

Is the Nubia plate rigid or divided into sub-plates?

**Le modèle tectonique de la plaque Afrique:
De Le Pichon à nos jours.**

Vecteurs vitesses GNSS et origine des forces motrices.

Mukandila-Ngalula R., Masson F. , Meghraoui M.,



**GRGS : 3ème séminaire sur la Géodésie Millimétrique.
9-11 septembre 2019, Toulouse/France.**

Summary

Numerous geodetic studies have been carried out in recent years to characterize the kinematics of the African plate. Previous geodynamic and tectonic studies first led to the separation of Africa plate into 2 plates, namely the Nubia plate to the west of the East African rift and the Somalia plate to the east. Subsequent densification of GNSS data around the rift and related eastern tectonic blocks made it possible to subdivide the Somalia plate into several sub-plates (Somalia, Victoria, Rovuma and Lwandle). Indeed, the recent geological, geophysical and seismotectonic studies of Africa (Meghraoui et al., 2016) show the continuous deformation lines (CDL) connecting between the fractures zones (e.g., St Helena, Tristan da Cunha and Gough) and maritime wrinkles (Walvis), volcanic lines (Cameroon, Hoggar), aseismic active faults (e.g., Tenere, Anguid-Gassi-Touil-Algeria, Bangor, Doseo-Salamat) or seismic today (e.g., Lwanga-Kariba-Okavango).

Can this continuous deformation lines, characteristic of a Proterozoic and Phanerozoic belts structures, be related to the limits of the sub-plates within the Nubia plate? Using GNSS data synthesis and geodynamic analysis, we are asked about the possibility of defining 2 or 4 sub-blocks: namely, North-West Nubian block, North-East Nubian block, Central-Equatorial Nubia block and the Southern Nubia block. Although the GNSS velocities at 300 sites surround 0.5 mm.yr^{-1} , the F-ratio subdivide this plate into 2 blocks with 99% confidence interval. Also, we observe a divergence between the predominant orientations of the velocities on 4 tectonic blocks between the LDCs and a quasi-correlation between the deformation regimes predicted by the relative GNSS velocities with the previous geological, geophysical and seismotectonic results. Active deformation (GNSS) favors the subdivision and dislocation of supposedly rigid Nubia.

Plan

1. Introduction

1.1. Contexte tectonique de l'Afrique

1.2. Histoire de la tectonique des plaques

2. Modèles des plaques Africaines

2.1. Modèle à une seule plaque Afrique: **Repère non rotation globale (NRG)**

2.2. Modèle de la plaque Afrique subdivisée en 2 plaques majeurs et 3 microplaques: **Repère ITRF2008**

2.3. Modèle de la plaque Nubie Subdivisée en 4 blocs tectoniques: **Repère Nubie fixe**

2.4. Corrélation avec des études géophysiques et géologiques antérieures

3. Conclusion

4. Perspectives

1. Introduction

1.1. Contexte tectonique de l'Afrique

1.2. Historique de la tectonique des plaques

1.1. Contexte tectonique de l'Afrique

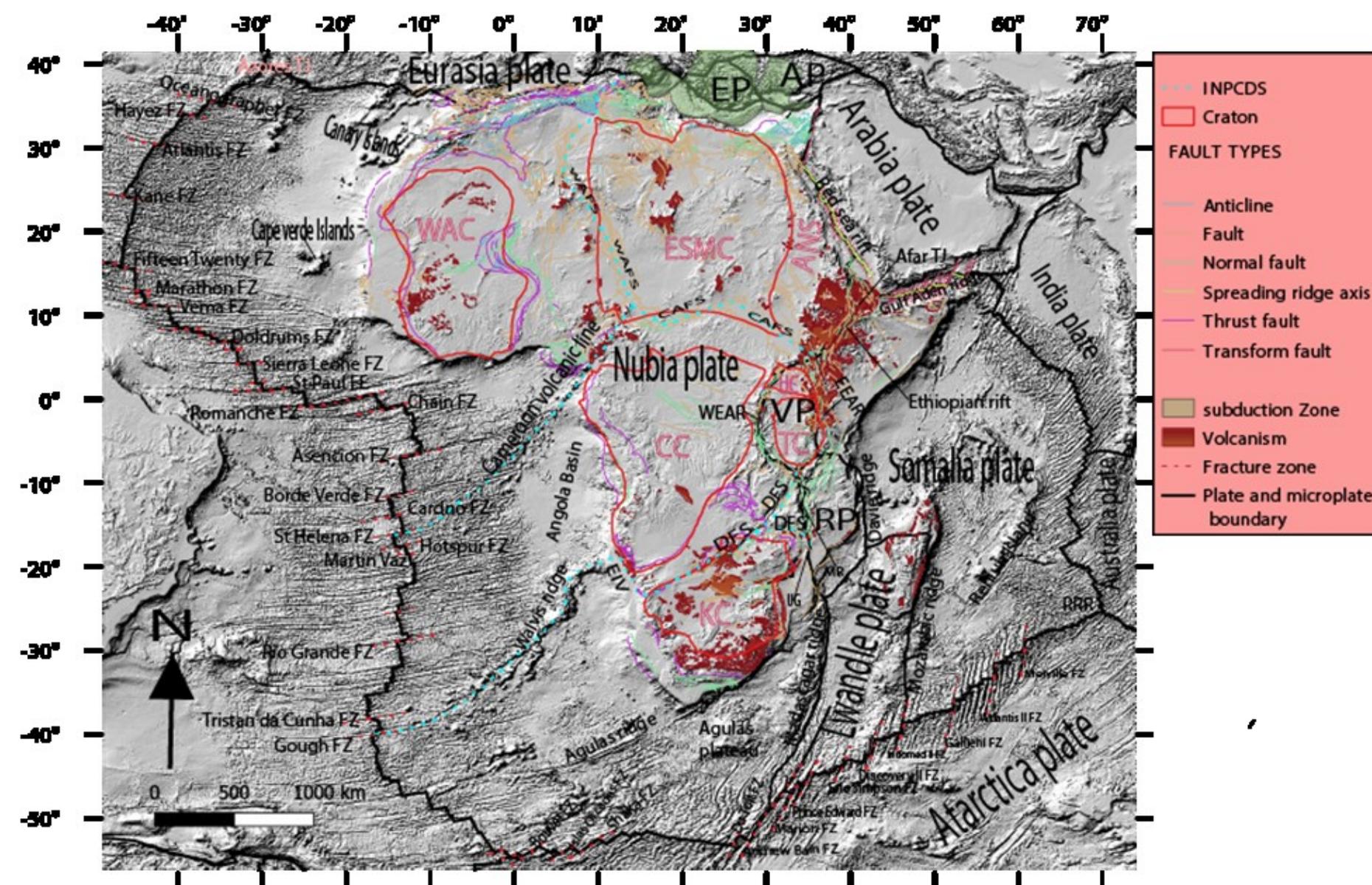


Figure 1 : Structures tectoniques de l'Afrique discutées dans cette étude. Les limites extérieures de la plaque Afrique telle qu'elle a été définie par **le Pichon 1968**, des plaques Nubie et Somalie et des microplaques Lwandle, Victoria (VP) et Rovuma (RP) d'après **Bird et al., [2003], Deprez et al., 2013 et Saria et al., [2013, 2014]** : WEAR : West East African Rift, EEAR : East East African Rift, MR : Malawi Rift, UG : Urema Graben. Le type des failles et les volcanismes d'après la **Carte tectonique de l'Afrique (CGMW, 2010)** et les zones de subduction sont extraites de la **base de données de failles sismogéniques de l'Europe (Basili et al., 2013)**. Les cratons et métacraton d'après **Begg et al., [2009]** : CC : Congo Craton, KC : Kalahari Craton, WAC : West African Craton, OC : Ugandan Craton, TC : Tanzania Craton and ESMC : Easthen Sahara MetaCraton. **INPCDS** (Intra-Nubia Plate Continuous Deformation Structures) : Tracé indicatif de structures de déformation continue à l'intérieur de la plaque Nubie : WAFS : West African Fault System, CAFS : Central African Fault System, DFS : Damarian Fault System, TJ : Triple Jonction. Deux Microplaques entre l'Eurasie et l'Afrique : EP : Egée plate, AP : Anatolie plate. Les données **SRTM30_PLUS** (NASA Shuttle Radar Topography Mission) ont été utilisées pour la représentation de la topographie. Carte tectonique de l'Afrique

1.2. Historique de la tectonique des plaques



A Wegener .

- **1912**: l'allemand Alfred Wegener découvre la dérive des continents.

- **1967**: les britanniques Dan McKenzie et Robert Parker énoncent la Théorie de la tectonique des plaques : la lithosphère se découpe en une série de "blocs" qui se déplacent les uns les autres sur l'asthénosphère en s'entrechoquant ou en s'écartant.

Le géophysicien américain William Jason Morgan postule que les tensions résultantes de ces déplacements seraient à l'origine des séismes.

- **1968**: le géodynamicien français Xavier Le Pichon établit un modèle théorique à 6 plaques principales : Afrique, Amérique, Antarctique, Eurasie, Inde et Pacifique. Les vecteurs vitesses de ces plaques sont calculés à partir des mouvements d'expansion le long de cinq axes de principales dorsales.

- **1972-1990**: Modélisé à 12 plaques obtenu par:

(1) par inversion globale du taux d'expansion, de l'Azimut de failles décrochantes [Chase et al., 1972] et,

(2) de vecteurs glissement de séisme et plus les données magnétiques et bathymétriques [DeMets et al., 1990].

- **1994**: Modèle à 15 plaques: Estimation de vecteurs d'Euler de 15 plaques dites rigides [DeMets et al., 1994]:

(1) Les effets des révisions de l'échelle de temps d'inversion géomagnétique et

(2) la comparaison des vitesses globales notamment *celles de la géodésie spatiale*.

- **2010-2011**: Modèle géologique à 25 plaques dites rigides dénommé MORVEL (*Mid-Ocean Ridge VELOCITY*) [DeMets et al., 2010] qui profite

de la couverture satellitaire et aérienne accrue du système de dorsale médio-océanique ainsi que *des données géodésiques* pour certaines régions,

Ce modèle arrive à contraindre les vitesses angulaires des plaques Nubie, Somalie et de la microplaque Lwandle: l'ancienne plaque Afrique.

MORVEL56 : Déterminé 31 vecteurs d'Euler des plaques supplémentaires aux 25 précédents par Argus et al., [2011] en utilisant les limites des plaques de Bird [2003].

- **2002-2013**: Les microplaques Victoria et Rovuma

Hartmady [2002] postulent l'existence des microplaques Victoria et Rovuma sur la base des données sismologiques.

Calais et al., [2006] et *Stamps et al., [2008]* suggèrent ces microplaques après avoir utilisés respectivement *les données GNSS* et les vecteurs glissements

de terrain pour le premier et *uniquement les données géodésiques* pour le dernier.

Deprez et al., [2013] et *Saria et al., [2013, 2014]* ont déterminés les vitesses d'Euler des plaques et microplaques Africaines à l'aide des *données géodésiques*

(GNSS et DORIS) un peu plus distribuées sur l'Afrique,.



Dan McKenzie



Le Pichon

2. Modèles des plaques Africaines

2.1. Modèle à une seule plaque Afrique: Repère non rotation globale (NRG)

2.1.1. Vecteurs vitesses par rapport au repère (prr)

NRG et origines des forces motrices

2.1.2. Vitesse ITRF2008 par rapport au repère NRG et modèle des points chauds fixes en Afrique.

2.1.2. Vecteurs vitesses prr NRG et origines des forces motrices

1. D'après Le Pichon 198: Les vecteurs vitesses des plaques étaient calculés à partir des mouvements d'expansion le long de cinq axes de principales dorsales.

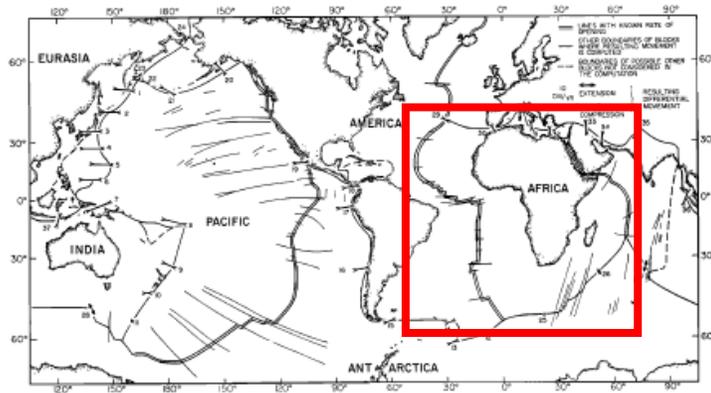


Fig 2: Les localisations des limites des six plaques majeurs blocks, d'après Le Pichon X. 1968.

2. Les vecteurs vitesses GNSS (VVG) horizontales déterminées par rapport au repère NRG, d'après Altamimi et al.,2017:

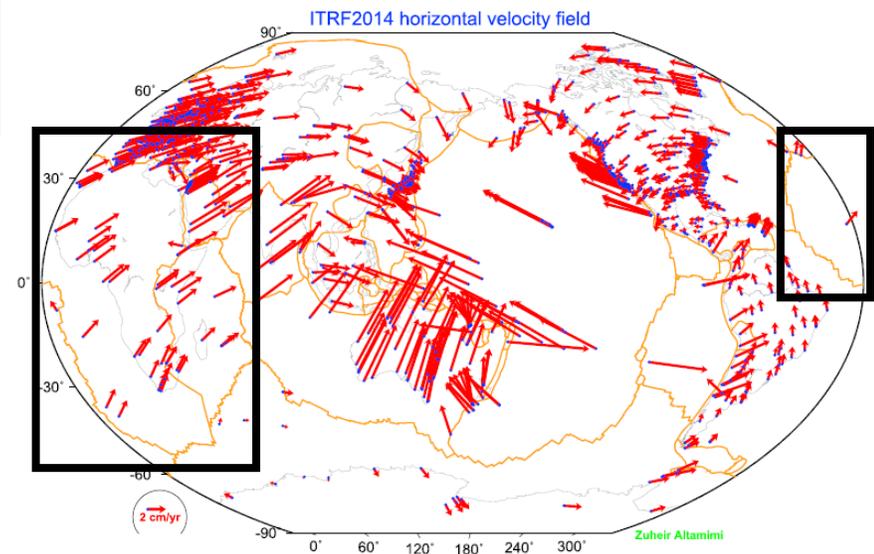


Fig 3. From Altamimi et al.2017, ITRF2014 horizontal site GNSS velocities with formal error less than 0.2 mm/yr. Major plate boundaries are shown according to Bird [2003].

3. Force Motrice: Convection mantélique

D'après Becker, T. W. et R.J.O'Connel. [2001], Les forces d'entraînement des plaques à partir du manteau sont calculées à l'aide de modèles de flux globaux pilotés par tomographie et champs de densité dérivés de la subduction.

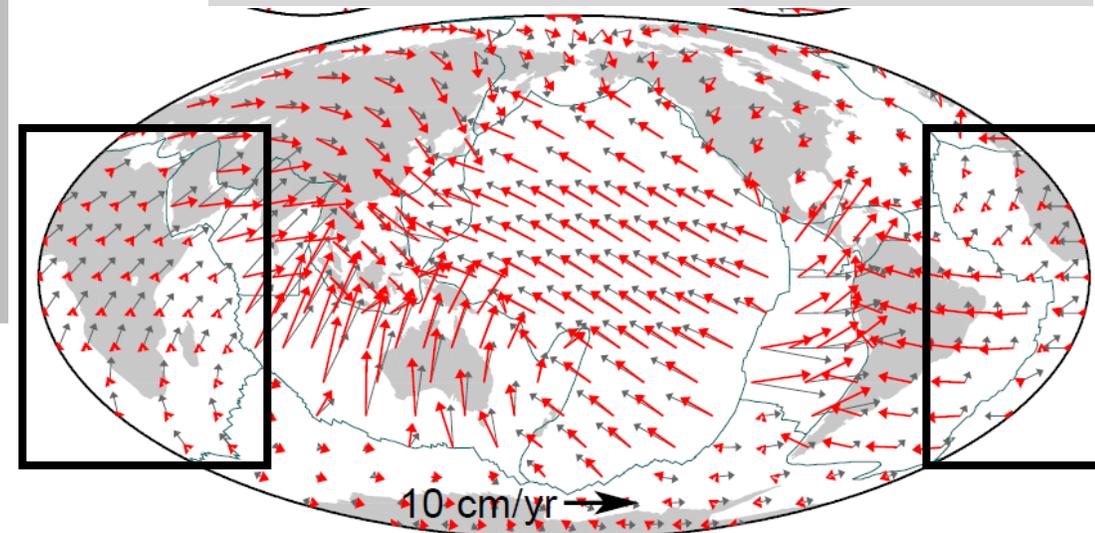


Fig 4: D'après Becker, T. W. et R.J.O'Connel. [2001]. Les vitesses prédites des plaques (vecteurs rouges et épais) basées sur le modèle lithosphérique, la viscosité absolue et les champs de densité du manteau et de la dalle ainsi que les vitesses observées NNR-NUVEL-1 (vecteurs gris et minces).

En définitive la corrélation entre les Fig. 3 et Fig. 4 en terme d'orientation des vitesses indiquerait que les VVGs par rapport au repère NRG mesurent les contraintes tectoniques à champs lointain et avec pression résultant de la convection mantélique selon le modèles de flux globaux pilotés par tomographie et champs de densité dérivés de la subduction.

2.1.2. Vitesse ITRF2008 (repère NRG) et le modèle des points chauds fixes en Afrique.

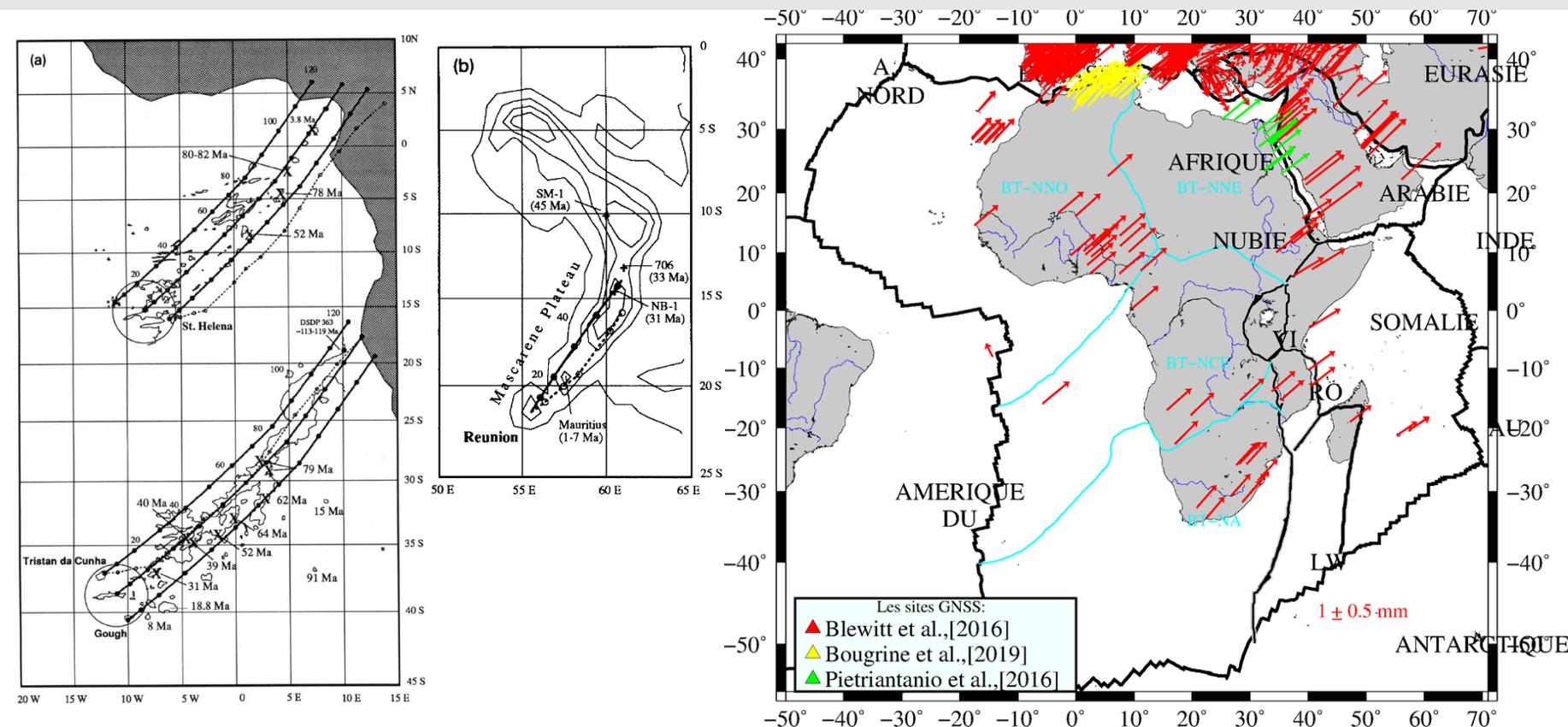
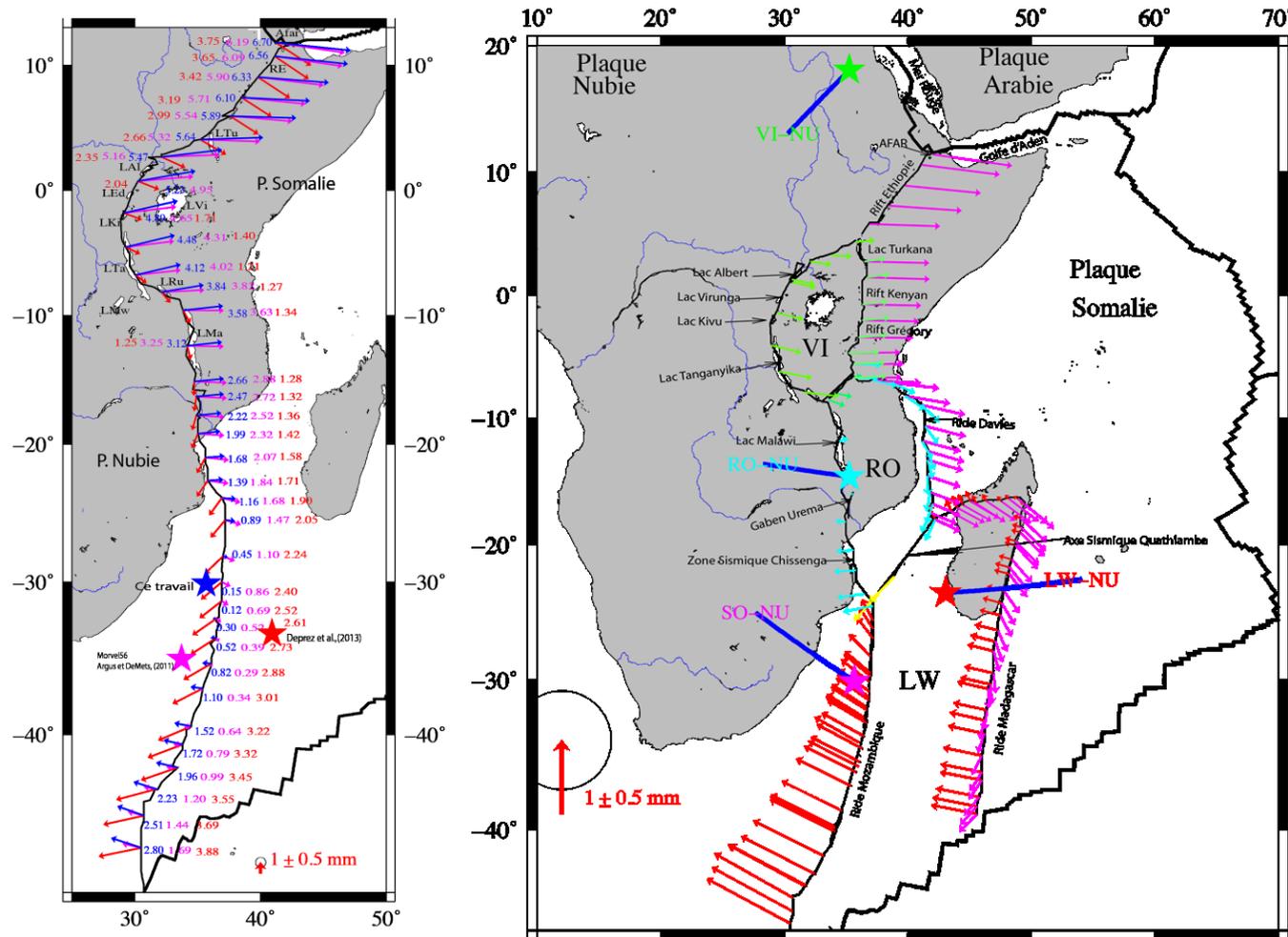


Figure 5 : D'après *O'Connor et Roex, [1992]*, les traces modélisées du mouvement africain sur les points chauds sont représentées par les lignes épaisses reliant les extrémités sud-ouest de la chaîne du mont sous-marin *de Sainte-Hélène et la crête de Walvis ainsi que* le point chaud de la Réunion aux côtes ouest et est africaines. Les symboles (0) répartis suivant ces lignes représentent la progression de la plaque africaine à 10 Ma d'intervalle. Projection de Mercator.

L'orientation des vitesses GNSS horizontales ITRF2008 déterminées par rapport au repère Non Rotation Globale [Altamimi et al., 2012] indiquent que l'ensemble de la plaque Arabie-Afrique serait soumis à des contraintes tectoniques à champs lointain uniformes. Ces contraintes résulteraient de la convection mantélique selon le modèles de flux globaux pilotés par tomographie et champs de densité dérivés de la subduction [Becker, T. W, et R.J.O'Connel. 2001].

2.2. Modèle de la plaque Afrique subdivisée en 2 plaques majeurs et 3 microplaques: **Repère** **ITRF2008**

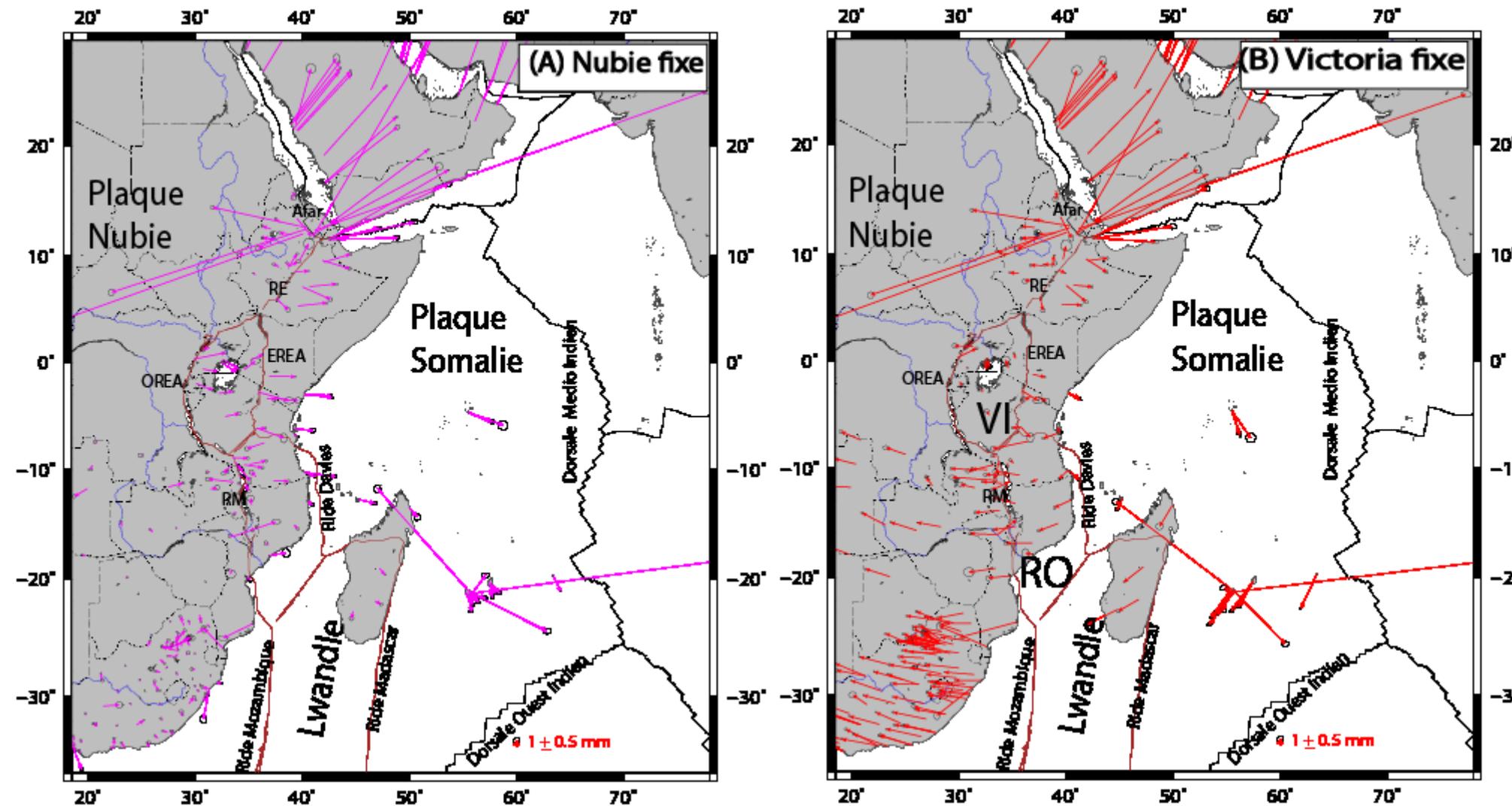
(A). Vitesses relatives aux frontières des plaques et microplaques



Origine des contraintes:
 L'extension-compression le long du REA résulterait de l'interaction entre les contraintes tectoniques à champ lointain extensives (CTCLE) mise en place par l'ascension du panache mantellique avec intrusion magmatique [Fig.1] selon le modèle de Buck [2004] et la poussée de la crête le long des rides medio-indienne (PCRMI) comme l'ont constaté [Solomon et al. 1975] et Richardson et al.1979] en introduisant l'utilisation du champ de contrainte intraplaque pour tester des modèles de force.

Figure 6 : Les vitesses relatives et prédites le long des SREA. D'après Calais et al.,[2006], j'ai utilisé un modèle à cinq plaques et défini les bordures de la plaque d'après le modèle PB2002, Deprez et al.,[2013] et Saria et al.,[2013,2014]. (A). Par le pôle de rotation Somalie-Nubie : Rouge : de Deprez et al.,[2013]; Magenta : d'Argus et DeMets[2011] et Bleu : ce travail. (B) : Les vitesses sont déduites des pôles d'Euler déterminés par une inversion du champ de vitesse géodésique pour chaque plaque. VI : Victoria ; RO : Rovuma et LW : Lwandle.

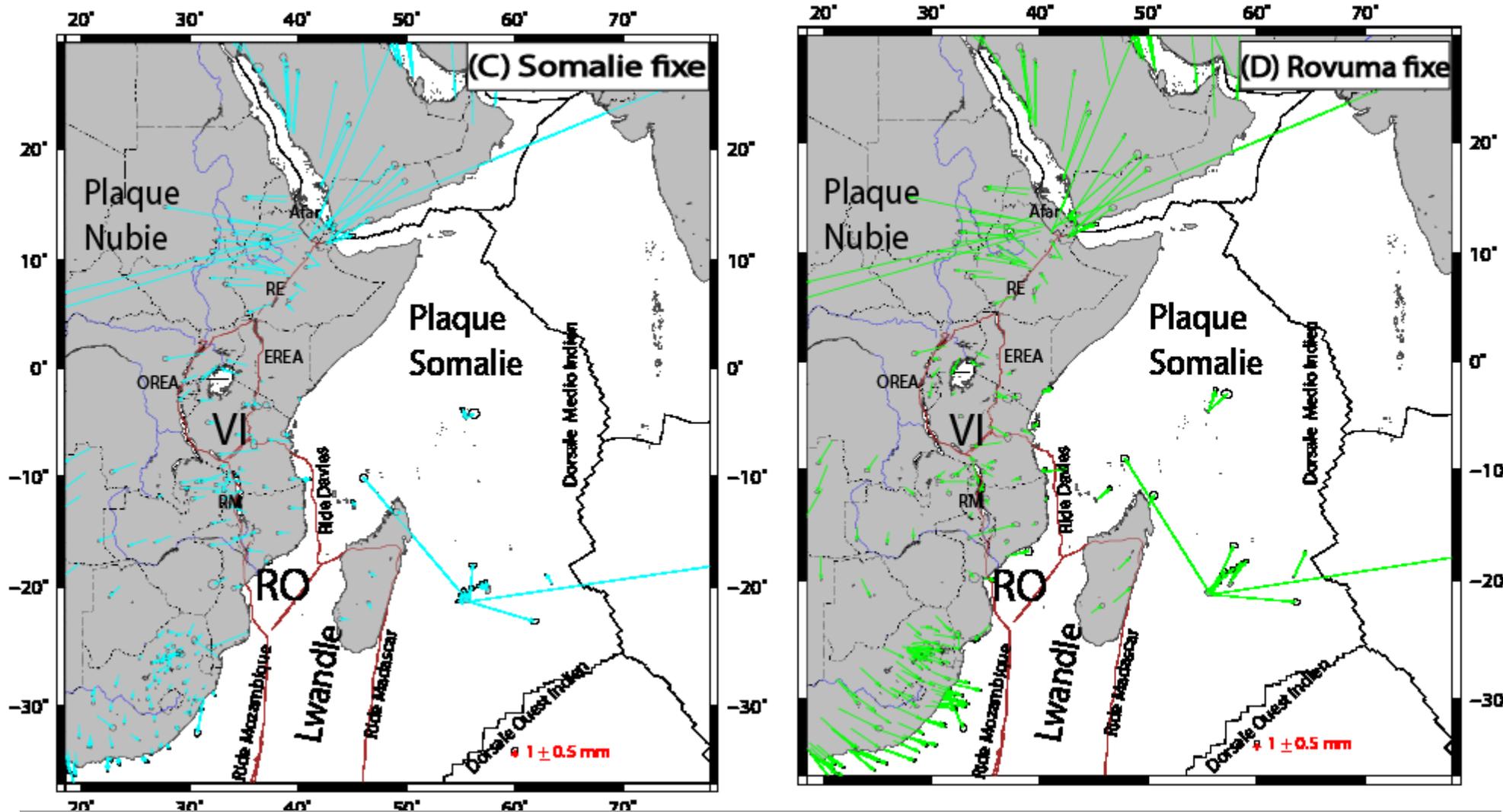
(B). Orientations des vitesses résiduelles (VR) prr Nubie et Victoria fixes.



Origine des contraintes:
Par rapport ces 2 repères, l'orientation des VR renforce l'hypothèse de l'interaction entre les contraintes tectoniques à champ lointain extensives mise en place par l'ascension du panache mantellique avec intrusion magmatique et la poussée de la crête le long de la dorsale médio-indienne.

Figure 7 : Les vitesses mesures (VM) le long des SREA suivant des pôles d'Euler déterminés par une inversion du champ de vitesse géodésique (ICVG) pour la plaque (P.) Nubie et microplaque (MP.) Victoria. Les intervalles des confiances des ellipses d'erreurs sur les vitesses (ICEEV) sont de 95%. Les incertitudes sur les vitesses horizontales (IVH) sont inférieures à 0.5 mm/an (A) Par rapport au repère (prr) Nubie fixe; (B) Prr Victoria fixe. VI : Victoria ; RO : Rovuma

(C). Orientations des vitesses résiduelles (VR) prr Somalie et Rovuma fixes



Origine des contraintes:
Prr Somalie fixe, l'orientation des VRs résulterait essentiellement de la poussée de la crête le long de la dorsale medio indienne. Tandis que la rotation horaire de toutes les autres plaques prr Rovuma fixe s'accommoderait la rotation horaire de cette microplaque par rapport à elle-même due à l'interaction entre CTCLE et PCRMI susmentionnée.

Figure 8 : Les VMs en Afrique de l'Est suivant des pôles d'Euler déterminés par une ICVG pour la P. Somalie et la MP. Rovuma. Les ICEEVs sont de 95%. Les IVHs < 0.5 mm/an (C) Prr . VI : Victoria ; RO : Rovuma

2.2.4. (A). Résultats de l'évaluation de la cinématique globale par divers tests statistiques [Stein and Gordon, 1984 ; Gordon et al.,1987 ; Nocquet et al.,2001] pour le modèle 5 plaques.

Le test statistique de F-ratio réaffirme le modèle de la plaque Afrique subdivisée 2 grandes plaques Nubie et Somalie et 3 microplaques Lwandle, Rovuma et Victoria. [Figure 1, Hartnady 2002, Nocquet et al., 2006 ; Calais et al.,2006 ; Stamps et al., 2008 ; Deprez et al., 2013 ; Saria et al., 2013 et 2014] respectivement définies avec 257 et 49 sites GNSS et les microplaques Rovuma, Victoria et Lwandle respectivement avec 19, 8 et 3 sites GNSS.

Tableau 3.1 : Tests statistiques pour des plaques indépendantes dans le SREA.

Géométrie des plaques	NbreD	F Ratio (exp) F	F ratio (Attendu) F		Résultat
			95% Conf.	99% Conf.	
2 plaques réunies	-	-	-	-	Hypo. nulle
Nubia, Somalie	606	203	3.14	3.82	F>f
Nubia, Rovuma	386	1789	3.16	3.85	F>f
Nubia, Lwandle	514	2217	3.14	3.82	F>f
Nubie, Victoria	524	342.2	3.14	3.82	F>f
Somalie, Lwandle	98	1.67	3.32	3.99	F<f
Somalie, Victoria	113	1.145	3.25	3.98	F<f
Somalie, Rovuma	92	0.411	3.26	4.01	F<f
Rovuma, Lwandle	38	3.265	3.48	4.34	F<f
Rovuma, Victoria	48	5.97	3.40	4.22	F>f
Victoria, Lwandle	16	5.04	4.08	5.29	F>f

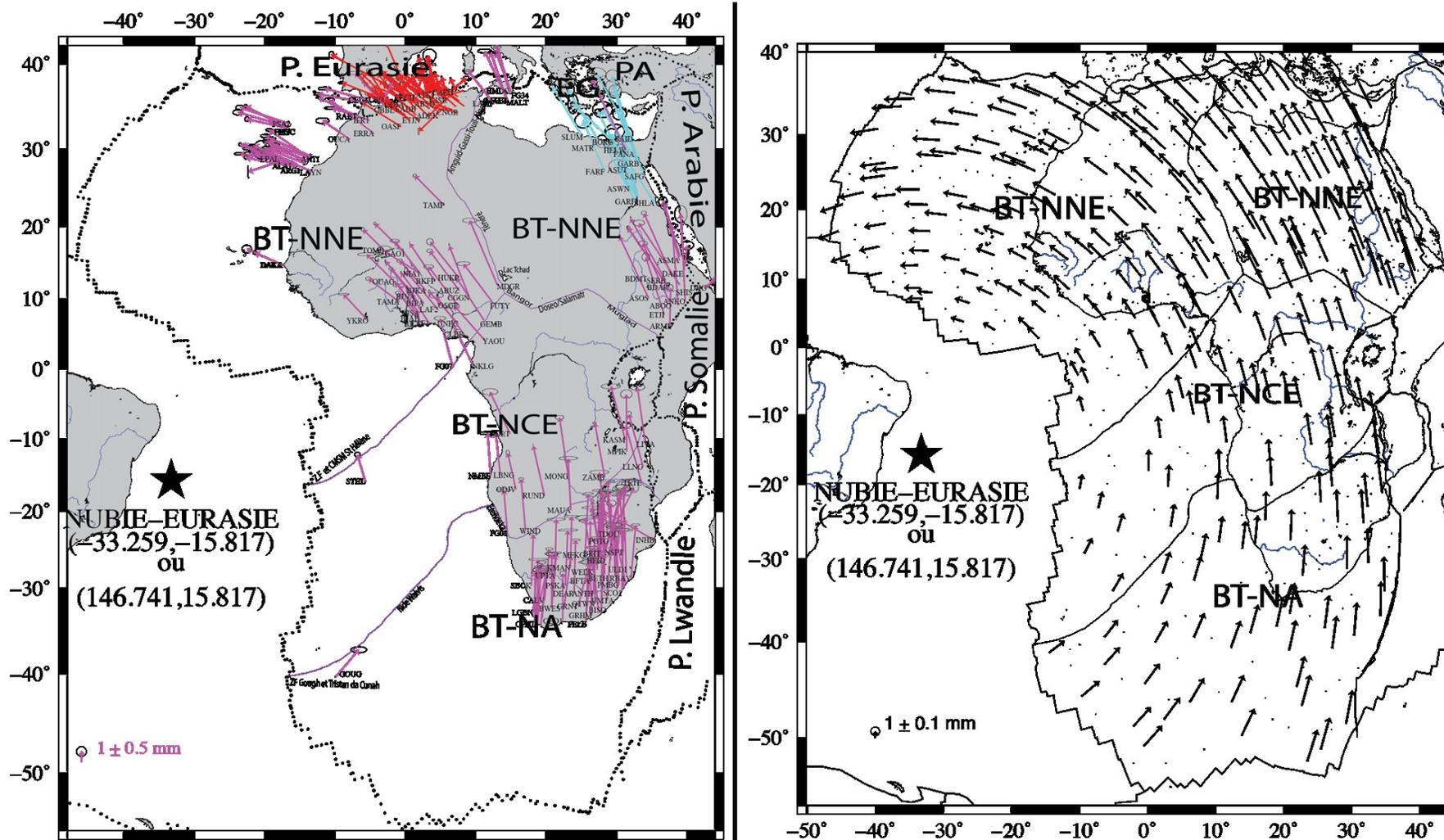
2.2.4. (B) Résultats du test F-ratio obtenu par Saria et al., [2014] après définition des modes d'estimations regroupant différemment plus de 2 plaques et microplaques qui arrivent à mettre en évidence clairement la séparation de ces trois microplaques avec la plaque Somalie avec plus de clarté.

Table 2. Statistical Tests For Independent Microplates in the EAR^a

Plate Geometry	# of Data	F Ratio (Experimental)	F ratio (Expected)		Result
		<i>F</i>	95% Conf.	99% Conf.	
Nubia, (Somalia + Victoria + Rovuma + Lwandle)	-	-	-	-	Null Hypothesis
Nubia, Victoria, (Somalia + Rovuma + Lwandle)	484	31	2.63	3.83	$F > f$
Nubia, Victoria, Rovuma, (Somalia + Lwandle)	503	14	2.12	2.85	$F > f$
Nubia, Somalia, Victoria, Rovuma, and Lwandle	514	12	1.90	2.45	$F > f$
Nubia, Somalia, (Victoria + Rovuma + Lwandle)	514	0.19	2.62	3.82	$F < f$

^aNames between parentheses indicate blocks bounded together into a single plate in the tests.

2.2.5. Vitesses GNSS mesurées et prédites par rapport à l'Eurasie fixe et origine des forces motrices



Origine de force motrice

Ce champ des vitesses toroïdales résulterait de la convection simple caractérisée par le refroidissement lithosphérique, la variation de la densité dans les dalles subductées et le flux dans le manteau excité par les dalles coulantes et par les mouvements des plaques, le flux de retour des zones de subduction vers les crêtes.

Figure 11 : (A) ICVG sur les sites de la P. Nubie prr Eurasie fixe. Pôle de rotation de l'Eurasie prr à l'ITRF d'Altamimi et al.,[2007]. Les limites de la P. Nubie et celles entre les BTs sont montrées dans la figure 1. (B) Les vitesses prédites sur P. Nubie prr Eurasie fixe déduites à partir des pôles d'Euler prr à l'ITRF déterminé dans cette étude pour la Nubie et d'Altamimi et al.,[2007] pour l'Eurasie. Les ICEEVs sont de 95%. Les IVHs à 0.5 mm/an.

2.3. Modèle de la plaque Nubie Subdivisée en 4 blocs tectoniques: **Repère Nubie fixe**

(B). Orientations des vitesses résiduelles prr Somalie et Rovuma fixes

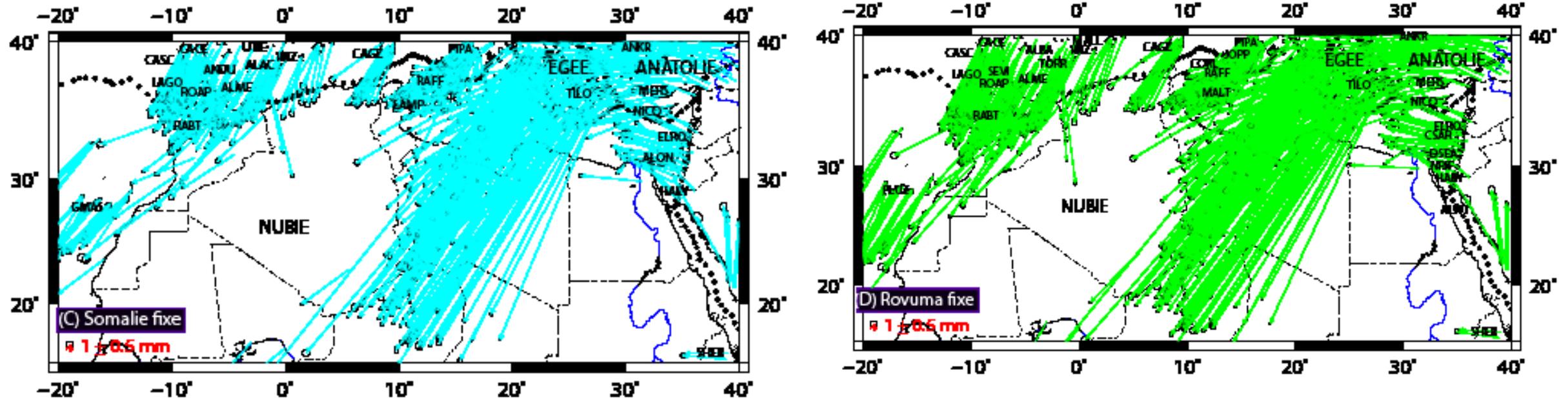


Figure 10 : Les VMs le long de la frontière Nubie-Eurasie suivant des pôles d'Euler déterminés par une ICVG pour la P. Somalie et MP. Les ICEEVs sont de 95%. Les IVHs sont inférieurs à 0.5 mm/an (C) Prr Somalie fixe; (D) Prr victoria fixe.

Aucun effet de la convergence Nubie-Eurasie n'est perceptible par rapport à ce repère:

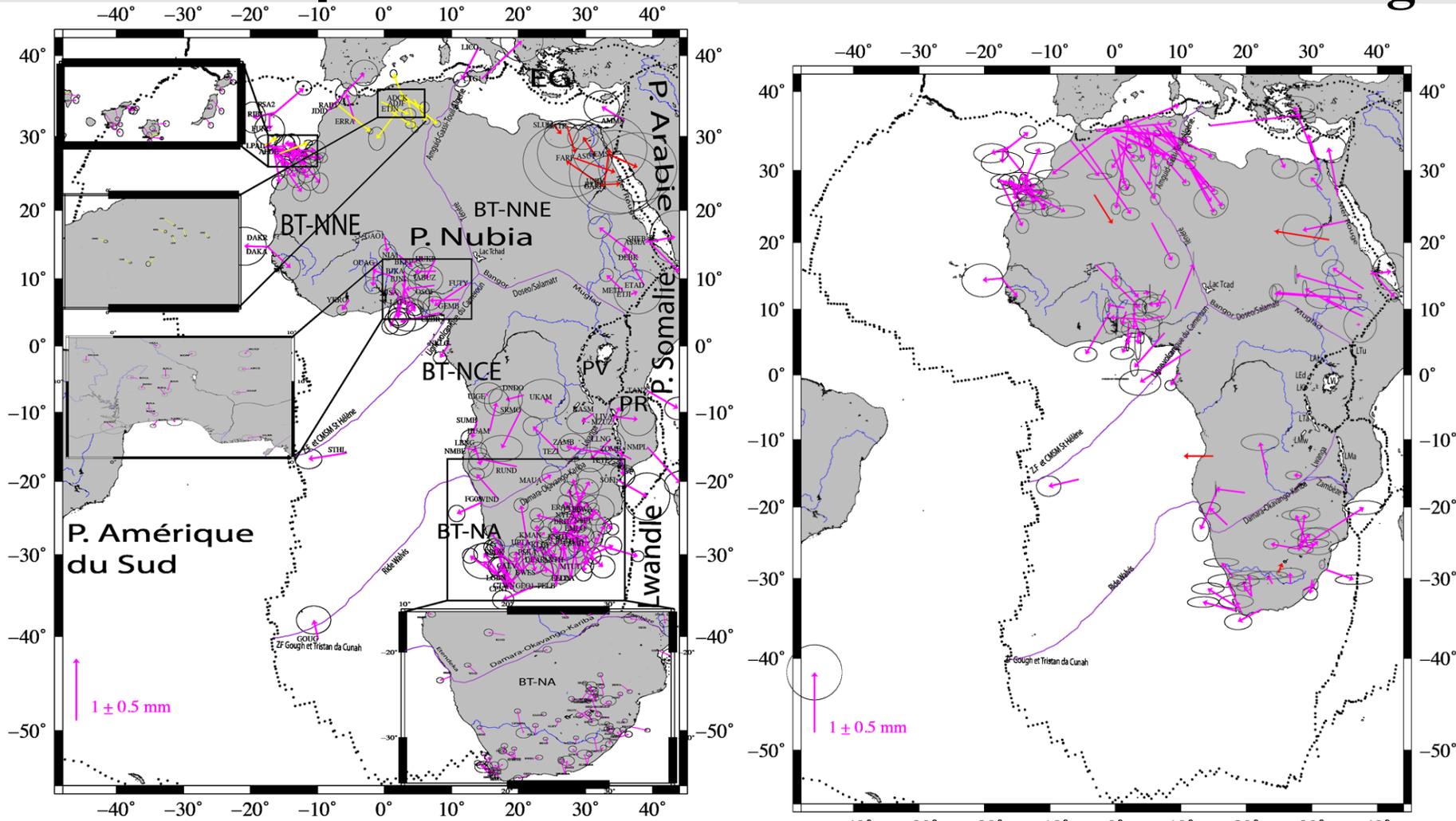
Un mouvement antihoraire cohérent de l'est à l'ouest dans cette région.

Les 2 champs de vecteurs vitesses se modélisent comme des champs de gradient dont les vecteurs vitesses dérivent du [potentiel](#) $r(x,y)$ selon le modèle du mouvement de bloc rigide sur la sphère.

L'amplitude et la direction des vitesses dépendent à tout lieu que des coordonnées $r(x,y,z)$ de ce lieu par rapport à l'axe de rotation de la vitesse angulaire constante.

Par rapport à ces repères, la Nubie et l'Eurasie occidentale serait un seul bloc.

2.3.3 Orientations divergentes des vitesses résiduelles mesurées par rapport aux repères Nubie fixe sur différents BTs et origine des forces motrices



Origine des forces motrices.

L'orientation prédominante:

- NO-SE sur le BTNNO est dû Collision EURASIE-BTNNO
- SE-NO sur le BTNNE est justifié par la zone de subduction et extension rift Mer Rouge
- EO sur le BTNCE résulte de l'extension le long du REA
- SO-NE sur le BTNA serait dû au superplume Africain. En effet, Lithgow-Bertelloni et Silver [1998] ont montré que le flux de manteau ascendant, qui est le plus intense près de la limite noyau-manteau, constitue un moteur important pour les plaques tectoniques en Afrique Australe.

Figure 12 : (A) VMs horizontales prr Nubie fixe qui illustrerait la rigidité supposée de cette P. à 1mm/an suivant l'hypothèse géodésique [Argus et Gordon ,1996]. Seuls les sites présentant des vitesses inférieures à 1 mm/an sont affichés. Magenta : Solution Blewitt et al.,[2016] , Rouge : Solution Petriantanio et al.,[2016] et Jaune : Solution Bougrine et al.,[2019].. Les ICEEV sont de 95%. Les limites des P., et des MP. et des BTs d'après la figure 1. (B) VMs horizontales prr Nubie fixe (Magenta) ayant des IVHs inférieures à 0.5 mm/an considérés dans l'estimation de la vitesse moyenne pondérée pour chaque bloc tectonique (Rouge)

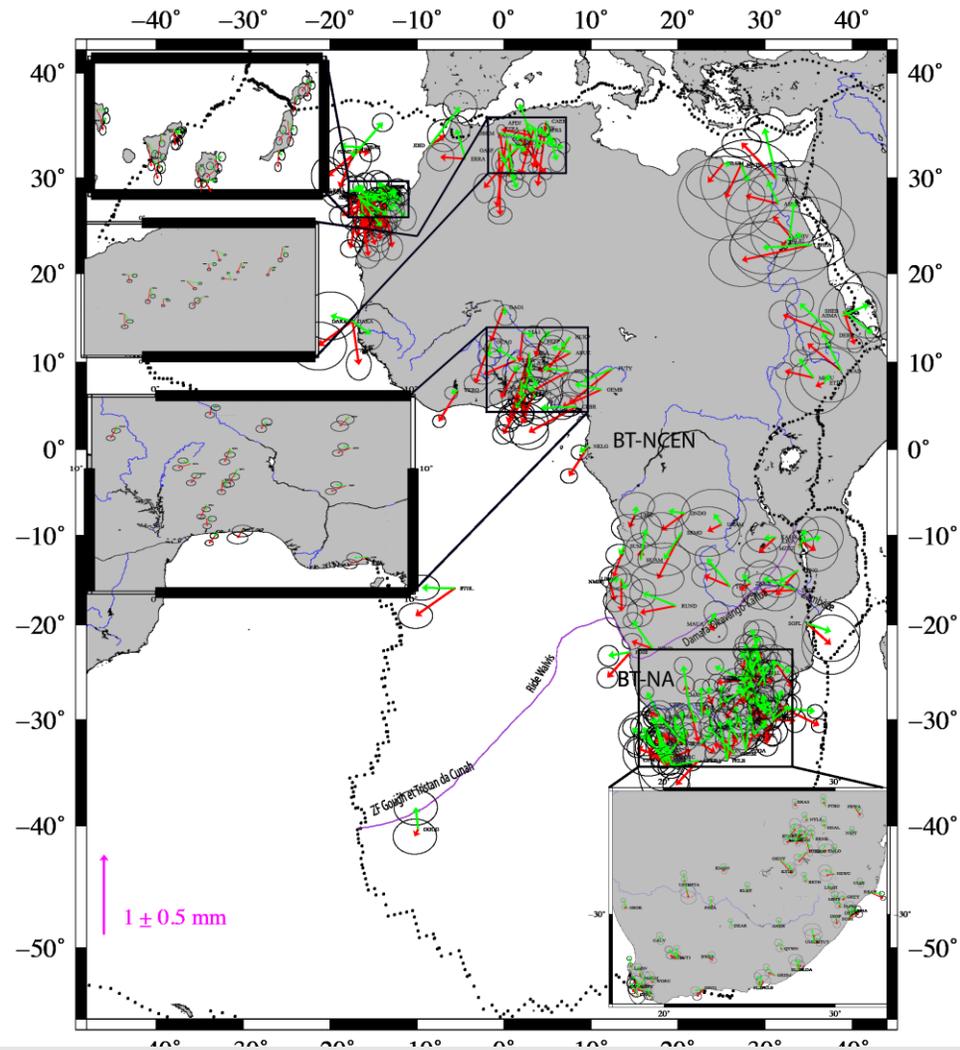
2.3.4. Résultats de l'évaluation de la cinématique globale de la Nubie par les tests statistiques [Stein and Gordon, 1984 ; Gordon et al.,1987 ; Nocquet et al.,2001, Nocquet,2011].

Géométrie des plaques	NbreD	F Ratio (exp) F	F ratio (Attendu) f		Résultat
			95% Conf.	99% Conf.	
Nubie rigide	-	-	-	-	Hypo. Nulle
NUBIE-NORD && NUBIE-SUD	278	2.02	3.18	3.88	F<f
NUBIE-NORD ae && NUBIE-SUD	303	2.52	3.16	3.85	F<f
NUBIE-CENTRE-NORD & NUBIE-SUD-SUD (BT-NA)	278	16.46	3.18	3.88	F>f
NUBIE-CENTRE (BT-NCE) & NUBIE-SUD-SUD (BT-NA)	278	15.9	3.14	3.82	F>f

Géométrie des plaques	Nbre DL	f Ratio (exp) F	F ratio (Attendu) f		Résultat
			95% Conf.	99% Conf.	
NUBIE-NORD	-	-	-	-	Hypo. nulle
NUBIE-NORD-EST & NUBIE-NORD- OUEST	108	1.325	3.25	3.98	F<f
NNEae & NNOae	126	1.6336	2.68	3.22	F<f

Le test de f-ratio montre que deux blocs tectoniques NCEN et NA expliqueraient significativement mieux le champ de vitesse de 142 sites avec un niveau de confiance élevé (99%). Ce résultat confirme que l'ancienne plaque Nubie n'est pas rigide.

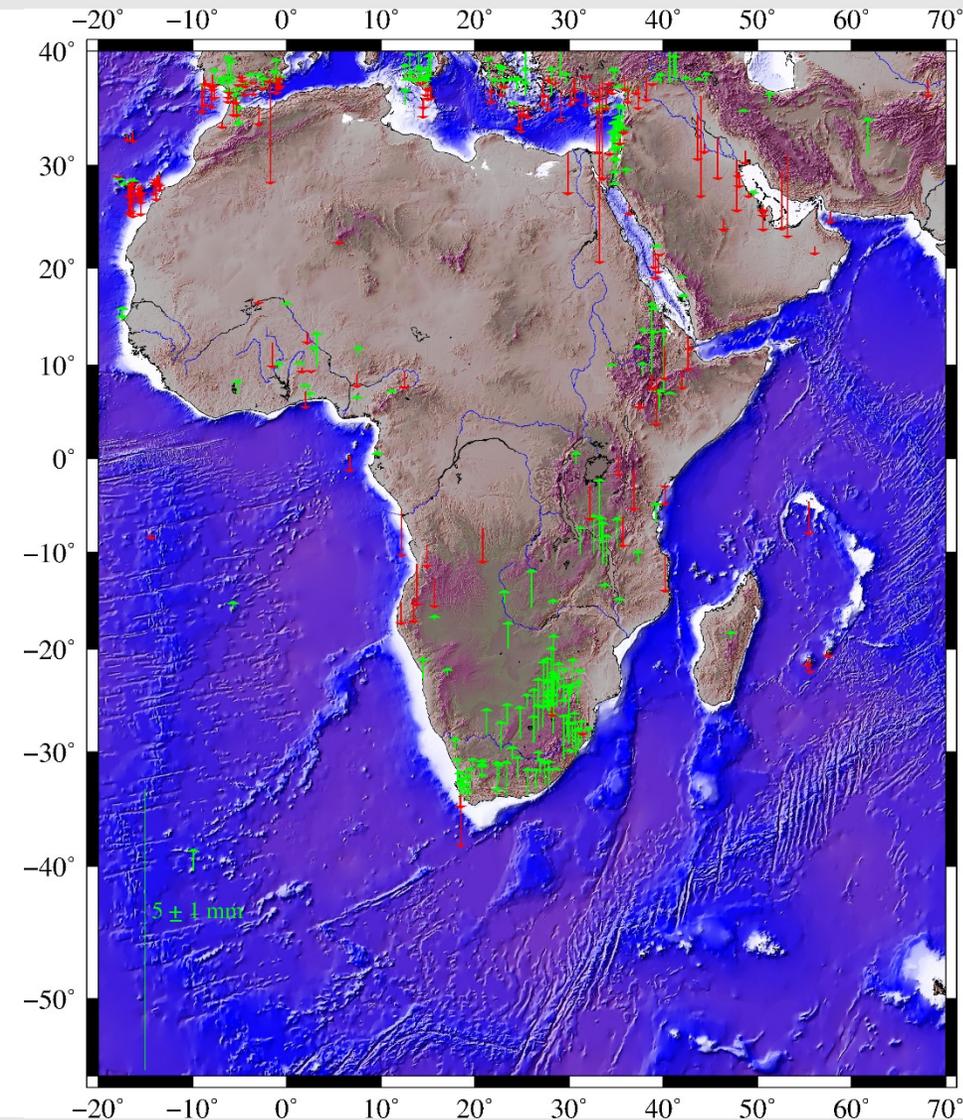
2.3.5. Comparaison des vitesses prr au BT-NCEN et BT-NA



Globalement les vitesses par rapport au repère NA fixe sont inférieures à 05 mm/an sur ce bloc et relativement supérieur sur le BT-NCEN et vice-versa.

Figure 13 : Rouge: VMs prr Nubie Australe (NA). Vert: VMs prr Nubie Centrale-Equatoriale-Nord (NCEN). La limite entre BT-NA et BT-NCEN et celles de la Nubie sont montrée à la figure 1.

2.3.5. Vitesse verticales et origines des forces motrices en Afrique

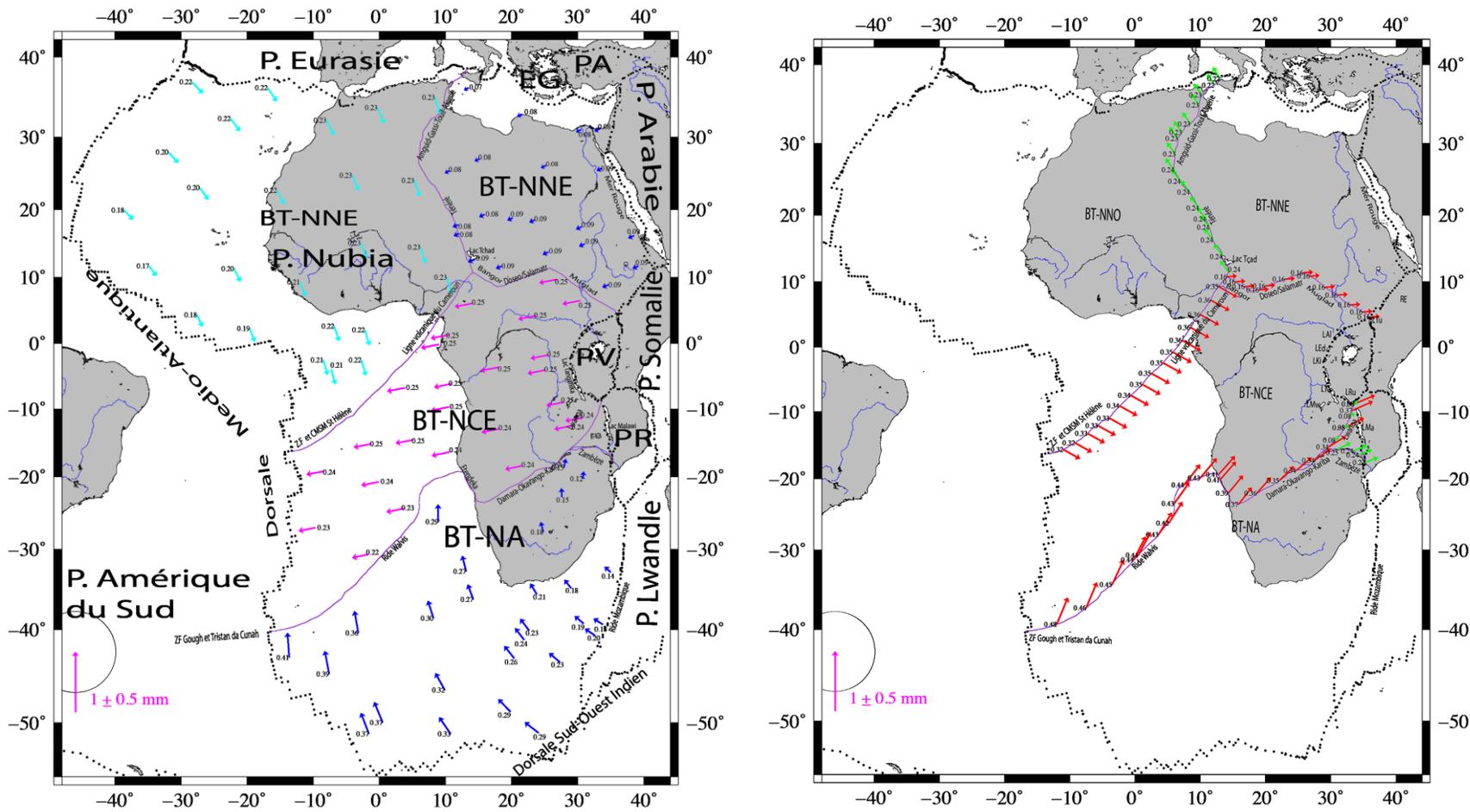


Les vitesses GNSS verticales positives prédominantes en Afrique du sud et le long du rift est africain corrobore avec le modèle de la topographie dynamique comme explication de la superplume africaine [Lithgow-Bertelloni et Silver 1998]. La topographie dynamique est une déformation de la surface de la Terre, soutenue par les contraintes verticales à la base de la lithosphère, générées par un écoulement dans le manteau situé en dessous [Cazenave et al., 1989 ; Christensen, et al., 1998]. Le flux de manteau ascendant, qui est le plus intense près de la limite noyau-manteau, constitue un moteur important pour les plaques tectoniques dans la région.

[Dziewonski, A. M. 1984; Hilst et al., 1997], Lithgow-Bertelloni et Silver [1998]

Figure 13 Figure 3.14. Vitesses verticales par rapport à l'ITRF2008 dérivées à partir de cette étude avec la solution Blewitt. Pour une bonne lisibilité, nous avons dessiné uniquement les sites avec des incertitudes inférieures à 1.5 mm/an.

2.3.6. Vitesses prédites sur chaque BT par rapport à la Nubie Fixe et relatives aux frontières des blocs



Origine des forces motrices. Par rapport au repère Nubie fixe les vitesses prédites confirment les effets des contraintes à champ lointain agissant sur chaque BT sus-évoqués. Le taux faibles (0.08 mm/an) des vitesses prédites par le pôle de rotation BTNNE-NUBIE et leur orientation NE-SO indique que grâce à la subduction les contraintes convectives rencontrent une faible résistance dans cette zone. Un taux de déformation de l'ordre de 0.4 à 0.08 mm/an est observé entre les différents BTs

Figure 14. (A.) Vitesses prédites par les pôles de rotation : Bleu : BTNA-NUBIE, Magenta : BTNCE-NUBIE ; Cyan BTNNO-NUBIE ; Violet : BTNNE-NUBIE. (B) Mouvements relatifs : Rouge des 3 BTs prr BTNCE fixe ; Vert : du BTNNE prr BTNNO ; Bleu : du BTNA prr Pseudo PBTNZ ; Cyan : du BTNA prr à PBTNZ. Les vitesses sont déduites des pôles d'Euler déterminés par une ICVG pour chaque BT. Les limites de la plaque Nubie et celles entre les BTs sont montrées dans la figure 1

2.4. Corrélation avec des études géophysiques et géologiques antérieures

2.4.1. Corrélation Vitesses GNSS avec les données sismo-tectoniques

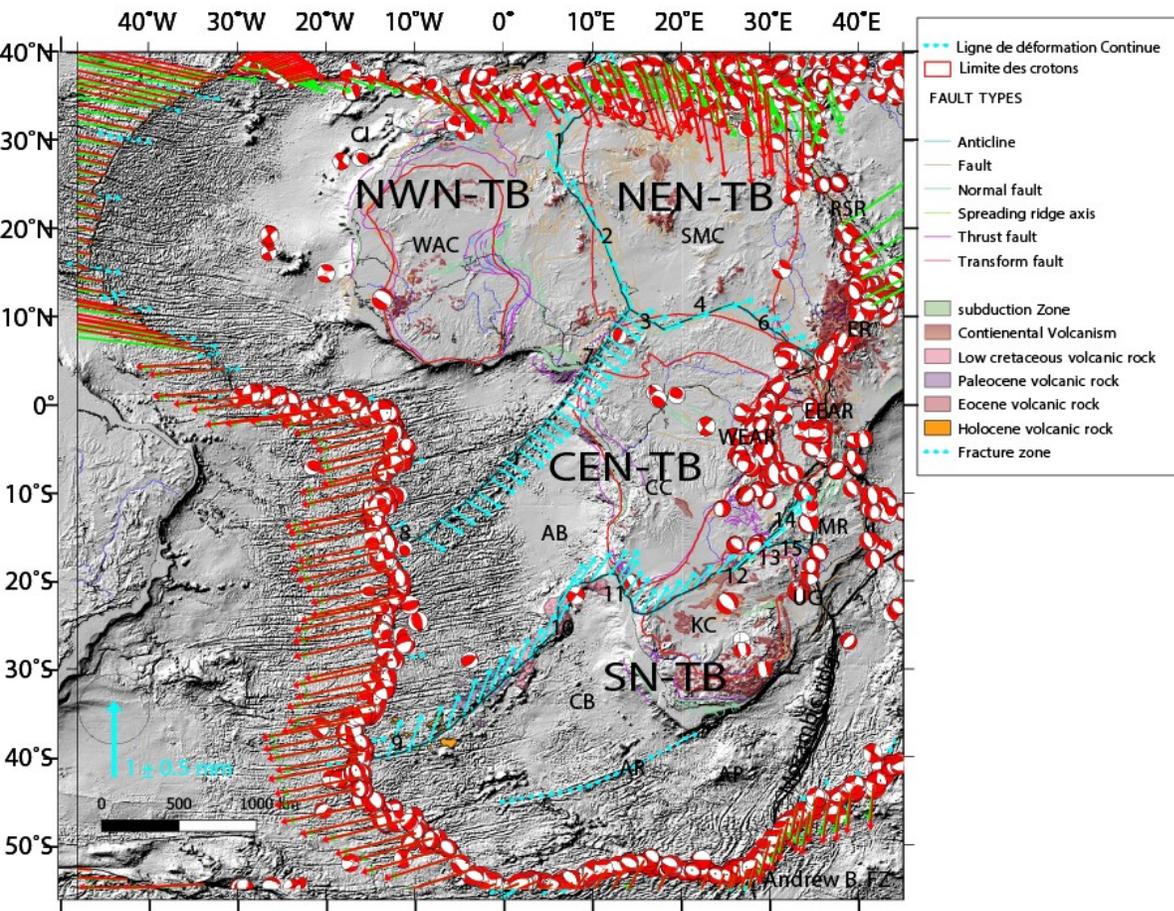


Figure 15 : Structures tectoniques de l'Afrique montrées à la figure 1. Les mécanismes au foyer sont tirés du catalogue CMT. Les vecteurs aux limites de l'Afrique indiquent les vitesses relatives par rapport à la Nubie fixe de différentes plaques: Rouge :Modèle Morvel56 et Vert: ITRF2005. Vecteurs cyan sont vers les BTs de la Nubie montrées à la figure démontré dans la figure 12B

Un mécanisme au foyer le long de la ligne volcanique du Cameroun (7) est cohérent avec la compression géodésiquement observée sur cette ligne. Dans la région de Bangor(9) un mécanisme au foyer figurant dans la Carte Sismo-tectonique de l'Afrique [Meghraoui et al.,2016] est également cohérent avec le régime extensif. Un autre sur le ride Wallis (10) est aussi cohérent avec le régime de décrochement.

Le long de la province basaltique Etendeka (11) la contradiction entre le régime compressif géodésiquement prédit et le mécanisme au foyer extensif observé dans cette région serait due au fait que la sismicité actuelle et l'activité néotectonique au large et au sud-ouest de l'Afrique du Sud-Ouest sont toujours contrôlées par le grain structural hérité en grande partie de l'orogénèse panafricaine comme l'ont soutenu Viola et al., [2005, 2012].

Les faibles vitesses d'extensions entre l'Afrique et l'Antarctique est cohérent avec rotation antihoraire résultant de la poussée des crêtes le long de la dorsale médio-indienne agissant essentiellement sur une plaque océanique légère.

2.4.2. Justification des limites des blocs tectoniques selon l'histoire géodynamique de l'Afrique



Les limites des blocs tectoniques proposées dans cette étude corrént avec les zones des failles majeures du Gondwana. Les vecteurs GNSS montrant que les diverses contraintes tectoniques à champ lointain agissant différemment sur les blocs tectoniques nubiens sont actuelles, les déformations qui résultent ne peut s'accommoder qu'autour des structures historiquement faibles comme l'ont montré Will et al., [2017]. Ces auteurs ont montré que l'ouverture du Condwana du crétacé s'est produit autour des zones d'arrière arc rhéologiquement et thermiquement affaiblies. Il me parait judicieux que le gradient de déformation provoquée par diverses contraintes tectoniques à champ lointain et à pression ne pouvait être accommodé les long de ces ceintures panafricaines néo-protérozoïques qui séparent les cratons archéens.

Figure 16: Zones de failles majeures du Gondwana, d'après Guiraud et al., [2000]. Les g, Agulhas; C, Central; CAFZ, Zone de Faille Centrafricaine; Ch, Chaîne; Dam, Damara; Fal, Falkland; GNL, linéaments guinéo-nubiens; H, Hodna; Hog, Hoggar; Moz, Mozambique; N-S, Narmada-Son; N Taoud, Linéament du nord de Taoudenni; R, Rukwa; Tanz, Tanzanie; TB, Trans-Brasilano; Tib, Tibesti; TL, Tibesti Linéament ; La courbure apparente du linéament Tibesti est due à la projection. D'après Guiraud et al.,[2005].

2.4.3. Corrélation avec la déformation intraplaque nubienne justifiée autour du Systèmes des rifts de l'Afrique de l'ouest et central dans la reconstruction de l'ouverture de l'Océan atlantique [Burke & Dewey, 1974 ; Benkhelil et al., 1988 ; Maurin & Guiraud, 1993 ; Nürnberg & Müller 1991].

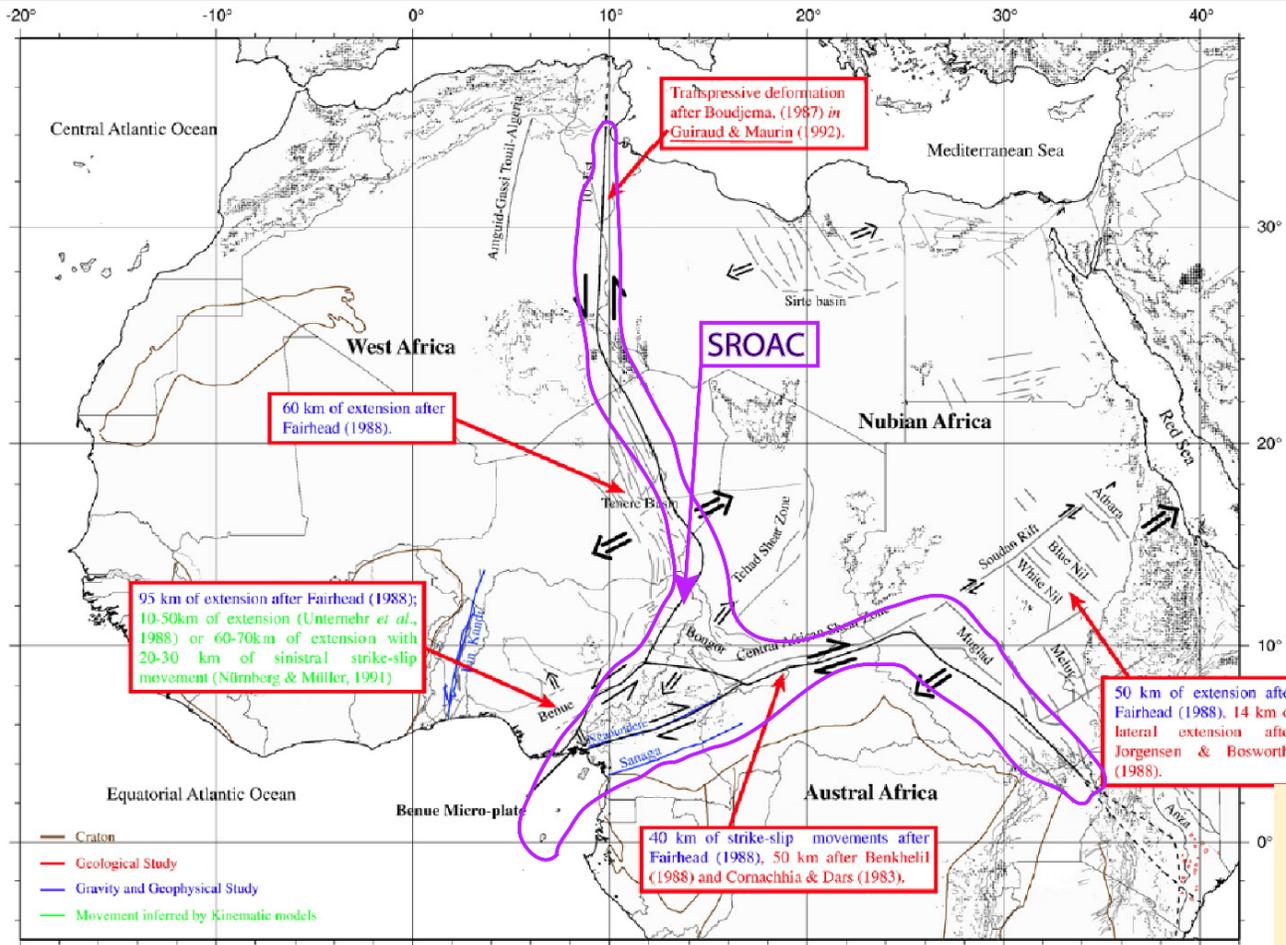


Figure 17. D'après Moulin et al.,[2010], la carte structurale générale de la plaque africaine : Les bassins du Crétacé et la déformation continentale maximale sur la plaque africaine. Après Guiraud et Maurin [1992], la plaque africaine a été dissociée en quatre blocs. La déformation intraplaque entre ces blocs est résumée sur une seule ligne (lignes noires épaisses) dans un but graphique. La ligne violette foncée est ajoutée par moi pour des raisons indicatives, elles ne présente pas les limites réelles du SROAC.

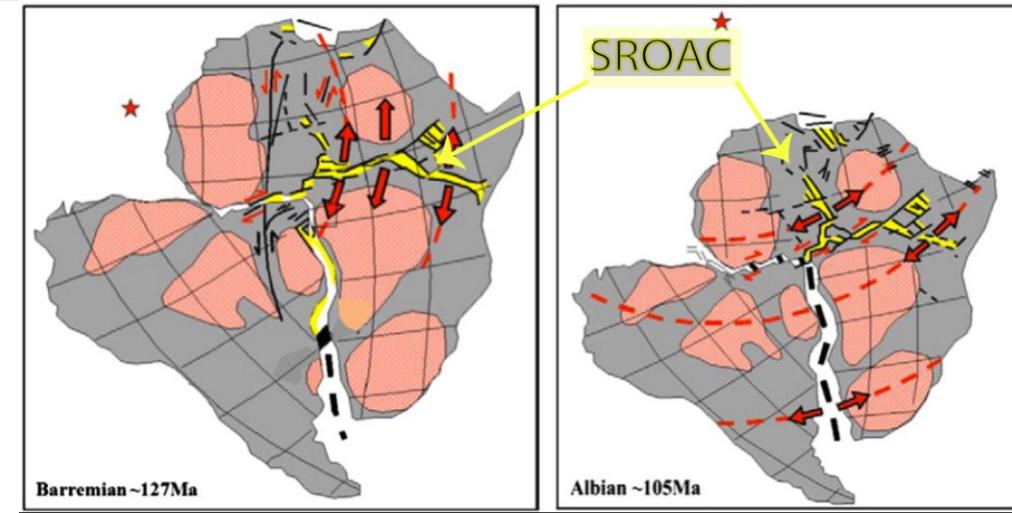
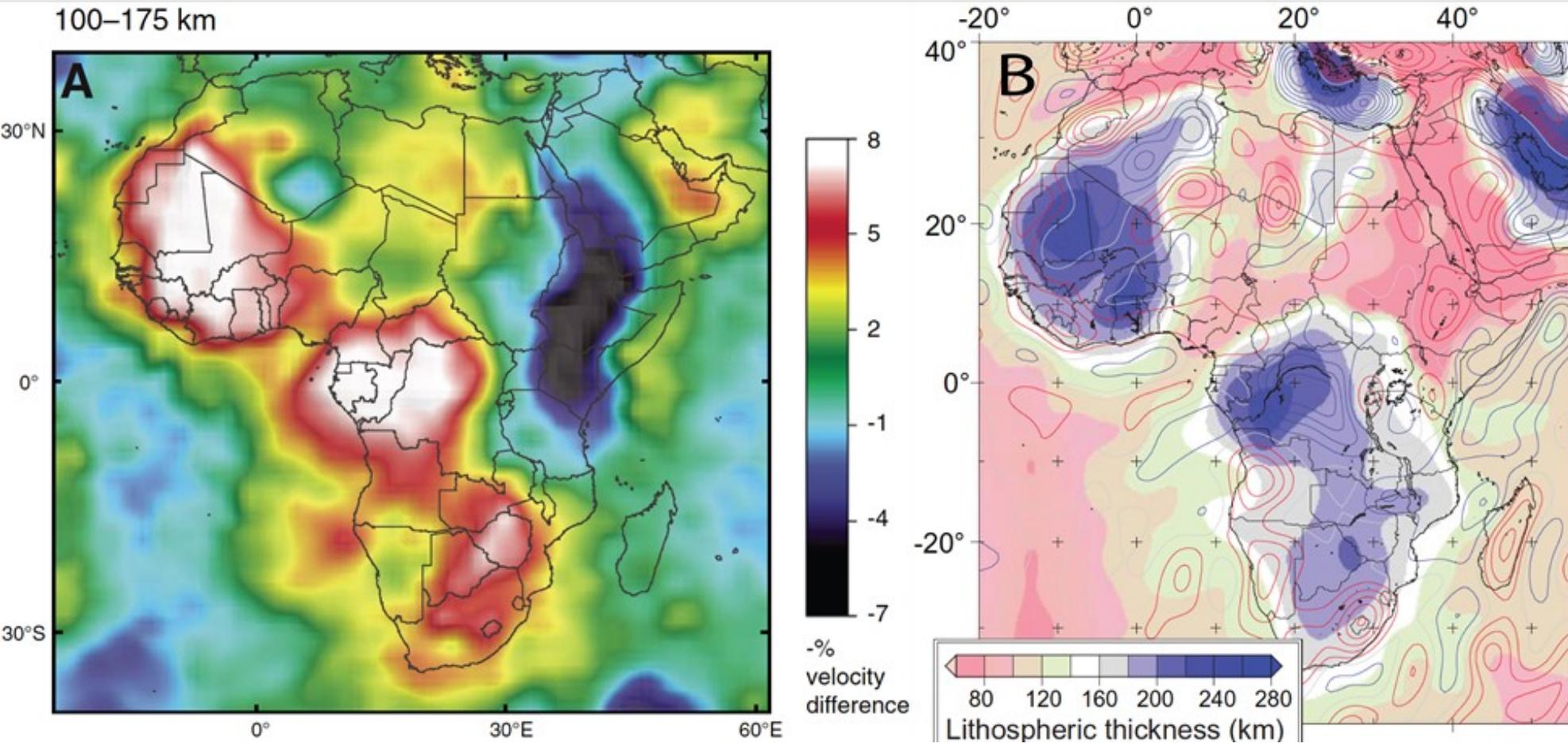


Figure. 18. Le développement des SROAC du au changement du champ de stress de l'Afrique. Le pôle d'Euler situé au large de la côte de l'Afrique de l'Ouest (étoile rouge) D'après Fairhead et al.,[2013].

Nos observations géodésiques (Fig.14b) corroborent avec celles de l'étude de Fairhead et al.,[2013] qui ont observé un régime de déformation extensif et actuel le long de la faille de Muglad, à partir des données gravimétrique, aéromagnétique et stratigraphique. La sismicité faible à absente observée à ces jours corrèlerait avec le faible taux d'extension et non avec la dissipation des contraintes de cette zone dans les régions actives du rift de la Mer Rouge et du Rift Est Africain.

2.4.4. Corrélation avec les structure lithosphérique déduite de Tomographie sismique



Trois blocs tectoniques (cratons) les plus froids, d'épaisseur lithosphériques plus larges séparées par des zones plus chaudes d'épaisseurs lithosphériques plus faibles soumis à des contraintes tectoniques à champs lointain avec pression divergentes accommodent avec les observations GNSS sur la Nubie.

Figure 19 : Structures lithosphériques : (A) D'après Begg et al., [2009], l'image tomographique (vitesse de l'onde S [V_s]) de l'Afrique, tranche de profondeur de 175 à 250 km. La vitesse de référence est de 4,48 km/s. (B) D'après Fishwick et Bastow, [2011], estimations tomographique de l'épaisseur de la lithosphère. Les contours rouge (positif) et bleu (négatif) montrent les anomalies de gravité de l'air libre sur de grandes longueurs d'onde.

3. Conclusion

Cette étude montre que la plaque l'Afrique telle qu'elle a été définie par de Le Pichon 1968 est un assemblage des blocs tectoniques soumis des contraintes uniformes mesurables dans le repère non rotation globale.

Par rapport au repère global secondaire comme ITRF, la géodésie mesure la déformation due à des contraintes à champs lointain avec pression uniformes agissants respectivement sur 2 plaques majeurs (Nubie et Somalie) et trois micro-plaques (Lwandle, Rovuma, Victoria).

Tandis que, par rapport au repère Nubien, la géodésie permet de contraindre d'autres contraintes à champs lointain avec pression tertiaires uniformes agissant respectivement sur 4 blocs tectoniques majeurs qui subdiviseraient la plaque Nubie.

Perspectives

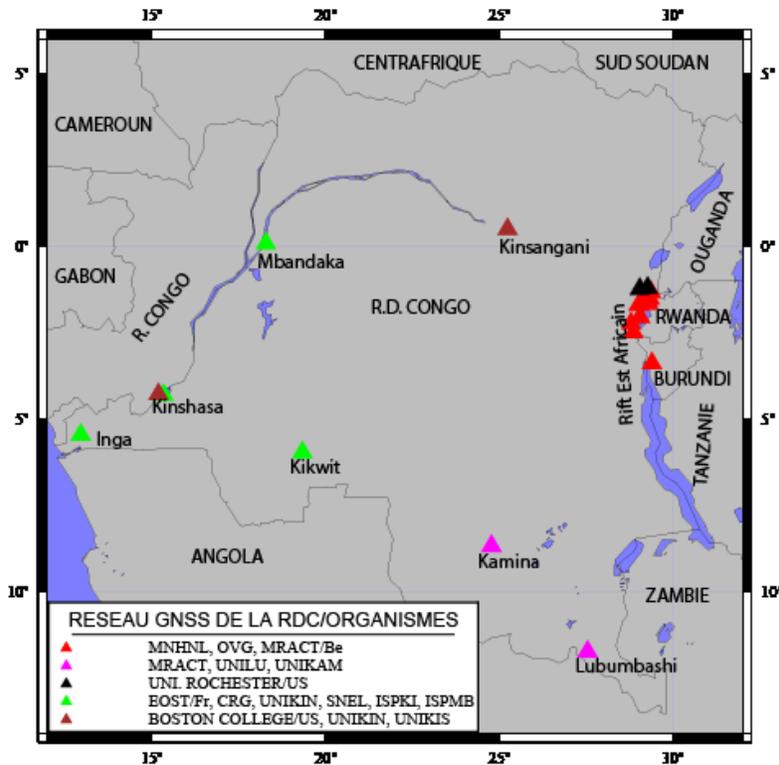
Applications de cette méthode d'analyse des données géodésiques sur les plaques Eurasie, Amérique du Sud et du Nord qui dispose d'un réseau GNSS plus dense et des longues séries temporelles en vue de l'amélioration de leurs modèles tectoniques.

Unifications des codes utilisés.

Densification des stations GNSS sur l'Afrique et réévaluation du modèle tectonique de l'Afrique actuelle.

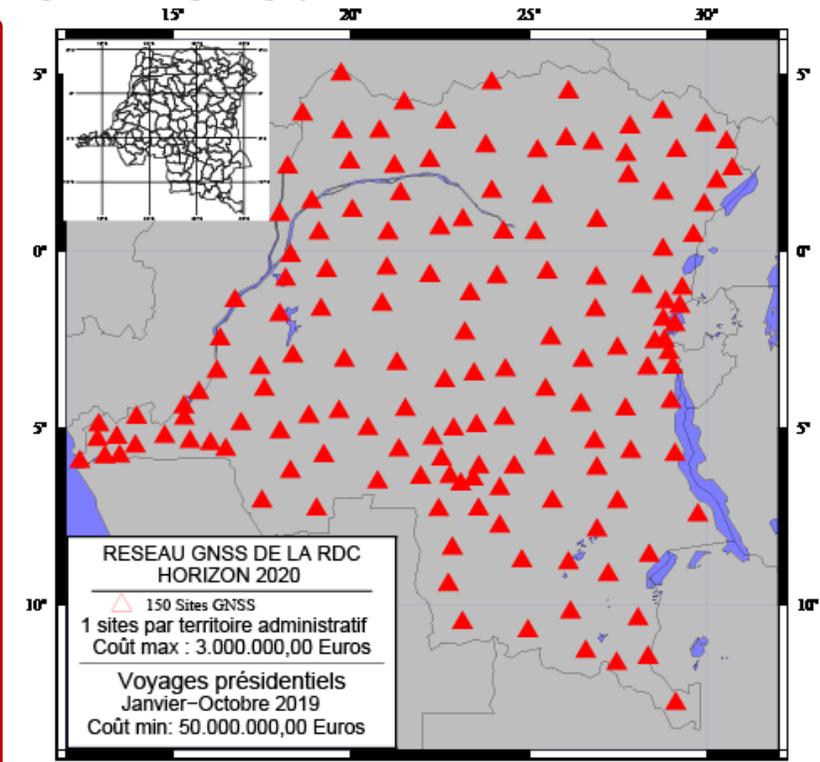
Densification du réseau GNSS de l'Afrique.

Cas de la RDC : 2 345 409 km² de superficie.



Le réseau actuel est quasi non opérationnel à cause de :

- détournement récurrent du budget de fonctionnement et d'investissement des organismes scientifiques nationaux concernés au niveau des cabinets ministériels (Rapports annuels de reddition des comptes de l'Etat);
- Salaire insuffisant pour les chercheurs travaillants dans ces organismes. ~ 100 €/mois pour les chercheurs et ~ 27000,00 €/mois pour le Président de la République et ~ 13000,00 €/mois pour le sénateur et le député national (Lois des finances annuelle 2011).



Site de Kikwit : de gauche à droite R. Mukandila Ngalula, J. Matadi (Chercheur au CRG), en vert le maçon de l'équipe ; derrière, Stéphane Muadi (Chef de département de géographie de l'ISP-Kikwit)



Site UKIN (Université de Kinshasa) : de gauche à droite M.Mayaka (étudiant), R. Mukandila Ngalula, M. Conrad (SNEL), Pr Malekani, Pr Phuku (Doyen/Fac des Sciences), Pr Ngoma (Recteur/UNIKIN), P. Demougin (Attaché de coopération à l'Ambassade de France «ATCAF», partant), T. Poirier (ATCAF entrant), Pr Muamba, Pr Sabakinu, Pr Musesa, Pr ?, Pr Tshilanda

Références

Altamimi, Z., L. Métivier, P. Rebischung, H. Rouby and X. Collilieux (2017), ITRF2014 plate motion model. *Geophys. J. Int.* (2017) 209, 1906–1912, doi: 10.1093/gji/ggx136.

Altamimi, Z., X. Collilieux, J. Legrand, B. Garayt, and C. Boucher (2007), ITRF2005: A new release of the International Terrestrial Reference Frame based on time series of station positions and Earth Orientation Parameters, *J. Geophys. Res.*, 112, B09401, doi:10.1029/2007JB004949.

Argus D. F., R. G. Gordon (1996), Tests of the rigid-plate hypothesis and boundson intraplate deformation using geodetic data from very long baseline interferometry. *Journal of geophysical research*, vol. 101, no. B6, pages 13,555-13,572,

Argus, D. F., R. G. Gordon, and C. DeMets (2011), Geologically current motion of 56 plates relative to the no-net-rotation reference frame, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 12, Q11001, doi:10.1029/2011GC003751.

Basili R., Kastelic V., Demircioglu M. B., Garcia Moreno D., Nemser E. S., Petricca P., Sboras S. P., Besana-Ostman G. M., Cabral J., Camelbeeck T., Caputo R., Danciu L., Domac H., Fonseca J., García-Mayordomo J., Giardini D., Glavatovic B., Gulen L., Ince Y., Pavlides S., Sesetyan K., Tarabusi G., Tiberti M. M., Utkucu M., Valensise G., Vanneste K., Vilanova S., Wössner J. (2013). The European Database of Seismogenic Faults (EDSF) compiled in the framework of the Project SHARE. <http://diss.rm.ingv.it/share-edsf/>, doi: 10.6092/INGV.IT-SHARE-EDSF.

Becker, T. W., and R. J. O'Connell, 2001. Predicting plate velocities with mantle circulation models, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 2, 10.1029/2001GC000171, 2001.

Begg, G. et al., 2009. The lithospheric architecture of Africa: seismic tomography, mantle petrology, and tectonic evolution, *Geosphere*, 5, 23–50, doi:10.1130/GES00179.1.

Benkhelil, J. (1989). The origin and evolution of the Cretaceous Benue Trough (Nigeria). *Journal of African Earth Sciences*, 8(2–4), 251–282. [https://doi.org/10.1016/S0899-5362\(89\)80028-4](https://doi.org/10.1016/S0899-5362(89)80028-4)

Bird, P., An updated digital model of plate boundaries, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 4(3), 1027, doi:10.1029/2001GC000252, 2003. **Geochemistry Geophysics**

Blewitt, G., C. Kreemer, W. C. Hammond, and J. Gazeaux (2016), MIDAS robust trend estimator for accurate GPS station velocities without step detection, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 121, 2054–2068, doi:10.1002/2015JB012552.

Bougrine, A, A. K. Yelles-Chaouche, E. Calais (2019), Active deformation in Algeria from Continuous GPS measurements. To be submitted to *Geophysical Journal International*. Downloaded from <https://academic.oup.com/gji/advance-article-abstract/doi/10.1093/gji/ggz035/5289867> by Université Louis Pasteur service commun de documentation user on 21 January 2019.

Buck, W. R. (2004). Rheology and deformation of the lithosphere and continental margins in Karner G et al.(eds). Columbia Univ. Press, pages 92-137.

Burke, K., Dewey, J.F., 1974. Two plates in Africa during the Cretaceous? *Nature* 249, 313–316.

Calais, E., J. Y. Han, C. DeMets, and J. M. Nocquet (2006), Deformation of the North American plate interior from a decade of continuous GPS measurements, *J. Geophys. Res.*, 111, B06402, doi:10.1029/2005JB004253. ;

CGMW, 2010, Tectonic Map of Africa, CGMW General Assembly / UNESCO, Paris, France.

Chase C. G. (1972), The N Plate Problem of Plate Tectonics. *Geophys. J. R. astr. SOC.*(1972) 29,117-122. <http://gji.oxfordjournals.org/>

DeMets C, Gordon RG, ArgusDF, Stein S (1990a) Current platemotions. *Geophys J Int* 101(2):425–478

DeMets C., Gordon R.G., Argus, D.F., (2010), Geologically current plate motions, *Geophysical J. Int.*, 181, 1–80, <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2009.04491.x>

DeMets, C., Gordon, R., Argus, D. & Stein, S., 1990 C. Current plate motion, *Geophys. J. Int.*, 101, 425–478.

Déprez, A., C. Doubre, F. Masson, and P. Ulrich (2013), Seismic and aseismic deformation along the East African Rift System from a reanalysis of the GPS velocity field of Africa, *Geophys. J. Int.*, 193, 1353-1369, doi: 10.1093/gji/ggt085.

Fairhead J.D. , C.M. Green a,b, S.M. Masterton a, R. Guiraud (2013)a, The role that plate tectonics, inferred stress changes and stratigraphic unconformities have on the evolution of the West and Central African Rift System and the Atlantic continental margins, *Tectonophysics*, 594(2013)118-127, <http://dx.doi.org/10.1016/j.tecto.2013.03.021>.

Fishwick S. and Ian D. Bastow, Geological Society, London, Special Publications 2011; v. 357; p. 343-371, doi: 10.1144/SP357.19.

Gordon R.G., Stein S., DeMets C. and Argus D. F, Statistical tests for closure of plate motion circuits, *Geophysical research letters*, vol.14, N°6,Pages 587-590, June 1987.

Références

Guiraud R. a,* , W. Bosworth b, J. Thierry c, A. Delplanque, Phanerozoic geological evolution of Northern and Central Africa: An overview, *Journal of African Earth Sciences* 43

Hartnady, C. J. H. (2002), Earthquake hazard in Africa: Perspectives on the Nubia-Somalia boundary, *S. Afr. J. Sci.*, 98, 425–428.

Le Pichon X.,(1968) Sea floor spreading and continental drift. *JGeophys Res* 73:3661–3697

Lithgow-Bertelloni, C., and P. G. Silveri (1998), Dynamic topography, plate driving forces and the Africa superswell, *Nature*, 395, 269–272.

Loi N°10/013 du 31 décembre 2010 portant budget de l’Etat pour l’exercice 2011. Décembre 2010.

Maurin, J.-C., Guiraud, R., 1993. Basement control in the development of the Early Cretaceous West and Central African Rift System. *Tectonophysics* 228, 81–95.

McKenzie DP, Parker RL (1967) The North Pacific: an example of tectonics on a sphere. *Nature* 216:1276–1280

McKenzie, D. & Parker, R., 1967. The North Pacific: an example of tectonics on a sphere, *Nature*, 216, 1276–1280.

Meghraoui et al.,(2016) , The Seismotectonic Map of Africa, Episodes Vol. 39, no. 1, DOI:10.18814/epiugs/2016/v39i1/89232. Website: <http://eost.u-strasbg.fr/igcp601/index>.

Mukandila-Ngalula Raphaël (2017), Apport de l’EOST dans l’établissement du réseau GNSS de la république démocratique du Congo (rdc). La lettre de l’EOST, N°26 JUIN 2017. eost.unistra.fr.

Nocquet jm. (2011), Apport de la géodésie spatiale à la connaissance de la géodynamique en Europe et en méditerranée, Thèse d’habilitation à diriger des recherches. Université de Nice Sophia Antipolis.

Nocquet, J.-M., E. Calais, Z. Altamimi, P. Sillard, and C. Boucher (2001), Intraplaque déformation in western Europe deduced from an analysis of the ITRF97 velocity

Nürnberg, D., Müller, R.D., 1991. The tectonic evolution of the South Atlantic from Late Jurassic to present. *Tectonophysics* 191, 27–53.

Pietrantonio G., R.Devotia, S.Mahmoudb, F.Riguzia Kinematics of the Suez-Sinai area from combined GPS velocity field. *Journal of Geodynamics* 103 (2016) 231–238. <https://doi.org/10.1016/j.jog.2016.10.003>.

Projet de loi portant reddition des comptes du budget de l’Etat pour l’exercice 2008. Octobre 2009.

Richardson, R. M., S. C. Solomon, and N. H. Sleep (1979), Tectonic stresses in plates, *Rev. Geophys.*, 17, 981–1019.

Saria, E., E. Calais, D. S. Stamps, D. Delvaux, and C. J. H. Hartnady (2014), Present-day kinematics of the East African Rift, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 119, doi:10.1002/2013JB010901.

Saria, E., E. Calais, Z. Altamimi, P. Willis, and H. Farah (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), *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 118, doi:10.1002/jgrb.50137.

Solomon, S. C., N. H. Sleep, and R. M. Richardson, On the forces driving plate tectonics: Inferences from absolute plate velocities and intraplate stress, *Geophys. J. R. Astron. Soc.*, 42, 769–801, 1975.

Stamps, D. S., E. Calais, E. Saria, C. Hartnady, J.-M. Nocquet, C. J. Ebinger, and R. M. Fernandes (2008), A kinematic model for the East African Rift, *Geophys. Res. Lett.*, 35, L05304, doi:10.1029/2007GL032781.

Stein and Cordon (1984), Statistical tests of additional plate boundaries from plate motion inversions, *Earth planet. Sci. Lett.*, 69, 401-412.

Viola, G., Andreoli, M., Ben-Avraham, Z., Stengel, I., Reshef, M., 2005. Offshore mud volcanoes and onland faulting in southwestern Africa: neotectonic implications and constraints on the regional stress field. *Earth and Planetary Science Letters* 231, 147–160.

Viola, G., Kounov, A., Andreoli, M.A.G., Mattila, J., 2012. Brittle tectonic evolution along the western margin of South Africa: more than 500 Myr of continued reactivation. *Tectonophysics* 514-517, 93–114.

Will Thomas M., Hartwig E. Frimmel (2017). Where does a continent prefer to break up? Some lessons from the South Atlantic margins. *Gondwana Research* 53(2018) 9-19. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gr.2017.04.014>

<https://www.diplomatie.gouv.fr/fr/dossiers-pays/republique-democratique-du-congo/presentation-de-la-republique-democratique-du-congo/>