

Influence de la déviation de la verticale sur les travaux topographiques réalisés dans le système RGF93

■ Ludovic ANDRES

La mise en œuvre du nouveau système de référence R.G.F 93 implique l'utilisation de l'ellipsoïde GRS80. Les mesures topographiques d'angles et de distances devant être réduites sur cet ellipsoïde subissent donc naturellement les effets de la déviation de la verticale. Une comparaison de ces déviations est réalisée pour l'ancien et le nouveau système de référence. Puis une estimation des corrections qui devraient s'appliquer lors de la réduction des observations sur l'ellipsoïde GRS80 est effectuée. Bien que pour certaines régions de France ces altérations puissent être relativement importantes, on s'aperçoit qu'elles peuvent d'une manière générale être négligées pour des travaux topographiques effectués dans le cadre du R.G.F 93 ne nécessitant pas une trop grande précision. Dans le cas contraire, il devient nécessaire d'en tenir compte surtout dans les régions soumises à de fortes déviations de la verticale.

Introduction

Depuis le 26 Décembre 2000, le décret d'application de l'article 53 de la loi d'Aménagement et de Développement Durable (**Décret n° 2000-127, Loi n°95-115**) a défini le R.G.F. 93 comme le nouveau système de référence en vigueur. Ce nouveau système répondait à des besoins majeurs. Il s'agissait de remplacer la Nouvelle Triangulation de la France – NTF (**Levallois, 1988**) : sa faible précision de l'ordre de 1 cm/km et des problèmes d'échelle locaux la rendaient inadaptée aux exigences et aux performances techniques actuelles en terme de levés topographiques. De plus, il convenait d'adopter un nouvel ellipsoïde permettant une meilleure compatibilité avec le système de positionnement par satellite GPS (**Global Positioning System**).

Au-delà de ces avantages indiscutables, le choix d'un nouvel ellipsoïde, en l'occurrence le GRS80 – Geodetic Reference System 1980 (**Moritz, 1980**), engendre des effets qu'il convient d'estimer, notamment sur les mesures d'angles et de distances effectuées à l'occasion de travaux topographiques. En effet, les théodolites, tachéomètres, et autres appareils de topographie terrestre utilisent le champ de pesanteur pour déterminer la verticale (et donc l'horizontale), nécessaire à leur mise en station. Tous les angles et distances mesurés sont donc déterminés par rapport à cette verticale et non par rapport à la normale à l'ellipsoïde. Or le champ de pesanteur qui varie selon les lieux est principalement le reflet de la structure de la Terre, de son mou-

vement et de l'influence des autres planètes du système solaire. Le géoïde a été défini comme étant la surface équipotentielle du champ de pesanteur terrestre correspondant au mieux avec le niveau moyen des mers prolongé sous les terres. Cette surface, qui ondule, correspond à une grandeur physique, et est donc différente d'un ellipsoïde qui n'est que la définition géométrique d'une surface simple. Bien entendu les ellipsoïdes sont eux mêmes choisis de façon à correspondre au mieux avec le géoïde : au niveau local pour les ellipsoïdes nationaux et au niveau global en ce qui concerne les ellipsoïdes internationaux tel que le GRS80. Ainsi, au niveau local, un ellipsoïde international est de façon générale moins "parallèle" au géoïde qu'un ellipsoïde national. De ce fait, la réduction sur l'ellipsoïde des mesures d'angles et de distances faites sur le terrain doit se faire avec précaution : il peut devenir nécessaire de tenir compte de la non colinéarité de la verticale avec la normale à l'ellipsoïde si l'altération engendrée ne peut être considérée comme négligeable. Comme cela a pu être le cas dans d'autres pays (**Dymock and al, 1999, Featherstone and Rueger, 2000**), cet article tente d'estimer ces effets, pour des travaux effectués dans l'ancien et le nouveau système de référence en vigueur en France.

Rappels sur la déviation de la verticale

On rappelle (**Heiskanen and Moritz, 1967, Bomford, 1980**) que la verticale est définie par rapport au vecteur accélération de

la pesanteur par un vecteur unitaire \vec{v} tel que

$$\vec{v} = - \frac{\vec{g}}{\|\vec{g}\|}$$

Ce vecteur est donc dirigé de bas en haut, dans la direction donnée par un fil à plomb. La figure 1 montre que ce vecteur forme un angle θ avec la normale à l'ellipsoïde représentant ce que l'on nomme la déviation de la verticale.

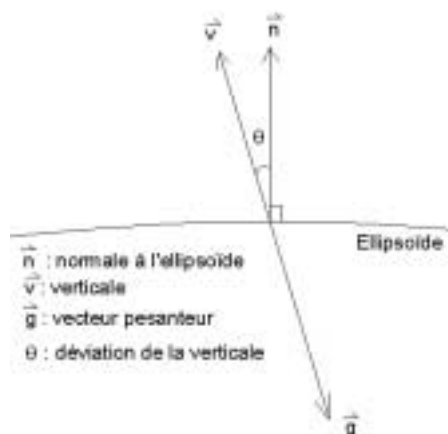


Figure 1 : représentation de la déviation de la verticale.

Comme cela est illustré sur la figure 2 (Dufour, 2001), cet angle peut être décomposé en ses composantes η et ξ respectivement dans les direction Est-Ouest et Nord-Sud

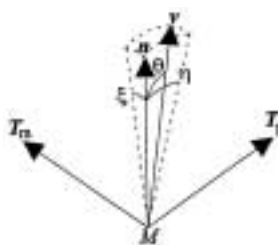


Figure 2 : décomposition de la verticale en ses composantes η et ξ . T_p et T_m sont les vecteurs unitaires dirigés respectivement vers l'Est, le Nord.

On a alors la relation : $\theta = \sqrt{\eta^2 + \xi^2}$

Si l'on effectue sur la surface équipotentielle un déplacement élémentaire ds_m dans la direction Nord-Sud (selon le méridien), on aura une variation élémentaire dN de la hauteur N du géoïde au dessus de l'ellipsoïde telle qu'illustré par la figure 3 (Dufour, 2001) et matérialisant l'angle ξ .

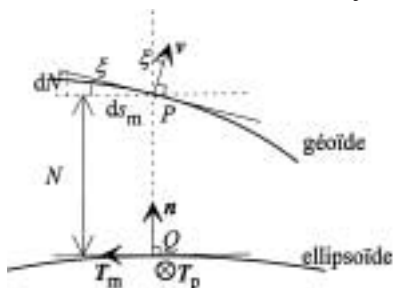


Figure 3 : déviation de la verticale dans le sens nord-sud. T_p , T_m et n sont les vecteurs unitaires dirigés respectivement vers l'Est, le Nord et le haut.

On peut donc écrire : $\tan \xi = - \frac{dN}{ds_m} = - \frac{dN}{\rho d\varphi}$

ρ étant le rayon de courbure principale dans la direction du méridien, donné par :

$$\rho = - \frac{a(1 - e^2)}{w^3} \text{ avec } w = \sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi}$$

où a représente le demi grand axe de l'ellipsoïde, e l'excentricité et φ la latitude du point considéré.

Comme ξ est petit, on peut faire l'approximation : $\xi = - \frac{dN}{\rho d\varphi}$

De même, on a : $\eta = - \frac{dN}{ds_p} = - \frac{dN}{v \cos \varphi d\lambda}$

λ étant la longitude et v le rayon de courbure principale dans la direction du parallèle, donné par : $v = \frac{a}{w}$

Bien entendu, l'opérateur géomètre réalisant ses mesures d'angles et de distances ne se déplace pas sur une surface équipotentielle mais à la surface de la Terre et à différentes altitudes. Aussi, les variations locales de l'attraction gravitationnelle dues au relief et aux densités variables des couches géologiques vont induire des variations de pente dans les courbes équipotentielles qu'il va croiser aux grès de ses travaux, courbes qui ne seront donc pas forcément parallèles entre elles. On comprendra donc qu'en toute rigueur, la déviation de la verticale à la surface du globe ne peut faire l'objet que d'une mesure sur le terrain si l'on souhaite la déterminer de façon parfaite. Plusieurs techniques existent pour cela, dont celle qui consiste à déterminer et comparer les coordonnées astronomiques et géodésiques d'un point.

Calcul des déviations de la verticale sur le territoire de la France

Dans le cadre de la présente étude, il s'agit d'estimer de façon réaliste les effets de la déviation de la verticale pour la France continentale et non de fournir des valeurs d'angles extrêmement précises et ponctuelles. Aussi on conviendra que tout modèle reconnu de géoïde ou quasi-géoïde suffira pour cela, et ■■■

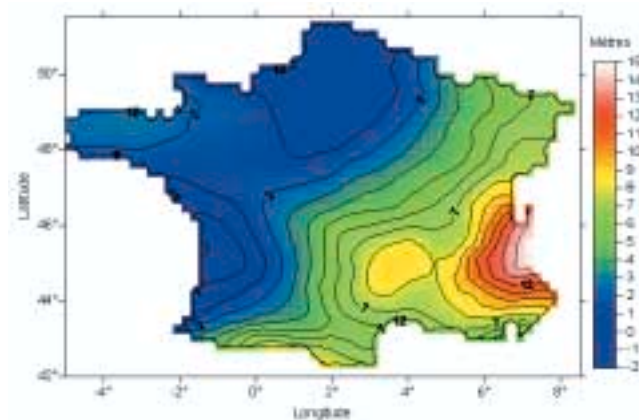


Figure 4 : modèle de géoïde de Levallois au-dessus de l'ellipsoïde de Clarke 1880 IGN.

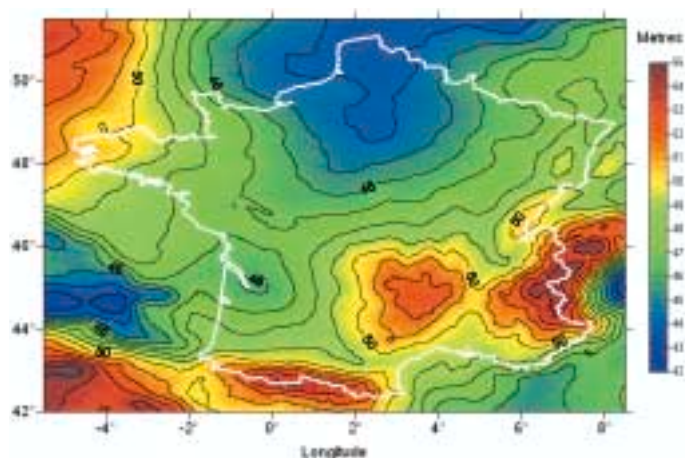


Figure 5 : modèle de quasi-géoïde local RAF98 au dessus de l'ellipsoïde GRS 80.

■ ■ ■ L'on s'attachera donc à en examiner les gradients Nord-Sud et Est-Ouest. En ce qui concerne l'ellipsoïde de Clarke 1880 IGN lié à la N.T.F., on utilisera (Figure 4) le modèle de géoïde astro-géodésique de Levallois (Levallois, 1970). Pour le GRS80 associé au R.G.F.93, le choix s'est porté sur le modèle R.A.F.98 (Duquenne, 1998) présenté en figure 5, puisqu'il s'agit probablement à ce jour (Noquet et al., 2000) d'un des meilleurs modèles de quasi-géoïde correspondant aux altitudes normales IGN69 (Levallois et Maillard, 1970) disponible pour la France.

Un programme réalisé en Visual Basic a permis de générer les déviations totales de la verticale ainsi que ses composantes Nord-Sud et Est-Ouest pour la grille RAF98 (résolution de 0.025° en latitude et 0.033° en longitude) ainsi que pour le modèle de Levallois (résolution de $0.22^\circ \times 0.22^\circ$). On peut s'apercevoir en examinant les statistiques présentées sur la table 1, que le GRS80 semble moins bien adapté au géoïde sur la France que ne l'était le Clarke 1880 IGN. Cependant bien que les valeurs minimales et maximales de la déviation de la verticale et de ses composantes η et ξ soient nettement plus importantes dans le cadre du RGF93, la valeur moyenne ainsi que l'écart type restent relativement comparables avec celles de l'ancien système.

	η_{LEV}	ξ_{LEV}	θ_{LEV}	η_{RAF98}	ξ_{RAF98}	θ_{RAF98}
min	-71,70	-56,09	0,04	-142,92	-111,80	0,04
max	33,21	66,13	76,31	99,44	134,49	164,74
moy	-11,01	4,32	21,38	-3,15	6,16	23,36
Ecart type	14,84	16,63	13,28	19,10	21,09	17,93

Table 1 : principales caractéristiques statistiques de la déviation totale de la verticale (θ) et de ses composantes Est Ouest (η) et Nord Sud (ξ) pour les modèles de Levallois et RAF98 (unité : micro-radian). Calculs effectués pour la France continentale

Le fait que la résolution des deux modèles de géoïde utilisés soit très différentes n'a qu'une incidence réduite sur ces résultats statistiques : en effet le ré-échantillonnage à l'aide d'un filtre passe-bas de la grille RAF98 pour se ramener à un pas de $0,25^\circ \times 0,25^\circ$, a conduit à des résultats statistiques globaux

quasi identiques, mais au détriment de la finesse nécessaire à toute étude locale. Si l'on examine plus en détail la répartition géographique des valeurs de θ , η et ξ déduites du modèle de Levallois (figure 6) au dessus de l'ellipsoïde de Clarke 1880 IGN, on s'apercevra que les régions à caractère montagneux comme les Pyrénées, les Alpes et même la région Provence - Alpes - Côte d'Azur sont logiquement les premières affectées par une importante déviation de la verticale. Pour les autres régions de France les amplitudes de θ , η et ξ restent globalement inférieures à 50 microradians.

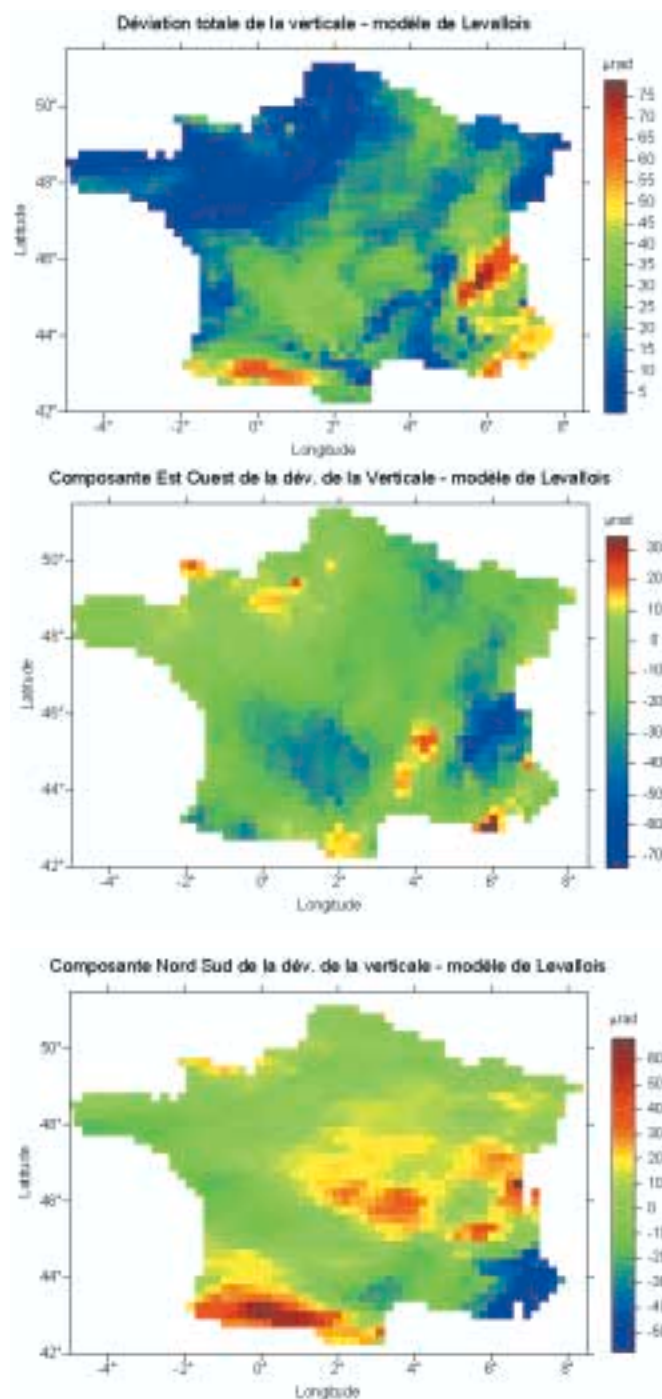


Figure 6 : déviations de la verticale calculées le modèle de Levallois

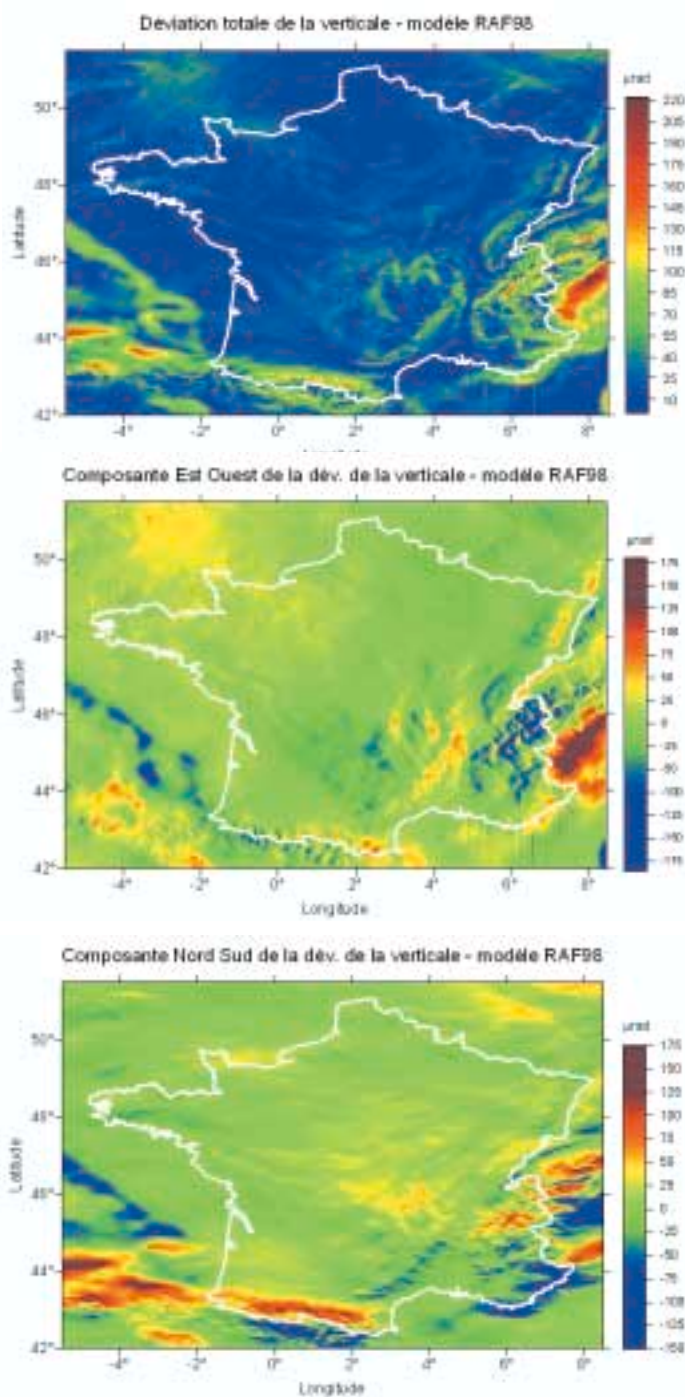


Figure 7 : déviations de la verticale calculées d'après le modèle RAF98

De plus, cette cartographie permet de mettre en évidence quelques effets localisés sur les composantes η et ξ (exemple de la composante η en Basse Normandie) qu'il conviendrait d'étudier de manière plus détaillée avec un modèle de géoïde plus précis que celui de Levallois. En ce qui concerne le modèle RAF98 au dessus de l'ellipsoïde GRS80, l'examen des amplitudes de θ , η et ξ obtenues (figure 7) dénote une certaine analogie avec celui de Levallois en effet les zones mises en évidence sont grossièrement semblables, par contre, localement, des ampli-

tudes sont plus importantes pour le couple GRS80/RAF98. Ces plus fortes amplitudes ne proviennent pas du problème de la pente du nivellement IGN69 sur la France. En effet, on sait d'une part que le réseau IGN69 a contribué par la correction du quasi géoïde QGF98 (Duquenne, 1998) à l'élaboration du modèle RAF98. D'autre part, la fameuse traversée Marseille – Dunkerque (Kasser, 1989) a révélé pour ce réseau de nivellement un systématisme probable lié aux observations de l'ordre de 30 cm pour 1000 km. Mais cela correspond à une déviation de la verticale parasite de 0,3 microradian environ, donc négligeable. De plus il s'agit d'un phénomène global (sur la composante Nord-Sud principalement) à l'échelle de la France alors que les fortes variations de la déviation de la verticale concernent principalement les zones montagneuses. On peut également examiner le problème de la précision en zone montagneuse des hauteurs ellipsoïdales utilisées conjointement aux altitudes IGN69 lors de la confection de la grille RAF98. Des points nivelés du RBF (Réseau de Base Français - RGF93) ont été utilisés : si l'on considère dans un cas extrême, une erreur de 20 cm environ sur la hauteur ellipsoïdale entre deux points géodésiques distants de 50 km, cela pourrait générer jusqu'à 3,9 microradians d'erreur sur la déviation de la verticale : cela reste insuffisant pour expliquer ces plus fortes amplitudes obtenues localement avec le modèle RAF98. C'est plutôt la relative grande résolution spatiale et la meilleure précision offerte par ce modèle, qui doit contribuer à mettre en évidence ce type de phénomène et pourrait permettre des études complémentaires plus détaillées dans ces régions soumises à des variations locales importantes du potentiel gravitationnel.

Application aux mesures d'angles et de distances

Il convient maintenant d'examiner les corrections que l'on devrait apporter à nos mesures terrestres d'angles et de distances si l'on tenait compte de la déviation de la verticale pour ramener ces mesures à des angles relatifs à l'ellipsoïde.

■ Réduction des angles horizontaux

Soient Az_a et Dz_a l'azimut et la distance zénithale mesurés (l'indice "a" signifie "astronomique"). Soient Az_g et Dz_g l'azimut et la distance zénithale corrigés (l'indice "g" signifie "géodésique").

La formule de Laplace nous donne la relation :

$$Az_g - Az_a = \eta \tan \varphi + (\eta \cos Az_a - \xi \sin Az_a) \cot Dz_a$$

Le terme $(Az_g - Az_a)$ représente la correction à apporter aux mesures de Az_a . On s'aperçoit que le terme en cotangente diminue rapidement dès lors que les visées s'éloignent du zénith. La table 2 présentée ci dessous donne des simulations numériques effectuées pour différentes valeurs de φ , Dz_a , η , ξ pour un azimut mesuré de 45° : la correction théorique ainsi que la longueur de l'arc correspondant à une distance de 100 m sont indiqués dans les deux dernières colonnes. ■ ■ ■

Latitude φ	$\eta = \xi$ μrad	Dz	Correction μrad	Longueur (mm) de l'arc à 100 m
42°	50	80°	-46,81	4,67
42°	100	80°	-93,67	9,37
42°	50	60°	-95,87	9,58
42°	100	60°	-191,78	19,17
50°	50	80°	-61,41	6,14
50°	100	80°	-122,82	12,29
50°	50	60°	-110,47	11,04
50°	100	60°	-220,93	22,08

Table 2 : exemples de corrections à apporter à un azimut mesuré de 45° pour diverses valeurs de φ , η , ξ , et D_z

■ ■ ■ En pratique l'angle horizontal mesuré entre deux visées est une différence de deux azimuts :

$$\Delta A_z = A_{z2} - A_{z1}$$

La valeur de la correction à apporter (Dufour, 2001) est donnée par la formule : $\Delta A_z - \Delta A_a = \cot D_z (\eta \cos A_{z2} - \xi \sin A_{z2}) - \cot D_z (\eta \cos A_{z1} - \xi \sin A_{z1})$

Une simulation numérique avec différentes valeurs angulaires est présentée sur la table 3. On notera que pour des différences d'azimuts et de distances zénithales importantes, ainsi que pour de fortes déviations de la verticale, les corrections peuvent devenir considérables.

Il y aurait donc lieu d'en tenir compte selon le type de travaux topographiques à réaliser, ou selon les conditions du chantier (différences de distances zénithales importantes).

A_{z1}	A_{z2}	D_{z1}	D_{z2}	$\eta = \xi$ μrad	Correction μrad	Longueur (mm) de l'arc à 100 m
40°	60°	85°	75°	50	-5,28	0,54
40°	60°	85°	75°	100	-10,52	1,08
20°	80	85°	65°	50	-20,90	2,16
20°	80	85°	65°	100	-41,74	4,30

Table 3 : exemples de corrections à apporter à des différences d'azimuts pour diverses valeurs de η , ξ et D_z .

A titre indicatif, la figure 8 présente pour des paramètres fixes, une simulation réalisée à partir des composantes Est-Ouest et Nord-Sud de la déviation de la verticale calculées précédemment d'après le modèle RAF98.

On voit que pour l'ensemble de la France, les altérations générées restent globalement limitées à 2 millimètres à une distance de 100 mètres pour le jeu paramètres choisis.

■ Réduction des angles verticaux

La déviation de la verticale ξ dans l'azimut A_{za} est égale à :

$$\xi = \cos A_{za} + \eta \sin A_{za}$$

C'est la correction à appliquer à la distance zénithale D_{za} pour

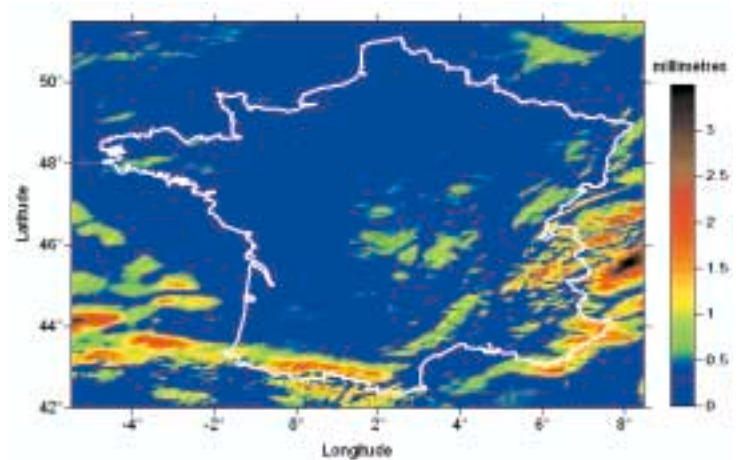


Figure 8 : simulation de la longueur de l'arc généré à 100 m, en azimut, par la déviation de la verticale pour : $D_{z1}=85^\circ$, $D_{z2}=75^\circ$, $A_{z1}=40^\circ$, $A_{z2}=60^\circ$

obtenir D_{zg} (Vanicek et Wells, 1974, Torge, 1985) si l'on considère l'effet de la déviation de la verticale uniquement. Les valeurs des composantes η et ξ illustrées plus haut par la Figure 7 permettront à chacun d'apprécier les amplitudes des corrections en jeu : il ne faut cependant pas perdre de vue que le déplacement correspondant généré sur le plan horizontal est minime. La véritable influence se fera sur la composante altimétrique dans le cas d'un nivellement trigonométrique par exemple.

Il est cependant intéressant de remarquer que la correction de la distance zénithale entre deux visées sera d'autant plus faible que les angles azimutaux des deux visées seront proches (jusqu'à devenir nulle pour $A_{z1}=A_{z2}$). La table 4 donne quelques exemples de corrections pour des différences de distances zénithales, ainsi que les longueurs des arcs (verticaux) générés à une distance de 100 mètres.

A_{z1}	A_{z2}	$\eta = \xi$ μrad	Correction μrad	Longueur (mm) de l'arc à 100 m
40	40°	50	0,00	0,00
40°	60°	50	-23,71	2,44
40°	60°	100	-47,41	4,89
20°	80°	50	-68,31	7,03
0°	90°	50	-96,96	9,99

Table 4 : exemples de corrections à apporter à des différences de distances zénithales pour diverses valeurs d'azimuts, de η , ξ .

Les figures 9 et 10 illustrent quant à elles, deux simulations réalisées sur la France à partir des composantes Est-Ouest et Nord-Sud calculées précédemment d'après le modèle RAF98. On s'aperçoit avec les paramètres présentés que même dans la simulation la plus défavorable (figure 10) la longueur de l'arc généré à 100 mètres reste globalement inférieure à 5 millimètres et ne dépasse qu'exceptionnellement le centimètre.

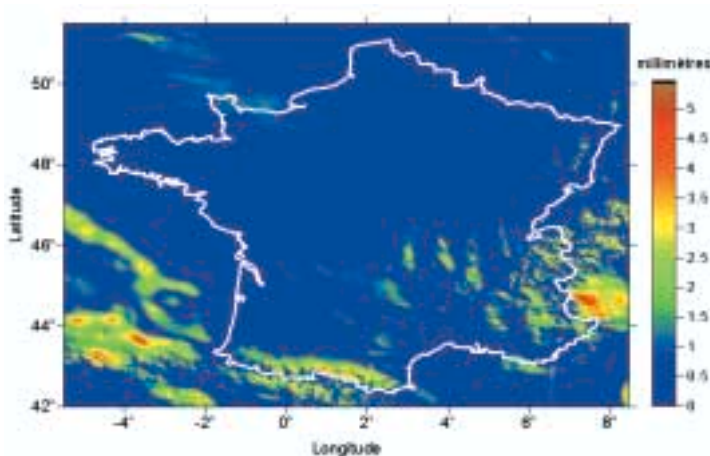


Figure 9 : simulation de la longueur de l'arc généré à 100m par la déviation de la verticale, sur la différence de distances zénithales, pour les azimuts: $Az_1=40^\circ$, $Az_2=60^\circ$

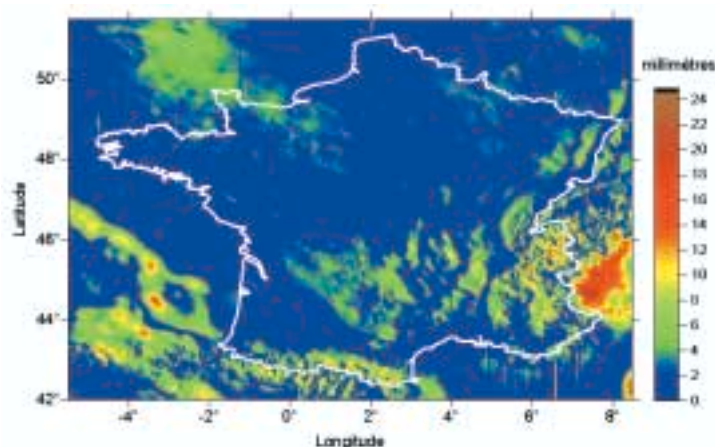


Figure 10 : simulation de la longueur de l'arc généré à 100m par la déviation de la verticale, sur la différence de distances zénithales, pour les azimuts: $Az_1=30^\circ$, $Az_2=120^\circ$

Il est nécessaire de préciser que la mesure des angles verticaux (tout comme les distances, et dans un degré moindre les angles horizontaux) subit les lois de la réfraction (principe de Fermat). Or la correction due à la réfraction atmosphérique est plutôt mal connue. Elle est d'autant plus importante que la distance zénithale est faible et les points observés éloignés. Elle peut être très supérieure à la correction de la déviation de la verticale selon les conditions d'observations.

■ Réduction des distances

Afin d'utiliser notre ellipsoïde GRS80, il convient de transformer les distances mesurées sur le terrain (aujourd'hui à l'aide d'un distance-mètre électronique utilisant les ondes électromagnétiques), en longueurs ramenées sur l'ellipsoïde. La figure 11 (Torge 1991) illustre la géométrie de cette transformation dans le cas où l'on utilise les hauteurs ellipsoïdales h_1 et h_2 des points P_1 et P_2 pour la réaliser. Dans ce cas, la déviation de la verticale n'intervient pas.

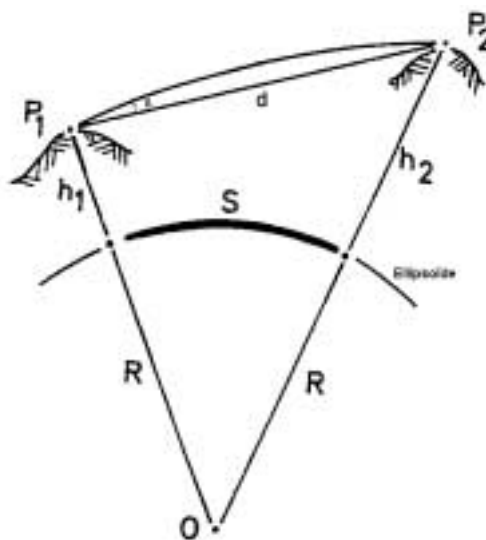


Figure 11 : réduction de la distance d mesurée en une distance S sur l'ellipsoïde

On a alors dans les conditions d'un levé topographique de quelques kilomètres (<50 km), la formule de réduction des distances suivante (Dufour, 2000) :

$$S = 2R_\alpha \arcsin \left[\frac{d \sqrt{1 - \left(\frac{h_1 - h_2}{d} \right)^2}}{2R_\alpha \sqrt{\left(1 + \frac{h_1}{R_\alpha} \right) \left(1 + \frac{h_2}{R_\alpha} \right)}} \right]$$

d étant la distance mesurée entre les points P_1 et P_2 , S la distance réduite et R_α le rayon de courbure entre les points P_1 et P_2 (azimut Az) donné par (Cooper, 1987)

$$R_\alpha = \frac{\nu \rho}{\nu \cos^2 Az + \rho \sin^2 Az}$$

Il est nécessaire de préciser que la mesure des angles verticaux (tout comme les distances, et dans un degré moindre les angles horizontaux) subit les lois de la réfraction (principe de Fermat). Or la correction due à la réfraction atmosphérique est plutôt mal connue. Elle est d'autant plus importante que la distance zénithale est faible et les points observés éloignés. Elle peut être très supérieure à la correction de la déviation de la verticale selon les conditions d'observations.

■ ■ ■ Néanmoins, les mesures réalisées sur le terrain par un tachéomètre peuvent être directement réduites en utilisant la distance zénithale observée simultanément. Comme nous l'avons vu précédemment, cette distance zénithale subit l'effet de la déviation de la verticale. Et on doit alors appliquer la formule de réduction suivante (Rüeger, 1996) :

$$S = R\alpha \arctan \left(\frac{d \sin (Dz_1 + \varepsilon_1 + \delta)}{R\alpha + h_1 + d \cos (Dz_1 + \varepsilon_1 + \delta)} \right)$$

avec δ angle de réfraction entre P_1 et P_2 et ε_1 déviation de la verticale en P_1 dans l'azimut de P_2 .

La table 5 présentée ci dessous donne différents exemples d'écarts entre des réductions S tenant compte de l'effet de la déviation de la verticale et des réductions S' qui n'en tiennent pas compte. Dans les deux cas on a ignoré l'effet de la réfraction.

Dz	ε (μ rad)	S (m)	S' (m)	S-S' (mm)
80°	50	101,5803	101,5794	0,87
60°	50	89,3294	89,3269	2,50
80°	100	101,5812	101,5794	1,76
60°	100	89,3319	89,3269	4,99

Table 5 : exemples de réductions de distances avec (S) ou sans (S') prise en compte de la déviation de la verticale. Paramètres utilisés : $h_1=200$ m, $d=100$ m, latitude= 45° N, Az= 45° , $\delta=0$, $R\alpha=6378092$ m.

Ces résultats montrent que l'effet de la déviation de la verticale est loin d'être négligeable dès lors que l'on se trouve dans des zones soumises fortement à son influence et que les distances zénithales deviennent faibles.

Conclusion

On sait qu'il faut prendre en compte les effets liés à la déviation de la verticale dès lors que l'on cherche à établir d'importants réseaux de triangulation ou bien que l'on effectue des travaux topographiques de précision. Par contre, dans l'usage courant ces effets sont généralement ignorés puisque l'on considère que les altérations engendrées peuvent être négligées compte tenu de faibles déviations de la verticale, de

la taille limitée du chantier topographique traité et de la précision requise pour le levé.

Toutefois, dans le cadre de travaux topographiques réalisés dans le système R.G.F.93 et au vu des résultats de la présente étude, deux cas de figures semblent se dégager :

- pour des travaux topographiques ne requérant pas de grandes précisions, tels des levés cadastraux ou des géopositionnements décimétriques dans des Systèmes d'Informations Géographiques, l'influence de la déviation de la verticale peut être simplement ignorée.

- Pour des levés topographiques de précision, et dans les zones soumises à de fortes influences de la déviation de la verticale il semble nécessaire d'en corriger les effets. Plusieurs solutions semblent réalisables à ce jour pour remédier à ce problème :

La première consisterait à établir pour la France, ou uniquement pour les régions concernées, une grille de déviations de la verticale. Cette grille pourrait être exploitée par des logiciels de calculs topographiques pour appliquer des corrections, qui bien qu'imparfaites, minimiseraient ces altérations.

La seconde consisterait en la mesure *in situ* de la déviation de la verticale, mais cette solution est lourde à mettre en œuvre et n'est utilisée que dans les instituts de recherche ou les grands organismes tel que l'Institut Géographique National.

La troisième implique l'utilisation du système GPS : en effet, celui-ci étant totalement indépendant des effets liés à la déviation de la verticale, sa mise en œuvre conjointe avec les méthodes de levé traditionnelles permet donc d'en minimiser grandement les altérations. Les méthodes de travail évoluant, le géomètre a recours de plus en plus souvent à ce système G.P.S dont l'utilisation est aujourd'hui simplifiée par l'adoption du RGF93 et le développement par l'IGN et ses partenaires (Collectivités Territoriales, Universités, CNRS, etc...), du Réseau de GPS Permanents (RGP). De plus, la baisse des coûts de ces matériels facilite leur acquisition par les cabinets de Géomètres. Cette dernière solution est donc facile à mettre en œuvre et devrait retenir l'attention des géomètres. ●

Remerciements

Je remercie tout particulièrement M. Henri Duquenne (ESGT) pour ses remarques et pour la grille R.A.F 98 qu'il m'a fournie.

On sait qu'il faut prendre en compte les effets liés à la déviation de la verticale dès lors que l'on cherche à établir d'importants réseaux de triangulation ou bien que l'on effectue des travaux topographiques de précision. Par contre, dans l'usage courant ces effets sont généralement ignorés puisque l'on considère que les altérations engendrées peuvent être négligées compte tenu de faibles déviations de la verticale, de la taille limitée du chantier topographique traité et de la précision requise pour le levé.

Je remercie également l'Institut Géographique National pour le modèle de géoïde numérique de Levallois et Messieurs Michel Kasser (IGN), Alain Harmel (IGN), et Denis Delerba (Ville de Nice) pour leurs commentaires.

Contacts

Ludovic ANDRES, Ingénieur en Chef,
Service Information Géographique - Mairie de Nice,
3 rue de la Terrasse, 06364 NICE CEDEX 4
ludovic.andres@ville-nice.fr

Références

BOMFORD G., 1980, *Geodesy*, Clarendon, Oxford.

COOPER, M. A. R., 1987, *Control surveys in civil engineering*, Blackwell, Oxford.

DECRET N° 2000-1276, 26 Décembre 2000, *Décret portant application de l'article 89 de la loi n° 95-115 du 4 février 1995 modifiée d'orientation pour l'aménagement et le développement du territoire relatif aux conditions d'exécution et de publication des levés de plans entrepris par les services publics*

DUFOUR, J-P., 2001, *Introduction à la Géodésie*, Collection ENSG - IGN, Editions Hermes

DUQUENNE, H., 1998, *QGF98 - a new solution for the quasigeoid in France*, *Proceedings of the Second Continental Workshop on the Geoid in Europe*. - Reports of the Finnish Geodetic Institute, M. Vermeer and J. Adam, editors, Masala, Finland.

FEATHERSTONE W. E., RÜEGER, J., 2000, *The importance of using deviations of the vertical for the reduction of survey data to a geocentric datum*, *The Australian Surveyor*, vol 45, n° 2

HEISKANEN, W. H. and MORITZ, H., 1967, *Physical Geodesy*, Freeman, San Francisco, USA.

LOI N° 95-115, 4 Février 1995, *Loi d'orientation pour l'aménagement et le développement du territoire*, article 89

KASSER, M., 1989, *Un nivellement de très haute précision : la traversée Marseille - Dunkerque 1983*, CR Académie des Sciences t. 309, Série II, p695-700, 1989.

LEVALLOIS, J.J., 1970, *Géodésie Générale*, Editions Eyrolles, tome 3.

LEVALLOIS, J.J., 1970, *Modèle de géoïde de Levallois au dessus de l'ellipsoïde Clarke 1880 IGN*, Service de Géodésie et de Nivellement, Institut Géographique National.

LEVALLOIS, J.J., 1988, *Mesurer la Terre - 300 ans de géodésie française*, Association Française de Topographie, Paris, 1988.

LEVALLOIS J.J. AND MAILLARD J., 1970, *Le nouveau réseau de nivellement de 1^{er} ordre du territoire français, conséquences pratiques et scientifiques.*, IGN

MORITZ, H., 1980, *Geodetic Reference System 1980*, Bulletin Géodésique, n°54, p395-405.

NOCQUET, J.-M., DUQUENNE, H., BOUCHER, C., HARMEL, A., WILLIS, P., 2000, *Conversion altimétrique RGF93-IGN69*, CNIG- Groupe de Travail Permanent "Positionnement Statique et Dynamique "

RÜEGER, J. M., 1996, *Electronic distance measurement - An introduction*, Springer, Berlin - New York.

TORGE, W., 1985, *Dreidimensionale Netze*. In : H. Pelzer (ed), *Geodätische Netze in Landes- und Ingenieurvermessung II*, 313-333, K. Witter, Stuttgart.

TORGE, W., 1991, *Geodesy*, Editions Walter de Gruyter, Second Edition, Berlin, New York.

VANICEK, P., WELLS, D. E., 1974, *Positioning of horizontal geodetic datums*, *Canadian. Surveyor*, 28, 531-538.

ABSTRACT

The new geodetic reference system R.G.F.93 which takes place in France, uses the GRS80 ellipsoid. All distances and angular terrestrial measurements made during survey operations are under the influence of the Earth gravity field and therefore undergo the effect of the deviation of the vertical. A comparison of these deviations is made for the new and the former french reference system. Then, an attempt is made to estimate the corrections that should be applied to reduce the observations to the GRS80 ellipsoid. Finally it appears that these alterations cannot be neglected for high precision topographic surveying executed in the R.G.F.93 reference system, particularly in the regions of important deviations of the vertical.