

2nd FIG Regional Conference and 10th Anniversary of ONIGT
Marrakech, Morocco, Decembre 2-5, 2003

Contribution à la Détermination des Déplacements Horizontaux Récents et des Paramètres de Tension des Plaques Africaine et Eurasienne dans l'Ouest Méditerranéen par GPS, pour la période 1997 - 2003

Présentée par:

R. Azzouzi, Prof. Assistant à la Filière de Formation en Topographie IAV Hassan II

En collaboration avec :

Prof. A. B. Rimi , Dpt de la Physique du Globe, Université Med V Rabat

Prof. M. Ettarid et Prof. El H. Semlali, Filière de Formation en Topographie IAV
Hassan II

1

PLAN DE L'EXPOSE

Introduction

Problématique

Objectif de la recherche

Approche méthodologique

Étude expérimentale

- Etablissement du réseau GEOGM
- Les campagnes GPS
- Résolutions et compensations
- Les résultats préliminaires

Conclusions et Recommandations

2

Introduction

➤ Position privilégiée:

Sur la plaque africaine et la ligne de frontière par rapport à la plaque eurasiennne;
Activités sismiques appréciables.

➤ Modèles globaux de mouvement des plaques

- RMI (Minster et al., 1974) ;
- RM2 (Minster et al., 1978) ;
- NUVEL 1 (DeMets et al., 1990);
- NNR-Nuvel-1A (DeMets et al., 1994).

➤ Les investigations géologiques et géophysiques prévoient un rapprochement entre les deux plaques.

3

Problématique

- Cette contribution comporte une étude sur l'utilisation du GPS pour des fins géodynamiques en Méditerranée Occidentale.
 - A partir des observations répétées GPS sur un réseau marocain lié à celui de l'IGS et EUREF:
 - Déterminer les mouvements.
 - Détecter les déformations tectoniques.
- Rem: De part et d'autre de la ligne de frontières entre les deux plaques africaine et eurasiennne

4

Méthodes utilisées

- Technique de la géodésie de précision GPS (précision absolue pouvant atteindre l'ordre du 1/10 mm ou même 1/100 mm sur les grandes lignes de base).
- Mesures géodésiques de rattachements.
- Programmes informatiques de traitement, d'analyse et d'interprétation:
 - Logiciels GPS scientifiques: GAMIT/GLOBK, BERNESE
 - Logiciels GPS commerciaux: WINPRISM, TRIMBLE GEOMATIC OFFICE, SKY PRO de LEICA
- Programmes pour le calcul des déformations et des déplacements.

5

Objectifs de l'étude

- Mesurer , analyser et étudier la cinétique des plaques et leurs déformations.
- Contribuer globalement à l'étude géodynamique de la région.
- Etudier les mouvements et les déformations de l'écorce terrestre en un certain nombre de points du territoire national en utilisant des mesures géodésiques GPS répétées.
 - Détecter et évaluer les déformations et les mouvements globaux causées par le déplacement des plaques tectoniques.
 - Mesurer l'augmentation de tension et son impact sur l'activité sismique;
 - Contribuer à l'étude de l'activité des failles majeures.

6

Objectifs de l'étude (Suite)

- Contribuer à une bonne connaissance de l'occurrence, de l'amplitude et de la prévision des séismes.
- Contribuer à garantir plus de sécurité pour tout projet d'aménagement du territoire:
 - les projets de construction des grands ouvrages (barrages, ponts, centrales électronucléaires...).
 - le plus grand ouvrage qui est celui de la liaison fixe entre l'Europe et l'Afrique à travers le Détroit de Gibraltar.

7

Approche méthodologique

Une recherche bibliographique.

Tectonique des plaques
Déformations terrestres
Géodynamique de la Méditerranée Occidentale, surtout marocaine
Etude des méthodes de détermination des paramètres de tension
Présentation du système GPS
Etude des méthodes de détermination des mouvements

Une étude expérimentale.

Mise en place des stations GPS géodynamique marocaines.

. Planification et matérialisations;

. Observations, traitements et compensations.

Evaluation des déplacements globaux des deux plaques.

Evaluation des déplacements et des paramètres de tension.

8

La tectonique des plaques

La dérive des continents avec Wegener (1912)
L'expansion des océans avec Hess (1962)
La tectonique des plaques avec Le Pichon (1968)

Les déformations terrestres

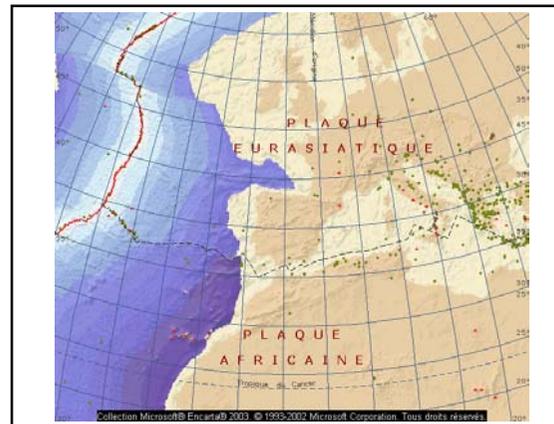
- Globales
- Régionales
- Locales

9

APERCU SUR LA GEODYNAMIQUE DE LA MEDITERRANEE OCCIDENTALE

- Failles transformantes ou de coulissage, faille de Gloria à l'Ouest de Gibraltar.
- Failles normales ou distension de la dorsale médio océanique de l'Atlantique (Triple jonction des Açores).
- Failles inverses ou de compression (le long de la ligne Gibraltar – Sicile).
- Dominée surtout par l'ouverture de l'Atlantique depuis 200 Millions d'années
- Collision entre la plaque Africaine et Eurasienne: orogenèse des Sierras Ibériques, des Pyrénées, des Alpes ...

10



La géodynamique marocaine

- Compression très lente due à la rotation de l'Afrique autour d'un pivot marocain.
- Collision entre les plaques Eurasienne et Africaine.
- Orogenèse des Cordillères Bétiques et du Rif.
- Oogenèse des Chaînes de l'Atlas, résultantes principales de l'extension atlantique (E-W) et de la compression (N-S).

12

Présentation du système GPS

- Le système NAVSTAR, GPS est un système de positionnement par satellites conçu et mis en service par le USDoD (Département de la défense des USA).
- Détermination du temps de la position et de la vitesse de la station.
- Système conçu pour toutes les conditions.
- Localisation globale (WGS 84) et en 3-D.
- Constellation actuelle de 28 satellites.

13

Présentation du système GPS

(suite)

- Période de 12 heures.
- Inclinaison de 55° par rapport au plan équatorial.
- Une durée de vie en moyenne de 10 ans.
- Visibilité au dessus de l'horizon entre 5 et 7 heures.
- les satellites émettent des messages vers les récepteurs et reçoivent d'autres de la part des stations de poursuite du système.
- Différents récepteurs à plusieurs usages.
- Poursuite des satellites NAVSTAR en parallèle par le système civil international IGS.

14

Quelques applications géodynamiques du GPS

- Djibouti pour l'étude du problème "Rifting" .
- Roumanie, en Turquie et à l'Ouest des Alpes.
- L' Arc Hellénique Ouest;
- Tokai au Japon .
- Taiwan.
- Etats Unies.
- Australie.
- etc..

15

Etude expérimentale

Les campagnes GPS

1. Etablissement de l'avant projet (première campagne débutant en l'an 1998).
2. Reconnaissance et matérialisation (première campagne).
3. Conception du réseau et observations des campagnes couvrant la période des années 1999 à 2003:
 - Les lignes de base du réseau entre une à plusieurs centaines de kilomètres.
 - Les récepteurs GPS bi-fréquences .
 - Le mode statique, avec des mesures continues, quasi continues de 72 heures.
 - Les éphémérides précises.
4. Rattachement de points par GPS.

16

Modélisation mathématique et résolution des systèmes

- Modèle mathématique.
- Ligne de base-distance déduite des observations GPS.
- Déformation des polyèdres sur cette base.
- Résolutions par moindres carrées (variation des paramètres) ou par usage des inverses généralisés

17

Calcul des paramètres de tension

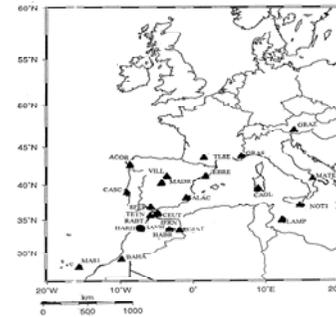
Description sommaire des méthodes de détermination des paramètres de tension:

- Méthode d'observations de Frank (1966)
- Généralisation de la méthode de Frank par Prescott (1976)
- Méthode des coordonnées intérieures Brunner(1979)
- Méthode des coordonnées intérieures et extérieures de Brunner et al. (1981)
- Méthode de réduction simultanée Bibby (1982)
- Méthode des éléments finis par Welsch (1983)
- Méthode polynomiale de Chrzanowski et al. (1982)
-

18

GEOGM Réseau GPS Géodynamique de la Méditerranée Occidentale.

19



Réseau GEOdynamique GPS de la Méditerranée Occidentale (GEOGM)

20

24 STATIONS DU RESEAU GEOGM

5 sites observés pour le réseau GEOGM:

IAVH, HARH, BMAT, BAHA, HABR

19 Sites observés pour les réseaux IGS ou/et EUREF:

RABT, MATE, GRAZ, GRAS, MADR, ILL, LAMP, MASI, SFER, TLSE, NOTO, CASC, CALG, EBRE, ALAC, ACOR, TETN, IFRN, CEUT

21

Répartition des sites par pays

- 9 sites au Maroc
- 7 sites en Espagne
- 4 sites en Italie
- 2 sites en France
- 1 station en Autriche
- 1 station au Portugal

22

Répartition par plaques

12 stations sur la plaque Africaine.
12 stations sur la plaque Eurasienne.

Remarque : La station NOTO (ou NOT1) se trouvant en Sicile se meut comme une station Africaine.

23

Missions d'observations GPS du réseau GEOGM

1997: Les stations permanentes du réseau IGS et EUREF.

1998: La station IAVH, et les stations permanentes du réseau IGS et EUREF.

1999: Les stations du projet AMIGO, celle de l'IAVH et celles du réseau IGS et EUREF.

2000: La station IAVH, et les stations permanentes du réseau IGS et EUREF

2001: Les stations du projet AMIGO, celle de l'IAVH et celles du réseau IGS et EUREF.

2002: Mission Meseta Occidentale.

2003: Mission Meseta Occidentale;
Mission Meseta Orientale et Moyen Atlas;
Mission Sud du Maroc.

24

Déplacements des stations

$$X_i = X_{i0} + (t - t_0) \frac{dX_{i0}}{dt} + S$$

X_{i0} : Position du point P à l'instant t_0

$\frac{dX_{i0}}{dt}$: Vitesse de déplacement, = $V_{\text{plaque}} + V_{\text{glace}} + V_r$

V_{plaque} : vitesse horizontale des plaques

Avec V_{glace} : Vitesse verticale due au rebond post-glaciaire

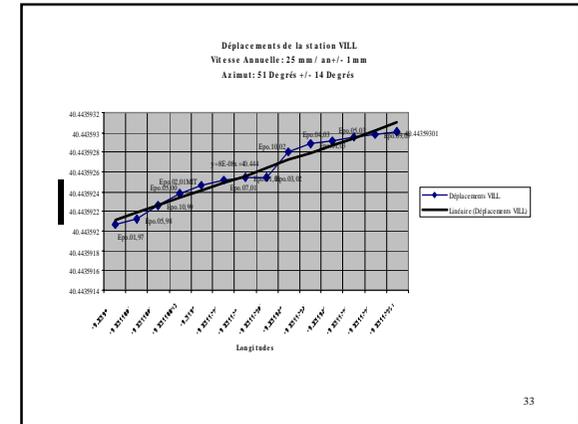
V_r : Vitesse résiduelle.

S : Corrections des effets temporels non uniformes, tels l'effet des marées terrestres (30 cm), des surcharges océaniques (quelques centimètres)...

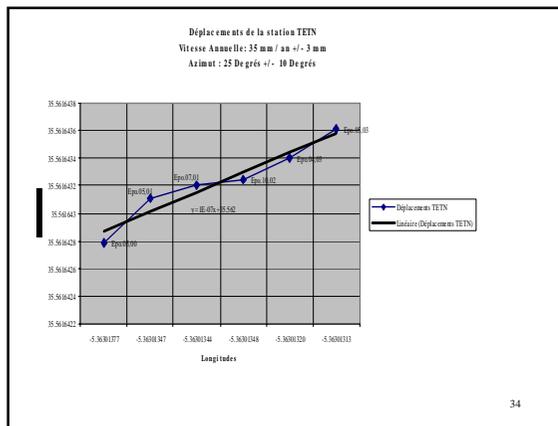
31

Tableau des déplacements des stations du réseau GEOGM											
Méthode directe											
Station	Latitude	Différence de latitudes	Différence de longitudes	Durée	Déplacement en latitudes	Déplacement en longitudes	Vitesse	Ecart type	Azimuth	Ecart type	
	Degrés	10 ⁻⁶ Degrés	10 ⁻⁶ Degrés	an	mm	mm	mm/an	mm/an	Degrés	Degrés	
ACOR	43.40	139	171	6.5	24	21	32	2	42	11	
ALAC	38.30	98	167	6.75	16	22	27	2	53	12	
BAHA	30.05	32	74	2.25	16	37	15	4	67	8	
BMAT	33.88	42	77	2.5	19	28	34	4	57	10	
CAGL	39.14	90	173	6.75	15	28	32	1	63	11	
CASC	38.69	102	110	6.75	17	14	22	2	40	15	
CELT	35.89	64	99	2	36	33	48	5	43	7	
EBRE	40.82	106	195	6.5	18	25	31	2	54	11	
GRAS	43.75	90	173	6.75	15	21	25	1	54	13	
GRAZ	47.27	83	181	2	14	21	25	3	56	13	
HABR	33.23	59	92	6.5	29	21	36	2	36	10	
IAVH	33.88	56	158	2.25	9	22	23	4	36	14	
IFRN	33.54	31	44	6.75	11	14	18	2	50	19	
LAMP	35.50	102	154	3	17	21	27	3	39	12	
MADR	40.43	109	98	6.75	18	12	22	1	34	16	
MASI	27.76	100	112	6.75	16	16	23	1	45	15	
MATE	40.65	107	192	6.75	18	24	30	1	54	11	
NOTO	36.88	16	79	6.75	5	20	21	1	76	16	
NOT1	36.88	50	40	3.5	17	11	20	1	32	17	
RABT	33.99	41	46	2.75	17	16	23	2	43	14	
SFER	36.46	99	122	6.75	16	16	23	1	55	15	
TETN	35.56	85	48	3	31	14	35	3	25	10	
TOUL	43.56	12	76	3.5	4	17	18	2	78	19	
TLSE	43.96	36	57	2.25	18	20	27	2	49	13	
VILL	40.44	94	192	6.75	15	19	25	1	51	14	

32



33



34

Calculs des paramètres de tension de la station 1 (IAVH) vers les 12 autres de la plaque Eurasienne

Station	Changement Max (rad/par an)		Azimut (degrés)	Dilatation par an
	De	Vers		
1	1	.55E-07	84.3	-1.0E-07
1	2	.38E-06	84.3	-7.1E-07
1	3	.22E-06	84.3	-4.0E-07
1	4	.22E-06	84.3	-4.0E-07
1	5	.49E-06	84.3	-9.1E-07
1	6	.71E-06	84.3	-1.3E-06
1	7	.82E-06	84.3	-1.5E-06
1	8	.11E-06	84.3	-2.0E-07
1	9	.25E-07	80.1	-1.0E-07
1	10	.25E-07	80.1	-1.0E-07
1	11	.44E-07	80.1	-1.7E-07

CALCULS DES PARAMETRES DE TENSION DE PART ET D' AUTRE DE LA LIGNE DES FRONTIERES ENTRE LES PLAQUES AFRICAINE ET EURASIENNE EN MEDITERRANEE OCCIDENTALE. RESEAU GPS GEOGM (1997-2003)

Nombre sites Afrique	Nombre sites Eurasie	Cisaillement Max (rad par an)	Azimut moyen (degrés)	Dilatation moyenne (par an)
(2003) 8	11	.42E-06	83°.9	-.4E-07

Calculs Reilly et al. (1992) .12E-06 87°/267' -.7E-07

Reilly et al. (1992) Geodetic determination of crustal deformation across the Strait of Gibraltar, Geophysical J. Int. 111, pp 391-398

Rem. : - Calculs préliminaires
- Deux sessions d'observations GPS concernées.

36

CONCLUSIONS et RECOMMANDATIONS

- Confirmer ou infirmer les investigations géophysiques par les observations in situ GPS.
- Déterminer et d'une façon précise les déplacements dans l'Ouest de la Méditerranée Occidentale.
- Impact de la détermination des paramètres de tension sur les séismes.
- Mieux définir le modèle géophysique dans la région.
- Intégrer le réseau GEOGM dans le nouveau réseau géodésique GPS Marocain.
- Intégrer le réseau GEOGM dans un réseau GPS régional, Africain, Européen et même international.

37



Merci pour votre attention



39