

République Tunisienne
Ministère de l'Équipement, de l'Habitat
et de l'Aménagement du Territoire
Office de la Topographie et de la Cartographie
Direction de la Cartographie
Projet de la Mise à Niveau de la Géodésie

**SUR L'UNIFICATION DES SYSTEMES
GEODESIQUES EN
TUNISIE**

**Communication proposée pour le
Colloque Scientifique International sur le Cadastre
Tunis, 25-26 Octobre 2002**

**Abdelmajid BEN HADJ SALEM
Ingénieur en Chef Géographe
Septembre 2002**

SUR L'UNIFICATION
DES SYSTEMES GEODESIQUES EN TUNISIE

Abdelmajid BEN HADJ SALEM, Ingénieur en Chef

Office de la Topographie et de la Cartographie
BP 156, 1080 Tunis-Cedex
Tél : 216 71 808 874 – Fax : 216 1 71 797 359
Email : benhadjsalema@yahoo.co.uk

I. Introduction

L'un des aspects pratiques de la géodésie est la mise en place des systèmes de référence qui serviront à l'établissement des réseaux géodésiques. Ces derniers seront la plate forme fondamentale pour définir les points de rattachement de tous les travaux topographiques (levés de détail, travaux d'immatriculation foncière, cadastre,...). L'objet de cette communication est de présenter brièvement les systèmes géodésiques en Tunisie et les problèmes posés par la multiplicité de ces derniers et la méthodologie proposée pour unifier ces systèmes. Après avoir défini la géodésie et les systèmes de références, nous parlons des systèmes de référence Tunisiens et les méthodes de passage d'un système à un autre.

II. Définitions

II.1 Définition de la Géodésie

Suivant l'étymologie du mot, géodésie veut dire mesure de la Terre. Le grand géodésien Allemand F.R.

Helmert (1880) la définissait comme suit "*la géodésie est la science de la mesure et de la représentation de la surface terrestre*".

Une autre définition de la géodésie est donnée par le Comité Associé Canadien de Géodésie et de Géophysique (1973) à savoir « *la géodésie est la discipline qui concerne la mesure et la représentation de la Terre, incluant son champ de gravité, dans un espace tridimensionnel variant avec le temps* ».

La géodésie a ainsi deux aspects :

- un aspect scientifique et de recherches : la mesure des dimensions de la Terre et la détermination de sa forme géométrique.
- un aspect pratique :
 - l'établissement et la maintenance des réseaux géodésiques tridimensionnels nationaux et globaux et tenant compte des variations de ces réseaux en fonction du temps.
 - la mesure et la représentation des phénomènes géodynamiques comme les mouvements des pôles, les marées terrestres et les mouvements de la

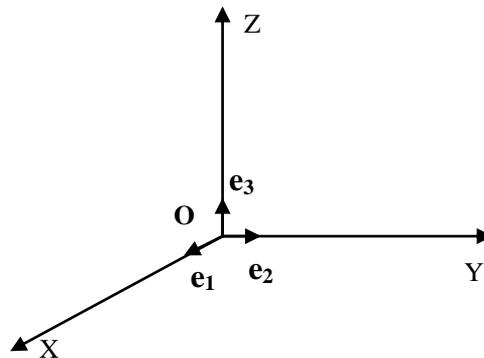
croûte terrestre.

II.2. Définition d'un Système Géodésique

Un système géodésique donné est un système de coordonnées où sont représentés les points géodésiques. Il est défini par :

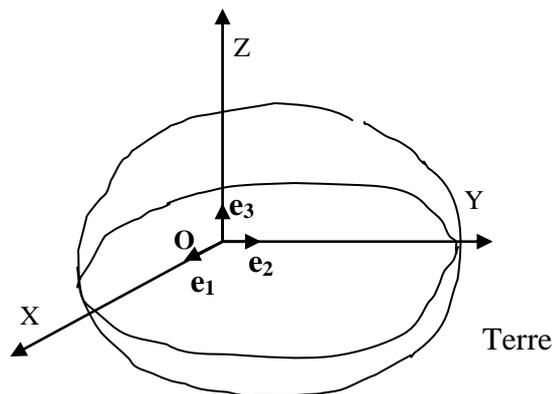
- son origine,
- son orientation,
- le type de coordonnées pour localiser les points.

Le système le plus utilisé est le système cartésien formé par un repère (OX,OY,OZ) tel que l'axe OZ soit parallèle à l'axe de rotation de la Terre, le plan OXZ soit parallèle au méridien de Greenwich origine des longitudes et l'axe OY est tel que le trièdre (OX,OY,OZ) soit orthogonal et direct. A ce système, on lui associe une base orthonormée (e_1, e_2, e_3) c'est-à-dire :
 $\|e_1\| = \|e_2\| = \|e_3\| = 1 =$ l'unité des longueurs = le mètre



Pour les systèmes géodésiques classiques (terrestres), la position de

l'origine est à 400 m environ du centre des masses de la Terre.



Pour les systèmes géodésiques établis par la géodésie spatiale actuelle (comme le GPS 'Global Positioning System'), l'origine est presque

confondue avec le centre des masses de la Terre (< 2 m).

L'orientation du système géodésique classique est faite à partir des

observations astronomiques sur les étoiles. Ces observations vont orienter l'axe OZ et le plan OXZ du système à être respectivement parallèles à l'axe de la rotation de la Terre et au méridien de Greenwich.

Un système géodésique ou référentiel géodésique obéit à certaines conditions à savoir :

- pas de déformation d'échelle,
- meilleure distribution des points,
- qualité homogène des coordonnées des points.

En général, les référentiels géodésiques nationaux ne remplissent pas toujours ces conditions.

Un autre problème avec les systèmes géodésiques classiques est qu'il y a 2 systèmes indépendants : l'un pour les coordonnées horizontales et un autre pour la composante verticale.

Les réseaux planimétriques ou horizontaux sont déterminés à partir des

III. Les Systèmes de Référence en Tunisie

III.1. Le Système Géodésique VOIROL'

C'était le premier système géodésique en Tunisie caractérisé par :

- le point fondamental (point de départ) : Voirol près d'Alger créé en 1875,
- la surface de référence c'est-à-dire le modèle choisi pour la Terre est l'ellipsoïde de Clarke Français 1880 ($a=6378249.200\text{m}$, $f=1/293.46602$) avec a le demi grand axe de l'ellipsoïde et f est l'aplatissement $= (a-b)/a$,
- l'orientation de départ est l'azimut de la direction Voirol-

observations de triangulation (mesures angulaires) ou de trilatération (mesures des distances) réduites à l'ellipsoïde adopté.

Par contre, le système altimétrique est observé par le nivellement de précision et la référence des altitudes est déterminée à partir des observations du niveau moyen des mers (par les marégraphes).

II.3. L'Ellipsoïde de Référence

La surface de la Terre n'étant pas une surface uniforme, pour la détermination de ces dimensions, elle a été modélisée en une sphère puis en un ellipsoïde. Le choix de l'ellipsoïde est choisi de façon à ce que la surface de la terre localement soit confondue avec l'ellipsoïde.

Meleb El Kora, mesuré en 1874,

- La mise à l'échelle ou la qualité métrique de réseau : la mesure d'une distance ou base à Blida en Algérie mesurée en 1854. Une grande partie du premier réseau géodésique Tunisien était calculé dans ce système. Il a été utilisé dans les coordonnées dites fuseaux.

Ce système fut abandonné après avoir détecté une erreur dans la mesure de sa base.

III.2. Le Système Géodésique CARTHAGE 34 (CART34)

A la suite de la détection d'une erreur dans la mise à l'échelle du système Voirol en 1910 et vu sa qualité, le Service Géographique de l'Armée

Française (S.G.A.F) a établi un nouveau système géodésique indépendant du système Voirol. Les éléments de définition de CART34 sont :

- le point fondamental : le point Carthage à Tunis,
- l'ellipsoïde de référence : l'ellipsoïde de Clarke Français 1880,
- l'azimut de l'orientation : la direction Carthage – Bir Bou Regba ,
- la mise à l'échelle : les bases de Tunis et de Médenine.

Les calculs des points géodésiques de la partie nord ont été achevés en 1934. Ces calculs sont faits par petits blocs de 10 points. Dans les calculs, on n'a pas tenu compte de certaines corrections.

III.3. Le Système Géodésique de 1984

Une analyse des calculs de compensation des réseaux géodésiques Tunisiens du 1er et 2ème ordre (C. Fezzani, 1979) a montré des insuffisances aux niveaux de la qualité de l'échelle (1/40000 à 1/30000) et de l'orientation (15dmgr à 25dmgr). De plus, de nombreux points géodésiques ont disparu et d'autres ont été détruits. C'est ainsi qu'à partir de 1978, l'OTC a décidé de moderniser les réseaux géodésiques Tunisiens afin de satisfaire les besoins cartographiques et topographiques du pays en commençant par les réseaux de base.

Les travaux de revalorisation de la géodésie Tunisienne (M. Charfi, 1983) ont abouti à un nouveau système géodésique qu'on nomme pour la suite CARTHAGE84 (CART84). C'est un

système ayant comme éléments de définition :

- cinq (5) points fondamentaux,
- l'ellipsoïde de référence : l'ellipsoïde de Clarke Français 1880,
- huit (8) azimuts astronomique d'orientation,
- la mise à l'échelle : 24 bases.

Le système CART84 a donné le réseau géodésique appelé Réseau Géodésique Primordial (RGP) composé de 338 points. Le nouveau système géodésique est déduit du système CART34 par une rotation de 20 dmgr environ ce qui va fait changer les coordonnées issues de CART34 de 0 à 16 m suivant l'éloignement du centre de la rotation. Le nouveau système n'a été utilisé qu'en cartographie de petites échelles.

Ces déplacements n'ont pas d'effet local sur la forme des parcelles ni sur les contenances. Cependant, ces coordonnées n'ont pas été utilisées dans les travaux de l'immatriculation foncière par les Services Régionaux de l'OTC.

IV. Contrôle de l'Azimut d'Orientation du Système CARTHAGE34

Lors de l'étude menée par l'ingénieur principal A. BEN HADJ SALEM sur l'unification des systèmes géodésiques (A. BEN HADJ SALEM, 2000), le système CART34, système géodésique national en vigueur, présente une désorientation d'environ 20 dmgr. Cette désorientation a été vérifiée par les techniques spatiales à savoir la méthode de positionnement par système GPS (A. Ben Hadj Salem, 2001).

Par contre, en utilisant les nouvelles coordonnées issues du calcul de 1984, l'orientation obtenue est celle calculée par les coordonnées GPS.

V. Le Système Géodésique Spatial WGS84 ou ITRF

Avec le développement de la technologie de positionnement par GPS, l'OTC a mis en place un réseau géodésique d'ordre zéro composé de 28 points observés par GPS. Ce réseau constitue le Réseau Géodésique GPS Tunisien de Référence Spatiale (RGTRS). Actuellement, il est en cours de densification pour pouvoir développer l'utilisation le positionnement par GPS dans les divers travaux topographiques et cartographiques.

VI. Les Problèmes Posés par la Prolifération des Systèmes Géodésiques

La multiplicité des systèmes géodésiques est un facteur qui limite les actions menées pour la mise en place des bases de données topographiques et foncières, des systèmes d'information géographique. Cette multiplicité conduit aussi à des difficultés lors des travaux de lotissements de titres anciens ce qui

entrave le développement de l'action de l'immatriculation foncière en général.

Cette prolifération entraîne aussi :

- des risques de chevauchements des réquisitions et des titres fonciers lors des travaux de levés en cadastre,
- la non possibilité de mettre en place des cartes de reports dynamiques et numériques,
- la confusion au niveau des coordonnées par les utilisateurs.

VI. Propositions pour l'Unification des Systèmes Géodésiques Tunisiens

L'objet de la mission du *Projet de la Mise à Niveau de la Géodésie Tunisienne* au sein de l'OTC est la définition d'un réseau géodésique unifié qui répondra aux normes internationales de précision et modes de calcul. Certes le développement du GPS a amené plusieurs pays à adopter comme système géodésique national le système géocentrique spatial WGS84 ou son équivalent le système ITRF. En Tunisie, le choix est de disposer d'un réseau géodésique terrestre compensé sur lequel s'intègrent tous les travaux anciens.

Parmi les propositions, nous donnons celles du tableau ci-dessous :

Propositions	Observations
1- Référentiel géocentrique ITRF	Nécessité d'avoir un réseau GPS dense
2- Calcul de 1984 : CART84	
3- Refaire les calculs en fixant le point le point Carthage	Déplacer le décalage vers le Sud où il y a moins de titres touchés

Le choix du système sera accompagné du changement de la représentation plane Lambert Tunisie par la représentation Universal Transverse Mercator (UTM).

Sans entrer dans les détails, nous citons quelques méthodes de passage d'un système géodésique S1 à un autre système géodésique S2.

VII. Les Méthodes de Passage d'un Système à un Autre

VII.1. Les Méthodes 3D

Dans ce type, on compare les coordonnées trirectangulaires (X, Y, Z) dans les deux systèmes :

$$\begin{pmatrix} X2 \\ Y2 \\ Z2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Tx \\ Ty \\ Tz \end{pmatrix} + (1 + m) \cdot \begin{pmatrix} 1 & -rz & ry \\ rz & 1 & -rx \\ -ry & rx & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} X1 \\ Y1 \\ Z1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

ou on compare les coordonnées géodésiques (φ , λ , H), ci-dessous, on

donne les formules dites de MOLODENSKY Abrégées :

$$\Delta\lambda'' = (-\Delta X \sin\lambda + \Delta Y \cos\lambda) \cdot (N \cos\varphi \sin 1'')^{-1} \quad (2a)$$

$$\Delta\varphi'' = (-\Delta X \sin\varphi \cos\lambda - \Delta Y \sin\varphi \sin\lambda + \Delta Z \cos\varphi + (a\Delta f + f\Delta a) \sin 2\varphi) \cdot (\rho \sin 1'')^{-1} \quad (2b)$$

$$\Delta H = \Delta X \cos\varphi \cos\lambda + \Delta Y \cos\varphi \sin\lambda + \Delta Z \sin\varphi - \Delta a + (a\Delta f + f\Delta a) \sin^2\varphi \quad (2c)$$

VII.2. Les Méthodes 2D

On y trouve les polynômes conformes :

- ◆ du premier degré :

$$x_2 = \alpha_0 + \alpha_1 x_1 - \beta_1 y_1 \quad (3)$$

$$y_2 = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \alpha_1 y_1$$

- ◆ du second degré :

$$\begin{aligned} x_2 &= \alpha_0 + \alpha_1 x_1 - \beta_1 y_1 + \alpha_2 x_1^2 - 2\beta_1 x_1 y_1 - \alpha_2 y_1^2 \\ y_2 &= \beta_0 + \beta_1 x_1 + \alpha_1 y_1 + \beta_2 x_1^2 + 2\alpha_2 x_1 y_1 - \beta_2 y_1^2 \end{aligned} \quad (4)$$

- ◆ du troisième degré :

$$x_2 = \alpha_0 + \alpha_1 x_1 - \beta_1 y_1 + \alpha_2 x_1^2 - 2\beta_1 x_1 y_1 - \alpha_2 y_1^2 + \alpha_3 x_1^3 - 3\beta_3 x_1^2 y_1 - 3\alpha_3 x_1 y_1^2 + \beta_3 y_1^3 \quad (5)$$

$$y_2 = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \alpha_1 y_1 + \beta_2 x_1^2 + 2\alpha_2 x_1 y_1 - \beta_2 y_1^2 + \beta_3 x_1^3 + 3\alpha_3 x_1^2 y_1 - 3\beta_3 x_1 y_1^2 - \alpha_3 y_1^3$$

VII.3. Les Difficultés à rencontrer

Avec les progrès réalisés en moyens de calculs, les problèmes de calculs ne se posent plus comme autrefois, seulement il faut avoir une certaine formation au niveau de l'interprétation des résultats des calculs.

VIII. Conclusions

A l'occasion de ce colloque sur le cadastre, nous avons voulu attirer l'attention sur l'importance de l'unification des systèmes géodésiques Tunisiens en un système qui répondra aux normes internationales de précision. Un système a été déjà calculé et non appliqué. C'est la tâche du Projet de Mise à Niveau de la Géodésie pour faire le bon choix et mettre en œuvre les moyens pour établir les différentes formules de passage entre les différents systèmes.

Références

C. Fezzani, (1979). Analyse de la Structure des Réseaux Astro-Géodésiques Tunisiens. Thèse de Docteur Ingénieur, Septembre 1979, Ecole Nationale des Sciences Géographiques, Institut Géographique National Français.

M. Charfi, (1983). Modernisation du Réseau Géodésique Primordial Tunisien. Rapport présenté à la 18ème assemblée Générale de l'Union Géodésique et Géophysique Internationale, 15 – 17 août 1983, Hambourg, RFA.

A. Ben Hadj Salem (2000). Mise à Niveau de la Géodésie Tunisienne par l'Unification Carthage2000 de ses Réseaux. Revue OTC *Géo-Top*, numéro spécial consacré au Premier Atelier Maghrébin de Géodésie, Mai 2000.

A. Ben Hadj Salem (2001). Contrôle de l'Azimut d'Orientation du Système Géodésique Tunisien Carthage34. Rapport OTC, Février 2001, 8pp.