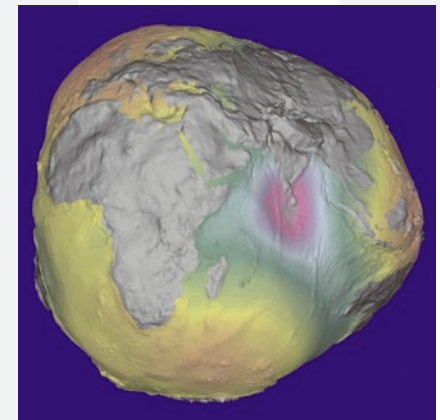
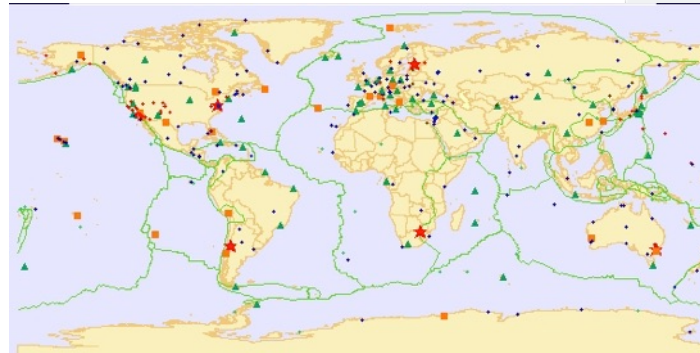
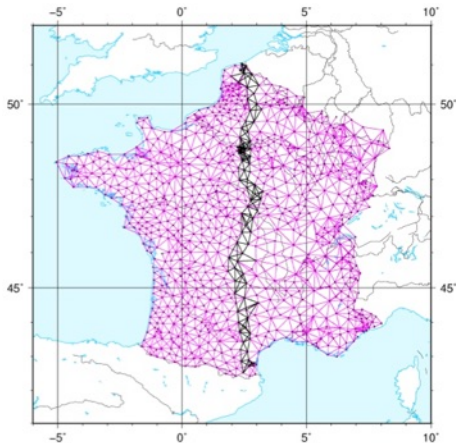




Les référentiels géodésiques



GeoPos
GT références géodésiques
28 janvier 2015

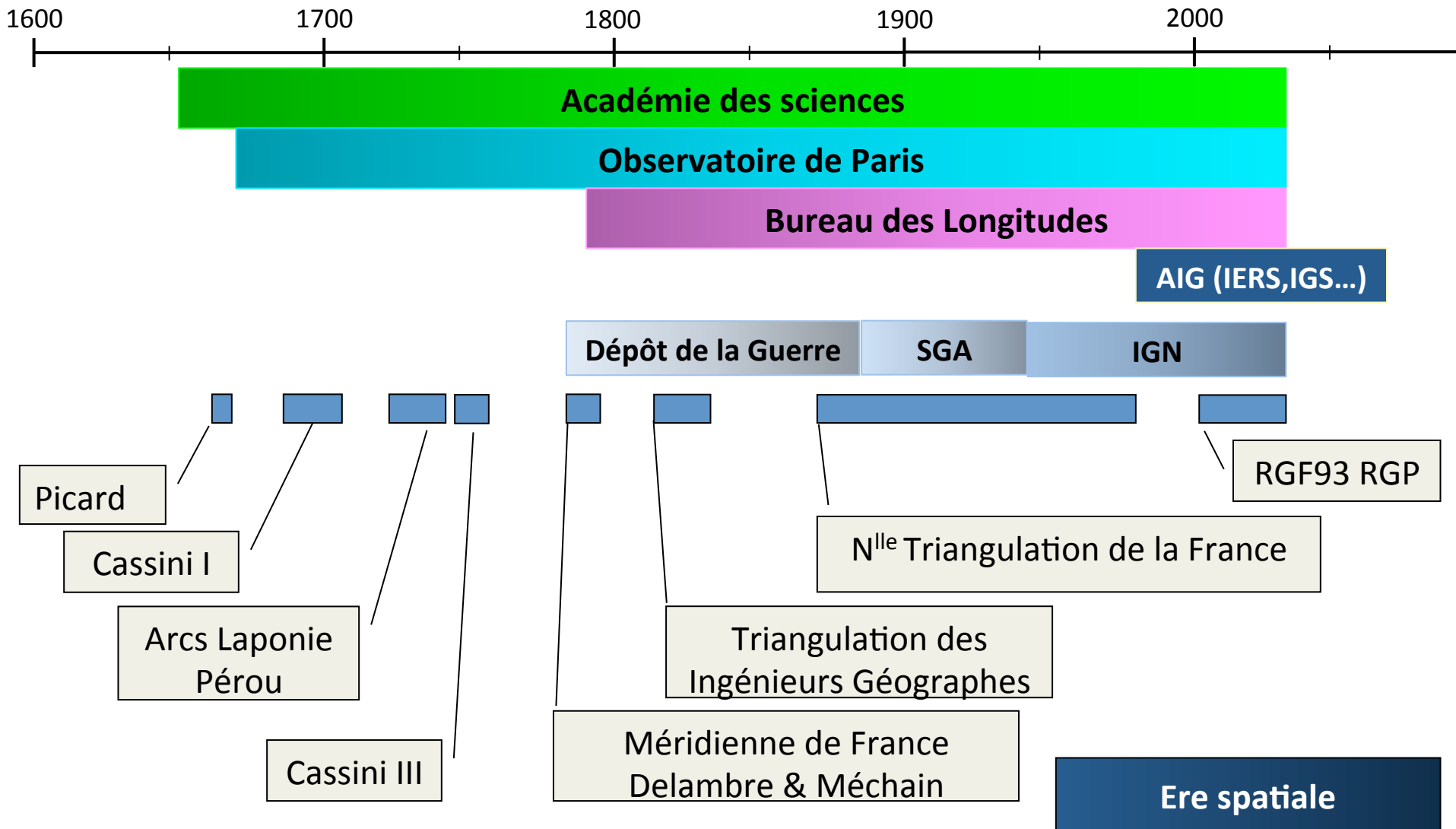
Alain HARMEL
alain.harmel@gmail.com

Les grandes étapes de la géodésie française

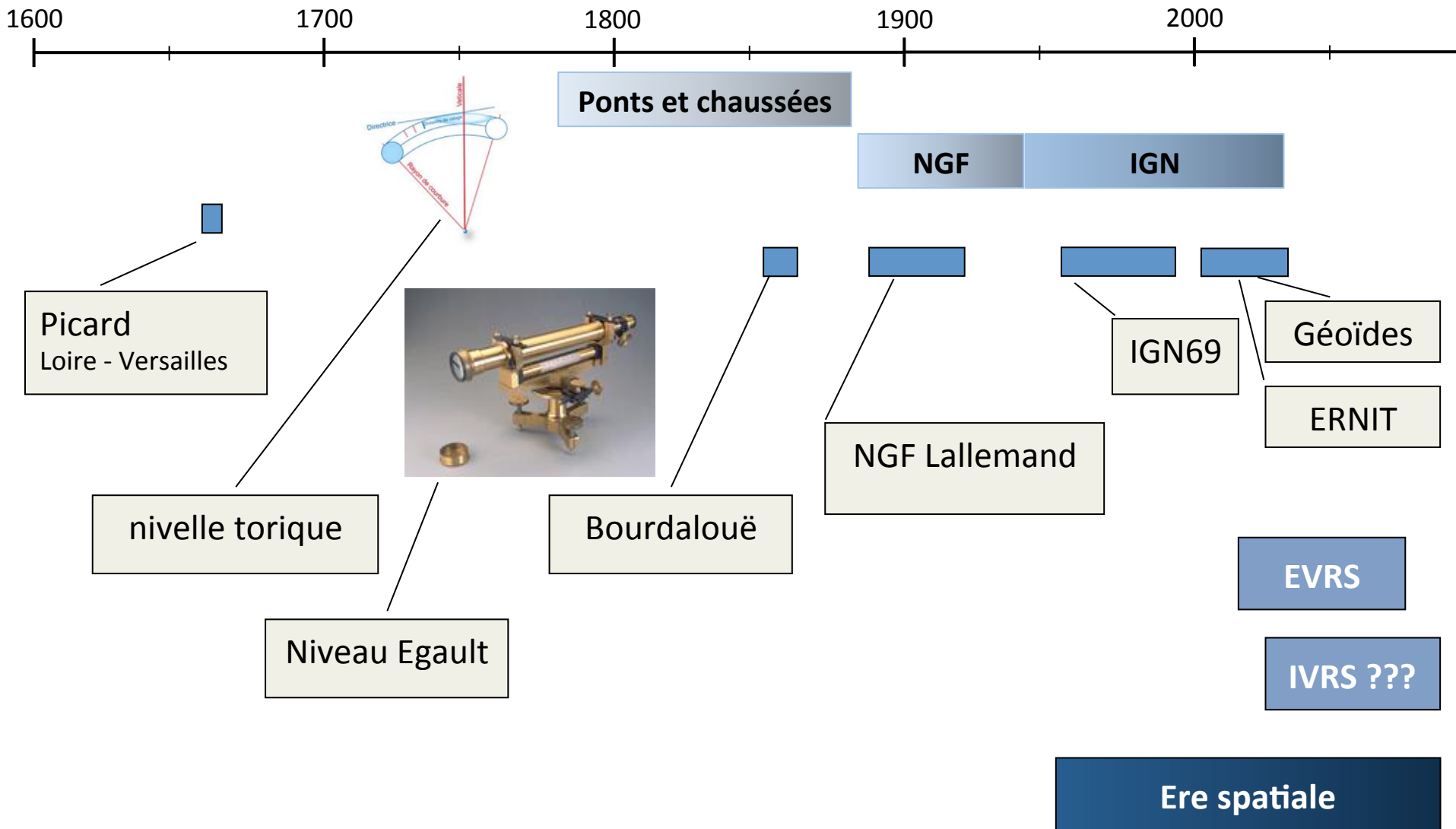
- 1669-1671 la méridienne Paris Amiens (Picard)
- 1672 Observatoire de Paris
- 1683-1701 méridienne de Cassini
- 1736 arc de Laponie
- 1736 – 1744 arc du Pérou
- 1792 -1798 méridienne de France (Delambre et Méchain)
- 1795 Bureau des longitudes
- 1818-1830 triangulation des Ingénieurs Géographes
- 1870-1991 la Nouvelle Triangulation de la France
- 1957 Spoutnik. Naissance de la géodésie spatiale
- 1980 GPS
- 1988 IERS (Service international de la rotation de la Terre)
- 2000 adoption du RGF93. Le réseau GPS permanent



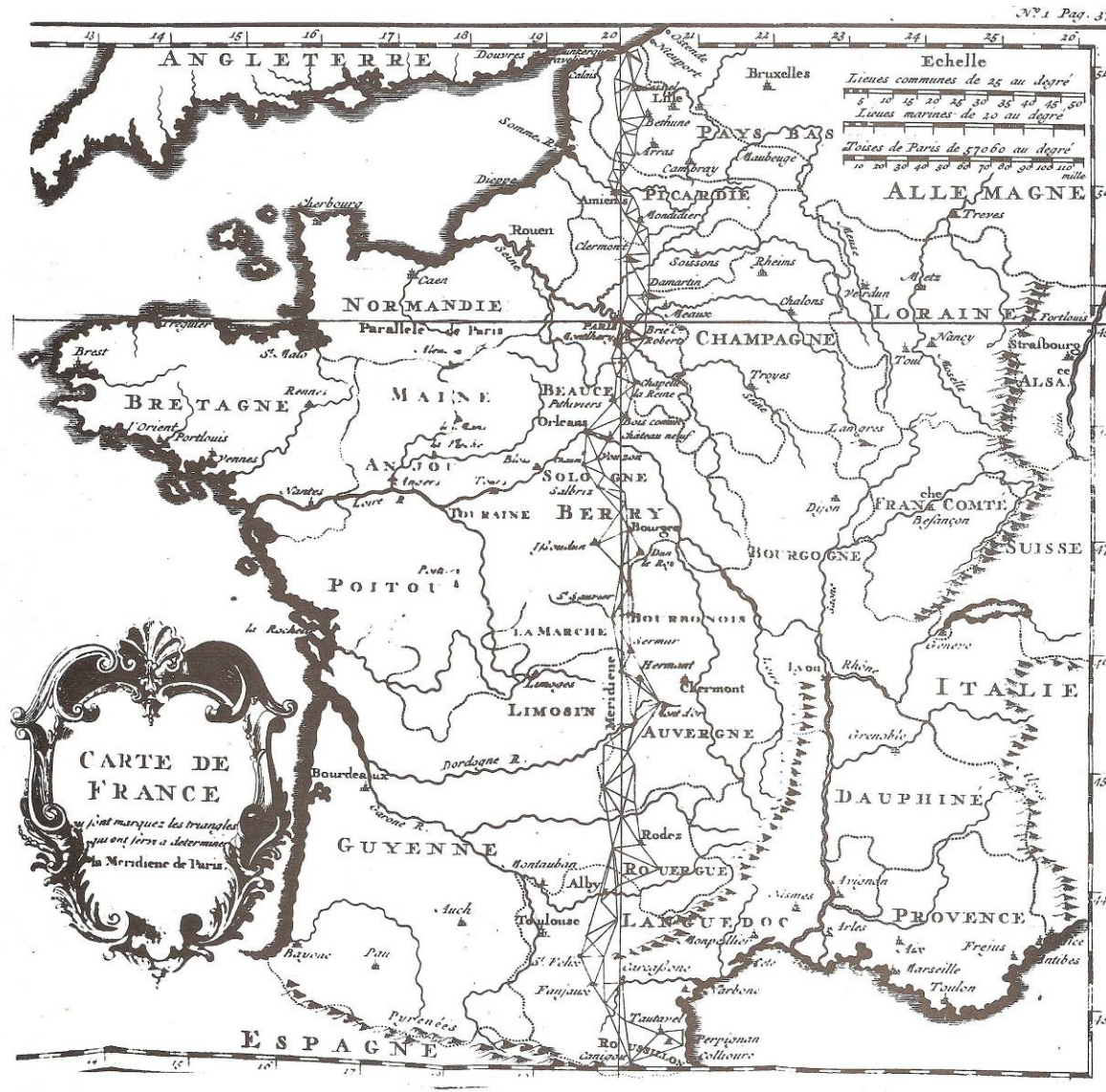
Une chronologie



Une chronologie du nivellement en France



La méridienne de Cassini

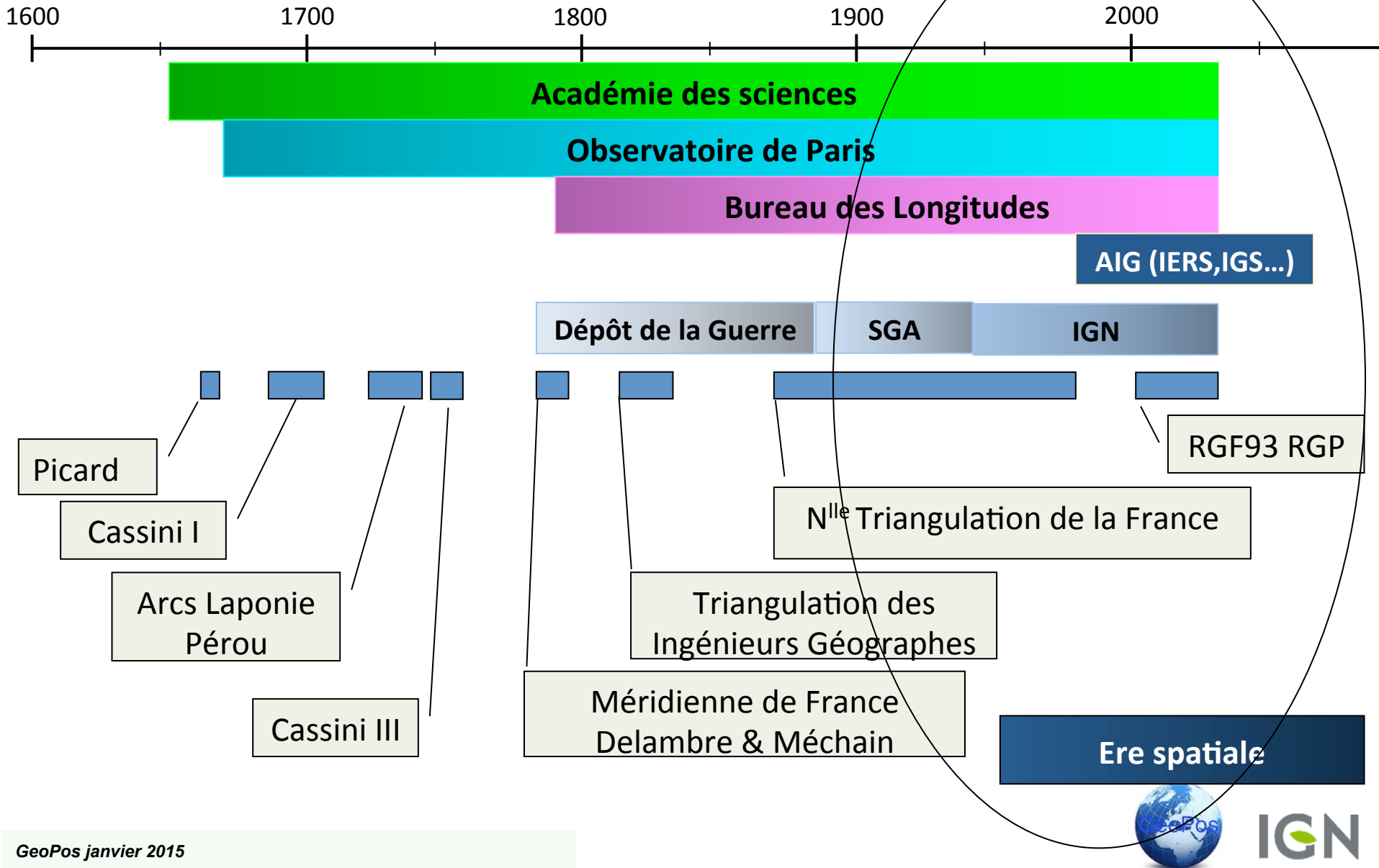


Paris –Dunkerque
 $1^\circ = 56960$ toises

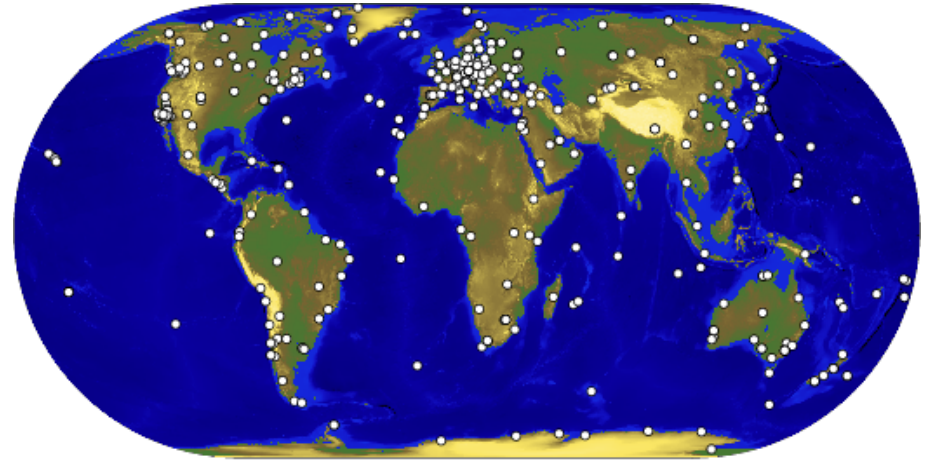
Paris –Collioure
 $1^\circ = 57097$ toises



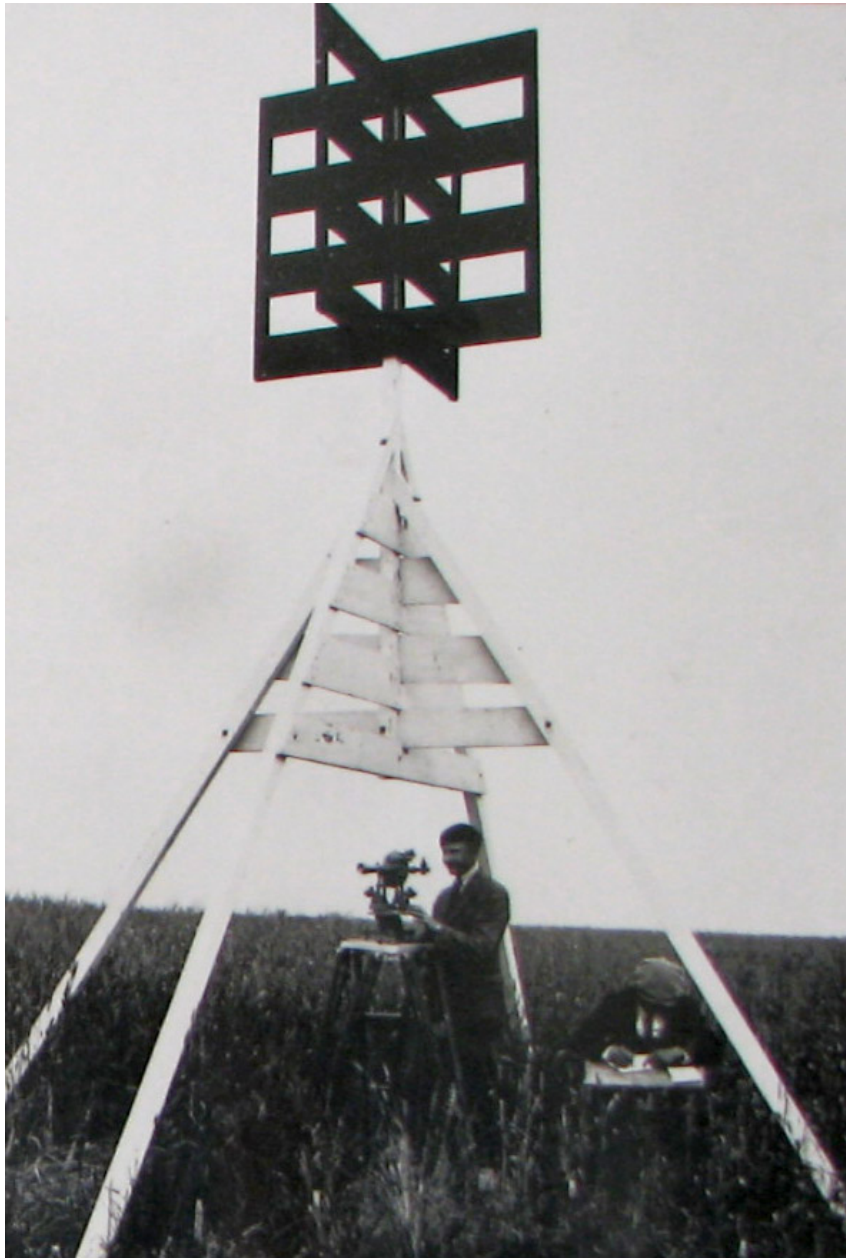
L'évolution des références géodésiques ...



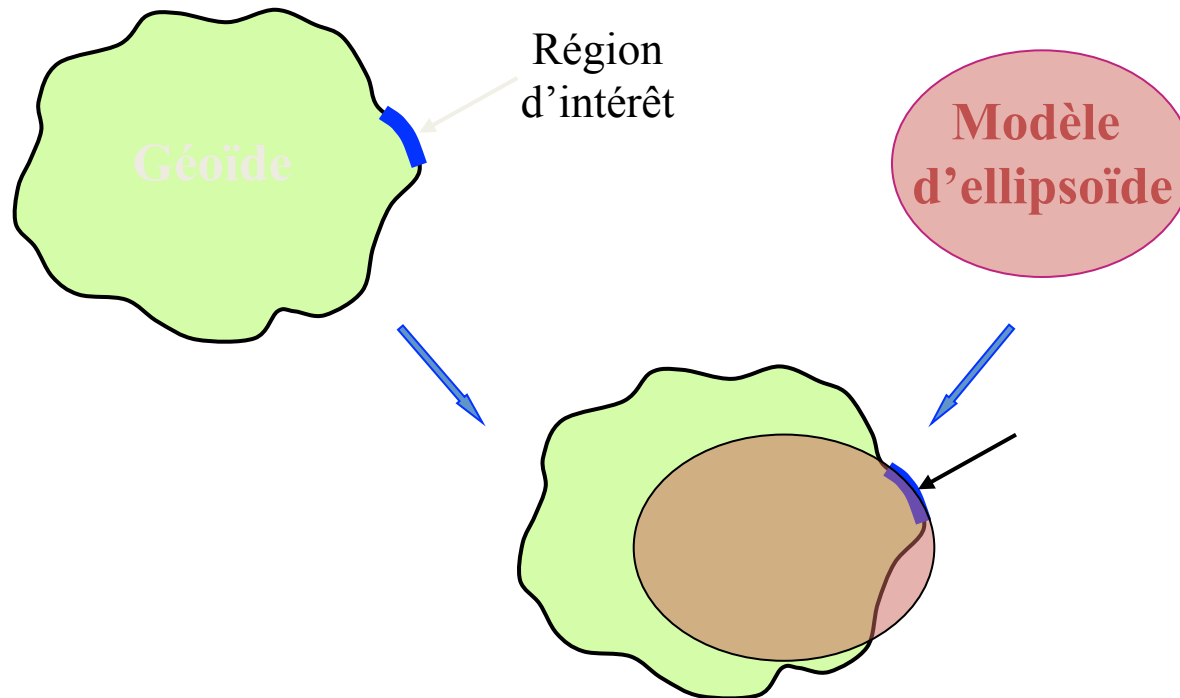
L'évolution des références géodésiques



de la NTF au RGF...



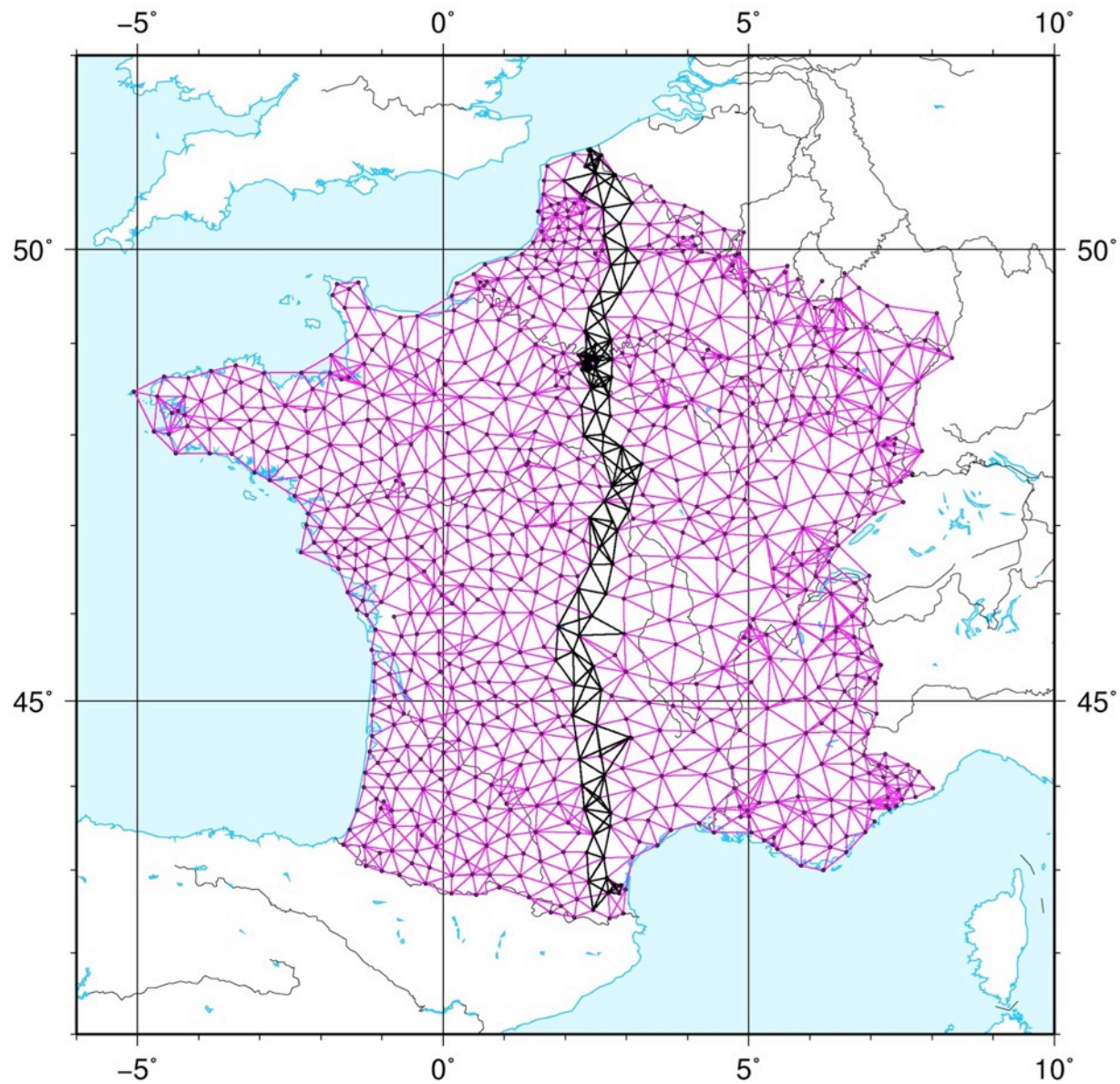
SYSTEME GEODESIQUE « LOCAL »



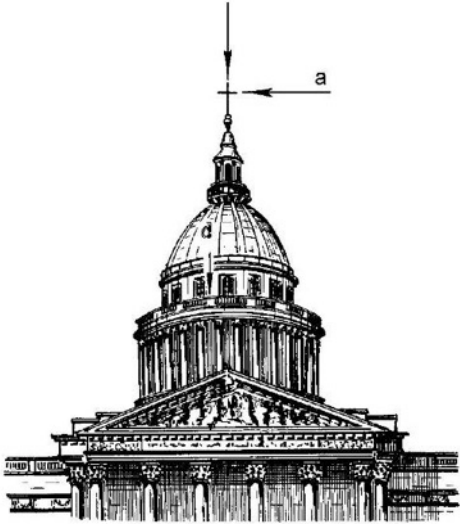
La Nouvelle Triangulation de la France



La Nouvelle Triangulation de la France

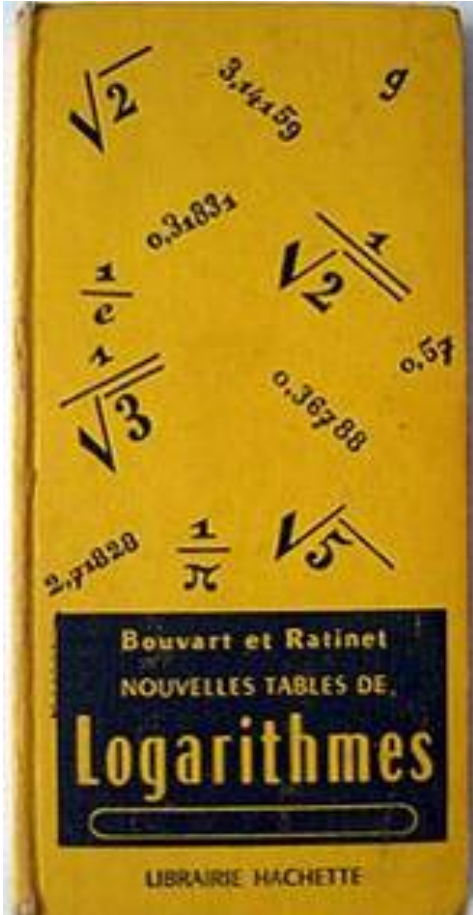


Des observations





Et des calculs...



(après 1970)



Systeme en usage en France : la NTF

Jusqu'en 2000, le système géodésique utilisé en France métropolitaine est le système NTF (« Nouvelle Triangulation de la France »)

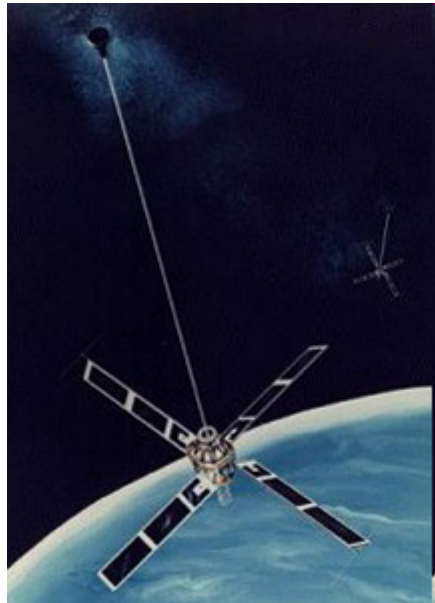
Systeme de référence : - bidimensionnel
- Point fondamental : Paris-Panthéon
- Ellipsoïde : CLARKE 1880 IGN
 a = 6 378 249.2 m
 b = 6 356 515.0 m
- Méridien origine Paris-Observatoire(2°20'14.025" E de Greenwich)

Systeme de coordonnées : - longitudes, latitudes en grades
- Projection : X, Y Lambert I, II, III et IV

Accès : - Réseau de 80 000 points (en quatre ordres de précision équivalente)
- Précision : 10^{-5} (soit 1cm par km)

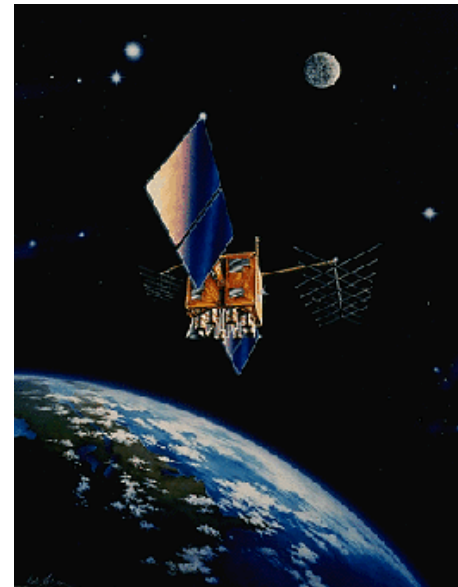
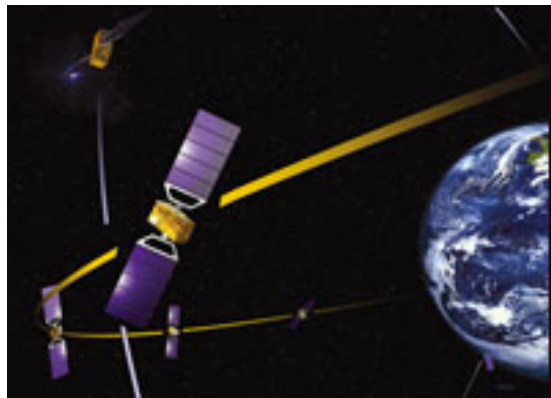
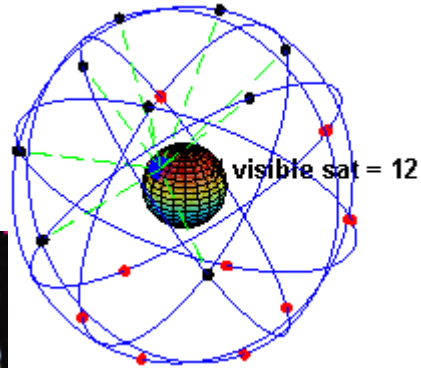


1970's 2000's ... l'ère spatiale

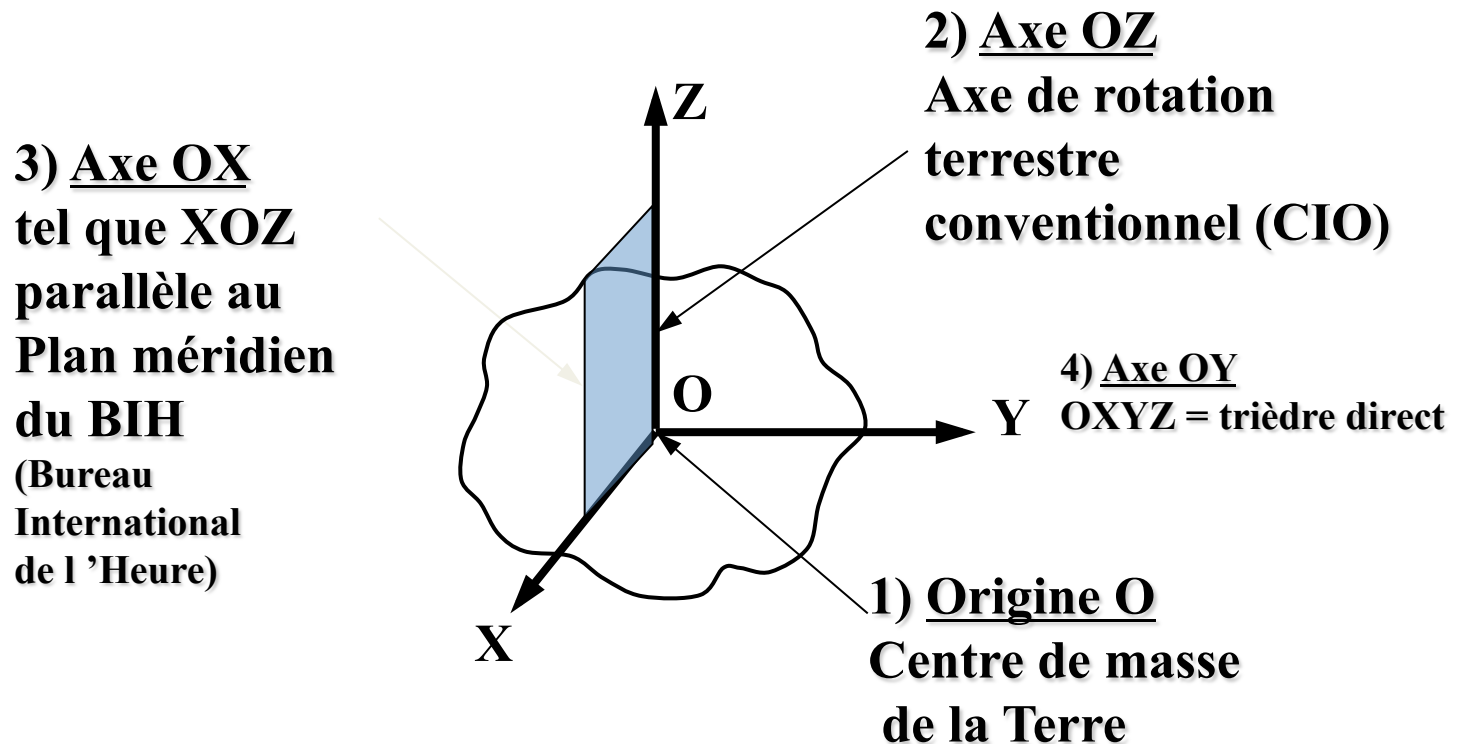


1970's 2000's ...

L'ère spatiale



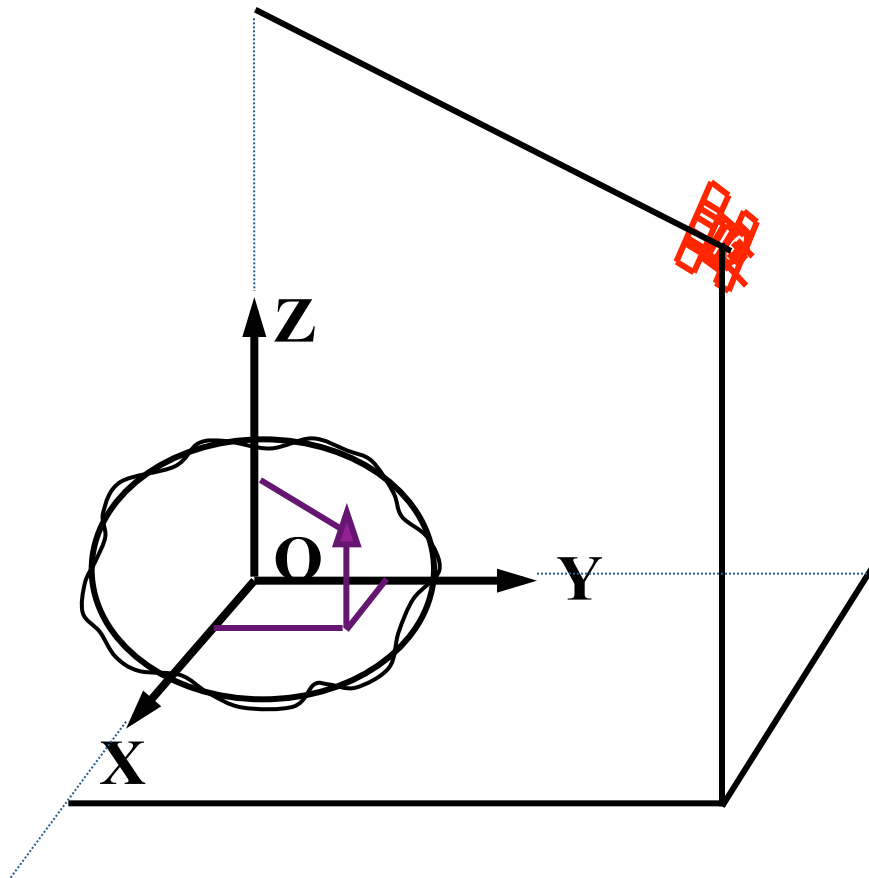
Systeme de référence géocentrique



=> *International Terrestrial Reference System (ITRS)*



Systeme de référence géocentrique : réalisation



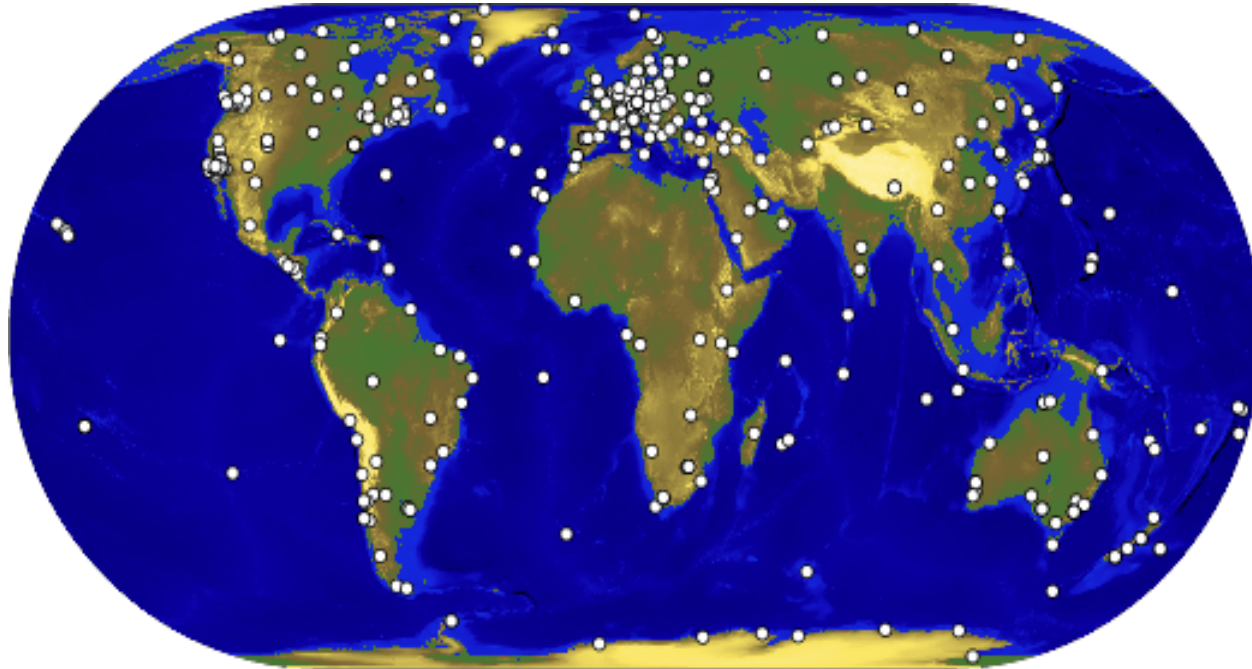
Une réalisation est obtenue par la connaissance de coordonnées de points matériels

- *points géodésiques (réseaux)*
- *satellites GNSS*

Le réseau scientifique ITRF est une réalisation de haute précision (1 cm)
Le couplage avec des stations GPS permanentes (IGS) rend son accès commode et fiable.

=> International Terrestrial Reference Frame (ITRFyyyy)

RESEAU IGS (International GNSS Service)

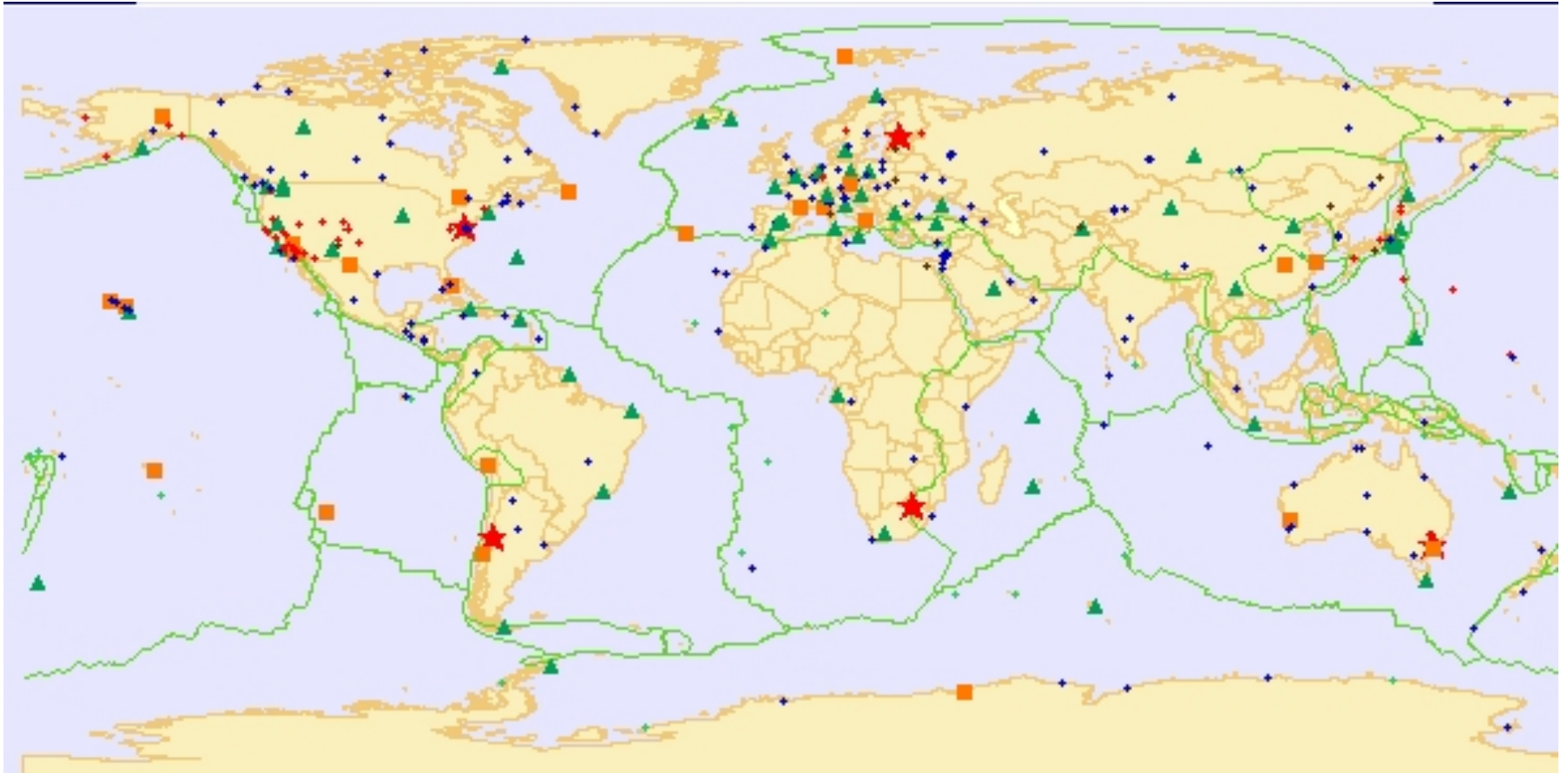


GNSS 2009 Jan 31 16:47:09

- Réseau mondial de stations GNSS permanentes
- Solutions journalières, hebdomadaires
- participation aux solutions annuelles ITRF

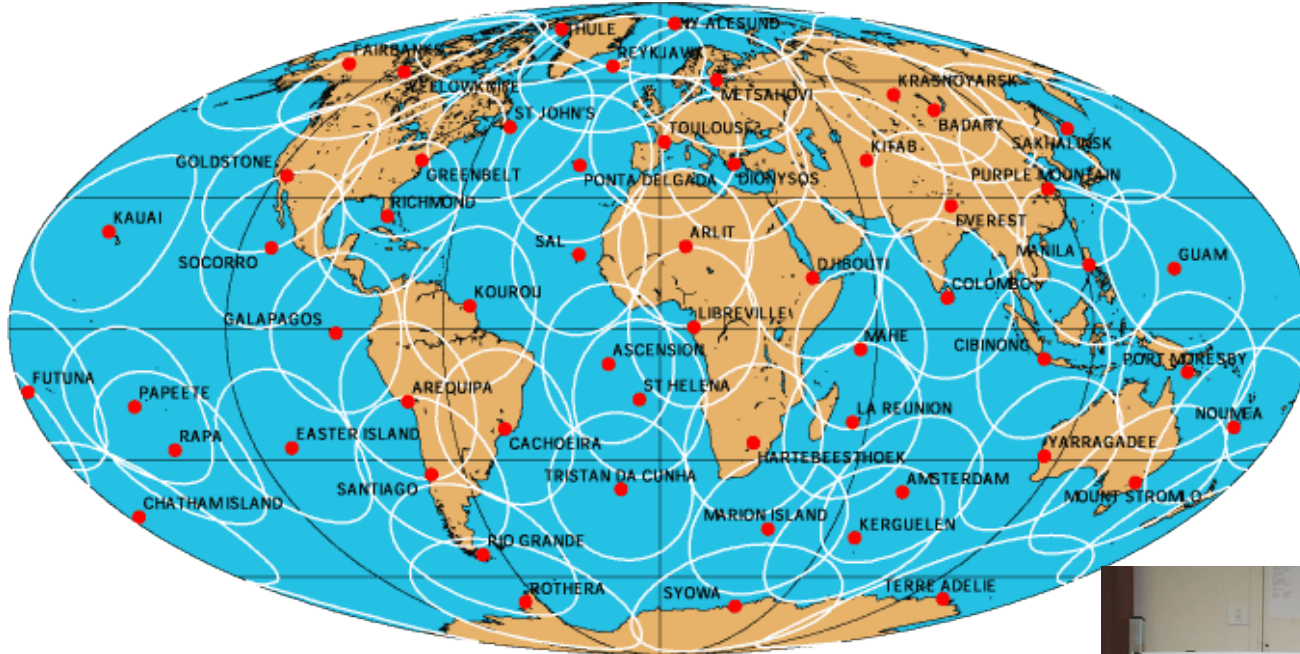
Orbites précises des satellites GNSS
(position centimétrique en fonction
du temps)

International Terrestrial Reference System ITRF2008 / plaques tectoniques



4 techniques : VLBI / Laser satellite / GPS / DORIS

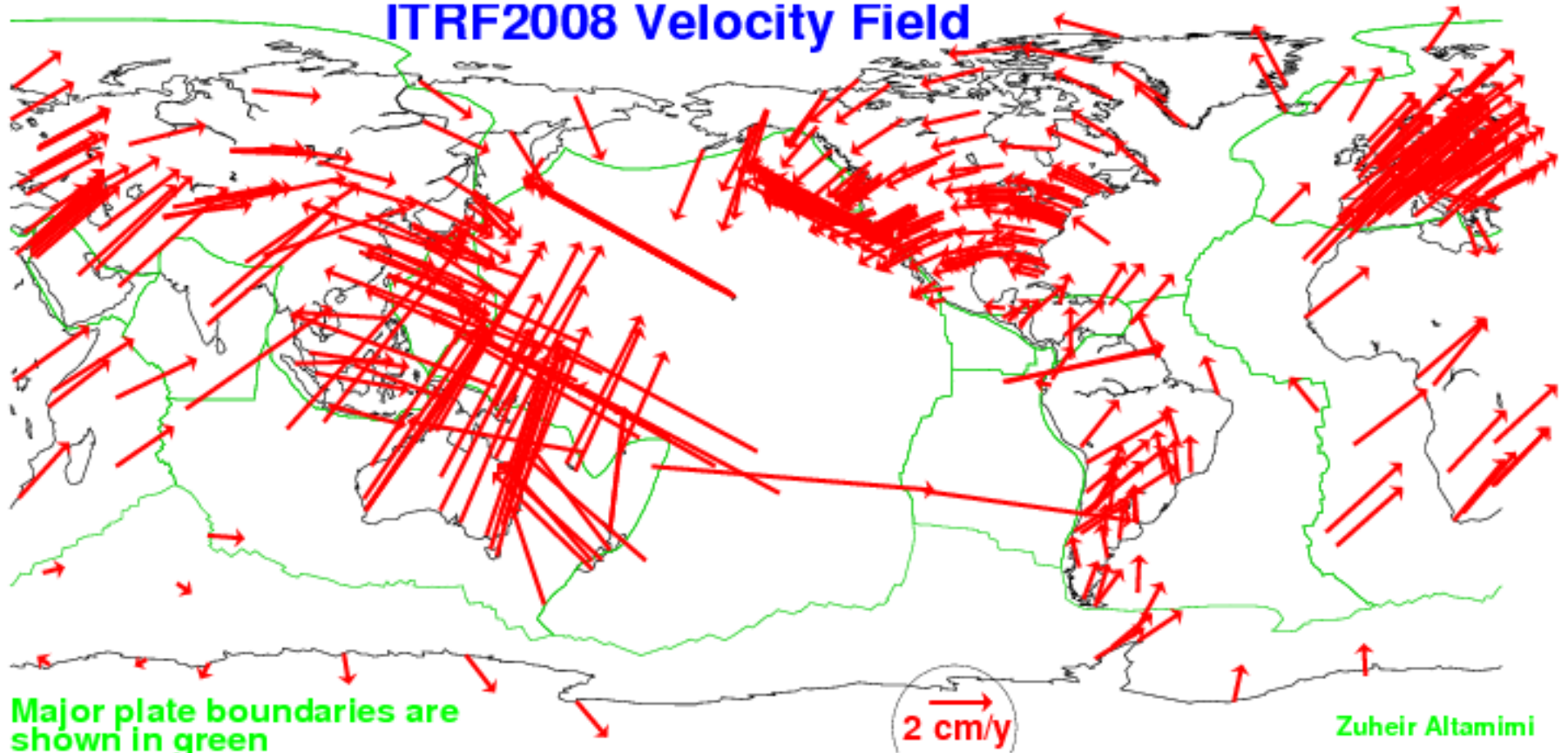
Réseau DORIS



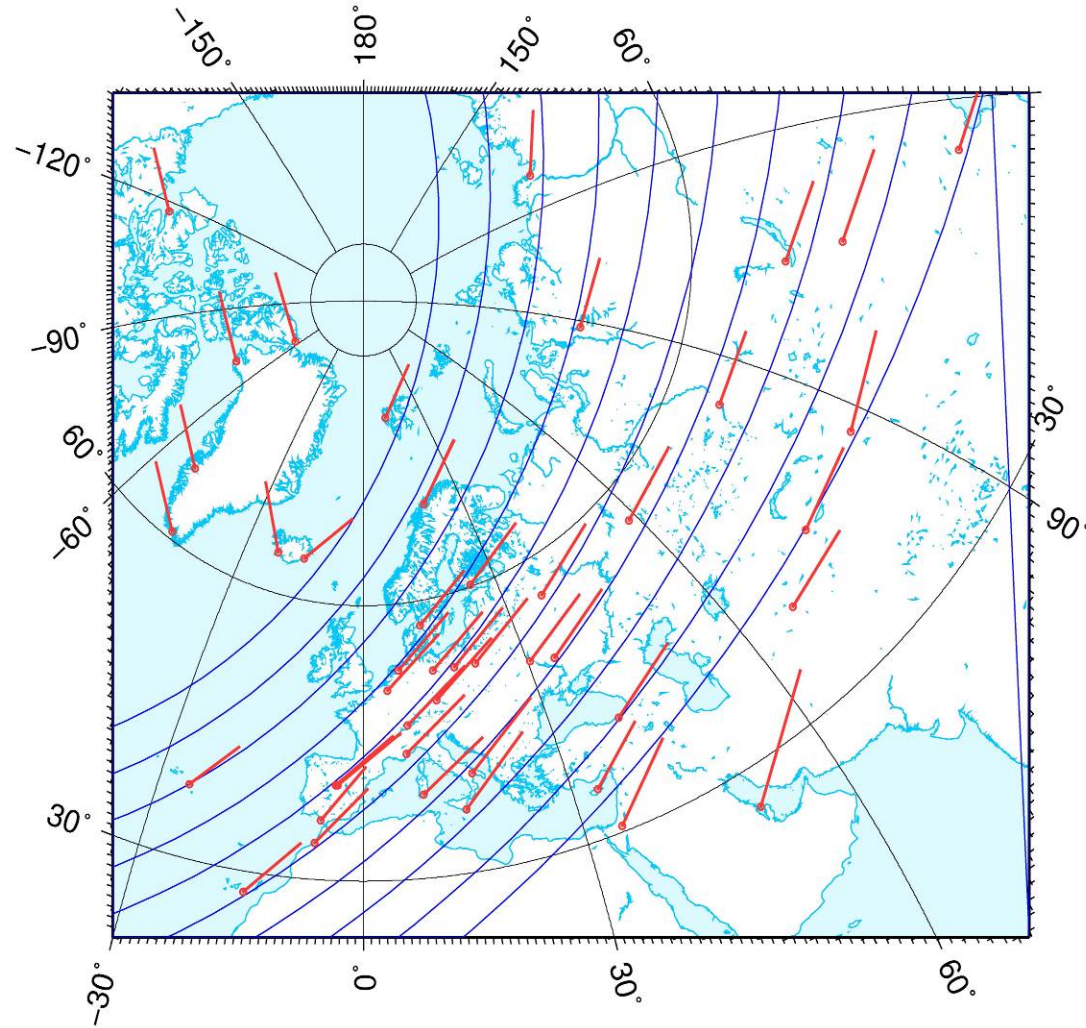
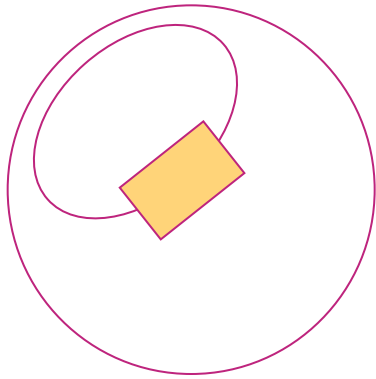
54 stations, 30 pays



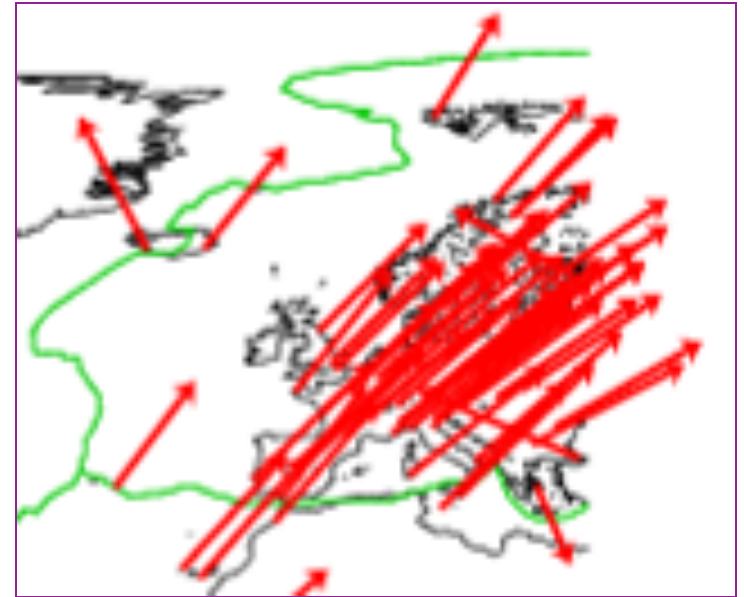
ITRF2008 Velocity Field



Mouvement des plaques : pôle de rotation



Le système de référence européen ETRS89



**ETRS89 = ITRS époque 1989.0
pour la plaque européenne (env. 3 cm / an NE)**

***=> Réalisation actuelle ETRF2000
dont on maîtrise le lien avec les différents ITRFyyyy***

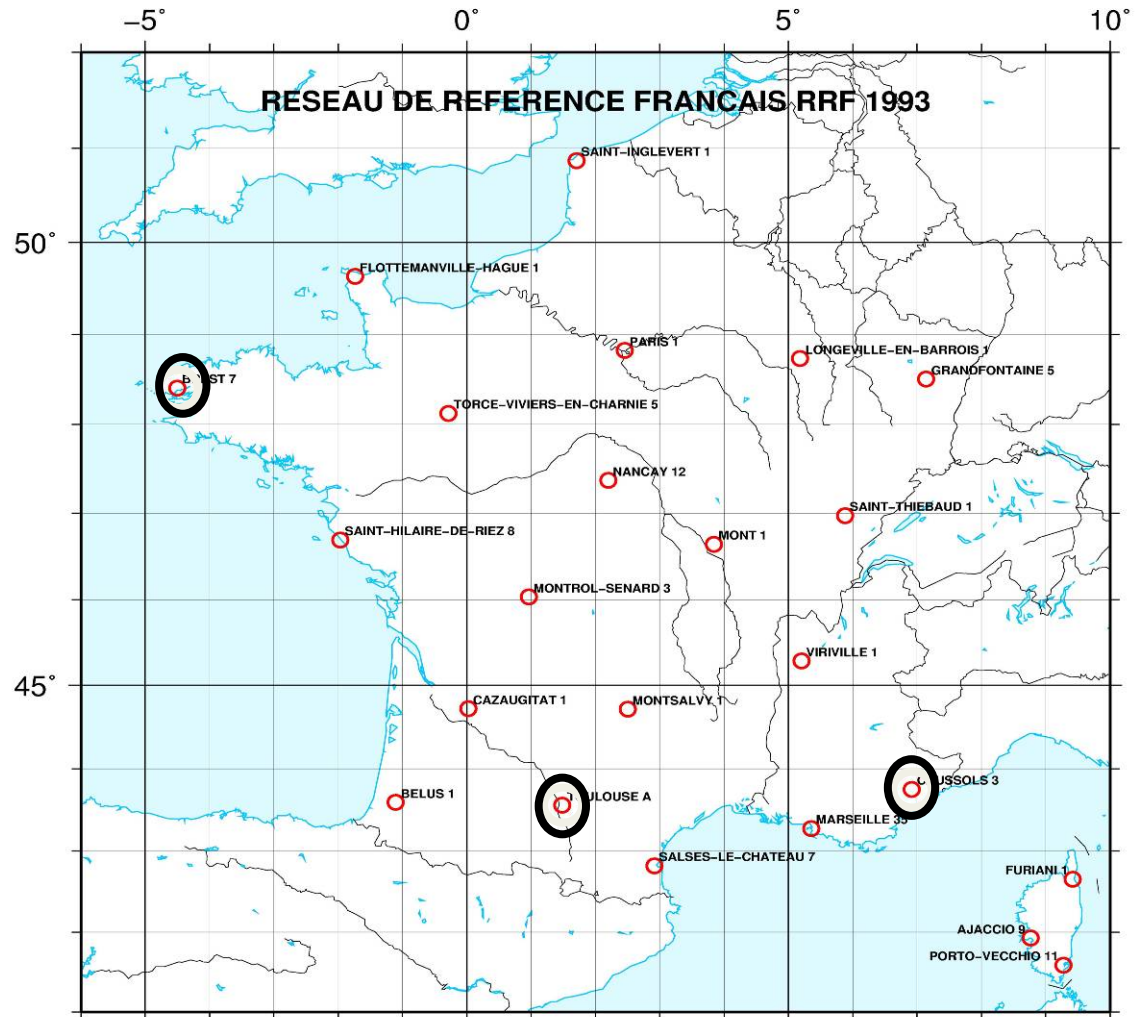
ETRS89 France : RGF93

RGF93

1^{ère} réalisation

**Réseau de Référence
Français (RRF) 1993**

**Solution RRF93.1
(ETRF93)**



ETRS89 France : RGF93 (2)

RGF93

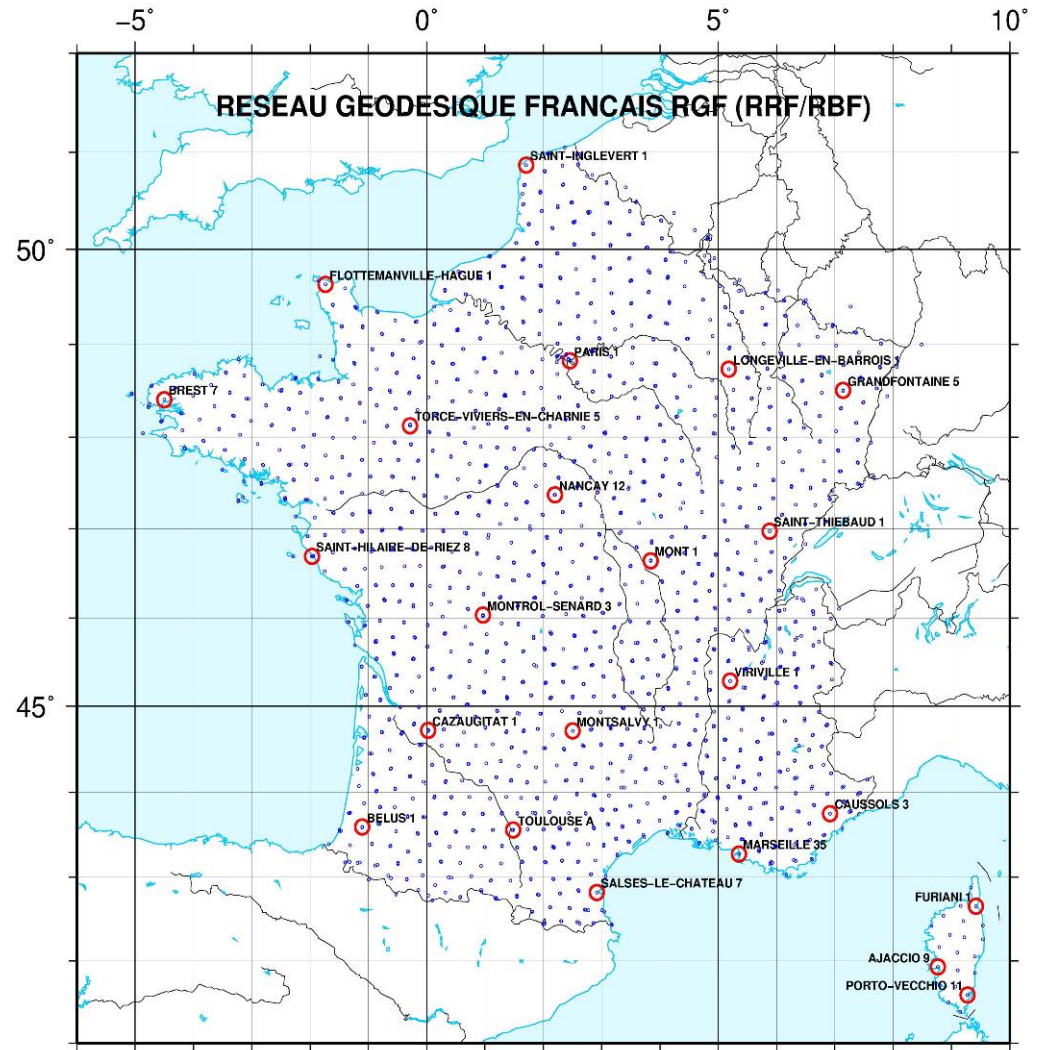
densification

**Réseau de Base
Français (RBF)**

~1000 sites

Observations : 1994-1996

PUBLICATION RGF93 : 1997

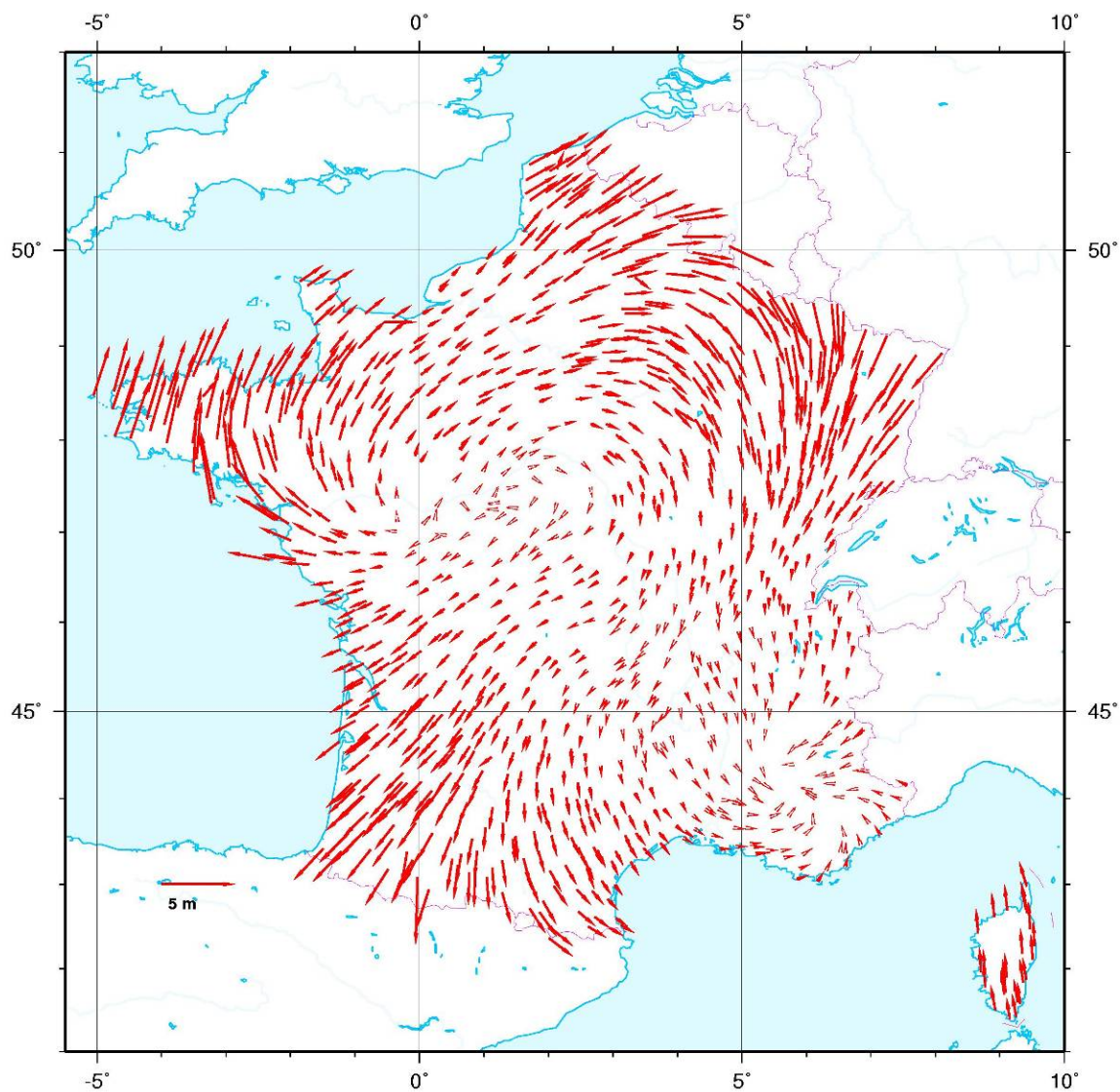




Co-localisation NTF – RGF93



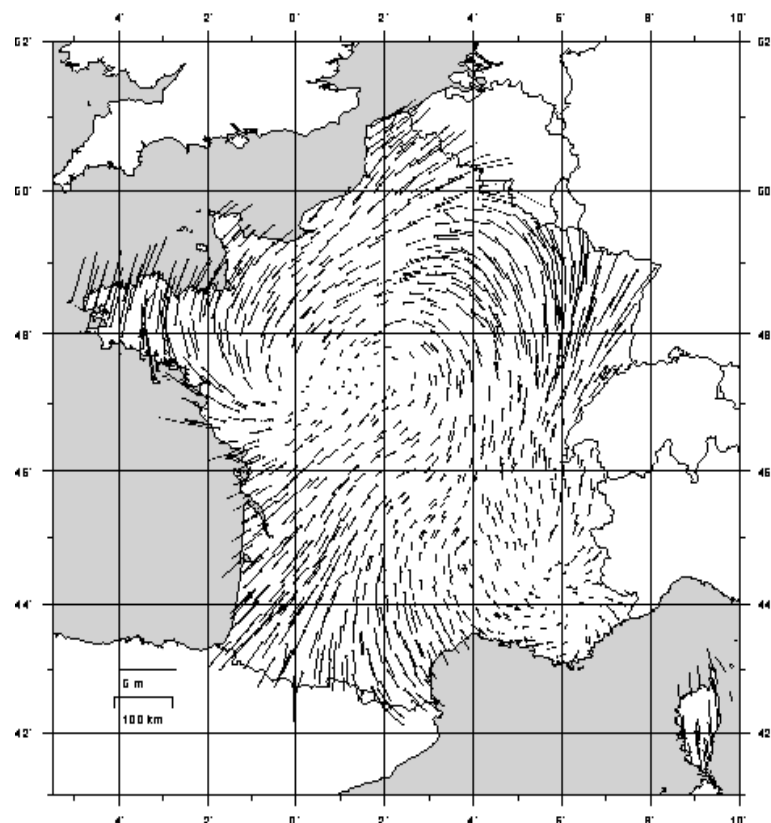
NTF → RGF93 : écarts à une transformation standard



Transformation NTF RGF93 : modélisation

NTF → RGF93

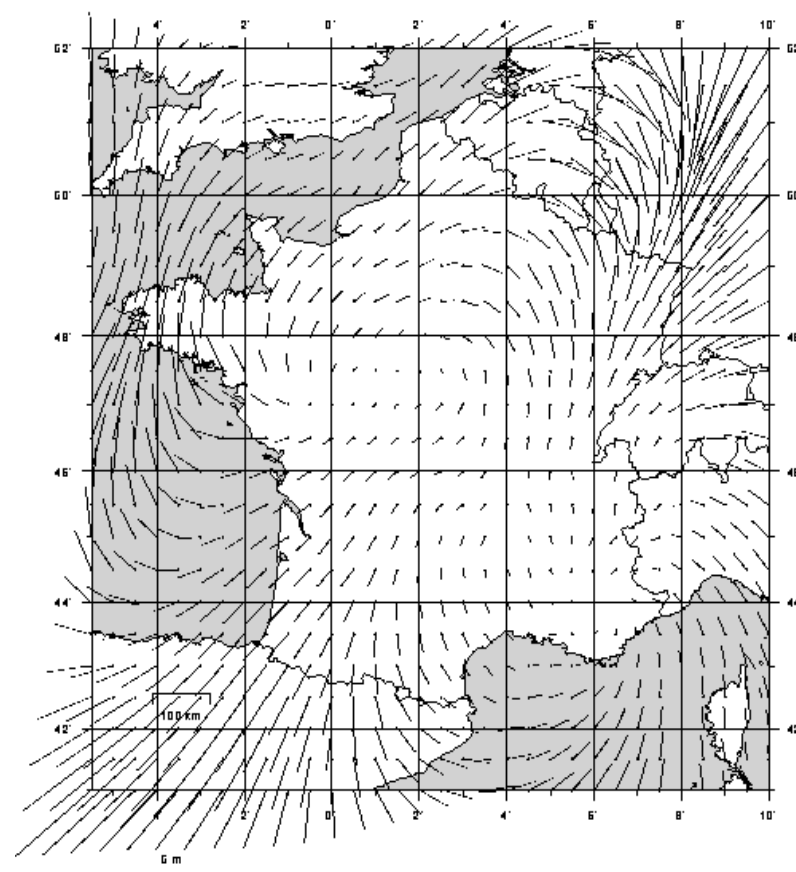
ECARTS A LA TRANSFORMATION STANDARD



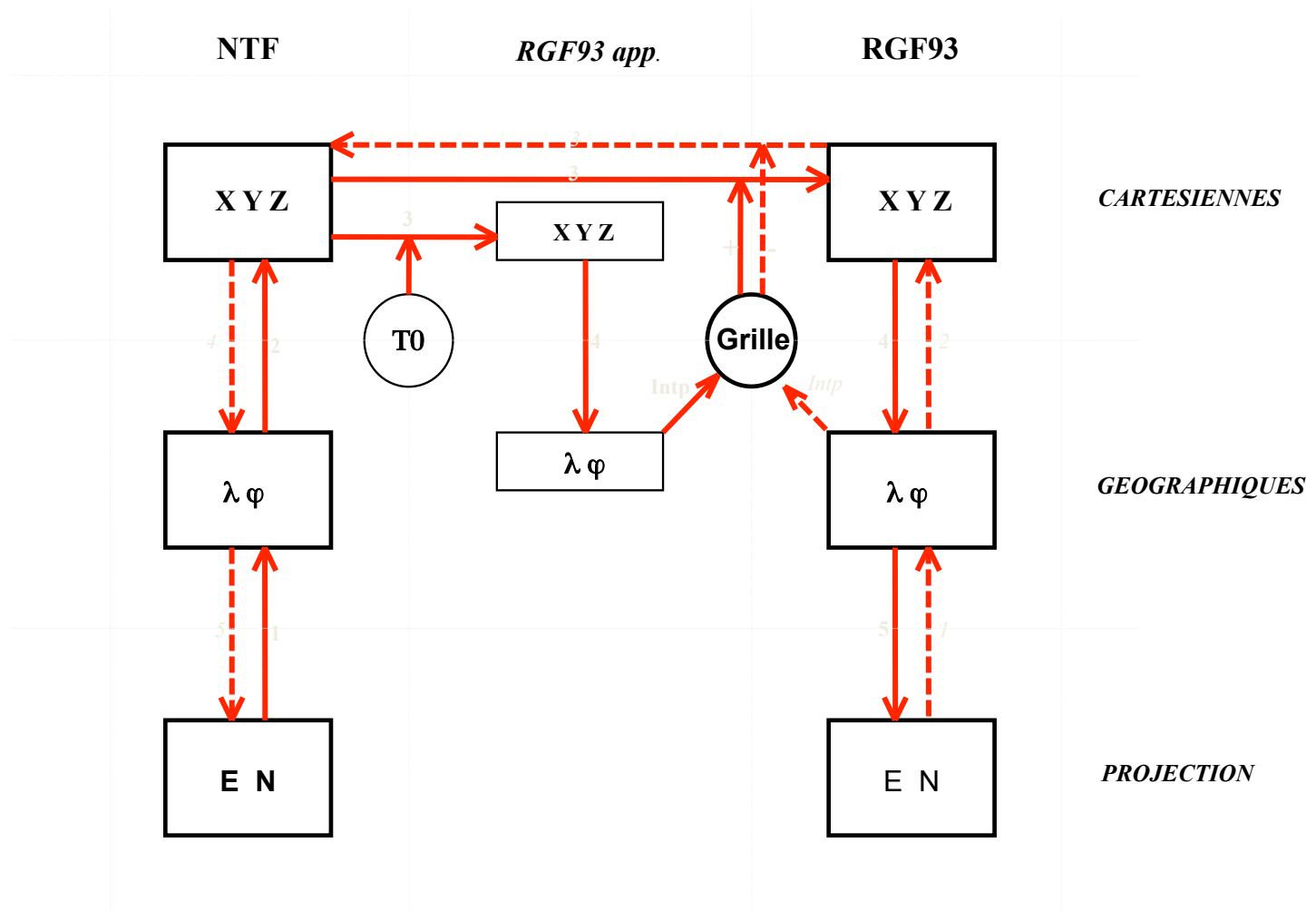
NTF → RGF93

ECARTS A LA TRANSFORMATION STANDARD

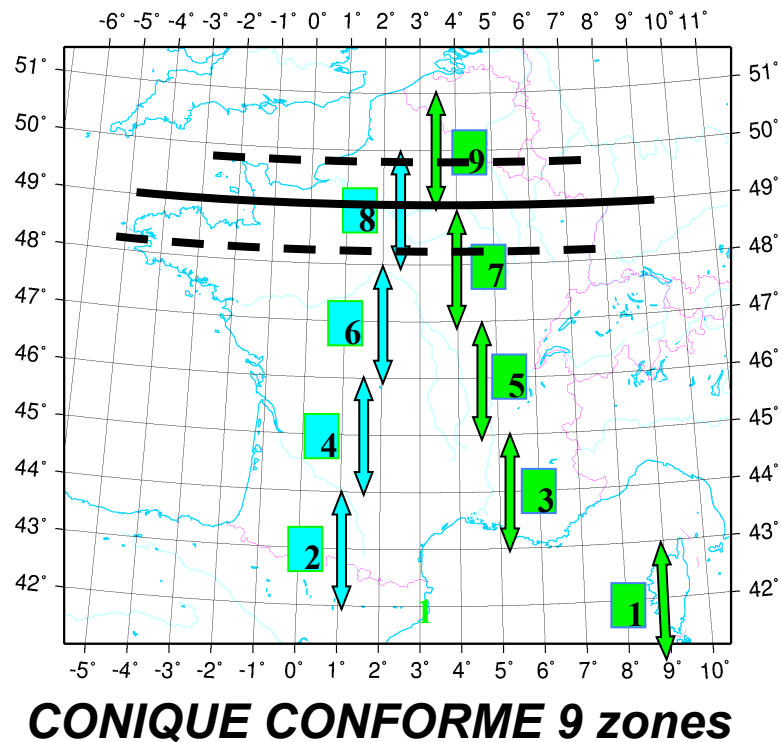
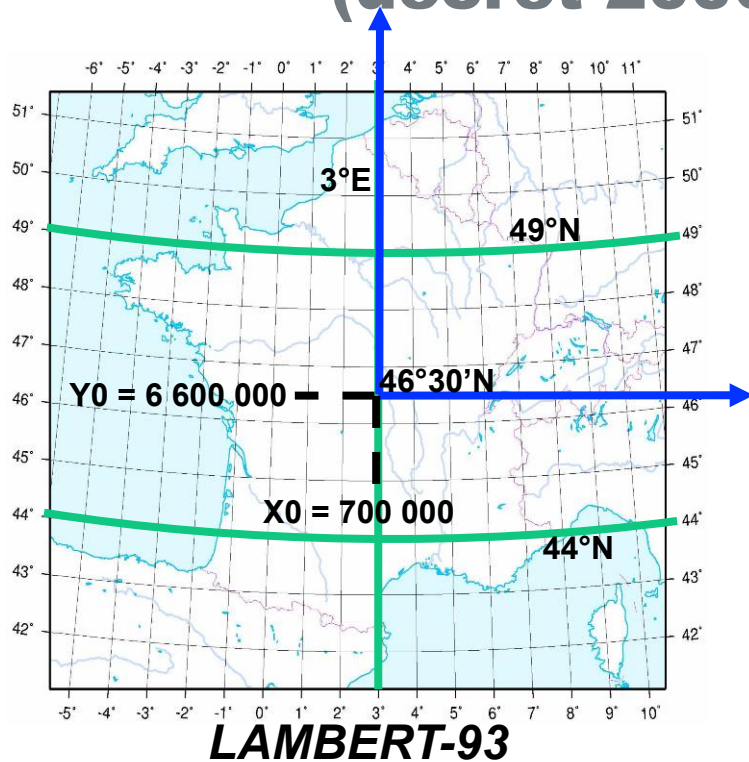
(GRILLE DE PARAMETRES)



NTF ↔ RGF93 : schéma de transformation



Avec le RGF93, des projections associées (décret 2006)



$$\gamma = n (\lambda - \lambda_0)$$

$$R = R_0 \exp \{ - n (\xi - \xi_0) \} = C \exp \{ - n \xi \}$$

$$\xi = \text{Ln} [(1 + \sin \varphi)/(1 - \sin \varphi)]^{1/2} - e \text{Ln} [(1 + e \sin \varphi)/(1 - e \sin \varphi)]^{1/2}$$

$$E = E_s + R \sin \gamma$$

$$N = N_s - R \cos \gamma$$



Logiciel Circé

<http://www.ign.fr>

Circé France

A propos de Circé | Transformation standard | Transformation grille

Nom du point

Mode

Système de départ

NTF (Paris) Type Planes Projection Lambert 2 étendu

E(m) Unité

N(m)

Hauteur Ellipsoïdale Altitude Méridien Origine

Composante Verticale (mètres)

Système altimétrique

Système d'arrivée

RGF93 Type Planes Projection LAMBERT-93

E(m) Unité

N(m)

Hauteur Ellipsoïdale(m) Altitude Méridien Origine

Convergence des méridiens Altération linéaire mm/km

La précision de la transformation est : de 1 à 5cm en plani et de 1 à 5cm en alti



Le nouveau système : RGF93

A partir du 1er février 2001, le système géodésique légal en France métropolitaine est le RGF93

Système de référence :

- tridimensionnel
- Liaison au système de référence mondial (ITRS) : ETRS89
- Ellipsoïde : GRS80
 - $a = 6\,378\,137\text{ m}$
 - $f = 1 / 298.257\,222\,101$
- Méridien origine International (Greenwich)

Système de coordonnées :

sexagésimaux

- longitudes, latitudes en degrés
- hauteurs ellipsoïdales en mètres
- Projection : E, N Lambert-93 (m), unique pour la France
Conique conforme 9 zones

Accès :

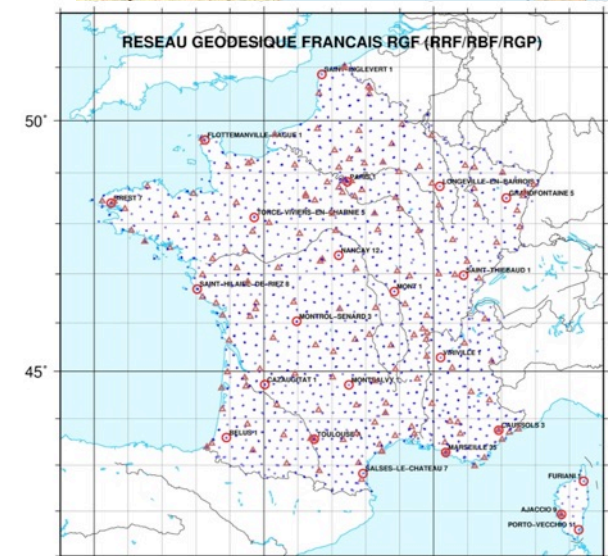
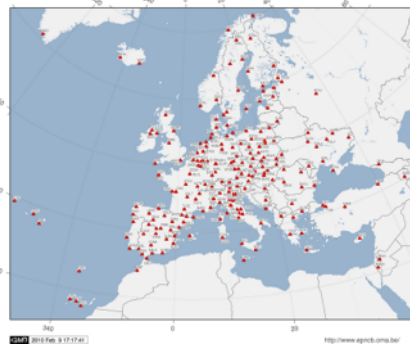
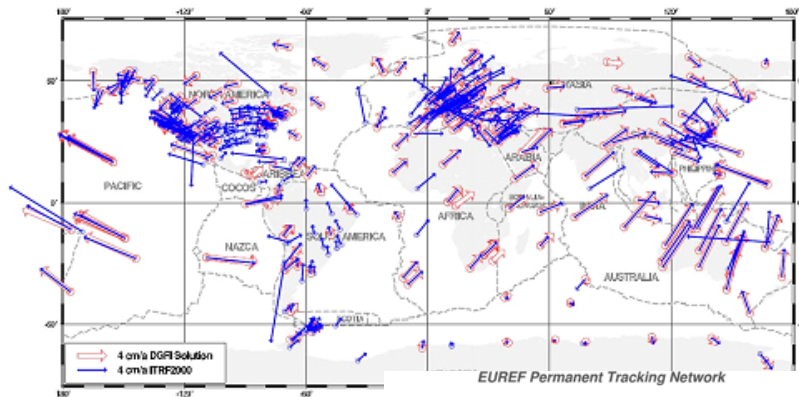
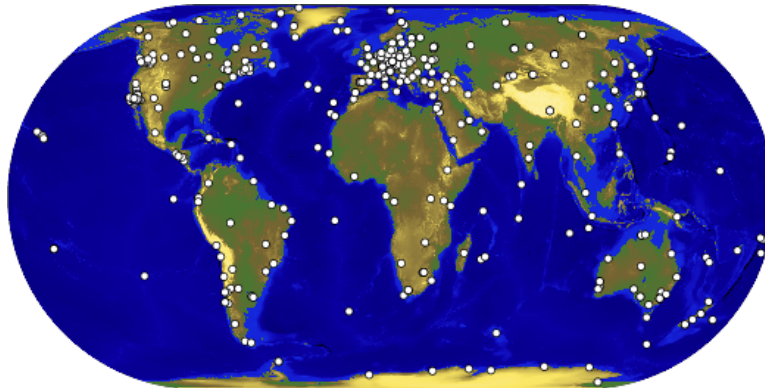
- Réseau de Base Français (RBF) : 1032 sites
- Réseau GPS permanent (RGP)
- **Exactitude : 1 à 2 cm (horizontale), 2 à 5 cm (verticale)**



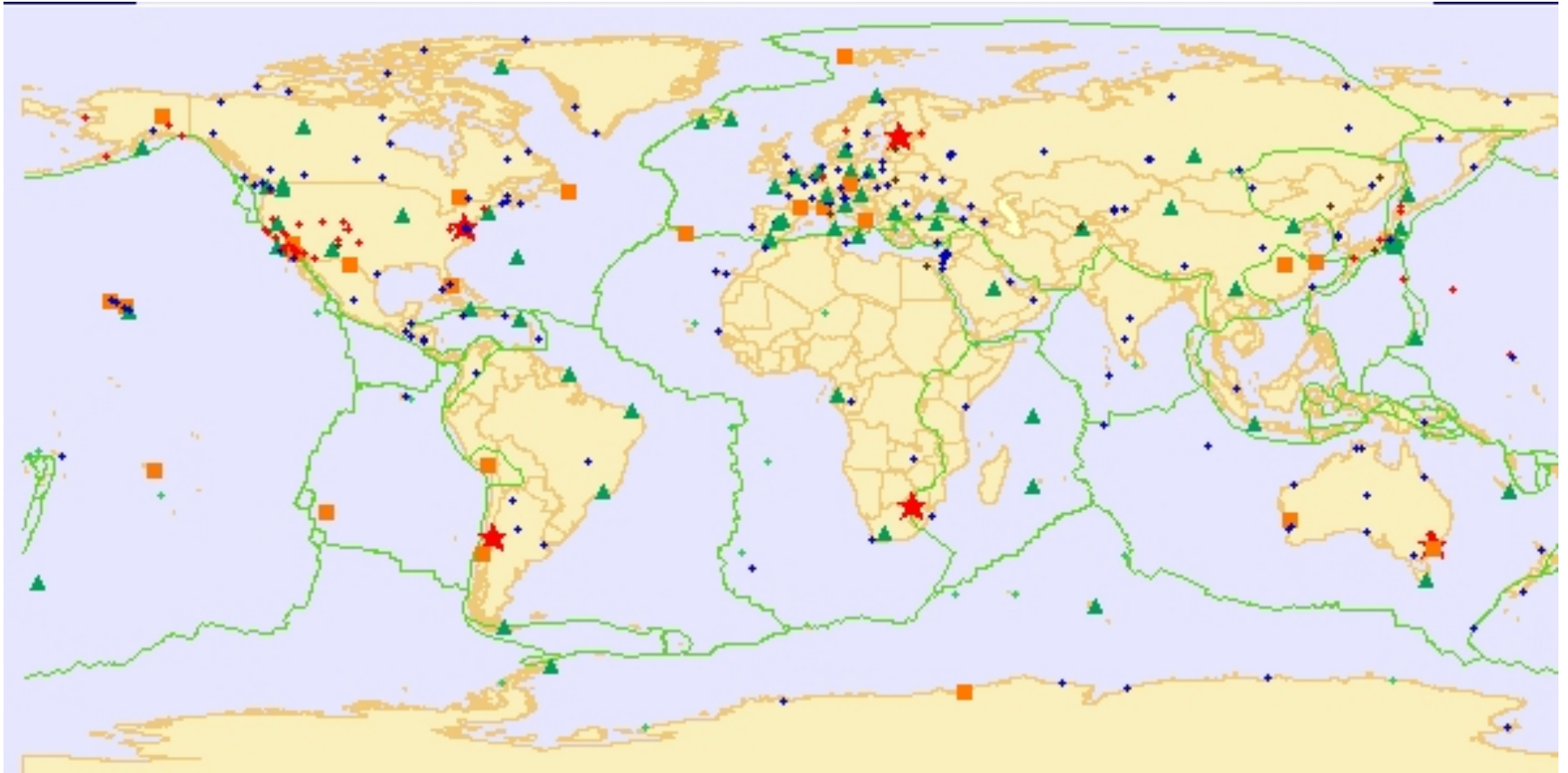
Réseaux spatiaux actifs



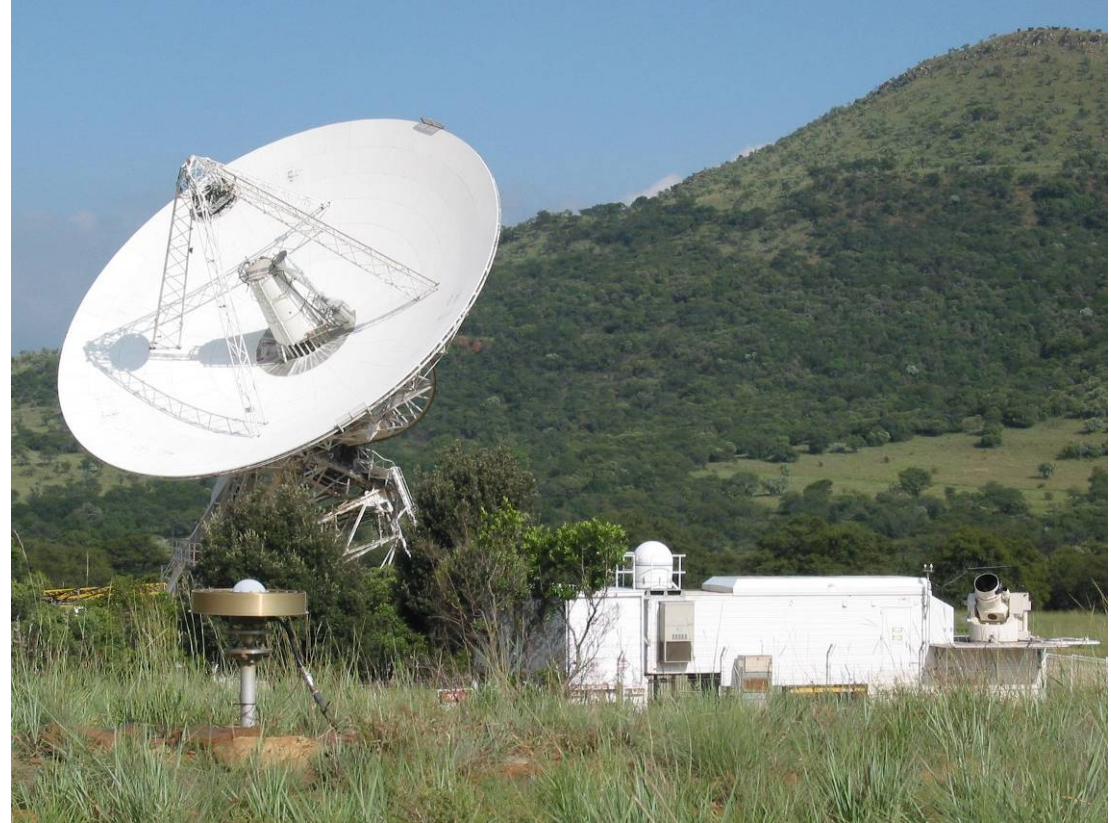
global ... européen ... national



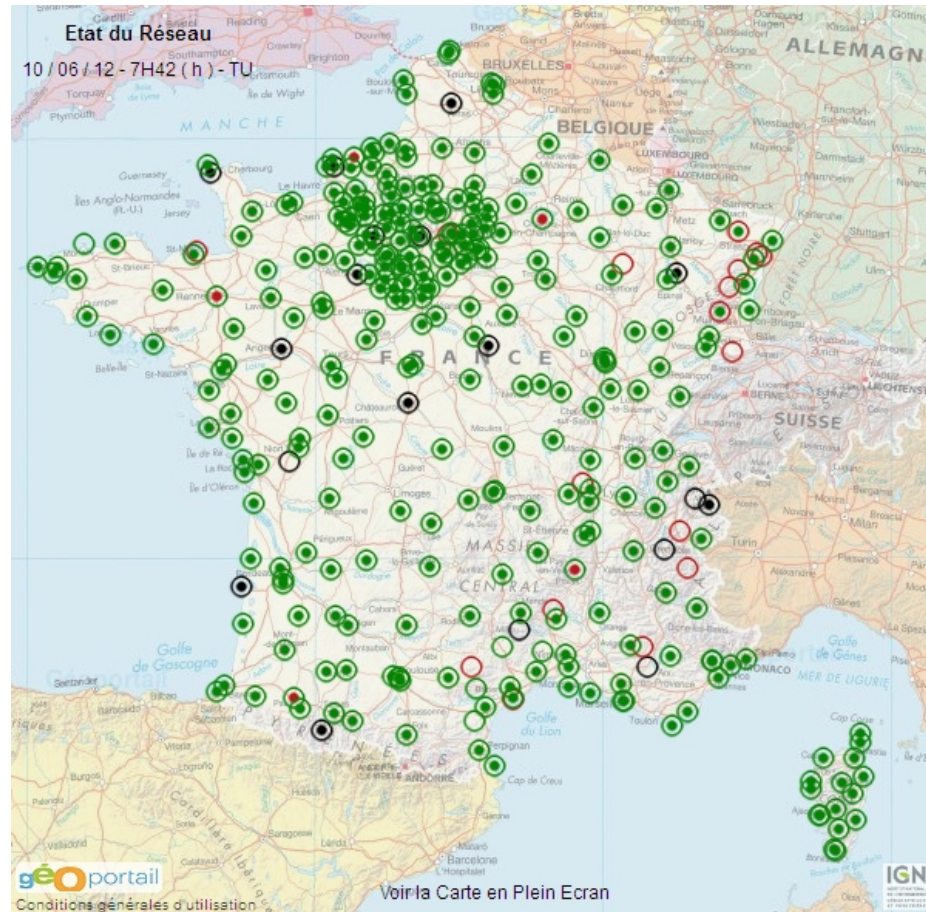
International Terrestrial Reference System ITRF2008



ITRF : co-localisation des techniques



RESEAU GNSS PERMANENT (RGP)



RGF93 2000 - 2010

ENTRETIEN DE LA RÉFÉRENCE NATIONALE

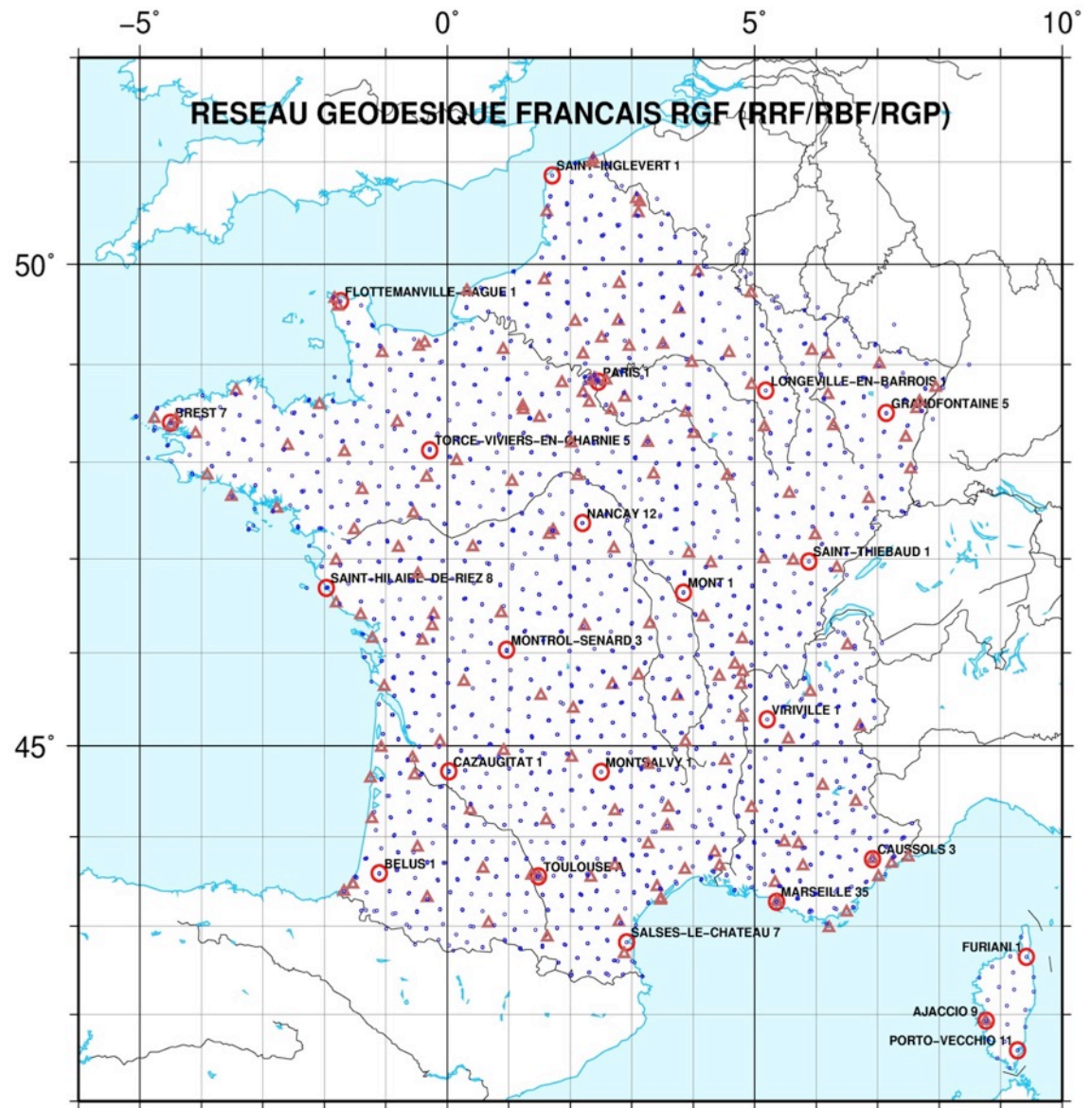
- **Améliorations spectaculaires des techniques et traitements GPS**
- **longues séries temporelles (>10ans pour le RGP)**
- **du centimétrique ($\leq 5\text{cm}$) à l'infra-centimétrique ($< 1\text{cm}$)**
- **cohérence RGP et réseaux interpolés**
- **accès + précis aux altitudes (RAF09 post NIVAG)**
- **INSPIRE**
- **interopérabilité transfrontalière**
- **...**



RGF93
Accès 2009 :

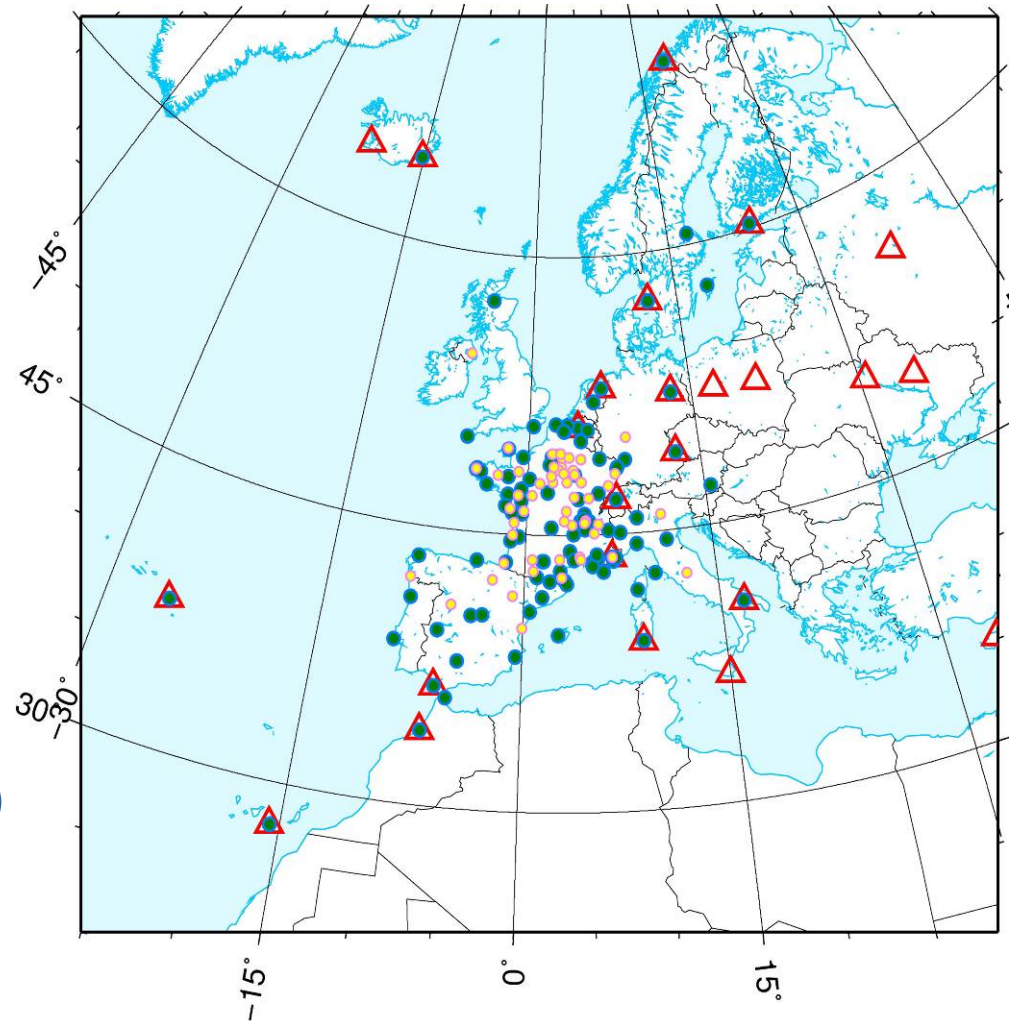
- RBF (dont RRF)
- RGP

**Exactitude
centimétrique
< 5 cm**

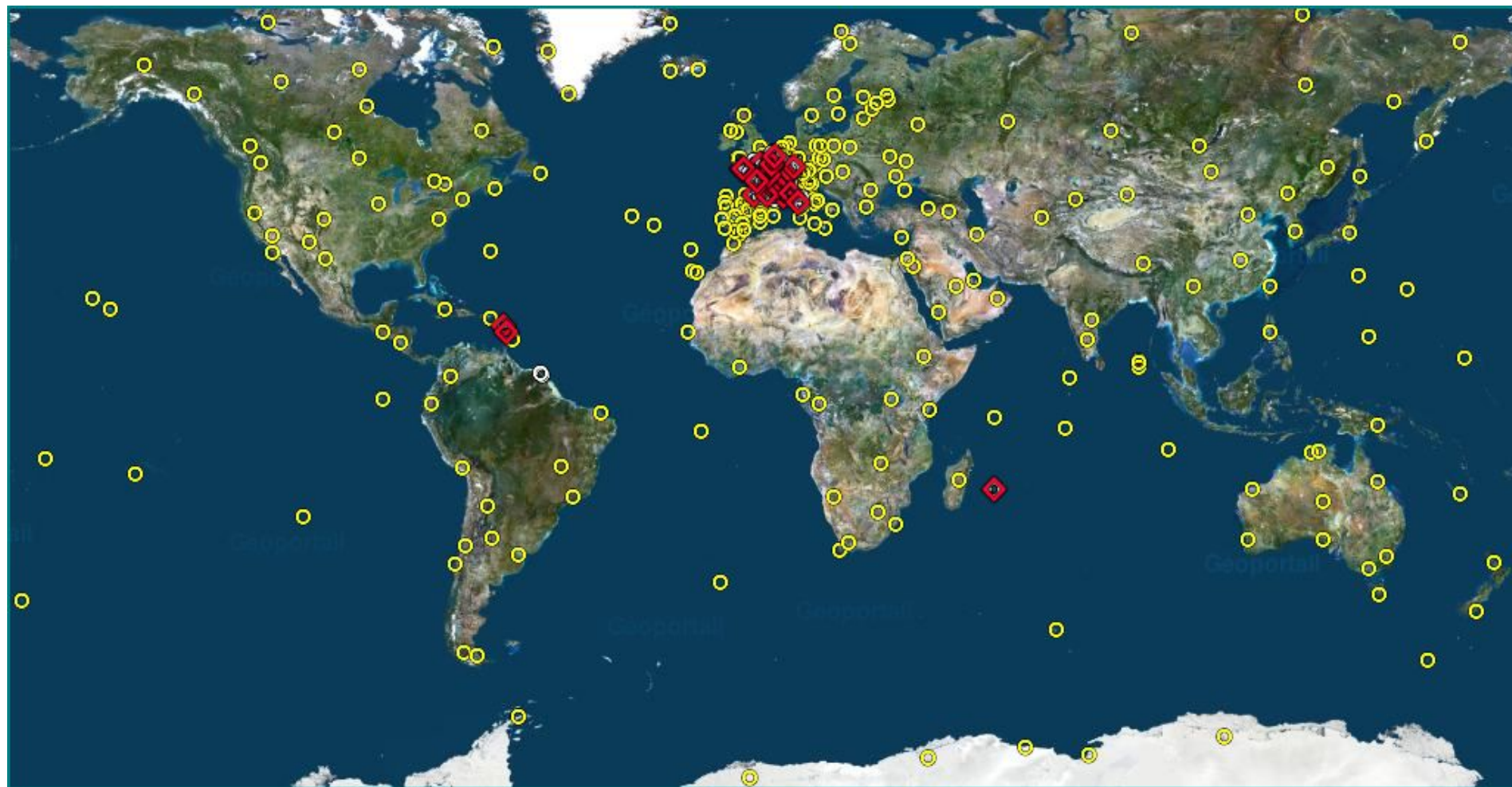


Re-calcul du RGP 1998-2009

- Bernese 5.0
- Solutions journalières
- Antennes absolues
- Troposphère a priori
- Marées terrestres OK
- Surcharges océan. FES2004
- Contraintes lâches IGS05 (1m)
- ...



Des solutions journalières continues ...



Re-calcul du RGP 1998-2009

Coordonnées et vitesses

=> ETRS89 (2009.0)

ITRF2005
IGS05



ETRS89 (etrf2000)

$$\begin{pmatrix} X_E \\ Y_E \\ Z_E \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_{2005} \\ Y_{2005} \\ Z_{2005} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} +0.0531 - 0.0002 \Delta t \\ +0.0507 + 0.0001 \Delta t \\ -0.0628 - 0.0018 \Delta t \end{pmatrix} + (0.8 + 0.08 \Delta t) 10^{-9} \begin{pmatrix} X_{2005} \\ Y_{2005} \\ Z_{2005} \end{pmatrix} + \mathbf{k} \begin{pmatrix} 0 & 12.672 + 0.792 \Delta t & 7.840 + 0.490 \Delta t \\ -12.672 - 0.792 \Delta t & 0 & -1.296 - 0.081 \Delta t \\ -7.840 - 0.490 \Delta t & 1.296 + 0.081 \Delta t & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_{2005} \\ Y_{2005} \\ Z_{2005} \end{pmatrix}$$

$$(\Delta t = t - 2005 \quad \mathbf{k} = \pi / 180 / 3600000)$$

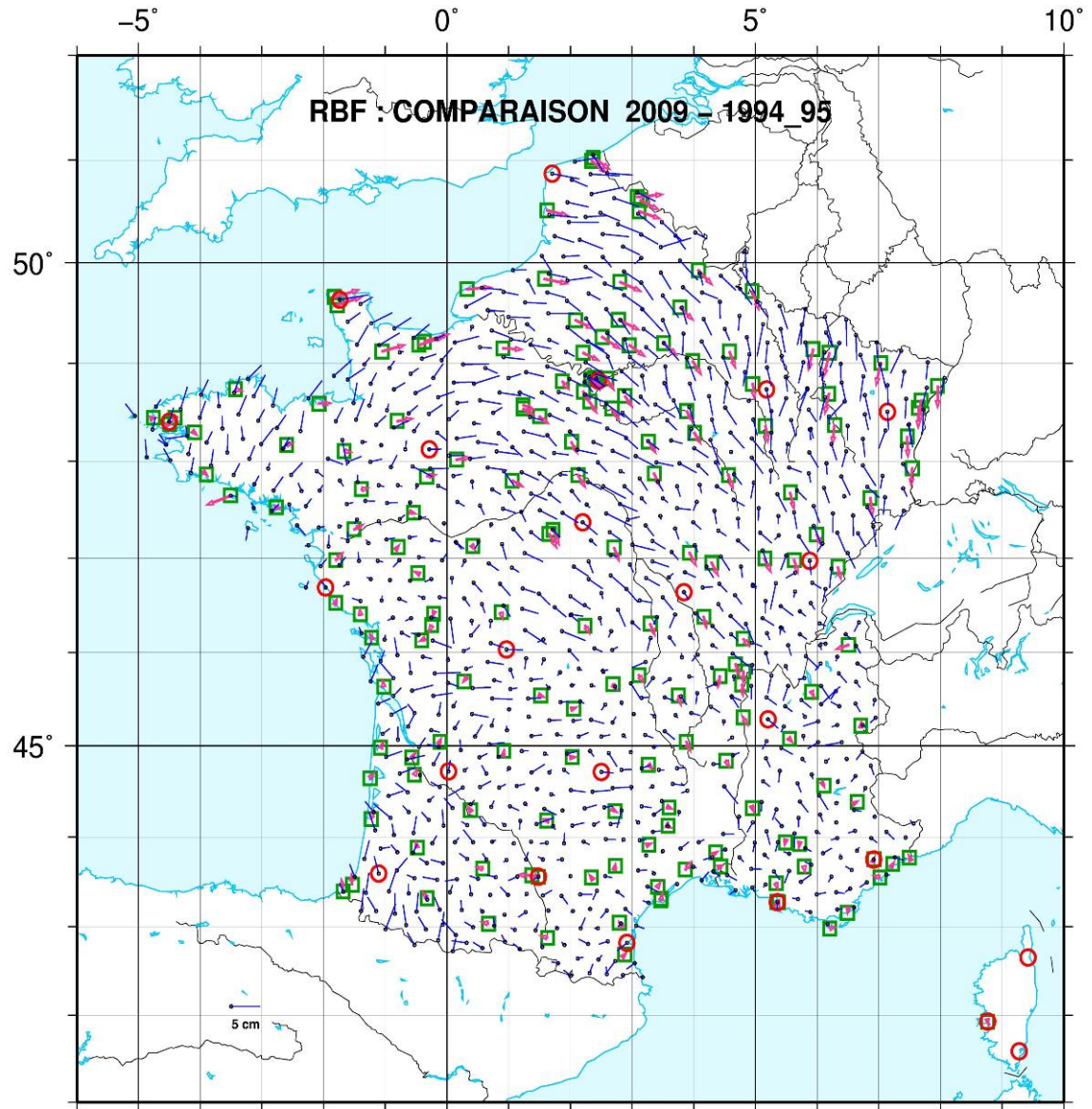
t = 2009.0



réfection RBF (2000-2009)

Calcul 2009 (BSW5.0)
Alignement RGP2009

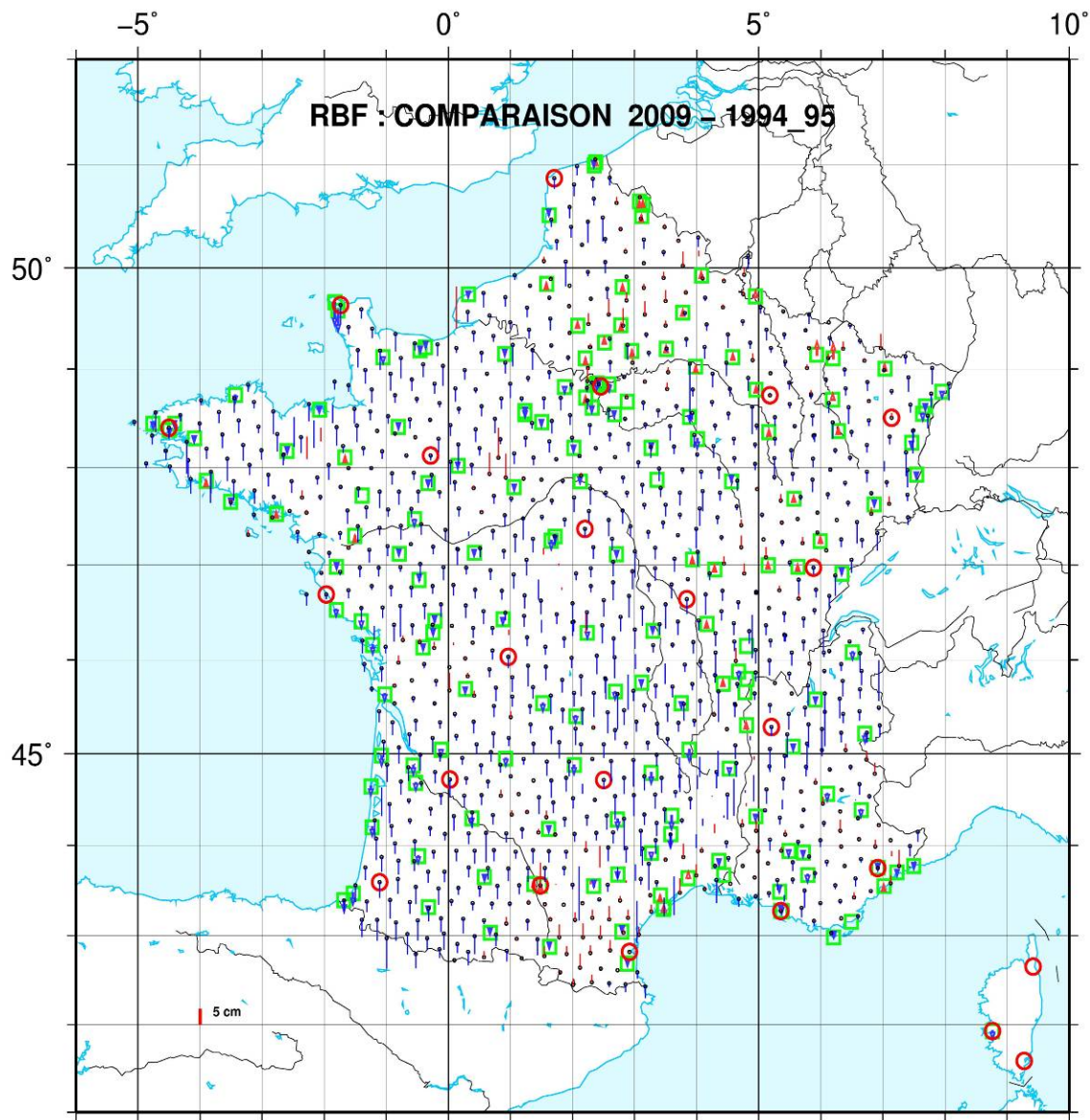
Écart horizontal



réfection RBF (2000-2009)

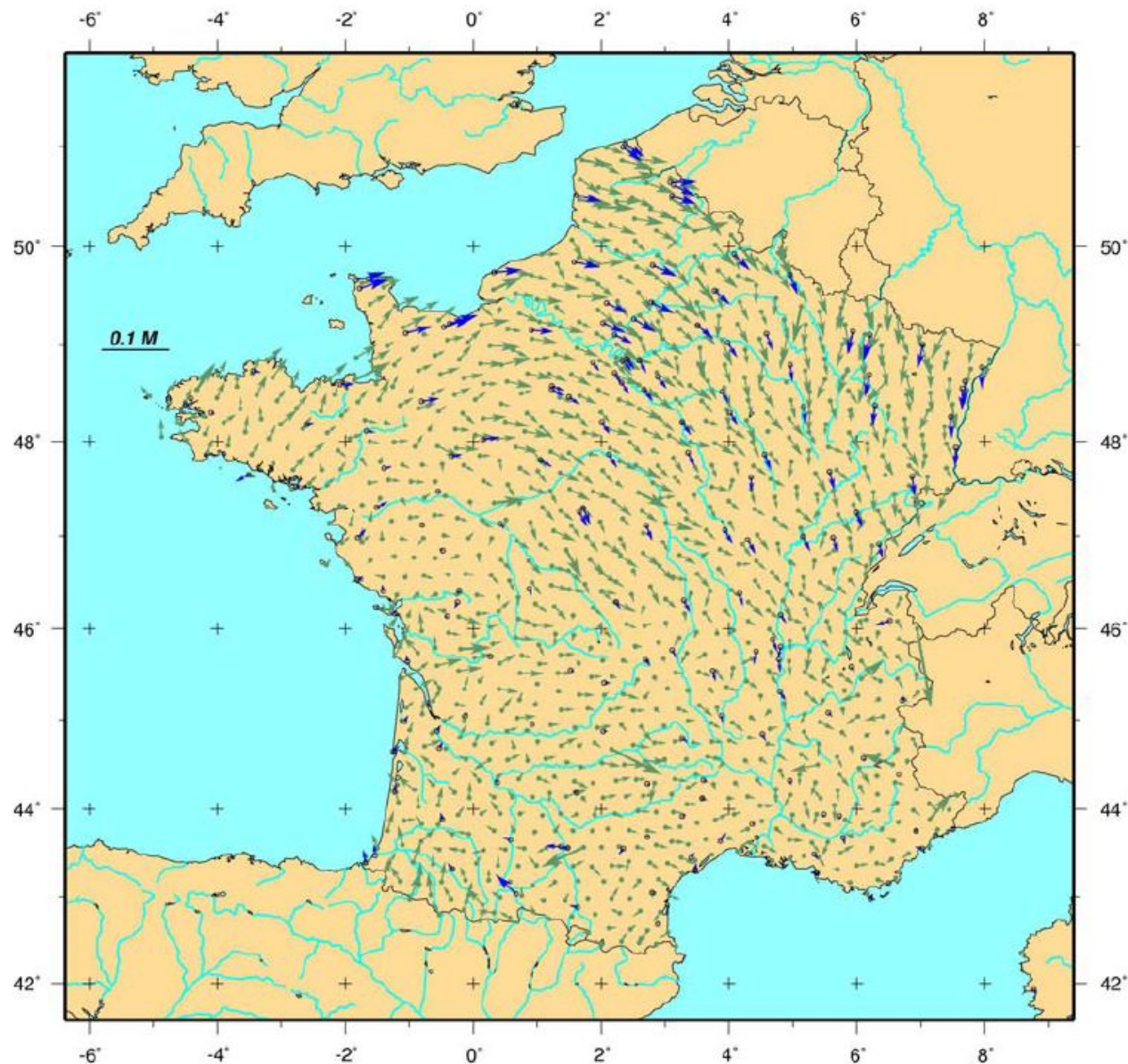
Calcul 2009 (BSW5.0)
Alignement RGP2009

Écarts verticaux



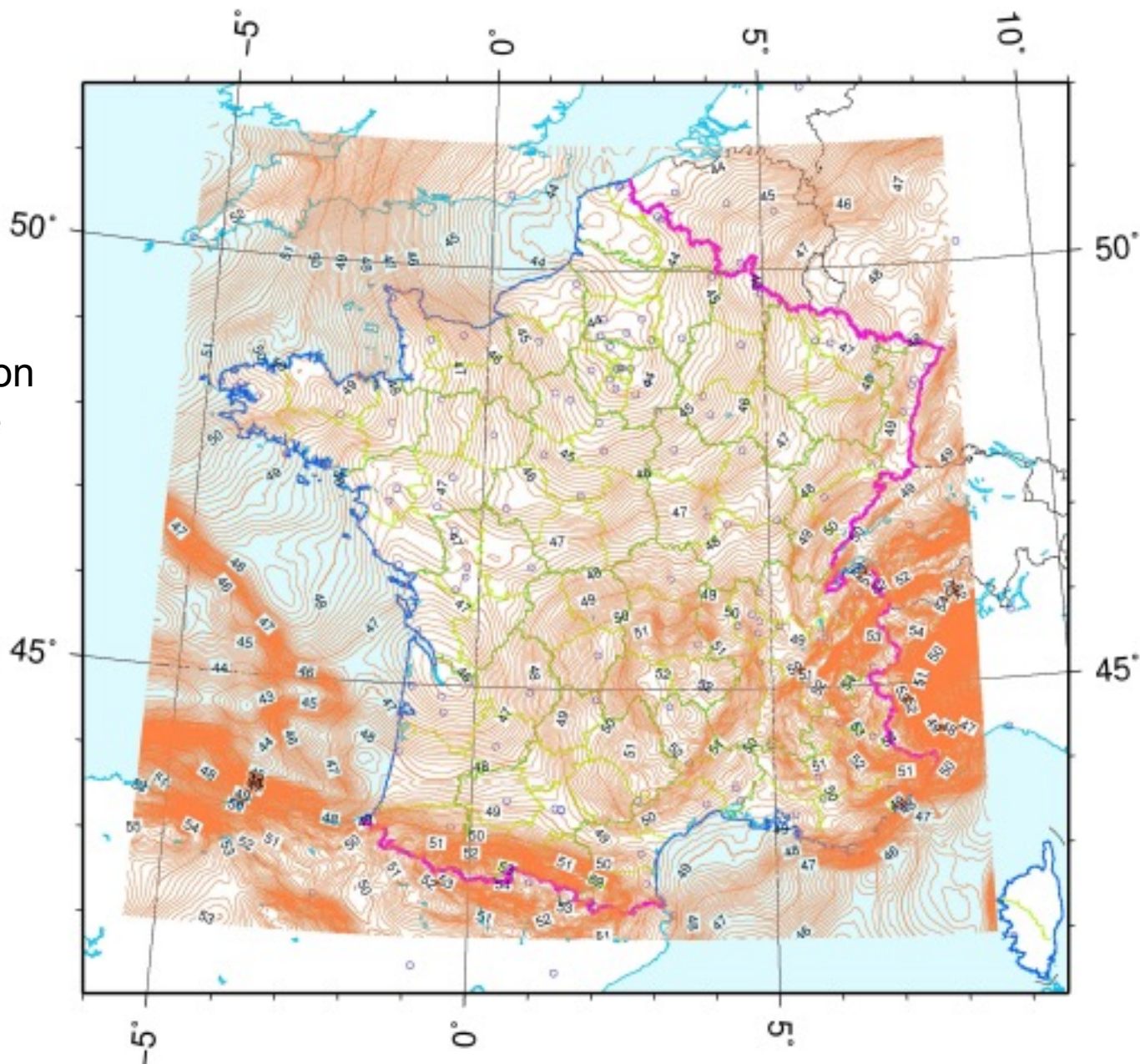
Rénovation RGF93 18/08/2010

Écart planimétrique

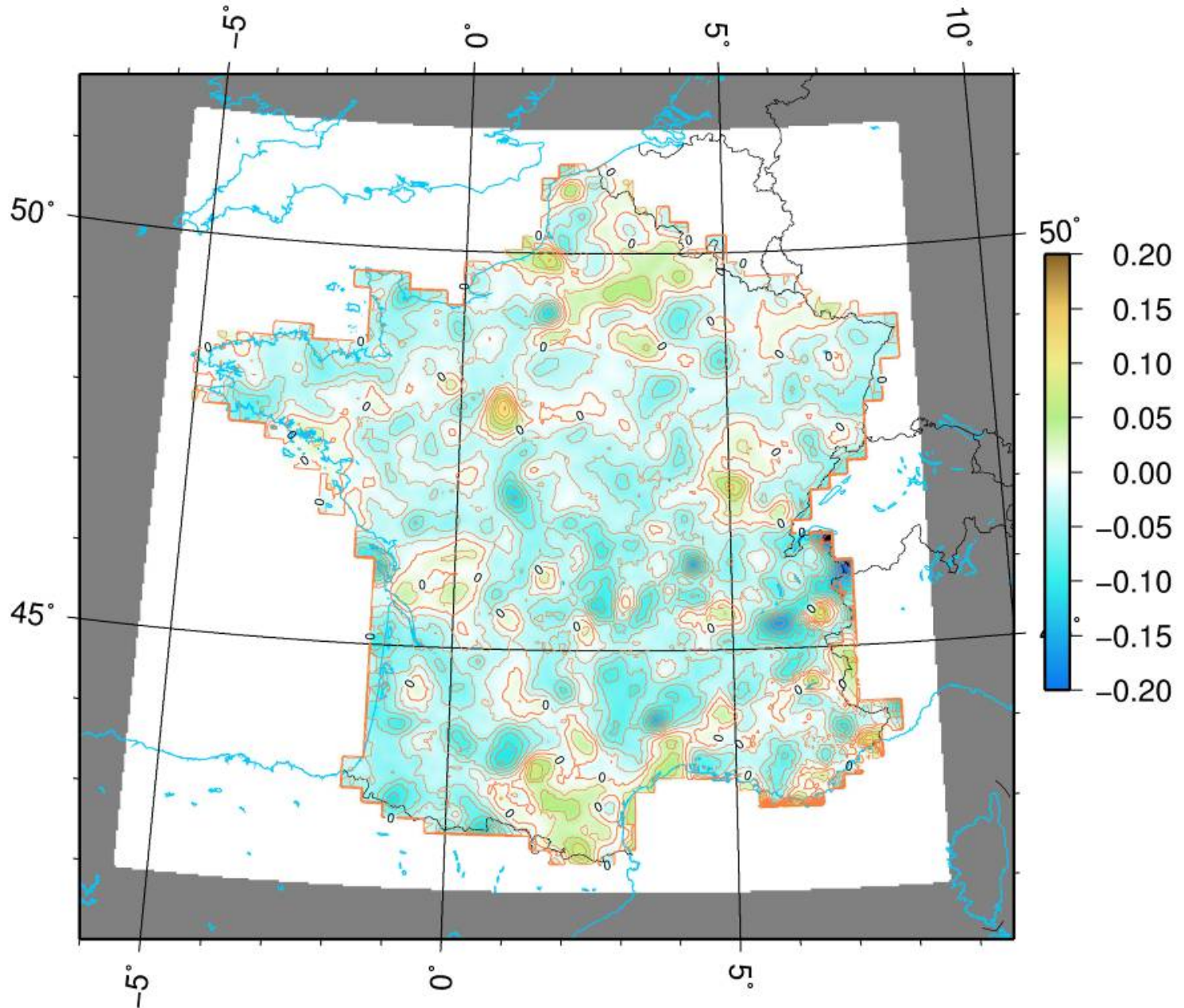


Grille de
conversion
d'altitude

RAF09



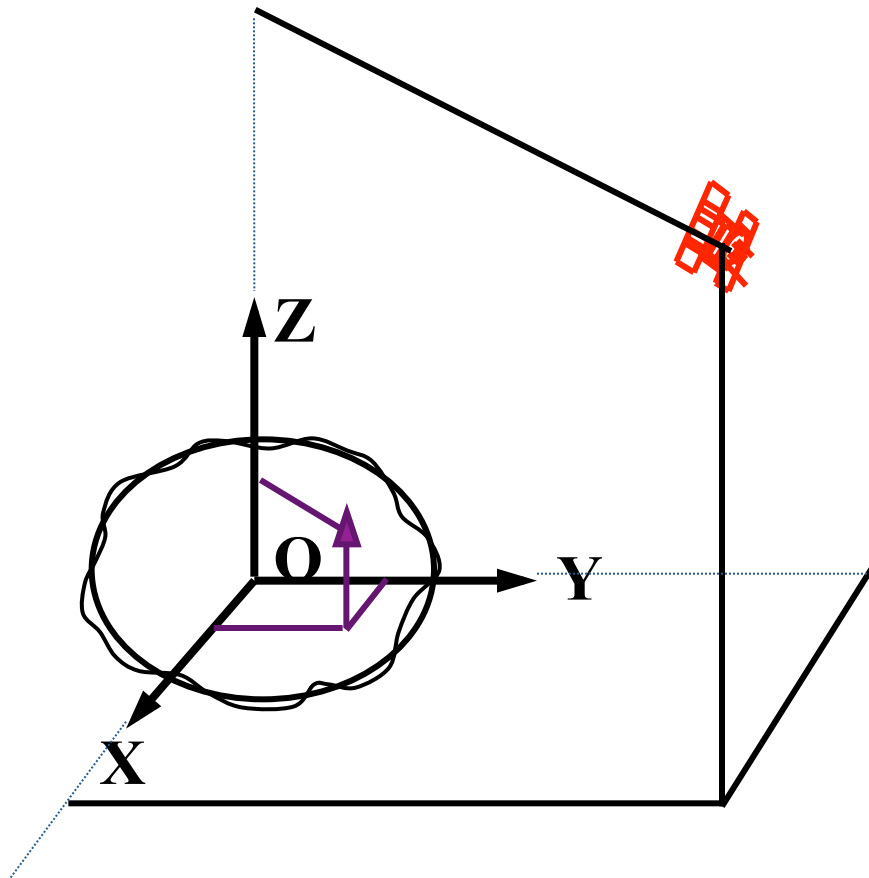
Ecart
RAF98
RAF09



REGINA : REseau Gnss pour l'IGS et la Navigation (CNES / IGN)



Systeme de référence géocentrique : réalisation



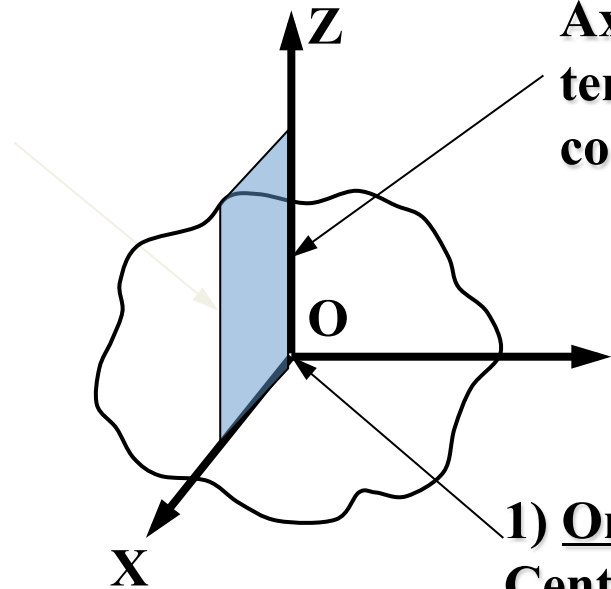
Une réalisation est obtenue par la connaissance de coordonnées de points matériels

- *points géodésiques (réseaux)*

- **satellites GNSS**

Systeme de référence géocentrique

3) Axe OX
tel que XOZ
parallèle au
Plan méridien
du BIH
(Bureau
International
de l'Heure)



2) Axe OZ
Axe de rotation
terrestre
conventionnel (CIO)

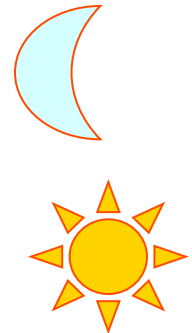
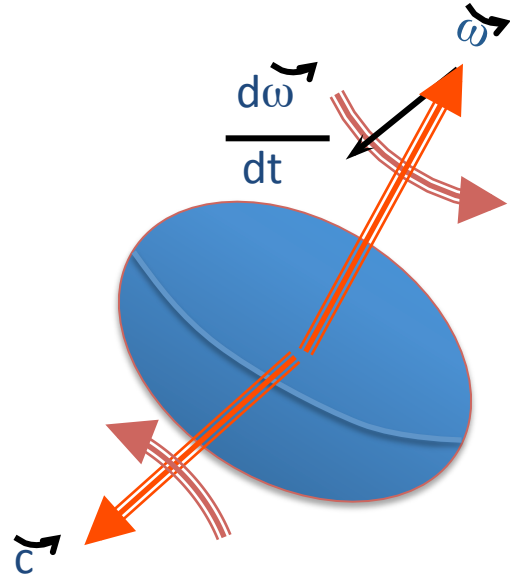
4) Axe OY
OXYZ = trièdre direct

1) Origine O
Centre de masse
de la Terre

Mais tout bouge!



PRECESSION NUTATION LUNI-SOLAIRE

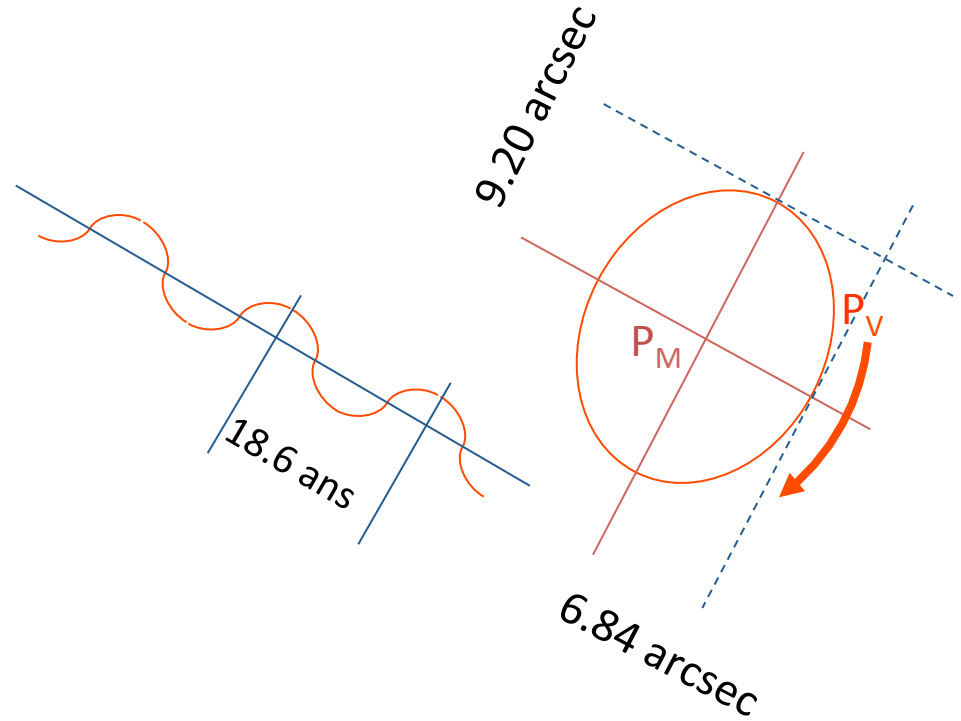
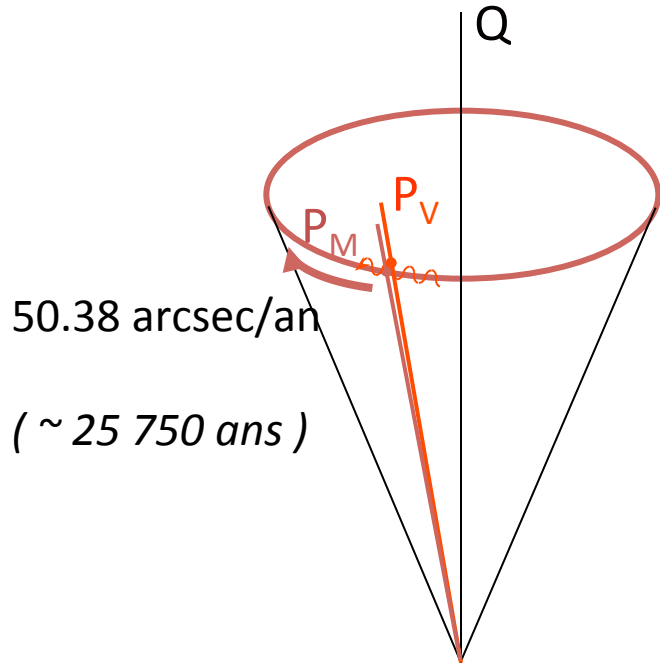


$$\vec{c} = J \frac{d\vec{\omega}}{dt}$$

\vec{c} : Couple exercé sur le bourrelet équatorial
 $J \vec{\omega}$: moment cinétique de la Terre
(J : moment d'inertie)

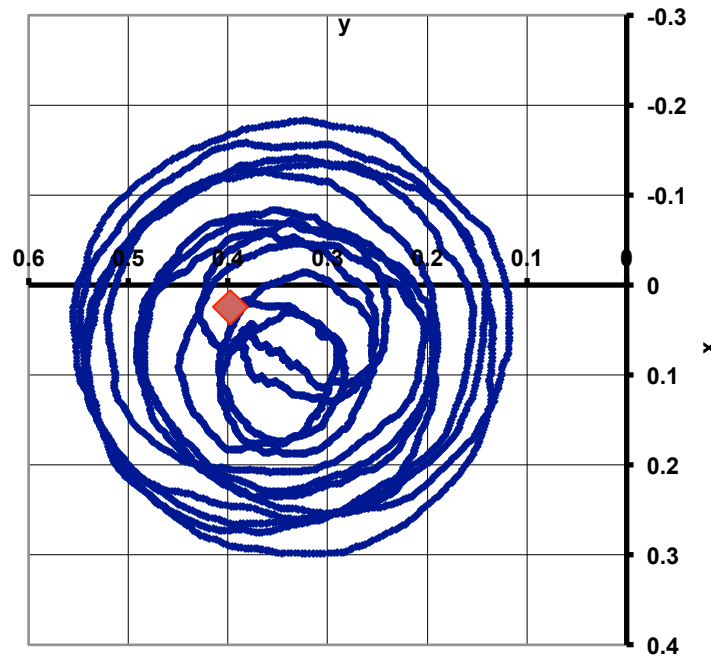
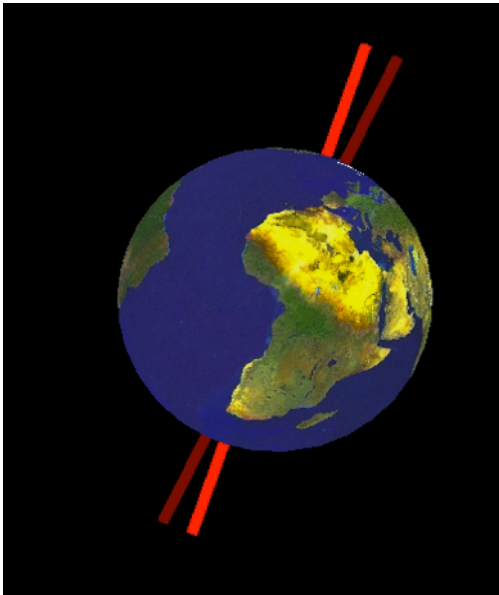
Mouvement général : PRECESSION
Termes périodiques : NUTATION

PRECESSION NUTATION



Mouvement du pôle

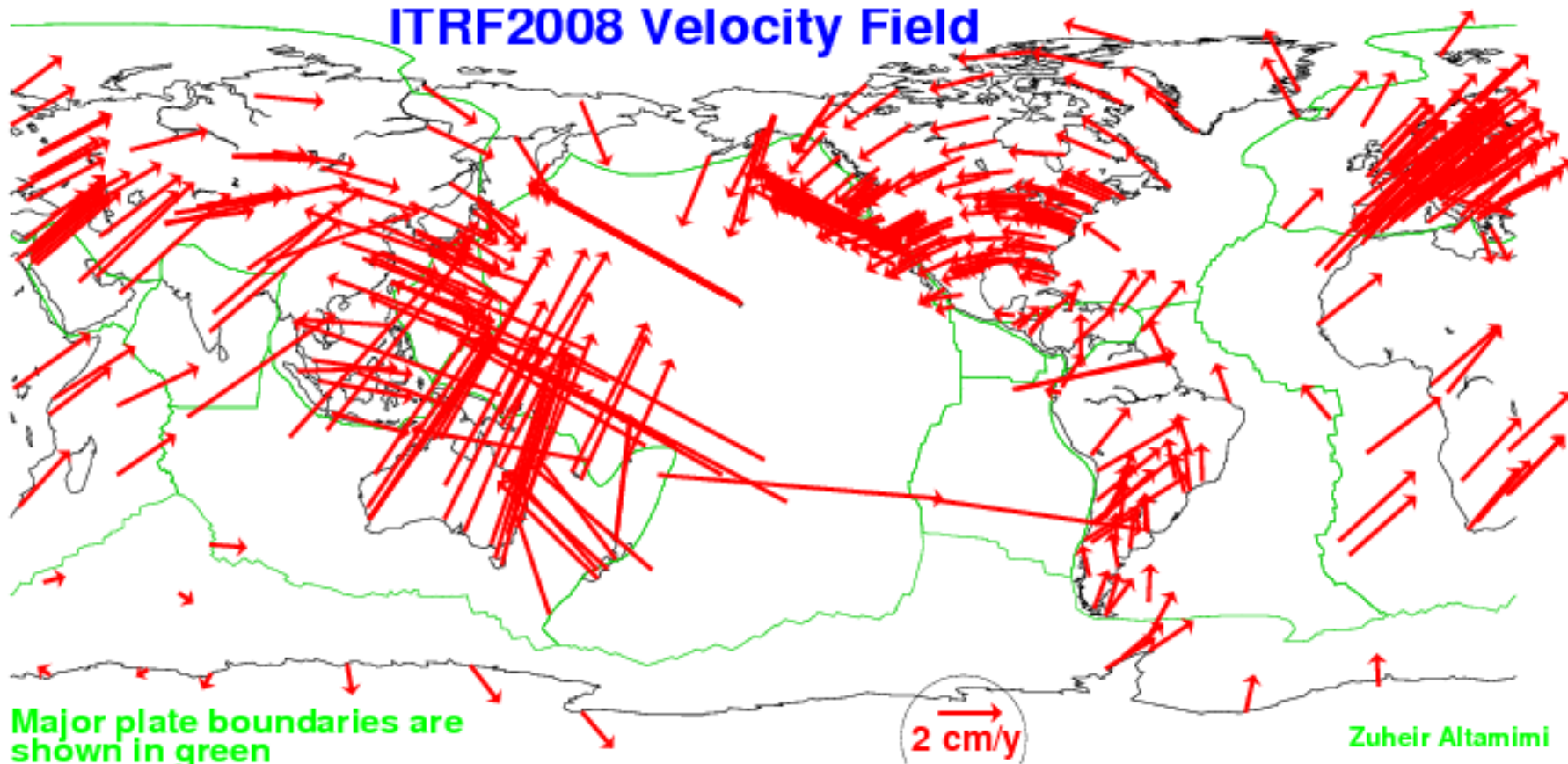
pole 2000.0 2014.15 (arcsec)



15 m

Mouvements tectoniques

ITRF2008 Velocity Field



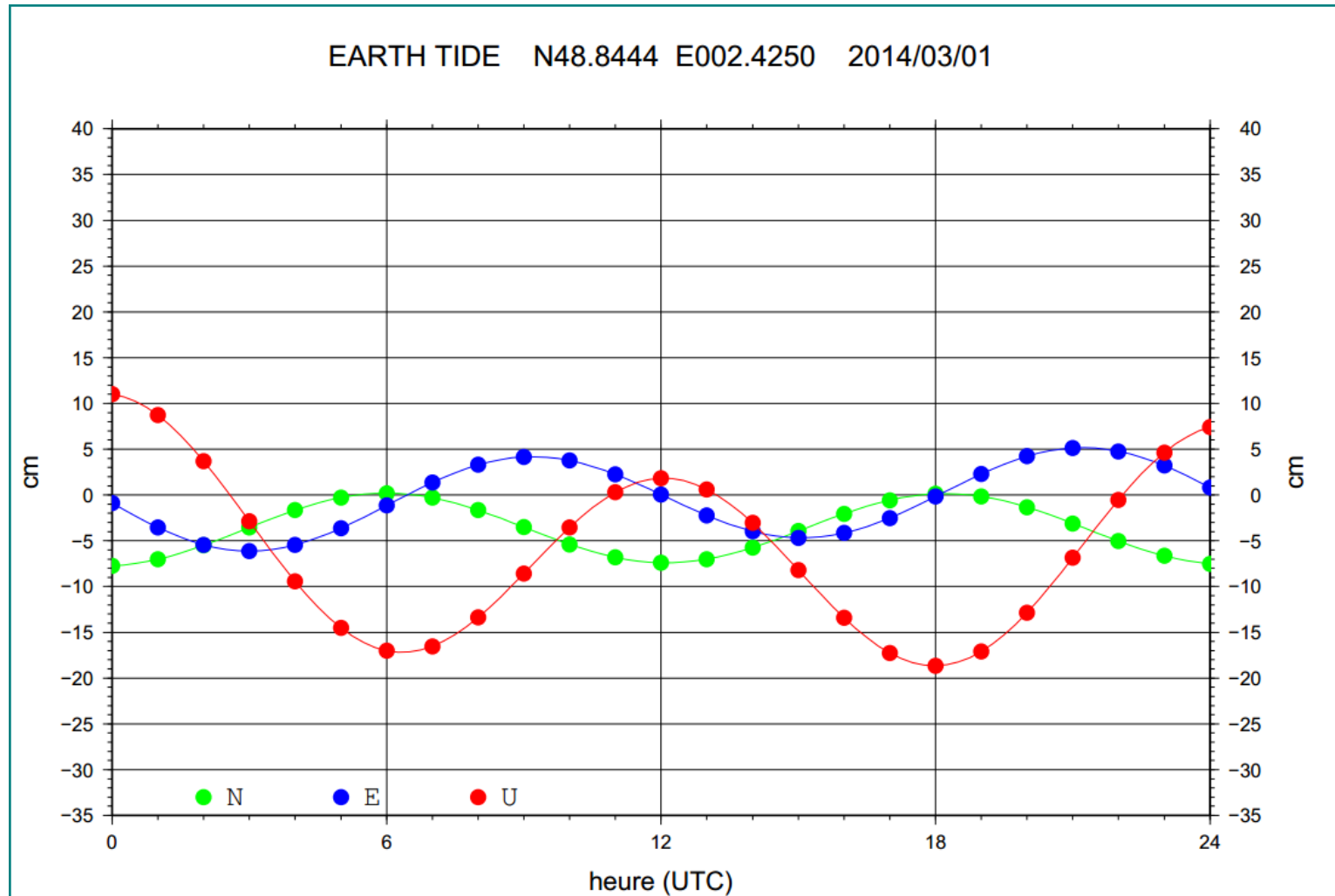
Major plate boundaries are shown in green

2 cm/y

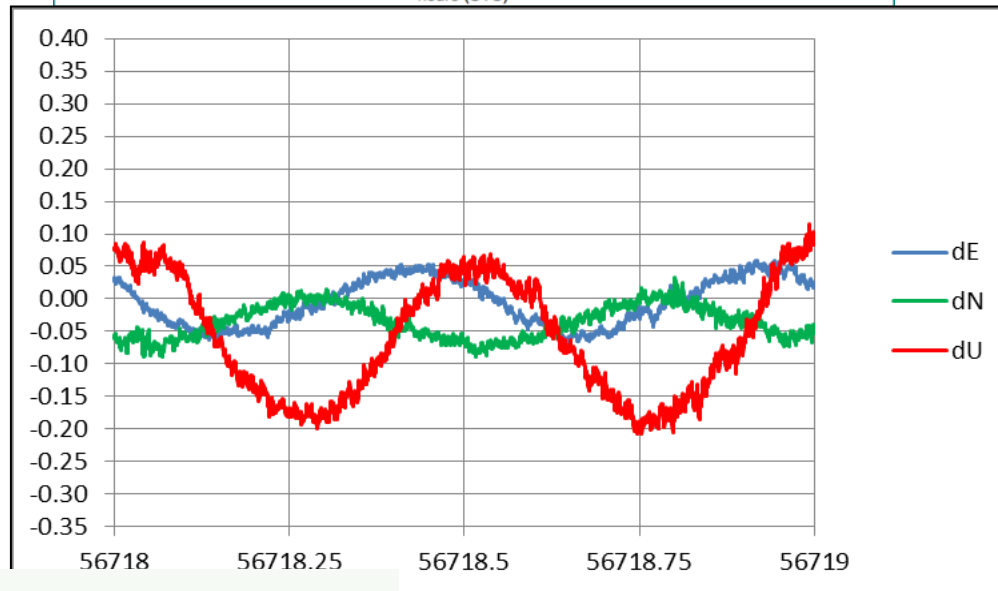
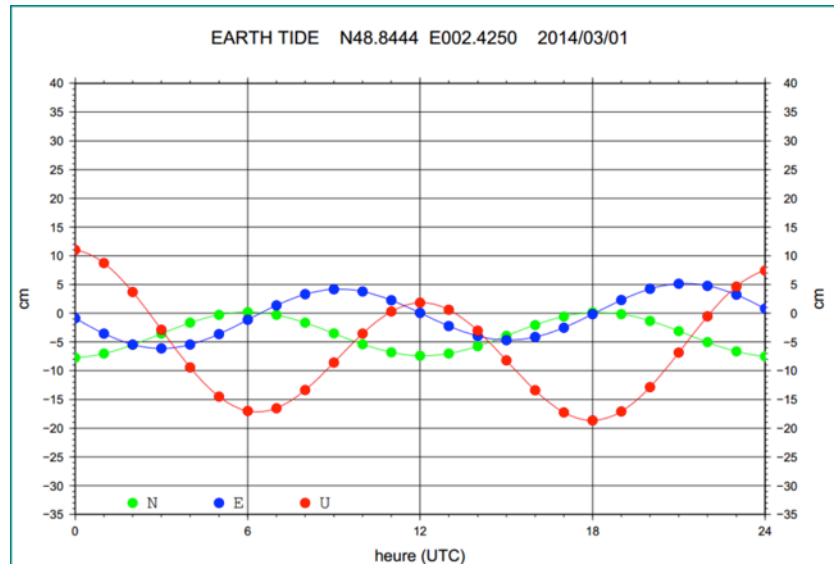
Zuheir Altamimi



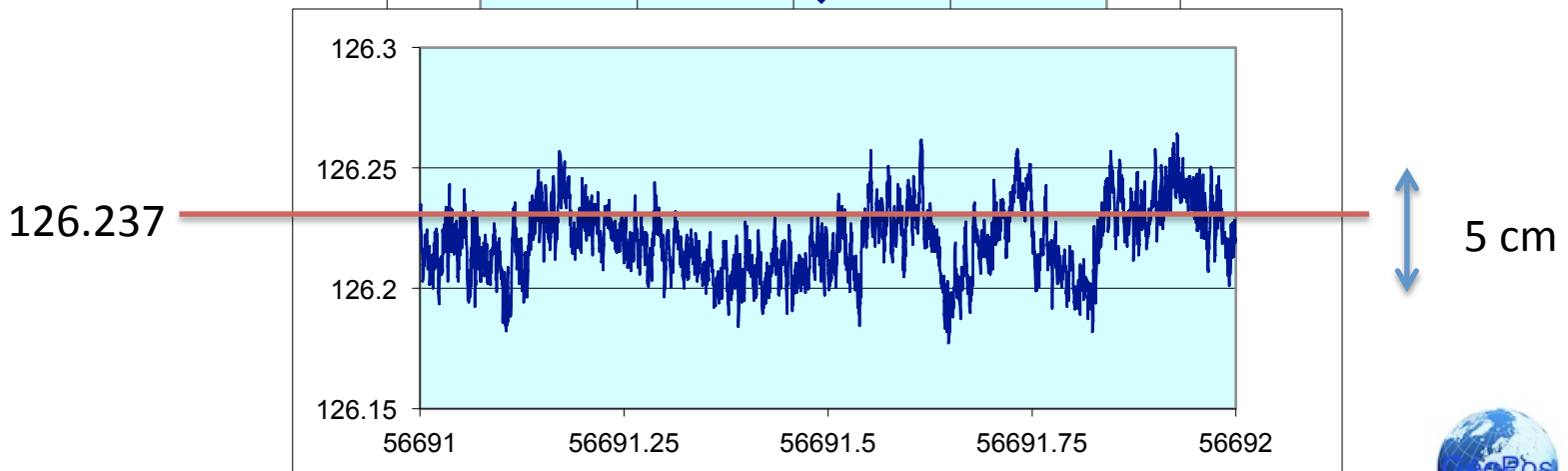
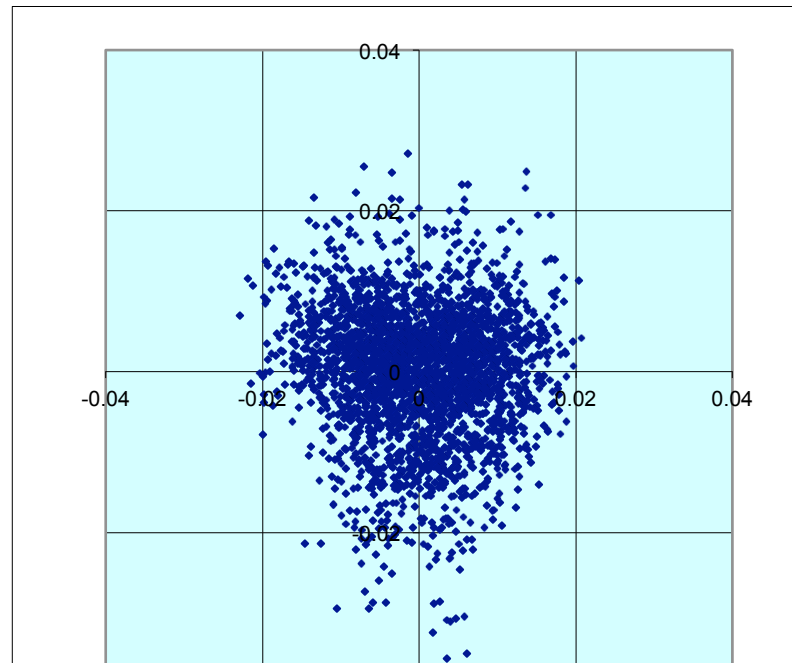
Marées terrestres : Saint-Mandé 1^{er} mars 2014



Marées terrestres : modèle vs PPP



PPP : SMNE 034 (03/02/2014)



Les références nationales : liens à l'ITRS (ou ETRS89)

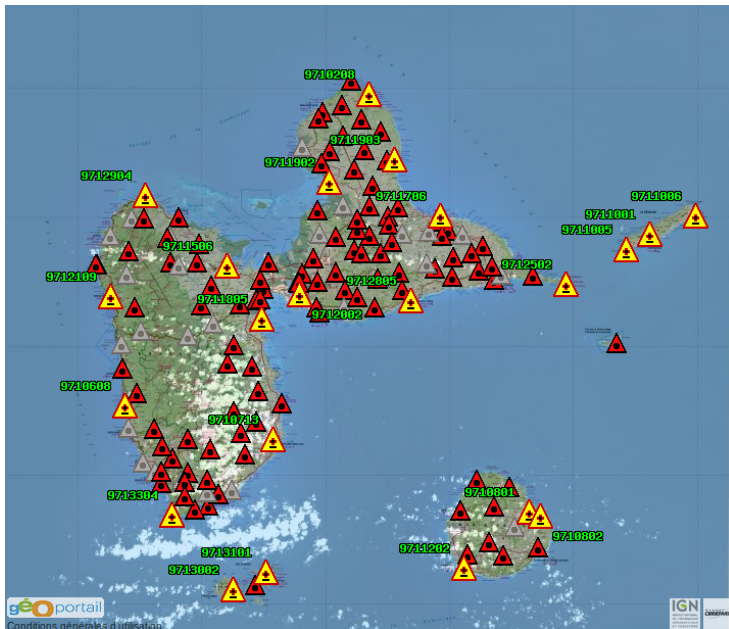
<i>Territoire</i>	<i>nom</i>	<i>xTRFyy</i>	<i>date</i>	<i>plaque</i>
France métropolitaine	RGF93	ETRF2000	2009.0	EU
La Réunion	RGR92	ITRF91	1992.0	SO
Guyane	RGFG95	ITRF93	1995.0	SA
Mayotte	RGM04	ITRF2000	2004.0	SO
St Pierre et Miquelon	RGSPM06	ITRF2000	2006.0	NA
Antilles françaises	WGS84	~ITRF88	~1988	CA
Antilles françaises	RGAF09	ITRF2005	2009.0	CA



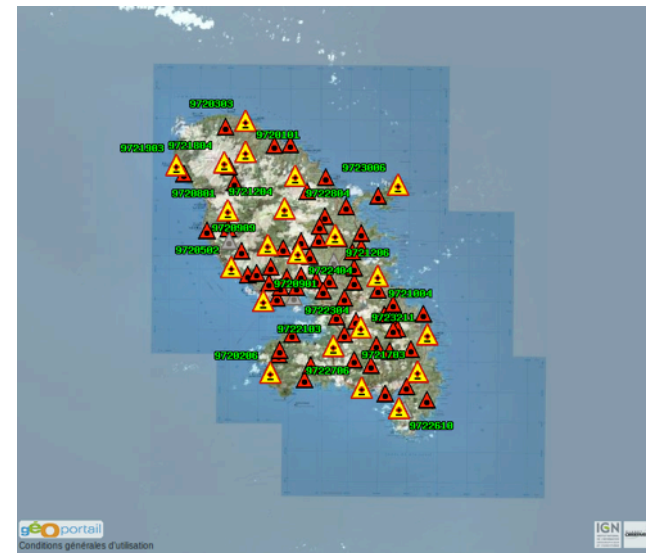
Les Antilles ...



Ancien : Guadeloupe Fort Marigot

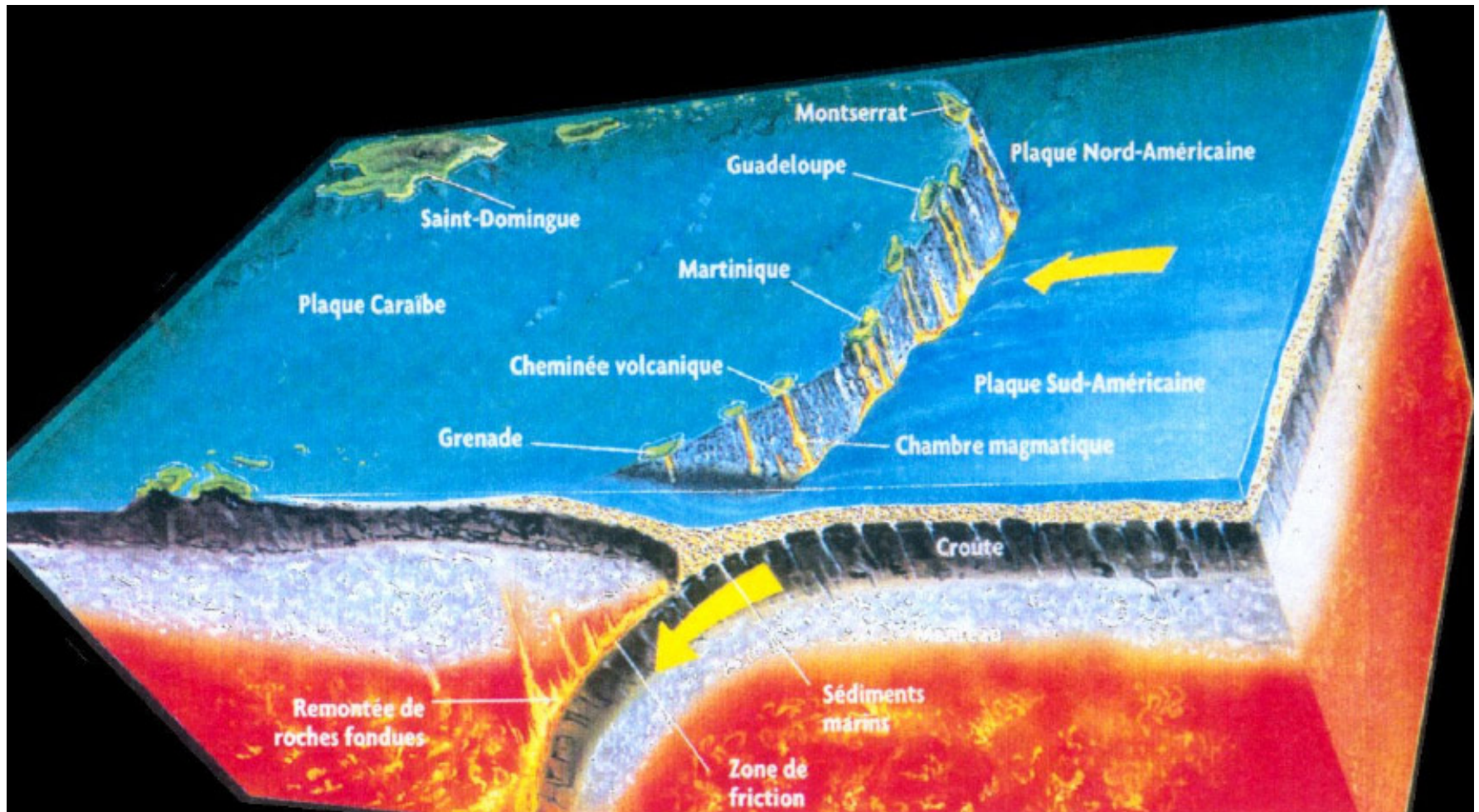


Ancien : Guadeloupe Ste Anne



Ancien : Martinique Fort Desaix

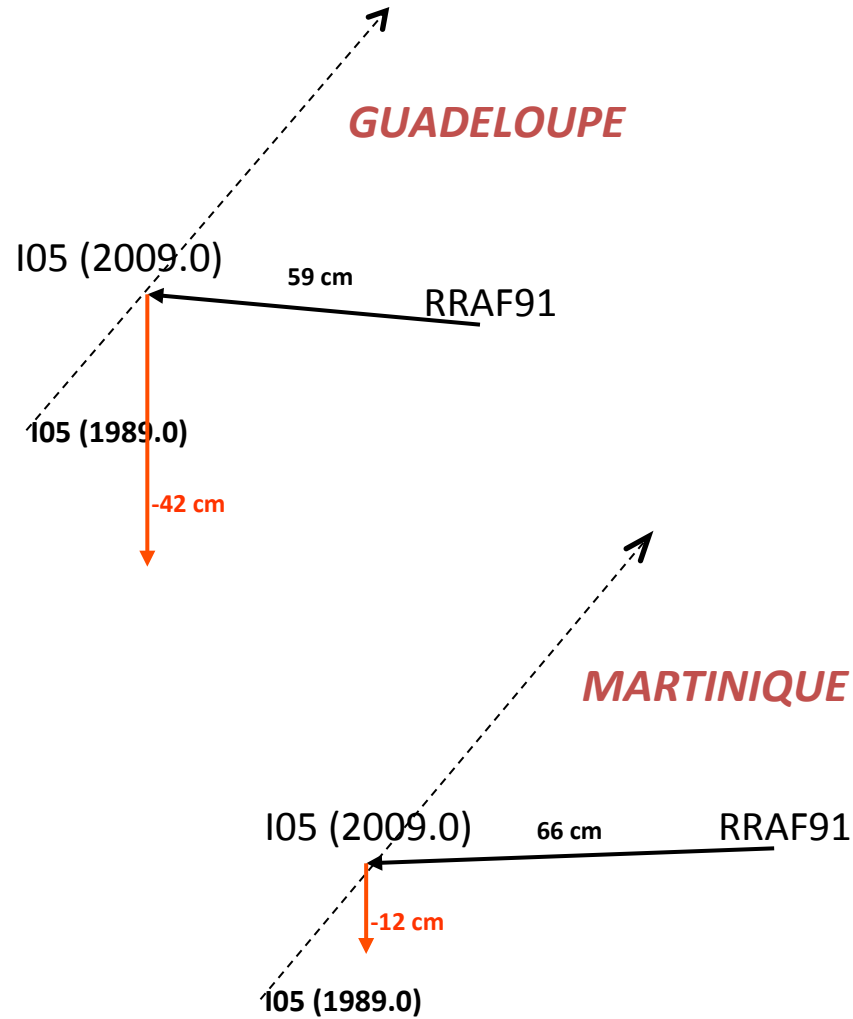




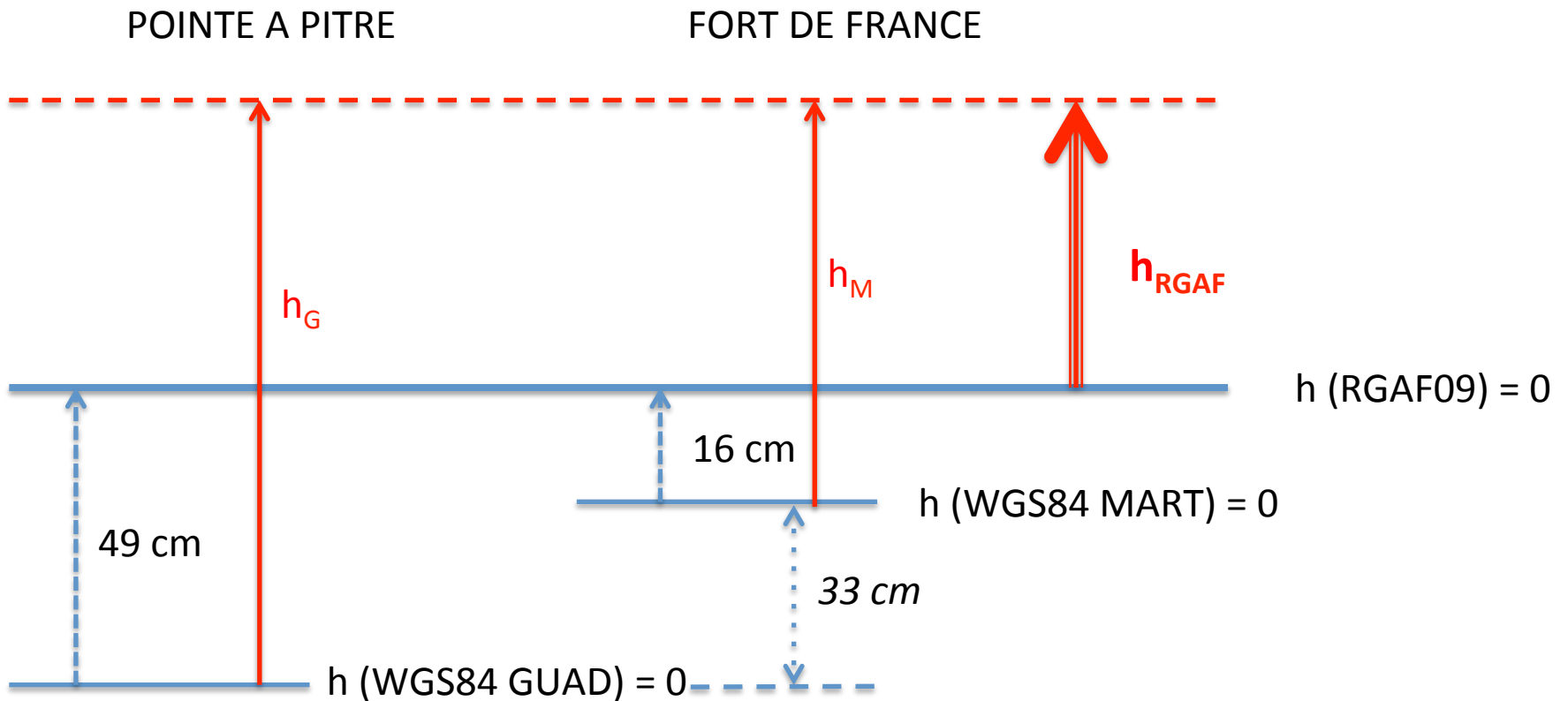
Subduction sous les Petites Antilles, Poster_OVSG_Antilles.pdf © OVSG-IPGP, Eureka 1997



ANTILLES : RGAF09 (ITRF2005) vs WGS84(RRAF91)



EXEMPLE : UN MÊME VOL LIDAR SUR LES DEUX ILES



ALTITUDES ...

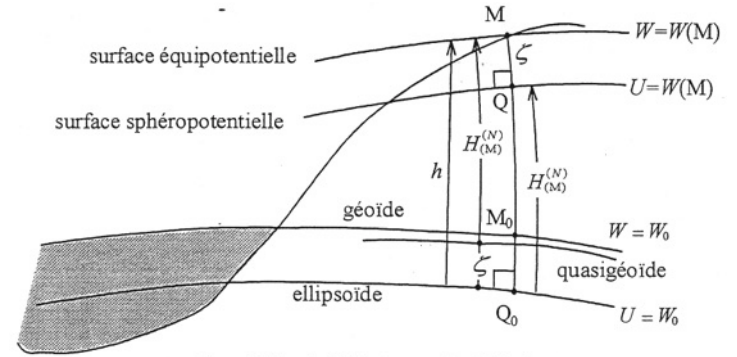
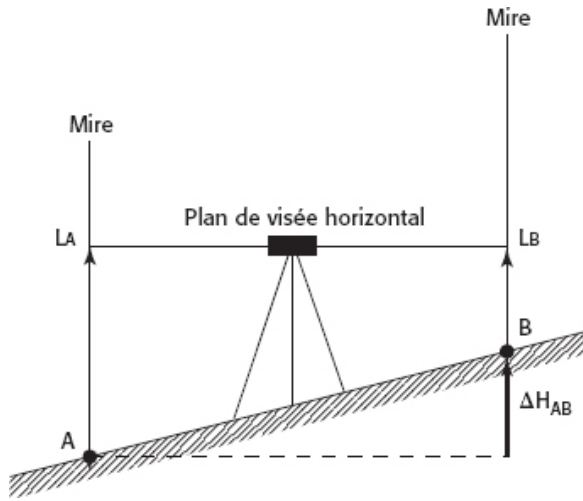
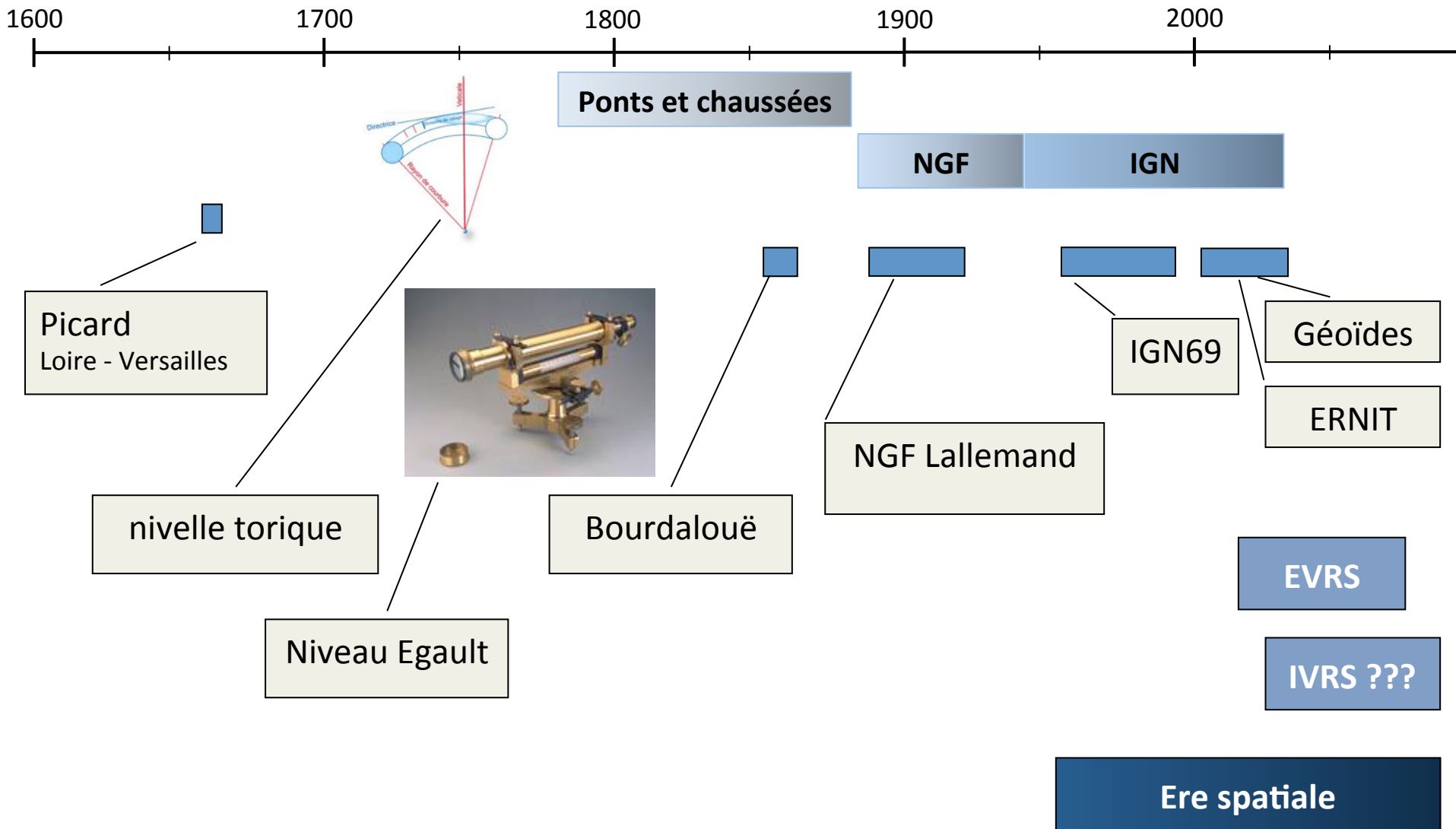


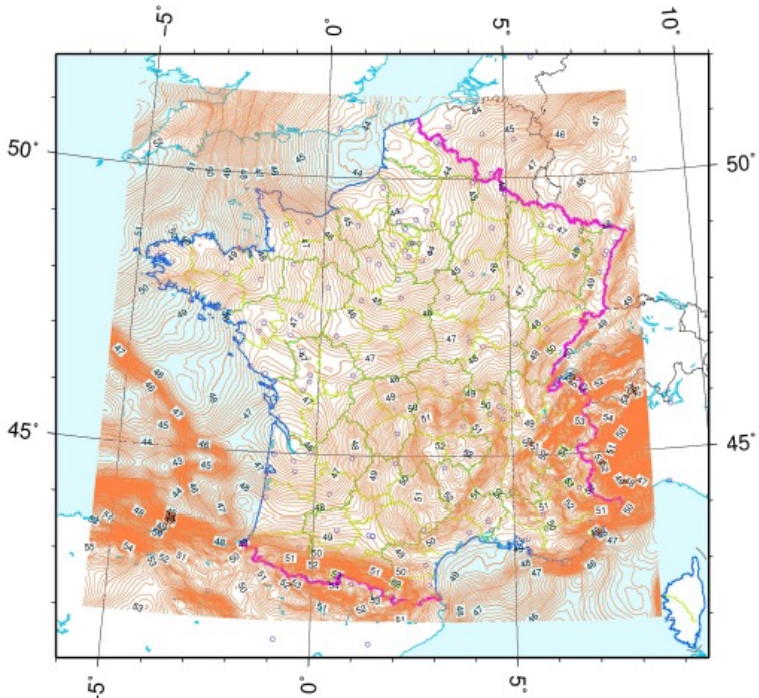
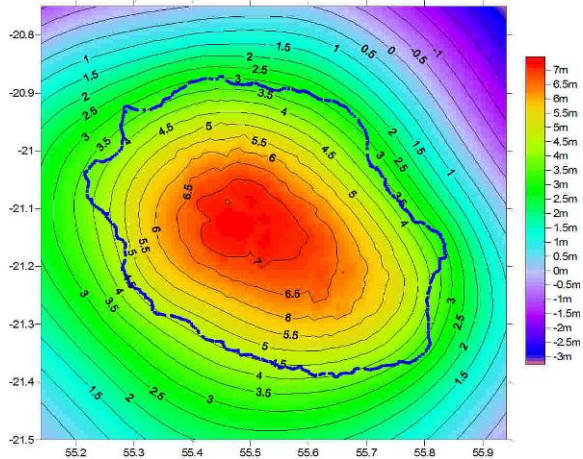
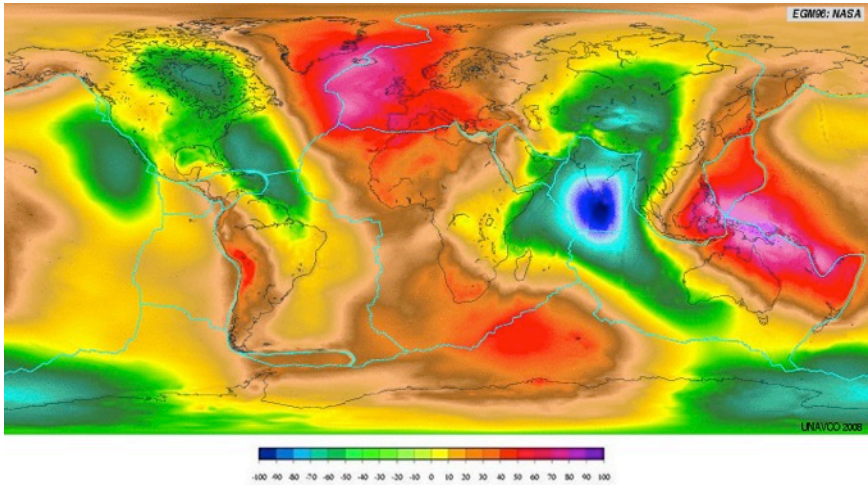
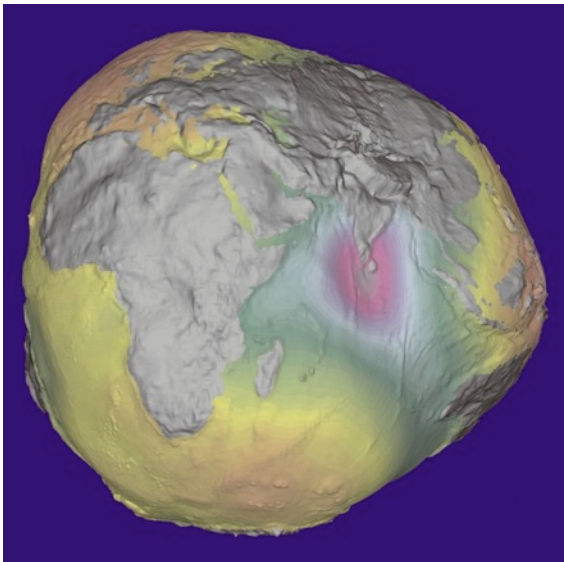
Figure 2: Quasi-géoïde et anomalie d'altitude.



Une chronologie du nivellement en France



Altitudes vs géométrie : « géoïdes »

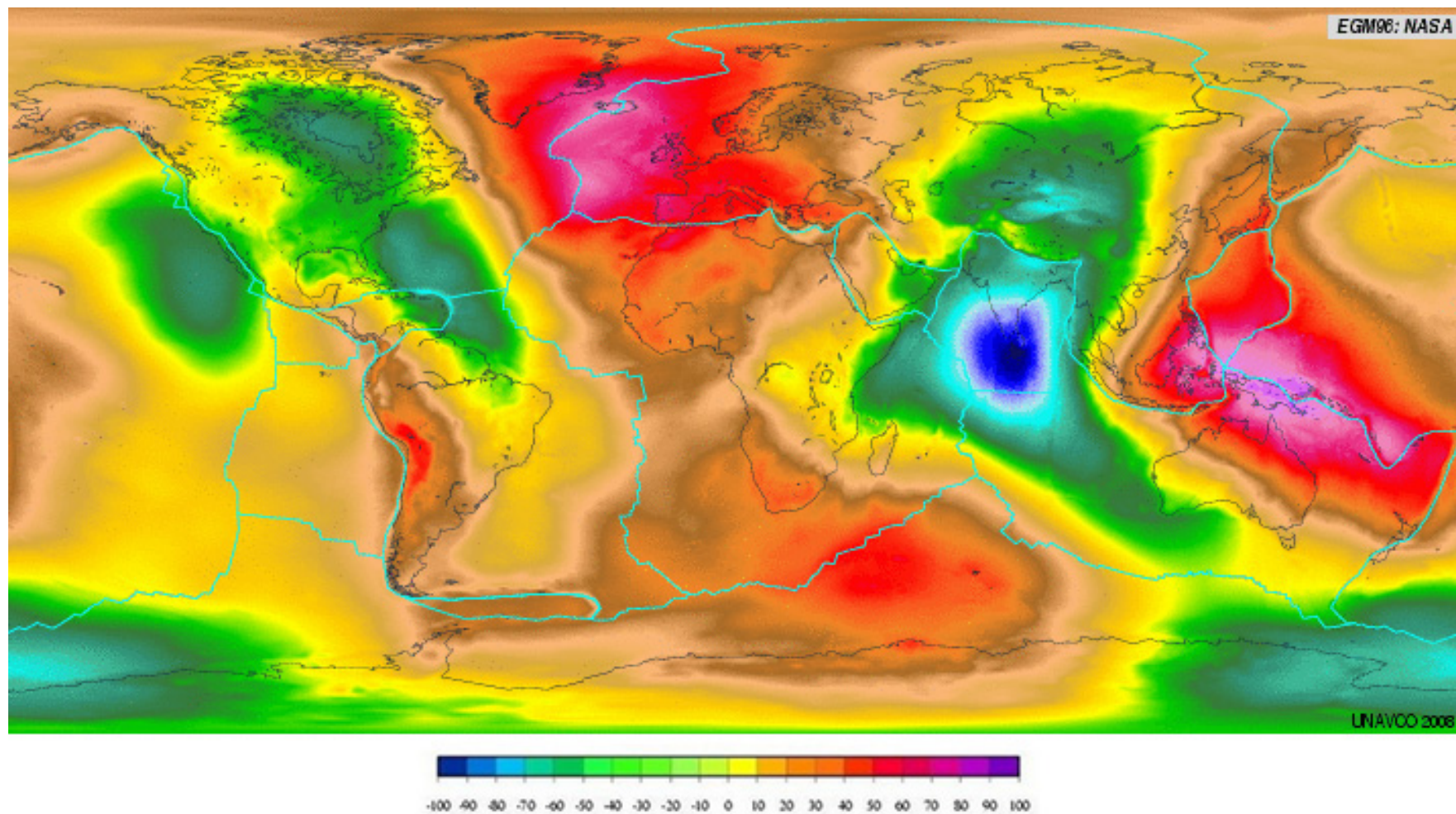


Les références verticales nationales

France continentale	NGF/IGN69
Corse	NGF/IGN78
Guyane	NGG 1977
Martinique	IGN 1987
Guadeloupe (Grande-Terre et Basse-Terre)	IGN 1988
Guadeloupe (Marie-Galante)	IGN 1988 MG
Guadeloupe (La Désirade)	IGN 1992 LD
Guadeloupe (Les Saintes)	IGN 1988 LS
Saint-Barthélemy	IGN 1988 SB
Saint-Martin	IGN 1988 SM
Réunion	IGN 1989
Mayotte	SHOM 1953
Saint-Pierre-et-Miquelon	DANGER 1950

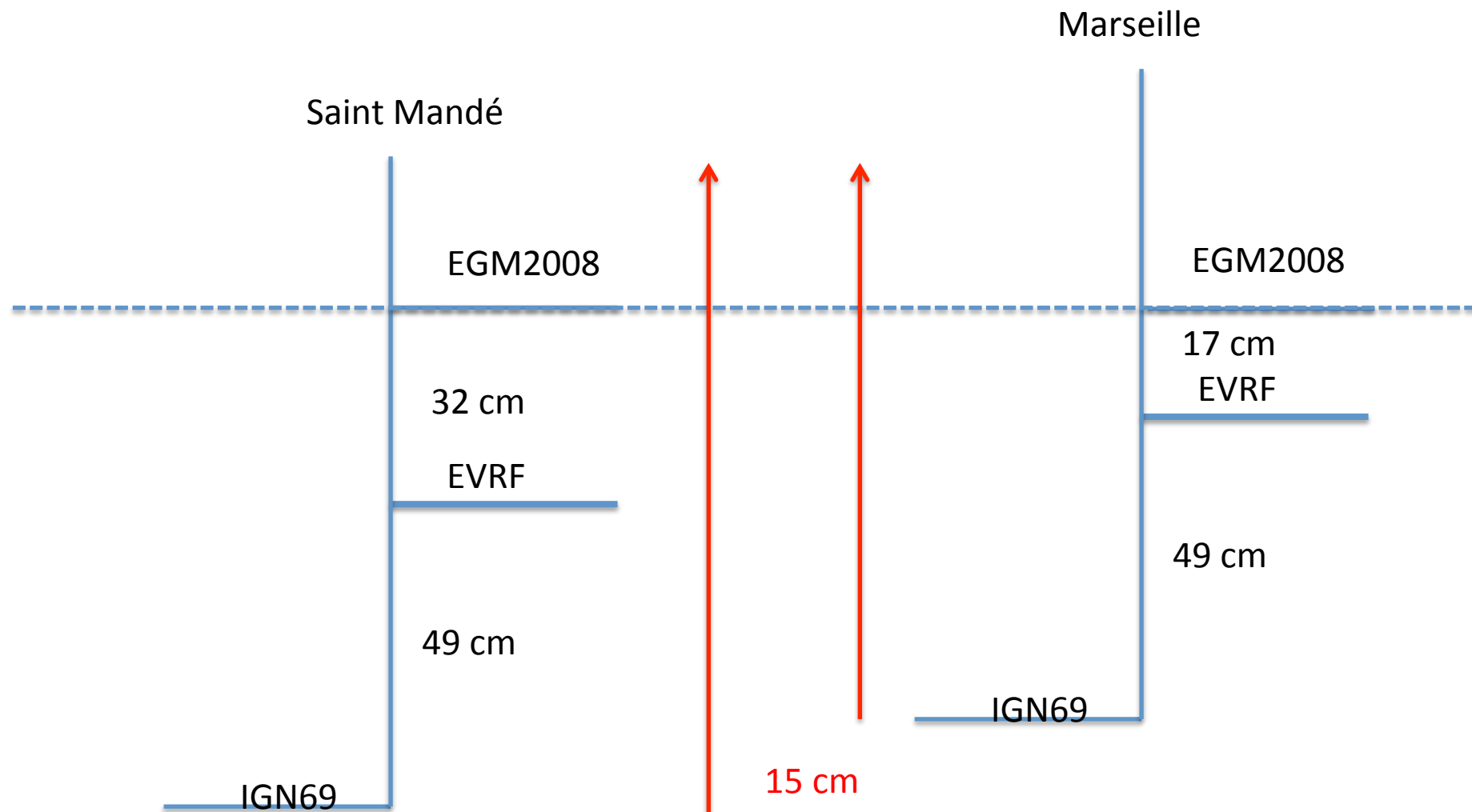


Modèle de géoïde mondial EGM 2008



Comparaison des références verticales en France

Locale : IGN69, européenne EVRF, mondiale : modèle de géoïde EGM 2008

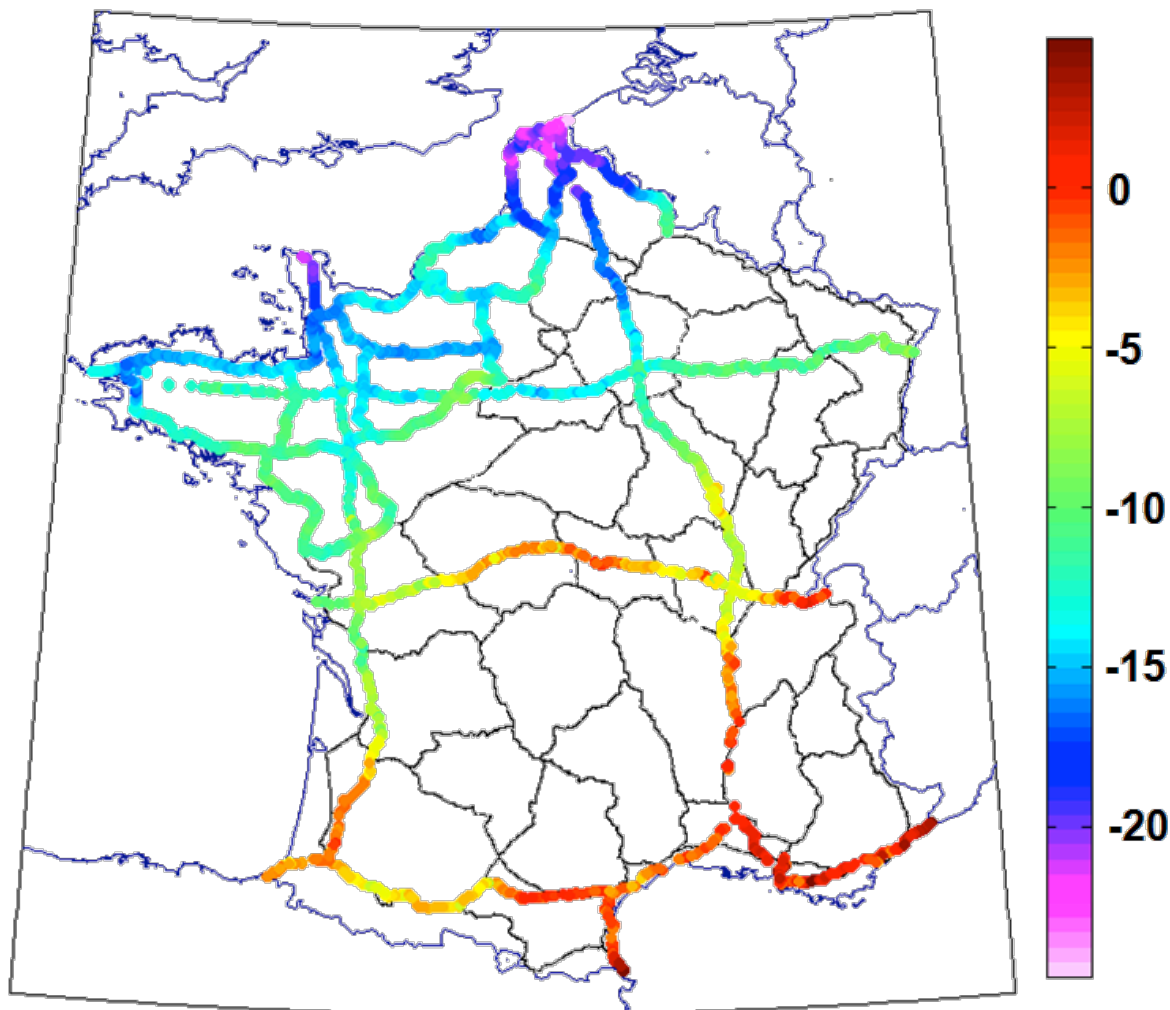


Altitudes plus « hautes » à Saint Mandé qu'à Marseille ?



■ Comparaison NIREF IGN69

- Biais Nord-Sud
 - - 24 cm au Nord
 - + 4 cm au Sud



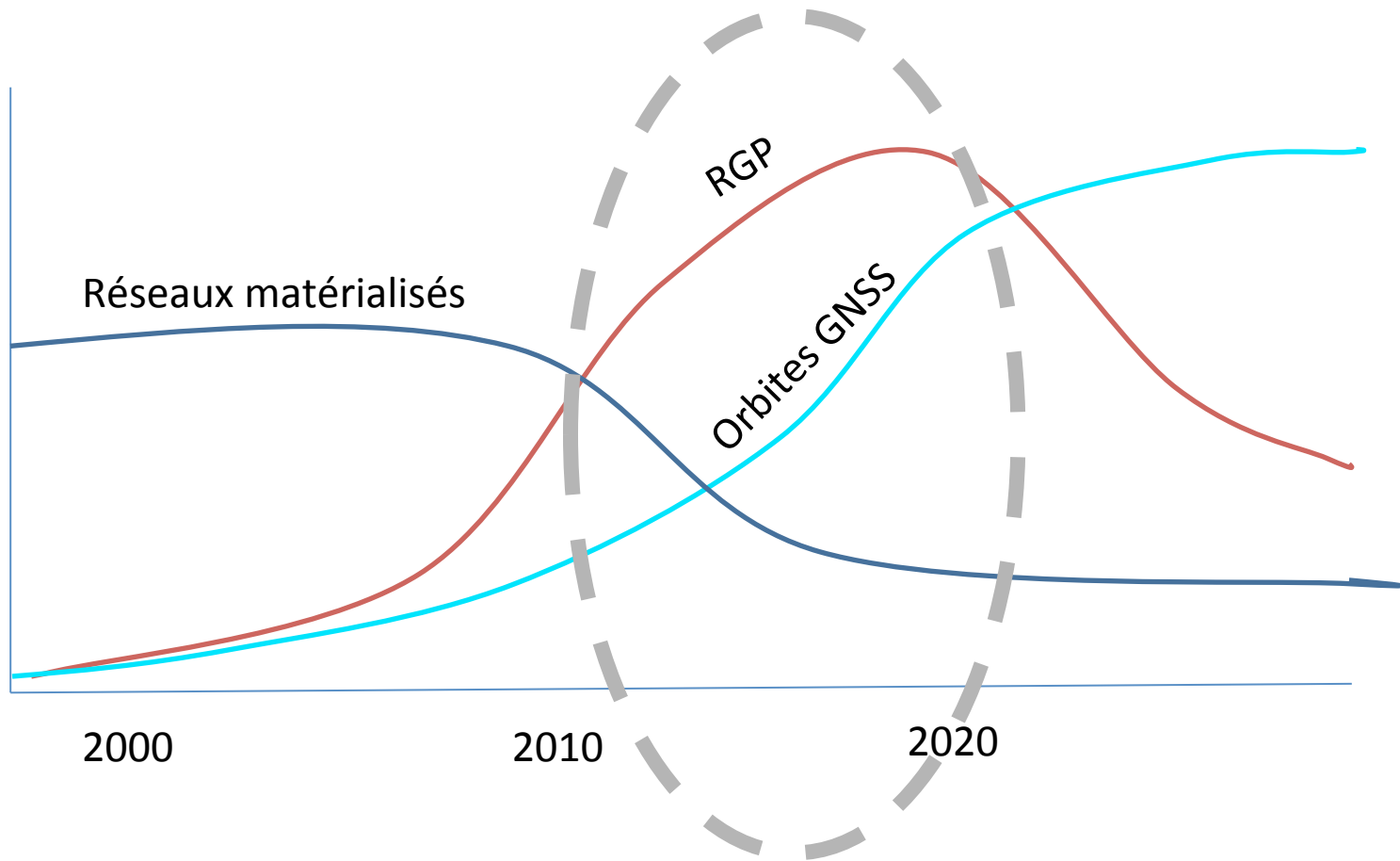
EGM 2008 pour les territoires ?

(recommandation INSPIRE...)

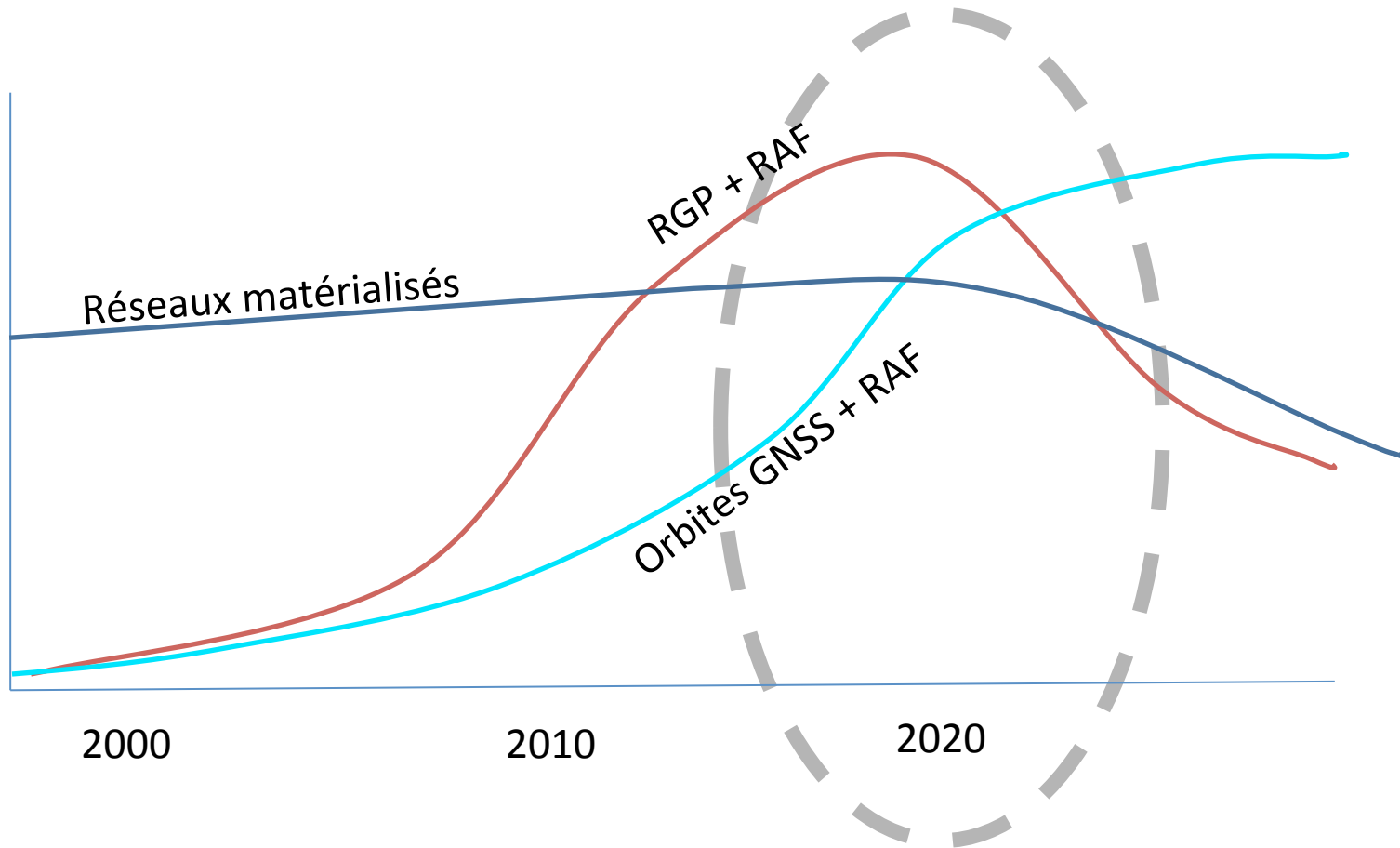
<i>Territoire</i>	<i>référence</i>	<i>HEGM - Hloc</i>
France continentale	NGF/IGN69	~ - 70 cm
Corse (Ajaccio)	NGF/IGN78	- 96 cm
Guyane (Kourou)	NGG 1977	- 6 cm
Martinique (Fort de France)	IGN 1987	+ 9 cm
Guadeloupe (Pointe à Pitre)	IGN 1988	+ 17 cm
Réunion (Observatoire)	IGN 1989	+ 65 cm
Mayotte (Dzaoudzi)	SHOM 1953	+ 63 cm
Saint-Pierre(-et-Miquelon)	DANGER 1950	- 44 cm



Modes d'accès à la référence 3D (« géodésie »)



Modes d'accès à la référence verticale (« nivellement »)



MERCI

