

Apport d'analyse des données géophysique et géodésique sur L'évolution dynamique du Système de Rift Est Africain

Contribution of analysis of geophysical and geodetic data on the dynamic evolution of the East African Rift System

Moulouda KHAFFOU¹, Mohamed RAJI¹, Moha EL-AYACHI²

¹ Laboratoire Géologie Appliquée, Géoinformatique et Environnement (GAGE) Université Hassan II de Casablanca Faculté des Sciences Ben M'Sick Casablanca.

² Laboratoire de Géodésie et Topographie/ Collège des Sciences Géomatiques et de l'Ingénierie Géographique / NELGA NA Program Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat

Résumé. Le Système de Rift Est Africain SREA constitue une région d'intérêt géologique et géodynamique majeure, offrant des opportunités uniques pour étudier les processus de rift continental. Cette étude vise à caractériser le contexte géologique et géodynamique du SREA en utilisant des données géomatiques et géophysiques. Les données géomatiques ont permis d'identifier les formations rocheuses, les failles actives et les caractéristiques topographiques associées, fournissant ainsi une compréhension approfondie de la région d'étude. En complément, des techniques géophysiques avancées ont été appliquées pour obtenir des informations sur la structure crustale et la lithosphère sous-jacente du SREA. L'analyse des données nous permet de simuler ces processus à grande échelle, mettant en évidence l'impact du mouvement de rotation des plaques sur le développement global de SERA. Les résultats de ces analyses révèlent l'architecture complexe du système de rift, indique que le SREA est caractérisé par plusieurs bassins sédimentaires et segments de rift actifs, avec l'identification de failles majeures et mineures jouant un rôle essentiel dans la déformation et l'évolution de la région. Cette étude fournit une analyse du contexte géologique et géodynamique du Système de Rift Est Africain, en utilisant une approche combinée de données géomatiques et géophysiques.

Abstract. The East African Rift System (EARS) represents a region of significant geological and geodynamic interest, offering unique opportunities to study continental rift processes. This study aims to characterize the geological and geodynamic context of the EARS using geomatics and geophysical data. Geomatics data has helped identify rock formations, active faults, and associated topographic features, providing an in-depth understanding of the study area. In addition, advanced geophysical techniques have been applied to obtain information about the crustal structure and underlying lithosphere of the EARS. Data analysis allows us to simulate these processes on a large scale, highlighting the impact of plate rotation on the overall development of the EARS. The results of these

analyses reveal the complex architecture of the rift system, indicating that the EARS is characterized by several sedimentary basins and active rift segments, with the identification of major and minor faults playing a crucial role in the deformation and evolution of the region. This study provides an analysis of the geological and geodynamic context of the East African Rift System, using a combined approach of geomatics and geophysical data.

Mots clés—Système de Rift Est Africain, tectonique des plaques, rift continental, failles actives, géodynamique.

1. Introduction

Le Système de Rift Est-Africain est une structure géologique majeure (Figure 1) qui s'étend sur environ 6 000 kilomètres, de la mer Rouge au Mozambique (Hirsch et al 2009; Fournier 2010 ; G. Min et G. Hou 2018). Elle est considérée comme l'un des exemples les plus remarquables du rift continental. C'est le résultat de forces tectoniques qui créent une extension de la croûte terrestre et provoquent l'effondrement de la lithosphère qui est fortement influencée par les intrusions de digues (El Khrepy et al., 2021). La vallée du Rift est composée de plusieurs segments distincts; dont le rift occidental, le rift central et le rift oriental. Le rift occidental s'étend du nord de la Tanzanie jusqu'au lac Malawi et est principalement associé au lac Tanganyika (Lavayssière et al, 2019; Heilman et al, 2019). Le rift central traverse le Kenya et la Tanzanie, comprenant des caractéristiques telles que le lac Turkana et le mont Kenya. Le rift oriental s'étend de la vallée du Rift en Tanzanie jusqu'à la mer rouge, traversant des pays tels que l'Éthiopie et la république de Djibouti. Cette branche orientale a une extension orthogonale ou oblique (Corti et al, 2007).

Ces segments du rift est-africain sont caractérisés par des volcans, des lacs, des montagnes et des fosses profondes. Le lac Victoria, le lac Tanganyika et le lac Malawi sont quelques-uns des plus grands lacs d'eau douce situés dans la vallée du Rift.

La structure de la vallée du Rift est dynamique et toujours en évolution. Les mouvements tectoniques continuent de façonner la région et peuvent entraîner des activités volcaniques, des tremblements de terre et des changements dans le paysage. Les dômes topographiques, éthiopiens au nord, et du Kenya au sud signalent la présence en profondeur d'un ou deux grands panaches mantelliques actifs ; Celui de l'Afrique de l'Est et celui de l'Àfar, qui enferment dynamiquement les plateaux d'Afrique de l'Est et d'Éthiopie. La rupture des plateaux s'accompagne donc de la production de grands volumes de magma basaltique (N.W. Rogers, 2015).

Études Géodésiques et Géophysiques :

Les dernières études géodésiques et géophysiques dans le système de rift est-africain se sont concentrées sur la compréhension des processus qui entraînent le rift, l'évolution du rift au fil du temps et les dangers associés:

L'analyse des mesures géodésiques, telles que les données des sites GPS permanentes, ont fourni des informations sur le mouvement des plaques tectoniques dans la région. Ces études spatiales récentes décrivent des modèles de vitesses dynamiques, de contraintes déviatoriques et de taux de déformation. Les résultats montrent que l'Afrique de l'Est est en train de se séparer lentement en deux parties, avec une vitesse de déplacement d'environ 2 à 7 millimètres par an (Figure 1). Cette séparation est causée

par l'extension de la croûte terrestre, qui provoque des failles et des fissures dans la région.

Tandis que les études géophysiques ont permis de comprendre l'évolution du système de rift et ses différentes étapes. L'analyse des données sismiques montrent la formation des failles normales profondes au début, suivie de la montée de la zone de transition fragile-ductile. Des failles de limite moins inclinées se forment, certains bassins de rift sont abandonnés et de nouveaux sont créés. L'extension et l'activité ignée se concentrent progressivement dans une bande étroite, entraînant la formation de dykes et de failles mineures (Morley, C.K., D.K. Ngenoh, and J.K. Ego, 1999; Devant et All., 2023). Les failles défailtantes doivent être considérées comme dormantes plutôt que mortes, car les faiblesses induites par les failles peuvent être réactivées même après des centaines de millions d'années si l'équilibre des forces locales change. Cette séquence évolutive pourrait éventuellement conduire à un rift océanique (Brune et All., 2023).

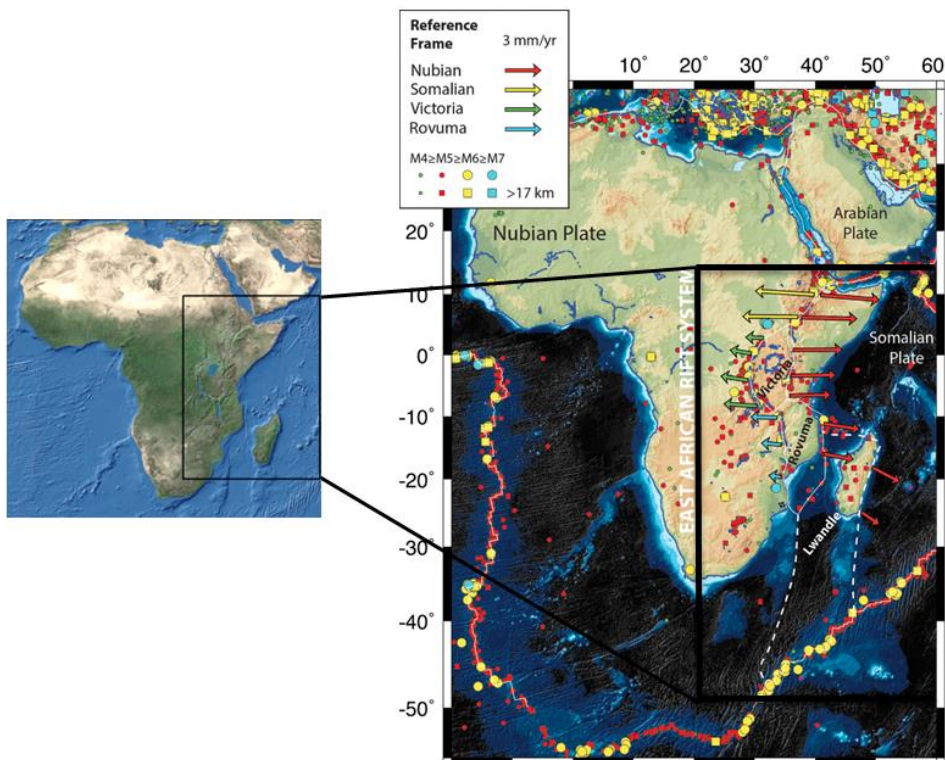


Fig. 1: Zone d'étude (East African Rift System). Les vecteurs représentent les vitesses GPS dans un référentiel fixe de Nubie (Stamps et al., 2018). Cadre tectonique de l'Afrique et du système de rift est-africain. OR = Okavangu Rift, LR = Luangua Rift, MR = Mweru Rift, EB = Eastern Branch, KP = Kivu Volcanic Province, CVL = Cameroon Volcanic Line. Les tremblements de terre > M4 du catalogue sismologique international (<http://www.isc.ac.uk>), sont représentés dans différentes couleurs ainsi que les mouvements relatifs des plaques (Saria et al . 2014), qui sont utilisés pour contraindre les mouvements de plaques rigides tectoniques à long terme.

Contexte géodynamique:

L'analyse et la synthèse des travaux concernant la géodynamique de Systeme-Est-Africain jugent sa déformation associée à l'activité volcanique centrale hydrothermale

d'une part, et l'existence des panaches mantelliques internes repérées par la formation des dômes au surface d'autre part. Ce système extensif actif est divisé en deux cycles de rifting pendant le cénozoïque ; le crétacé-paléogène, éo-oligocène au Miocène moyen : correspondent à la création de 1ere Rift-Est-Africain qui atteignant son apogée. Le Miocène moyen au supérieur correspond à la création de la 2eme Rift-Est-Africain dans la branche ouest. Il semble y avoir une tendance à la jeunesse du sud (Figure 2). Ces deux rifts sont encadrés par la microplaque de Victoria qui marque une rotation antihoraire génère un décalage horaire de la direction d'extension locale le long des branches de rift qui se chevauchent (Glerum et al, 2020). Cette rotation entraînée par les bords provient du cisaillement des plaques principales le long du nord-ouest et coins sud-est de la microplaque, où une forte fissure a échoué et la lithosphère cratonique transmet ce mouvement et détourne la propagation des branches du rift entourant la microplaque Victoria.

La formation de nouvelles failles et fissures le long d'anciennes failles remarque que les plaques nubiennes et somaliennes se séparent peuvent provoquer des tremblements de terre. Le système de faille est-africain peut être considéré comme une succession de bassins graben liés par intracontinental (Chorowicz, 2005), leur mécanisme mésozoïque dépendait de trois facteurs : le panache du manteau de Sainte-Hélène ascendant, l'étalement océanique sur les marges occidentale et orientale de la plaque africaine et l'hétérogénéité au sein du continent africain (Min, 2019 ; Muirhead 2019). Cependant, la naissance de Rift-Est-Africain s'accompagne toutefois de l'observation des plissements, d'affaissement et de la sédimentation dans la plupart des bassins qui sont d'âge Plio-Pléistocène.

Plusieurs études géodésiques et géophysiques sont menées pour suivre la cinématique de la tectonique active et fournir une cartographie précise des mouvements du rift est-africain. Bien que ces études s'accordent, d'un point de vue, sur le fait que sur une période de plusieurs dizaines de millions d'années, un système dorsal intracontinental, comprenant a un rift axial, et l'étalement du fond marin progresseront sur toute la longueur de la vallée du rift. L'océan s'écoulera et le continent africain se divisera en deux microcontinents.

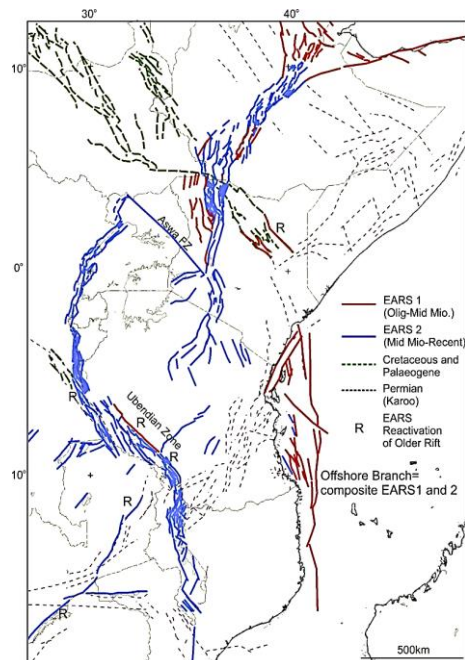
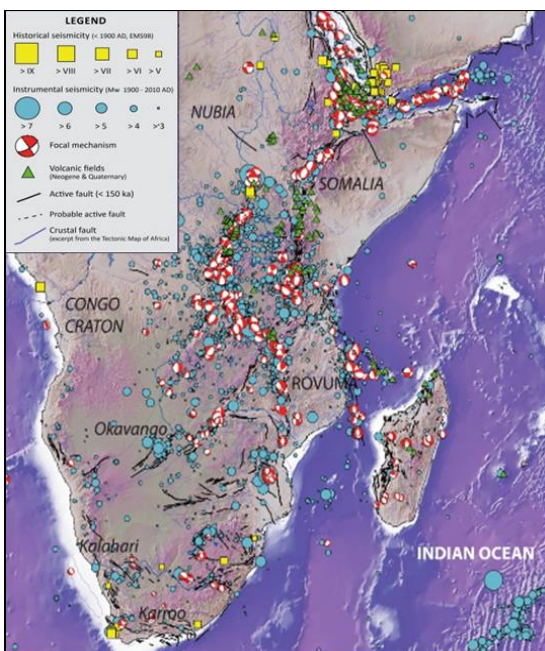


Fig. 2: Contexte géodynamique de rift Est Africain: A gauche: La carte sismotectonique de Système de Rift-Est-Africain (Modifiée), Base de données Afrique (IGCP-601, projet wrking Group, décembre 2022) A droite: Le diagramme structural du rift est-africain (EAR) illustre les principaux bassins tectoniques et les dômes de l'Éthiopie et du Kenya avec les périodes de division du rift selon Macgregor 2015 et TIERCELIN 2018 (Modifiée)

2. Méthodologie

Pour atteindre notre objectif de recherche, notre étude est basée sur l'analyse des graphiques de l'enregistrement temporel des positions (produits JPL de la NASA), et le traitement de toutes les vitesses angulaires et incertitudes d'environ 26 sites GPS permanents et des enregistrements de latitude et de longitude des positions des sites GPS (Figure 3) pour décrire les mouvements géologiques récents et permet de suivre la cinématique de la tectonique active, et donc de fournir une cartographie précise des mouvements récents du rift est-africain par rapport à un cadre de référence sans rotation (modèle MORVEL).

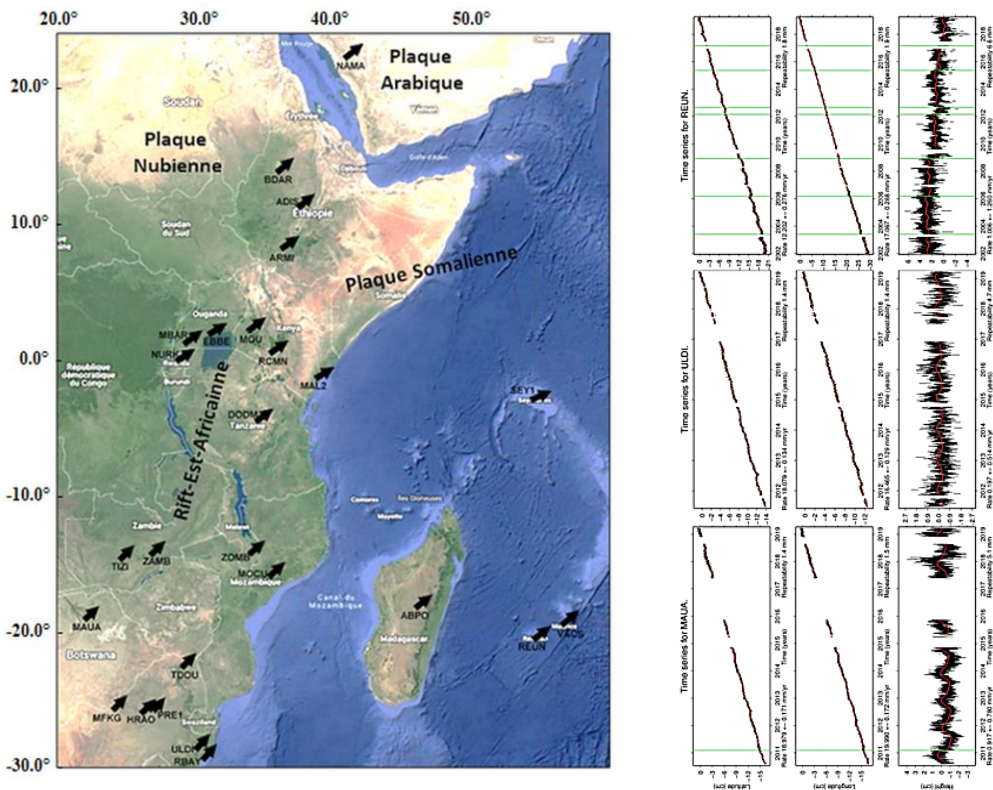


Fig. 3: A gauche: Représentation des vitesses GPS dans un cadre de référence fixe en Nubie le long du Rift est-africain EAR (La zone d'étude). A droite: Exemple de site GPS permanent enregistrant la latitude, la longitude et la position.

3. Résultats

A. Etude géodésique et géophysique : La technique GPS à travers les méthodes de la géodésie spatiale s'est beaucoup répandu depuis le début des années 90, une analyse fine du données des sites permanent permet de montrer que les vitesses donne un accord de près de 99% avec le modèle théorique de la tectonique des plaques, qui lui représente une moyenne sur les 3 derniers millions d'années. Le système de rift est-africain est une structure en extension active, la frontière de la plaque divergente entre la Nubie et la Somalie, est souvent cité comme un archétype moderne pour le rifting et la continentale rupture, sa cinématique actuelle est la moins connue de toutes limites principales des

plaques. L'analyse des études antérieures montre que le taux d'épandage moyen et azimuts des failles de transformation le long de la dorsale sud-ouest indienne et soutenir une cinématique modèle qui comprend trois sous-plaques (Victoria, Rovuma et Lwandle) entre la Nubie et la Somalie à partir de 3.2 Myr de transformation (S. Stamps, 2008). Et le taux de glissement des deux plaques Nubie et Somalie est lent (~5 mm/an), et se présentent un mouvement cohérent avec des déformations internes inférieures à ~1-2 mm/an (Mcclusky et al, 2006). La sismicité est présente sur l'ensemble du Rift Est Africain, localement marquée par des tremblements de terre de forte magnitude (6 – 6.5), (Figure 2). De grands tremblements de terre se produisent dans le Rift occidental, tandis que l'activité microsismique caractérise le Rift oriental.

Ce processus s'accompagne des manifestations superficielles le long de la vallée du Rift sous forme de volcanisme et d'activité sismique avec une ampleur relativement faible. L'activité hydrothermale importante au niveau de nombreuses régions témoigne aussi de la continuité de l'activité du rift. Les données géophysiques soutiennent le concept selon lequel un diapir de matériau de densité relativement faible est situé en dessous du système de rift. Une combinaison de réfraction sismique et de données gravimétriques suggère la présence d'un corps de faible densité de 3,15 g / cm³ (contre 3,35 g / cm³ pour la lithosphère froide) sous le rift kenyan, et la vitesse de l'onde P de 7,5 km / s de 20 à 60 km de profondeur. Il a une étendue latérale de 200 à 250 km de large. Ceci est cohérent avec les résultats sismiques indiquant que la croûte sous le rift est amincie à 20 km (à partir d'une normale de 36 km pour l'Afrique de l'Est environnante) et à une vitesse sub-Moho anormalement basse (Saemundsson, 2010).

L'interprétation des données géodésiques, gravimétriques et sismologiques montre que : La vitesse moyenne de propagation des fissures vers le sud de REA est : 2,5 à 5 cm par an, les vitesses d'ouverture de Rift sont variables de l'ordre de 2-3 millimètres jusqu'à 3-4 centimètres par an et la déformation interne de Système-Est-Africain est : 0.5mm/an. On marque aussi que les résidus sont faibles sur la plaque Nubie. Elles sont inférieures à 0.5 mm/an.

B. Utilisation des graphiques de l'enregistrement de la position avec le temps :

Dans notre étude, on choisit 26 stations GPS permanentes. A partir de la pente des composantes NS et EW des séries temporelles de positions, on peut calculer les vitesses horizontales moyennes des sites GPS sur la période de temps considérée (Figure 3). Ils montrent généralement séparément les composantes NS, EW et UP de la position des sites pour une interprétation plus intuitive. Pour extraire la vitesse réelle (ou absolue) de chaque station qui résultante les deux vitesses, on utilise le théorème de Pythagore: $BC^2 = AB^2 + AC^2$ (Tableau 1).

Site	N	E	V	SN	SE	SV
APBO	14.559	18.817	-0.707	0.172	0.185	0.743
ADIS	18.755	24.509	-1.375	0.183	0.202	0.798
ARMI	19.004	26.555	-3.083	0.284	0.348	1.305
BDAR	17.440	22.300	-0.238	0.582	0.704	2.677
DODM	17.504	23.746	-0.740	0.295	0.341	1.271
EBBE	15.536	25.190	-6.256	0.624	0.753	2.759
HRAO	18.546	17.496	0.795	0.080	0.078	0.327
MAL2	16.104	26.259	-0.033	0.133	0.154	0.566
MAUA	18.974	19.986	0.913	0.170	0.171	0.775
MBAR	17.567	24.279	0.051	0.134	0.155	0.556
MFKG	19.591	18.207	1.176	0.226	0.227	0.911
MOCU	17.132	19.202	-0.821	0.654	0.724	2.714
MOIU	18.393	24.319	-1.033	0.155	0.175	0.685
NAMA	27.347	34.499	0.077	0.169	0.174	0.706
NURK	17.743	25.296	-2.887	0.251	0.297	1.061
PRE1	18.578	17.647	-0.275	0.290	0.290	1.127
RBAY	17.775	16.218	0.144	0.127	0.127	0.544
RCMN	17.361	26.731	-2.187	0.262	0.308	1.147
REUN	12.192	17.063	0.991	0.275	0.288	1.259
SEY1	10.869	25.453	-1.548	0.196	0.204	1.010
TDOU	17.906	17.936	0.448	0.260	0.276	1.108
TEZI	19.161	19.587	1.748	0.399	0.472	1.686
ULDI	19.161	16.461	0.189	0.134	0.128	0.512
VACS	11.235	17.182	-0.929	0.082	0.085	0.370
ZAMB	18.520	20.003	0.578	0.096	0.112	0.419
ZOMBI	17.197	20.129	-0.031	0.299	0.337	1.470

Fig. 4: Table1: Latitude and longitude in degrees with errors in mm. Height estimates and errors in mm. Velocity estimates and errors in mm/yr (2020).

A partir de ces résultats calculées qui sont confondues à celles des données spatiales on calcule les vitesses de défilement et les directions avec des incertitudes d'un sigma et des ellipses d'erreur de vitesse 2D, un-sigma propagées à partir de covariances de MORVEL et Unités de millimètres par an (Tableau 2). Le séisme, les vecteurs de glissement et les azimuts de défauts de transformation sont modélisés comme la direction du mouvement relatif entre les deux plaques de chaque côté de la limite de bloc à laquelle les données appartiennent. De même, les taux d'étalement océaniques sont modélisés comme la vitesse du mouvement relatif entre les deux plaques de chaque côté de la limite du bloc. Les entrées appropriées pour Plot velocity vectors crosses "psvelo" GMT à tracer à l'aide de l'option "-Se". Les incertitudes de vitesse Nord et Est sont 1-D. Il convertit ces incertitudes 3D en incertitudes 2D par la commande "psvelo" et affiche des ellipses d'incertitude de vitesse. (Tableau 3). On observe que les sites se déplacent de manière linéaire en fonction du temps. La pente des séries temporelles NS et EW donne donc directement les deux composantes horizontales de la vitesse actuelle de la plaque Somalienne. La représentation en carte de ces vitesses permet de visualiser directement les déplacements actuels des principales plaques tectoniques (Figure 6).

Site	Long. (E)	Lat. (N)	Taux (mm/an)	Azimuth (CW de N)	Semi-majeur axe (mm/an)	Demi-mineur axe (mm/a)	Axe majeur orientation CCW de l'est
APBO	47.200	-19.020	2,9 ± 0,6	123,2 ± 5,9	0,9	0,4	137,5
ADIS	38.760	9.040	5,9 ± 0,6	95,7 ± 4,4	0,9	0,5	142,6
ARMI	37.560	6.060	5,6 ± 0,6	94,6 ± 4,7	0,9	0,5	141,3
BDAR	37.360	11.600	6,2 ± 0,6	93,9 ± 4,3	0,9	0,5	143,7
DODM	35.740	-6.180	4,1 ± 0,5	93,2 ± 6,6	0,9	0,5	136,6
EBBE	32.440	0.038	4,9 ± 0,5	88,0 ± 5,9	0,9	0,5	138,0
HRAO	27.680	-25.890	1,6 ± 0,3	62,2 ± 21,6	0,9	0,4	128,7
MAL2	40.190	-2.100	4,7 ± 0,6	99,4 ± 5,3	0,9	0,5	138,8
MAUA	23.530	-19.900	2,6 ± 0,3	61,6 ± 13,2	0,9	0,5	127,7
MBAR	30.740	-0.600	4,8 ± 0,5	85,6 ± 6,1	0,9	0,5	137,3
MFKG	25.540	-25.810	1,7 ± 0,3	55,1 ± 19,9	0,9	0,4	127,6
MOCU	36.840	-16.870	2,7 ± 0,5	97,7 ± 9,4	0,9	0,4	134,4
MOIU	35.290	0.290	4,9 ± 0,5	92,0 ± 5,6	0,9	0,5	138,7
NAMA	42.040	19.210	6,9 ± 0,6	98,2 ± 3,7	0,9	0,6	146,9
NURK	30.090	-1.940	4,7 ± 0,5	84,5 ± 6,4	0,9	0,5	136,5
PRE1	28.220	-25.750	1,6 ± 0,3	64,5 ± 21,6	0,9	0,4	129,1
RBAY	32.080	-28.800	1,0 ± 0,4	77,6 ± 32,1	0,9	0,4	130,6
RCMN	36.890	-1.220	4,7 ± 0,5	94,4 ± 5,6	0,9	0,5	138,5
REUN	55.570	-21.210	3,4 ± 0,6	138,8 ± 5,1	0,9	0,4	139,7
SEY1	55.480	-4.670	5,0 ± 0,6	120,3 ± 3,5	0,9	0,4	140,3
TDOU	30.380	-23.080	1,8 ± 0,4	77,0 ± 17,3	0,9	0,4	130,6
TEZI	26.020	-15.750	3,0 ± 0,4	71,8 ± 11,0	0,9	0,5	130,1
ULDI	31.420	-28.290	1,1 ± 0,4	74,3 ± 30,0	0,9	0,4	130,4
VACS	57.500	-20.290	3,6 ± 0,6	139,2 ± 4,8	0,9	0,4	140,1
ZAMB	28.310	-15.430	2,9 ± 0,4	77,0 ± 10,8	0,9	0,5	131,2
ZOMBI	35.330	-15.380	2,9 ± 0,5	93,6 ± 9,3	0,9	0,4	134,1

Site	Vitesse_east	Vitesse_north	Sig_e	Signe	Corr_ne
APBO	2.4	-1.6	0.5	0.5	-0.6417
ADIS	5.9	-0.6	0.5	0.5	-0.4623
ARMI	5.6	-0.4	0.5	0.5	-0.4740
BDAR	6.2	-0.4	0.6	0.5	-0.4301
DODM	4.1	-0.2	0.5	0.5	-0.5449
EBBE	4.9	0.2	0.5	0.5	-0.4744
HRAO	1.4	0.7	0.4	0.5	-0.5988
MAL2	4.6	-0.8	0.5	0.5	-0.5517
MAUA	2.3	1.2	0.4	0.5	-0.5413
MBAR	4,8	0.4	0.5	0.5	-0.4644
MFKG	1.4	1.0	0.4	0.5	-0.5867
MOCU	2.7	-0.4	0.5	0.5	-0.6085
MOIU	4.9	-0.2	0.5	0.5	-0.4969
NAMA	6.8	-1.0	0.6	0.5	-0.4145
NURK	4.6	0.4	0.5	0.5	-0.4689
PRE1	1.4	0.7	0.4	0.5	-0.6011
RBAY	1.0	0.2	0.4	0.5	-0.6246
RCMN	4.7	-0.4	0.5	0.5	-0.5207
REUN	2.2	-2.5	0.5	0.5	-0.6296
SEY1	4.3	-2.5	0.5	0.5	-0.6394
TDOU	1.8	0.4	0.5	0.5	-0.6017
TEZI	2.8	0.9	0.5	0.5	-0.5339
ULDI	1.0	0.3	0.4	0.5	-0.6216
VACS	2.4	-2.8	0.5	0.5	-0.6266
ZAMB	2.9	0.7	0.5	0.5	-0.5492
ZOMBI	2.9	-0.2	0.5	0.5	-0.5942

Fig. 5: Table 2 (Right): Illustrates travel speeds relative to the Nubian plate, rates, azimuths and expected uncertainties and Table 3 (Left): Plate speed output for psvelo GMT

4. Discussion and conclusion

Le REA est considéré comme un environnement typique de l'extension continentale active et la mise en place de la néoformation de rafting. Notre étude géodynamique a été basée sur le modèle de MORVEL ont utilisons un nouvel ensemble de données combinant des mesures GPS épisodiques en se concentrant particulièrement sur l'étude du mouvement de la plaques somalienne par rapport à la plaque nubienne et le long de REA (Figure 6). L'évolution spatio-temporelle de cette frontière de plaque divergente commence à se démêler grâce à une augmentation récente de l'espace de données géodésiques en Afrique (Deprez, 2013 et Raphaël Mukandila Ngalula, 2020). Nous constatons que les vecteurs de glissement fournissent des informations qui permettent de réduire considérablement les incertitudes dans la plaque et estimations de la vitesse angulaire, et informer éventuellement sur le rôle des processus magmatiques dans extension. La vitesse angulaire calculée pour la

plaque somalienne par rapport à la plaque Nubienne est estimée par : $35,31^\circ$ au Nord et $146,16^\circ$ à l'est. On constate donc que le mouvement des deux plaques Somalie-Nubie est décrit par un pôle de rotation situé au SE de l'Afrique, avec une rotation horaire de $0,076^\circ/\text{Ma}$. Cette rotation-là explique une divergence le long du Rift Est Africain en format Ciseaux, avec des vitesses qui sont augmentées du sud au nord. La continuité de la divergence de la plaque somalienne par rapport à la plaque Nubienne est augmentée avec le temps, cette ouverture se traduisant par une activité sismique intense du nord vers le sud. Les structures tectoniques indiquent que des premiers stades de rafting apparaissent avec des tremblements de terre déclenchés par la déformation de la croûte continentale. Cette étude à publier en plusieurs langues pour faciliter son accessibilité aux d'autre chercheurs dans ce domaine. Elle concorde avec les autres expériences récemment publiées qui montrent que l'évolution de la quantité d'ouverture le long du Rift Est Africain, déduite d'analyse des données géodésiques, est associée à une évolution de l'activité sismique sous-jacente qui reflète l'évolution d'extension avec le temps. Cette étude sera développée dans nos travaux futurs afin d'explorer plus en profondeur les aspects spécifiques et les implications de ma recherche. En publiant de manière successive dans le même sujet, j'espère fournir une vision plus complète et approfondie de cette étude, tout en apportant de nouvelles perspectives et avancées significatives à la communauté scientifique dans ce domaine.

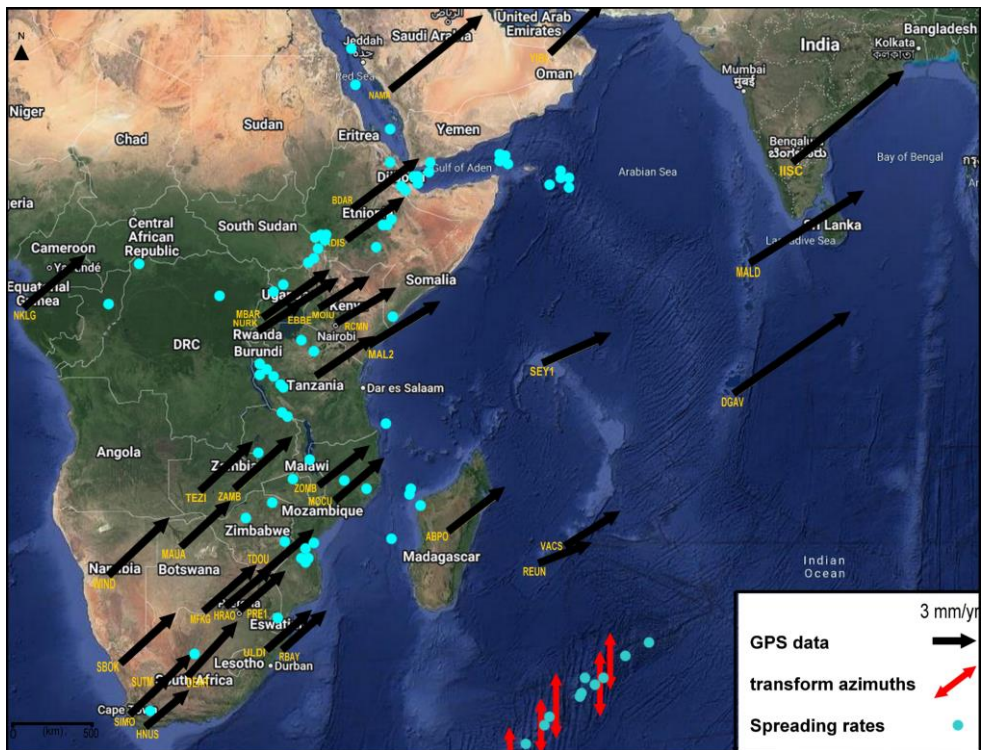


Fig. 5: Kinematic model for the East African Rift System represents the predicted plate motions in a reference frame set by Nubia, the orientation of the vectors indicate the deformation of the area in a scissor format. The small blue circles are seismicity data from the International Seismological Centre (2021), Lemoine et al. (2020), and Rakotondraibe et al(2020).

Remerciement

Ce travail est réalisé en collaboration avec le Laboratoire de Géodynamique des Chaînes Anciennes LGCA et le Laboratoire de Géodésie de l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II. Nous remercions tous mes chers professeurs pour les commentaires et les réactions constructives qui ont permis d'améliorer ce manuscrit. Nous remercions également les services du Jet Propulsion Laboratory de la NASA, California Institute of Technology, pour avoir fourni les ensembles de données géodésiques et les matériaux utilisés dans cette étude.

Références

- Bertrand, S., (2007), Surveillance tectonique par GPS à la jonction des plaques Afrique, Arabie et Anatolie, au sud-est de la Turquie. *Revue XYZ* • N° 111 – 2e trimestre, p. 43-52. www.aftopo.org
- Brune, S., Kolawole, F., Olive, JA. et al. Geodynamics of continental rift initiation and evolution. *Nat Rev Earth Environ* 4, 235–253 (2023). <https://doi.org/10.1038/s43017-023-00391-3>
- Chorowicz, J., (2005), The East African rift system, Laboratoire de Tectonique, Université Paris 6, *Journal of African Earth Sciences* 43, p 379–410
- Corti, G., et al, (2007), Tectonic inheritance and continental rift architecture: Numerical and analogue models of the East African Rift system, *TECTONICS*, VOL. 26, TC6006, doi:10.1029/2006TC002086, p 3-12.
- DeMets, C., and Merkouriev, S., 2016, High-resolution estimates of Nubia-Somalia plate motion since 20 Ma from reconstructions of the Southwest Indian Ridge, Red Sea and Gulf of Aden: *Geophysical Journal International*, v. 207, p. 317–332, <https://doi.org/10.1093/gji/ggw276>.
- DeMets, C., Argus, D.F., and Gordon, R.G., 2010, Geologically current plate motions: *Geophysical Journal International*, v. 181, p. 1–80, <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2009.04491.x>. Geological Society of America | GEOLOGY | Volume XX NumberXX/www.gsapubs.org/Downloaded,from/http://pubs.geoscienceworld.org/gsa/geology/article_pdf/doi/10.1130/G47985.1/5151491/g47985.pdf by Dalhousie Univ Libraries Serials/Killam Library user.
- DeMets, C., Merkuriev, S., and Sauter, D., 2015, High-resolution estimates of Southwest Indian Ridge plate motions, 20 Ma to present: *Geophysical Journal International*, v. 203, p. 1495–1527, <https://doi.org/10.1093/gji/ggv366>.
- DeMets, C., Calais, E., and Merkouriev, S., 2017, Reconciling geodetic and geological estimates of recent plate motion across the South-west Indian Ridge: *Geophysical Journal International*, v. 208, p. 118–133, <https://doi.org/10.1093/gji/ggw386>
- Déprez, A., (2013), Seismic and aseismic deformation along the East African Rift System from a reanalysis of the GPS velocity field of Africa, *Geophysical Journal International*, Volume 193, p 1-16.
- Fernandes, R.M.S., Delvaux, D., Miranda, J.M., Saria, E., and Stamps, D.S., 2013, Re-evaluation of the kinematics of Victoria block using continuous GNSS data: *Geophysical Journal International*, v. 193, p. 1–10, <https://doi.org/10.1093/gji/ggs071>.
- Fournier, M., et al, (2010), Naissance d'un océan, la dorsale de Sheba, *GÉOPHYSIQUE, Pour la Science* - n° 390, p 44-49.
- Glerum, A., (2020), Victoria continental microplate dynamics controlled by the lithospheric strength distribution of the East African Rift, *NATURE COMMUNICATIONS* | <https://doi.org/10.1038/s41467-020-16176-x>,
- Heilman, E, et al, (2019), Controls of Basement Fabric on the Linkage of Rift Segments, *American Geophysical Union*, p 4-54.

- Hirsch, B., et al., (2009), *Le Rift- est-africain, une singularité plurielle*, IRD Éditions, Chapitre 1 : Géophysique du Rift, Institut de recherche pour le développement, publications scientifiques du MNHN Marseille, p 23- 40.
- Lavayssière, A., et al, (2019), Depth Extent and Kinematics of Faulting in the Southern Tanganyika Rift Africa, American Geophysical Union AGU, Volume 38, p 1-34.
- Macgregor, D., (2015), History of the development of the East African Rift System: A series of interpreted maps through time, *Journal of African Earth Sciences*, p 233-250.
- Min, G., and Hou,G., (2018), Geodynamics of the East African Rift System 30 Ma ago: A stress field model, *Journal of Geodynamics*, p 1-11.
- Min, G., and Hou, G., (2019), Mechanism of the Mesozoic African rift system: Paleostress field modeling, *Journal of Geodynamics*, p 1-12.
- Muirhead, J.D., (2019), Rift evolution in regions of low magma input in East Africa, *Earth and Planetary Science Letters* 506 p 332–346.
- Raphaël Mukandila Ngalula. Analyse des données GNSS de l’Afrique de 1994 à 2017.6 : caractérisation de mouvement et déformation active. Sciences de la Terre. Université de Strasbourg, 2020. Français. ([NNT : 2020STRAH026](#)). ([tel-03813763](#))
- Rogers, N.W., (2015), Basaltic magmatism and the geodynamics of the East African Rift System, Department of Earth Sciences, CEPSAR, The Open University, Walton Hall, Milton Keynes, MK7 6AA, UK, p 79-90.
- Saemundsson, K., (2010), East African Rift System– An overview, United Nations University, ISOR – Iceland GeoSurvey Grensásvegur 9, 108 Reykjavík ICELAND, p 1-6.
- Saria, E., Altamimi, Z., Calais, E., Farah, H., and Willis, P., (2013), A new velocity field for Africa from combined GPS and DORIS space geodetic solutions: Contribution to the definition of the African reference frame (AFREF): *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, v. 118, p. 1677–1697, <https://doi.org/10.1002/jgrb.50137>.
- Saria, E., Calais, E., Delvaux, D., Hartnady, C.J.H., and Stamps, D.S., 2014, Present-day kinematics of the East African Rift: *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, v. 119, p. 3584–3600, <https://doi.org/10.1002/2013JB010901>.
- Stamps, D. S., et al, (2008), A kinematic model for the East African Rift, , *Geophys. Res. Lett.*, 35, L05304, doi:10.1029/2007GL032781, P 1-6.
- Stamps, D.S., Saria, E. & Kreemer, C. A Geodetic Strain Rate Model for the East African Rift System. *Sci Rep* 8, 732 (2018). <https://doi.org/10.1038/s41598-017-19097-w>