

## Transformation dans le Système R.G.F 93 de la base de données géographiques de la Ville de Nice

■ Ludovic ANDRES

*L'intérêt de travailler dans le nouveau système de référence R.G.F.93 en vigueur en France est exposé à travers l'expérience de migration des données géographiques de la Ville de Nice : l'utilisation d'une méthode classique de changement de système de coordonnées de l'ensemble de la base de données géographiques rattachée au système planimétrique N.T.F. est présentée. Cette technique permet de préserver au maximum la précision des données, et peut être mise en œuvre simplement à l'aide de logiciels existants. Cette expérience peut être transposée à d'autres bases de données géographiques et doit inciter à migrer dans le système de référence en vigueur.*

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 depuis le 26 décembre 2000 le R.G.F.93 et sa projection associée le Lambert 93 comme le nouveau système de référence en vigueur. Ce système venait en remplacement de la Nouvelle Triangulation de la France - N.T.F. (Levallois, 1988) dont la faible précision de l'ordre de 1 cm/km, et des problèmes d'échelle locaux rendaient inadapté aux exigences actuelles en terme de levés topographiques et génèrent également des difficultés liées à l'entretien du canevas (Kasser, 2001). Le nouveau référentiel R.G.F.93 remédie à ces problèmes en offrant une précision accrue de l'ordre du centimètre sur l'ensemble du pays. Il permet d'autre part de travailler de manière beaucoup plus simple et précise avec le système de positionnement par satellites GPS - Global Positioning system (Botton et al., 1997). De très nombreux articles ont expliqué en détail tous les avantages liés à ce nouveau référentiel, et l'on peut également obtenir simplement des informations à ce sujet sur les sites internet de l'Institut Géographique National - IGN (<http://www.ign.fr>) ou du Conseil National de l'Information Géographique - C.N.I.G. (<http://www.cnig.fr>).

### Le choix du R.G.F.93

En ce qui concerne la Ville de Nice (VdN), différentes raisons ont conduit à adopter le système R.G.F.93.

### ■ Utilisation du système GPS

L'acquisition et la mise en œuvre de récepteurs GPS a mis en évidence une difficulté liée à son utilisation dans le cadre du système N.T.F. ou de sa densification locale : en effet, ce système de positionnement permet d'obtenir aisément une précision de l'ordre du centimètre quel que soit le lieu dès lors que l'on travaille dans un référentiel précis et homogène. L'établissement d'un canevas à l'aide de cette technologie peut donc conduire à un réseau comportant de faibles déformations. A contrario, la N.T.F. présente des déformations plus importantes et non homogènes. Convertir des coordonnées obtenues par GPS dans la N.T.F. engendre donc une dégradation de la précision initiale des données. Les déformations de la N.T.F. étant importantes au niveau national, et non négligeables localement, il convient de les modéliser et d'en tenir compte dans le processus de transformation de coordonnées afin d'insérer le point mesuré au mieux dans le réseau déformé de la N.T.F. Une grille de conversion (GR3DF97A, 1997) modélisant ces déformations a été élaborée par l'IGN et est disponible gratuitement sur son site internet. Cette grille permet d'insérer les données dans la N.T.F. avec une erreur variant globalement entre 0 et 10 cm : elle convient donc a priori pour transformer toutes les données de petite et moyenne échelle, mais n'est pas adaptée pour les données à très grande échelle que sont les données topographiques et le canevas densifié de précision centimétrique. Cela nous imposait donc d'effectuer des mesures GPS complémentaires afin de modéliser la géométrie locale de notre canevas topographique dans le but de la prendre en compte dans le processus de transformation de coordonnées. Cette étape supplémentaire constituait d'une part une surcharge de travail et d'autre part conduisait malgré tout, in fine, à une dégradation de la précision initiale des données. Cette solution n'était donc pas satisfaisante et génère un sentiment de frustration chez nos géomètres, attachés à effectuer de la belle ouvrage.

### ■ Maintenance et amélioration de la qualité du canevas

Le canevas topographique de la Ville de Nice présente à l'échelle de la commune des erreurs comprises entre 0 et 10 cm environ. Ces erreurs peuvent parfois générer des compensations importantes au regard des distances considérées. Il a donc été décidé d'exploiter au mieux les technologies à notre disposition et de modifier nos méthodes de tra-

vail afin d'améliorer progressivement la qualité de notre canevas. De plus le développement de notre canevas conduit parfois à des travaux de polygonation importants et immobilisants. Tous cela nous a conduit à favoriser l'utilisation du système GPS et à opter pour un référentiel géodésique plus précis.

### ■ Utilisation du R.G.F.93 et du R.G.P.

L'Institut Géographique National ne maintient plus le réseau N.T.F. qu'il a remplacé (**Kasser, 2001**) par le Réseau de Base Français - R.B.F. (1023 sites) formant l'accès opérationnel au R.G.F.93 (23 sites). Les bornes détruites de l'ancien référentiel ne sont donc plus remplacées. En sus du R.B.F., un Réseau de GPS Permanents (R.G.P.) a été développé par l'I.G.N et différents partenaires (Collectivités Territoriales, Universités, CNRS, etc...). Il couvre l'ensemble du territoire français et permet un accès aisé et précis au référentiel national R.G.F.93. Les travaux de canevas par GPS s'en trouvent donc simplifiés et de qualité accrue.

### ■ Travaux topographiques de précision

D'importants projets d'infrastructure ont été lancés par la Ville de Nice tels la construction d'une ligne de tramway traversant la commune, ou le prolongement d'une autoroute urbaine. Ces énormes chantiers sont soumis à des contraintes importantes en terme de précision des travaux topographiques afférents. L'exploitation du système G.P.S dans le R.G.F.93 permettait de répondre aux spécifications techniques liées à la topographie, de bâtir une ossature de canevas et d'intégrer toutes les données actuelles et futures dans la base de données topographique de la commune. Travailler dans l'ancien système N.T.F. n'aurait aucunement permis d'atteindre simultanément ces objectifs. Les importants investissements réalisés en terme de topographie et liés à ces chantiers s'en trouvent ainsi capitalisés et les résultats obtenus pourront être facilement exploités pour des études ou travaux ultérieurs.

### ■ Respect de la Loi

En tant qu'acteur local important, la Ville de Nice doit s'intégrer au cadre légal dans le véritable esprit de la loi, qui est de s'appuyer sur le R.G.F.93 et d'abandonner la N.T.F.

De ce fait, en montrant l'exemple, et à travers les nombreux échanges de données qu'elle réalise avec ses différents partenaires, la Ville de Nice contribue à faire adopter ce nouveau référentiel. Elle participe ainsi à l'effort national concernant la gestion cohérente et homogène des informations géographiques sur l'ensemble du territoire.

## Contexte et Historique

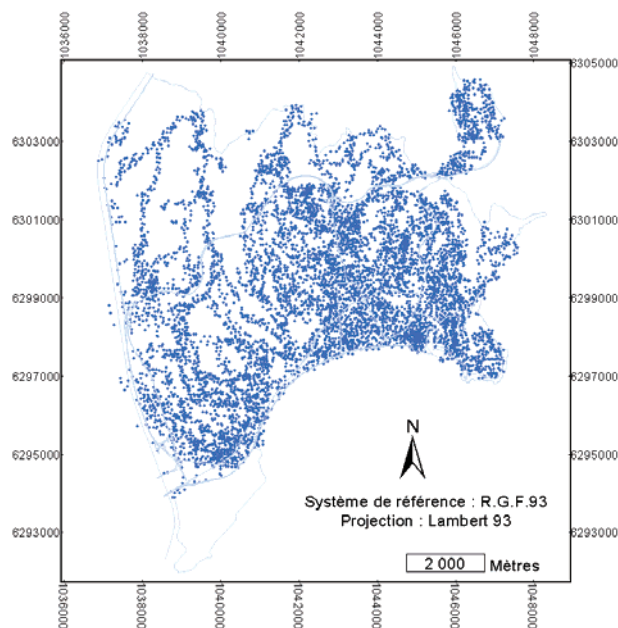
Avant de présenter la méthodologie utilisée pour réaliser la conversion dans le système R.G.F.93, il est nécessaire de présenter un bref historique ainsi que le contexte dans lequel s'opère cette transformation.

### ■ La topographie

La Ville de Nice dispose d'une base de données topographique dont l'élaboration a débuté dans les années 1920. Il s'agissait à l'époque de plans topographiques relevés dans un système local, nommé « Système Ville de Nice » et dont la triangulation initiale de 122 sommets avait été conduite par Monsieur Danger, ingénieur géomètre. Il est important de souligner que dès la création du service il avait été jugé nécessaire de rattacher tous les travaux à un même système de référence planimétrique afin d'assurer un continuum géographique des données : le but recherché était d'en faciliter la gestion (création, mise à jour, édition de plans), et de permettre de mieux coordonner les alignements de voirie sur l'ensemble de la commune. Le dessin s'effectuait sur des feuilles Invar de format A0.

Avec la mise en place de la N.T.F. et la parution le 2 Juin 1948 du décret interministériel rendant son application obligatoire, le Système Ville de Nice devenait obsolète. Aussi, au début des années 70 tous les plans ont été transformés manuellement dans le système N.T.F. L'objectif recherché était non seulement de travailler dans un cadre légal, mais également de faciliter les échanges de données avec les différents partenaires de la Ville de Nice (cabinets de géomètres, services de l'Etat, secteur privé, etc...). Tous les nouveaux levés étaient donc réalisés directement dans la N.T.F. En réalité, il avait été procédé à une densification locale de la N.T.F., densification qui s'est étoffée au fur et à mesure des nombreux travaux topographiques.

Les évolutions technologiques ont affecté naturellement les méthodes de levé, mais également celles liées aux calculs topographiques et aux dessins des plans : dès le début des ■■■



**Figure 1 : répartition géographique des relevés topographiques sur la commune de Nice**

■ ■ ■ années 80, des ressources informatiques ont été attribuées et ont permis de mettre en place une base de données graphique de plans topographiques. Environ 50 % des plans anciens jugés encore d'actualité ont été numérisés tandis que tous les nouveaux levés étaient directement saisis sur le logiciel de dessins qui fonctionnait alors sur un système central IBM. Aujourd'hui, la base de données topographique de la Ville de Nice s'étend sur plus de 80 % du corps de rue de la commune. Elle comporte 1 300 000 points de semis et 13500 stations. La Figure 1 illustre la répartition géographique des relevés topographiques sur la commune de Nice.

Tous les points de la base de donnée sont renseignés d'une altitude provenant d'un réseau de nivellement propre à la Ville de Nice, et qui constitue une densification de celui de l'IGN : à ce propos, une conversion dans le système NGF - IGN69 (Levallois et Maillard, 1970) à partir du système NGF - Lallemand a eu lieu en 2002 (Andres, 2002) afin de travailler dans le système altimétrique en vigueur. La gestion entièrement numérique des données s'effectue sous le logiciel Autodesk Map 5 en assurant un continuum géographique.

## ■ Les autres données du Système d'Information Géographique

Les données topographiques, ne forment qu'une partie du Système d'Information Géographique de la Ville de Nice (SIGN). Ce dernier comprend également de très nombreuses autres informations dont l'acquisition et l'exploitation numérique a débuté au début des années 1990. Aujourd'hui une importante base de données regroupant plus 300 couches correspondant à plus de 30 secteurs d'activité différents est en service. La table 1 présente les principales couches d'information formant le SIGN.

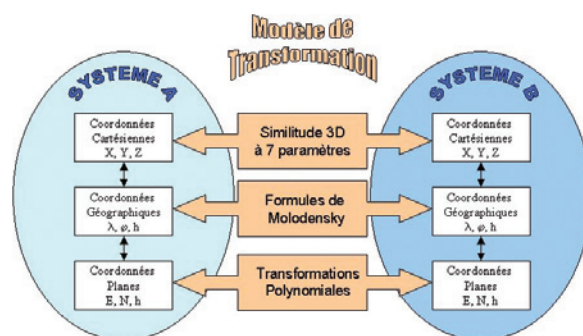
Le fait que la base géographique représente un volume très important (environ 60 Go), réparti en de très nombreuses couches gérées dans différents formats correspondant à plusieurs logiciels, génère des difficultés qu'il faudra appréhender lors du changement de système de coordonnées. De plus, son exploitation de manière continue et intensive aussi bien en consultation qu'en mise à jour ne saurait tolérer une interruption de service durable.

Le processus de transformation de la base de données peut se décliner en deux étapes principales :

- il s'agit en premier lieu de déterminer la méthode de transformation de coordonnées ainsi que ses paramètres associés
- en second lieu il conviendra d'appliquer la transformation sur l'ensemble des couches constituant le SIGN à l'aide de différents logiciels.

## Choix de la méthode de transformation et détermination des paramètres

Comme on l'a vu précédemment, les données géographiques de la Ville de Nice sont exprimées dans un système de coordonnées correspondant à une densification du système de référence géodésique N.T.F. Or nous souhaitons dorénavant obtenir pour chacun des points et objets de la base, des coordonnées dans le nouveau système R.G.F.93. C'est la transformation permettant d'exprimer les coordonnées de ces points dans un autre système géodésique (en l'occurrence dans le R.G.F.93) qui constitue le changement de système géodésique. Cette transformation peut s'appliquer sur des coordonnées planes, géographiques ou bien cartésiennes. De nombreuses méthodes mathématiques de transformation existent, et la figure 2 (IGN, 1999) présente pour quelques modèles de transformation un schéma synoptique permettant d'appréhender le processus global de changement de système



**Figure 2 : Processus de changement de système géodésique : pour chaque type de coordonnées un modèle de transformation est présenté (source : Institut Géographique National)**

**Table 1 : Principales données utilisées et constituant le Système d'Information Géographique de la Ville de Nice**

Echelle	Vecteur	Raster
Petite		Scan 25 IGN, Scan 100 IGN
Moyenne	Plan Urbain de la Ville de Nice Périmètres administratifs : Canton, quartiers... Bd Eclairage Publique Ville de Nice Filaire de voie - Référentiel des adresses Ilots et Iris INSEE	
Grande	Cadastre DGI précision Plan d'Occupation des Sols Autres données Ville de Nice (habitat, nettoyage, sport, éducation, équipement, publics, réseaux, patrimoine, espaces verts, culture, etc...)	Bd Ortho IGN Orthophoto VdN Orthophoto satellite 60cm
Très grande	BD Topographique Ville de Nice et canevas géodésique Alignements de voirie Ville de Nice	

Les principales méthodes de transformation analysées à la Ville de Nice ont été les suivantes :

- Transformation standard N.T.F.->W.G.S.84 avec les paramètres uniques standards
- Transformation en utilisant la grille de conversion planimétrique GR3DF97A
- Transformation en utilisant une grille locale à la Ville de Nice
- Transformation par similitude 2D à 5 paramètres (transformation plane)
- Transformation par une similitude 3D à 7 paramètres

## ■ Critères de choix

Il a été décidé, afin de conserver l'homogénéité de la base de données, et de ne pas altérer sa topologie, de transformer l'ensemble des données avec le même modèle de transformation. En effet, de nombreuses couches de données ont été créées en s'appuyant sur d'autres couches de référence : c'est le cas notamment du Plan d'Occupation des Sols (POS) saisi sur le plan cadastral ou bien des alignements établis à l'aide des relevés topographiques.

De plus, la transformation retenue doit être en accord avec la précision initiale des données : les couches de données les plus précises étant les données topographiques centimétriques, la précision moyenne de la transformation doit donc s'en approcher.

La mise en œuvre ultérieure de la transformation est également un critère très important : les différents logiciels SIG et DAO utilisés devront permettre de réaliser la transformation retenue. Celle-ci devra être analysée sous deux angles distincts :

- Possibilité de réaliser la transformation de manière définitive (la base de données est définitivement convertie)
- Possibilité de réaliser la transformation à la volée (les données peuvent rester dans le système ancien et le logiciel les transforme à la volée au moment de l'affichage ou de l'analyse, dans le système choisi)

La simplicité de la transformation est également à nos yeux un facteur à prendre en compte : une transformation avec paramètres uniques conduit à une transformation en bloc (chaque point est transformé de la même manière) : à précision équivalente, elle conduira à une simplicité accrue et pourra permettre une réversibilité plus simple qui serait utile si une période transitoire longue s'avérait nécessaire.

## ■ Transformation standard N.T.F - W.G.S.84

Il s'agit d'une transformation réalisant une translation en 3 dimensions entre les coordonnées géocentriques cartésiennes du système N.T.F. et celles du système W.G.S.84, ce dernier système étant compatible au niveau métrique avec le R.G.F.93. Les paramètres de translation (**RTG n°14**) sont illustrés dans le système d'équations ci-dessous : pour inverser la transformation, il suffit d'inverser le signe des valeurs de la translation.

$$\begin{cases} X_{WGS84} = X_{NTF} + 168 \\ Y_{WGS84} = Y_{NTF} + 60 \\ Z_{WGS84} = Z_{NTF} - 320 \end{cases}$$

La précision moyenne de ce modèle de transformation est d'environ 2 mètres, et peut aller jusqu'à 5 mètres selon les lieux (**IGN, 1999**).

Cela signifie que cette transformation standard N.T.F.- W.G.S.84 est écartée d'emblée, car l'erreur qui en résulterait ne serait pas compatible avec la précision de nos données.

## ■ Transformation avec la grille de conversion planimétrique GR3DF97A

Cette grille mise au point par l'Institut géographique National est basée sur le même principe de transformation que celui présenté ci-dessus, c'est à dire une translation 3D entre système géodésique. Cependant, au lieu de disposer d'un seul jeu de paramètres, de très nombreux jeux de paramètres (établis par mesures GPS précises sur les sites R.B.F. / N.T.F.) ont été interpolés dans une grille qui recouvre toute la France et dont le pas est de 0,1° en latitude et longitude. La précision obtenue à l'aide de ce modèle de transformation est de quelques centimètres (principalement de 0 à 10 centimètres selon les lieux).

Nous avons effectué des mesures GPS précises en Lambert 93 des principales bornes N.T.F. de la commune de Nice. Nous avons ensuite comparé les coordonnées obtenues avec celles issues de la transformation des coordonnées N.T.F. de ces bornes à l'aide de la grille GR3DF97A et du logiciel CIRCE de l'IGN.

La table 2 présente les résultats obtenus pour ces sites ainsi que les écarts constatés. On s'aperçoit, en ce qui concerne la commune de Nice que les écarts en distance constatés entre un point stationné "nativement" en R.G.F.93 et le même point ■■■

Borne géodésique	Ordre N.T.F	N par GPS	E par GPS	N par CIRCE	E par CIRCE	DN	DE
Mt Chauve	1	6306012,125	1042471,044	6306012,145	1042471,055	0,020	0,011
Observatoire	1	6301373,633	1046291,064	6301373,574	1046291,139	0,059	0,075
Serena	3	6302898,705	1042601,069	6302898,671	1042601,095	0,034	0,026
Albert 1 <sup>er</sup>	3	6297711,936	1043971,146	6297711,807	1043971,163	0,129	0,017
Mt Alban	3	6298538,279	1046500,483	6298538,213	1046500,572	0,066	0,089
Cagnes	3	6292515,762	1035105,736	6292515,783	1035105,507	0,021	0,229
					<b>Moyenne</b>	<b>0,055</b>	<b>0,074</b>

**Table 2 : Evaluation de la précision de la grille GR3DF97A sur les bornes géodésiques N.T.F. de la Ville de Nice (système de coordonnées : R.G.F.93/Lambert93)**



- transformé à partir de ses coordonnées N.T.F. s'échelonnent entre 2 et 23 centimètres, avec une moyenne de 9 centimètres environ. Cette précision constatée sur quelques points confirme la précision moyenne de 5 à 10 cm annoncée par l'IGN pour cette grille de transformation. Nos données topographiques étant de précision centimétrique, cette méthode de transformation est donc insuffisante car elle générerait une perte de précision de nos données.

## ■ Transformation en utilisant une grille locale à la Ville de Nice

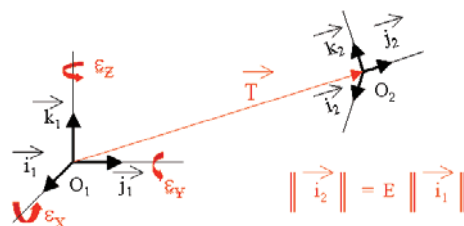
Le principe serait d'établir une grille de transformation semblable à la grille GR3DF97A, mais adaptée à notre géodésie locale. Cela aurait pour effet d'obtenir une précision améliorée, puisque la grille serait calculée à partir de données mesurées par GPS et réparties sur l'ensemble de la commune. Cependant, une analyse approfondie de notre canevas local, permise grâce aux nombreuses mesures GPS effectuées dans le système R.G.F.93, a permis de constater qu'il présente des déformations en amplitude et en orientation qui varient de façon très importante selon les lieux (figure 6). Pour que la grille locale envisagée modélise de manière cohérente les déformations du canevas, il faudrait densifier de manière très importante les observations à réaliser, pour qu'elles soient en adéquation avec les polygonales réalisées depuis plus de vingt ans, polygonales qu'il conviendrait d'identifier précisément. Outre un travail de préparation colossal, cela engendrerait une masse d'observations très importante. Aussi cette solution n'a pas été retenue : l'amélioration de précision que l'on obtiendrait n'étant pas en rapport avec l'investissement en terme de temps passé et de coût. De plus les versions de logiciels DAO et SIG utilisées actuellement à la Ville de Nice, ne supportent pas encore une transformation avec ce type de grille de conversion.

## ■ Transformation par similitude 2D à 5 paramètres (transformation plane)

Cette méthode de transformation consiste à trouver le meilleur jeu de paramètres pour une similitude à 5 paramètres (translation en X et Y, rotation en X et Y, facteur d'échelle), entre des coordonnées planes de la N.T.F. (Lambert III). et les coordonnées planes du R.G.F.93 (Lambert 93). Le problème rencontré avec cette méthode est que peu de logiciels l'implémentent. Aussi, eu égard au contexte logiciel de la Ville de Nice, il était difficile de mettre en application cette transformation à l'aide de nos outils DAO et SIG. Il aurait fallu exporter toutes les données pour les convertir à l'aide d'un processeur intégrant ce modèle de transformation, et les réintégrer ensuite à leur format natif dans leur logiciels respectifs. De plus, les calculs de paramètres que nous avons réalisés selon ce modèle de transformation présentaient des résultats moindres en terme de précision que ceux obtenus avec la méthode évoquée ci-dessous.

## ■ Transformation par une similitude 3D à 7 paramètres uniques

Cette transformation connue également sous le nom de transformation de Bursa Wolf consiste à effectuer une translation,



**Figure 3 : principe d'une similitude 3D entre deux repères de l'espace**

une rotation et à appliquer un facteur d'échelle, afin de passer d'un repère orthonormé de l'espace à un autre repère de même type (figure 3)

Soit M un point de l'espace dont les coordonnées sont  $(X_1, Y_1, Z_1)$  dans le repère  $(O_1, i_1, j_1, k_1)$  et  $(X_2, Y_2, Z_2)$  dans le repère  $(O_2, i_2, j_2, k_2)$ . On peut écrire l'équation matricielle suivante :

$$\begin{pmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{pmatrix} \cdot E \cdot \begin{pmatrix} \cos \varepsilon_X \cos \varepsilon_Y \cos \varepsilon_Z & \cos \varepsilon_X \sin \varepsilon_Y \cos \varepsilon_Z & \sin \varepsilon_X \cos \varepsilon_Y \cos \varepsilon_Z \\ \sin \varepsilon_X \cos \varepsilon_Y \cos \varepsilon_Z & \cos \varepsilon_X \sin \varepsilon_Y \cos \varepsilon_Z & \sin \varepsilon_X \sin \varepsilon_Y \cos \varepsilon_Z \\ \sin \varepsilon_X \sin \varepsilon_Y \cos \varepsilon_Z & \sin \varepsilon_X \cos \varepsilon_Y \cos \varepsilon_Z & \cos \varepsilon_X \cos \varepsilon_Y \cos \varepsilon_Z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} T_X \\ T_Y \\ T_Z \end{pmatrix}$$

- $(T_X, T_Y, T_Z)$  qui représentent le vecteur translation entre le repère  $(O_1, i_1, j_1, k_1)$  et le repère  $(O_2, i_2, j_2, k_2)$ .
- $\varepsilon_X, \varepsilon_Y, \varepsilon_Z$ , sont les rotations autour respectivement des axes  $(O_1, i_1), (O_1, j_1), (O_1, k_1)$ .
- E est le facteur d'échelle, défini de telle sorte que  $\|i_2\| = \|j_2\| = \|k_2\| = E \cdot \|i_1\|$

Les rotations  $\varepsilon_X, \varepsilon_Y, \varepsilon_Z$  étant faibles, on peut faire l'approximation :

$$\begin{pmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} T_X \\ T_Y \\ T_Z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} E & \varepsilon_Z & -\varepsilon_Y \\ -\varepsilon_Z & E & \varepsilon_X \\ \varepsilon_Y & -\varepsilon_X & E \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{pmatrix}$$

L'équation précédente peut s'exprimer de la manière suivante :

$$\begin{pmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & X_1 & 0 & -Z_1 & Y_1 \\ 0 & 1 & 0 & Y_1 & Z_1 & 0 & -X_1 \\ 0 & 0 & 1 & Z_1 & -Y_1 & X_1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} T_X \\ T_Y \\ T_Z \\ E \\ \varepsilon_X \\ \varepsilon_Y \\ \varepsilon_Z \end{pmatrix}$$

Pour un point considéré de l'espace, ce système comporte 3 équations et 7 inconnues. Avec au minimum 3 points de l'espace connus dans les deux systèmes on pourra donc calculer les paramètres.

En pratique, un nombre important de points vont être mesurés dans les deux systèmes et vont conduire à une sur-détermination de ce système d'équations : pour N points mesurés, nous aurons 3N équations et 7 inconnues. Du fait des incertitudes liées aux mesures, les 3N équations apparaissent comme étant toutes indépendantes. On peut résoudre de tels systèmes linéaires par la méthode de l'approximation des moindres carrés :

en effet, si  $i$  est l'indice du point observé dans les deux systèmes ( $1 \leq i \leq N$ ), et en posant

$$b = \begin{pmatrix} X_2^i \\ Y_2^i \\ Z_2^i \\ \vdots \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} X_1^i \\ Y_1^i \\ Z_1^i \\ \vdots \end{pmatrix} \quad M = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & X_1^i & 0 & -Z_1^i & Y_1^i \\ 0 & 1 & 0 & Y_1^i & Z_1^i & 0 & -X_1^i \\ 0 & 0 & 1 & Z_1^i & -Y_1^i & X_1^i & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \end{pmatrix}$$

et le vecteur des 7 paramètres :  $p = \begin{pmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \\ E \\ \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \end{pmatrix}$

Le système que l'on cherche à résoudre peut s'écrire :  $M.p=b$   
Pour calculer le vecteur  $p$  (le meilleur jeu de 7 paramètres) il faut minimiser la norme du vecteur erreur  $e=M.p-b$ , c'est à dire minimiser le carré de l'erreur quadratique moyenne multipliée par  $3N$  :

$$3N.e^2 = |M.p-b|^2 = (M.p-b)^T \cdot (M.p-b)$$

Le système  $M.p=b$  n'a pas de solution car il contient moins d'inconnues que d'équations. Par contre, le système  $M^T.M.p=M^T.b$ , de 7 équations à 7 inconnues a en général une solution si le déterminant de  $M^T.M$  n'est pas nul.

Il suffit donc de résoudre ce système pour déterminer le meilleur jeu de 7 paramètres.

### ■ Détermination des paramètres de transformation de la similitude 3D

Comme nous venons de le voir, il nous faut disposer de points de canevas possédant des coordonnées dans les deux systèmes de référence N.T.F. et R.G.F.93. Les données topographiques étant les données de référence les plus précises disponibles à la Ville de Nice, c'est cette couche d'informations qui a été utilisée pour établir les paramètres du modèle de transformation.

La base de données topographiques est originellement dans le système de référence N.T.F. Il ne reste qu'à déterminer pour un certain nombre de points à choisir judicieusement leurs coordonnées en R.G.F.93.

Le meilleur moyen d'accéder rapidement et avec précision à la référence R.G.F.93 est d'utiliser des techniques de positionnement par GPS. La Ville de Nice est d'ailleurs équipée en récepteurs GPS bi-fréquence, et possède une station permanente GPS (Figure 4) intégrée au R.G.P.

Le territoire de la commune s'étend sur plus de 7200 hectares avec un relief de type collinaire comportant des vallons orientés Nord Sud. Les altitudes varient de 0 à 500 mètres. Nous recherchons une précision d'environ un centimètre sur les composantes planimétriques des coordonnées R.G.F.93. Pour cela deux ou trois sessions d'observation GPS de 3 heures sont prévues en mode statique (les résultats seront également utilisés ultérieurement lors de la mise au point d'une grille de conversion altimétrique Hauteur Ellipsoïdale -> Altitude IGN69).

Un maillage de 1,5 km a été appliqué sur la commune conduisant à une quarantaine de points observables en régie. Ces points ont été choisis parmi les 13500 stations existantes sur le terrain.

Chaque point a été étudié avec précaution de manière à répondre aux critères suivants :

- situation géographique proche de la position théorique données par l'application du maillage
- le minimum de masque pour les observations GPS
- déport (et rattachement en Lambert III du point déporté) de la station si nécessaire pour éradiquer les masques
- contrôle de la qualité de chaque station (consultation du calcul de sa polygonale, et du levé topographique environnant)
- vérification sur le terrain de chaque station : pérennité de la station
- nivellement de précision des stations à partir de repères de nivellement IGN lorsque cela est possible (utile pour l'établissement d'une future grille de conversion altimétrique)

Le nombre de points à observer étant conséquent, les observations ont été rigoureusement planifiées et la stratégie d'observation affinée (choix des constellations favorables, choix des antennes après vérification/calibration, stratégie d'occupation, disponibilité des moyens matériels et humains, etc...). La figure 5 illustre une session d'observation réalisée en bord de mer.

Toutes les calculs ont été effectués par rapport au pivot de base que représente notre station permanente NICA, située géographiquement à moins de 10 km de tous les points à stationner. Plusieurs récepteurs GPS réalisant les mesures simultanément, un calcul de fermetures internes et externes ■■■

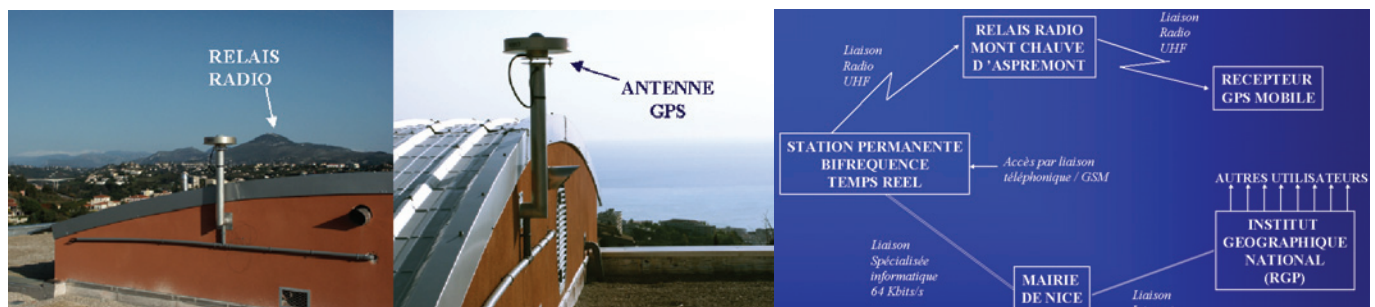


Figure 4 : Photographies et architecture fonctionnelle de la station permanente GPS de la Ville de Nice (NICA).



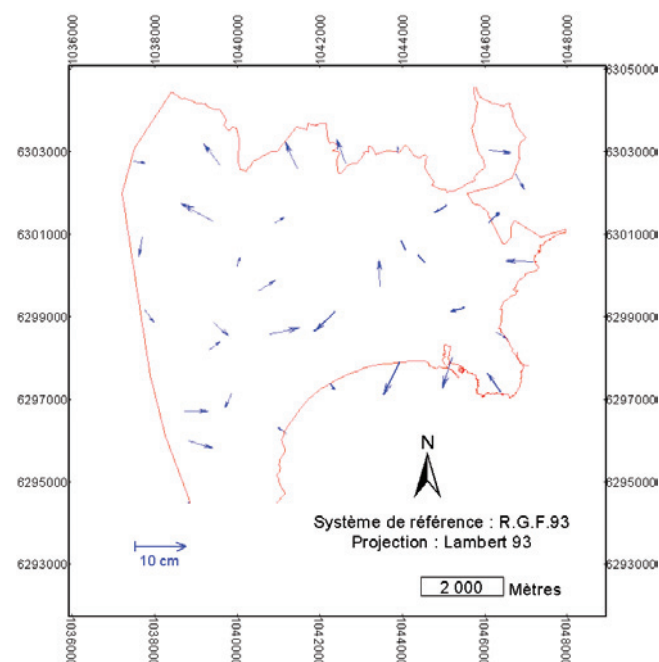
**Figure 5 : Observation d'un point géodésique situé sur la Promenade des Anglais - Matériel utilisé : Antenne ASHTECH 701945E\_M, Récepteur THALES 6502**

(Botton et al, 1997) était systématiquement effectué à l'issue des traitements en mode statique. Certaines lignes de base présentant des incohérences entre sessions successives, il a été nécessaire d'effectuer des observations complémentaires afin de lever certains doutes. Les résidus planimétriques obtenus par cette méthode de transformation en bloc sur chacun des points sont présentés en table 3.

On peut s'apercevoir que les écarts en distance varient de 2 cm à 9 cm environ si l'on ne considère pas le point du Mont chauve qui semble présenter un résidu anormal : ce point (1<sup>er</sup> ordre N.T.F.), n'est d'ailleurs pas en bon accord avec l'autre point N.T.F. 1<sup>er</sup> ordre de la commune (Observatoire).

L'écart moyen de 5 cm constaté correspond à la précision attendue de notre canevas, et l'écart type de 2,7 cm autour de cette moyenne peut être considéré comme faible.

La figure 6 propose quant à elle, une représentation graphique de ces écarts : le caractère anisotrope des orientations et des amplitudes des résidus apparaît de manière évidente.



**Figure 6 : Représentation graphique des résidus issus du modèle de transformation 3D à 7 paramètres pour les points géodésiques observés du canevas**

Point géodésique	Résidu Est (cm)	Résidu Nord (cm)	Résidu en distance (cm)
Albert 1 <sup>er</sup> -D1	-3,79	-8,13	8,97
Brancolar	0,92	-2,32	2,50
Carras	-2,25	1,77	2,86
Cimetiere de l'est	5,83	-0,67	5,87
Corniche des oliviers	2,34	1,12	2,59
Raiola	-8,20	4,53	9,36
Durandy	0,75	2,29	2,41
Ecole Bellanda	-1,69	1,37	2,18
Fabron	2,71	1,88	3,30
Ginestiere	3,98	-3,52	5,31
Jeanne D'arc	-0,23	6,87	6,87
Leclerc	4,09	-1,32	4,30
Les combes	2,95	-0,50	2,99
Lingostiere	-0,72	-5,03	5,08
Madeleine-D1	4,42	2,56	5,11
Maeterlink	-2,93	4,43	5,31
Magnan	0,72	-0,96	1,20
Marmorini	2,17	-4,09	4,63
Mont Alban	2,94	-1,92	3,51
Montreal	-1,45	-3,60	3,88
MtChauve-b	-2,86	14,22	14,51
NICA	7,78	1,56	7,93
Nikaï	5,97	-1,86	6,25
Observatoire-D1	2,80	2,09	3,50
Pont du Var	-3,23	-0,04	3,23
Pontremoli	6,31	-0,08	6,31
Ponts jumeaux	-3,07	-1,47	3,40
Port-D2	-2,56	-7,82	8,22
Rimiez Lombardie	-0,05	1,62	1,62
Riquier	-2,88	-0,71	2,97
Serena	-2,14	6,00	6,37
St pancrace	-2,89	6,76	7,35
St pierre de Feric	-4,97	-4,71	6,85
St Roman	-4,04	5,42	6,75
Verola	2,18	-3,24	3,90
Vinaigrier Gde Corniche	-7,12	0,46	7,14
<b>Moyenne des [Résidus]</b>	<b>3,14</b>	<b>2,86</b>	<b>5,13</b>
<b>Ecart type</b>	<b>3,85</b>	<b>4,38</b>	<b>2,68</b>

**Table 3 : Liste des résidus obtenus sur les points N.T.F. observés par GPS dans le système R.G.F. 93. Ces résidus sont obtenus en utilisant le modèle de transformation de Bursa Wolf (similitude 3D à 7 paramètres) calculé.**

Cela justifie pleinement le fait d'utiliser une transformation en bloc comme celle fournie par le modèle de Bursa Wolf avec un jeu unique de paramètres. La mise au point d'une grille de transformation locale de type GR3DF97A, comme évoqué précédemment, aurait nécessité une très importante densification pour modéliser de manière réaliste les déformations de notre canevas.

Les paramètres calculés pour passer du système N.T.F. densifié Ville de Nice au R.G.F. 93 sont les suivants :

$$\begin{aligned}
 T_x &= -166,1092 \text{ m} & T_y &= -59,6894 \text{ m} & T_z &= 321,8207 \text{ m} \\
 R_x &= 0,27702 \text{ ''} & R_y &= 0,014708 \text{ ''} & R_z &= 0,24028 \text{ ''} \\
 E &= 1-0,41527 \cdot 10^{-6}
 \end{aligned}$$

L'établissement de ces paramètres aura finalement nécessité approximativement :

- 100 heures de préparation, repérage, matérialisation et rattachement éventuel des points

- 300 heures d'observation
- 50 heures de vidage et calcul des observations
- 50 heures d'études, mise en forme et calcul des paramètres.

Cela représente au total environ 500 heures de travail.

Le nombre de sessions ainsi que la durée de chaque session aurait pu être minimisé, mais effectuant ce travail de manière unique, nous avons souhaité prendre le maximum de précautions quant à la qualité des coordonnées obtenues par GPS. De plus nous souhaitons obtenir une bonne précision sur la hauteur ellipsoïdale afin de réutiliser ces résultats pour analyser la grille de conversion altimétrique R.A.F.98 (Duquenne, 1998), ou en établir une localement si celle-ci s'avérait insuffisante.

## Mise en œuvre de la transformation sur la base de données géographiques

Les données de notre système d'information géographique sont gérées principalement à l'aide des logiciels ArcView (ESRI) et Autodesk Map (AUTODESK). Nous allons étudier successivement les possibilités offertes par ces produits pour mener à bien nos transformations.

### ■ Outil SIG

Le logiciel ArcView 3.3 comporte de manière native des outils de projection mais ne comporte pas d'outils permettant de changer de système géodésique. Nous n'avons pas trouvé sur le site d'ESRI France d'outils complémentaires permettant de réaliser cela.

Pour pouvoir travailler dans le système R.G.F.93 (en Lambert93 par exemple) il convient donc de transformer les données une fois pour toute dans ce système de référence, à l'aide d'un autre outil.

Le logiciel Arcview 8.3 présente de nombreuses fonctionnalités concernant l'exploitation simultanée de données qui sont dans des systèmes de référence différents.

La transformation par similitude à 7 paramètres de type Bursa Wolf fonctionne à la volée ou permet une transformation définitive des données vecteur. Elle fonctionne également sur les données raster mais uniquement à la volée et ne permet pas de transformation définitive sur ce type de données sans le recours à une extension spécifique. Enfin, elle ne fonctionne pas sur les données CAO/DAO Autocad (DWG-DXF) ou Intergraph (DGN).

Cette version 8.3 du logiciel ne supporte pas la grille de conversion GR3DF97A : ESRI France nous a donné la possibilité d'évaluer la version 9 d'Arcview qui sera commercialisée courant 2004, pour laquelle nous avons pu constater le support de la grille GR3DF97A ainsi que son bon fonctionnement.

Puisqu'à la ville de Nice nous travaillons simultanément avec des données SIG et DAO, nous serons donc forcés de convertir nos données DAO une fois pour toute dans le système souhaité pour pouvoir utiliser ces données DAO à l'aide du logiciel SIG Arcview.

### ■ Outil DAO

Le logiciel Autodesk Map 5 présente des fonctionnalités SIG permettant notamment d'interroger (visualisation ou conversion définitive) un dessin dans un système différent de celui dans lequel se trouvent les données originales. Ces transformations tiennent compte du changement de système géodésique par la méthode de Molodensky ou bien par une transformation à 7 paramètres de Bursa Wolf. Toutes les projections et ellipsoïdes sont également paramétrables. Après avoir effectué de nombreux tests et paramétrages pour les projections nous concernant, et les transformations géodésiques souhaitées nous ne sommes pas parvenu à obtenir des résultats satisfaisants. Le problème a été signalé à Autodesk qui reconnaît que ces fonctionnalités ne sont pas pleinement opérationnelles en version Autodesk Map 5, et nous oriente sur les versions Autodesk Map 6 et ultérieures. D'autre part aucun support de la grille de conversion GR3DF97A n'existe dans cette version 5.

Les versions 6 et ultérieures présentent les mêmes fonctionnalités que la version 5 sur ce sujet avec en plus le support de la grille GR3DF97A. Après des paramétrages adéquats, il s'avère que les changements de systèmes géodésiques fonctionnent parfaitement bien, notamment en ce qui concerne la transformation par similitude à 7 paramètres de type Bursa Wolf. Nous avons également testé avec succès la transformation utilisant la grille de conversion GR3DF97A (après paramétrage du symbole décimal comme caractère point).

Il est nécessaire de préciser que ces transformations ne concernent que les données de type vecteur manipulées par le produit Autodesk Map.

D'autre part il n'y a aucune possibilité d'exploiter ces fonctionnalités pour des données de type raster : toutes les données raster doivent donc obligatoirement être converties de manière définitive avec un outil spécifique dans le système de référence choisi.

Nous sommes donc forcés de convertir définitivement dans le système de référence choisi les données :

- Raster (à cause des outils DAO utilisés)
- DAO (à cause des outils SIG utilisés)

Nous avons donc décidé de transformer de manière définitive l'ensemble de nos données géographiques, qu'elles soient de type raster, ou vecteur (SIG et DAO)

Cette transformation a été planifiée sur une période d'une semaine. Toutes les données dont la fréquence de mise à jour est faible ont été préalablement transformées (données raster et vecteur). Les autres ont été identifiées et transformées rapidement en concertation étroite avec les services utilisateurs. Des actions d'information ont eu lieu régulièrement depuis environ une année, et des séances de formations sont organisées pour les correspondants des différents services utilisateurs. Enfin, vis à vis des professionnels (géomètres, entreprises, acteurs locaux, ...), des formulaires d'information ont été envoyés par courrier, et une réunion d'information sera organisée début 2004 sur l'intérêt de ce nouveau référentiel et sa mise en œuvre à la Ville de Nice.





## ■ ■ ■ Conclusion

L'adoption du nouveau référentiel R.G.F.93 apparaît comme un choix inévitable et sage afin de rester en adéquation avec les méthodes de travail modernes et le degré de précision qu'elles permettent. La seule difficulté, de taille malgré tout, consiste en la transformation des données existantes. Ce travail important et coûteux doit cependant être réalisé : la difficulté de cette tâche est liée à la précision et à la complexité des données à transformer. D'ores et déjà notre étude montre qu'il peut être aisé de transformer des données de précision décimétrique à l'aide de modèles établis tel la grille de conversion GR3DF97A qu'il est possible de mettre en œuvre simplement à l'aide de logiciels existants. Pour des données de haute précision, notre expérience prouve que cela est réalisable dès lors que la volonté de travailler dans le système légal existe.

Peu de témoignages sur ce type d'expérience existent en France. Aussi le changement de système de coordonnées réalisée ici doit avoir une action de démystification : elle doit inciter les gestionnaires de bases de données géographiques tels des collectivités territoriales, des services de l'Etat, des concessionnaires de réseaux, ou des cabinets de géomètres demeurés dans la N.T.F. ou dans des systèmes locaux à migrer dans le système légal R.G.F.93. ●

## Contacts

**Ludovic ANDRES** - Ingénieur en Chef  
Direction Information Géographique  
membre du GT SIG TOPO de l'AITF

### Mairie de Nice

3 rue de la Terrasse - 06364 NICE Cedex 4  
Tel : 04 97 13 25 53  
Fax : 04 97 13 29 24  
Email : ludovic.andres@ville-nice.fr

### Bernard Laugier

Direction Information Géographique  
Bernard.laugier@ville-nice.fr

### Denis Delerba

Responsable de la Direction Information Géographique  
Animateur National GT SIG TOPO de l'AITF  
Denis.delerba@ville-nice.fr

## ABSTRACT

*The City of Nice operates a large geographic database in a former french geodetic reference system named N.T.F. that has been replaced by a new one, the R.G.F.93. The advances of working in the R.G.F.93 system are pointed out through the data migration project that has been carried out. The coordinate conversion process that has been selected aims to preserve the data precision, and its implementation involving the use of common algorithms and softwares is presented. Finally, such geographic database coordinate conversions are encouraged in order to support the R.G.F.93 system.*

## Remerciements

Je tiens à remercier tout spécialement mon collègue Bernard Laugier, responsable des brigades topographiques, pour son implication personnelle, le travail de grande qualité qu'il a fourni et l'aide indispensable qu'il a apporté à ce projet. Je félicite d'autre part tous les topographes de la Direction Information Géographique (brigades de topographie et des alignements) pour leur contribution active à toutes les observations GPS qui ont été réalisées ainsi que les collègues qui ont participé à la transformation de la base de données géographiques. Je remercie enfin Messieurs Michel Kasser (IGN) et Denis Delerba (Ville de Nice) pour leurs commentaires, Monsieur Alain Harmel (IGN) pour ses conseils, ainsi que les sociétés AUTODESK France, ESRI France, THALES Navigation, AEC Informatique (St Laurent du Var, 06), Digitech International (Bagneux, 92), et Latitude Géosystèmes (Deuil la Barre, 95) pour leur collaboration.

## Références

**ANDRES L., 2002**, *Conversion dans le système altimétrique IGN69 de la base de données topographiques de la Ville de Nice, XYZ n°91*, Juin 2002

### ARRÊTÉ INTERMINISTÉRIEL du 2 juin 1948

fixant les conditions d'exécution et de publication des levés de plans entrepris par les services publics, Journal Officiel.

**BOTTON S., DUQUENE, F., EGELS Y., EVEN M., WILLIS P., 1997**, *GPS localisation et navigation*, collection. CNIG-GPSD, éditions Hermes.

**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

**DUQUENNE, H., 1998**, *QGF98 - a new solution for the quasi-geoid 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.

**GR3DF97A, 1997**, *Grille de paramètres de transformation de coordonnées* - notice d'utilisation, Service de Géodésie et de Nivellement, Institut Géographique National.

**IGN, 1999**, *Document d'information générale sur la transformation de coordonnées*, Institut Géographique National, Service de Géodésie et de Nivellement.

**KASSER, M., 2001**, *Systèmes R.G.F. 93 et Lambert 93 : de petits problèmes à court terme, de nombreuses simplifications à long terme*, Géomètre, avril 2001.

**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<sup>er</sup> ordre du territoire français, conséquences pratiques et scientifiques*. IGN

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

**RT/G n° 14, Nouveaux systèmes géodésiques utilisables en France (WGS84, ED87)**, Rapport Technique, Institut Géographique National.