

NIREF, le réseau français de nivellement très haute précision

M. Margollé¹, P. Reischung², H. Duquenne email : mathieu.margolle@ign.fr

¹Institut national de l'information géographique et forestière (IGN) - SGN, 73 avenue de Paris, 94165 Saint-Mandé Cedex

²Institut national de l'information géographique et forestière (IGN) - LAREG, Université Paris Diderot, Bâtiment Lamarck A, 35 rue Hélène Brion, 75013 Paris

Introduction

Le système de référence vertical officiel français, IGN69, est basé sur des observations de nivellement et de gravimétrie faites dans les années 60 (Fig. 1). Cependant dès 1970, un important biais Nord-Sud du système IGN69 a été soupçonné par comparaison à des données de marégraphie, confirmé en 1983 par la réalisation d'une traverse de nivellement ultra-précis entre Marseille et Dunkerque.

C'est une des raisons pour lesquelles l'IGN a entrepris en 1996 la constitution d'un nouveau réseau de nivellement dénommé NIREF (« nivellement de référence »), prenant comme point de départ la traverse mesurée en 1983 et avec pour projet de relier entre eux différents marégraphes.

Ce poster présente le réseau NIREF, ses objectifs et sa méthode de réalisation. Les systèmes NIREF et IGN69 sont ensuite comparés entre eux, ainsi qu'à des données marégraphiques.

Le réseau NIREF

Objectifs

Les mailles dites « de 1^{er} ordre » du réseau IGN69 représentent actuellement la contribution française au réseau européen unifié de nivellement (UELN). Cependant cette composante étant de précision moindre par rapport à ses homologues européennes, l'utilisation de NIREF comme nouvelle contribution française est actuellement à l'étude. Combiné à d'autres sciences et techniques, NIREF pourra également concourir à la recherche dans différents domaines scientifiques, tels que les systèmes de référence verticaux, l'étude des variations temporelles et spatiales du niveau des mers...

NIREF n'est pas destiné à devenir le nouveau système vertical officiel en France. Un changement de référence verticale aurait en effet de nombreux inconvénients et ne serait pas facilement accepté par les utilisateurs. Une grille de transformation entre les systèmes NIREF et IGN69 sera toutefois définie.

Spécifications

La principale originalité de NIREF est qu'il a été observé en « nivellement motorisé », une technique plus rapide et moins sujette aux erreurs de réfraction que le nivellement traditionnel à pied. L'ensemble du réseau a été observé en aller-retour avec des tolérances strictes. (Les différences aller-retour devaient être inférieures à 0,3 mm et 87% devaient être sous le seuil de 0,83 mm/km^{1/2}.)

Pour des raisons financières, aucune mesure de pesantier n'a été faite sur le réseau. Par conséquent, les zones à reliefs accidentés ont été évitées autant que possible.

Historique

À la date de 2013, le réseau NIREF a atteint la longueur cumulée de 5 217 km, rejoint les frontières de Grande-Bretagne, Allemagne, Suisse, Italie et Espagne, et est connecté à 9 marégraphes. La figure 3 montre l'évolution du réseau de 1983 à nos jours. Sont également représentées sur cette figure (en gris) des sections de 1^{er} ordre du réseau IGN69 ré-observées dans les années 90. Ces ré-observations ont en effet été incluses dans les calculs présentés ici.

- Traverse Marseille-Dunkerque (1983)
- Jonction avec le Tunnel sous la Manche (1994)
- Traverses Nord et Sud (2001-2002)
- Traverse Ouest et jonction Espagne (2004-2006)
- Traverse Centre et jonction Italie (2008-2011)
- Reprise de Marseille-Dunkerque (2012-...)
- Ré-observations de 1^{er} ordre (1992-1999)

Figure 3 : Le réseau NIREF de 1983 à 2012

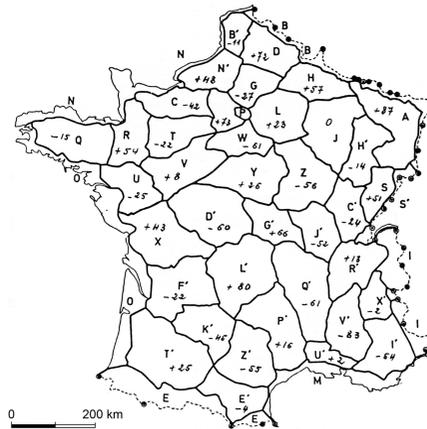
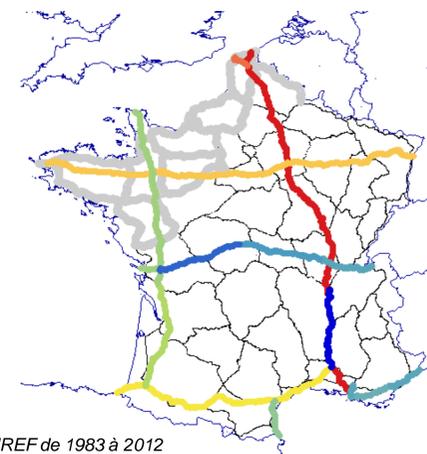


Figure 1 : Les mailles de 1^{er} ordre du réseau IGN69



Figure 2 : La technique du nivellement motorisé



Traitement des données

Interpolation de la pesantier

Aucune mesure de gravimétrie n'ayant été faite sur le réseau NIREF, il a été nécessaire d'interpoler la pesantier tout le long du réseau. La figure 4 présente la méthode d'interpolation employée (méthode classique dite de « retrait-restauration »). Ont été utilisées pour cette interpolation :

- une couverture gravimétrique dense du territoire français et des environs (environ 50000 anomalies à l'air libre fournies par le BGI, le BRGM et l'IGN)
- un MNT précis au pas de 1" (concaténation de la BD Alti de l'IGN sur la France, de SRTM sur les pays voisins et de la bathymétrie Sandwell).

L'interpolation de la pesantier a été faite non seulement sur les repères de nivellement, mais également sur des points de contrôle, à savoir 555 points du réseau géodésique français gravimétrés par l'IGN. Les écarts obtenus entre pesantier mesurée et pesantier interpolée sans quasi-centrés et ont un écart-type de 1 mGal, une précision largement suffisante pour le calcul d'altitudes.

Calcul d'altitudes

A l'aide des observations de nivellement et des valeurs de pesantier interpolées, il a ensuite été possible d'attribuer des altitudes aux repères d'une manière rigoureuse décrite sur la figure 5. Pour ce qui concerne les résultats présentés ici (en particulier la comparaison NIREF / IGN69), nous avons calculé des altitudes normales « à la manière IGN69 », c'est-à-dire avec :

- la pesantier exprimée dans l'ancien système gravimétrique CGF65,
- Hayford 1909 comme ellipsoïde de référence,
- un repère proche du marégraphe de Marseille comme point de référence.

Comparaison à IGN69

Biais Nord-Sud

Sont représentés sur la figure 6 les écarts d'altitudes entre le système « NIREF calculé à la manière IGN69 » et le système IGN69.

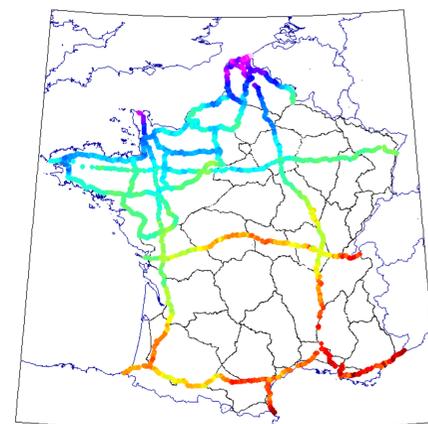


Figure 6 : Ecart NIREF - IGN69 (cm)

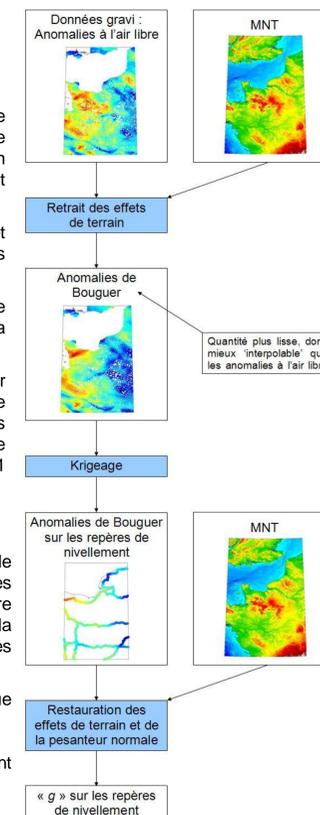


Figure 4 : Méthode de retrait-restauration pour l'interpolation de la pesantier

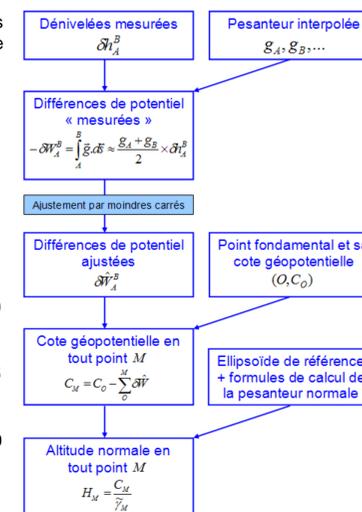


Figure 5 : Calcul rigoureux d'altitudes

Ce qui est frappant sur cette carte, c'est la pente Nord-Sud qui affecte les écarts NIREF - IGN69. Mises à part quelques anomalies locales, ces écarts décroissent en effet régulièrement avec la latitude, allant de 0 cm à Marseille (point de référence) à -22 cm à Dunkerque. NIREF confirme donc le supposé biais Nord-Sud du système IGN69 et donne une indication sur son amplitude.

L'origine de ce biais reste cependant mystérieuse. Il provient certainement d'une erreur systématique qui affectait les observations de nivellement dans les années 60, mais laquelle ?!! A noter qu'IGN69 n'est pas un cas isolé. En Grande-Bretagne, aux Etats-Unis ou encore en Australie, la comparaison des réseaux de nivellements à des données marégraphiques a mis en évidence des biais Nord-Sud similaires à celui d'IGN69.

Comparaison à des données marégraphiques

Références verticales

Le zéro hydrographique est la référence verticale utilisée dans les cartes marines et les annuaires de marées. À partir de ce niveau de référence, les sondes sont comptées positivement vers le bas et les hauteurs de marée positivement vers le haut. Il est choisi en France au voisinage du niveau des plus basses mers astronomiques, qui est un niveau théorique sous lequel le niveau de la mer ne descend que très exceptionnellement.

Chaque zone de marées possède son zéro hydrographique, déterminé à partir d'observations de marégraphie sur une durée suffisamment longue : 1 an minimum et 19 ans idéalement. Le zéro hydrographique est rapporté à un ensemble de repères proches du site d'observation, dont les côtes permettent de matérialiser concrètement la référence verticale. Parmi ces repères dits « de marée » est choisi un « repère fondamental » présentant les meilleures garanties de durabilité.

Ces repères sont autant que possible rattachés par nivellement au système altimétrique légal IGN69. Les repères fondamentaux de 9 marégraphes se sont vus également inclure au réseau NIREF au cours de sa constitution.

Niveaux moyens des mers

Le SHOM détermine dans chaque observatoire marégraphique un niveau moyen de la mer, qui correspond à la hauteur de la surface de la mer une fois retirés les effets des vagues, de la houle et des composantes de la marée. Ce niveau moyen (NM) est donné par rapport au zéro hydrographique (ZH).

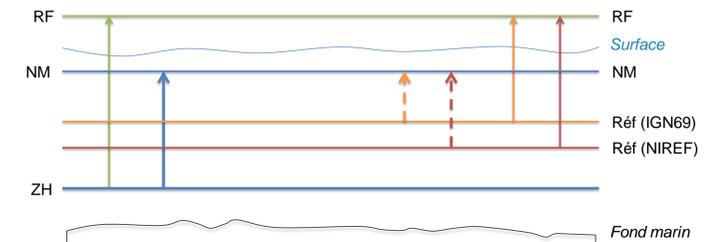


Figure 7 : Relations entre niveau moyen de la mer (NM), repère fondamental (RF) et les références verticales

Le zéro hydrographique étant exprimé par rapport à un repère fondamental, si ce repère est rattaché aux systèmes verticaux NIREF et IGN69, on peut alors aussi exprimer le niveau moyen de la mer dans ces deux systèmes. La figure 8 montre les résultats obtenus dans 9 marégraphes présentant ce cas de figure.

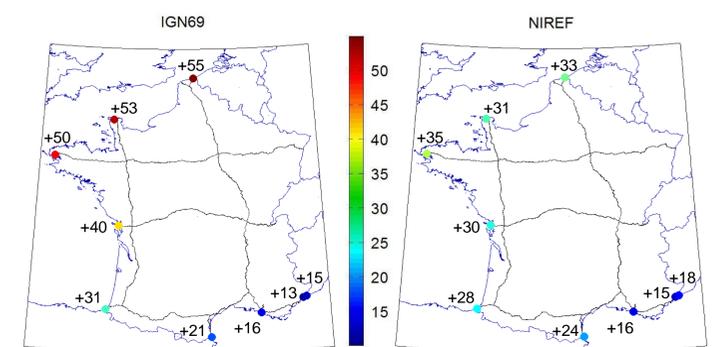


Figure 8 : Niveaux moyens des mers exprimés dans les systèmes IGN69 et NIREF (cm)

Une première remarque peut être faite sur le niveau moyen de la Méditerranée à Marseille. Etant donné que l'origine du système IGN69 est le niveau moyen enregistré au marégraphe de Marseille durant les années 1885-1896, cette valeur de +16 cm peut être lue comme la hausse du niveau moyen de la mer, à Marseille, depuis la fin du XIX^{ème} siècle jusqu'à aujourd'hui.

Mais ce qui est frappant sur ces cartes c'est que, selon IGN69, le niveau moyen océanique croît significativement avec la latitude, alors que, selon NIREF, le niveau moyen océanique est pratiquement constant, de Saint-Jean-de-Luz à Dunkerque. C'est là encore un effet du biais Nord-Sud d'IGN69. A première vue, NIREF semble donc « océanographiquement correct ». Il est en tout cas plus exploitable qu'IGN69 pour ce qui est de relier entre elles les références de différents marégraphes français.

Enfin, NIREF permet également d'estimer la dénivelée entre le niveau moyen de la Méditerranée et le niveau moyen océanique : d'après NIREF, la surface méditerranéenne serait (du moins à Marseille) environ 17 cm plus basse que la surface océanique.

Remerciements : Au Bureau Gravimétrique International (BGI), au Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) et au Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM) pour nous avoir fourni des données.