



Commission Géo-Positionnement



CNIG / COMMISSION GÉOPOSITIONNEMENT

Réunion du 14 octobre 2022



**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

CNIG

Conseil national
de l'information
géolocalisée



Commission Géo-Positionnement



Mise en œuvre d'une transformation locale entre « NTF EPAD » et RGF93

Présentation de travaux réalisés en 2020-2021

Ibrahima DEME (Paris La Défense) - Brice Virly (IGN)
GéoPOS – 14 Octobre 2022



Commission Géo-Positionnement

Contexte



- **Paris-La-Défense** : Etablissement public local créé en 2018, de la fusion des compétences de l'**EPADESA** (Établissement Public d'Aménagement de La Défense Seine Arche) et de **Defacto** (Établissement Public de Gestion et d'Animation de La Défense).

1958 : création **EPAD**

2000 : création **EPASA**

2007 : création **EPGD** (Defacto)

2010 : création **EPADESA** (fusion EPAD et EPASA)



Territoire de Paris-La-Défense

OIN Défense : Aménagement et Gestion (Courbevoie et Puteaux)

**OIN Nanterre – Garenne
Colombes : Aménagement**



Contexte



- Paris-La-Défense a sollicité l'IGN en 2019 pour un accompagnement dans la transformation de données géoréférencées dans un repère dit « NTF EPAD »
 - Les différents établissements ont, depuis la création de l'EPAD en 1958, progressivement mis en place et entretenu un canevas basé sur le réseau NTF (Nouvelle Triangulation de la France) de l'IGN.
 - Avec l'arrivée du RGF 93, dans les années 90, le recalcul du NTF n'a pas été réalisé au niveau du quartier d'affaires de la Défense.
 - Pour différencier ce canevas local, du canevas basé sur le réseau NTF de l'IGN, La projection associée a été nommée « Lambert 1EPAD »
 - Ce canevas correspond à la réalisation d'un nouveau repère appelé « NTF EPAD », et à continuer à être utilisé bien après que le NTF a été remplacé comme repère de référence légal par le RGF93 en l'an 2000.



Contexte



- Constat :
 - Deux repères géodésiques cohabitent et Paris-La-Défense est confronté au problème de « réconciliation » des données dans ces deux repères : NTF EPAD et RGF93
 - Foncier en NTF et certains projets et opérations en RGF93
 - Repère NTF EPAD qui n'est plus en phase avec l'ancien repère légal NTF (écart de 15 cm en moyenne)
 - Disparition des repères NTF EPAD dans un territoire complexe en perpétuelle évolution
 - Difficulté à échanger et partager des données avec les partenaires notamment les collectivités
- Besoins :
 - Sécuriser les projets et opérations en utilisant un seul système de référence : RGF 93
 - Faciliter les échanges de données avec nos partenaires
 - identifier les différentes solutions de transformation des coordonnées NTF EPAD Lambert **Zone I**
 - Définir un processus qui permettra d'obtenir des coordonnées les plus exactes possibles dans le RGF93.

L'aspect altimétrique ne sera pas examiné.



Commission Géo-Positionnement

Demande Paris-La-Défense



- Objectif pour Paris-La-Défense :
 - obtenir des coordonnées RGF93 de son canevas par transformation des coordonnées « NTF EPAD » avec la meilleure précision possible
 - conserver la meilleure précision possible lors de la transformation de ses données depuis « NTF EPAD » vers RGF93, dans le but de préserver l'homogénéité et la précision relative des déterminations anciennes dans le repère RGF93.



Commission Géo-Positionnement

Demande Paris-La-Défense



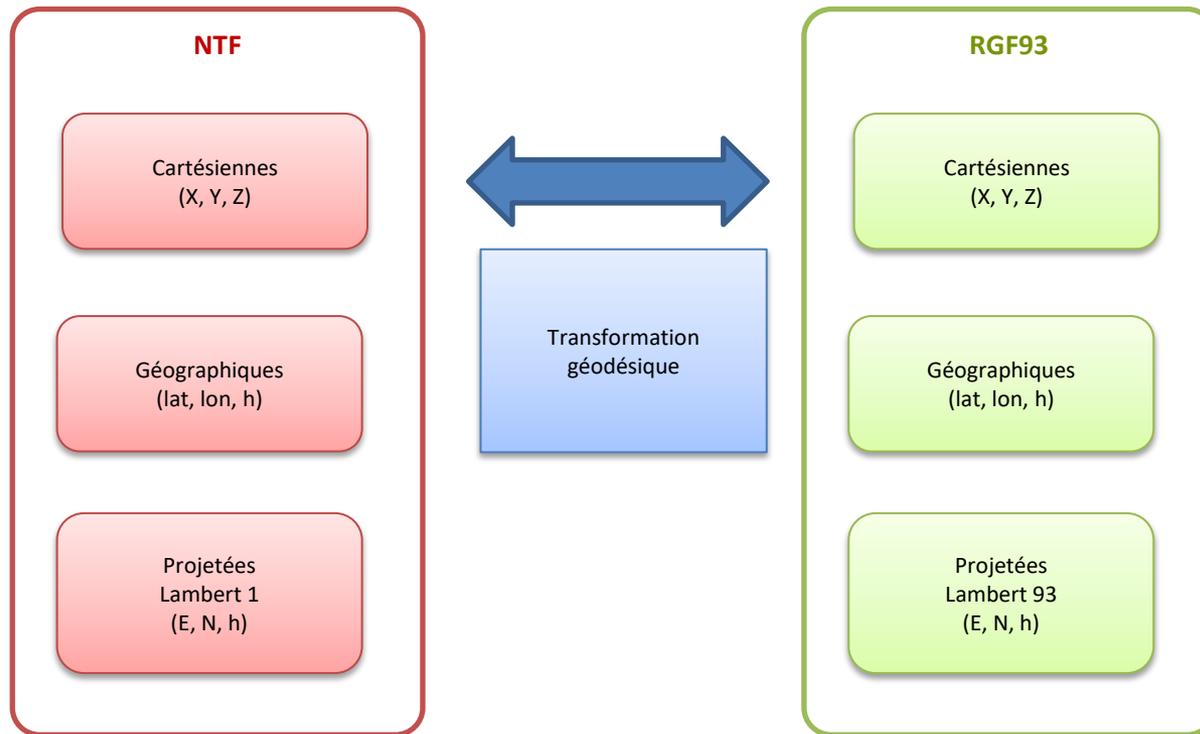
- Etapes de la prestation :
 1. Déterminer une ou des transformations applicables sur l'emprise de la Défense à partir de jeux de points colocalisés dans les repères NTF EPAD et RGF93
 2. Implémenter la transformation dans le logiciel FME pour permettre le traitement des données géographiques par lot.
 3. Formation des utilisateurs EPAD à la transformation des données avec FME

Prestation réalisée par T. Gattacceca et B. Virly entre Septembre 2020 et Septembre 2021



Transformation de coordonnées

- Entre le repère NTF EPAD et le RGF93



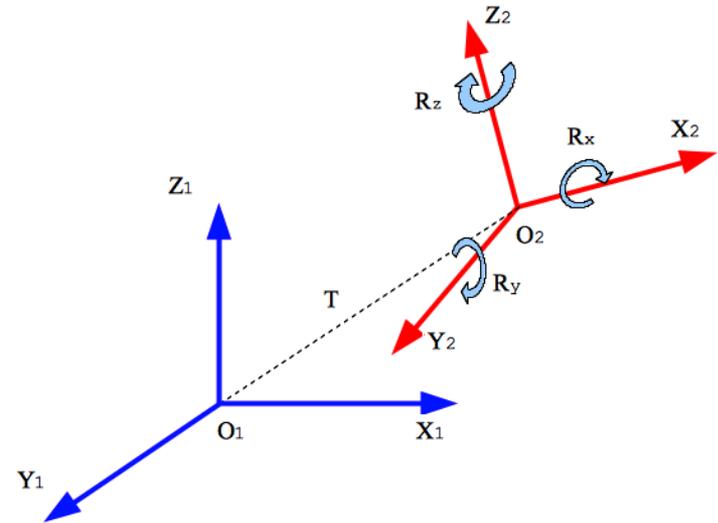


Transformation de coordonnées



- Transformation de Helmert à 7 paramètres

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}^B = \begin{bmatrix} T_X \\ T_Y \\ T_Z \end{bmatrix} + (1 + s \cdot 10^{-6}) \cdot \begin{bmatrix} 0 & -R_Z & R_Y \\ R_Z & 0 & -R_X \\ -R_Y & R_X & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}^A$$



- 1^{er} étape: déterminer les paramètres de la transformation à partir de jeux de points colocalisés :

$T_x, T_y, T_z, s, R_x, R_y, R_z$



Points colocalisés

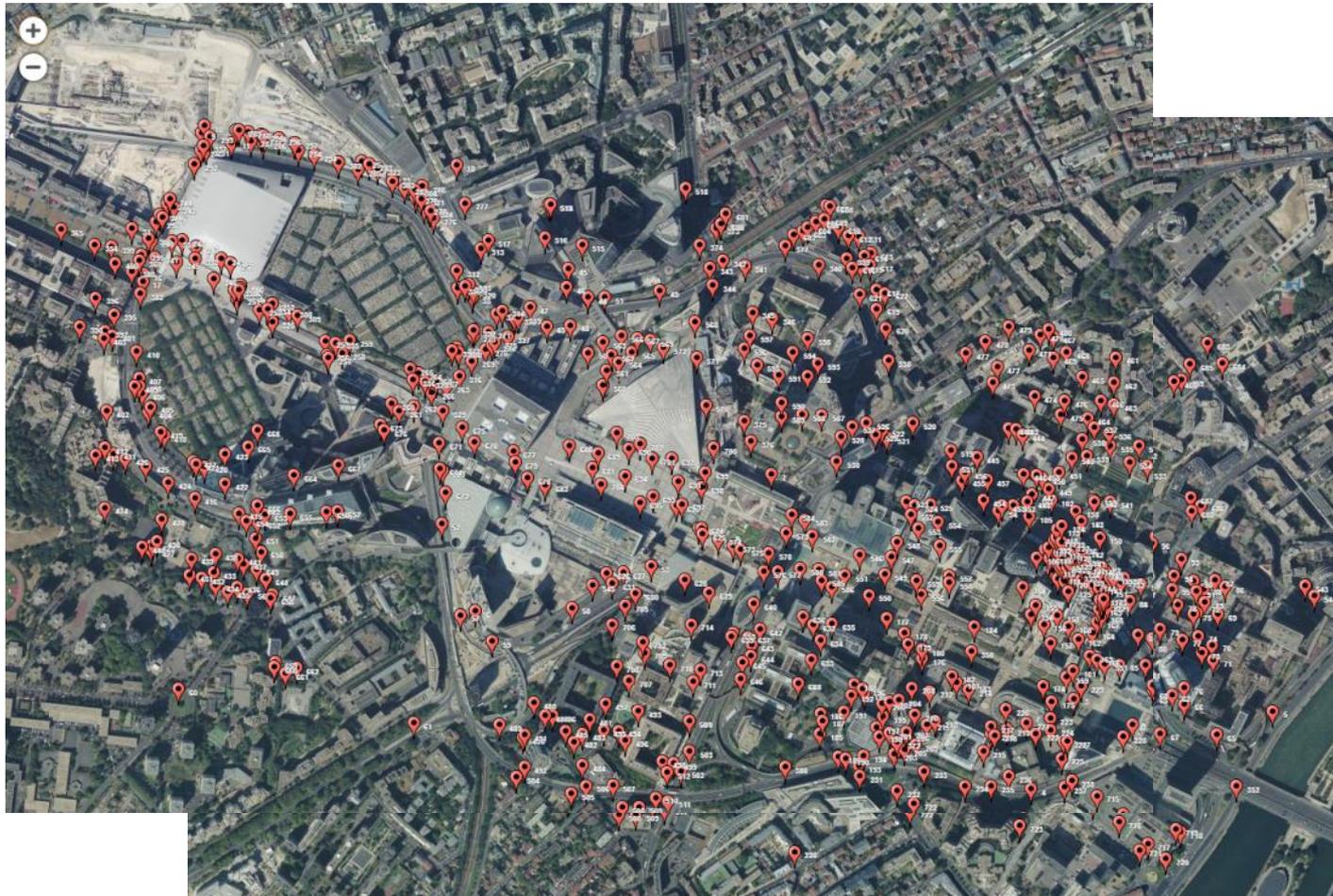
- Paris-La-Défense a fourni à l'IGN deux jeux de points colocalisés correspondant à deux zones différentes :
 - Zone dense correspondant au cœur de la Défense
 - Zone étendue au-delà de la zone entourant le parvis de la Défense (Nanterre)

On verra par la suite que ces deux zones ont du être traitées de manière distincte



Points colocalisés

- Zone dense





Points colocalisés

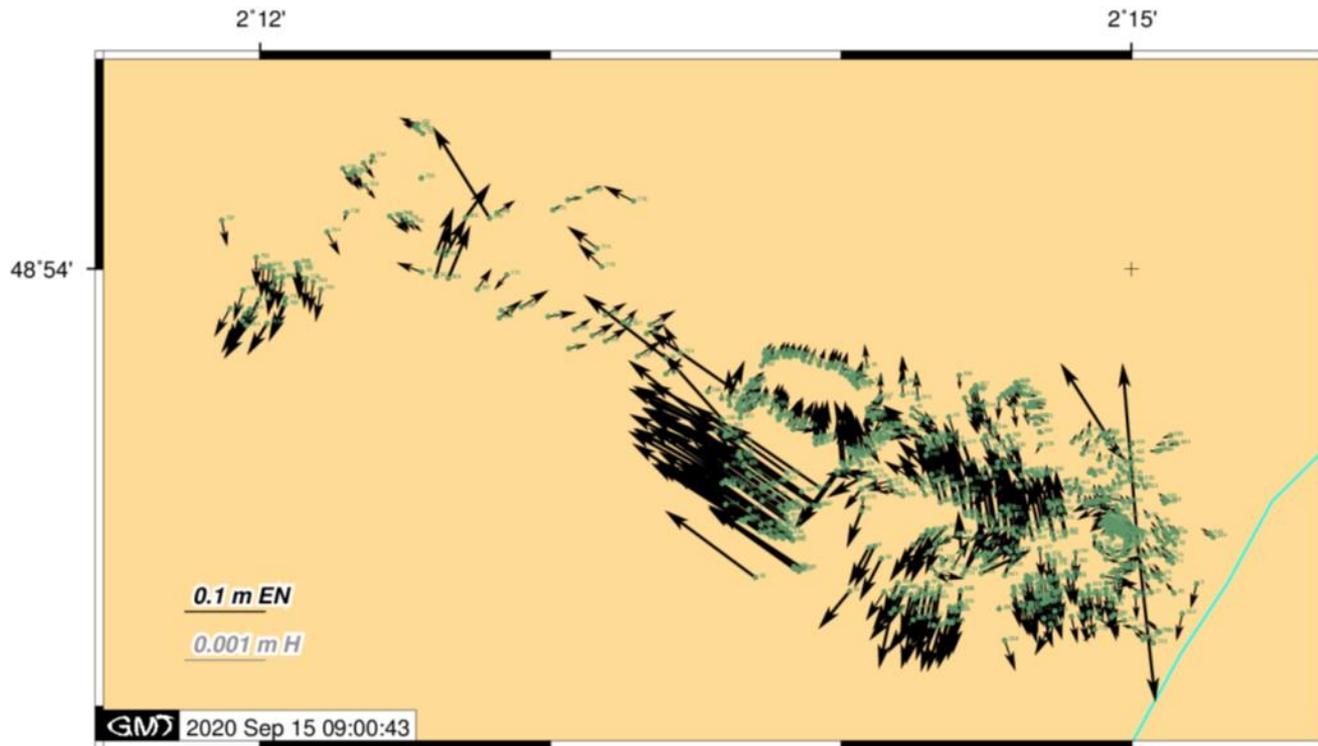
- Zone étendue





Points colocalisés

- Pré-traitement des données
 - Élimination des points présentant des erreurs grossières (forts résidus)
 - Essai d'une transformation à 7 paramètres sur les points retenus :

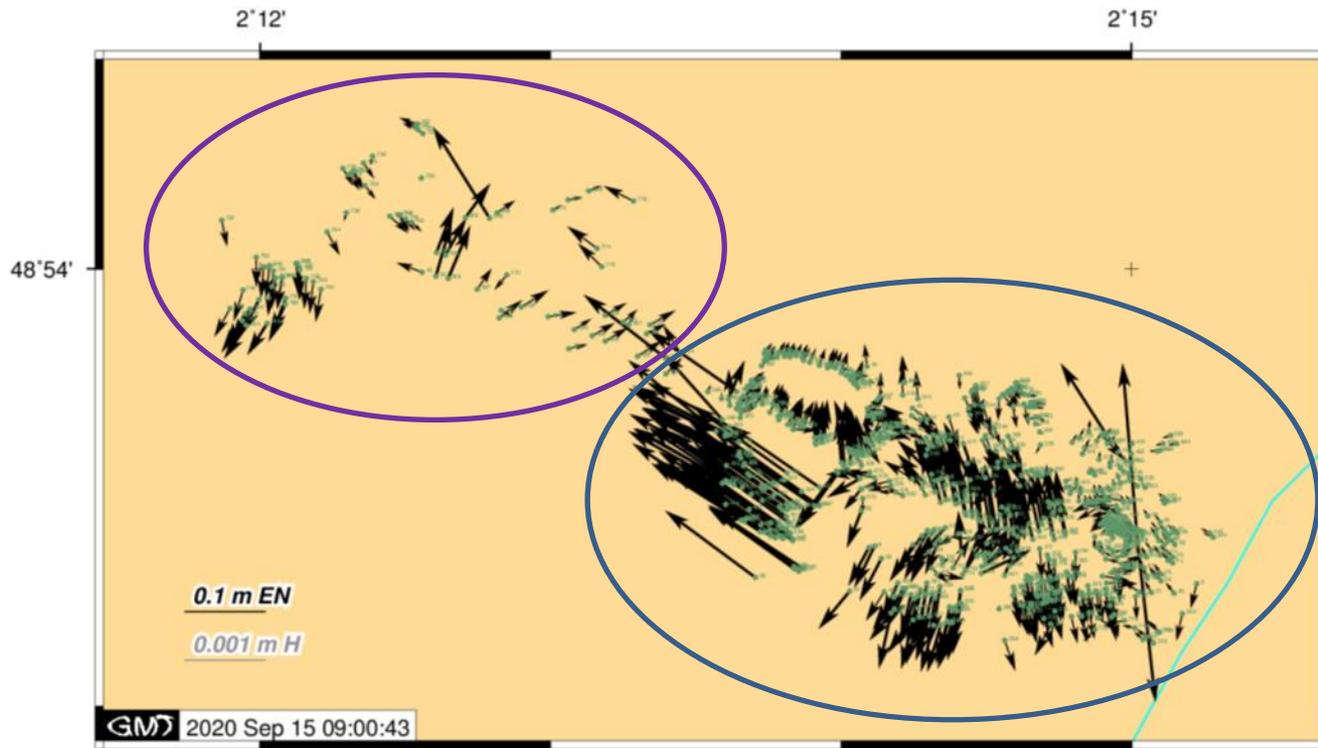


résidus pour la transformation à 7 paramètres sur les zones denses et étendues (v2)



Points colocalisés

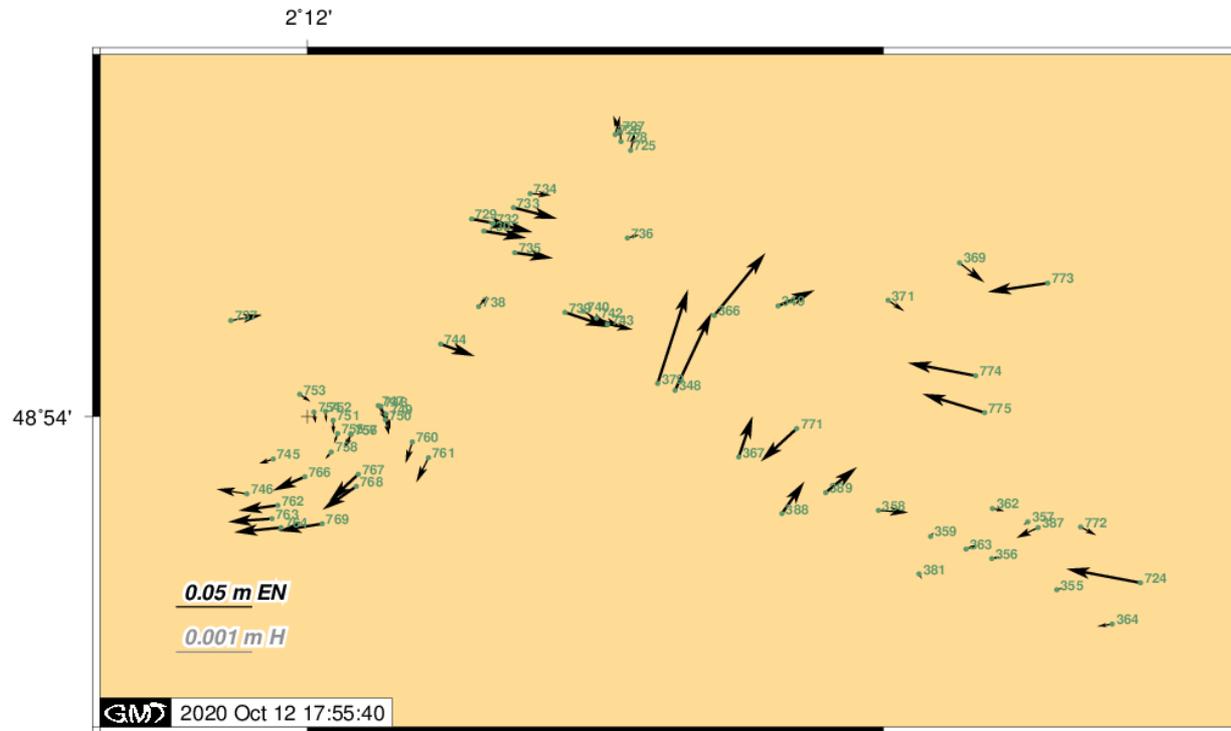
- Séparation en deux zones
 - Zone dense
 - Zone étendue





Transformation sur la zone étendue

- Choix d'une transformation à 7 paramètres pour la zone étendue
 - Premiers essais avec une transformation à 3 paramètres (3 translations T_x , T_y , T_z seulement)
 - Retrait de points de contrôle
 - Autres essais avec une transformation à 7 paramètres



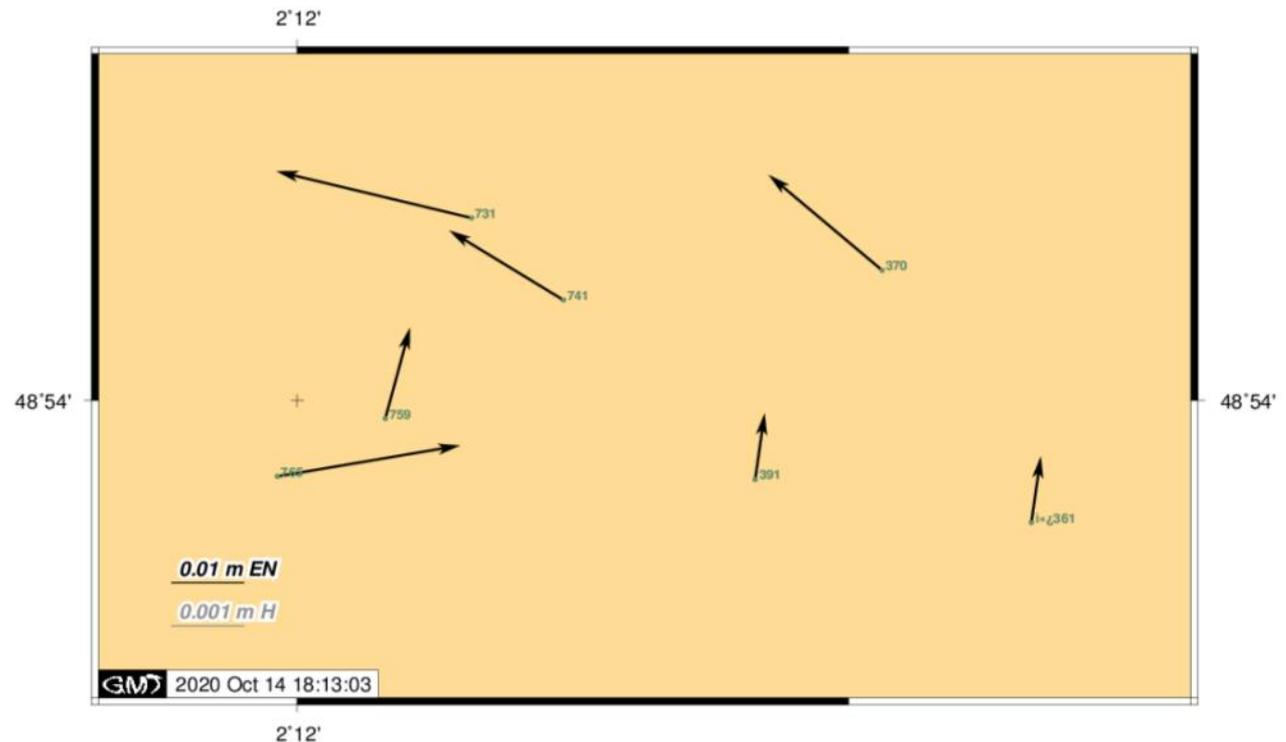
résidus sur les points de calage pour la transformation à 7 paramètres sur la zone étendue



Transformation sur la zone étendue

- Choix d'une transformation à 7 paramètres pour la zone étendue
 - Evaluation de la précision de la transformation sur les points de contrôle
 - Les écarts types sur les résidus des composantes est-ouest et nord-sud, tous points confondus, sont de 2,5 cm
 - La précision de la transformation peut être estimée à « entre 1 à 5 cm »

7 points	résidu horizontal (m)
Moyenne	0.018
Ecart-type	0.007
Minimum	0.009
Maximum	0.028

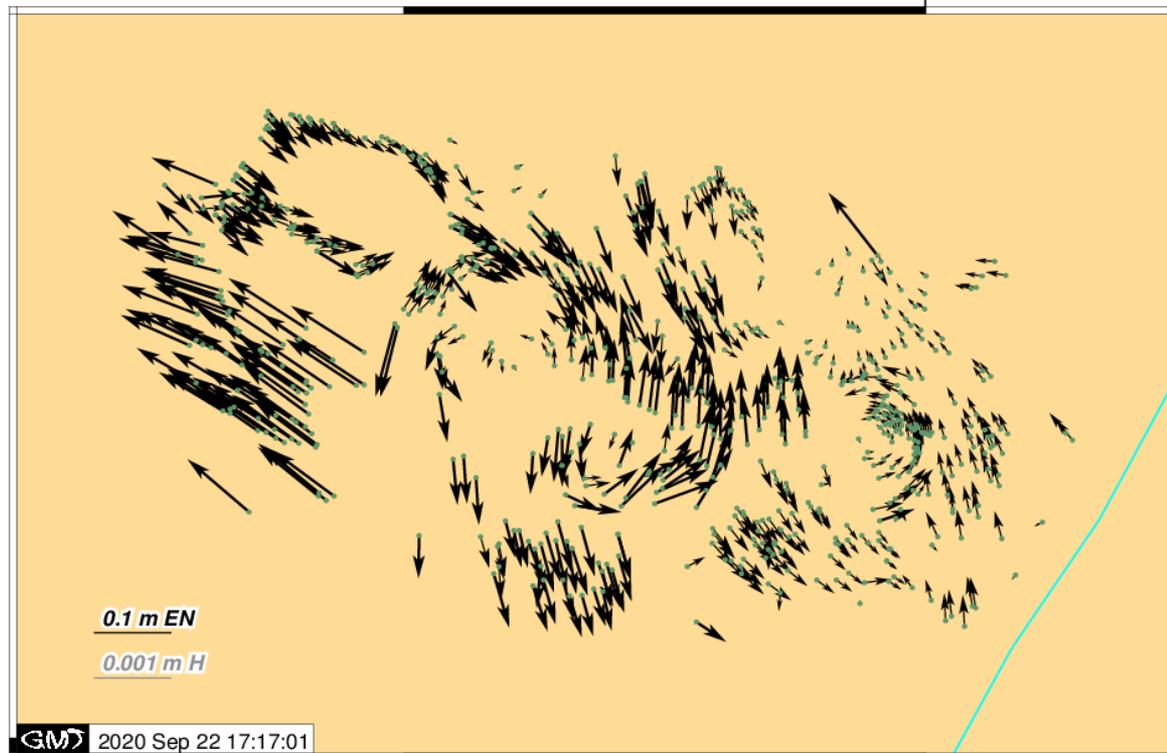


résidus sur les points de contrôle avec la transformation à 7 paramètres sur la zone étendue



Transformation sur la zone dense

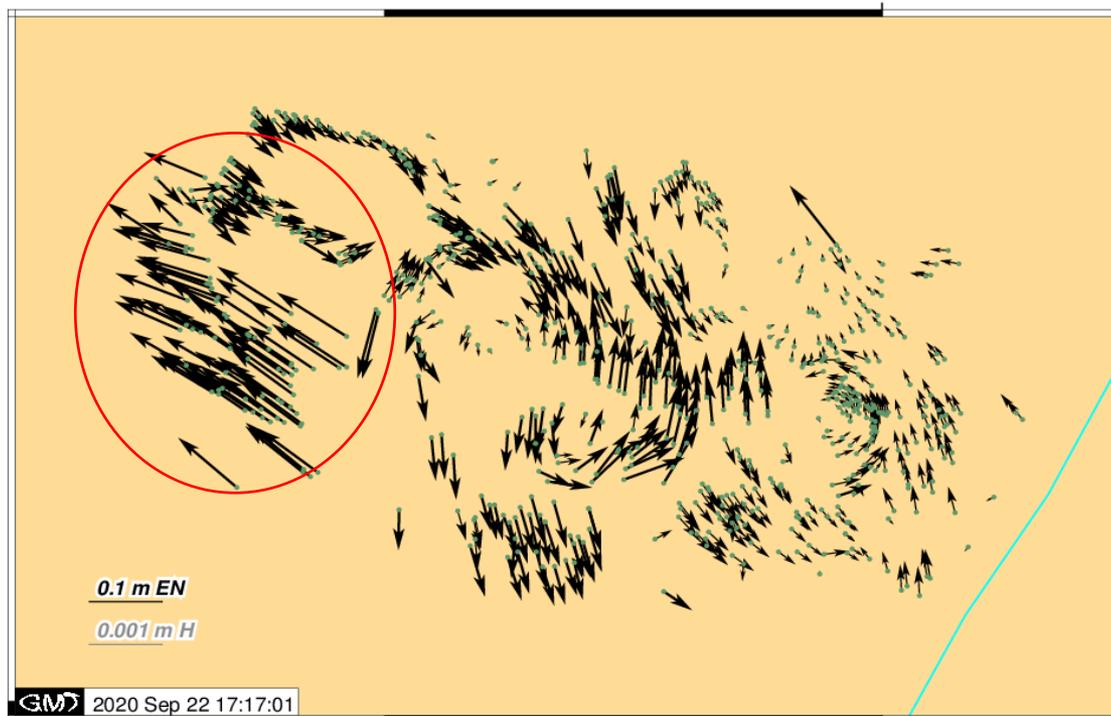
- Les limites de la zone dense pour la sélection des points sont très simples :
 - Longitude : supérieure à 2.2242° Est
 - Latitude : toutes
 - La sélection ramène 695 points, deux points supplémentaires ont été désactivés





Transformation sur la zone dense

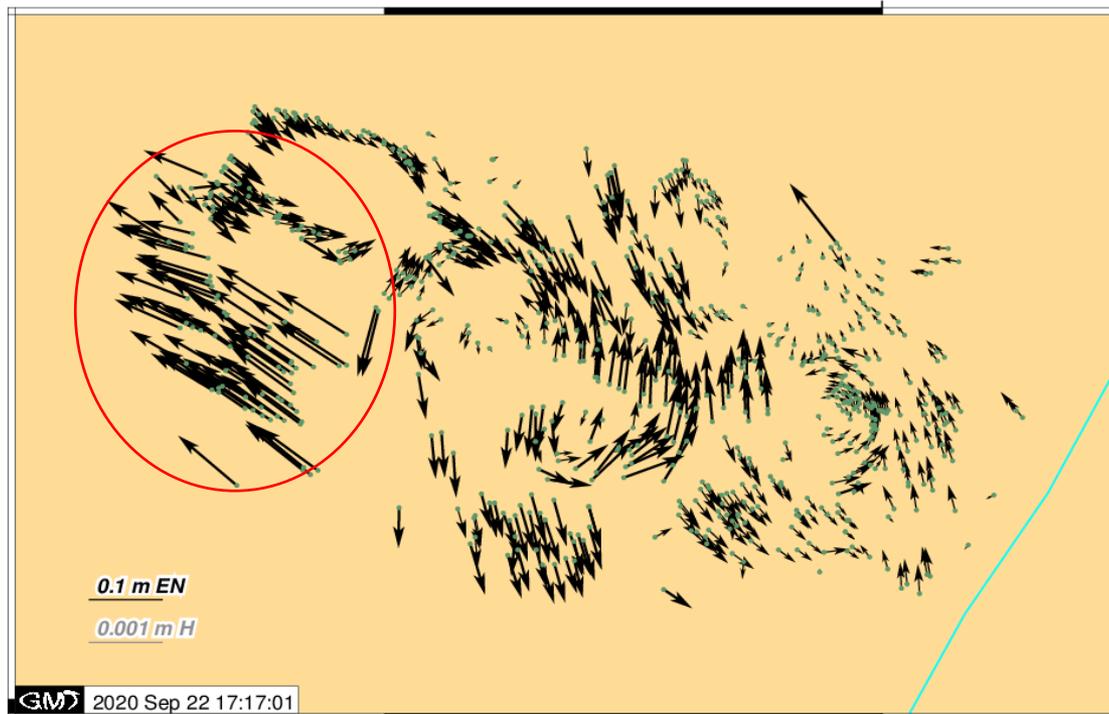
- Résultats d'une première transformation à 7 paramètres
 - la non-prise en compte du facteur d'échelle dans les travaux de l'EPAD peut expliquer pourquoi les résidus augmentent au fur et à mesure que les points sont éloignés de la dalle piétonne.
 - l'ouest de la zone dense (ellipse rouge sur la figure) a un comportement homogène, et significativement différent du reste de la zone.





Transformation sur la zone dense

- Choix du calcul d'une grille de paramètres
 - Densité suffisante du nombre de points colocalisés
 - Meilleur raccord avec la transformation nationale en limite de zone





Transformation sur la zone dense

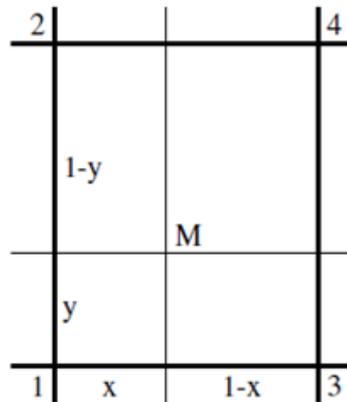


- Principe d'une grille de paramètres de transformation
 - Fournir un triplet de valeurs Tx, Ty, Tz pour chaque nœud d'une grille régulière
 - Interpolation d'une transformation en chaque point à l'intérieur à la grille (interpolation bilinéaire)

En-tête de la grille (voir documentation 'Notice descriptives des grilles' : <https://geodesie.ign.fr/index.php?page=grilles#titre3>)

1	2.2245000000	2.2585000000	48.8815000000	48.8985000000	0.00025000000000	0.00025000000000	2	1	3	0	0	0	0	Grille EPAD NTF vers RGF93
2	48.899	2.224	-196.7399	-59.7031	287.6223									
3	48.899	2.225	-196.7393	-59.7015	287.6219									
4	48.899	2.225	-196.7387	-59.6999	287.6215									
5	48.899	2.225	-196.7382	-59.6984	287.6213									
6	48.899	2.225	-196.7378	-59.6971	287.6210									
7	48.899	2.226	-196.7374	-59.6958	287.6208									
8	48.899	2.226	-196.7370	-59.6947	287.6207									
9	48.899	2.226	-196.7368	-59.6936	287.6206									
10	48.899	2.226	-196.7366	-59.6927	287.6206									
11	48.899	2.227	-196.7364	-59.6920	287.6206									
12	48.899	2.227	-196.7363	-59.6913	287.6207									
13	48.899	2.227	-196.7362	-59.6908	287.6208									
14	48.899	2.228	-196.7363	-59.6903	287.6210									
15	48.899	2.228	-196.7363	-59.6900	287.6212									
16	48.899	2.228	-196.7364	-59.6897	287.6215									
17	48.899	2.228	-196.7366	-59.6896	287.6218									
18	48.899	2.228	-196.7368	-59.6895	287.6222									

lat	lon	Tx	Ty	Tz
-----	-----	----	----	----



Interpolation bilinéaire

$$T_M = (1-x)(1-y) T_1 + (1-x)y T_2 + x(1-y) T_3 + xy T_4$$

$$\text{avec } T_i = (T_{Xi} \ T_{Yi} \ T_{Zi})^T \quad (i = 1,4)$$

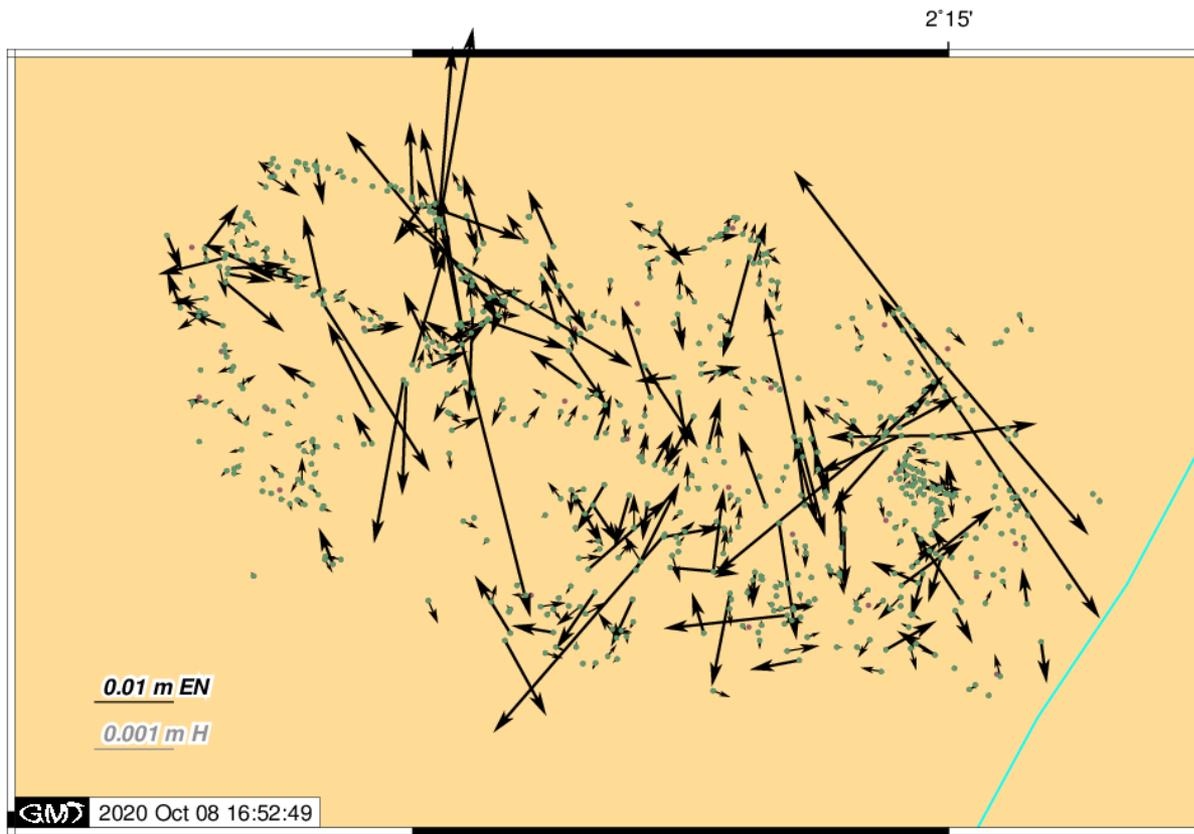
$$\text{avec } x = \frac{\lambda_M - \lambda_1}{\lambda_3 - \lambda_1} \quad y = \frac{\phi_M - \phi_1}{\phi_2 - \phi_1}$$

$$T_M = \begin{pmatrix} X_{MR} - X_{MN} \\ Y_{MR} - Y_{MN} \\ Z_{MR} - Z_{MN} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (1-x)(1-y) & (1-x)y & x(1-y) & xy \end{pmatrix} \begin{pmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ T_4 \end{pmatrix}$$



Transformation sur la zone dense

- Calcul d'une grille de paramètre par krigeage (outil Cooriste IGN)
 - Plusieurs étapes de validation, suppression de points en erreur => processus itératif



résidus sur les points de calage, grille 3D (v5), pas 0.00025°



Transformation sur la zone dense

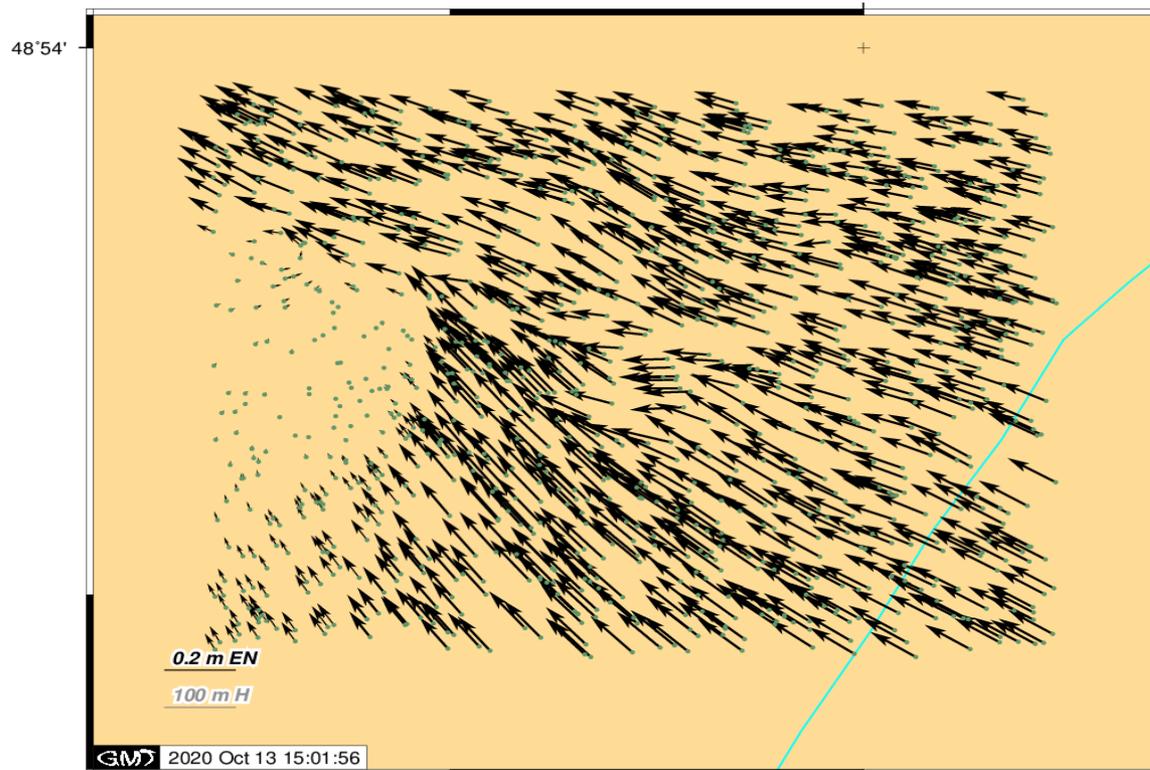


- Calcul d'une grille de paramètre par krigeage
 - Les résidus (en horizontal) de la validation du krigeage (résidu sur chaque point obtenu par comparaison des coordonnées RGF93 existantes avec les coordonnées RGF93 transformées avec une grille calculée SANS ce point) sont inférieurs à 12 cm
 - Les résidus (en horizontal) sur les points de contrôle varient de 0 à 3,5 cm
 - Les résidus sur les points de calage sont tous inférieurs à 5 cm (619 points ont des résidus inférieurs à 2 cm, soit 98%) ; la moyenne des résidus planimétriques est nulle, et les écarts-types valent 3 mm (E) et 5 mm (N)
 - L'exactitude de la transformation par cette grille est estimée à 2 cm (à 1 sigma)



Transformation sur la zone dense

- Comparaison à la grille nationale NTF – RGF93 (gr3df97a)
 - Ce calcul montre que les écarts en distance (planimétrique) entre les deux transformations sont en moyenne de 17 cm, avec un minimum de 1 mm et un maximum de 19 cm

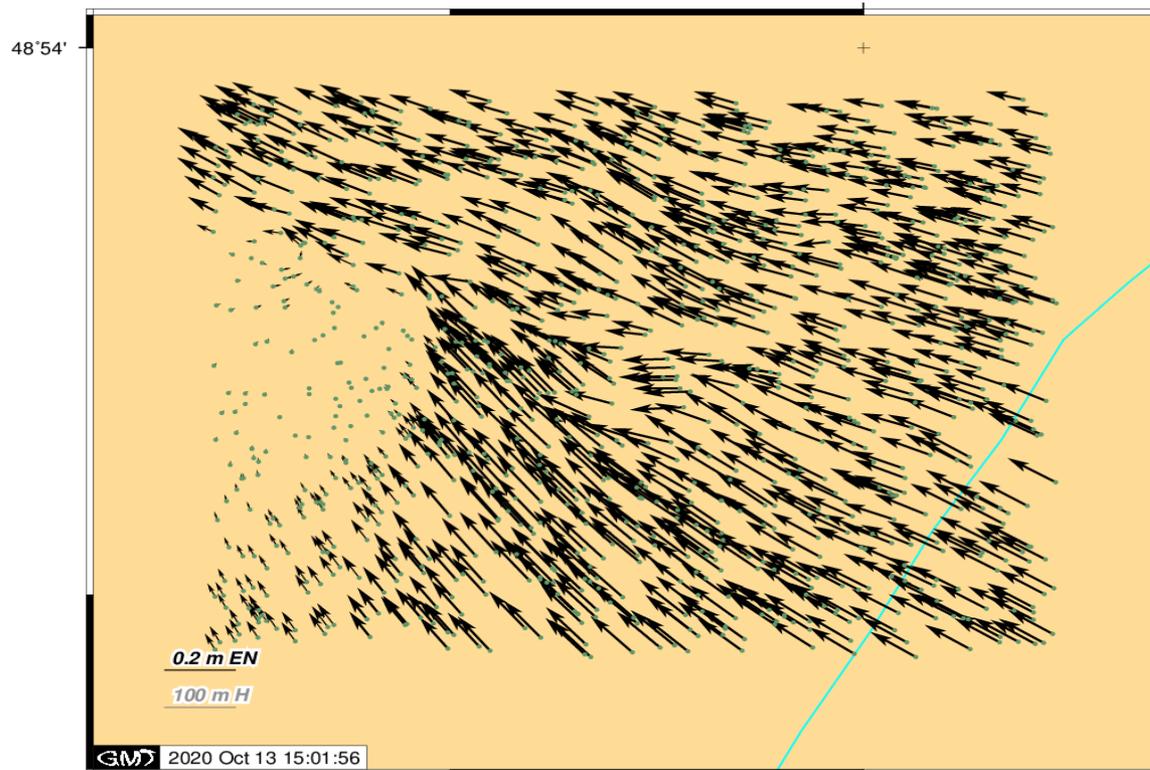


écarts planimétriques entre la grille locale EPAD et la grille nationale gr3df97a



Transformation sur la zone dense

- Comparaison à la grille nationale NTF – RGF93 (gr3df97a)
 - Ce calcul montre aussi que les coordonnées RGF93 des points fournis par l'EPAD pour la partie ouest au centre de la zone ont été obtenues à partir de coordonnées NTF EPAD en utilisant... la grille nationale !



écarts planimétriques entre la grille locale EPAD et la grille nationale gr3df97a



Commission Géo-Positionnement

Recommandations sur les transformations



- Point transformés avec la grille nationale.
- Plusieurs points ont été identifiés comme ayant des coordonnées suspectes (vraisemblablement coordonnées NTF EPAD)
 - Vérification de ces points nécessaires
- Utilisation pratique de la grille
 - Formats de la grille : NTV2 ou format Circé (.tac)
 - Nécessité d'une 1^{ère} transformation pour se localiser dans la grille



Recommandations sur les transformations



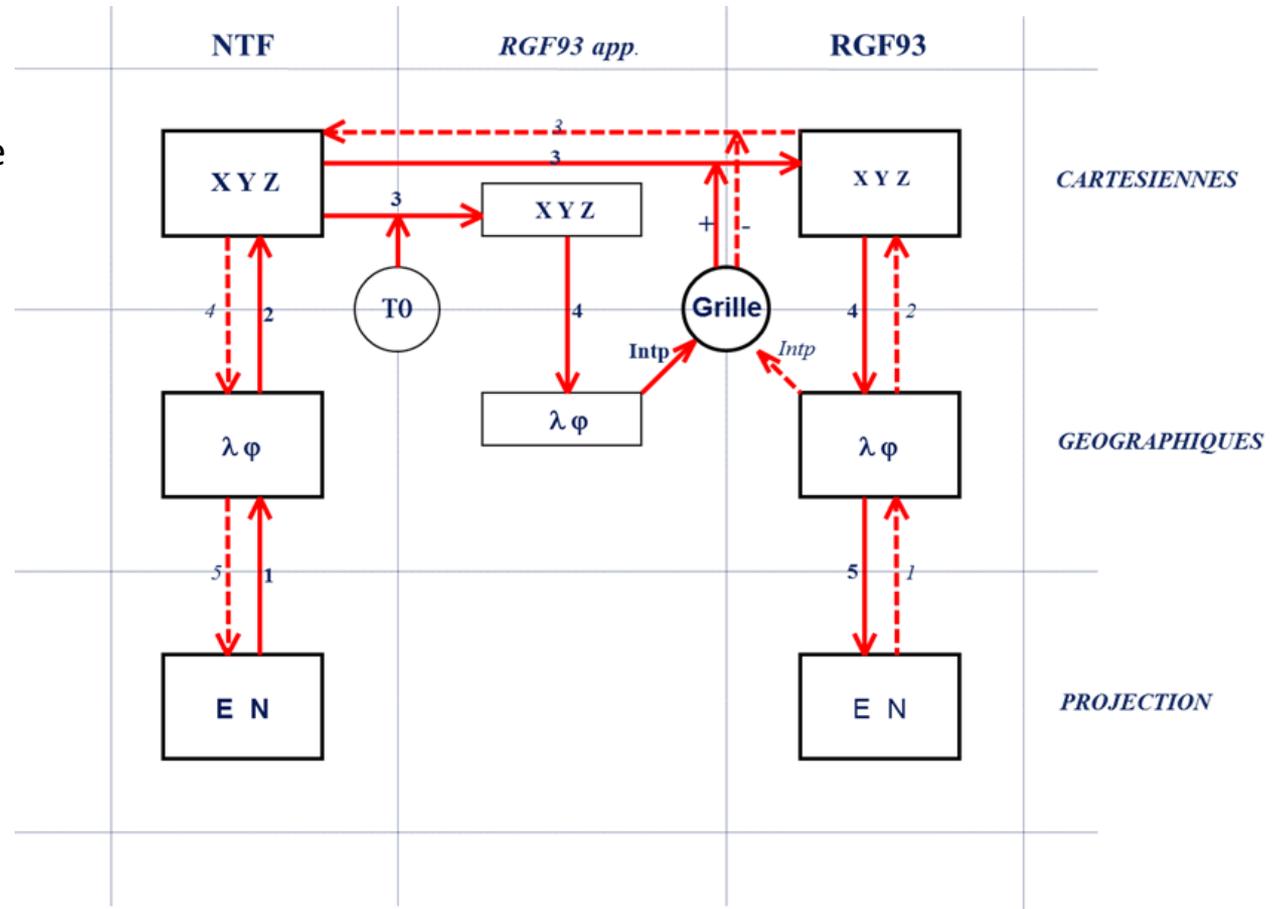
- Utilisation de la grille de transformation

T0 issu de la grille nationale

$$T_{X(0)} = -168.35 \text{ m}$$

$$T_{Y(0)} = -58.70 \text{ m}$$

$$T_{Z(0)} = +320.260 \text{ m}$$





Exploitation de la grille

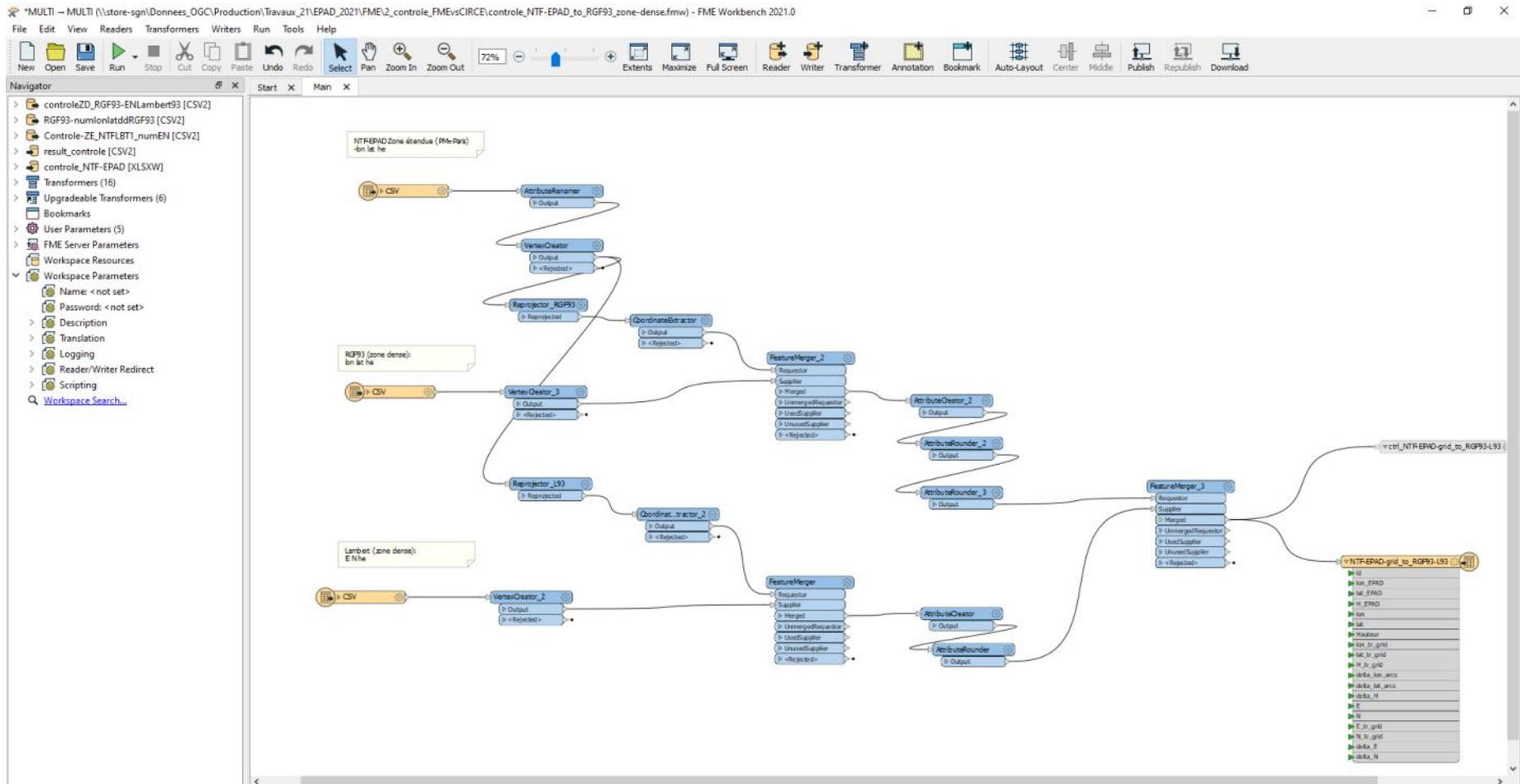
- La grille telle que produite par l'IGN peut-être implémentée dans Circé
- ❖ La plupart des fichiers EPAD sont au format AutoCAD, ce n'est pas un format supporté par Circé
- Le logiciel de transformation des données plus couramment utilisé à Paris La Défense est FME
- Implémentation de système géodésiques locaux et de transformation spécifiques dans FME



Logiciel FME : Extract-Transform-Load



- Logiciel propriétaire de transformation de données par lot





Paramétrage géodésique dans FME

- Les systèmes géodésiques locaux, projections spécifiques et transformations ne peuvent pas être introduites dans FME via des transformers (manipulation usuelle)
- Ce paramétrage doit être introduit manuellement dans les fichiers de configuration de FME :

 MyCoordSysDefs.fme

- La grille de transformation doit également être ajoutée dans un dossier de configuration :

 gr3dEPAD20aNTV2.gsb

 gr3df97a.txt



Paramétrage géodésique dans FME

- Edition du fichier  MyCoordSysDefs.fme
- Il s'agit d'un fichier texte éditable à la main.
- Deux lieu de stockage possible pour le fichier de configuration :
 - %USER%\Documents\FME\FME\CoordinateSystems
Dans ce cas, la configuration est associée au compte utilisateur
 - C:\Program Files\FME\Reproject\MyCoordSysDefs.fme
Nécessite des droits administrateur, configuration valable pour tous les utilisateurs sur un poste



Paramétrage géodésique dans FME

- Edition du fichier  MyCoordSysDefs.fme
- Définition des systèmes géodésiques (Datum)
 - Une seule transformation applicable entre deux systèmes
 - Nécessité de définir deux datums différents : zone dense et zone étendue qui utilisent deux transformations différentes

```
#=====Définition d'un Datum spécifique NTF_EPAD=====
DATUM_DEF
NTF_EPAD \ DESC_NM "Définition d'un Datum NTF_EPAD" \
SOURCE "prestation IGN\SGM pour EPAD" \
ELLIPSOID CLRK-IGN \
#=====Définition d'un Datum spécifique NTF_EPAD_ZE=====
DATUM_DEFNTF_EPAD_ZE \
DESC_NM "Définition d'un Datum NTF_EPAD Zone étendue" \
SOURCE "prestation IGN\SGM pour EPAD" \
ELLIPSOID CLRK-IGN \
```



Paramétrage géodésique dans FME

- Définition des systèmes de coordonnées
 - Pour chaque datum, les différents système de coordonnées doivent être définis : géographiques, projetés

```
#=====Définition d'un système de référence géographique NTF_EPAD=====
# Système de référence défini par IGN\SGM dans le cadre d'une prestation pour EPAD
# Système proche du NTF, adapté aux déformations du canevas EPAD et nommé ici NTF-EPAD
# Ce système est associé à la "zone dense" des points du canevas NTF-EPAD.
# Longitude méridien de Paris : 2.337229167° (DD) soit 2°20'14,025" (DMS)
COORDINATE_SYSTEM_DEF NTF-EPAD \
GROUP EUROPE \
DESC_NM "NTF-EPAD, PM=Paris, Clarke IGN, Geographic, IGN\SGM" \
SOURCE "EPAD-prestation IGN\SGM" \
DT_NAME NTF_EPAD \
PROJ LL \
UNIT DEGREE \
ORG_LNG 2.337229166666667 \
ORG_LAT 0.0 \
ZERO_X 0.000000001 \
ZERO_Y 0.000000001 \
MAP_SCL 1.0
```



Paramétrage géodésique dans FME

- Définition des systèmes de coordonnées
 - Pour chaque datum, les différents système de coordonnées doivent être définis : géographiques, projetés

#=====Définition d'un système en projection Lambert 1 pour NTF_EPAD=====

Système de référence défini par IGN\SGM dans le cadre d'une prestation pour EPAD

Système proche du NTF, adapté aux déformations du canevas EPAD et nommé ici NTF-EPAD

Ce système est associé à la "zone dense" des points du canevas NTF-EPAD.

Les paramètres de la projection Lambert 1 Nord sont associés au système NTF-EPAD

COORDINATE_SYSTEM_DEF **NTF-EPAD-L1 **

GROUP EUROPE \

DESC_NM "NTF-EPAD, PM=Paris, Clarke IGN, Lambert 1, IGN\SGM" \

SOURCE "EPAD-prestation IGN\SGM" \

**DT_NAME NTF_EPAD **

**PROJ LM1SP **

Type de projection

QUAD 1 \

UNIT METER \

**ORG_LNG 2.337229166666667 **

**ORG_LAT 49.5 **

**SCL_RED 0.99987734 **

**X_OFF 600000 **

**Y_OFF 200000 **

**ZERO_X 0.000000001 **

**ZERO_Y 0.000000001 **

MAP_SCL 1.0

Paramètres de la projection Lambert 1



Paramétrage géodésique dans FME

- Définition de la transformation grille entre Datums

```
#=====Définition de la transformation NTF-EPAD vers RGF93=====
```

```
# Utilisation de la grille de transformation produite par IGN\SGM  
# entre les systèmes NTF-EPAD défini ci-dessus et RGF93  
# La grille étant exprimée en RGF93, la transformation doit être définie  
# comme RGF93 vers NTF_EPAD avec la possibilité de transformation inverse  
# et définie comme transformation inverse dans le GRID_FILE, car les  
# paramètres sont ceux de NTF EPAD vers RGF93
```

```
XFORM DEF Transfo_Grid NTV2_NTF-EPAD to RGF93 \
```

```
SRC_DTM RGF93 \  
TRG_DTM NTF_EPAD \
```

Datums origine et destination

```
DESC_NM "Tranfo_grille_NTF-EPAD_to_RGF93" \  
SOURCE "Prestation IGN pour EPAD-La Défense basé sur NTF" \
```

```
INVERSE Yes \
```

```
MAX_ITR 10 \  
CNVRG_VAL 1e-09 \  
ERROR_VAL 5e-08 \  
METHOD GRID_INTERP \
```

Chemin vers la grille NTV2

```
GRID_FILE NTV2,inv,.\GridData\France\gr3dEPAD20aNTV2.gsb \
```



Paramétrage géodésique dans FME

- Définition de la transformation 7 paramètres entre Datums

#=====Définition de la transformation NTF-EPAD "Zone étendue" vers RGF93=====

Utilisation de la transformation à 7 paramètres produite par IGN\SGM

entre les systèmes NTF-EPAD "Zone étendue" défini ci-dessus et RGF93

XFORM_DEF NTF-EPAD_ZE_RGF93 \

SRC_DTM NTF_EPAD_ZE \

TRG_DTM RGF93 \

Datums origine et destination

DESC_NM "NTF-EPAD Zone étendue vers RGF93" \

SOURCE "Prestation IGN-SGM" \

GROUP EUROPE \

INVERSE Yes \

MAX_ITR 8 \

CNVRG_VAL 1e-09 \

ERROR_VAL 1e-06 \

METHOD BURSAWOLF \

Méthode de transformation

DELTA_X -312.1226 \

DELTA_Y -13.6082 \

DELTA_Z 166.4971 \

BWSALE 26.062177 \

ROT_X 7.623141 \

ROT_Y 0.469129 \

ROT_Z 6.212628

Paramètres de transformation

Attention aux signes des rotations

Il existe différentes conventions !!!

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}^B = \begin{bmatrix} T_X \\ T_Y \\ T_Z \end{bmatrix} + (1 + s \cdot 10^{-6}) \cdot \begin{bmatrix} 0 & -R_Z & R_Y \\ R_Z & 0 & -R_X \\ -R_Y & R_X & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}^A$$



Commission Géo-Positionnement

Vérification du paramétrage



- Comparaison de la transformation NTV2 dans FME avec la transformation dans Circé
 - Quelques millimètres d'écart
 - Approximation liées à l'interpolation
 - Transformation d'une précision de 1 à 5 cm



Mise en œuvre de la configuration



- Installation des fichiers chez Paris La Défense
 - Dépôt des fichiers dans les dossiers adéquats (mode utilisateur ou administrateur)

 MyCoordSysDefs.fme

 gr3dEPAD20aNTV2.gsb

 gr3df97a.txt

- Rédaction d'un document de procédure d'installation

 configuration-utilisation_FME_transfo_NTF-EPAD_v1.0.pdf

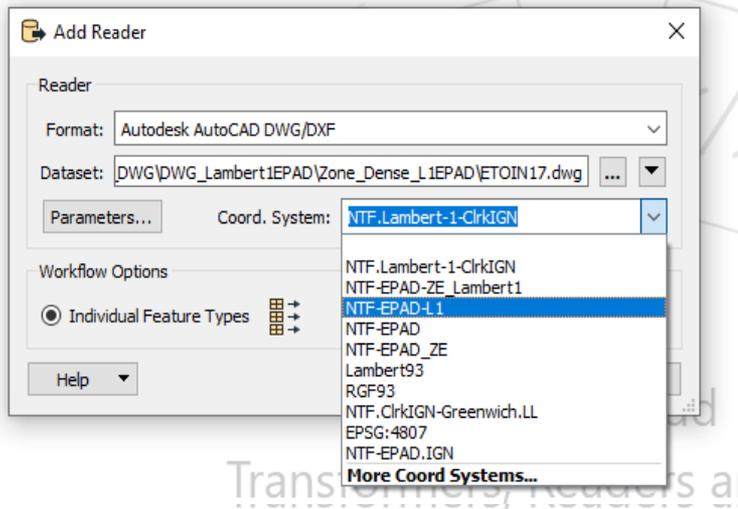
- Test et démonstration sur les fichiers AutoCAD de Paris La Défense avec les utilisateur finaux de l'utilisation des transformations dans FME



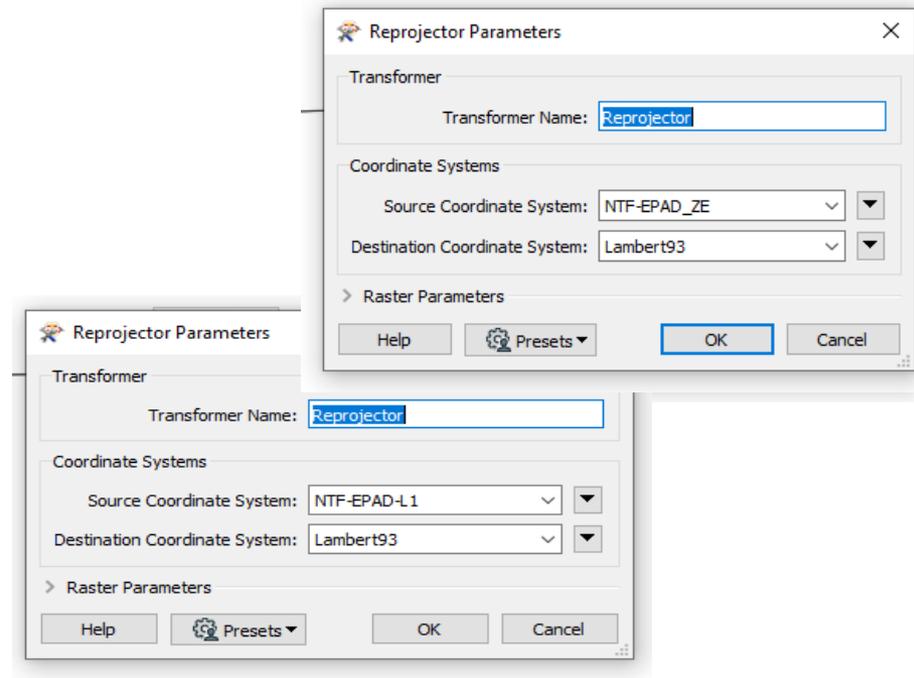
Mise en œuvre de la configuration



- Utilisation des nouveaux systèmes
 - Accès via les outils permettant de choisir les systèmes de coordonnées dans FME
 - Le choix de la transformation (grille ou 7 paramètres) se fait en fonction du choix du système de coordonnées NTF-EPAD ou NTF-EPAD_ZE



Reader (lecture des données)



Reprojector (transformation entre système)



Commission Géo-Positionnement

Rex



Outil utilisé par le Pole Foncier et Le Pole Ingénierie urbaine.

- Points forts de l'outil
 - Bonne précision inférieure à 2 cm après transformations
 - Facilite la superposition des données foncières et topographiques
 - Permet les transformations des planches topographiques du NTF EPAD (Lambert1 EPAD) au RGF 93 (Lambert 93)
 - Utilisation facile (Workbench FME déjà prêt)
- Points d'amélioration
 - Problème de structuration des calques lors de la transformation par FME
 - La non prise en charge de l'altimétrie.
- Prochaines étapes
 - Mise à disposition de l'outil à nos prestataires géomètres
 - Continuer la collaboration avec l'IGN