

Contribution à la détermination des déplacements horizontaux récents et déformations des plaques Africaine et Eurasienne dans l'Ouest Méditerranéen. Au cours de la période 1997-2003

Rachid AZZOUZI, Mohammed ETTARID, El Hassan SEMLALI et Abdelkrim RIMI, Maroc

Key words: Tectonique des plaques, Géodynamique, GPS, Méditerranée Occidentale, Ligne de frontière Açores - Sicile.

SUMMARY

This study focuses on the use of the geodetic spatial technique GPS (Global Positioning System) for geodynamic purposes generally in the Western Mediterranean area and particularly in Morocco. It aims to exploit this technique so as to detect and to determine movements across the boundary line between the African and Eurasian plates on some well-chosen GPS-Geodynamics sites. It will allow us also to estimate crustal dynamic parameters of tension that result. These parameters are linked to deformations of terrestrial crust in the region and they are also associated with tectonic constraints of the study area.

The usefulness of repeated measurements, the estimate of displacements and the determination of their temporal rates are undeniable. Indeed, sismo-tectonic studies allow a good knowledge of the of earthquake processes, their frequency their amplitude and may help for their prediction in the world in general and in Moroccan area especially. They allow also contributing to guarantee more security for all most important management projects, such as strategic buildings (dams, bridges, nuclear centrals). Actually as preliminary study, for the most important joint-project between Europe and Africa through the Strait of Gibraltar.

For this application, 24 GPS monitoring stations under the ITRF2000 reference frame are chosen in Eurasian and African plates. The sites are located around the Western Mediterranean and especially in Morocco. Exploiting parameters of positions and dispersions of these stations within the 1997-2003 period, the motion and the types of interaction between African and Eurasian tectonic plates can be estimated. Similarly, the crustal dynamic parameters of tension of these sites will be computed.

The occupation time on repeated observation sites is at least 72 hours. The measurements are continuous on permanent stations. The precise ephemerides are used in GPS computations. The post-treatments are done using commercial and scientific softwares as well. The coordinates obtained for two consecutive periods t_0 and t_1 within a period of 5 years, will be used by programs established for this purpose to estimate crustal dynamic parameters of tension as well as to evaluate the appropriate movements.

RESUME

Le présent article comporte une étude sur l'utilisation de la technique spatiale GPS (Global Positioning System) pour des fins géodynamiques en Méditerranée Occidentale d'une façon générale et au Maroc d'une façon particulière. L'étude vise à exploiter cette technique afin de détecter et déterminer les mouvements des plaques tectoniques et leurs directions dans la région frontière entre les deux plaques africaine et eurasienne et en un certain nombre de stations GPS-Géodynamique bien choisies. Les paramètres de tension qui en résultent sont aussi calculés. Ces paramètres sont liés aux déformations de l'écorce terrestre et aux contraintes tectoniques de la zone d'étude.

L'utilité des observations GPS répétées de ces éléments, la mesure des déplacements et la détermination des variations de ces derniers en fonction du temps est incontestable. En effet, les études sismotectoniques permettent une bonne connaissance de l'occurrence des séismes de leur amplitude et même tenter leur prévision. Elles permettent surtout de contribuer à garantir plus de sécurité pour tout projet d'aménagement du territoire, notamment les projets de construction des grands ouvrages (barrages, ponts, centrales électronucléaires...) dont l'édification de l'ouvrage de la liaison entre l'Europe et l'Afrique à travers le Déroit de Gibraltar.

Pour cette fin, 24 stations GPS ont été choisies sur la plaque Eurasiatique et sur la plaque Africaine autour de la Méditerranée Occidentale et surtout sur le territoire marocain. Exploitant les paramètres de position et dispersion de ces stations pour deux époques t_0 et t_1 au cours de la période 1997-2003, le mouvement et le type d'interaction entre ces deux plaques peuvent être évalués, ainsi que les paramètres de tension en ces sites. La durée d'occupation est de 72 heures successives sur les stations à mesures répétées, et d'une façon continue sur les stations permanentes. Les éphémérides utilisées dans les calculs GPS sont les éphémérides précises. Les logiciels de post traitement utilisés dans cette étude sont des logiciels de type commerciaux ou de recherche.

Contribution à la détermination des déplacements horizontaux récents et déformations des plaques Africaine et Eurasienne dans l'Ouest Méditerranéen. Au cours de la période 1997-2003

Rachid AZZOUZI, Mohammed ETTARID, El Hassan SEMLALI et Abdelkrim RIMI, Maroc

1- INTRODUCTION

En se trouvant à la frontière entre la plaque eurasiennne et africaine, le Maroc occupe une position privilégiée pour les études géodynamiques. Il se trouve sur la plaque africaine et sur la ligne de frontière Afrique – Eurasie. La ligne allant des Açores à l'Ouest jusqu'à la Sicile à l'Est est le lieu d'un rapprochement qui se traduit par des déformations tectoniques multiples et une activité sismique appréciable (Ben Sari, 1987; LePichon, 1968; et McKenzie, 1969 et 1972), dont le séisme majeur d'Alger en date du 21 mai 2003, de magnitude 6.7. Les modèles globaux de mouvements des plaques tels que RM1 (Minster et al., 1974), RM2 (Minster et al., 1978), NUVEL 1 (DeMets et al., 1990), NNR-Nuvel-1A (DeMets et al., 1994) et les études géologiques et géophysiques prévoient un rapprochement entre les deux plaques africaine et eurasiennne dans cette région (Mattauer, 1973) (figure.1).

Depuis longtemps les mesures des déformations de l'écorce terrestre à l'échelle locale, régionale ou globale, se faisaient par les géodésiens pour des échelles temporelles récentes, tandis que les géophysiciens et les géologues l'utilisent pour des échelles de temps de l'ordre de millions d'années d'autre part (Nyland, 1977)

Les déterminations géodésiques répétées ont contribué à l'observation, l'étude et l'analyse de la cinématique des plaques tectoniques et les déformations qui en résultent. Elles ont eu aussi un impact sur l'étude de l'activité des failles majeures (San Andreas en Californie comme exemple). Les études aboutissent à la déduction des variations spatiales et temporelles des taux d'accumulation des tensions le long des lignes de frontière entre les plaques.

En effet de la part des géodésiens, les premières mesures ont été prises par des techniques géodésiques conventionnelles. Evidemment, ces mesures à l'échelle régionale et globale étaient difficiles ou même impossibles à effectuer avec ces techniques. Elles présentaient un certain nombre d'insuffisances, aussi bien au niveau technique qu'au niveau économique. On peut citer le problème de l'intervisibilité entre les points, et la limitation de la distance entre eux. Par ailleurs, les méthodes optiques de mesures de directions angulaires (triangulation), l'utilisation de la propagation de l'onde électromagnétique pour les mesures des distances (trilatération) ou une combinaison des deux méthodes précédentes (triang-trilatération et polygonation géodésique) ont montré leurs preuves spécialement depuis les années 60 et jusqu'au années 80, voir par exemple (Savage et al. 1973; Savage et al. 1978; Prescott et al. 1979, 1981; Savage 1983; Segall et al. 1986). Ces méthodes deviennent délicates lorsque les conditions météorologiques ne sont pas favorables. De plus, elles restent bi-dimensionnelles pour des déterminations horizontales et il faut chercher auprès du nivellement géométrique de précision pour avoir la troisième dimension.

Ces problèmes ont pu être surmontés par les techniques nouvelles de la géodésie spatiale (LLR, SLR, VLBI, GPS...) ont pu surmonter tout en garantissant une précision meilleure et en réduisant le temps et le coût des travaux. L'avènement des nouveaux systèmes de géodésie spatiale tridimensionnels, à partir de l'année 1960 tels, l'interférométrie à très longue base ou "VLBI", la Télémétrie Laser sur Satellite ou "SLR" et la Télémétrie Laser sur la lune ou "LLR" ouvrent de nouveaux espoirs pour les opérations de géodésie en général et la géodésie géodynamique en particulier dans le sens de l'amélioration de la précision la durée et le coût des travaux (Larson et al. 1991a et 1991b).

Ces nouveaux systèmes de mesure se distinguent par leur capacité d'opérer en tout temps, à n'importe quel endroit du globe terrestre et sous différentes conditions climatiques. Ils permettent de pallier à la contrainte d'intervisibilité entre stations au sol, et de travailler dans un système universel et mondial.

Les techniques GPS peuvent être utilisées pour des déterminations géodynamiques en trois niveaux: local (<50km), régional (<2000km) et global (>2000km). Chaque niveau a ses propres applications géophysiques, et ses techniques appropriées pour atteindre la précision recherchée. Cette précision est près de 10^{-7} pour l'échelle locale, et arrive à environ 10^{-9} pour l'échelle globale (Blewitt, 1990). Pour arriver à cette précision, le plus important paramètre à améliorer c'est la détermination de l'orbite précise.

Parmi les techniques de la géodésie spatiale, le système NAVSTAR GPS est devenu, depuis que la constellation a été complétée, le plus adapté pour la détection et l'évaluation des déformations de l'écorce terrestre. En effet, le GPS constitue actuellement un procédé de mesure par satellites permettant la détermination rapide, exacte et précise de la position dans des réseaux locaux, régionaux, continentaux voire même globaux.

2. PROBLEMATIQUE ET OBJECTIF

Ce travail présente une étude de la situation géodynamique en Méditerranée Occidentale et particulièrement au Maroc par l'utilisation de la technique spatiale GPS (Global Positioning System).

Les mouvements de part et d'autre de la ligne de frontière entre les deux plaques africaine et eurasiennne sont déterminés en un certain nombre de stations du réseau *GEOGM* (*GEODynamique par GPS de la Méditerranée Occidentale*), ainsi que le calcul des paramètres de tension qui en résultent. Afin qu'on puisse déduire, à l'issue d'une répétition ultérieure des mesures, des déformations de l'écorce terrestre associées aux contraintes tectoniques (Rebai, 1990).

Les mesures GPS permettent d'observer l'activité des failles majeures d'étudier et d'analyser la cinétique des plaques tectoniques et leurs déformations. Le GPS reste jusqu'à présent la technique de la géodésie spatiale la mieux adaptée pour la détection et l'évaluation des déformations de l'écorce terrestre et des mouvements entre plaques tectoniques, avec des précisions qui atteignent l'ordre de 10^{-8} (un centième de partie par millions) ou même 10^{-9} (un millième de partie par millions) pour des bases atteignant quelques milliers de kilomètres (King et al. 1985 et Botton et al., 1997). Le GPS permet entre autre de détecter et d'évaluer les déformations et mouvements globaux causés par le déplacement des plaques tectoniques rigides les unes par rapport aux autres.

La mesure des déplacements et la détermination des leurs variations en fonction du temps sont déduites des observations GPS répétées et continues. Elles pourront contribuer à une bonne connaissance de l'occurrence des séismes et de concourir à garantir plus de sécurité pour tout projet d'aménagement du territoire.

3. APERÇU SUR LA GEODYNAMIQUE DE LA MEDITERRANEE OCCIDENTALE

Le présent travail porte sur l'étendue de tout le Maroc, et en particulier le long de la ligne de frontière Açores – Sicile, pour comprendre les interactions au niveau de cette ligne qui englobe l'extension le long de la zone qui traverse l'Ouest Européen et l'Afrique vers les Açores. Cette ligne de frontière entre les plaques africaine et eurasienne est marquée par différents types de failles, essentiellement (figure.1):

- les failles transformantes ou de coulissage, faille de Gloria à l'Ouest de Gibraltar;
- les failles normales ou de distension de la dorsale medio océanique de l' Atlantique au niveau de la triple jonction des Açores;
- les failles inverses ou de compression, le long de ligne Gibraltar Sicile.

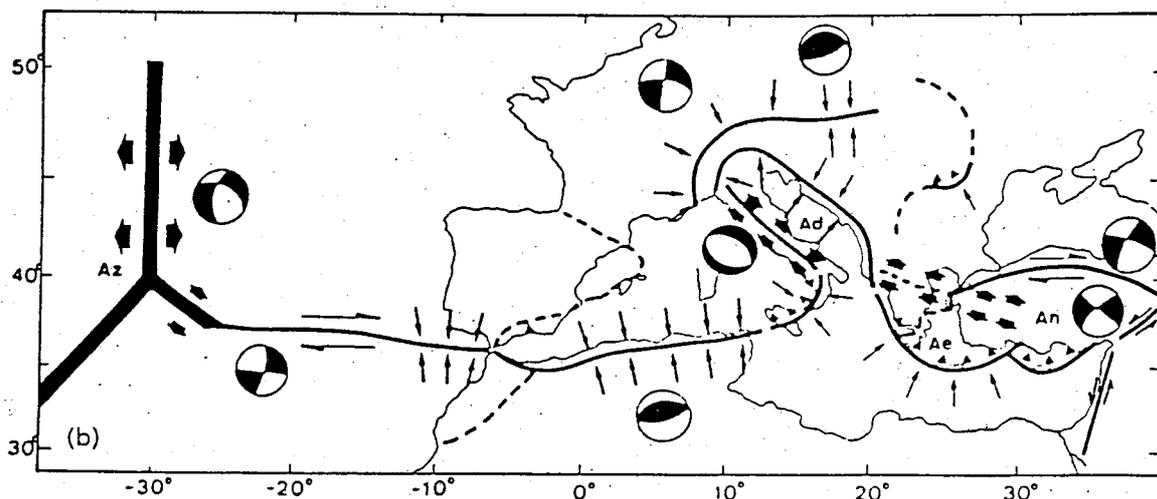


Figure 1: Séismicité et solutions des failles planes d'après Waniek et al. (1982)

L'ouverture de l'Atlantique débute dans sa partie centrale au Trias (entre 230 et 200 Ma). Au Jurassique), le fonctionnement d'une grande faille Est-ouest (Açores – Gibraltar) décale l'ouverture vers l'Est et l'Océan Alpin naît (figure.2). Ce dernier sous la contrainte des deux continents d'Europe et Afrique, se ferme, par contre l'Océan Atlantique continue à s'ouvrir au Nord et au Sud. L'ouverture de l'Atlantique a pris naissance au Lias (il y a 180 millions d'années environ) pour sa partie méridionale au sud des Açores. Elle n'a commencé qu'au Campanien (il y a environ 72 Ma) pour l'Atlantique Septentrionale au Nord de cet archipel. L'Eurasie et l'Afrique ont donc formé deux plaques ayant des mouvements indépendants (Ben Sari, 1987). La phase actuelle qui n'a commencé qu'au Lutétien (il y a environ 48 Ma)

est une phase de blocage général. Elle s'accompagne d'une compression très lente due à la rotation de l'Afrique autour d'un pivot marocain. Pour le groupe de recherche néotectonique (1976) il y a bien compression, mais celle-ci n'a débutée qu'avec le quaternaire. Elle fut précédée par une distension au Néogène (entre 25 et 1.8 Ma)

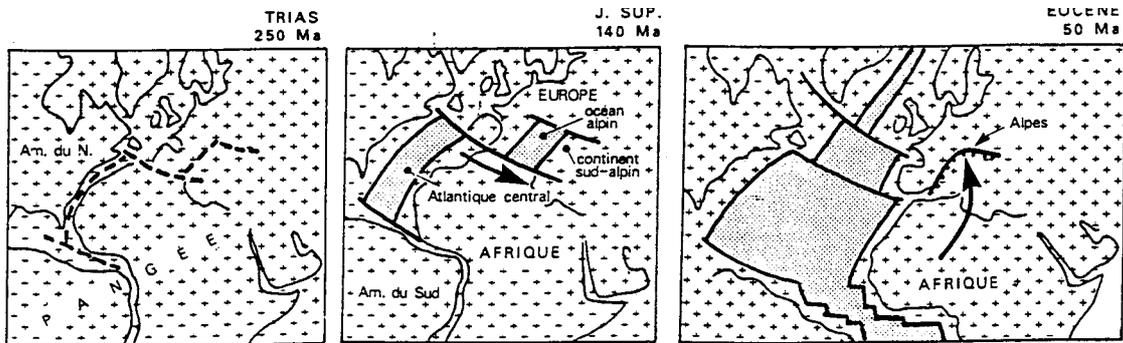


Figure 2: Ouverture de l'Océan Atlantique: naissance et fermeture de l'Océan Alpin d'après Nougier (1993)

Tenant compte de ceci, il y a bien collision entre les plaques eurasiennne et africaine, collision responsable aussi des déversements et chevauchements. Ce qui explique l'orogénèse des Cordillères Bétiques et du Rif. Quant aux chaînes de l'Atlas, elles sont la résultante principale de l'extension atlantique (E-W) et de la compression (N-S). L'affrontement de masses continentales donne en effet naissance à un ensemble de failles de décrochements ou à la réactivation d'anciennes.

Les cartes des épacentres (Barazangi et al., 1969) et les analyses des magmas volcaniques montrent que le contact entre les deux plaques, s'étend le long des cotes de l'Afrique du Nord de Gibraltar vers Tunis et Sicile. Pour Caputo et al.(1970), le plan de faille solution pour la Méditerranée Occidentale montre un coulissage dextre, dans la direction E-W le long de la ligne Nord Afrique vers la Sicile. La vitesse de collision dans cette région est inférieure à 1 cm, évaluée par une valeur moyenne d'environ 6 mm d'après le modèle global de DeMets et al. (1994).

4. ETUDE EXPERIMENTALE

4.1 Etablissement du réseau GEOGM

Pour cette application, 24 stations GPS du réseau GEOGM sont choisies, avec 12 stations sur la plaque eurasiennne et 12 stations sur la plaque africaine principalement sur le territoire du Maroc et de l'Espagne. Exploitant les paramètres de position et de dispersion de ces stations au cours de la période 1997 - 2003, nous allons évaluer les mouvements actuels et le type d'interaction entre ces deux plaques. De même nous allons calculer les paramètres de tension en ces sites.

La mise en place des stations marocaines du réseau GEOGM a consisté, en se basant sur des données géodynamiques, à planifier sur documents cartographiques et tectoniques le choix préférable des points. Au cours de la sortie sur le terrain et dans la région choisie un certain nombre de critères sont pris en considération, en particulier, l'éloignement des pylônes, de tout obstacle à risque de multitrajet, l'accès facile, l'affleurement de la roche saine etc.... La

matérialisation se fait en scellant une tige en acier dans une fouille dans cette roche d'environ 1 centimètre de diamètre et de 15 centimètres de long. Les fouilles sont creusées dans des roches mères solides en utilisant des perceuses rotatives à moteur. Sur le haut de la tige en acier sont gravés quatre lettres qui désignent la station.

La station IAVH est construite depuis 1998 sur le toit du bâtiment de la Filière de la Formation en Topographie de l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II de Rabat. La station est matérialisée par une petite borne cylindrique en béton surmontée par un support métallique qui peut recevoir l'antenne.

Un certain nombre de programmes sont réalisés et d'autres sont en cours de réalisation pour permettre de mettre en évidence les déplacements des deux plaques africaine et eurasienne et la détermination des paramètres de déformation (composantes d'extensions et de cisaillements) en se basant sur les données GPS et aussi en appliquant celles fournies par les modèles géophysiques. Les modèles géologiques pris en compte sont ceux de Minster et Jordan (1974 et 1978) RM-1 et RM-2 et de DeMets et all. (1990) NUVEL-1. Delà on pourra comparer les résultats obtenus en se basant sur des données géodésiques (observations GPS) et des données géologiques (modèles).

4.2. Les campagnes GPS

Chaque campagne GPS a répondu à des exigences de précision et de fiabilité, à un délai d'exécution et à un coût minimum. On a effectué diverses étapes de préparation, passant par l'établissement de l'avant projet, la reconnaissance et la matérialisation et les observations des différentes campagnes

Les lignes de base du réseau choisies ont des longueurs variant d'une à plusieurs centaines de kilomètres. Les récepteurs utilisés sont des récepteurs GPS bifréquences. Le mode statique est la méthode de base des observations GPS géodésiques. Les éphémérides utilisées dans les calculs GPS sont les éphémérides précises de l'IGS (International GPS Geodynamics Service) dont la précision est de l'ordre de quelques centimètres. Les coordonnées des points de référence disponibles dans le système ITRF2000 sont obtenues à partir des fichiers de l'IGS.

A partir des mesures continues et répétitives GPS sur les points du réseau marocain et sur d'autres stations Ouest Méditerranéenne celles de l'IGS ou et de l'EUREF (European Reference Frame) (constituant un polyèdre, les déplacements actuels et les paramètres de tension peuvent être déterminés au niveau de chaque station du réseau GEOGM.

Les calculs post-traitement sont effectués par des logiciels commerciaux (Winprism d'Ashtech Trimble Geomatics Office, SkyPro de Leica) et scientifiques tels GAMIT/GLOBK de MIT (Massachusetts Institute Technology) des USA et BERNESE de l'Institut d'Astronomie de l'Université de Berne Suisse. La précision trouvée pour les stations observées au Maroc est de l'ordre de quelques millimètres selon la composante latitude, presque le double pour les deux autres composantes de la longitude et de l'altitude. Elle est meilleure pour les stations IGS et EUREF.

La durée d'occupation des stations marocaines par des récepteurs bifréquences Ashtech Z-Surveyor est de 72 heures. L'angle de coupure adopté est de 10 ° et l'époque d'enregistrement choisie est de 30 secondes.

Les données GPS des autres stations permanentes sont collectées. Une fois les missions réalisées, les fichiers des sessions d'observations obtenus à partir des récepteurs ont été

traités, les fichiers de résultats seront utilisés pour l'ajustement du réseau par la méthode des moindres carrés afin d'obtenir une seule détermination des coordonnées des points du réseau pour chaque session.

Un soin particulier est accordé pour les traitements avec filtrage des observations (brutes, navigations, météorologiques etc....), usage des éphémérides précises, des coordonnées des points de référence IGS. et compensations (libre, contraintes minimales ou avec contraintes).

4.3 Résolutions et compensations

Les mesures GPS sont répétitives et périodiques sur les points du réseau marocain (chaque année). Elles sont continues sur ceux du réseau IGS ou EUREF. Elles constituent un polyèdre et permettent entre autres de déterminer les déformations. Les longueurs des lignes de base et aussi les coordonnées de ce réseau sont comparées à leurs valeurs correspondantes à l'époque initiale. Cette comparaison permet de déterminer comment et de combien le polyèdre a été déformé et les points se sont déplacés.

Expression du modèle mathématique

La déformation des polyèdres peut être estimée par ligne de base L_{ij} :

$$L_{ij} = [(X_j - X_i)^2 + (Y_j - Y_i)^2 + (Z_j - Z_i)^2]^{1/2}$$

Où $(X_i, Y_i, Z_i)^T$ et $(X_j, Y_j, Z_j)^T$ correspondent aux coordonnées cartésiennes des deux extrémités i et j de la ligne de base.

Il est fondamental que la linéarisation de ce modèle soit réalisée par rapport aux coordonnées initiales X_0, Y_0, Z_0 qui définissent la référence pour pouvoir contrôler les variations temporelles du polyèdre.

La linéarisation de la ligne de base L_{ij} par rapport à X_0, Y_0, Z_0 est donnée par:

$$L_t(i, j) = L_0(i, j) + \frac{\delta L}{\delta X_i} \times (X_i - X_{j0}) + \frac{\delta L}{\delta Y_i} \times (Y_i - Y_{j0}) + \dots + \frac{\delta L}{\delta Z_i} \times (Z_i - Z_{j0})$$

L'équation d'observation est: $V = A X + \Delta L$ où $\Delta L = L_t - L_0$

La matrice A des coefficients contient les dérivées partielles par rapport à X_0, Y_0, Z_0 .

Où: $n = p(p-1)/2$: nombre d'observations

p : nombre de stations; $u = 3p$; u : nombre de paramètres.

$\sigma^2 P^{-1}$ est la matrice de variance covariance de la ligne de base L_t , où σ^2 est la variance de poids unitaire.

Le vecteur paramètre X inclus les déformations du polyèdre c'est à dire le changement de coordonnées $(\Delta L_0, \Delta X_{i1}, \dots)$. Le rang de la matrice A est défini par: $R(A) = 3p - 6$. Dû au défaut de rang qui est égale à 6, trois cas seront considérés:

Le premier cas où p est égal à 24, le réseau GEOGM est considéré en entier, les résolutions sont par moindres carrés, libres, avec contraintes minimales ou avec contraintes, et c'est le cas considéré jusqu'à date.

Eventuellement, pour $p = 7$ concernant le second cas, seulement sept stations seront prises en considération, et la résolution est régulière.

Enfin pour $p = 6$, six sites seront considérés, la résolution est par inverses généralisés.

Pour l'analyse des déformations de part et d'autre de la ligne de frontière Açores - Sicile et le calcul des tensions qui en résultent la méthode des coordonnées intérieures proposée par Bruner en 1979 a été utilisée. Les raisons du choix de cette méthode sont multiples. D'abord c'est une méthode qui permet d'incorporer tous les types de levés géodésiques exécutés à deux périodes différentes. Ensuite, l'importance des coordonnées intérieures pour les levés de déformation a été démontrée par Pelzer (1971). Cette méthode tient aussi compte, en plus des déformations horizontales, des différences d'altitudes entre les points du réseau permettant ainsi l'analyse des déformations dans un système tridimensionnel X, Y, Z (cas des réseaux établis par GPS).

4.4 Les résultats préliminaires

Les déplacements des sites du réseau GEOGM sont déduits des résultats des traitements des observations GPS par rapport au système ITRF2000 (Al Tamimi, 2001). La vitesse horizontale et son azimut pour chaque station tenant compte du modèle suivant (Boucher,1995):

$$X_t = X_{t_0} + \dot{X}_0 (t - t_0) + S$$

X_t : position du point P à l'instant t; X_{t_0} : position du point P à l'instant t_0 ; \dot{X}_0 : vitesse de déplacement; S est l'ensemble des corrections des effets temporels non uniformes.

A titre indicatif et selon la période 1997-1998, la figure 4 présente l'IAVH - Maroc. C'est une station relative à la plaque africaine et dont les déplacements se font selon une vitesse moyenne de 23 mm/an et d'azimut 46°. Et aussi la figure 5, montre celle du site CASC-Protugal dont la vitesse moyenne est de 22mm/an et d'azimut 40°, de la plaque Eurasienne. Ces valeurs obtenues sont de même tendance que celles rapportées par Herring (1999) dans la figure 4 de son article sur les applications géodésiques du GPS. Mais elles sont de l'ordre de quatre fois plus que celles émises d'après le modèle global de DeMets et al. (1994).

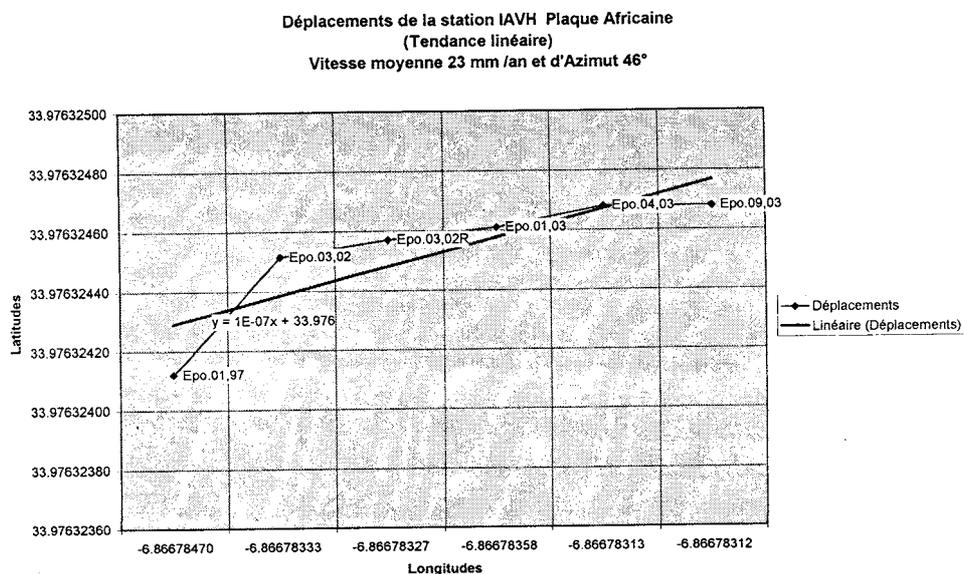


Figure 4. Déplacements de la station IAVH (Maroc) de la plaque Africaine

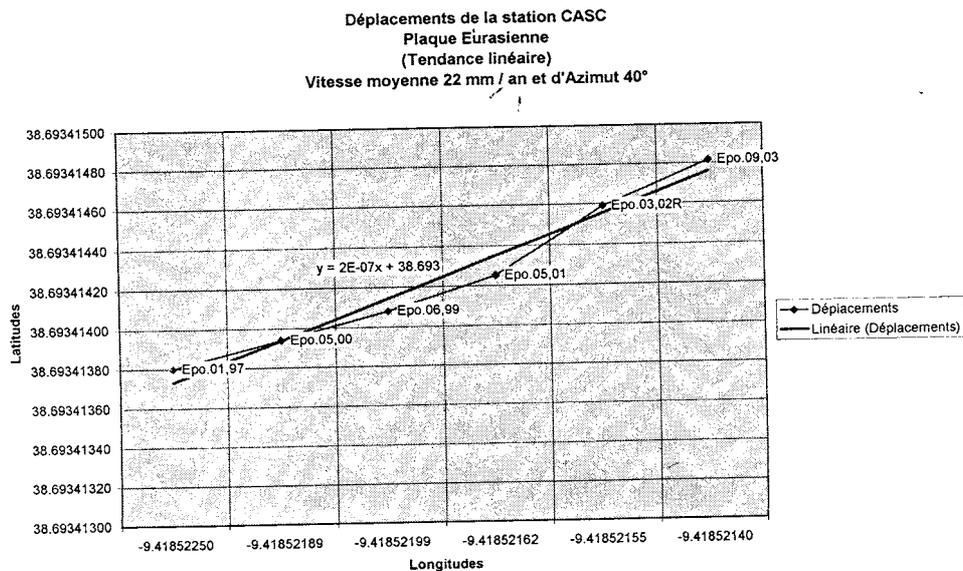


Figure 3. Déplacements de la station CASC (Portugal) de la plaque Eurasienne

Les calculs préliminaires des paramètres de tension de part et d'autre de la ligne des frontières africaine et Eurasienne en Méditerranée Occidentale résultent de ceux des déplacements. Les résultats obtenus pour deux sessions d'observations GPS ont été pour le cisaillement maximal moyen $\gamma_M = 0.42 \cdot 10^{-6}$ radians par an, avec un azimut moyen de $Az_M = 83^\circ.9$ et une dilatation moyenne $D_M = -0.4 \cdot 10^{-7}$. Ces résultats vont dans le même sens que ceux trouvés par Reilly et al. (1992) dans la région du Déroit de Gibraltar dont les valeurs sont les suivantes $\gamma_M = 0.12 \cdot 10^{-6}$ rad/an, $Az_M = 87^\circ$ et $D_M = -0.7 \cdot 10^{-7}$.

5. CONCLUSIONS et RECOMMANDATIONS

Le rapprochement entre les plaques eurasiennne et Africaine déduit des modèles géophysiques et suite aux investigations géophysiques et géologiques effectuées de part et d'autres de ligne de démarcation Açores –Sicile passant par le Déroit de Gibraltar, dans la zone de la méditerranée occidentale, pourra être confirmée ou infirmée par les résultats déduits des mesures in situ par la technique GPS. De même les paramètres de tension seront déterminés au niveau du réseau GEOGM, dont l'intérêt des études sismiques est très important. Ceci permettra de mieux cerner les zones à activité sismique appréciable en mesurant la vitesse de leurs déplacements et les tensions. Ces déterminations pourront également contribuer à la prévision des tremblements de terre en surveillant le développement de la tension dans les régions actives.

L'étude a nécessité l'implantation d'un réseau GPS sur le territoire marocain en liaison avec les stations permanentes choisies du réseau international IGS et EUREF dans la Méditerranée Occidentale, avec des mesures répétitives. Il est souhaitable que ce dernier soit intégré au niveau du nouveau réseau GPS géodésique de base national en cours d'établissement pour le consolider, permettre la jonction des réseaux géodésiques Africains (NAFREF et AFREF) et

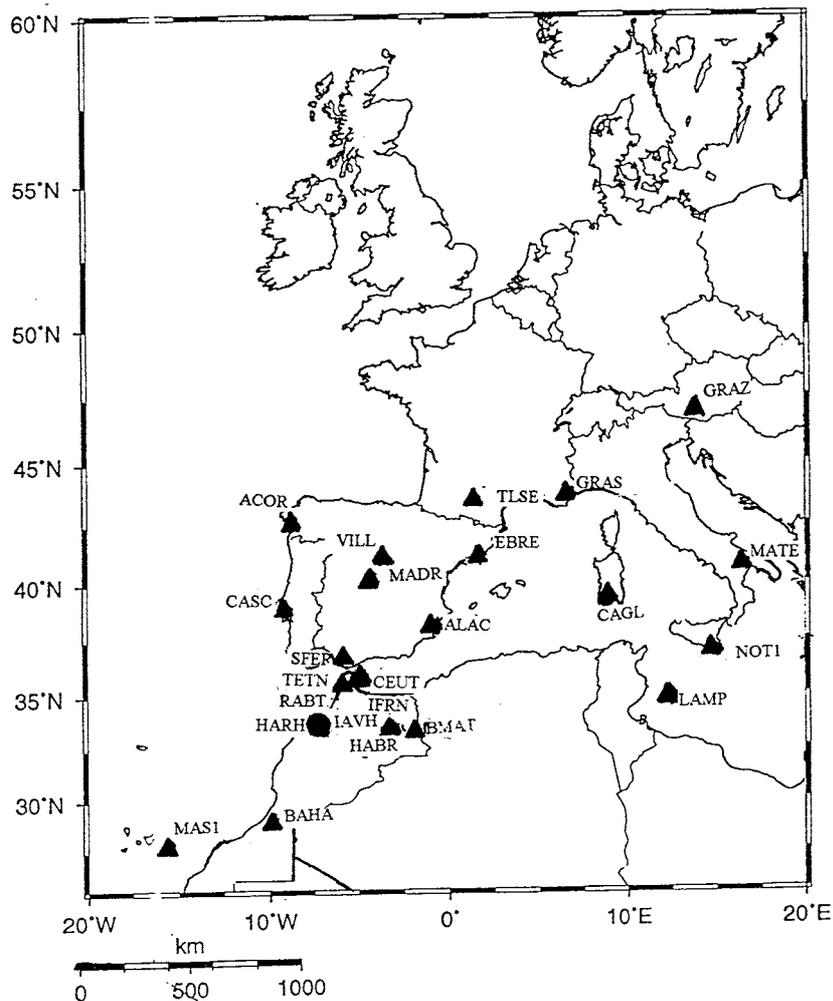
Européens (EUREF), et l'intégration au système international terrestre de référence (ITRF). De là il va répondre aux attentes des deux volets géodésique et géodynamique.

L'étude peut aussi contribuer à la définition d'un modèle géophysique de la région Ouest Méditerranéenne. Elle peut permettre la compréhension de la géodynamique des zones frontalières Açores- Sicile des plaques Africaine et Eurasienne.

Les observations sur les stations permanentes

Les programmes de calcul pour la détermination des mouvements des plaques et des paramètres de tension sont validés. Ils seront appliqués aux données de toutes les sessions, pour fournir les résultats définitifs. L'analyse des résultats et leurs interprétations sera la phase finale de notre étude. Mais des calculs préliminaires sur les points connus pour deux époques différentes montrent une cohérence avec les paramètres calculés par d'autres organismes scientifiques du domaine.

A partir des observations GPS répétées et continues des stations du réseau GEOGM des valeurs concernant les mouvements récents des deux plaques africaine et eurasienne de l'Ouest Méditerranéenne en général et Marocaine en particulier seront déterminées. Ces valeurs seront comparées à ceux déduits de modèles globaux de mouvement des plaques. Et au niveau des stations GEOGM les paramètres de tension sont aussi calculés.



Réseau GEODynamique GPS de la Méditerranée Occidentale (GEOGM)

REMERCIEMENTS

Nos vifs remerciements vont à l'Agence Nationale de la Conservation Foncière de la Cartographie et du Cadastre / Division de la Cartographie/Service de la Géodésie du Maroc et Service Cartothèque et Photothèque Nationales, à l'Ecole Mohammedia d'Ingénieurs de l'Université de Mohammed V de Rabat, à l'Institut Géographique National de France / LAREG et Service de Géodésie et de Nivellement, aux Universités Nord Américaine Massachusetts Institute of Technology et celle de Cornell, au Service IGS (International Geodynamics GPS Service), et au centre Crustal Dynamics Data Information System de la NASA, pour leurs contributions, et à Mr M. Bensaid pour sa pré lecture de cet article.

TS 9- Regional Reference Frame

12/16

Rachid Azzouzi, Mohamed Ettarid, El Hassan Semlali et Abdelkrim Rimi

TS9.5 Contribution à la détermination des déplacements horizontaux récents et des déformations des plaques africaine et eurasiennne dans l'Ouest Méditerranéen, au cours de la période 1997-2003

2nd FIG Regional Conference

Marrakech, Morocco, December 2-5, 2003

RÉFÉRENCES

- Altamimi Z.(2001) <http://lareg.ensg.ign.fr/ITRF/ITRF2000>.
- Barasangi R.W. et Dorman A.J. (1969) Crustal Mouvement Investigations, Taft-Majave. Area Californie, 1959-60, 1967, Operational Data Report, DR 5 et 6, Office of Geodesy and Photogrammetry, Rockville.
- Ben Sari D (1987) Connaissance Géophysique du Maroc, Editeur CNCPRST, 207 p.
- Boucher C. (1995) Références Terrestres et Références Célestes .Publication interne SC2, LAREG, ENSG-IGN, France.
- Botton S., P. Willis, et F. Duquenne (1997) GPS Localisation et Navigation, Hermès, Paris, p157.
- Brunner F.K (1979) On the Analysis of Geodetic Network for the Determination of Incremental Strain Tensor, Survey Review 25, 192, pp 56-57.
- Brunner F.K., Coleman R., et Hirsh B. (1981) A Comparison of Computation Methods for Crustal Strain from Geodetic Measurements, Tectonophysics, Vol 71, pp 281-298.
- Caputo M., G.F. Panza, et D. Postpischl (1970) Deep Structure of the Mediterranean Basin, Journal of Geophysical Research, Vol. 75, N° 26, pp 4919-4922.
- DeMets C, R.G. Gordon, D.F. Argus, et S. Stein (1990) Curent Plate Motions, Geophys. J. Int. 101, Acoustics Division, Naval Research Laboratory, Washington, DC. 20375, USA, PP 427-444.
- DeMets C, R.G. Gordon, D.F. Argus, et S. Stein (1994) Effect of Recent Revisions to the Geomagnetic Reversal Time Scale on Estimates of Current Plate Motions, Geophys. Res. Letters21, pp 2191-2194.
- Groupe de recherche néotectonique de l'Arc de Gibraltar (1976) Histoire Tectonique Récente de l'Arc de Gibraltar et des Bordures de la Mer Alboran. Conclusions Générales. Signification Géodynamique des Phénomènes Observés. Colloque ATP Géodynamique Occidentale et de ses Abords, Montpellier, 1976.
- Herring T. A. (1999) Geodetic Applications of GPS, Proceedings of the IEEE, Vol. 87, No. 1 January 1999, pp 92-110.
- King R.W., E.G. Masters, C. Rizos., A. Stools et J. Collins (1985) Surveying with GPS, School of Surveying, the University of New South Wales, Kensington, N.S.W. Australia.
- Larson K.M., et D.C. Agnew (1991a) Application of the GPS to Crustal Deformation Measurement 1. Precision and Accuracy, J. of Geo. Resea. Vol. 96, NO. B10, pp 16,547–16,565
- Larson K.M., F.H. Webb, et D.C. Agnew (1991b) Application of the GPS To Crustal Deformation Measurement 2. The influence of Errors in Orbit Determination Networks, Jour. of Geophys. Research Vol. 96, NO. B10,pp 16,567 –16,584.
- LePichon X. (1968) Sea Flow Spreading and Continental Drift, Jour. of Geophys. Res., Vol. 73, N°12, pp 3611-3670.
- Mattauer M. (1973) Les déformations des matériaux de l'écorce terrestre, Hermann Paris.
- McKenzie D.P. (1969) Speculations of the Consequences and Causes of Plate Motion in Geophysical, J. R. Astro. S., Vol. 18, n°1, pp 1-32.
- McKenzie D.P. (1972) Active Tectonic of the Mediterranean Region, J. R. Astro. S., Vol. 30, n°, pp 109-185.

- Minster J.B., et T.H. Jordan, P. Molnar, et E. Haines (1974) Numerical Modelling of Instantaneous Plate Tectonics, *J. R. Astro. Soc.*, 36, pp 541-576.
- Minster J.B., et T.H. Jordan, (1978) Present Day Plate Motions, *Jour. Geophys. Research*, Vol. 83 N° B11, pp 5331 – 5354.
- Nougier P. (1993) Structure et Evolution du Globe Terrestre, Collection Ellipses-Edition Marketing Paris.
- Nyland E. (1977) Repeated Geodetic Surveys as Experiments in Geophysics, *The Canadian Surveyor*, Vol 31, N° 4, pp 347-360.
- Prescott W. H. (1976) An Extension of Frank's Method for Obtaining Crustal Shear Stains from Survey Data, *Bull. Seism. Soc. A.*, 66 n°6, pp 1847-1853.
- Prescott W.H., M. Lisowski, et J.C. Savage (1981) Geodetic Measurement of Crustal Deformation on the San Andreas, Hayward, and Calveras Faults Near San Francisco, California, *Jour. Geophys. Res.*, N°86, pp 10853-10869.
- Rebai N. (1990) Choix des sites d'observation par VLBI mobile et GPS en Méditerranée Occidentale, campagne 1989-1990, Rapport technique n°10, IGN, p 23.
- Reilly W.I., G. Fredrich, G. W. Hein, H. Landau, J.L. Almazan, et J.L. Caturla (1992) Geodetic Determination of Crustal Deformation across the Strait Gibraltar, *Geophy. J. Int.* 111, pp 391-398.
- Savage J.C., et W.H. Prescott (1978) Geodetic Control and the 1927 Lompoc, California Earthquake, *Bull. Seismol. Soc. Am.* 68, pp 1699-1703.
- Savage J.C., et R.O. Burford (1973) Geodetic Determination of Relative Plate Motion in central California. *Jour. Geophys. Res.* N°78, pp 832-845.
- Savage J.C. (1983) Strain Accumulation in Western United States, *Annu. Rev. Earth Planet Sci.* 11, pp 11-43.
- Segall P., et R. Harris (1986) Slip Deficit on the San Andreas Fault at Parkfield, California, as Revealed by Inversion of Geodetic Data, *Science* 233, pp 1409-1413.
- Wanick L. et al. (1982) ESC Report.

BIOGRAPHICAL NOTES

Rachid Azzouzi: est professeur assistant de géodésie au département de Topographie Géodésie à la Filière de Formation en Topographie de l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II Rabat Maroc. Il est diplômé de l'IAV Hassan Rabat Ingénieur d'Application en 1975 et Ingénieur d'Etat en Topographie (formation au cycle A de l'ENSG de l'IGN de France) en 1980. Il obtient un Master en Sciences Géodésiques (1989) de l'Ohio State University, USA.

Il prépare une thèse de doctorat dans le domaine de la géodynamique en Méditerranée Occidentale par GPS.

Membre de l'Ordre National des Ingénieurs Géomètres Topographes.

Membre de l'Association Nationale des Ingénieurs Topographes.

Mohamed Ettarid: est professeur de photogrammétrie à la Filière de Formation en Topographie de l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II. Il détient un diplôme de technicien topographe du Maroc (1972), un diplôme d'ingénieur topographe du Maroc

(1978), un Master en photogrammétrie de l'Université Laval, Canada (1982), un Master en Géodésie (1988) et un Ph.D en photogrammétrie (1992) de l'Ohio State University, USA.

El Hassane SEMLALI

Qualification and career

1979: Diploma of engineer in surveying from IAV Hassan II, Rabat, Morocco

1986: Master of Science from Ohio State University, Columbus, USA

1999: Doctorate of Sciences from the University of Liege, Belgium.

1986-1995: Assistant professor at the Department of Geodesy and Surveying, Institut Agronomique et Veterinaire Hassan II, Rabat, Morocco.

1999 to present: Professor and researcher at the same department

Principal areas of interest are: GIS, geodesy and surveying.

Publications: data base design, error propagation in GIS, parcel redistribution methodology, GIS in land consolidation, cadastral systems, GPS.

Membership:

Membre de l'Ordre National des Ingénieurs Géomètres Topographes.

Membre de l'Association Nationale des Ingénieurs Topographes.

Abdelkrim Rimi: est professeur Géophysicien au Département de la Physique du Globe de l'Université Mohammed V Rabat Maroc.

CONTACTS

Rachid Azzouzi

Professeur Assistant

Département de Topographie et de Géodésie

Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II

B.P. Rabat-Instituts

MAROC

Tel. + 212 37680183

Fax + 212 37775845

Email: r.azzouzi@iav.ac.ma et r_azzouzi@hotmail.com

Mohamed Ettarid

Professeur,

Département de Topographie et de Géodésie

Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II

B.P. Rabat-Instituts

MAROC

Tel. + 212 37680183

Fax + 212 37775845

Email: m.ettarid@iav.ac.ma

El Hassan Semlali
Professeur
département de Topographie et de Géodésie
Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II
B.P. Rabat-Instituts
MAROC
Tel. + 212 37680183
Fax + 212 37775845
Email: el.semlali@iav.ac.ma

Abdelkrim Rimi
Professeur Géophysicien au Département de la Physique du Globe
l'Université Mohammed V Rabat Maroc
Avenue d'Ibn Batouta
B.P. 703 Rabat-Agdal 10106
MAROC
Tel + 212 37774543
Email: rimi@israbat.ac.ma)