

L'Unification des Systèmes Géodésiques Terrestres Tunisiens

Abdelmajid BEN HADJ SALEM, Tunisie

Key words: Laplace geodetic points, adjustment, terrestrial networks, GPS orientation, Conform polynomial transformations, UTM map projection.

SUMMARY

The first geodetic observations began in Tunisia since the first observations between Tunisia and Italy in 1876. Until 2009, Tunisia had many geodetic terrestrial systems (Voirol, Carthage34, Carthage86,). In 2009, an official text gives the new definition of the new geodetic terrestrial system and the new map projection. In this paper, we present a brief historical of the Tunisian geodesy and the adoption of the new Tunisian geodetic terrestrial system. The methodology used to define the transformations between the old geodetic terrestrial networks and the new geodetic network is presented with the new official text of its application.

L'Unification des Systèmes Géodésiques Terrestres Tunisiens

Abdelmajid BEN HADJ SALEM, Tunisie

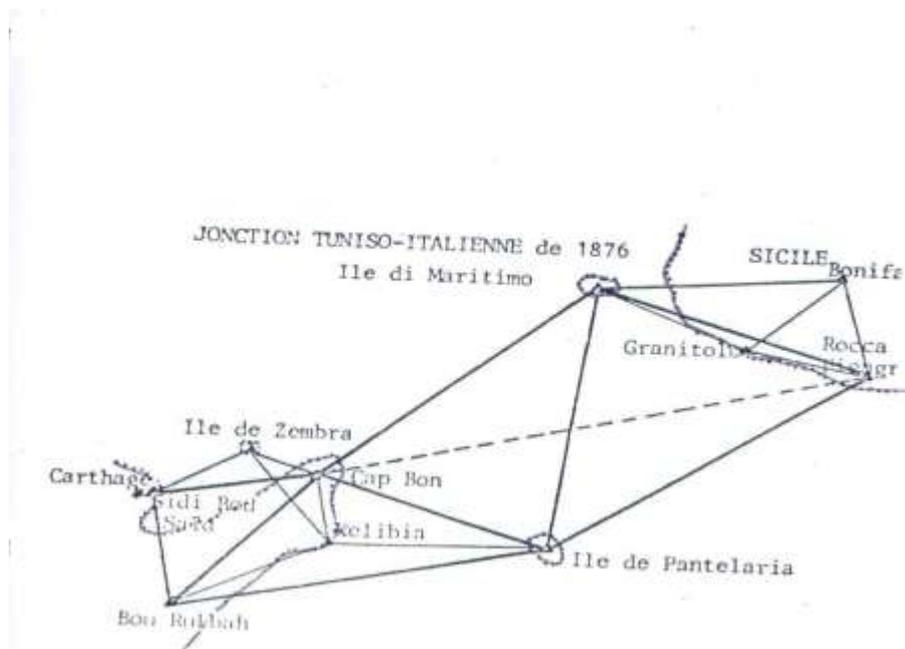
1. INTRODUCTION

1.1 Les Grandes Etapes de la Géodésie Tunisienne

1.1.1 L'Époque Précoloniale – Avant 1881

Les premiers travaux géodésiques ont été réalisés par les géodésiens italiens en 1876 en rattachant les points *Cap Bon*, *Sidi Bou Saïd* et *J. Bou Rukbah* au réseau géodésique italien (Fig. 1). Ce rattachement a été effectué à travers l'île de Pantelleria. Ces travaux ont fait l'objet d'une première publication en 1902 par l'Institut Géographique Militaire Italien et d'une deuxième par le Professeur A. Marussi, en 1947, relative aux calculs de compensation (C. Fezzani, 1979).

Les travaux de géodésie réalisés par le Service Géographique de l'Armée Française (SGAF) ont débuté en 1878 par les observations des coordonnées astronomiques du point Carthage et l'azimut astronomique *Carthage – J. Bou Rukbah* (C. Fezzani, 1979).



(Fig. 1. : Extrait de C. Fezzani, 1979)

1.1.2 L'Époque Coloniale: 1881-1954

Le début de cette époque était marqué par la promulgation de la loi foncière en juillet 1885, suivi de la création du Service Topographique Tunisien en juillet 1886, qui fut chargé de l'exécution des plans de propriété. Les premiers travaux topographiques étaient exécutés à l'isolé. C'est à partir de 1883 que le Service Géographique de l'Armée Française avait entamé un programme de géodésie primordiale prolongeant la géodésie algérienne. Ce programme fut achevé en 1910 avec les mesures des bases de Tunis et de Médenine au sud du pays (C. Fezzani, 1979). Ce programme comportait (Fig. 2):

- la chaîne parallèle Nord-Tunisie,
- la chaîne méridienne dite méridienne de Gabès,
- la chaîne parallèle Sud-Tunisie,
- une chaîne géodésique de reconnaissance liant la Tunisie à la Libye.

Pour les réseaux géodésiques terrestres, l'orientation se faisait à l'aide de l'observation d'un point de Laplace à savoir la détermination de (φ_A, λ_A) astronomiques et l'observation de l'azimut astronomique Aza d'une direction.

Les points de Laplace déterminés étaient:

- le point *Carthage*,
- le point *Médenine*,
- le point *Gafsa*.

Pour contrôler l'orientation du système, on appliquait l'équation de Laplace:

$$Az_g - Az_a = (\lambda_g - \lambda_a) \sin \varphi \quad (1)$$

Le premier système géodésique terrestre défini est le système Voirol :

- Le point fondamental : le point Voirol à Alger.
- un azimut astronomique pour l'orientation
- L'ellipsoïde de référence : ellipsoïde de Clarke français 1880.
- une base celle de Blida.

Certains dossiers anciens se réfèrent à ce système.

Après avoir détecté une erreur dans la base de Blida, Le Service Géographique de l'Armée a adopté le système géodésique **CARTHAGE34** défini par le point fondamental *Carthage*, avec azimut d'orientation l'azimut astronomique de la direction *Carthage- J. Bou Rukba* et les deux bases de Tunis et de Médenine.

1.1.3 L'Époque de l'Indépendance 1954-1978

Durant cette période, la géodésie tunisienne n'a pas connu de grands travaux. Signalons les travaux d'observations et de calculs du réseau du 1^{er} ordre du nivellement général de précision

de la Tunisie avec quelques travaux géodésiques exécutés au nord et au sud, sans oublier de noter la mission d'expertise de l'Institut Géographique National Français sur la géodésie tunisienne en 1969 (A. Fontaine, 1969).

Au début des années 70, deux missions astronomiques ont été exécutées au sud du pays avec l'observation de 31 points astronomiques pour les besoins de la carte au 1/200 000 (Fig. 3) avec les moyens propres de la Direction de la Topographie et de la Cartographie.



Fig. 2. La Structure Géodésique Avant 1980

Avec la création de l'Office de la Topographie et de la Cartographie en décembre 1974, on a pris conscience de l'importance des réseaux géodésiques et on a commencé à faire des missions de diagnostic sur le terrain de l'état des points géodésiques.

1.1.4 Époque 1978 - 1985

C'est dans cette période que la géodésie tunisienne a connu un essor important. Un appel d'offres international a été lancé pour l'exécution de travaux géodésiques notamment (M. Charfi, 1984):

- l'observation de 8 points de Laplace,
- les mesures de 24 bases ou distances,
- l'observation et le calcul de 5 points par la géodésie spatiale en utilisant la technique des satellites Doppler.
- le calcul par compensation des observations angulaires du réseau géodésique de base appelé Réseau Géodésique Primordial composé de 312 points (Fig. 4).
- Le calcul des altitudes de ces points.

Le système géodésique ainsi obtenu est appelé **Système Géodésique Calcul84**. Lors de la comparaison des nouvelles coordonnées avec celles de **CARTHAGE34**, on a obtenu une rotation de 27 dmgr dans le sens des gisements en un point fictif au centre du pays (Fig. 5) présentant des déplacements des coordonnées de 0 à 12 m. La localisation des déplacements planimétriques trouvés a été jugée inacceptable pour le cadastre et l'immatriculation foncière facultative ; les nouvelles coordonnées de ce RGP n'ont pas été diffusées.

1.1.5 Le système 'CARTHAGE86'

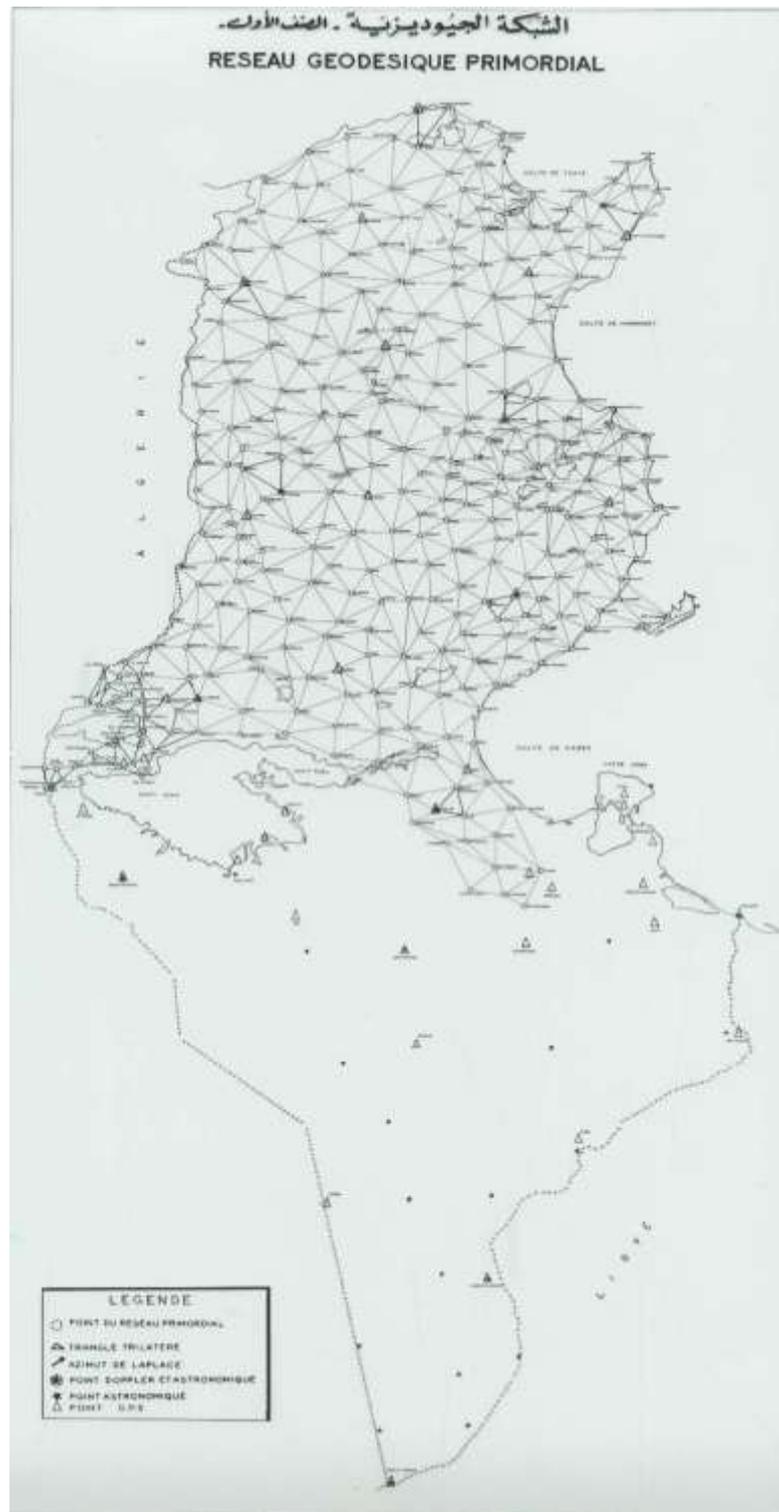
Les nouvelles coordonnées issues de la compensation de 1984 de l'IGNF(Calcul84) n'ont pas été acceptées, la Direction de la géodésie de l'OTC a effectué un calcul de compensation du RGP en trois blocs, en fixant les coordonnées CARTHAGE34 des points anciens. On a obtenu ainsi un nouveau système géodésique appelé **CARTHAGE86**. Ce système a gardé le même ellipsoïde de référence à savoir l'ellipsoïde de Clarke Français 1880. Par suite, les coordonnées des points du Réseau Géodésique Terrestre Secondaire ont été calculées dans ce système en fixant les points géodésiques primordiaux. Le décalage entre les systèmes CARTHAGE34 et CARTHAGE86 est de l'ordre du mètre.

1.1.6 Densification du Réseau Géodésique Secondaire Tunisien

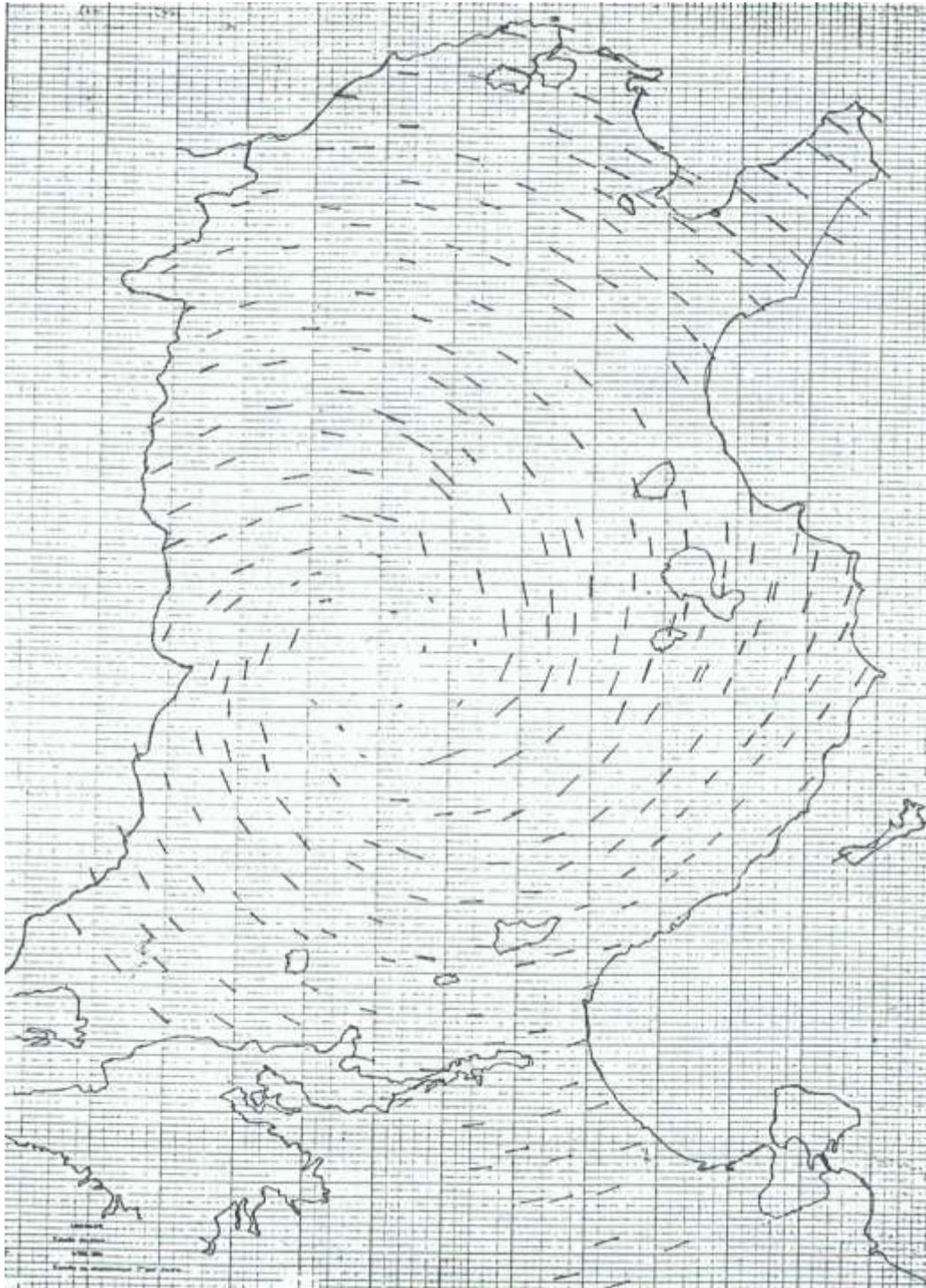
Durant cette période, un programme de densification de la géodésie secondaire a été entamé. 50 feuilles à l'échelle 1/50000 ont été exécutées. Soit un total de 5000 points géodésiques couvrant le territoire du nord au 34° au sud. Les techniques sont celles de la géodésie classique à l'aide de la triangulation en utilisant les théodolites T3 (Fig. 6).



(Fig. 3. : Missions Astronomiques au Sahara 1970-1972)



(Fig. 4. : Le Réseau Géodésique Primordial Tunisien)



(Fig. 5. : Déplacements planimétriques entre les coordonnées Carthage34 et celles du Système Géodésique Calcul84)

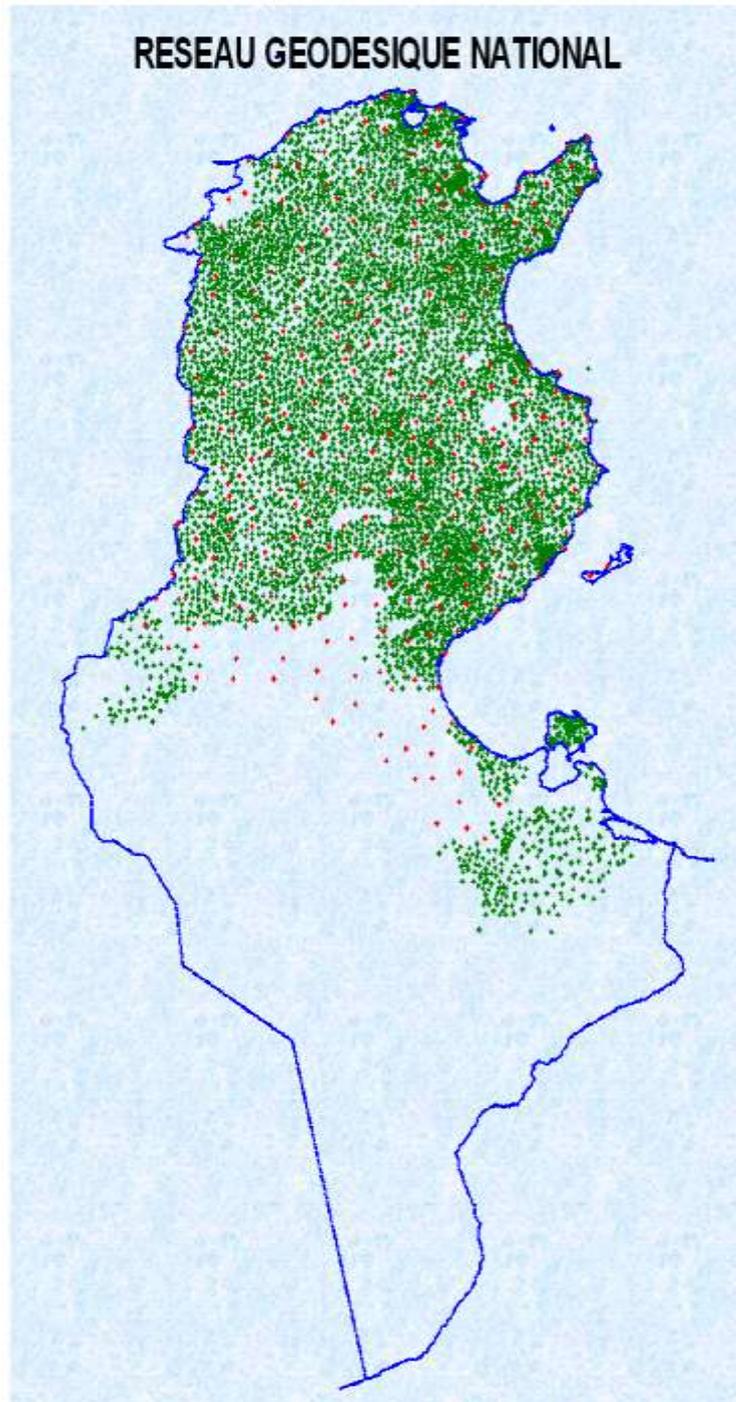


Fig. 6. Le Réseau Géodésique Secondaire

2. PROGRAMME DE MISE A NIVEAU DE LA GEODESIE TUNISIENNE

2.1 Le Réseau GPS Tunisien de Référence Spatiale

C'est à partir de 1998, que l'OTC a introduit les techniques de la géodésie spatiale dans sa production. En effet 4 récepteurs GPS bi-fréquences géodésiques de type Ashtec ont été acquis pour les observations du **Réseau GPS Tunisien de Référence Spatiale (RGTRS)**. Celui-ci est constitué de 28 points (Fig.7). Les observations étaient étalées sur environ 4 mois avec des sessions de 3 fois 24 heures. Le traitement des observations était effectué à l'aide du logiciel scientifique Bernese. La qualité des observations et des calculs était excellente (A. Ben Hadj Salem, 2002). Notons que des campagnes GPS ont été faites auparavant notamment dans le cadre du projet de la station géodynamique avec le concours du Centre de Recherches spatiales de l'Académie Polonaise des Sciences en juin 1996 (A. Ben Hadj Salem, 1999).

2.2. Pourquoi Unifier les Systèmes Géodésiques Terrestres Tunisiens

Avec l'introduction des techniques GPS dans les travaux de l'OTC, il est nécessaire d'avoir les coordonnées dans le système géodésique terrestre en vigueur. Or, la Tunisie disposait de différents systèmes géodésiques terrestres qui ne sont pas homogènes avec le système géodésique spatial terrestre. D'où la nécessité de la mise en place d'un système géodésique terrestre unifié homogène avec le spatial et répond plus aux applications de ces nouvelles technologies de positionnement.

2.3 Unification des Systèmes Géodésiques Terrestres

Une commission technique de géodésie a été créée à l'OTC pour la mise à niveau de la géodésie tunisienne comprenant notamment :

- la mise en place d'un référentiel spatial,
- l'unification des systèmes géodésiques terrestres,
- l'adoption d'une nouvelle représentation plane
- et la détermination d'un géoïde de précision.

2.3.1 Contrôle de la désorientation du système Carthage34 par GPS

A cet effet, une campagne de mesures GPS a été réalisée en janvier 2007 par l'observation des points Carthage, Bir Bou Regba, et Nef El Kelb en une session de 3 heures, en utilisant comme points d'appui Jbel Zid et Pilier Astronomique (n°100) points du Réseau GPS Tunisien de Référence Spatiale.

Grâce aux observations GPS, nous avons pu montrer la désorientation du Système Carthage34 et expliquer le décalage entre les coordonnées du système Calcul84 et du système Tunisien Carthage34. Ces résultats confirment les études et investigations faites auparavant. Ils mettent

aussi en évidence la nécessité de l'utilisation d'un réseau compensé à la place du réseau actuel (Carthage34).

2.3.2 Modélisation des déplacements entre Calcul84 et Carthage34

La comparaison des coordonnées Lambert Nord Tunisie de 48 points dans les deux systèmes a permis de modéliser le décalage entre le système Carthage34 et le nouveau calcul par une transformation mathématique conforme du type :

$$Z - z_0 = (z - z_0) \cdot e^{it} \quad (2)$$

avec :

- " z_0 " le centre de la rotation : point fictif près du point géodésique Gassaat Ej Jahfa, situé dans la région de Kasserine,

- " t " l'angle de rotation = -27 dmgr.

La transformation (2) est une fonction conforme de z représentant une rotation qui laisse invariant localement les formes des parcelles.

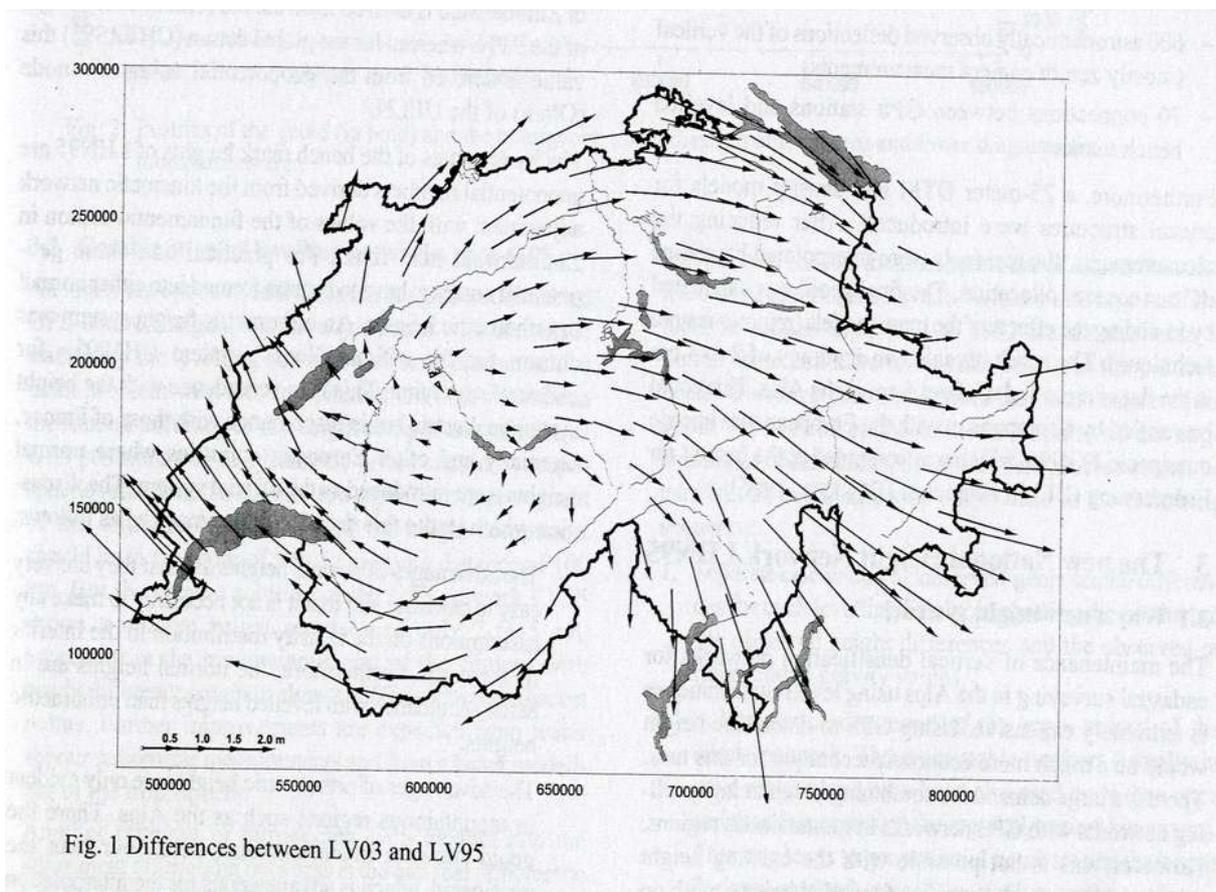


Fig. 7: les décalages entre le système ancien (LV03) et le nouveau (LV95)

Ce phénomène a été observé dans la plupart des pays qui ont changé de système géodésique. Voici ci-dessous (Fig. 7.) un exemple de la Suisse où on montre les décalages entre le système ancien (LV03) et le nouveau (LV95) (Extrait du rapport de la Suisse présenté au Symposium de la Commission EUREF, Sofia, 4-7 juin 1997. Publication de l'Académie Bavaroise de Géodésie, n°58, pp 212-218, 1997)

2.3.3 Contrôle de l'invariance de l'aspect foncier

La Commission a aussi étudié l'aspect foncier de l'utilisation du Calcul84. Des tests ont été réalisés sur des parcelles prises au hasard au nord, au centre et au sud du pays. Les résultats ont montré que les formes sont invariantes et les superficies sont dans la tolérance.

2.4 Adoption du Nouveau Système Géodésique Terrestre

Après études et tests des coordonnées issues du nouveau calcul, la Commission technique a abouti aux résultats suivants :

- Le système obtenu par le nouveau calcul laisse invariant les formes, les directions et les surfaces dans les tolérances requises.
- L'homogénéité de ce système géodésique offre :
 - * un meilleur passage au système spatial WGS84,
 - * une parfaite intégration des futurs travaux géodésiques et topométriques dans le référentiel spatial.

Dans sa réunion extraordinaire du 23 mars 2004, la Commission Technique de Géodésie a décidé d'adopter comme nouveau système géodésique terrestre le système issu des calculs de 1984 à savoir Calcul84 appelé ' **La Nouvelle Triangulation Tunisienne- NTT**' (A. Ben Hadj Salem, 2006). De même, la représentation UTM est retenue comme nouvelle représentation plane (A. Ben Hadj Salem, 2006).

2.5. Passage au Nouveau Système Géodésique NTT

Ayant adopté le système NTT, le réseau secondaire a été calculé en se basant sur les points géodésiques primordiaux.

Pour le passage aux coordonnées dans le nouveau système géodésique NTT, l'OTC a choisit les transformations polynomiales conformes du troisième degré soit :

$$Z = Z(z) = \sum_{n=0}^3 a_n z^n = a_0 + a_1 z + a_2 z^2 + a_3 z^3 \quad (3)$$

en posant $Z = X_{NTT} + iY_{NTT}$ et $z = X_{Cart} + iY_{Cart}$ et les a_n sont des constantes complexes. Soit :

$$X_{NTT} = \alpha_0 + \alpha_1 X_{Cart} - \beta_1 Y_{Cart} + \alpha_2 X_{Cart}^2 - 2\beta_1 X_{Cart} Y_{Cart} - \alpha_2 Y_{Cart}^2 + \alpha_3 X_{Cart}^3 - 3\beta_3 X_{Cart}^2 Y_{Cart} - 3\alpha_3 X_{Cart} Y_{Cart}^2 + \beta_3 Y_{Cart}^3$$

$$Y_{NTT} = \beta_0 + \beta_1 X_{Cart} + \alpha_1 Y_{Cart} + \beta_2 X_{Cart}^2 + 2\alpha_2 X_{Cart} Y_{Cart} - \beta_2 Y_{Cart}^2 + \beta_3 X_{Cart}^3 + 3\alpha_3 X_{Cart}^2 Y_{Cart} - 3\beta_3 X_{Cart} Y_{Cart}^2 - \alpha_3 Y_{Cart}^3$$

Ce système est à 8 inconnues : $\alpha_0, \beta_0, \alpha_1, \beta_1, \alpha_2, \beta_2, \alpha_3$ et β_3 ; et sa résolution nécessite la connaissance de 5 points communs dans les 2 systèmes. En fait, Le calcul est fait par feuille de 1/50000, le nombre des points en commun dépasse cinq. Les écarts-types obtenus sont au dessous de 10 cm.

Pour les utilisateurs, un programme informatique sous Excel a été mis en place qui permet le passage des coordonnées Lambert dans Carthage (34 ou 86) vers les coordonnées NTT en UTM.

3. L'ARRETE DU 10 FEVRIER 2009

Pour officialiser l'application du nouveau système géodésique terrestre NTT, un arrêté du ministre de la Défense nationale (en date du 10 février 2009) est paru dans le Journal Officiel de la République Tunisienne et qui fixe :

1. Le système national de référence unifié de la géodésie.
2. Le système national de référence de la projection cartographique.
3. Le système national de référence du nivellement.

3.1 Le système national de référence unifié de la géodésie

Il est défini par :

- le système national géodésique des coordonnées géographiques appelé – la Nouvelle Triangulation Tunisienne - (NTT).
- l'ellipsoïde associé : c'est l'ellipsoïde de Clarke 1880 français ($a = 6378249:20$ m, $b = 6356515:00$ m).

3.2 Le système national de référence de la projection cartographique

En pratique, on travaille sur le plan à l'aide des représentations planes ou projections. La représentation plane officielle de la Tunisie avant la parution de l'arrêté du 10 février 2009, était la représentation Lambert tangente. Le système national actuel de référence de la projection cartographique est défini par la projection Universal Transverse Mercator (UTM), fuseau 32 Nord.

Les caractéristiques de la Représentation UTM :

Définition : C'est une représentation :

- conforme c'est-à-dire conserve les angles,
 - cylindrique ==> on utilise les coordonnées rectangulaires (X; Y),
 - transverse ==> $X = X(\varphi, \lambda)$ et $Y = Y(\varphi, \lambda)$
- d'un modèle ellipsoïdique.

* Les éléments de définition sont :

- Ellipsoïde de Clarke Français 1880.
- Méridien origine : 9° à l'Est de Greenwich ou fuseau n°32.

- Facteur d'échelle : $k = 0.9996$.
- Constante en X : 500000.00 m.
- Constante en Y : 0.00 m.

3.3 Le système national de référence du nivellement

La Tunisie utilise le système des altitudes orthométriques. Le point fondamental ou référence des altitudes est le repère scellé sur le monument Porte de France à Tunis avec une altitude de 7.000 m au dessus du niveau moyen de la mer (Nouvelle compensation du Réseau de Nivellement Général de la Tunisie - 1961).

4. CONCLUSIONS

L'arrêté du 10 février 2009 a défini les fondements de la géomatique en Tunisie, car un pays sans les définitions précises de ses référentiels de géodésie, de nivellement et de cartographie ne peut avancer en la matière.

L'unification des systèmes géodésiques terrestres va permettre :

- d'abolir l'utilisation des systèmes isolés,
- le développement des bases de données et les systèmes d'informations géographiques sur l'ensemble du pays.

Avec le développement des systèmes spatiaux de positionnement (GPS, Glonass, Galiléo,...), de nouveaux équipements de levés vont apparaître. Le passage des coordonnées du système spatial à celles du système géodésique terrestre NTT respectera la précision demandée.

5. REFERENCES

- **C. Fezzani.** 1979. Analyse de la structure des Réseaux Astro-Géodésiques Tunisiens. Thèse de Docteur Ingénieur en Sciences Géographiques. ENSG. IGN France, septembre 1979.
- **A. Fontaine.** 1969. La Géodésie en Tunisie.
- **M. Charfi.** 1984. Les Travaux de Modernisation de la Géodésie Tunisienne.
- **A. Ben Hadj Salem.** 2002. Validation des coordonnées GPS du Réseau GPS Tunisien de Référence Spatiale.
- **A. Ben Hadj Salem.** 1999. Etude des calculs de la campagne GPS 19 juin-3 juillet 1996 observée par l'OTC et le Centre de Recherches Spatiales de l'Académie Polonaise des Sciences.
- **Publication de l'Académie Bavaroise de Géodésie, n°58.** pp 212-218, 1997.

- **A. Ben Hadj Salem.** 2006. Les Procès-verbaux de la Commission Technique Permanente de la Géodésie, Février 2002- Mars 2006. 37p.

BIOGRAPHICAL NOTES

Abdelmajid Ben Hadj Salem est Ingénieur Géographe Général, ancien élève de l'Ecole Nationale des Sciences Géographiques de l'IGN France, chargé actuellement de la coopération technique et du développement des ressources humaines. Spécialiste en géodésie, il a participé en 1982 aux travaux de terrain de la revalorisation de la géodésie tunisienne.

Membre de la commission technique de géodésie, il a étudié en détail les systèmes et les réseaux géodésiques tunisiens et a participé à la mise à niveau de la géodésie tunisienne. Il est aussi enseignant, depuis une vingtaine d'années en matière de géodésie à l'université tunisienne, il a rédigé plus de 100 notes et rapports en la matière.

Ben Hadj Salem était membre de l'AIG, il a participé aux calculs du projet Doppler dans le cadre du Consortium Africain de Traitement des Données Doppler. Il représente l'OTC à l'Organisation Africaine de Cartographie et de Télédétection en temps que expert technique. Il est aussi membre du comité de rédaction de la publication scientifique de l'OTC Géo-Top.

Contacts

Abdelmajid BEN HADJ SALEM
Office de la Topographie et du Cadastre
BP 156, 1080 Tunis Cedex
Tunis
TUNISIE
Tel. +216 71 771 100
Fax + 216 71 797 359
Email: abenhadjalem@gmail.com
Web site: www.otc.nat.tn