

Le nouveau système réglementaire Lambert 93

D'après un exposé d'Alain Harmel de l'IGN

Le décret de 2003 qui rend obligatoire l'usage du système de référence RGF 93 va entrer en vigueur ; il est complété par un autre arrêté concernant les classes de précision des levés. Le tout constitue, de l'avis même des spécialistes, un dispositif réglementaire remarquable, qui permet à la France de rattraper son retard dans le domaine par rapport à ses voisins européens. Retour sur la définition du nouveau système de référence, de ses projections associées et de sa liaison avec le GPS.

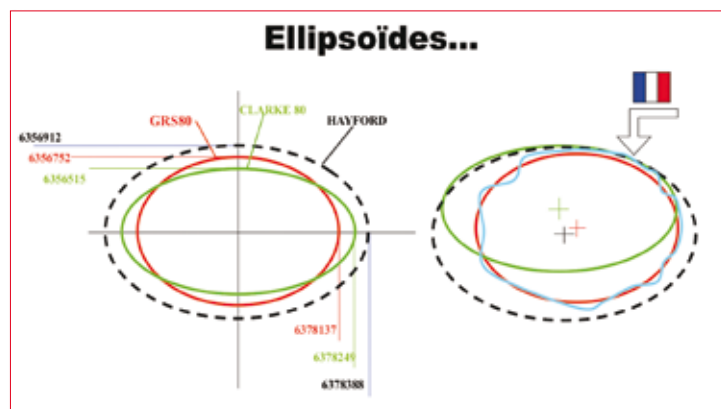
Les systèmes de référence

Géographiquement, il existe trois types de représentations du globe terrestre : la plus simple, la sphère ; l'ellipsoïde, un peu plus élaboré, qui tient compte de la déformation due à la rotation ; et enfin le géoïde, qui définit la « vraie platitude », c'est-à-dire la surface équipotentielle du

champ de pesanteur (qui provoque le mouvement des eaux, traditionnellement considéré comme synonyme de dénivelé). Utiliser le géoïde amène à conduire des raisonnements plus tridimensionnels, alors que les visions sphériques ou ellipsoïdales, en usage au siècle dernier, conduisaient plutôt à des considérations bidimensionnelles.

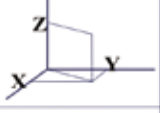
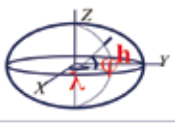

Historiquement, pour construire un système de référence, on part

d'un système de coordonnées local, défini autour d'un point fondamental, auquel on superpose une surface ellipsoïdale (en France, jusqu'à la NTF, il s'agissait de l'ellipsoïde de Clarke 1880, posée sur la croix du Panthéon – en fait l'Observatoire de Paris). Une fois cette opération mathématique effectuée, on effectue des mesures d'angle que l'on reporte sur l'ellipsoïde. Cette procédure a été remplacée par la définition d'un système géocentrique. Pour ce faire, on effectue un ajustement moyen de l'ellipsoïde à la forme du géoïde, en s'arrangeant pour placer le centre de l'ellipsoïde au centre de gravité de la Terre, dont la position exacte est déterminée en étudiant la balistique des nombreux satellites artificiels. Comme on ne passe plus par un système local, il s'agit donc d'un système tridimensionnel.



Deux ellipsoïdes de référence différents et leur position par rapport au géoïde, qui matérialise la « vraie » forme de la Terre au sens de la géodésie.

Cette façon de voir décale la position du centre de la Terre par rapport à la procédure clas-

SYSTEMES DE COORDONNEES		
CARTESIENNES X, Y, Z		SYSTEME DE REFERENCE
GEOGRAPHIQUES •Latitude : φ •Longitude : λ •hauteur ellipsoïdale : h		* SYSTEME DE REFERENCE * ELLIPSOÏDE
PLANES E, N		* SYSTEME DE REFERENCE * ELLIPSOÏDE * PROJECTION

Systèmes de référence et de coordonnées.

sique, pour la placer à un point mathématique correspondant à l'un des points focaux des orbites satellites. Les ellipsoïdes sont donc régulièrement revus pour coller aux nouvelles estimations ; par exemple, le GNS 80 correspond au meilleur ellipsoïde disponible à partir des éléments de géodésie spatiale. Les centres de ces différents ellipsoïdes ne coïncident pas exactement, mais se tiennent dans un rayon de 500 m environ.

La définition d'un ellipsoïde comprend neuf degrés de liberté : trois sur la position du centre, trois sur l'orientation des axes, trois sur les longueurs des demi-axes correspondants. En principe, on passe donc d'un ellipsoïde à l'autre en effectuant une multiplication par une matrice affine composite rotation/translation suivie d'une homothétie (pour le changement d'échelle).

L'origine des systèmes de référence contemporains coïncide avec le centre de masse (moyen en raison des déformations) de la Terre. On définit ensuite un axe (Oz) que l'on choisit comme l'axe de rotation de la Terre (lequel est également mobile en raison de la précession et de la nutation) : il s'agit donc là aussi d'une donnée conventionnelle. L'axe des abscisses est choisi de telle sorte que son intersection avec la surface terrestre se fasse au point correspondant à l'intersection

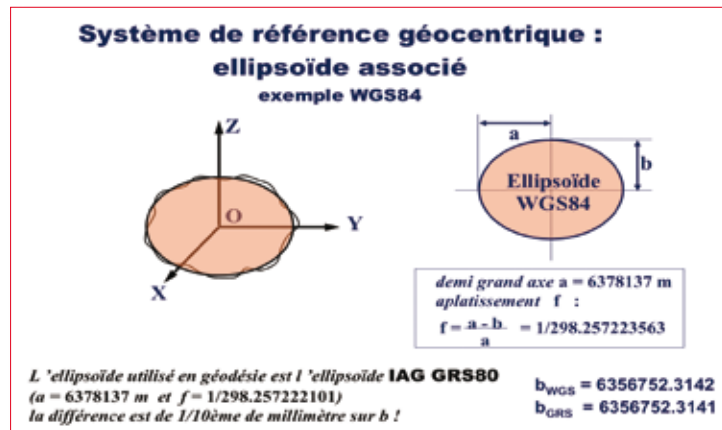
de l'Équateur et du Méridien de Greenwich, lequel résulte d'une définition astronomique à la base de l'heure légale. Enfin, l'axe des ordonnées complète le repère orthogonal. On associe ensuite un ellipsoïde au système de référence (mais ceci n'est pas obligatoire). Notons d'ores et déjà que le système de référence utilisé par le GPS, le WGS 84 ne coïncide pas exactement avec le GRS 80, la différence se montant à un dixième de millimètre sur le petit axe.

Accès au système de référence

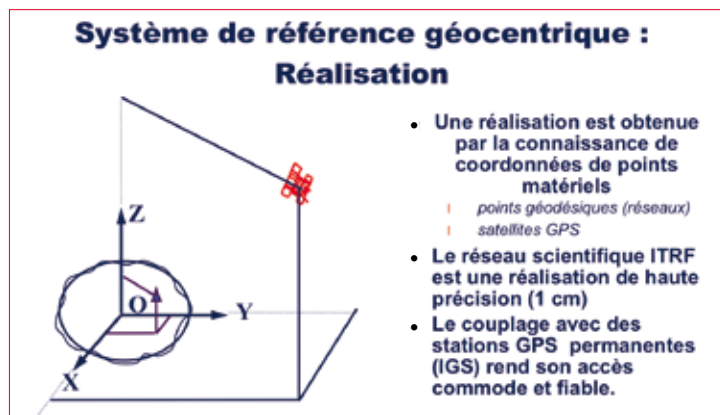
Une fois la description mathématique effectuée, il faut pouvoir « réaliser » physiquement le système de référence, c'est-à-dire établir une

correspondance entre un jeu de coordonnées attachées au système et un certain nombre de lieux physiques (ponctuels) qui serviront de base aux mesures. Ces lieux peuvent être attachés à la surface terrestre (bornes) ou bien être constitués d'engins orbitaux : dans ce cas, le satellite réalise le système de référence au travers des éphémérides qu'il envoie : par exemple la constellation GPS réalise le WGS 84 avec environ trois mètres de précision. A posteriori, si l'on bâtit un réseau mondial qui poursuit les satellites, on peut donner leur position au centimètre près ; c'est la fonction du réseau IGS (International GNSS service : GPS, Glonass, Galileo) qui diffuse des éphémérides extrêmement précises.

L'autre système utilisé en géodésie est le système ITRS (International Terrestrial Reference System) qui réalise l'ITRF 2000. Dans ce système, le centre de la Terre est déterminé par de la télémétrie laser sur des satellites. L'orientation de la Terre résulte de mesures VLBI (Very Long Base Interference : on observe des quasars, qui sont les astres les plus lointains, donc a priori les plus fixes, dont on dispose, et on en déduit les mouvements des stations d'observation, donc de la Terre). Par rapport à l'ITRF 2000, la version 2005 a fait quelques progrès, principalement dus à la capitalisation des observations (20 à 25 ans de séries temporelles VLBI).



L'ellipsoïde WGS 84.



Réalisation d'un système de référence.

Le problème majeur est la détermination de points fixes terrestres, chose impossible en raison de la tectonique qui introduit les dérives des plaques. Il faut donc compenser les vitesses absolues, déterminées par des observations GPS à très long terme. Ainsi, il faut recourir à six coordonnées pour repérer les points de la surface terrestre : trois positions, trois vitesses (de l'ordre de 2,5 cm/an, voire 3 dans certaines régions). Par exemple, la plaque eurasiennne s'écarte de 5 cm/an de la plaque américaine, la zone de dislocation passant par l'Islande, dont les côtes est et ouest s'éloignent l'une de l'autre.

L'ETRS 89, système de référence européen, dérive de l'ITRS 1989 dans lequel le champ de vitesse est considéré comme nul : ETRS 89 = ITRS 89 limité à l'Europe. En vingt ans, le décalage accumulé (donc la différence entre la position d'un point de la surface en 1989 et en 2009 dans ce système fixe) avoisine les 50 cm. Delta que l'on est capable de compenser puisque l'on connaît les vitesses et les pôles de rotation des différentes plaques. L'utilisation de ce système est recommandé par la directive *Inspire*.

En 1993, la France a officiellement adopté l'ETRS 89. Pour matérialiser ce système au niveau national, l'IGN a procédé à l'observation de 23 sites pendant 48 heures, puis à une densification ultérieure par le réseau de base RBF : c'est ainsi qu'a été créé la référence RGF

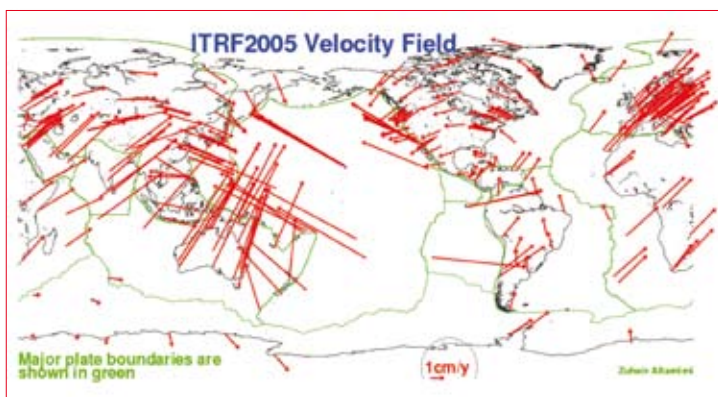
93. Aujourd'hui, le RGP donne un accès à cette référence, dérivée d'un système géocentrique, même si encore beaucoup de levés actuels sont encore liés à des systèmes locaux (ex : NTF, canevas de communautés urbaines plus précis que la NTF). Heureusement, il existe des transformations pour passer de l'une à l'autre.

Systèmes de référence et projections

Venons en maintenant aux systèmes de coordonnées : tous les géographes se servent de coordonnées planimétriques (x, y). Or, dans le système de référence que l'on choisit, on repère les points selon trois coordonnées (x, y, z) : il faut donc passer de l'un à l'autre, ce qui n'est pas commode. On reprend donc un modèle d'ellipsoïde et on

calcule des latitudes, des longitudes et une hauteur ellipsoïdale, différente de la véritable hauteur (dite orthométrique). Ceci fait, on repasse en planimétrie grâce à une projection, méthode de représentation adaptée aux travaux des topographes et des géomètres experts. Cependant, le résultat n'est pas excellent, des erreurs de calcul s'accroissent à chaque étape, et l'usage d'une projection introduit des distorsions dans la mesure des longueurs et/ou des angles. En France, cela fait vingt ans que l'on cherche à changer de système de référence, les principaux blocages avaient trait à la redéfinition d'une projection adéquate.

Le système en usage en France est la NTF et ses différentes projections associées dites Lambert zone, d'après la projection conique conforme de Lambert (Lambert I, II, II étendu, III, IV) ; mais depuis 2001 (textes de 2000 révisés en 2006, entrant en vigueur en 2009) le système légal est le RGF 93. La NTF, rappelons-le, est fondée sur l'ellipsoïde de Clarke 1880 appuyé sur la croix du Panthéon ; les mesures de latitude et longitude doivent s'y exprimer en grades (!). Sa réalisation est constituée de 80 000 repères, mesurés théoriquement à une précision de 10^{-5} (soit 1 cm/km), mais pratiquement plutôt proche de 10^{-6} . Ces repères sont le fruit d'un travail entamé à la fin du XIX^e siècle et poursuivi jusqu'en 1991 ; par conséquent, c'est le calcul, largement effectué



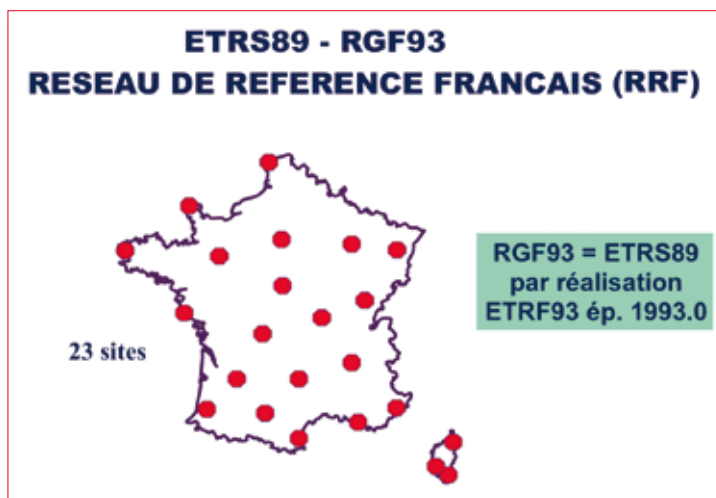
Champ des vitesses terrestres des points repères de l'ITRF 2005.

manuellement, qui limite la précision, plutôt que les observations. Comme on trouve une borne NTF en moyenne tous les 4 km, la précision relative de deux bornes est donc de 4 cm.

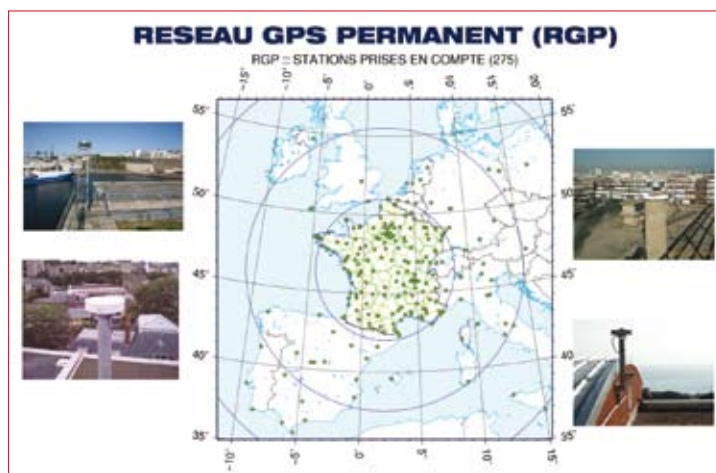
En revanche, le nouveau système possède une précision centimétrique et opère sur des coordonnées tridimensionnelles : latitude, longitude et hauteurs ellipsoïdales. L'accès au RGF 93 s'effectue par l'intermédiaire du RBF, soit 1032 sites, ou par le RGP. L'exactitude, telle que l'on peut la mesurer vis-à-vis d'un réseau externe européen atteint 1 à 2 cm. La projection nationale associée se nomme Lambert 93 ; elle est complétée par des projections locales coniques conformes baptisées « CC » et définies sur neuf zones. Comme toutes les projections conformes (qui conservent les angles), elle introduit des altérations linéaires, c'est-à-dire que les distances calculées ne sont pas justes.

Le Lambert 93 résulte d'une demande du CNIG, qui a exigé une projection unique associée au RGF 93, un peu moins déformante que l'ancien Lambert II étendu. Son altération linéaire passe par 0 en deux parallèles, atteint 1 m/km au milieu de ceux-ci, et 3 m/km aux extrémités de son domaine de définition. Géographiquement, cette altération atteint 2 m/km à Dunkerque, 3 m/km à Bonifacio. Conséquence imprévue de cette meilleure exactitude : les subventions de la PAC ont diminué automatiquement de 17 millions d'euros, simplement parce que la nouvelle projection représente mieux la réalité que l'ancienne.

Pour ceux à qui cette altération représente un problème, le CNIG a accepté l'adjonction de projections locales coniques conformes afin de la minimiser. Initialement, le projet prévoyait une limite d'altération à 1 cm/km, ce qui aurait nécessité la définition de 39 zones compte-tenu du nécessaire



Le réseau RBF et sa densification RGP donnent accès au système de référence RGF 93, lui-même restriction à la France du système ETRS 89.



recouvrement. Au final, neuf zones ont été retenues, ce qui borne l'altération à 8 cm/km en valeur absolue. C'est dix fois moins que le Lambert 93 dans certaines zones comme la Bretagne.

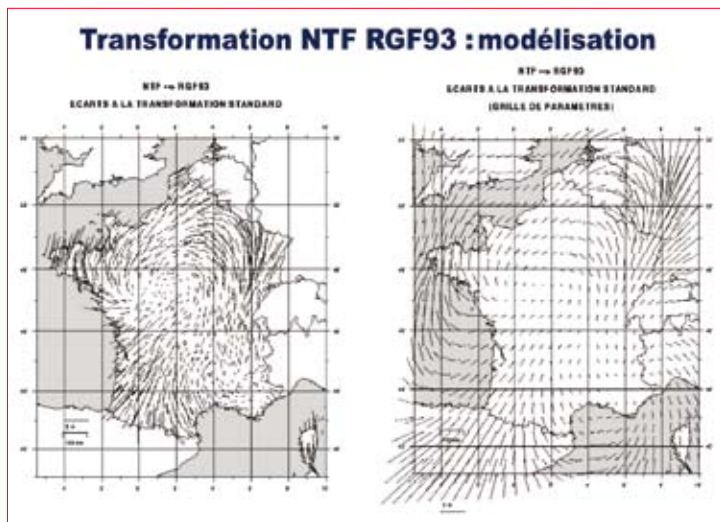
La transformation de la NTF vers le RGF 93, imparfaite, induit un déplacement de 4 m en Bretagne, Sud-Ouest, Nord et Nord-Est. Une grille de transformation compense ces déplacements par interpolation bilinéaire. L'algorithme exact est complexe, mais il est désormais implémenté dans tous les SIG, y compris dans la bibliothèque Open Source PROJ sur laquelle nombre de produits, commerciaux ou non, s'appuient.

Au point de vue altimétrique, il n'y a pas de changement de système :

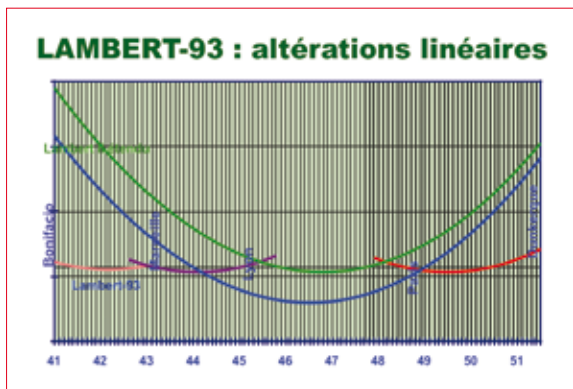
la hauteur ellipsoïdale, qui est théorique, diffère de la hauteur au-dessus du géoïde (laquelle, on le rappelle, correspond au champ de pesanteur matérialisé par l'écoulement des eaux). Le géoïde est lui-même corrélé au relief. En France, le modèle d'altimétrie est le NGT (UGF 98 ramené en tant que surface de référence des altitudes). C'est une grille qui permet de passer des hauteurs ellipsoïdales aux altitudes issues du nivellement IGN 69, sauf en Corse.

Accès au RGF 93 et améliorations

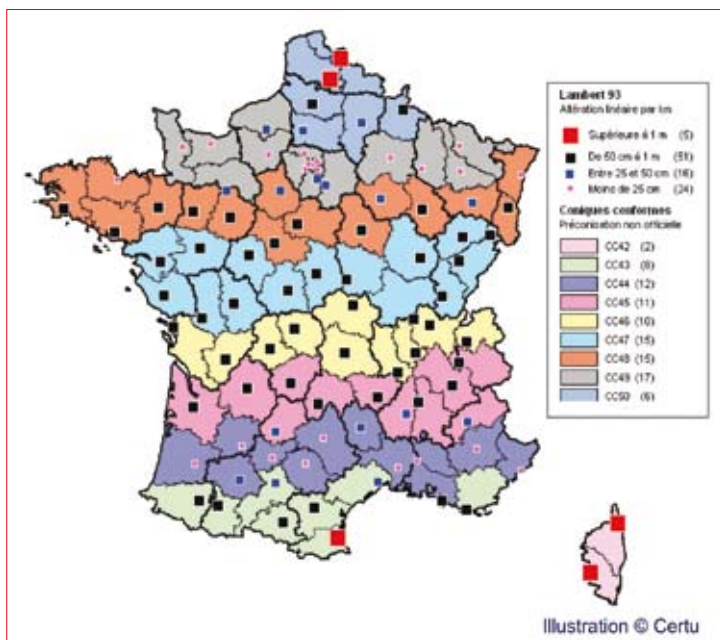
L'accès au RGF 93 peut donc s'envisager soit à travers d'une transformation à partir de coor-



Erreurs commises en transformant des coordonnées NTF en RGF 93, avec (à droite) ou sans la grille (à gauche) d'ajustement.



Altérations linéaires comparées des différentes projections utilisées en France.



Recommandation d'usage des différentes projections CC en fonction du département.

dix ans après, en 2004, ont détecté des écarts absolus de l'ordre de 3 cm en planimétrie, mais davantage en altimétrie (de cinq à dix centimètres).

Le RGP n'est constitué que de vingt stations IGN, le reste appartient principalement au réseau Teria. En raison des phénomènes altérant la propagation des signaux radio, le RGP permet de calculer des informations autres que purement géographiques, comme des modèles atmosphériques d'humidité.

Parmi les autres produits dérivés du RGP, on trouve le suivi des stations, comme le marégraphe de Marseille : ce suivi permet de décider si la mer monte ou si le marégraphe descend (comme on se doute, c'est bien le niveau de la mer qui remonte). On s'aperçoit également que le RGP, qui est très bien connu, bouge relativement au RGF 93 (3 cm d'écart dans le nord), qui a été fixé en 1993 avec la technologie d'alors.

Pour bénéficier de toute la précision du RGP, il faut utiliser des récepteurs différentiels qui exploitent la mesure de la phase du signal RF pour produire un positionnement de l'ordre du mm, avec néanmoins une ambiguïté naturelle sur 2π (le GPS naturel ne permet qu'environ 5 m de précision). Le positionnement ponctuel précis consiste alors à post-traiter les relevés à l'aide des données type éphémérides précis, état de l'ionosphère et de la troposphère ; *in fine*, on obtient une précision de l'ordre du centimètre. Attention, il ne faut pas oublier de compenser pour l'ITRS (les satellites ne sont pas sur des plaques !). L'IGN calcule des orbites précises toutes les deux heures. ▲

Merci à Alain Harmel de nous avoir donné l'autorisation de reproduire les diapositives illustrant son exposé.