

FIG Working Week 2015 **17-21 mai, Sofia, Bulgarie**

La démarche française de modernisation de la référence verticale

Françoise DUQUENNE (AFT)

Alain COULOMB (IGN)

François L'ECU (IGN)

Le contexte

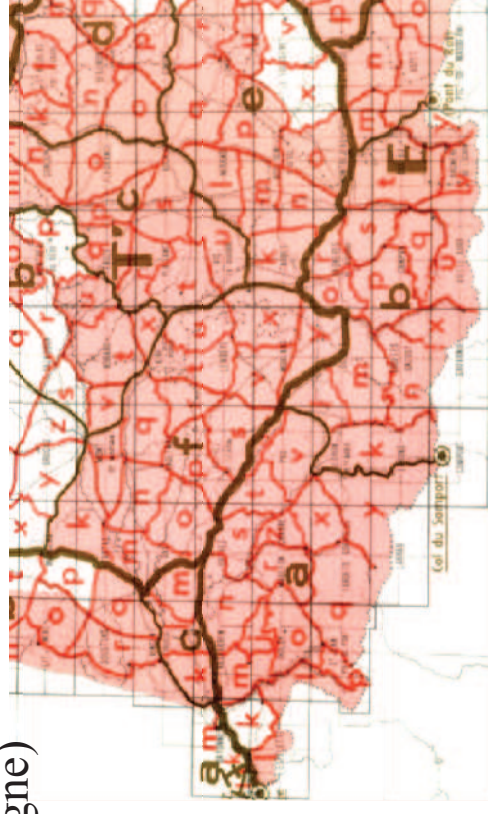
La référence verticale française (NGF-IGN69)

- origine marégraphe de Marseille
- 256 000 km de lignes de nivellement
- 350 000 repères de nivellement
- type d'altitude normal
- observations

nivellement géométrique et trigonométrique à pied ou motorisé
gravimétrie sur le 1^{er} et 2^{ème} ordre (en Montagne)

Constat à la fin du XX^{ème} siècle

- incapacité économique d'entretenir ce réseau
- plus de repères détruits que de nouveaux posés
- enquête utilisateur (1995) montre le besoin d'un réseau mieux reparti et mieux entretenu



Une nouvelle politique d'entretien du réseau de nivellement : les triplets

Les réflexions :

- faire intervenir des observations GPS pour améliorer la productivité pour l'entretien
- donner la possibilité à l'utilisateur d'accéder par GPS à la référence verticale.

Solution par les triplets

Un triplet est un groupe d'au moins 3 repères

- distance entre deux repères < 1 km
- dénivelée maximum 30 m
- implantation dans des agglomérations
- toute zone habitée est au maximum à 5 km d'un triplet



Les étapes de la réalisation

- 2000-2008 : contrôle de l'état du réseau : permet d'identifier les triplets existants
- 2001-2007 : NIVAG : création de 4000 triplets dans les zones non pourvues
- 2008-2020 : ERNIT : première itération de l'entretien de 13200 triplets

Le nivellement assisté par GPS (NIVAG)

Objectifs: amener l'altitude IGN69 par GPS

- Pour éviter des cheminements de nivellement longs et coûteux
- rattachement par GPS très précis à la référence géodésique RGF93 (ETRS89)
- par le réseau géodésique matérialisé RBF puis par le réseau GPS permanent (RGP)
- convertir la différence de hauteur ellipsoïdale en différence d'altitude avec la grille RAF98

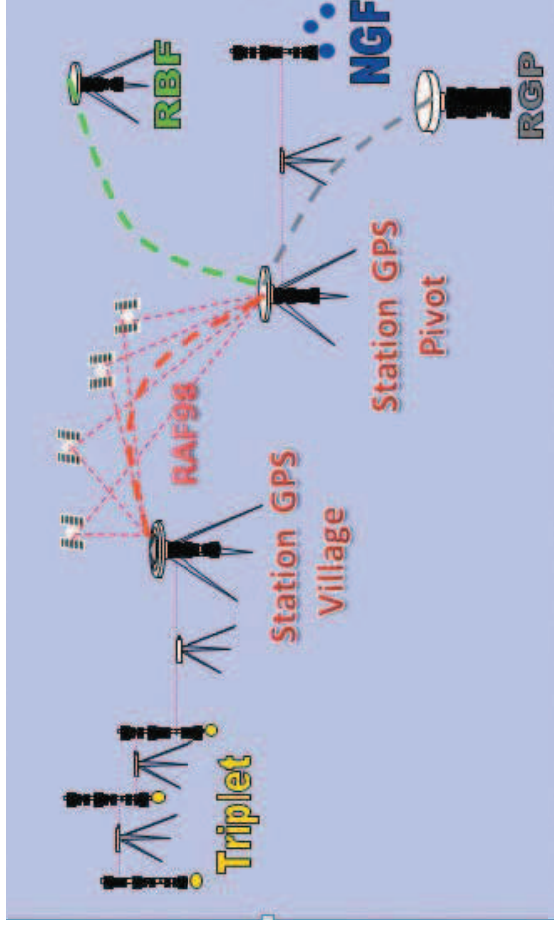
Les observations

au pivot :

- utilisé pour plusieurs triplets (<15 km)
- observations GPS 48 heures
- antenne rattachée au NGF par nivellement

Triplet:

- nivellement de précision entre les repères
- 3 heures Observations GPS
- antenne rattachée au NGF par nivellement



L'entretien du réseau de nivellement par les triplets (ERNIT)

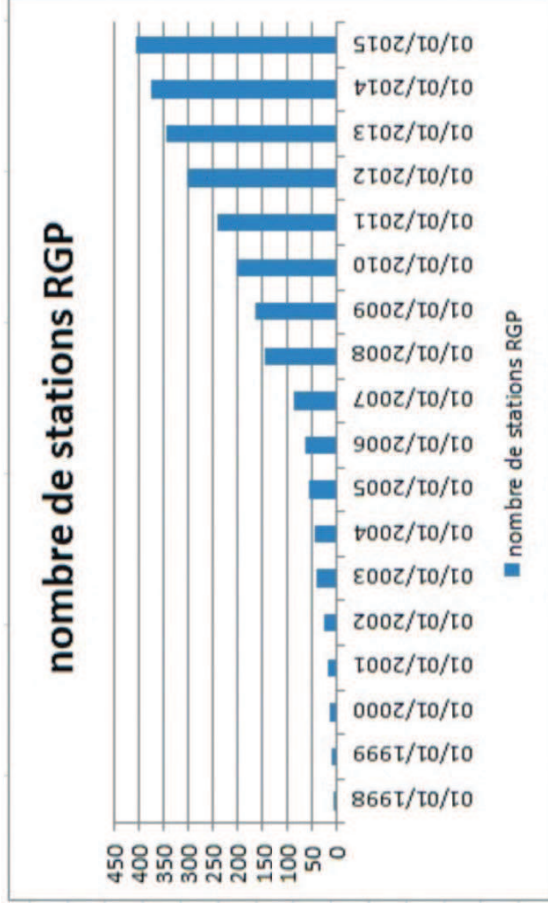
- nivellement de précision entre les repères du triplet
- détermination de la hauteur au dessus de l'ellipsoïde par GNSS :
Durée des observations : 2h30mn
Calculs avec le réseau permanent RGP
- La hauteur ellipsoïdale permettra de contrôler les zones instables par GPS



antenne GNSS équipée d'une mire code barre et niveau numérique Trimble DINI

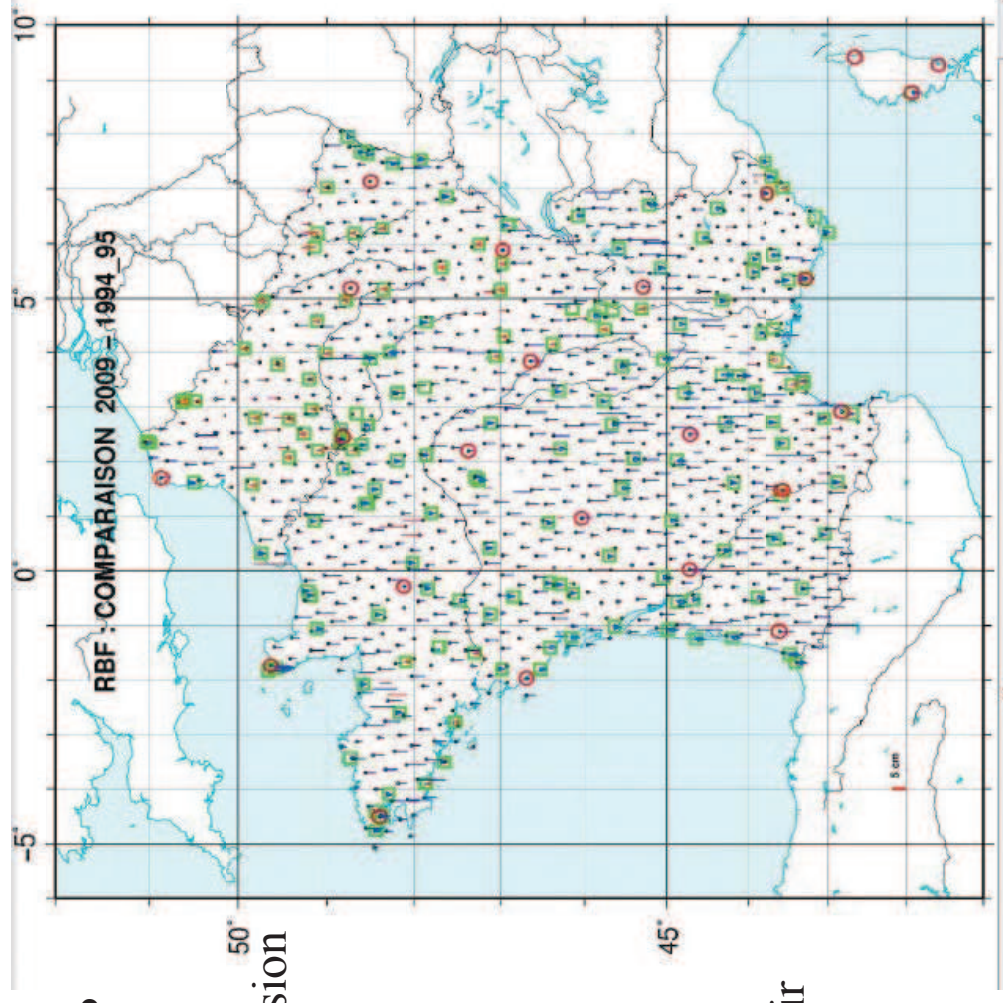
Evolution dans les méthodes GNSS (1/2)

- Le RGF93 est le composante Française du système géodésique Européen ETRS89
- Rendu accessible grâce au réseau RBF d'environ 1000 points matérialisés entre 1994 et 1996
- le RGF93 qui est devenu la référence géodésique nationale légale par décret en 2000.
- Accès GNSS facilité à partir de 1998 par un réseau GNSS permanent le RGP
- RGP : un partenariat public-privé constitué aujourd'hui d'environ 400 stations



Evolution des méthodes GNSS (2/2)

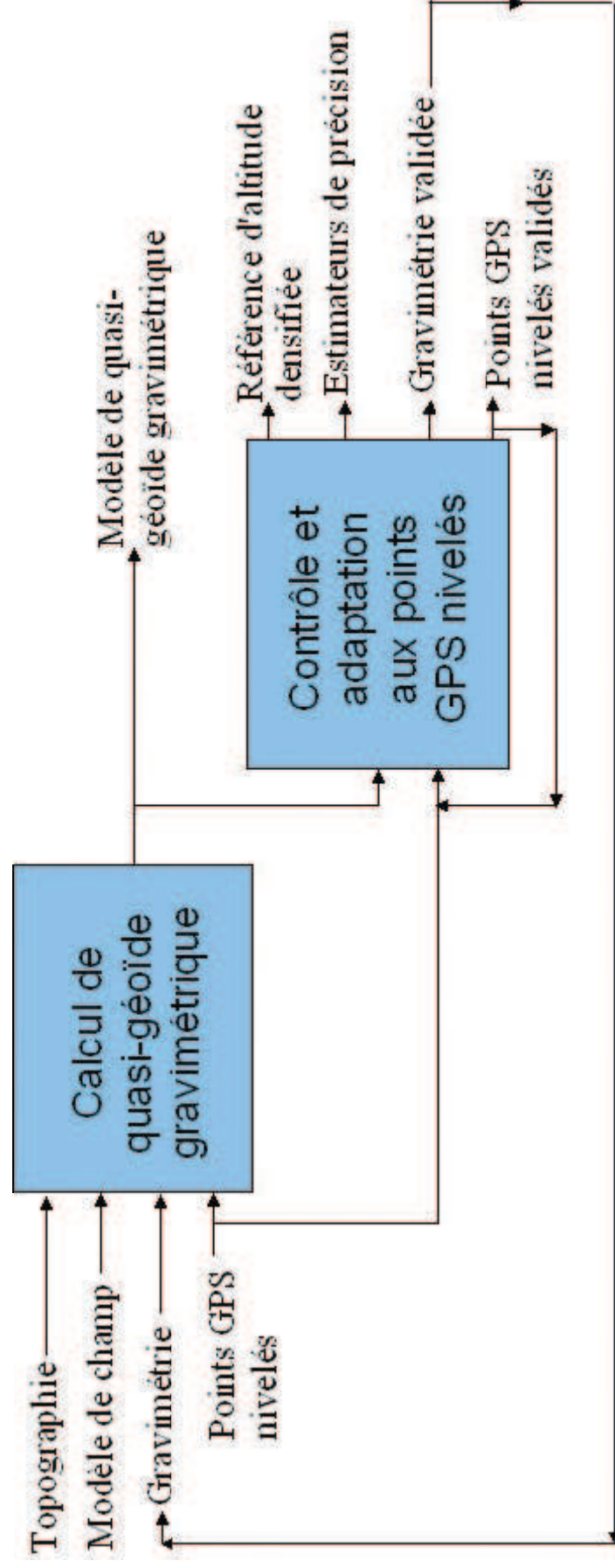
- Dans un premier temps les stations RGP sont rattachées au RBF pour assurer la compatibilité des deux réseaux.
- En 2009, dans le contexte de la commission EUREF de l'IAG, l'IGN procède à un retraitement de toutes les observations du RGP depuis 2000.
- Améliorations des paramètres de calcul: antennes absolues, surcharge océanique, troposphère
- Les observations GPS faites sur le RBF pendant le NIVAG permettent aussi de recalculer les coordonnées du RBF à partir des nouvelles coordonnées du RGP.
- Les écarts de coordonnées atteignent
3 cm en horizontal
10 cm en vertical



Réfection RBF 2000-2009, écart verticaux avec le calcul 1997

Une grille de conversion altimétrique de plus en plus précise (1/5)

Le but : créer une grille qui par simple interpolation permet à partir de Coordonnées RGF93 longitude, latitude, hauteur au dessus de l'ellipsoïde GRS80 de calculer l'altitude IGN69.



Une grille de conversion altimétrique de plus en plus précise (2/5)

Le modèle de quasigéoïde QGF98

Données:

Données gravimétriques:
BGI terrestre + Morelli
+ Sandwell (converties)

Modèle mondial:
OSU91A

Modèle numérique de terrain: 49°
resolution 140 * 140 m

Méthode de calcul:

Retrait restauration,
méthode du terrain résiduel,
intégrations classiques

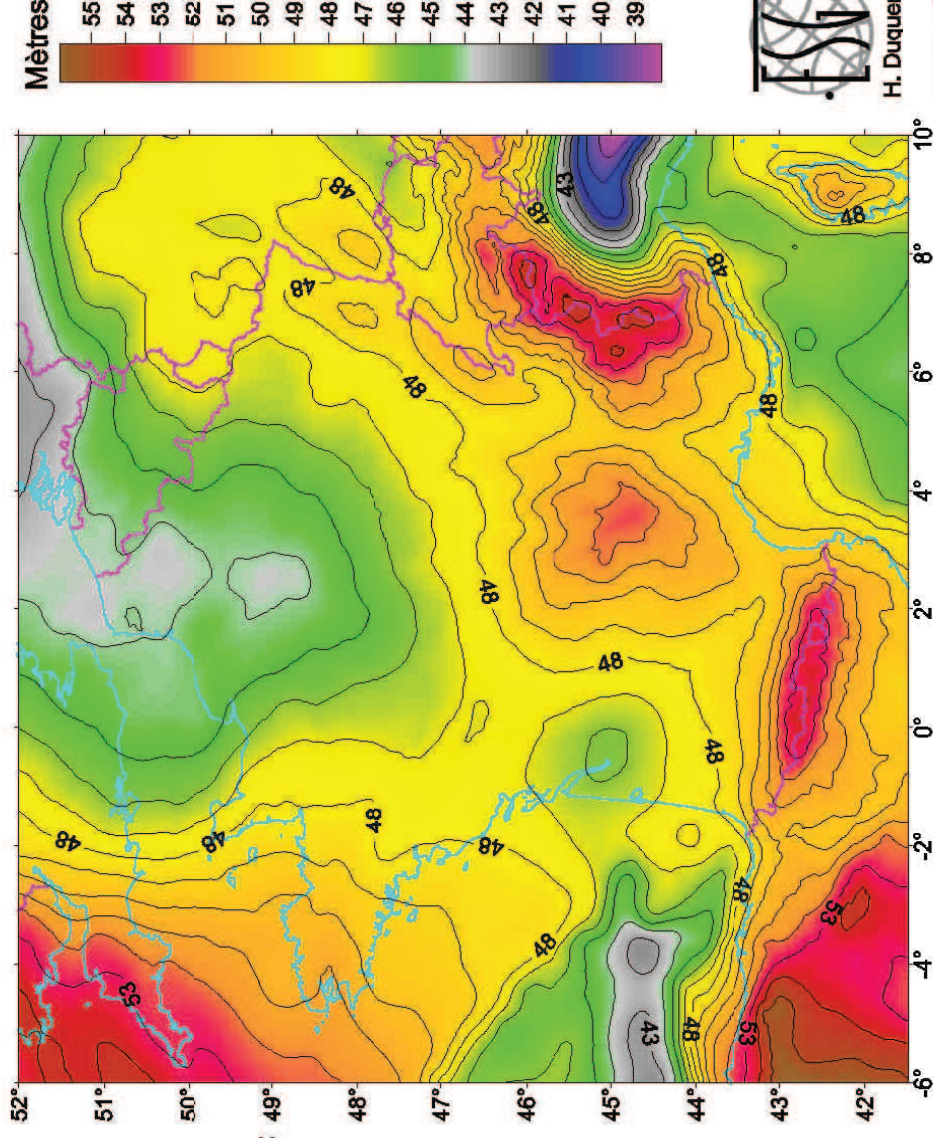
Rayon des corrections
de terrain: 110 km

Rayon d'intégration
de Stokes: 2°

Logiciels:

Gravsoft
(Forsberg and Tscherning)

Logiciels de l'auteur



H. Duquenne



Une grille de conversion altimétrique de plus en plus précise (3/5)

Comparaison QGF98 à 978 points GPS nivelés du RBF:

- Calcul d'une tendance sur les écarts:

$$\zeta_{GPS - NIV, i} - \zeta_{QGF 98, i} = a + b(\varphi_i - \varphi_o) + c(\lambda_i - \lambda_o) + v_i$$

Paramètre	Unité	Valeur
<i>a</i>	m	0,060
<i>b</i>	m/1000 km	-0,5258
<i>c</i>	m/1000 km	0,7852
<i>v</i> min	m	-0,379
<i>v</i> max	m	0,676
σ_v	m	0,109
σ_s	m	0,104
σ_n	m	0,034

Les paramètres a, b, c proviennent :

- des W_o (altitude zéro) différents entre le quasi-géoïde et la référence verticale IGN69
- du biais nord-sud du nivellement
- des erreurs à grandes longueurs d'ondes du modèle de champ

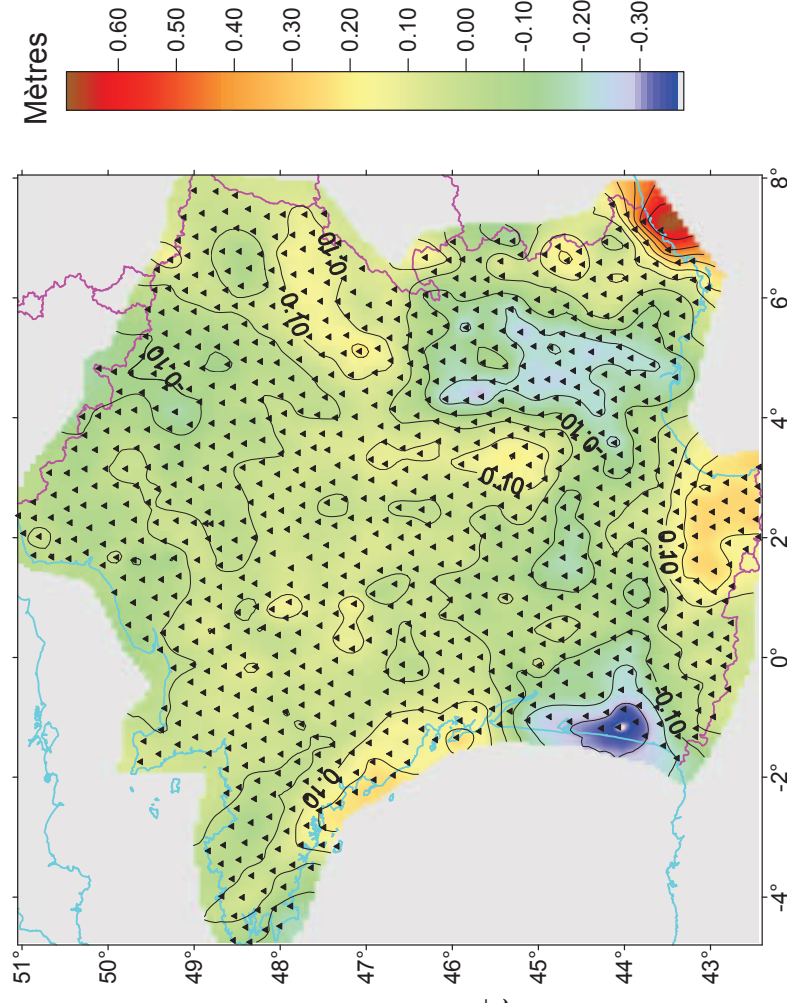
Le signal : partie corrélée des résidus (erreurs régionales du modèle de champ, du RBF)

Le bruit : correspond aux erreurs de mesures: GPS, nivellement, gravimétrie

Une grille de conversion altimétrique de plus en plus précise (4/5)

La grille RAF98 :

- Représente la hauteur de la surface de référence IGN69 au dessus de l'ellipsoïde GRS80 associé à RGF93
- pas de la grille 2,75 km
- obtenue en calculant la tendance en chaque noeud de la grille et en répartissant par collocation les résidus
- des tests sur des jeux de points GPS nivelés fournis par des utilisateurs s, et sur les pivots du NIVAG, donnent une estimation de la précision pour RAF98 de 3 cm à 95%.

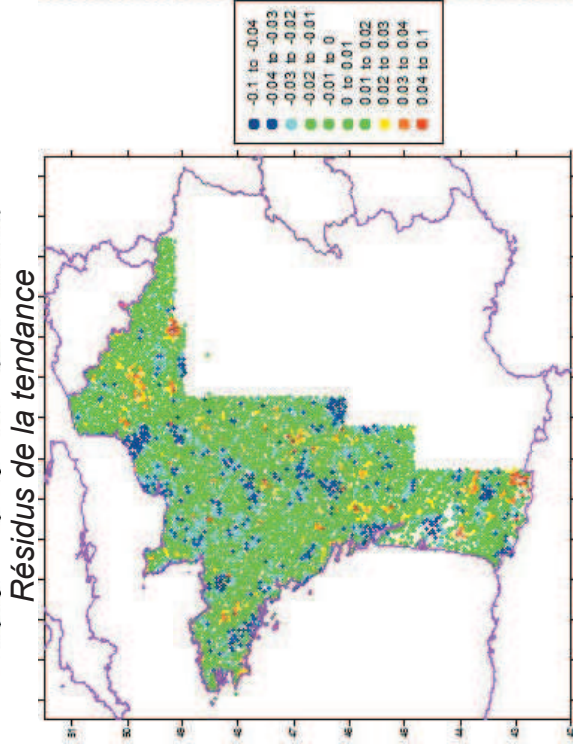
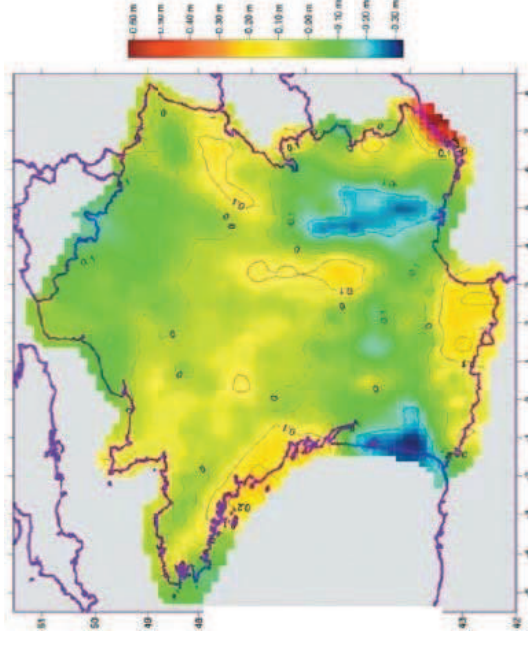


Les résidus du calcul de la tendance

Une grille de conversion altimétrique de plus en plus précise (5/5)

La grille RAF09:

- recalcul 2009 RGP et RBF
 - variations des hauteurs ellipsoïdales
 - calcul d'une nouvelle grille avec la même méthode
 - adaptation de QGF98 à 941 points GPS nivelés observés de la phase NIVAG
 - évaluation avec 6200 points GPS nivelés de la phase ERNIT
- écart type 1,7 cm
76,7 % <2 cm



Comparaison RAF09 avec 6200 triplets (m)

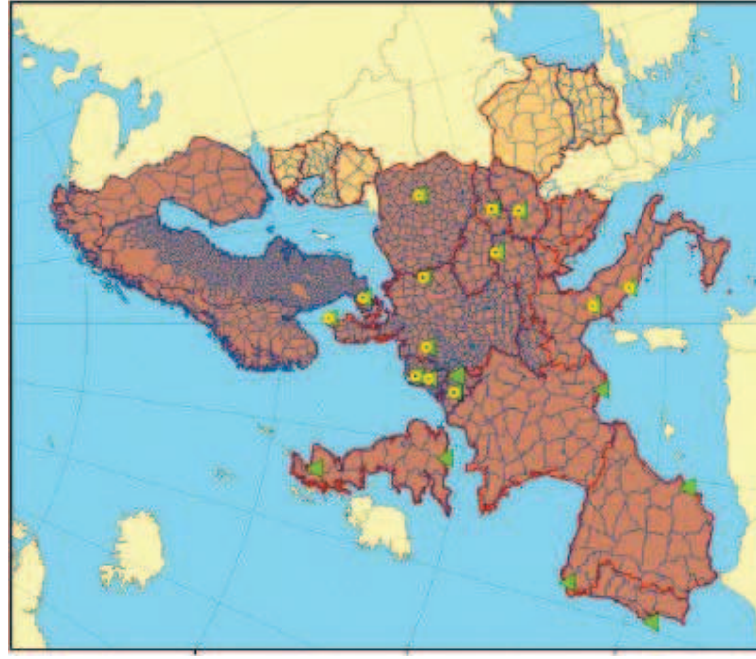
Une nouvelle grille RAF

Calcul d'un nouveau champ quasi-géoïde

- Modèle de champ EGM08
- Nouvelle gravimétrie : spatiale (GRACE, GOCE), aéroportée en Méditerranée, etc...

Calcul d'une grille par adaptation sur 13200 triplets
Précision en dessous du cm sur 90% du territoire

Une nouvelle référence verticale dans le contexte européen (1/2)



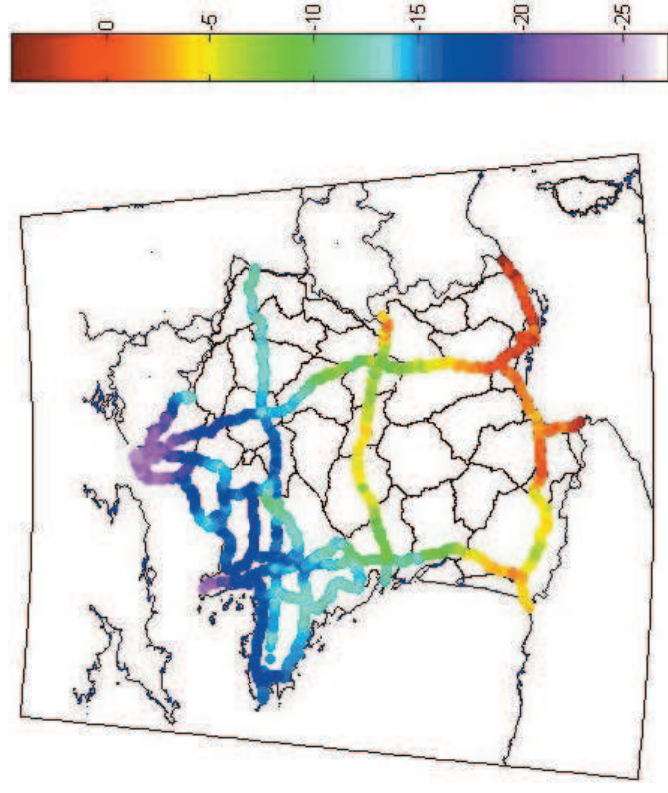
- EVRS2007 est la dernière réalisation de la référence verticale Européenne
- Le réseau est composé des réseaux de premier ordre de 27 pays européens
- L'origine en mer du Nord
- Utilisé actuellement pour des échanges de données peu précises en Europe

$$H_{EVRS2007} = H_{IGN69} - 0,47m$$



Une nouvelle référence verticale dans le contexte européen (2/2)

- 1983 :traverse de nivellement Marseille-Dunkerque→ pente sud Nord (environ 20 cm)
- NIREF : à partir de 2000 l'IGN observe des traverses Nord-Sud et Est-Ouest de grande précision
- La pente Nord-Sud est confirmée (23 cm)
- L'intégration de ces traverses dans la prochaine réalisation EVRS devrait corriger ce biais
- Une grille permettra de faire la conversion entre les altitudes IGN69 et EVRS



Le biais Nord-Sud vu par NIREF (cm)



NIREF : nivellement motorisé

Conclusion

- le réseau de nivellement est toujours très utilisé : environ 20000 fiches par mois sont téléchargées sur le site WEB
- 2020: objectif atteint : réseau (13200 triplets) bien réparti et bien entretenu et facile d'accès

année	2008	2015	2020
Ancienneté moyenne d'un triplet	28 ans	12 ans	6 ans

- l'utilisateur a le choix de rattacher son chantier à l'IGN69 avec une précision (<5mm) par mesure de nivellement de précision à partir d'un triplet $\Delta h_{RAF93} \xrightarrow{RAF} \Delta H_{IGN69}$ (<1cm) par technique GNSS ultra-précise et la grille RAF en relatif (<5 cm) par technique GNSS rapide (ex RTK) et la grille RAF en absolu
- l'attribution d'une hauteur ellipsoïdale à chaque triplet facilitera le passage à une référence mondiale, définie par un géoïde
- nouvelle phase de réobservation , fréquence plus grande sur des zones instables