

Conversion dans le système altimétrique IGN69 de la base de données topographiques de la Ville de Nice

■ Ludovic ANDRES

L'intérêt de disposer de levés topographiques rattachés au système altimétrique IGN 69 en vigueur en France est présenté après un court récapitulatif des différents systèmes altimétriques ayant eu cours dans ce pays. Une méthodologie de conversion en IGN69 (basée sur une interpolation par la méthode de Delauney) d'un très important volume de données topographiques numériques conservées dans un ancien système altimétrique, le système Lallemand, est proposée. Cette technique vise à préserver au maximum la précision des données. Elle peut être aisément transposable à d'autres bases de données topographiques et doit inciter ce type de migration dans le système altimétrique en vigueur.

La base de données topographiques de la Ville de Nice à la précision du 1/200e comporte en 2002 plus de 1 100 000 points de semis et 12 300 stations levés en x, y et z sur environ 65% du corps de rue des 7200 hectares de la commune. La figure 1 illustre la couverture de la base de données topographiques sur le territoire de la commune.

Les altitudes associées à ces points sont dans un système altimétrique établi par l'IGN (Institut Géographique National) aujourd'hui caduque et doivent être converties dans le système IGN69 (*Levallois J.J. et Maillard J., 1970*) actuellement en vigueur en France. Ce document énonce rapidement les différents types d'altitudes ayant existé en France ainsi que les raisons justifiant le passage dans le nouveau système altimétrique. Ensuite la méthode employée pour la conversion ainsi que sa mise en œuvre pratique sur la base de données numériques sont présentées.

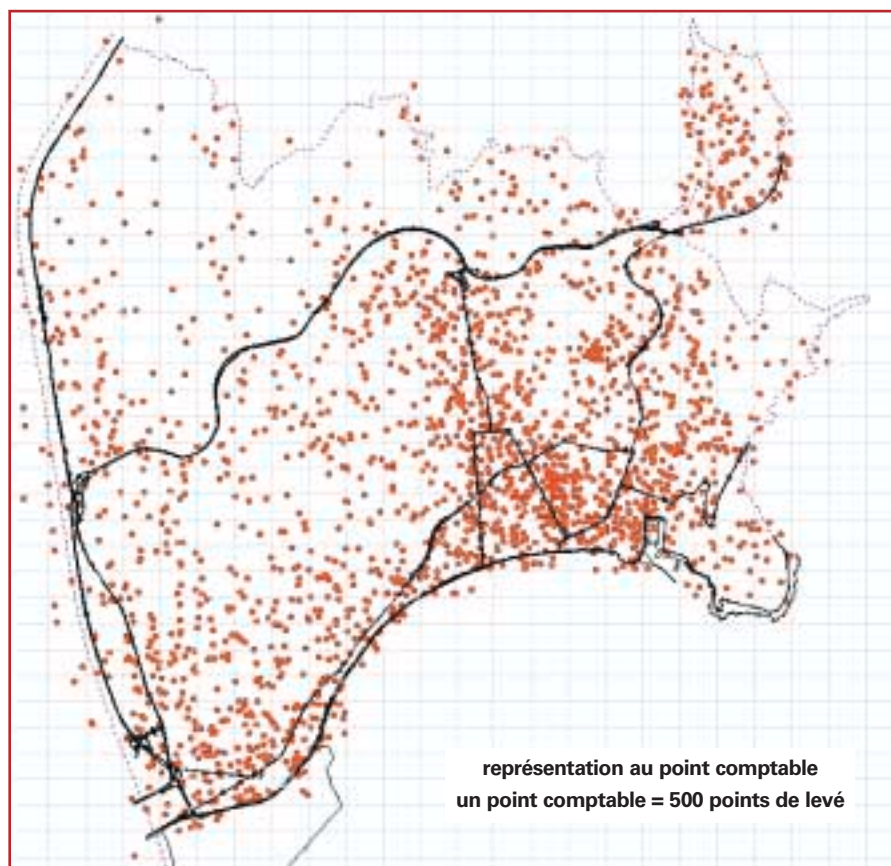


Figure 1 : distribution spatiale des points de semis de la base de données topographiques de la Ville de Nice

Les réseaux de nivellement créés en France

En France, depuis 1857, trois réseaux de nivellement de la France ont eu cours : celui de M Bourdaloue, à partir de 1857, celui de M Lallemant, à partir de 1884, appelé le NGF (Nivellement Général de la France), et enfin celui qui l'a remplacé en 1969, le nivellement IGN69 (**Kasser, 1984**).

Seul les deux derniers tiennent compte de la pesanteur mais pas de la même manière (**J-M Noquet et al., 2000**) : alors qu'une valeur théorique de pesanteur est prise en compte dans le réseau Lallemant, ce sont des mesures de pesanteur sur le terrain qui ont été effectuées pour le réseau IGN69.

Celui de M. Lallemant est constitué d'altitudes orthométriques alors que les altitudes IGN69 sont des altitudes normales.

Les tables 1 et 2 (**Paul Bonnetain, 1996**) donnent quelques caractéristiques de ces réseaux Lallemant et IGN69.

Sur la commune de Nice, les différences entre les altitudes NGF-Lallemant (orthométriques) et les altitudes NGF-IGN69 (normales) s'échelonnent de 2 à 8 cm environ selon les lieux.

Dans le nord de la France cet écart peut être de l'ordre de 60 cm ou plus, rendant plus aisée la mise en évidence de systèmes d'altitudes différents lorsque l'on utilise plusieurs plans provenant de différentes sources.

Historique à la Ville de Nice

En 1922, la Ville de Nice met en place un canevas local, nommé Triangulation Danger, du nom de l'Ingénieur Géomètre ayant dirigé les travaux. Ce canevas est uniquement planimétrique : l'altimétrie n'est introduite qu'au début des années 50. Elle est basée sur le système alors en vigueur, le NGF Lallemant. Une grande quantité de levés topographiques est ensuite réalisée jusqu'à l'apparition du Système IGN69. Au début des années 70, la planimétrie est manuellement transformée dans le système NTF (Nouvelle Triangulation de la France), mais il a été décidé de continuer à travailler dans le système Lallemant car les mailles de 2^e, 3^e et 4^e ordre n'étaient pas encore achevées.

Dans les années 80, l'informatisation des méthodes de dessin a permis de mettre en place une base de donnée graphique de plans topographiques. De nombreux plans ont donc été numérisés sur un applicatif de Topographie fonctionnant sur un système central IBM. Seuls les plans considérés comme les plus anciens ou n'étant plus à jour n'ont pas été saisis. A cette époque il aurait été judicieux de migrer dans le système IGN69, puisque la base informatique était naissante, et le nouveau canevas altimétrique de l'IGN (Institut Géographique National) quasiment achevé. Cette problématique a proba-

blement été occultée par les nombreuses difficultés rencontrées et tous les efforts liés à cette informatisation du plan.

La conversion en IGN69

Aujourd'hui, plusieurs points rendent nécessaire la mise en œuvre du réseau de nivellement IGN69 :

- La référence nationale en terme de nivellement est depuis 1969 l'IGN69 : il est temps de l'appliquer, notamment dans un contexte d'intercommunalité, où la Ville de Nice se doit de se comporter comme un élément moteur.

- L'IGN ne fournit plus aucun repère de nivellement dans le système NGF Lallemant, mais uniquement en IGN69.

- Le décret n°2000-1276 du 26 décembre 2000 portant application de l'article 89 de la loi n° 95-115 du 4 février 1995 définit comme système national de référence le système RGF93 et sa projection associée le Lambert93 ainsi que le système altimétrique IGN69 (déjà en vigueur).

- Le système mondial de positionnement par satellite GPS, permet d'obtenir simplement une grande précision de positionnement lorsqu'il est notamment mis en œuvre dans le système RGF93. Les GPS ne mesurent pas des altitudes mais des hauteurs ellipsoïdales dont la conversion en altitudes peut être assurée à l'aide de grilles de conversion. Le modèle RAF98 (Duquenne, ESGT) est la grille de conversion recommandée par le CNIG (Conseil National de l'Information Géographique) qui permet d'obtenir des altitudes IGN69 à partir de mesures GPS de hauteurs ellipsoïdales.

- Les outils informatiques graphiques et la puissance des ordinateurs actuels permettent de traiter rapidement de grandes quantités de données une fois le modèle de transformation réalisé.

■ Méthodologie générale

La ville de Nice dispose d'un répertoire de repères de nivellement (RN) acquis auprès de l'IGN dans les années 60, dont les altitudes sont exprimées dans ■■■

Nom du réseau	Longueur (km)	Date de réalisation	Précision (écart type)
Lallemant	11723	1884-1892	2,6 mm/km
IGN69	13754	1962-1969	2 mm/km

Table 1 : Les deux derniers réseaux de nivellement de 1^{er} ordre qui se sont succédés en métropole

Nom du réseau	Nom du ZERO	Origine
Lallemant	Zéro Lallemant dit Zéro normal	Niveau moyen de la mer au Marégraphe de Marseille entre 1885 et 1897. Le zéro correspond à la cote 0,329 m de l'échelle de marée du fort Saint-Jean
IGN69	Zéro normal conservé	

Table 2 : Le ZERO ORIGINE des différents réseaux

- le système NGF Lallemand. Les altitudes de ces repères ont été calculées par l'IGN en valeurs IGN69, de sorte que l'on dispose pour un même repère d'un couple de valeurs altitude normale / altitude orthométrique, tel qu'illustré sur les figures 2 et 3.

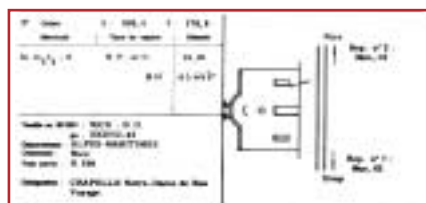


Figure 2 : fiche IGN (système NGF-Lallemand) d'un repère de nivellement



Figure 3 : fiche IGN (système NGF-IGN69) d'un repère de nivellement

On a pour chaque repère de nivellement la différence:

$$\Delta_{\text{OrthoNormal}} = Z_{\text{normal}} - Z_{\text{Orthométrique}}$$

Après analyse de ces écarts sur la commune (le long des mailles de 1^{er}, 2^e et 3^e ordre), il apparaît qu'aucune formule simple ne peut être appliquée pour les modéliser : en effet le long d'une même maille, à des altitudes quasi identiques, certaines disparités apparaissent parfois, et les comportements Est/Ouest, Nord/Sud sont difficilement interprétables, mais traduisent l'intégration par l'IGN de mesures gravimétriques dans l'établissement des altitudes normales. Ces $\Delta_{\text{OrthoNormal}}$ varient globalement de 3 à 8 cm, mais bien que la variation maximale entre deux repères voisins atteigne 2.8cm à 2 reprises seulement, elle reste inférieure à 0.5 cm dans 75% des cas. La figure 6 illustre la bonne répartition géographique des repères de nivellement sur le territoire de la commune. La distance moyenne entre un point de levé et son RN le plus proche est de 700 m, la distance maximale de 2200 m environ (figure 4).

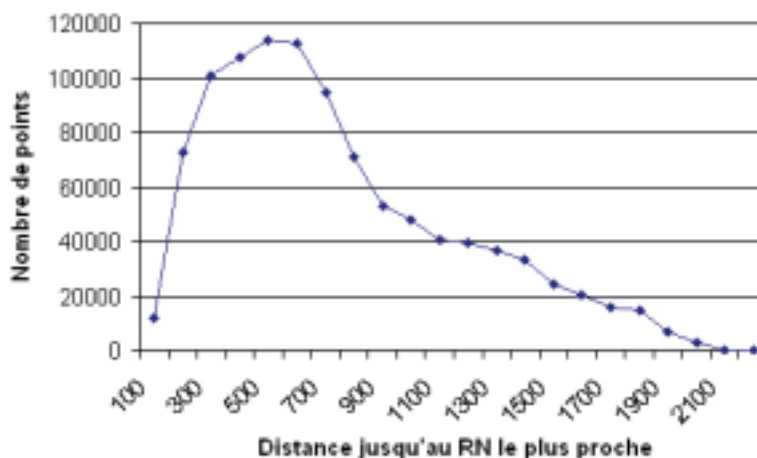


Figure 4 : répartition des points de la Bd Topo en fonction de leur éloignement à un Repère de Nivellement

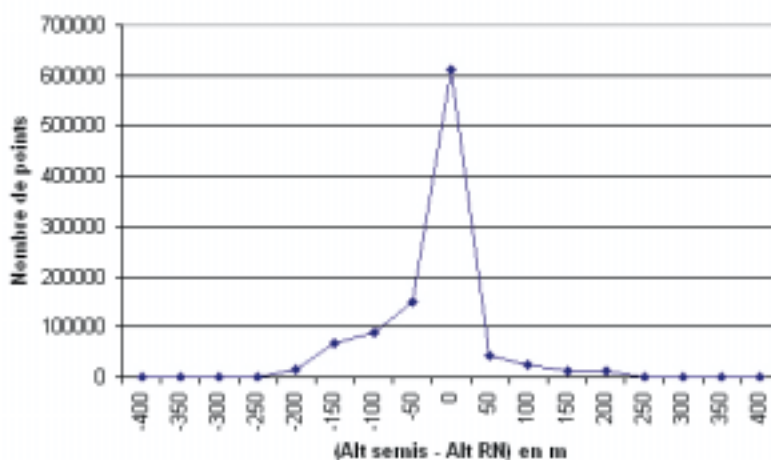


Figure 5 : différences d'altitudes entre les points de levé et un Repère de Nivellement le plus proche

Ainsi malgré le nombre relativement limité de repères de nivellement, les distances entre repères voisins restent faibles. On remarque également (figure 5) que l'écart maximal entre l'altitude d'un point de levé et l'altitude de son repère de nivellement le plus proche est de seulement 250 m. Compte tenu de ces facteurs, une interpolation spatiale des $\Delta_{\text{OrthoNormal}}$ dans le but d'affecter les écarts interpolés aux points topographiques (points de semis et stations) de la commune paraît appropriée. Pour chaque point topographique M(x, y, z) on appliquera donc la formule suivante :

$$Z_{\text{Normal}} = Z_{\text{Ortho}} + \Delta_{\text{OrthoNormal}}^{\text{Interpolé}}$$

Les repères de nivellement n'étant pas répartis de manière uniforme, il n'est pas possible d'utiliser un interpolateur simple (type interpolation bilinéaire).

Quatre méthodes d'interpolation ont été testées en collaboration avec l'ESGT (Ecole Supérieure de Géomètres Topographes) à l'aide du logiciel Surfer de la société Golden Software : voisin naturel (Sibson, 1981, Watson 1984), triangulation de Delauney (Lee et Schachter, 1980), krigage (Cressie, 1991) et spline bicubique (Draper et Smith, 1981). Une interpolation de nos $\Delta_{\text{OrthoNormal}}$ a été effectuée sur une grille de 10 m par 10 m, puis on a effectué la différence entre les grilles obtenues.

On s'aperçoit (table 3) que ces quatre techniques d'interpolation donnent des résultats comparables et que les différences obtenues demeurent majoritairement largement inférieures à la précision altimétrique de notre base de données topographiques (estimée de 2 à 5 cm selon la nature des points).

Résultats en mm	Delauney - Sp bicubique	Delauney - Voisins nat.	Delauney - Krigeage	Voisins nat. - Sp bicubique	Voisins nat. - Krigeage	Sp bicubique - Krigeage
Moyenne	-0.7	-0.2	0.1	-0.5	0.01	-0.01
Ecart type	3	1	1	2	1	3
Max	+8	5	7	8	6	17
Min	-18	-9	-13	-17	-5	-8
%des écarts < à 4 mm	91 %	98 %	95 %	90 %	98 %	91 %

Table 3 : différences entre des interpolations par les méthodes de Delauney, spline bicubique, voisins naturels et krigeage.

Aussi, nous avons choisi la méthode d'interpolation basée sur la triangulation de Delauney, communément utilisée, notamment dans la création de MNT (modèles numériques de terrains). Le fait que cette méthode n'assure pas une continuité de la dérivée première sur les frontières entre les facettes issues de la triangulation a ici une incidence très négligeable car les variations entre les $\Delta_{\text{OrthoNormal}}$ voisins sont très faibles.

■ Mise en œuvre détaillée de la conversion

Chaque étape nécessaire à la conversion a été étudiée et est présentée ci dessous.

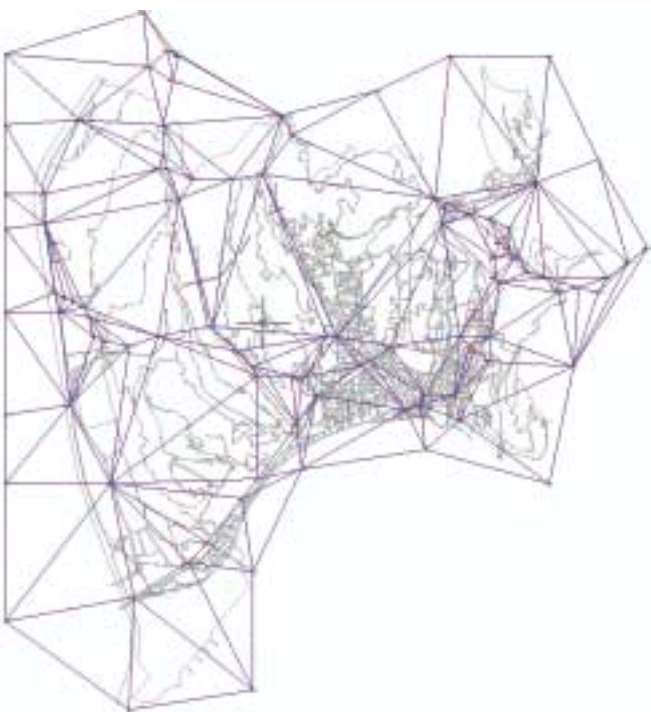


Figure 6 : résultat de la triangulation sur les repères de nivellement de l'IGN

Triangulation et export des coordonnées des facettes

Un fichier alphanumérique répertoriant les repères de nivellement IGN avec leurs écarts $\Delta_{\text{OrthoNormal}}$ et leur localisation géographique a été créé. Ce fichier a permis de générer (figure 6) avec le logiciel de topographie Covadis de la société Géomédia une triangulation par la méthode de Delauney (figure 6).

Recherche de la facette correspondant au point de semis considéré

Afin d'interpoler les écarts à l'intérieur d'une facette pour un point de levé quelconque, il faut préalablement identifier la facette qui contient ce point. Pour cela on procède de la façon suivante :

soit $M(x, y)$ le point de semis considéré et $A(x_A, y_A)$, $B(x_B, y_B)$, $C(x_C, y_C)$ les projections orthogonales sur le plan xy des trois points définissant une facette. Le point $M(x, y)$ est à l'intérieur du triangle ABC si et seulement si la somme des angles géométrique (aigus) \widehat{AMB} , \widehat{BMC} et \widehat{CMA} est égale à 2π . Le point est à l'extérieur si et seulement si cette somme est strictement inférieure à 2π .

Détermination de l'angle \widehat{AMB} :

C'est l'angle entre les vecteurs \vec{MA} et \vec{MB} . En notation complexe, on peut écrire :

$$\vec{MA} = x_{\vec{MA}} + iy_{\vec{MA}} = \|\vec{MA}\| e^{i\theta_{\vec{MA}}}$$

$$\text{avec } \theta_{\vec{MA}} = \text{Arc tan} \left(\frac{y_{\vec{MA}}}{x_{\vec{MA}}} \right) + k\pi$$

où $k=0$ si $x \geq 0$, $k=1$ si $x < 0$

et varie entre $-\pi/2$ et $3\pi/2$

On a de même

$$\text{avec } \theta_{\vec{MB}} = \text{Arc tan} \left(\frac{y_{\vec{MB}}}{x_{\vec{MB}}} \right) + k\pi$$

où $k=0$ si $x \geq 0$, $k=1$ si $x < 0$

et varie entre $-\pi/2$ et $3\pi/2$

L'angle \widehat{AMB} est donc égal à $(\theta_{\vec{MB}} - \theta_{\vec{MA}})$ et peut varier entre -2π et $+2\pi$

On cherche un angle \widehat{AMB} aigu, et compris entre 0 et π . On ramène donc d'abord l'angle \widehat{AMB} trouvé à un angle compris entre 0 et 2π , et on prendra ensuite son complémentaire s'il est supérieur à π .

De la même manière, on peut calculer les angles aigus \widehat{BMC} et \widehat{CMA} et in fine la somme des trois angles \widehat{AMB} , \widehat{BMC} et \widehat{CMA} pour déterminer si le point M est à l'intérieur de la facette ABC.

En réitérant ce calcul sur toutes les facettes, on trouvera la facette correspondant à notre point de semis considéré.

Calcul de la valeur z du point de la facette correspondant à notre point de semis.

Une fois la facette identifiée, il convient maintenant d'interpoler notre écart. Cette facette s'appuie sur trois valeurs d'écarts correspondants à trois repères de nivellement. Elle définit donc un plan de l'espace XYZ représentant une interpolation de ces trois écarts.

La facette est définie par ses trois points $A(x_A, y_A, z_A)$, $B(x_B, y_B, z_B)$, $C(x_C, y_C, z_C)$ et nous devons calculer la valeur z sur notre facette aux coordonnées x, y de notre point de semis. D'une façon plus générale, il s'agit de calculer la valeur z d'un point appartenant à un plan de l'espace, connaissant les coordonnées x et y de ce point.

Un plan de l'espace peut être défini par un point et deux vecteurs. En ce qui nous concerne, nous disposons de 3 points ■■■

■ ■ ■ distincts et non alignés. Notre plan P peut donc être défini par $(A, \overrightarrow{AB}, \overrightarrow{AC})$

Un point $M(x, y, z)$ est élément de P si M vérifie $\overrightarrow{AM} = k \overrightarrow{AB} + k' \overrightarrow{AC}$ avec k et k' réels.

On peut écrire les trois équations suivantes :

$$(a) \quad x - x_A = k(x_B - x_A) + k'(x_C - x_A)$$

$$(b) \quad y - y_A = k(y_B - y_A) + k'(y_C - y_A)$$

$$(c) \quad z - z_A = k(z_B - z_A) + k'(z_C - z_A)$$

et en déduire la valeur de z :

Si $x_B \neq x_A$

$$z = f(x, y) = \frac{(z_B - z_A)(x - x_A)}{(x_B - x_A)}$$

$$+ k' \left[(z_C - z_A) - \frac{(z_B - z_A)(x_C - x_A)}{(x_B - x_A)} \right] + z_A$$

avec

$$k' = \frac{(y - y_A)(x_B - x_A) - (x - x_A)(y_B - y_A)}{(y_C - y_A)(x_B - x_A) - (x_C - x_A)(y_B - y_A)}$$

Si $x_B = x_A$

$$z = (z_B - z_A) \frac{(y - y_A) - (x - x_A)(y_C - y_A)/(x_C - x_A)}{(y_B - y_A)}$$

$$+ (z_C - z_A) \frac{(x - x_A)}{(x_C - x_A)} + z_A$$

Ainsi, pour chaque point de semis ou station de la base de données, on aura la correction $\Delta_{\text{OrthoNormal_INTERPOLE}}$ égale à la valeur z renvoyée par les équations ci-dessus.

La mise en œuvre de ces calculs (recherche de la facette et calcul de l'écart à appliquer au point x,y) est assurée par un programme développé en Visual Basic sous Autocad traitant l'ensemble de la base de données topographiques (volume au format DWG2000 de 740 Mo de données) en quatre heures environ sur un ordinateur de type Pentium III Xéon 800Mhz avec 512Mo de Ram et toutes les données en local sur le poste.

Procédures de contrôle

Différents contrôles sont intervenus à différents niveaux de la chaîne de traitement afin d'assurer une qualité optimale sur la transformation réalisée.

- Dans un premier temps l'examen des écarts sur chaque repère de nivellement a permis d'éliminer après vérification auprès de l'IGN, ceux pour lesquels les altitudes normales et orthométriques ne semblaient plus en concordance : un écart trop important traduisant un mouvement probable du repère entre l'observation ancienne (orthométrique) et la détermination plus récente (normale).

- un deuxième contrôle a consisté à comparer les écarts de repères voisins pour déterminer si ces valeurs étaient compatibles avec la distance les séparant. Pour cela on a raisonné directement sur les facettes résultant de la triangulation de Delauney, la pente maximale sur une facette traduisant ce phénomène. Il s'agit de trouver la plus grande pente d'un plan P de l'espace (ou d'une facette) défini par trois points. On a vu précédemment que l'équation de P est $z=f(x,y)$

le gradient de cette fonction est

$$\overrightarrow{\text{grad } f} = \frac{\partial f(x, y)}{\partial x} \vec{x} + \frac{\partial f(x, y)}{\partial y} \vec{y}$$

Dans le cas $x_B \neq x_A$ en posant

$$\alpha = \left[(z_C - z_A) - \frac{(z_B - z_A)(x_C - x_A)}{(x_B - x_A)} \right] \text{ on trouve :}$$

$$\overrightarrow{\text{grad } f} = \frac{z_B - z_A - \alpha \frac{y_B - y_A}{(y_C - y_A)(x_B - x_A) - (x_C - x_A)(y_B - y_A)}}{x_B - x_A} \vec{x} + \frac{\alpha}{(y_C - y_A)(x_B - x_A) - (x_C - x_A)(y_B - y_A)} \vec{y}$$

et dans le cas où $x_B = x_A$ on trouve

$$\overrightarrow{\text{grad } f} = \frac{z_C - z_A - \frac{(y_C - y_A)(z_B - z_A)}{(x_C - x_A)(y_B - y_A)}}{\frac{(z_B - z_A)}{(y_B - y_A)}} \vec{y}$$

Les composantes $(\overrightarrow{\text{grad } f})_x$ et $(\overrightarrow{\text{grad } f})_y$ sont des constantes, puisqu'il s'agit d'une surface plane.

De la définition même du gradient d'une fonction, on peut écrire $dz = \overrightarrow{\text{grad } f} \cdot d\vec{M}$ où $d\vec{M}$ représente un vecteur déplacement en x, y

Avec $d\vec{M}$ un vecteur unitaire du plan xy tel que $d\vec{M} = \cos\theta \vec{x} + \sin\theta \vec{y}$

on obtient

$$d_z = (\overrightarrow{\text{grad } f})_x \cos\theta + (\overrightarrow{\text{grad } f})_y \sin\theta$$

La valeur d_z la plus grande s'obtiendra donc dans les directions de θ telle que

$$\frac{d(d_z)}{d\theta} = 0$$

et on trouve la pente maximale égale à

$$\pm \left\{ (\overrightarrow{\text{grad } f})_x \cos(\text{Arc tan} \left[\frac{(\overrightarrow{\text{grad } f})_y}{(\overrightarrow{\text{grad } f})_x} \right]) + (\overrightarrow{\text{grad } f})_y \sin(\text{Arc tan} \left[\frac{(\overrightarrow{\text{grad } f})_y}{(\overrightarrow{\text{grad } f})_x} \right]) \right\}$$

Pour chacune des facettes ce calcul a mis en évidence celles présentant une pente trop importante et a permis de retirer trois nouveaux repères de nivellements.

- enfin, l'examen manuel du résultat de la conversion sur de nombreux points de semis et stations choisis aléatoirement dans la base de données a permis de contrôler le bon fonctionnement du programme de conversion et de valider la cohérence des résultats obtenus.

Après une large campagne d'information auprès des utilisateurs de ces données (internes et externes à la Mairie de Nice) sur ce changement de système altimétrique, la base a été mise en service. Aucun problème n'a depuis été rencontré et seules les altitudes normales sont enfin utilisées. Cette transformation, nous a permis de conserver un capital de données important sans dégradation significative de sa qualité. Elle nous ouvre de nouvelles perspectives en terme de précision et de productivité par la mise en œuvre de méthodes de travail modernes comme les techniques GPS appliquées au nivellement.

Conclusion

Après une large campagne d'information auprès des utilisateurs de ces données (internes et externes à la Mairie de Nice) sur ce changement de système altimétrique, la base a été mise en service. Aucun problème n'a depuis été rencontré et seules les altitudes normales sont enfin utilisées. Cette transformation, nous a permis de conserver un capital de données important sans dégradation significative de sa qualité. Elle nous ouvre de nouvelles perspectives en terme de précision et de productivité par la mise en œuvre de méthodes de travail modernes comme les techniques GPS appliquées au nivellement.

Peu de témoignages sur ce type d'expériences existent en France. Aussi la conversion réalisée ici doit inciter les gestionnaires de bases de données topographiques demeurés dans des systèmes altimétriques anciens tels des collectivités territoriales, des services de l'Etat, des opérateurs de réseaux, ou des cabinets de géomètres à migrer dans le système IGN69 en vigueur. ●

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

Bernard Laugier :
bernard.laugier@ville-nice.fr

Denis Delerba :
denis.delerba@ville-nice.fr

Remerciements

Je tiens à remercier tout particulièrement M. Henri Duquenne (ESGT) pour l'attention continue qu'il a porté à ce travail et les conseils et critiques qu'il m'a promulgué. Un grand merci également à mon collègue et ami Bernard Laugier ainsi qu'à son équipe pour la qualité de l'important travail réalisé sur ce projet, et leur motivation permanente. Enfin je remercie M. Paul Bonnetain (IGN/SGN) qui a fait preuve d'une grande disponibilité et m'a communiqué d'importantes informa-

tions techniques ainsi que M. Michel Kasser (IGN) pour son soutien personnel.

Références

BONNETAIN, P., 1996, *Le Réseau de Nivellement*, Publication IGN Echanger - Zoom n°15

CRESSIE, N. A. C., 1991, *Statistics for Spatial Data*, John Wiley and Sons, Inc., New York, 900 pp.

DRAPER, N., AND SMITH, H., 1981, *Applied Regression Analysis*, second edition, Wiley-Interscience, 709 pp.

DUQUENNE H., 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.

IGN, 1993, *Spécifications du Réseau Français de Nivellement de Précision*, Document IGN - Annexe 2 - version 2.1

KASSER, M., 1984, *Le Nivellement Général de France - Evolution d'un grand réseau de repères d'altitudes*, Géomètre n°12

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

MAILLARD, J., 1973, *Note sur le nouveau système des altitudes Françaises IGN1969*, Géomètre

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

LEE, D. T., AND SCHACHTER, B. J., 1980, *Two Algorithms for Constructing a Delaunay Triangulation*, International Journal of Computer and Information Sciences, v. 9, n. 3, p. 219-242

SIBSON, R., 1981, *A Brief Description of Natural Neighbor Interpolation, Interpreting Multivariate Data*, V. Barnett editor, John Wiley and Sons, New York, p. 21-36.

WATSON, D., 1994, *Nngridr - An Implementation of Natural Neighbor Interpolation*, David Watson, P.O. Box 734, Claremont, WA 6010, Australia.

ABSTRACT

After a quick presentation of the different altimetric systems which have taken place in France, the use of the up to date IGN69 one is preconised. A methodology designed to preserve the data precision and involving the use of the Delauney interpolation technique is proposed to convert a large land survey database from the former Lallemand altimetric system to the IGN69 system. Finally, extensive use of such processing strategies is encouraged in order to support the IGN69 system since this conversion process can easily be adapted to other land survey datasets.