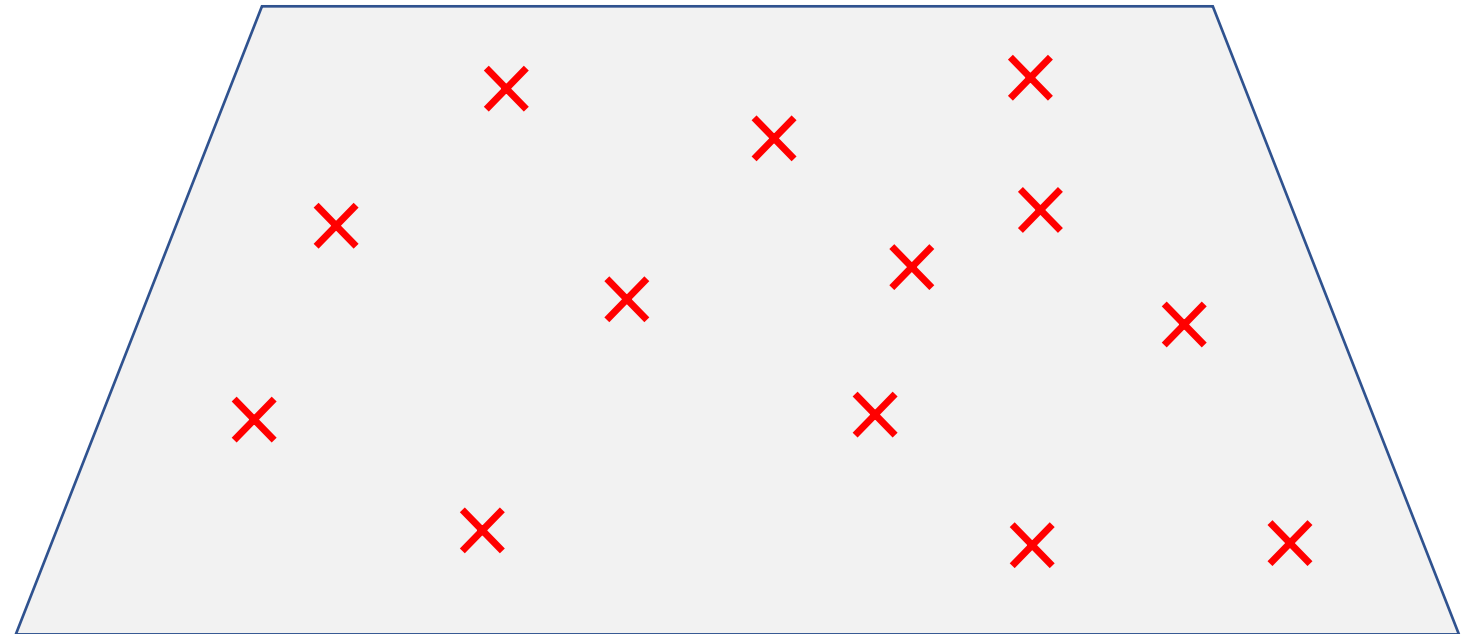
PLUS
FORTS.
ENSEMBLE

Paramètres de transformation

- Estimation des paramètres de transformation
- Points communs entre l'ANCIEN et le NOUVEAU référentiel statique (trois points au minimum)
- Inversion de l'équation de transformation de Helmert

Exemple

✗ - Repère dans l'ancien référentiel statique

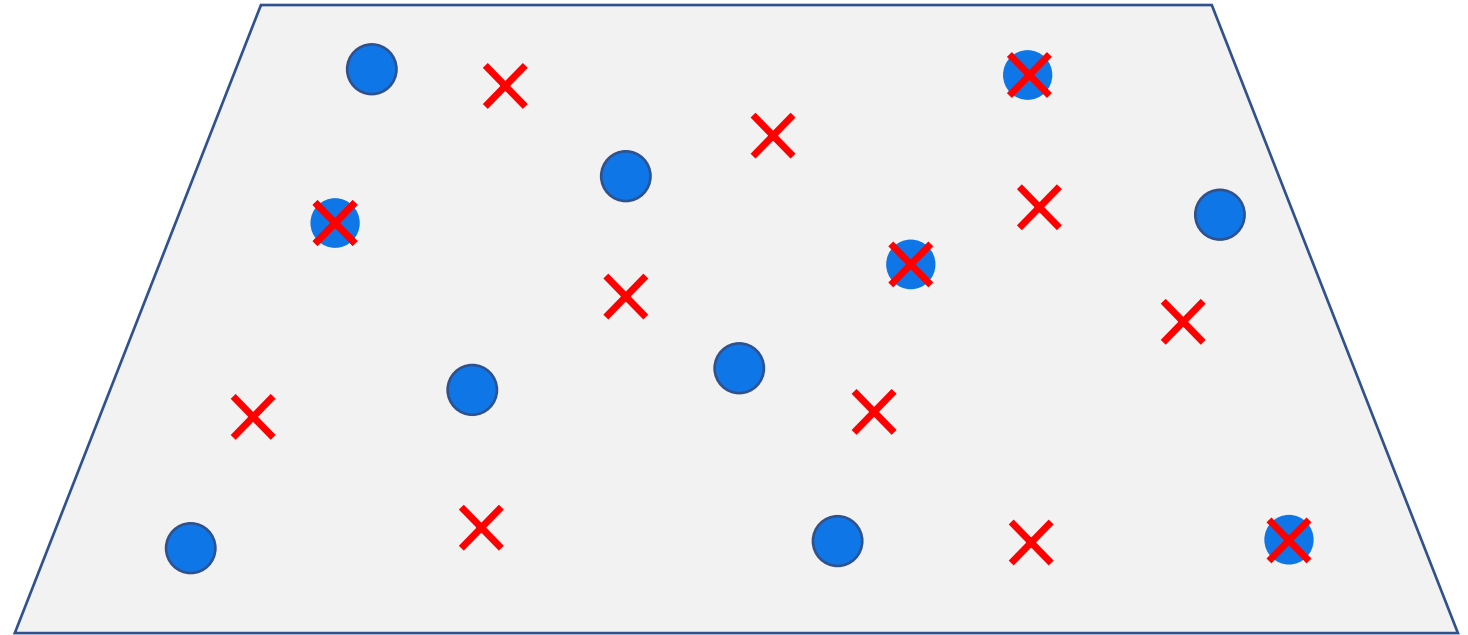


Paramètres de transformation

- Estimation des paramètres de transformation
- Points communs entre l'ANCIEN et le NOUVEAU référentiel statique (trois points au minimum)
- Inversion de l'équation de transformation de Helmert

Exemple

- ✗ - Repère dans l'ancien référentiel statique
- - Repère dans le nouveau référentiel statique



Transformation des coordonnées

Coordonnées originales Latitude, Longitude, ell. Hauteur



Coordonnées cartésiennes (X, Y, Z)



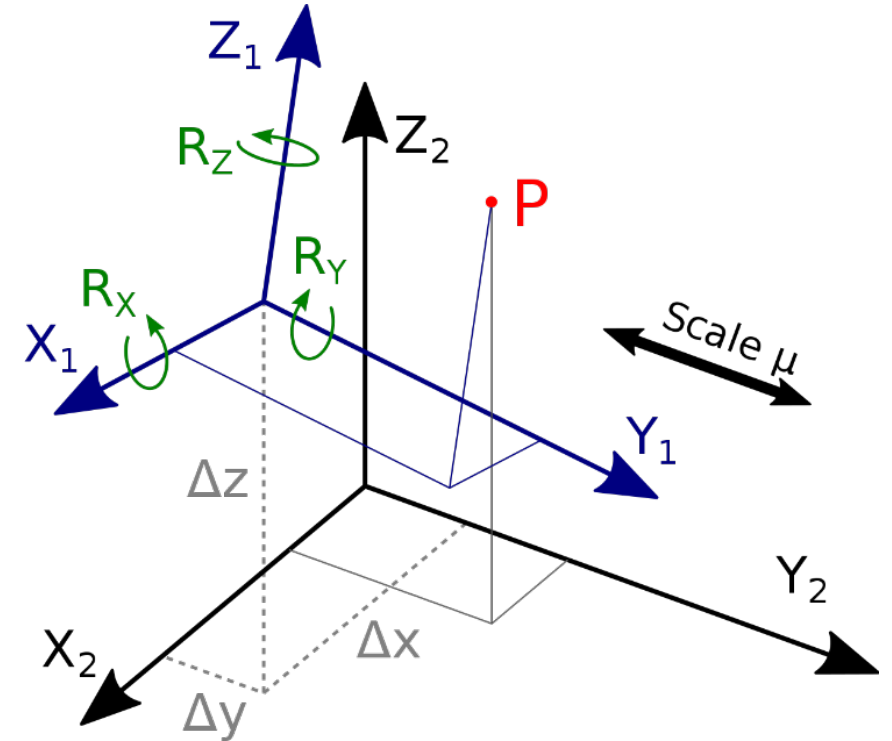
Transformation à l'aide de
paramètres



Coordonnées cartésiennes (X, Y, Z)



Nouvelles coordonnées Latitude, Longitude, ell. Hauteur



Transformation des coordonnées (avec déformation)

Référentiel statique



Nouveau référentiel
géocentrique statique



Transformation de 7
paramètres

+modèle de
déformation

Référentiel statique



Ancien référentiel
géodésique
statique

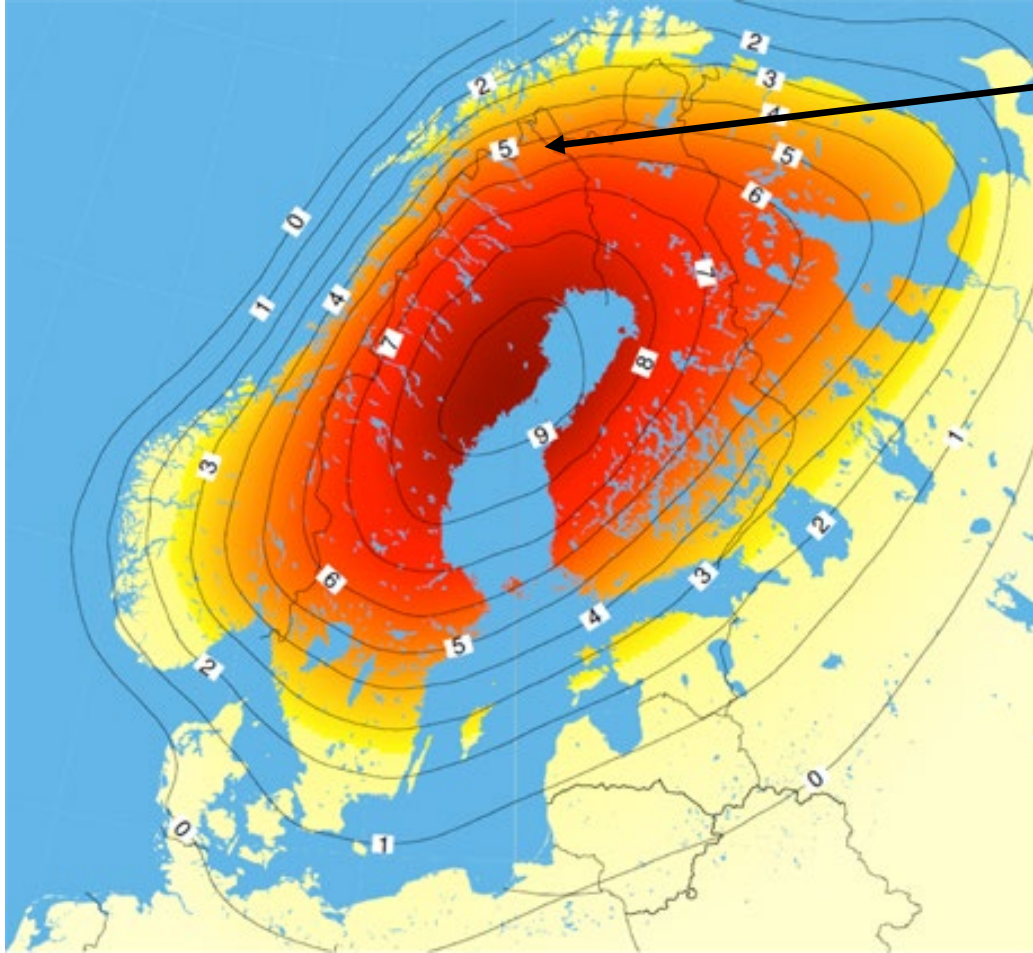
Transformation + Déformation

Connexion entre
deux référentiels différents



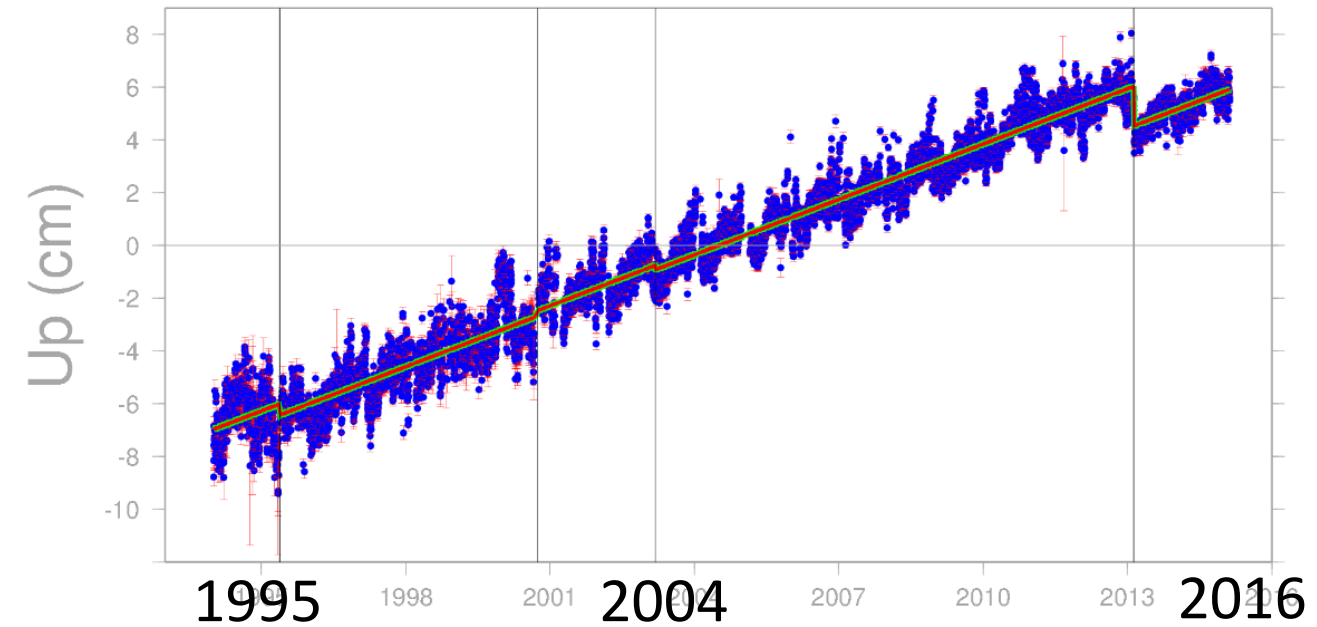
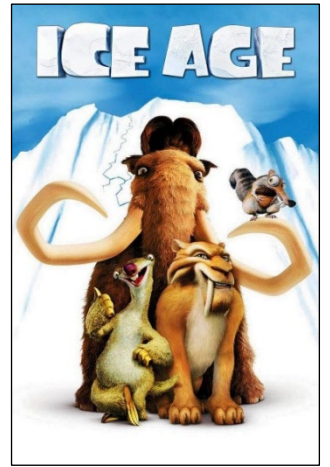
PLUS
FORTS.
ENSEMBLE

Déformation 1D (soulèvement des terres postglaciaires)



Station GNSS Kiruna

Soulèvement du sol 7 mm / an

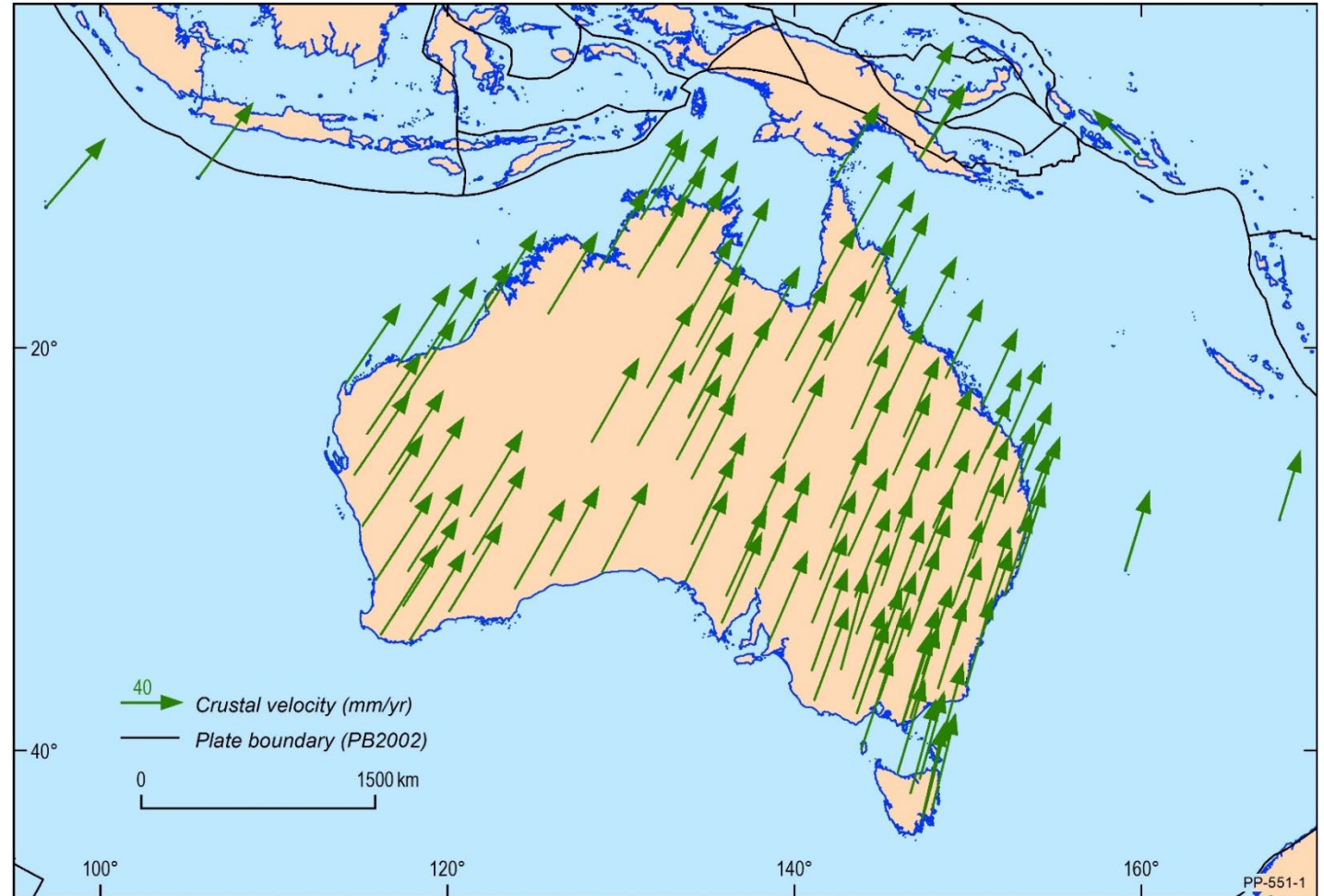


**PLUS
FORTS.
ENSEMBLE**

Déformation 2D

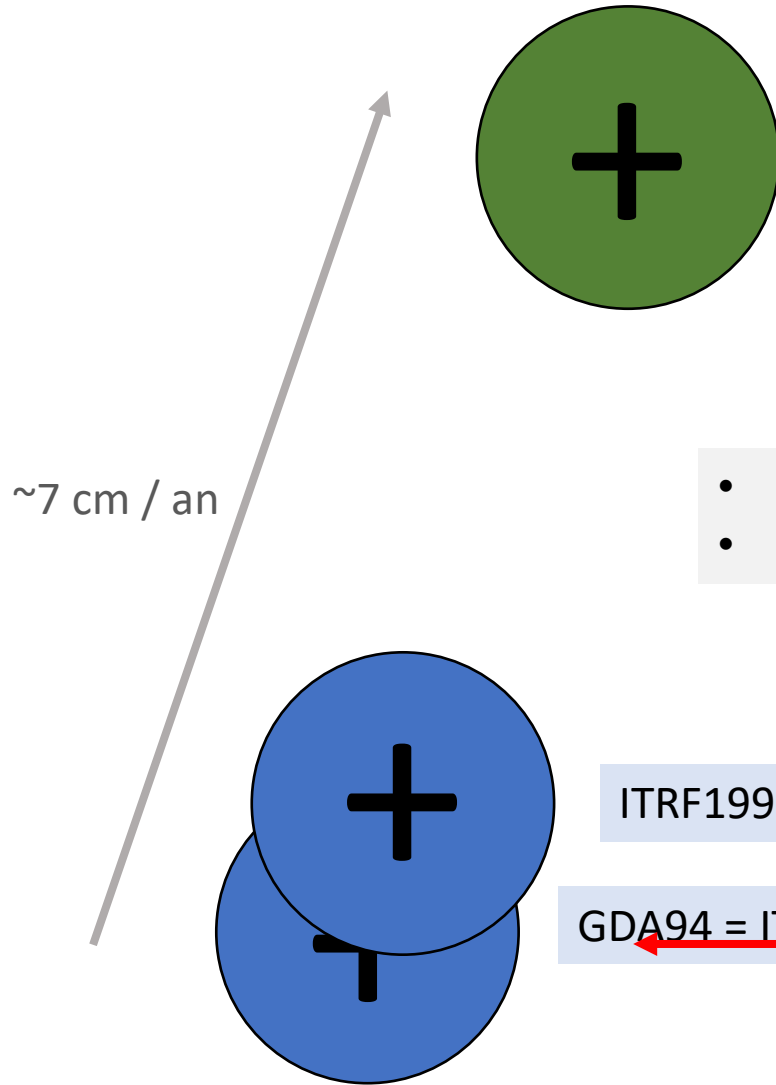
Mouvement séculaire

- L'Australie est la plaque continentale qui se déplace le plus rapidement (~ 7 cm/an NNE)
- Le GNSS fournit des coordonnées dans l'ITRF (position actuelle de la plaque australienne)
- Les utilisateurs verraient un décalage d'environ 1,8 m entre les positions GNSS et les ensembles de données spatiales (s'il s'agit de GDA94).



Déformation 2D (modèle de mouvement des plaques)

- Le continent australien est relativement peu déformé, la déformation horizontale cumulée due aux grands tremblements de terre étant inférieure à 0,2 mm/an (Tregoning et al. 2013).
- Le mouvement du continent peut être modélisé par une rotation dans le sens des aiguilles d'une montre autour d'un pôle d'Euler. La vitesse instantanée de cette rotation se traduit par ce qui semble être un mouvement linéaire de ~ 7 cm/an dans une direction nord-nord-est, les endroits les plus éloignés du pôle se déplaçant plus rapidement que ceux qui en sont plus proches.
- Le modèle australien de mouvement des plaques (PMM) a été créé à partir de l'analyse de la solution APREF, qui a montré que la stabilité horizontale des stations APREF est de 1 mm/an ou moins.
- Le PMM australien peut être utilisé pour propager les coordonnées entre ITRF2014 à n'importe quelle époque et GDA2020 (et vice versa).
- Version plus dense et plus précise du modèle de vitesse ITRF2014 pour l'Australie.



GDA2020 = ITRF2014@2020

Les coordonnées de l'ITRF2014 sont différentes de celles de l'ITRF1992
par exemple, les hauteurs sont différentes de 9 cm

Pourquoi ne correspondent-elles pas ?

1. Changements dans le cadre de référence entre l'ITRF1992 et aujourd'hui
2. Distorsions locales (par exemple, affaissement, tremblements de terre)
3. Manque de rigueur dans le calcul des coordonnées GDA94

- Mises à jour de l'ITRF : 1994, 1996, 1997, 2000, 2005, 2008, 2014.
- Chacune d'entre elles constitue une amélioration de la représentation de la forme de la Terre.

ITRF1992@1995.0 (~7 cm NNE de 1994)

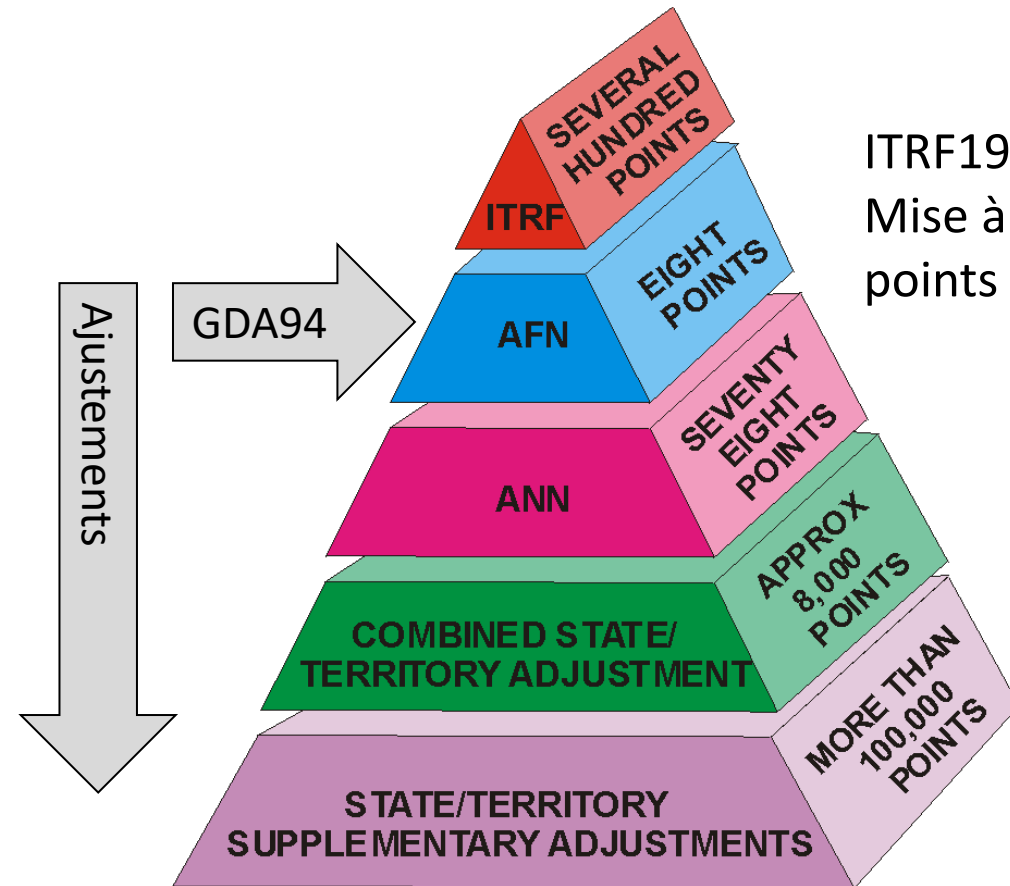
GDA94 = ITRF1992@1994.0



Déformation 2D

Distorsion dans GDA94

1. Changements dans le cadre de référence entre l'ITRF1992 et aujourd'hui
2. Distorsions locales (par exemple, affaissement, tremblements de terre)
3. **Manque de rigueur dans le calcul des coordonnées GDA94**



ITRF1992 @ 1994.0
Mise à jour à 21
points en avril 2012

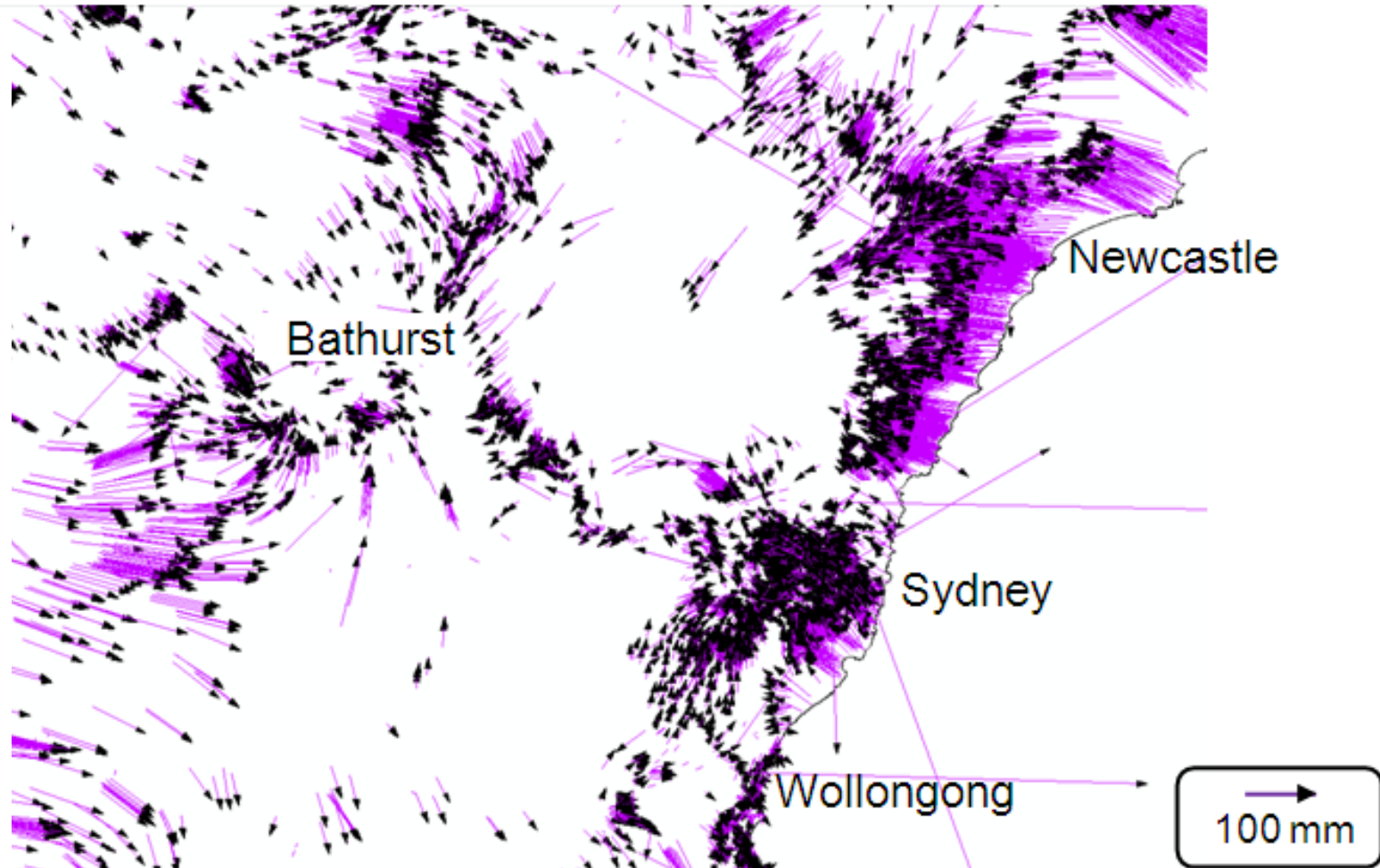


**PLUS
FORTS.
ENSEMBLE**

Déformation 2D

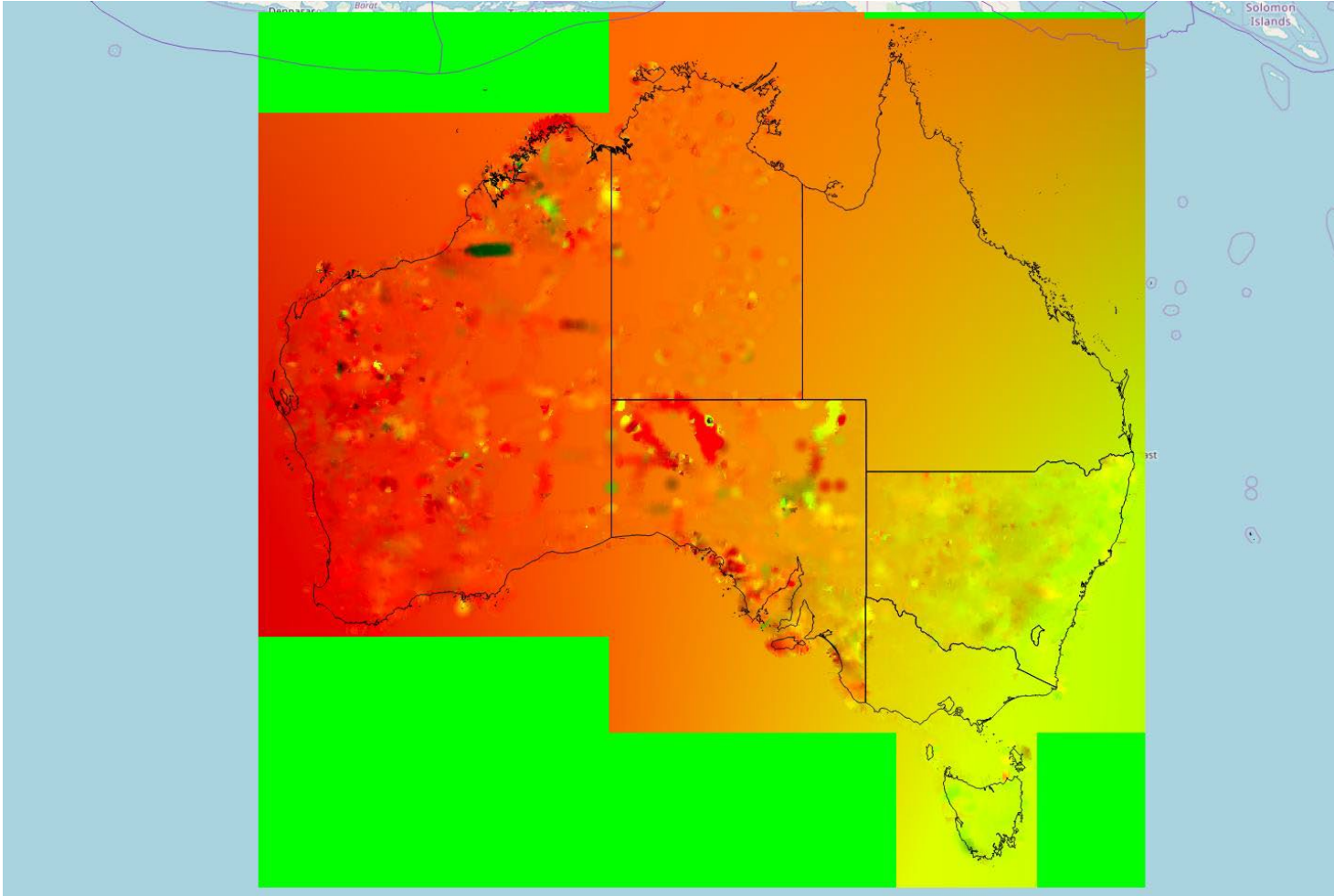
Distorsion du référentiel géocentrique de l'Australie 1994

1. Changements dans le cadre de référence entre l'ITRF1992 et aujourd'hui
2. Distorsions locales (par exemple, affaissement, tremblements de terre)
3. **Manque de rigueur dans le calcul des coordonnées GDA94**



Source : Joel Haasdyk et Tony Watson, LPI NSW, Conférence APAS 2013

Déformation 2D (grille conforme + déformation)



Entrée :

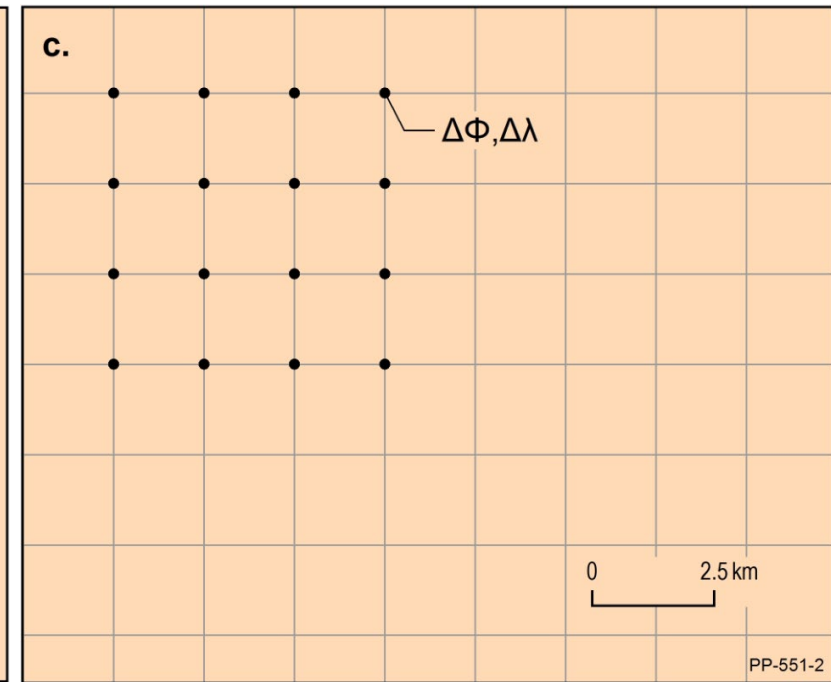
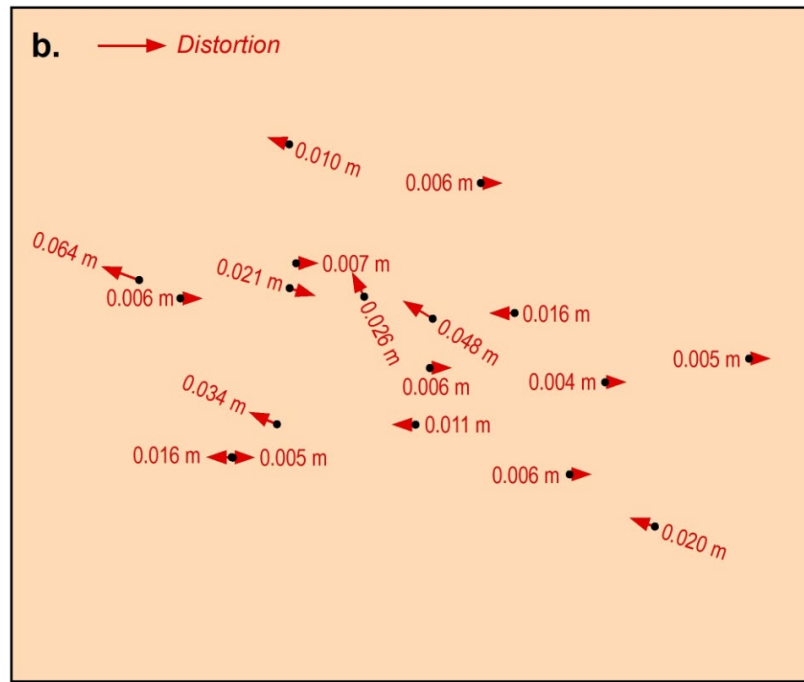
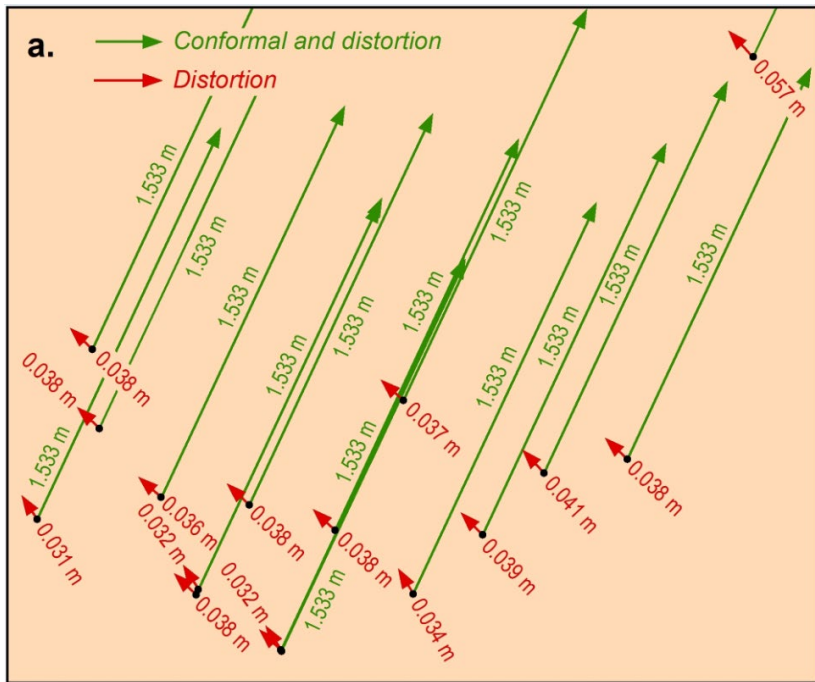
- Grille conforme
- Repères topographiques
 - GDA94 publié
 - GDA2020 ajusté

Application :

- 2D
- Données alignées sur le réseau de repères de contrôle topographique

Avec l'aimable autorisation d'Alex
Woods, DELWP

Déformation 2D (grille conforme + déformation)



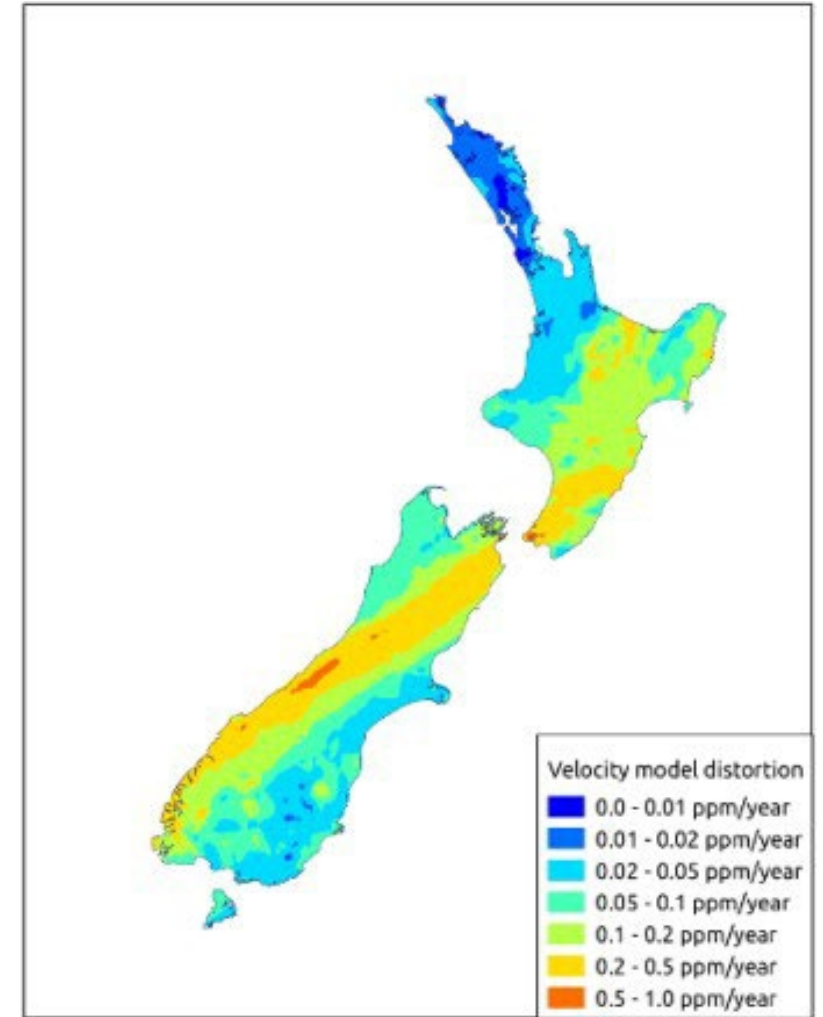
- a) composantes conformes (vert) et de distorsion (rouge) des grilles de transformation ;
- b) faible fiabilité du composant de distorsion ;
- c) la grille a une composante latitude et une composante longitude.

Déformation 3D

Des modèles de déformation sont utilisés pour estimer :

- La déformation de la croûte terrestre, y compris les mouvements tectoniques, les lignes de faille et les tremblements de terre.

La Nouvelle-Zélande (NZGD2000) est définie par sa relation avec l'ITRF via le modèle de déformation.



**PLUS
FORTS.
ENSEMBLE**

Déformation 3D

	Correctif inversé	Correctif prospectif
Description	Un correctif inversé corrige les coordonnées passées afin de tenir compte des déformations survenues depuis une époque de référence spécifique.	Un correctif prospectif projette les coordonnées dans le futur ou les corrige dans le présent afin de refléter la déformation en cours.
Objectif	Ajuster les coordonnées historiques (par exemple, les données topographiques recueillies il y a des années) pour les aligner sur le cadre de référence moderne NZGD2000, qui représente la surface de la Terre à une époque de référence spécifique (2000.0).	Ajuster les coordonnées actuelles ou passées pour tenir compte des mouvements de la croûte terrestre qui se produiront (ou se sont produits) après l'époque de référence (2000.0) afin de les aligner sur leur position dans le monde réel.
Scénario	Supposons que les coordonnées aient été mesurées en 2012. Pour les utiliser dans le cadre NZGD2000 tel qu'il était en 2000, un correctif inversé est appliqué pour « annuler » le mouvement tectonique qui s'est produit entre 2000 et 2012.	Si une étude est menée aujourd'hui (par exemple en 2025), les coordonnées devront être complétées par un correctif prospectif pour « prédire » le mouvement depuis l'époque 2000.0.
Utilisation	S'applique généralement lors de l'intégration d'ensembles de données plus anciens dans un cadre géodésique moderne ou lors de la comparaison de données historiques avec des coordonnées actuelles.	Essentiel pour des applications telles que le positionnement GNSS en temps réel, où les coordonnées doivent refléter la surface actuelle de la Terre plutôt que le cadre de référence 2000.0.

Ressources



GeodePy

<https://github.com/GeoscienceAustralia/GeodePy>



Australian Geospatial Reference System Compendium

Intergovernmental Committee on Surveying and Mapping
Geodesy Working Group
16 August 2022

https://www.icsm.gov.au/sites/default/files/2022-08/AGRS_Compendium_20220816.pdf

Ressources : Services de transformation

GDA94 – GDA2020 Online Transformation Service

Purpose

The online transformation service (powered by FME) provides a reference standard that enables software developers and spatial professionals to transform their data from the Geocentric Datum of Australia 1994 (GDA94) to the Geocentric Datum of Australia 2020 (GDA2020). Users can simply drag and drop files onto the page and receive an email with a link to download the output file.

Please note, this service is not intended to enable users to transform all their data from GDA94 to GDA2020; instead it aims to provide a method of checking systems and processes implemented by government or the spatial industry to ensure the transformation results are correct. The online transformation service accepts the following formats at this time: Shapefiles, CSV, ASCII Grid, GeoTIFF, ECW, JPEG2000, GeoJSON.

Drop
File(s)
Here

Allowed input file types

CSV Shapefile JPEG2000 GeoJSON GeoTIFF ASCII Grid ECW

Choice of Transformation

Three different transformations are provided for you to choose from:

- 7-parameter similarity
- Conformal
- Conformal and Distortion

<http://positioning.fsdf.org.au/>

<https://github.com/GeoscienceAustralia/GeodePy>

EUREF Permanent GNSS Network

ETRF/ITRF Coordinate Transformation Tool (ECTT)

On-line coordinate transformation between coordinates (position and velocity) expressed in any ETRFxx realisations of the European Terrestrial Reference System (ETRS89) and any ITRFyy realizations of the International Terrestrial Reference System (ITRS). In case output coordinates are requested at a different epoch than the provided input coordinates, it is mandatory to also input station velocities.

For transformations to and from the Galileo Terrestrial Reference Frame (GTRF), use ITRF. GTRF is aligned to current versions of the ITRF.

Explanation and examples are available from the following [tutorial](#). However, note that with the introduction of the most recent transformation tool (August 2022), this tutorial has become slightly outdated. If you use the ECTT tool, please cite [doi:10.24414/ROB-EUREF-ECTT](https://doi.org/10.24414/ROB-EUREF-ECTT).

Change epoch format:

INPUT

Frame: Epoch:

```
# Lines starting by # are treated as comments
# Fields (in decimal format) should be separated by at least one space
#
# --> Example without velocity <--
# Stationname (no space character) X[m] Y[m] Z[m] :
# Station_1 4027894.006 307045.600 4919474.910
#
# --> Example with velocity <--
# Stationname (no space ch.) X[m] Y[m] Z[m] VX[m/yr] VY[m/yr] VZ[m/yr] :
# Station_2 4027894.006 307045.600 4919474.910 0.01 0.2 0.03
```

TRANSFORM TO

Frame: Epoch:

https://www.epncb.oma.be/_productsservices/coord_trans/

Statut actuel

- Mise à jour de la précision du code GDA94-WGS84 (générique) EPSG (1150) de 1 m à 3 m
- Introduction des codes EPSG GDA94-GDA2020
- Introduction du code EPSG GDA2020-ITRF2014 (8049)

Futur

- Discussions avec l'OGC+EPSG pour reconnaître le WGS84 comme étant dépendant du temps.

