

# évolution du canevas géodésique national

état d'avancement du Réseau  
Géodésique Français

Claude Luzet - IGN  
Chef du projet RGF à l'IGN

Avec la diffusion des données relatives aux 1000 points du Réseau de Base Français, le RGF devient accessible à un très grand nombre d'utilisateurs. Il permettra dès fin 1996 à la plupart de producteurs de canevas locaux de calculer leurs coordonnées dans le nouveau système de référence national RGF 93. Ils disposeront ainsi de canevas de coordonnées précises au niveau centimétrique, cohérentes avec les déterminations par GPS, et s'exprimant facilement dans les référentiels internationaux tels que WGS84 ou ETRS89.

Etape suivante de la modernisation du réseau géodésique, le Réseau de Détail Français sera mis en œuvre par l'IGN dès 1997. Ce RDF, constitué de 30.000 points, sera réalisé sur 5 ans. Mais l'IGN ne peut déterminer seul l'avenir du canevas national. La contribution de l'ensemble des partenaires de l'information géodésique est nécessaire pour atteindre l'objectif national recommandé par le CNIG : la généralisation de l'usage du système RGF93 avant l'an 2000. Dans ce contexte, les missions RDF de l'IGN peuvent catalyser une coordination de tous les efforts visant à l'amélioration de la référence nationale. A moyen terme, il peut être envisagé de faciliter l'usage de ces données résultant des efforts communs par leur diffusion au moyen d'un serveur national.

## A - les canevas

Historiquement, trois canevas géodésiques se sont succédés sur le territoire national : la Triangulation des Cassini au 18<sup>e</sup> siècle, la Triangulation des Ingénieurs Géographes au 19<sup>e</sup> siècle, et enfin la Nouvelle Triangulation Française en usage aujourd'hui. Si cette NTF fut "nouvelle" un jour, elle est surtout remarquable par ses similitudes avec les canevas anciens. En effet, tous les trois ont poursuivi le même objectif (la réalisation de la cartographie nationale à moyenne échelle) avec des techniques similaires de triangulation (points et azimuts astronomiques, mesures de bases, observations d'angles horizontaux). Les trois canevas ont équipé ainsi le territoire national de réseaux réguliers de points géodésiques, dont la qualité des coordonnées planimétriques, si elle s'est améliorée à chaque nouvelle réalisation, a surtout été limitée par les méthodes de calculs plutôt que par la précision des mesures.

La NTF a été déclarée achevée en 1991, année de la dernière mission de réfection géodésique (dans les Landes), qui permit d'atteindre partout en métropole, conformément aux spécifications fixées en 1972 de l'équipement géographique national, la densité d'un point géodésique pour 9 km<sup>2</sup>. Elle matérialise le système géodésique de référence nationale, auquel se réfèrent les textes officiels et la réglementation en vigueur aujourd'hui.

Ces trois premiers canevas ont en plus en commun l'ampleur des opérations nécessaires à leur établissement. Chacun a en effet demandé presque un siècle d'efforts,

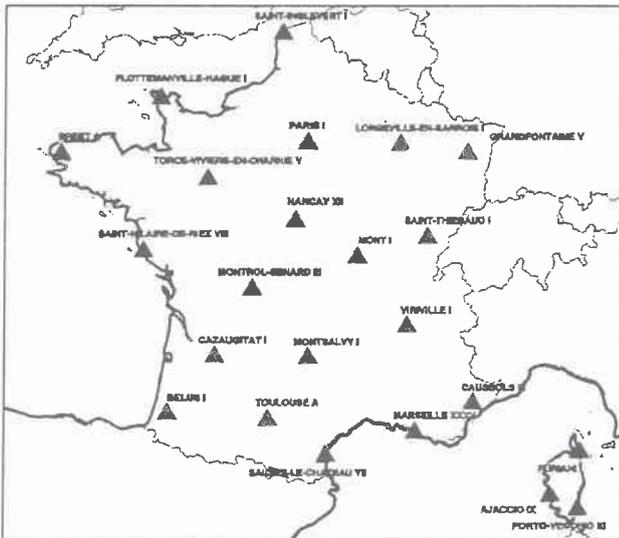
et souvent exigé l'utilisation de moyens considérables. Le canevas actuel repose encore partiellement sur des observations datant de la fin du siècle dernier, mais si ne sont considérées que les réfections les plus récentes, son âge moyen est d'environ 20 ans. Des études ont montré qu'à ce degré d'ancienneté, le taux de dégradation atteint environ 25 % des points. Bien que l'IGN s'efforce d'intervenir chaque fois qu'une demande spécifique de remplacement lui parvient, l'Etat n'est pas en mesure de réfectionner ce réseau national au-delà de son état actuel. Cette difficulté de la maintenance du canevas traditionnel est une des raisons qui ont amené à concevoir un nouveau type de canevas pour l'avenir.

Le RGF n'est pas une quatrième version des projets précédents, mais représente une vision entièrement nouvelle de l'équipement géodésique national. Il est né de l'évolution considérable du contexte géodésique, notamment lié aux révolutions technologiques dans les domaines de l'informatique et du positionnement par satellite. Le concept du RGF date de 1988, et sa mise en œuvre a été recommandée par le CNIG (Conseil National de l'Information Géographique) dès 1989. Cependant, en 1989, les spécifications détaillées demandaient encore à être rédigées, et le système GPS (Global Positioning System, système américain de localisation satellitaire), outil indispensable de la construction du RGF, n'était encore ni complètement opérationnel, ni parfaitement maîtrisé dans ses applications de production. Il fallut donc attendre 1993 pour que le SGN (Service de Géodésie et Nivellement de l'IGN) puisse lancer la première mission RGF d'envergure.

Le projet RGF a été ambitieux dès son origine, et notre canevas national pourra prétendre à une des premières places mondiales du point de vue de la qualité. Il propose en effet de matérialiser un système de référence géodésique de précision et d'exactitude centimétriques, aisément accessible sur tout le territoire métropolitain. L'enjeu n'est donc plus limité à la cartographie nationale à moyenne échelle comme du temps de ses prédécesseurs, mais s'est élevé au niveau de la mise en place d'une référence unique et précise, particulièrement adaptée aux nécessités d'échanges de données numériques localisées, conséquences du considérable développement actuel des Systèmes d'Information Géographique (SIG). Le RGF comprend trois niveaux hiérarchiques : le RRF, le RBF et le RDF.

## Le Réseau de Référence Français

Le Réseau de Référence Français (RRF) est la première étape de mise en place du RGF. Constitué de 23 sites seulement, il participe à l'élaboration des réseaux européens et intercontinentaux, et permet ainsi au RGF d'être cohérent avec les références mondiales.



les 23 sites du RRF

La première réalisation numérique "officielle" du RRF, exprimée dans le système de référence européen ETRS89, définit à l'échelle nationale un nouveau système de référence appelé RGF93 (93 correspond à l'année des mesures principales de détermination).

Cette première version du RRF est disponible pour le public depuis l'été 1995. Même si pour leurs applications utilitaires les coordonnées du RRF resteront a priori figées sur ces valeurs RGF93, le RRF, interface entre le canevas national et les réseaux mondiaux, s'affirme parallèlement comme un réseau géodésique scientifique, et sera à ce titre l'objet de campagnes de réobservations périodiques. Avec l'amélioration envisageable des techniques de mesures et des méthodes de calculs, des nouveaux jeux de coordonnées seront obtenus, que différents secteurs de la recherche pourront exploiter, notamment pour contribuer à l'élaboration des systèmes de référence mondiaux, ou pour affiner notre connaissance des mouvements locaux de l'écorce terrestre.

Aussi bien pour sa fonction de sauvegarde de la référence nationale primaire que pour ses applications scientifiques, le RRF demandait qu'un soin particulier soit accordé à sa conservation physique. C'est ce qui a été fait en premier lieu en définissant des modalités de monumentation bien spécifiques. De plus, sur chaque site, au moins trois repères auxiliaires ont été rattachés au repère principal par méthodes métrologiques de précision millimétrique. Ces mesures permettront d'assurer la stabilité de tous les points du RRF, ou le cas échéant, d'évaluer précisément leurs mouvements.

## Le Réseau de Base Français

Deuxième étape de construction du RGF, le Réseau de Base Français (RBF) en constitue le premier niveau réellement utilitaire. Il comprend un millier de sites géodésiques très régulièrement répartis à raison d'un tous les 25 kilomètres environ. Leurs coordonnées sont déterminées à partir de celles du RRF par des méthodes GPS permettant de conserver la précision centimétrique spécifiée. Il permettra à l'utilisateur exigeant de réaliser par techniques classiques ou par GPS, des levés extrêmement précis et cohérents, que le chantier soit d'étendue locale, nationale ou même internationale. Tous les sites RBF ont été choisis pour assurer au mieux la pérennité de la matérialisation, mais aussi en vue d'une exploitation aisée. En particulier, chaque site comporte au moins deux repères stationnables par GPS, et est accessible à tout véhicule par tout temps.

Seulement 37 % des sites RBF correspondent à d'anciens sites de la NTF. Les spécifications du nouveau réseau, notamment celles concernant l'accessibilité et l'absence de masques occultant les signaux GPS, n'ont pas permis de réoccuper davantage de sites anciens. Sur ceux-ci, l'utilisateur trouvera généralement une matérialisation à laquelle il est habitué, à savoir le plus souvent la classique borne en granit gravée IGN. Il remarquera néanmoins une amélioration. D'une part, au centre de la croix gravée au sommet de la borne se trouve un repère en laiton permettant un centrage de précision millimétrique, et une meilleure définition altimétrique. D'autre part une plaque identificatrice en bronze a été apposée, généralement sur le radier, signalant que ce point géodésique a bien été précisément redéterminé dans le nouveau système du RGF.



plaque identificatrice du RBF (taille réelle 19 cm x 12 cm)

Deux nouveaux types de matérialisation ont par ailleurs été spécialement conçus pour le RBF. Ils pourront être trouvés sur les sites entièrement nouveaux, c'est-à-dire

ne correspondant pas à l'emplacement d'un ancien site NTF, ou sur des sites anciens repris, en complément de la matérialisation déjà existante :

- une borne dite "borne RBF lourde", constituée d'un bloc de béton cylindrique de 50 cm de diamètre pour un mètre de profondeur. La partie visible en est un radier carré à ras du sol, de 60 cm de côté, muni d'un repère hémisphérique en laiton en son centre, et signalé par la plaque identificatrice déjà mentionnée.

- une borne préfabriquée en polyester béton dite "borne RBF légère", solidement ancrée au sol par quatre pieux autobloquants. Seule la tête, de section carrée de 15 cm de côté et de couleur jaune, est affleurante au niveau du sol. Un repère hémisphérique est scellé en son centre, et la plaque identificatrice précédente y est remplacée par les trois lettres I.G.N. gravées sur une plaque en aluminium.

- ajoutons enfin que lorsque l'existence de supports distincts à la stabilité indubitable l'a permis, certains sites ont été matérialisés ou complétés par des repères scellés à tête hémisphérique.

### Le Réseau de Détail Français

Si le RBF donne effectivement accès au système RGF93, sa densité a paru insuffisante vis-à-vis du coût du rattachement dans le cas du plus grand nombre des petits chantiers ou levés. L'idée d'une densification est alors apparue. Des études ont donc été menées, tant dans le cadre du Projet RGF de l'IGN qu'à l'extérieur dans le cadre de différents Groupes de Travail du CNIG, pour identifier les nouveaux besoins en matière d'équipement géographique national et les ressources à mettre en place pour y subvenir. Elles ont combiné le travail et les réflexions d'experts représentatifs des différents secteurs professionnels liés aux canevas, et les résultats d'enquêtes extensives menées auprès des utilisateurs durant l'année 1995. Leurs conclusions sont contenues dans les rapports des travaux du Groupe de Travail "Géodésie" du CNIG, qui recommande en particulier la réalisation par GPS d'un nouveau canevas de points le long des 75.000 km d'itinéraires du NBF ( Nivellement de Base Français ) constitué des itinéraires de 1er, 2ème et 3ème ordres du NGF ( Nivellement Général de la France ). Les caractéristiques générales en sont les suivantes.

- densité le long des itinéraires du NBF : un point RDF tous les 3 km, soit un total de 25.000 points ; plus 5.000 points complémentaires choisis entre les itinéraires NBF pour un espacement maximal de 7 km entre deux points RDF voisins ;

- coordonnées RGF93 déterminées par méthodes GPS rapides en s'appuyant sur le RBF ;

- déterminations altimétriques NGF subcentimétriques ;
- achèvement dans un délai de 5 ans.

L'été 1996 a vu la mise en place d'une équipe RDF au sein du Projet RGF de l'IGN, chargée de poursuivre les études techniques en cours, et de réaliser les développements nécessaires pour la mise en production du RDF début 1997.

### B - les coordonnées utilisation et détermination

Les méthodes de positionnement par GPS sont au cœur de la définition du RGF. Depuis 1992 au SGN, les techniques GPS ont totalement détrôné les méthodes

classiques de triangulation dans tous les domaines de mesures géodésiques. Même si les théodolites et distancemètres s'utilisent encore ponctuellement, notamment pour des opérations métrologiques, les "signaux géodésiques" ( tours métalliques d'observation pouvant atteindre jusqu'à 42 mètres de hauteur ), naguère symboles de la profession avec le T3 et la borne en granit, ont été mis à la réforme. De même si le GPS n'est pas encore l'outil à tout faire du géomètre, on remarque qu'il a déjà pris une place prépondérante dans tous les domaines de détermination de canevas d'appui.

Il sera utile de se reporter à l'article "GPS, GNSS et les références géodésiques" de P. Willis et C. Boucher paru dans le numéro 67 de XYZ pour une compréhension globale de l'impact du GPS sur le positionnement moderne. Voyons seulement ici les aspects immédiats les plus pratiqués en rapport avec son utilisation. Nous nous concentrerons donc sur son application dans le contexte actuel de la cohabitation des deux systèmes de référence nationaux, à savoir les systèmes NTF et RGF93.

### le système NTF

La réglementation actuelle fait état de la NTF comme système légal, exprimé en coordonnées planes Lambert I, II, III et IV sur l'ellipsoïde de Clarke 1880 IGN. La précision de ce système planimétrique, inhérente aux techniques utilisées depuis les années 1950, est estimée à  $10^{-5}$ . La cohérence locale est donc suffisante pour des travaux topométriques classiques, puisqu'elle correspond à 3 à 4 cm entre deux sites NTF voisins. Cela reste la précision des coordonnées NTF diffusées par l'IGN.

- Ellipsoïde : Clarke 1880 IGN
  - 1/2 grand axe :  $a = 6\,378\,249,2$  m
  - aplatissement :  $f = 1/293,466\,021$
- Projection conique conforme :
  - parallèles d'échelle conservée :
    - $\varphi_1 = 45^\circ 53' 56'' 108\,27$  N
    - $\varphi_2 = 47^\circ 41' 45'' 652\,21$  N
  - méridien central :
    - $\lambda_0 = 2^\circ 20' 14'' 025$  E Greenwich
  - latitude origine :  $\varphi_0 = 46^\circ 48'$  N
    - coordonnées de l'origine :
      - $X_0 = 600\,000$  m
      - $Y_0 = 2\,200\,000$  m

caractéristiques de la projection Lambert II étendu associée au système NTF

Cependant, avec le temps, la réalisation physique du système NTF se dégrade. D'une part certains points disparaissent. Nous avons vu plus haut que le taux de dégradation des sites atteint environ 25 % pour une ancienneté de 20 ans. Les effets de cette dégradation sont encore accentués par le fait qu'elle est plus importante dans les zones les plus développées, donc où le besoin est le plus fort. D'autre part le vieillissement du canevas se manifeste aussi par le déplacement de certains points, qui peut être le résultat de causes multiples, naturelles ou humaines, accidentelles ou volontaires. Cet aspect du vieillissement est le plus dangereux, car s'il n'est pas détecté, il peut conduire à la détermination et la publication de coordonnées erronées.

### le système RGF93

Le système RGF93 est associé au nouveau RGF. Il est géocentrique et tridimensionnel, de précision centimétrique. C'est la réalisation nationale du système européen ETRS89 basé sur le réseau EUREF dont l'adoption est recommandée par l'Association Internationale de Géodésie. Les coordonnées RGF93 sont donc bien des coordonnées ETRS89, les écarts de cette réalisation nationale avec celles de nos voisins européens étant au plus de quelques centimètres. Elles sont aussi équivalentes à des coordonnées WGS84 pour des applications de précision métrique. RGF93 est associé à l'ellipsoïde IAG-GRS 1980, auquel se réfèrent les coordonnées standards, soit sous forme géographique, soit en projection Lambert-93, accompagnées de l'altitude NGF (IGN69 sur le continent, IGN78 pour la Corse).

### la projection Lambert-93

Si les géodésiens sont à l'aise avec des coordonnées géocentriques cartésiennes, si les marins et maintenant les utilisateurs de GPS sont familiers des coordonnées géographiques, la plupart des utilisateurs conçoivent en schémas planimétriques. C'est-à-dire qu'ils ont besoin de coordonnées en projection plane. Une nouvelle projection a donc été choisie pour exprimer les coordonnées RGF93. Bien que de type "Lambert", ses paramètres n'ont rien de commun avec le "Lambert" associé au système NTF. En particulier, c'est une projection unique pour tout le territoire métropolitain, définie par les paramètres ci-dessous :

- Ellipsoïde : GRS 80
  - 1/2 grand axe :  $a = 6\,378\,137\text{ m}$
  - aplatissement :  $f = 1/298,257\,222\,101$
- Projection conique conforme sécante :
  - parallèles d'échelle conservée :
    - $\varphi_1 = 44^\circ\text{N}$
    - $\varphi_2 = 49^\circ\text{N}$
  - méridien central :  $\lambda_0 = 3^\circ\text{E Greenwich}$
  - latitude origine :  $\varphi_0 = 46^\circ30'\text{N}$
  - coordonnées de l'origine :
    - $X_0 = 700\,000\text{ m}$
    - $Y_0 = 6\,600\,000\text{ m}$

caractéristiques de la projection Lambert-93 associée au système RGF93

L'avantage de la projection unique est évident dans l'univers numérique des SIG, où les échanges de données se heurtent souvent à leur défaut d'homogénéité. Une projection de type Lambert a été retenue car, tout en présentant des qualités équivalentes à celles des autres projections conformes envisageables (stéréographique oblique, ou Mercator transverse, par exemple), elle a l'avantage d'utiliser des formules simples et d'être bien connue des géomètres français. Les paramètres de Lambert-93 diffèrent cependant de ceux de la projection unique "Lambert II étendu" existante pour deux raisons essentielles. Il s'agissait d'une part de minimiser les altérations linéaires, d'où le choix des parallèles automécoïques à  $44^\circ$  et  $49^\circ$ , et d'autre part d'éviter les risques de confusion avec les coordonnées Lambert associées à la NTF, d'où les coordonnées choisies pour l'origine.

Pour l'utilisateur, l'inconvénient principal de Lambert-93, comme de toute projection unique sur le territoire métropolitain, réside dans l'importance et la variation de son altération linéaire. Ses valeurs maximales peuvent atteindre jusqu'à 3,5 mètres par kilomètre, ce qui n'est pas très handicapant, car ces paramètres sont très facilement intégrables dans les procédures courantes de calculs topométriques. Plus complexe, et donc plus délicate à prendre en compte, est la question de la variation de l'altération linéaire qui peut atteindre des valeurs significatives (cf. tableau). Dans les zones extrêmes d'application de la projection, les utilisateurs devront donc tenir compte de cette variation dès que l'étendue ou la précision requise du chantier rendront cette opération nécessaire.

localisation	coordonnées Lambert-93 (en m)		altération linéaire en mm/km	variation pour 1 km
	E	N		
Dunkerque	650 000	7 100 000	2 186,0	12,8
	650 000	7 101 000	2 198,8	
Meaux	700 000	6 880 000	15,4	7,0
	700 000	6 881 000	22,4	
Poitiers	500 000	6 600 000	-948,6	0,1
	500 000	6 601 000	-948,7	
Bonifacio	1 200 000	6 000 000	3 647,2	15,5
	1 200 000	6 001 000	3 632,7	

Lambert-93, exemples numériques. Dans quatre exemples, sont données les valeurs numériques pour une paire de points distants d'un kilomètre sur une ligne Nord-Sud. On constate que la variation d'altération linéaire est proche de zéro à proximité du parallèle origine (Poitiers), mais qu'elle est déjà sensible aux environs des parallèles "d'échelle conservée" (Meaux). Les valeurs maximales sont atteintes pour les zones extrêmes.

### transformations NTF ↔ RGF93

Le système RGF93 étant plus précis, plus exact et plus "universel" que le système NTF, il est recommandé aux utilisateurs de travailler chaque fois que possible dans ce nouveau système (qu'il soit exprimé sous forme de coordonnées cartésiennes, géographiques, ou dans la projection associée Lambert-93). RGF93 constituant une meilleure référence nationale, en voie de devenir réglementaire, il est de plus conseillé d'archiver soigneusement ces coordonnées de calcul, même si la publication des travaux doit aujourd'hui encore se faire en système NTF. Pour le géomètre qui souhaite transformer d'un système à l'autre des coordonnées d'origine quelconque, plusieurs cas d'applications peuvent se rencontrer :

#### Cartographie

Dans le cas d'applications cartographiques à petite échelle pour lesquelles une précision décimétrique est suffisante, l'utilisation d'un jeu de trois paramètres dits "de translation" entre les deux systèmes est suffisant. Ces trois paramètres qui s'appliquent aux coordonnées cartésiennes sont (dans les sens RGF93 → NTF) :

$$T_x = +168\text{m} ; T_y = +60\text{m} ; T_z = -320\text{m}$$

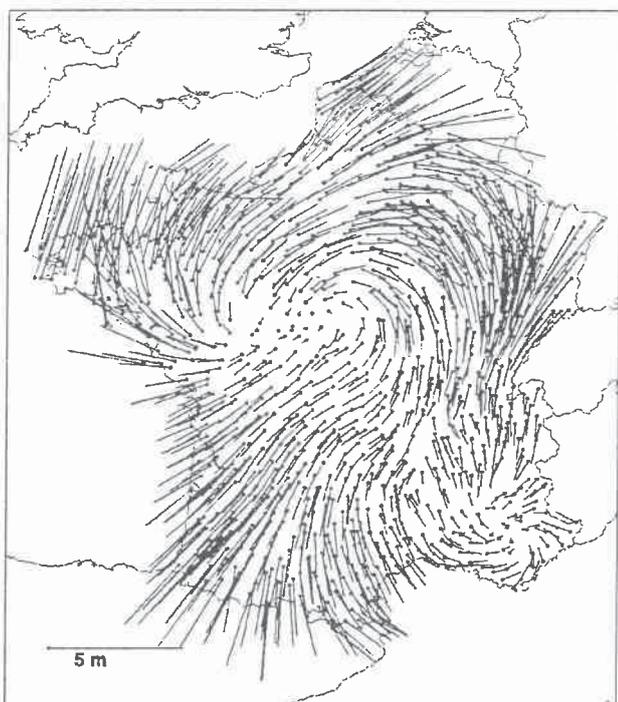
Rappelons que ces paramètres sont en réalité les coordonnées (cartésiennes géocentriques) du centre de l'ellipsoïde associé à RGF93, dans le repère lié à l'ellipsoïde associé à la NTF, et ne peuvent pas s'appliquer

directement aux coordonnées planes, ni aux altitudes. Ils doivent être introduits dans les calculs de transformation de coordonnées, en conjonction avec les caractéristiques des ellipsoïdes et des projections concernés.

**Modèle de transformations locales :**

À partir des études basées sur les 1000 sites du RBF, l'IGN a calculé pour toute la France métropolitaine un modèle des paramètres de transformation locaux. Ce modèle permet une transformation RGF93 ↔ NTF d'une précision décimétrique. Il est suffisant pour de nombreuses applications où une diffusion des coordonnées d'un chantier en système NTF est nécessaire pour des raisons réglementaires ou contractuelles. Cette transformation ne dégradera par la géométrie du réseau transformé, mais sa cohérence avec le fond NTF ancien ne pourra être assurée qu'au niveau décimétrique, même si elle peut localement être bien meilleure.

Il est prévu que ce modèle de transformation actuellement développé à l'IGN soit diffusé aux utilisateurs dès qu'il aura été validé.



les déformations locales de la NTF

Cette carte montre sous forme de vecteurs le résidu entre les coordonnées NTF publiées et celles qui seraient obtenues par déterminations GPS, après application de la translation à trois paramètres citée plus haut. On constate que même si les écarts atteignent 5 mètres, ces résultats restent cohérents avec la précision annoncée de la NTF.

Attention, chaque jeu numérique de paramètres n'est valable que localement ! L'utilisation de ces paramètres locaux en dehors de leur zone de validité peut entraîner des erreurs, suivant l'éloignement, de quelques décimètres à quelques mètres !

**Cas particuliers :**

Dans le cas d'un chantier qui doit raccorder sur des travaux antérieurs avec une précision d'ordre centimétrique, le modèle précédent peut s'avérer insuffisant. Il sera alors nécessaire de procéder à des opérations spécifiques de "rattachement" sur des points communs aux différents chantiers.

**NGF : Nivellement Général de la France**

C'est le nom de la référence altimétrique métropolitaine, qui comprend le système IGN69 pour le continent (point fondamental à Marseille) et IGN78 pour la Corse (point fondamental à Ajaccio). Le système NTF étant bidimensionnel (planimétrique), c'est l'altitude NGF qui lui est associée en tant que composante verticale. La précision de l'altitude d'un point NTF dépend de son mode de détermination, c'est-à-dire de la précision du rattachement aux repères de nivellement voisins. Alors que la précision de l'altitude des repères de nivellement est d'ordre millimétrique, celle des points géodésiques va typiquement de la qualité centimétrique à la qualité métrique.

Rappelons que le système actuel de référence altimétrique succède au système NGF ancien, dit "Lallemand" ou encore "orthométrique", (d'après la méthode de calcul des altitudes utilisée alors, les altitudes actuelles, IGN69 ou IGN78, étant des altitudes "normales"). Les écarts entre les deux systèmes d'altitudes croissent du Sud au Nord de la France, de zéro à Marseille, à environ 60 centimètres à Dunkerque. Si l'IGN ne publie plus de RN (repères de nivellement) en altitudes "Lallemand", certaines erreurs apparaissent encore du fait de la méconnaissance de cette évolution, ou de l'utilisation de documents ou levés anciens.

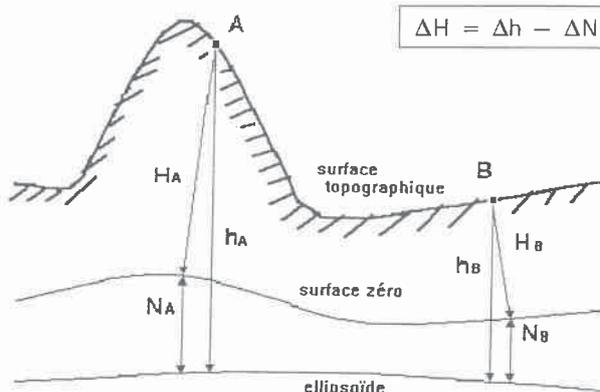
En ce qui concerne les points géodésiques, au fur et à mesure de leur chargement dans la BDG (Base de Données Géodésique de l'IGN), les altitudes "Lallemand" qui peuvent subsister sont remplacées par celles correspondant au système de référence NGF actuel. Dans tous les cas, le topographe devra être attentif à ne pas confondre les deux systèmes, et à redoubler de vigilance chaque fois qu'il aura à traiter des données anciennes.

**Altitudes et hauteurs sur l'ellipsoïde**

RGF93 est un système géocentrique. Il est donc parfaitement cohérent avec les mesures issues de l'utilisation de GPS. En particulier, les mesures GPS brutes ne fournissent pas des différences d'altitudes, mais des différences de hauteurs ellipsoïdales. L'écart entre les deux valeurs, compris entre 43,5 et 54,5 mètres, peut localement varier de plusieurs centimètres par kilomètre, notamment dans les régions montagneuses.

Le topographe s'intéresse généralement aux altitudes. Utilisant GPS en mode relatif, il s'agira alors pour lui de passer de différences de hauteurs ellipsoïdales (h) issues de mesures GPS à des différences d'altitudes (H) en corrigeant la première de la différence de hauteurs de la "surface zéro" du système d'altitude (N) par la formule :

$$\Delta H = \Delta h - \Delta N$$



La carte ci-après a été établie à partir des données du RBF. C'est une représentation sous forme de courbes de niveau, des écarts entre les altitudes NGF-IGN69 et les hauteurs RGF93 des 1000 points du RBF. Elle représente donc une image de la "surface d'altitude nulle" du système de référence altimétrique NGF par rapport à l'ellipsoïde GRS80 dans le système RGF93, que pour simplifier, nous appelons "surface zéro". Elle n'utilise que des données espacées de 25 km en moyenne, et ne peut donc modéliser des ondulations de plus courtes longueurs d'ondes, qui ne pourront être perçues que par des données complémentaires plus denses.

On constate qu'il convient donc de bien identifier la nature de la donnée disponible (altitude ou hauteur), et d'utiliser, dans le cas du passage de l'une à l'autre, un modèle de correction d'une qualité en accord avec la précision recherchée. Il faut noter d'autre part qu'un modèle donné est généralement dépendant du système de référence altimétrique et du système de référence géocentrique considérés.



la "surface zéro" IGN69 sur GRS80-RGF93, issue du RBF

Plusieurs approximations de la surface zéro sont déjà possibles. Une méthode souvent utilisée consiste à adapter localement le modèle de géoïde mondial OSU91, déjà intégré dans certains logiciels de traitements géodésiques ou topographiques. Un géoïde européen précis existe aussi au niveau des laboratoires de recherche, mais n'est pas encore validé pour des applications de production. L'IGN quant à lui prépare un modèle précis de la surface zéro, en conjonction avec les études sur le géoïde national, dont une première version pourrait être disponible en 1997.

## C - la montée en charge du RGF

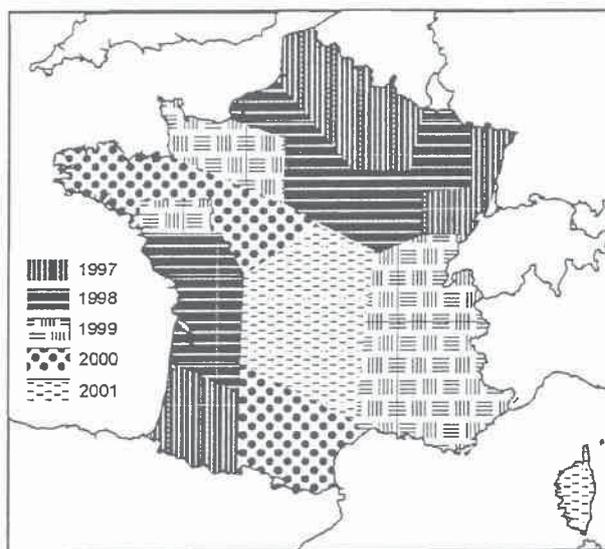
### calendrier de diffusion du RGF

Nous l'avons vu plus haut, la date de naissance publique du RGF correspond à la publication des coordonnées RGF93 des 23 sites du RRF en septembre 1995. La deuxième date-clé dans la mise en place du RGF est celle de la publication des 1000 sites du RBF en novembre 1996.

Il est prévu que les utilisateurs aient accès au RBF grâce à une procédure d'interrogation par Minitel accompagnée d'envois automatiques de télécopies, similaire à celle utilisée actuellement pour les repères de nivellement. Sa mise en œuvre étant programmée pour courant 1997, les méthodes habituelles de diffusion via les CIR (Centres Inter Régionaux) de l'IGN, ou son bureau de Documentation Géodésique de Saint-Mandé sont donc toujours d'actualité.

Parallèlement aux réalisations nouvelles du RGF, l'IGN poursuit son effort de numérisation des fiches signalétiques anciennes de la NTF. Ces données alimentent aussi la BDG (Base de Données Géodésique), qui deviendra l'intermédiaire obligé entre utilisateurs et producteurs de coordonnées, que ce soit pour leur simple diffusion, ou pour des opérations plus complexes incluant des traitements (compensation, transformations, etc.). En particulier les coordonnées RGF93 des points NTF seront calculées avec le modèle de transformation issu du RBF (voir plus haut dans ce texte). La précision des coordonnées ainsi obtenues sera comprise entre trois centimètres et dix centimètres, donc inférieure aux ambitions du RGF. Cependant elles resteront utiles pour tout utilisateur que ce degré de précision satisfait. Aujourd'hui environ 25 % de la NTF est chargée dans la BDG, et l'achèvement de la saisie des 70.000 sites retenus est prévu en 1999.

La réalisation du RDF est prévue sur 5 ans à partir de 1997. Une programmation précise sur cette période ne peut être établie aujourd'hui. Mais certaines contraintes techniques permettent déjà d'établir une ébauche de calendrier prévisionnel, qui est donné ci-dessous à titre indicatif.



calendrier prévisionnel de réalisation du RDF

## Le RGF ou l'interaction de tous les interlocuteurs

Il est aujourd'hui envisagé que l'Etat finance l'ensemble de la réalisation du RDF tel que défini par les spécifications citées ci-dessus ( 30.000 points sur 5 ans ). Cette solution a été proposée afin d'assurer une couverture nationale homogène, version minimale du RDF permettant de subvenir aux besoins les plus pressants des utilisateurs, tels qu'identifiés par le Groupe de Travail "Géodésie" du CNIG.

Mais bien que riche de 30.000 points le RDF ne peut prétendre satisfaire à tous les besoins. Tout levé nécessite généralement un canevas d'appui complémentaire, obtenu par densification des canevas nationaux. En même temps que l'idée du RGF, émergeait dans la fin des années 1980 celle d'un serveur national des données géodésiques. Quelques études ont été menées dans cette direction, mais aucun résultat concret n'a encore vu le jour. Il apparaît maintenant envisageable d'étendre le champ d'application de la BDG actuelle de l'IGN. Aujourd'hui essentiellement limitée à l'archivage et la diffusion des données concernant les canevas nationaux produits par l'IGN, elle pourrait être appelée à intégrer d'autres canevas représentant un intérêt général. Cette évolution nécessiterait bien sûr d'étudier d'abord les différentes modalités de fonctionnement de cette BD nationale ( spécification, qualification et recette des données, propriété et protection des données, modalités de diffusion, financement, ... ), et de vérifier sa faisabilité dans le cadre des structures actuelles.

Le RBF va maintenant permettre à la plupart des producteurs de canevas de réaliser ceux-ci précisément dans le nouveau système RGF93. Les résultats de l'enquête auprès des CDIG (Comités Départementaux de l'Information Géographique) ont montré que 70 % des producteurs qui se sont exprimés sont disposés à intégrer leurs données à la BDG de l'IGN.

En attendant que soient éventuellement arrêtées les modalités d'intégration, dans une base de données nationale, de différents types de canevas, qu'ils soient de nivellement de précision ou géodésiques, il est important de préparer la voie à ces futures contributions.

Dans le cas d'une production nouvelle et indépendante, en prévision d'une généralisation du système RGF93 pour l'an 2000, il est souhaitable de donner accès à tout utilisateur à toute donnée géodésique précise en accord avec les spécifications de qualité du RGF. En conséquence, il est recommandé aux producteurs de canevas, en particulier ceux utilisant GPS, de s'appuyer sur les coordonnées du RBF et de réaliser les calculs initiaux en système RGF93. Ces résultats seront archivés, pour être réutilisables chaque fois que des opérations similaires seront réalisées dans le même secteur.

### rattachement des canevas locaux

La mise en cohérence des canevas de densifications locales avec le canevas national basé sur RGF93, demande d'envisager plusieurs niveaux et options, qui dépendront des spécificités et des contraintes de chaque cas particulier.

#### niveau 1 : détermination

Des points du canevas local seront directement déterminés dans le système RGF93, généralement par GPS. En cas de points nouveaux ils pourraient être matérialisés par des repères spécifiques à définir.

La principale option sera ici de définir la densité des points à déterminer. Leurs spécifications, en terme de pérennité, conditions d'observations, accessibilité devront aussi être choisies en fonction des besoins particuliers.

#### niveau 2 : recalcul

Les points ainsi déterminés ( niveau 1 ) ne seront souvent qu'un sous-ensemble d'un canevas plus dense, ancien ou nouveau. La mise au système RGF93 demandera alors un recalcul des coordonnées de tous les points. Les différentes options dépendent ici des données disponibles.

Il pourra s'agir de recalculer un ancien canevas de triangulation, de compenser un ensemble de mesures GPS réalisées indépendamment des opérations de rattachement au RGF93 ( niveau 1 ), voire d'appliquer des procédures de transformations de coordonnées en s'appuyant sur les points connus dans les deux systèmes de coordonnées, à savoir le système ancien ou local, et le système national RGF93.

#### niveau 3 : intégration

On pourra enfin choisir d'intégrer les résultats des opérations de niveaux 1 ou 2 dans la base de données nationale. Il faudra alors ajouter aux coordonnées des données qualitatives ( précision, ... ) et descriptives ( identifiant, type de repères, localisation, ... ) sous un format rigoureusement spécifié.

Si les deux niveaux précédents sont aujourd'hui déjà pratiqués car les procédures concernées sont techniquement bien maîtrisées, la mise en œuvre de ce niveau 3 ne pourra être envisagée qu'après la réalisation d'un complément d'études, comme indiqué dans le chapitre précédent.

### conclusion

L'actuelle décennie restera marquée par une évolution considérable dans le domaine des canevas géodésiques. D'une part un outil révolutionnaire a envahi les marchés professionnels. C'est le GPS, dont les performances et la diversité des applications ne cessent de s'accroître. D'autre part on constate l'inévitable régression de la donnée analogique face au numérique, soulignée par la progression rapide des SIG, et le développement des moyens de communications informatiques.

La phase antérieure de modernisation des techniques, marquée par la vulgarisation des micro-ordinateurs et des appareils optoélectroniques de mesures de distances, n'avait pas entraîné de tels bouleversements pour le géomètre. Si la décennie précédente avait bien amorcé une évolution, en particulier avec l'émergence de besoins nouveaux en terme de précision et d'informatisation des données géodésiques, ce n'est qu'au début des années 1990 que la nécessité d'un nouveau canevas national, matérialisant un nouveau système de référence a été clairement reconnue.

Ce nouveau canevas a été spécifié par le CNIG pour la première fois en 1989. C'est le RGF, qui a conduit à la définition du système RGF93, réalisation nationale centimétrique de la référence européenne ETRS89. Il répond aux besoins modernes d'homogénéité transfrontalière et de précision. Ses deux qualités pratiques immédiates sont la cohérence avec des mesures par GPS et la disponibilité des données géodésiques sous forme numérique, par l'intermédiaire de la BDG de l'IGN.

Mais tout progrès est un changement, et tout changement s'accompagne de certaines difficultés d'adaptation. L'IGN, conscient des difficultés liées à l'utilisation des nouvelles technologies, et à la mise en place d'un nouveau système de référence, s'efforce de préparer l'avenir, mais aussi de faciliter dès aujourd'hui la transition pour tous les utilisateurs des canevas géodésiques.

En particulier, l'École Nationale des Sciences Géographiques (Stages et Formation Permanente - Tél. : 01.43.98.82.74), propose un module de formation ouvert au public d'une semaine sur les systèmes de coordonnées, qui traite, entre autres, des critères d'appréciation de la qualité d'une transformation. Un module d'une semaine "Pratique du GPS en géodésie et en topométrie" est aussi programmé plusieurs fois dans l'année. D'autre part, l'unité chargée au SGN de l'Information Géodésique est à la disposition de l'utilisateur pour toute information complémentaire. En particulier, l'ensemble des formules de transformation qui ont pu être utilisées est conservé et consultable. L'unité effectue aussi sur demande les transformations de coordonnées sur les DOM-TOM et l'étranger. Elle diffuse les notices techniques traitant de géodésie et plus particulièrement dans le domaine des systèmes de référence.

Contact :

Institut Géographique National, SGN/PMTC  
2, avenue Pasteur  
BP 68  
94160 SAINT MANDE  
Tél. : 01.43.98.83.17  
ou 01.43.98.84.62  
Fax : 01.43.98.84.50  
email : gil@phenix.ign.fr

Enfin, en attendant un service Minitel pour la géodésie, les procédures classiques de diffusion restent le meilleur moyen de se procurer les fiches signalétiques (traditionnelles ou issues de la BDG pour les données chargées). S'adresser à :

Institut Géographique National,  
SDOG, Diffusion Géodésique  
2, avenue Pasteur,  
BP 68  
94160 SAINT MANDE  
Tél. : 01.43.98.80.00  
Fax : 01.43.98.84.02

#### AFT ADHEREZ

L'Association Française de Topographie est le lieu géométrique où se rencontrent les grandes écoles de la nation et de la topographie, les organismes de la profession, et surtout ceux qui ont à connaître de la topographie, opérateurs et utilisateurs.

Vous y partagerez l'expérience et le savoir avec vos collègues de tous les secteurs, vous y trouverez un lieu d'échange et une connection avec vos besoins professionnels, vous y rencontrerez la solidarité du métier.

#### BULLETIN D'ADHÉSION

à retourner à l'AFT - 136b rue de Grenelle - 75007 SP Paris (France)

Mr  Mme  Mlle  ou raison sociale  \_\_\_\_\_

Nom : \_\_\_\_\_ Prénom : \_\_\_\_\_

Adresse : \_\_\_\_\_

Code postal : \_\_\_\_\_ Ville : \_\_\_\_\_

Profession : \_\_\_\_\_ Secteur d'activité : \_\_\_\_\_

#### TARIFS ANNUELS

La cotisation est indissociable de l'abonnement à la revue trimestrielle XYZ.  
Un droit d'inscription (entre parenthèses) est perçu à l'adhésion.

- Ingénieur, Géomètre-Expert, Indépendant, Cadre, Personne morale : 420 Frs (+ 50 Frs)
- Technicien, Agent de maîtrise, Retraité cadre et ingénieur, Enseignant : 260 Frs (+ 30 Frs)
- Etudiant, Stagiaire, SN, Retraité technicien et agent de maîtrise : 185 Frs (+ 10 Frs)