

# QUELQUES REFLEXIONS SUR L'INVERSION DES MARGES PASSIVES, L'INITIATION DES SUBDUCTIONS, ET LES SPECIFICITES DE LA MARGE ALGERIENNE

*Déverchère Jacques*

Laboratoire Domaines Océaniques, CNRS UMR 6538, Institut Universitaire Européen de la Mer (IUEM), Université de Brest, rue Dumont d'Urville - 29280 Plouzané, France

[jacdev@univ-brest.fr](mailto:jacdev@univ-brest.fr)

**Résumé :** *Sont résumées ici la problématique générale de l'inversion des marges passives, susceptible d'évoluer vers une subduction, et les caractéristiques propres de la marge algérienne, qui apparaît comme étant un cas d'école pour illustrer ce processus. Après avoir mis en évidence les apports et limites de la modélisation, numérique et analogique, sur l'initiation de subduction, et décrit l'état des connaissances sur quelques exemples dans le monde, les facteurs qui conditionnent la remobilisation en compression de la marge algérienne sont discutés à la lumière de données récentes (géophysiques, structurales et sédimentologiques) acquises sur cette marge. De l'état actuel de nos connaissances, sont dégagées des perspectives et des évolutions concernant le devenir de cette marge en inversion, l'histoire géodynamique du bassin algérien, et l'évaluation du risque sismique (définition géométrique des zones sismogènes et récurrence des grands séismes côtiers, à terre et en mer). L'intégration de données marines et terrestres apparaît déterminante pour progresser dans la compréhension de ce système géotectonique complexe, dans un cadre cinématique de convergence « lente ».*

**Mots clés :** *Algérie, inversion de marges, néotectonique, initiation de subduction, géodynamique, risque sismique*

## 1. PROBLEMATIQUE

Parmi les différents types de marges étudiées (« passives », « actives » ou transformantes », la subduction océanique, qui caractérise les marges actives, est souvent privilégiée, car ce processus est à la source d'une des forces fondamentales régissant la tectonique des plaques (la traction du slab), façonne la géomorphologie terrestre, et génère les risques naturels parmi les plus dévastateurs (séismes, volcanisme et tsunamis). Depuis une cinquantaine d'années, de nombreux travaux se consacrent ainsi à analyser ce processus sous différents angles, sur la base de données couvrant tous les champs disciplinaires des sciences de la Terre. Si leur dynamique, leur évolution dans le temps et l'espace, et leurs effets sont aujourd'hui relativement bien connus, la dynamique amenant à la genèse d'une zone de subduction reste largement inconnue. S'il est bien reconnu que les marges passives jouent un rôle crucial dans cette initiation et donc dans le cycle de Wilson (Figure 1), une des particularités de cette étape d'initiation est qu'elle reste mécaniquement difficile à réaliser (Cloetingh et al., 1989) alors qu'elle constitue un processus continu, prouvant que dans des conditions courantes, les forces résistant à cette initiation sont vaincues : au Cénozoïque par exemple, un grand nombre de subductions (près de la moitié des subductions actuelles) ont ainsi pu naître. Des questions fondamentales comme : « Une subduction peut-elle s'initier spontanément ? », « les structures héritées ont-elles un rôle déterminant ? », ou « une nouvelle subduction déconnectée de subductions existantes peut-elle naître, et si oui sous quelles conditions (forces internes et externes) ? » n'ont pour l'instant pas de réponse. Une des raisons majeures est qu'il est encore très difficile de lier étroitement les modèles dynamiques de formation de subduction et les témoins géologiques de cette initiation dans un contexte géodynamique donné (Gurnis et al., 2004 ; Leroy et al., 2008). Les conditions amenant à la réactivation en compression des structures extensives sont souvent supposées correspondre à une évolution spontanée des « vieilles » marges passives (80-100 Ma, Leroy et al., 2008). Paradoxalement, les conditions les plus favorables pour une telle évolution spontanée semblent pourtant être réunies pour les marges « jeunes » (moins de 20 Ma) des bassins marginaux si elles subissent une charge sédimentaire suffisante (Figure 1 ; Cloetingh et al., 1989). Ceci expliquerait la faible préservation de ces bassins marginaux à la surface du globe.

De façon à introduire le cas algérien, seront retraduits les principales observations sur différentes marges en cours d'inversion à travers le monde, et les principaux résultats d'expériences numériques et analogiques récentes. Par exemple, l'étude à la fois de la sismogénèse (Déverchère et al., 1991) et de l'évolution géologique de la marge nord-Ligure (Bigot-Cormier et al., 2004) ont

déjà amené à considérer le rôle combiné du contraste rhéologique de la transition continent-océan, des conditions (même faiblement compressives) aux limites du système, de la charge sédimentaire et de l'évolution thermique, sans inverser les failles normales. Mais il est malaisé de distinguer si ces conditions sont toutes nécessaires et si l'une ou l'autre est prépondérante (Béthoux et al., 2008).

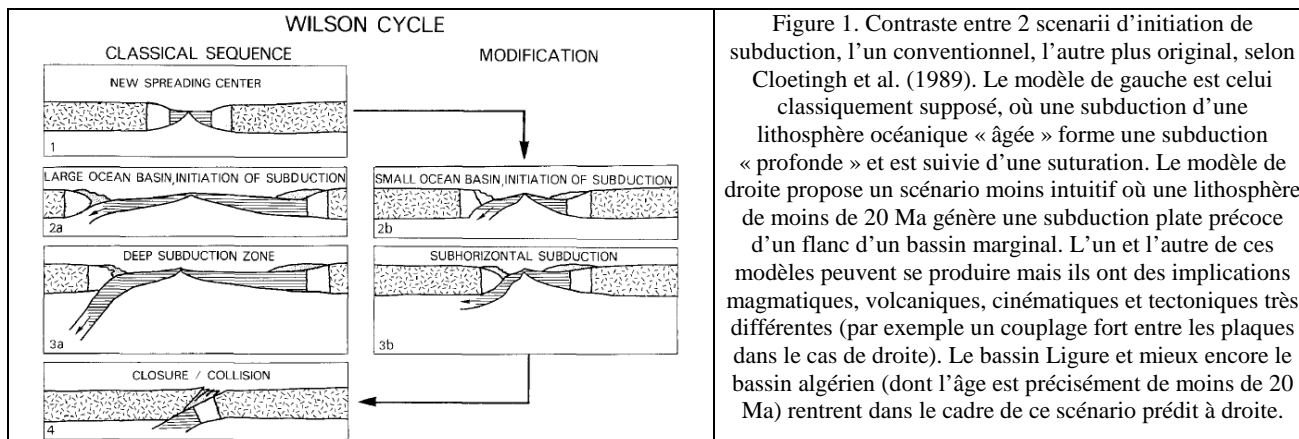


Figure 1. Contraste entre 2 scénarii d'initiation de subduction, l'un conventionnel, l'autre plus original, selon Cloetingh et al. (1989). Le modèle de gauche est celui classiquement supposé, où une subduction d'une lithosphère océanique « âgée » forme une subduction « profonde » et est suivie d'une saturation. Le modèle de droite propose un scénario moins intuitif où une lithosphère de moins de 20 Ma génère une subduction plate précoce d'un flanc d'un bassin marginal. L'un et l'autre de ces modèles peuvent se produire mais ils ont des implications magmatiques, volcaniques, cinématiques et tectoniques très différentes (par exemple un couplage fort entre les plaques dans le cas de droite). Le bassin Ligure et mieux encore le bassin algérien (dont l'âge est précisément de moins de 20 Ma) rentrent dans le cadre de ce scénario prédit à droite.

## 2. SPECIFICITES DE LA MARGE ALGERIENNE

La marge algérienne est a priori moins sédimentée, plus jeune, mais connaissant des conditions compressives aux limites plus franches que la marge Ligure par exemple. Le déficit de connaissances sur cette marge, son potentiel sismogène conséquent, ses dimensions adaptées à une étude à l'échelle des plaques, sont des éléments décisifs pour ce choix d'étude, travail engagé depuis 2003 par une équipe algéro-française. La comparaison entre données et modèles est notamment favorable par (1) la dimension longitudinale de la marge (plus de 1000 km), à l'échelle des plaques convergentes (Figure 2), et (2) le caractère d'inversion très précoce (lithosphère océanique de moins de 20 Ma), idéal pour évaluer les conditions nécessaires à l'étape « forcée » (nucléation) du processus, cas le plus critique à expliquer (Gurnis et al., 2004). Pressenti il y a près de 40 ans (Auzende et al., 1972), prédit par le scénario non intuitif de Cloetingh et al. (1989), cet exemple naturel pourtant rare est resté paradoxalement méconnu. Je donne ici les principales spécificités de ce cas d'étude qu'il convient de considérer pour 3 principaux axes thématiques de premier ordre qui sous-tendent un questionnement scientifique original, en lien avec cette situation particulière de « proto-subduction », sans être bien sûr une subduction *sensu stricto*.

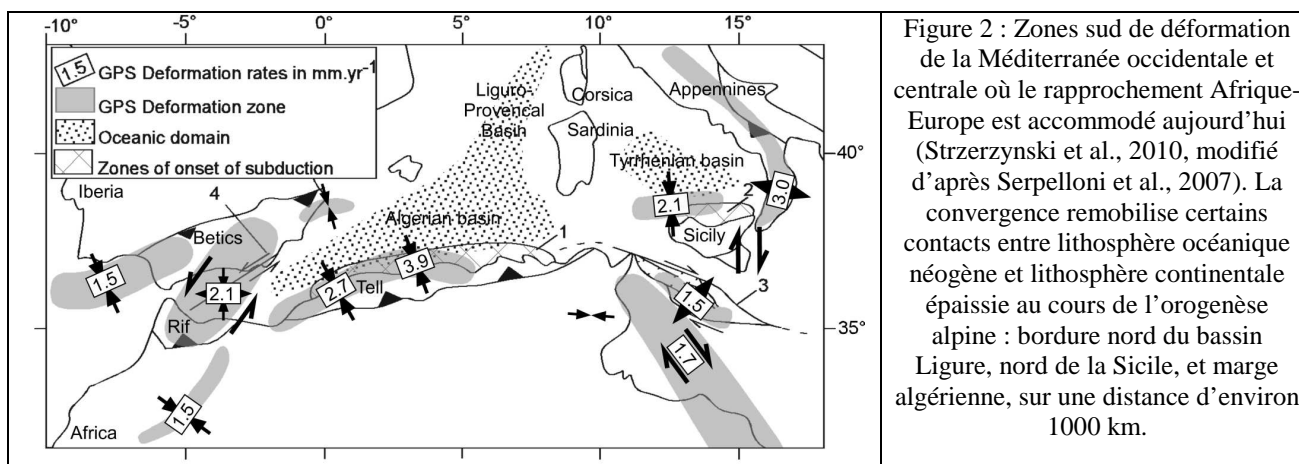


Figure 2 : Zones sud de déformation de la Méditerranée occidentale et centrale où le rapprochement Afrique-Europe est accommodé aujourd'hui (Strzeczynski et al., 2010, modifié d'après Serpelloni et al., 2007). La convergence remobilise certains contacts entre lithosphère océanique néogène et lithosphère continentale épaissie au cours de l'orogénèse alpine : bordure nord du bassin Ligure, nord de la Sicile, et marge algérienne, sur une distance d'environ 1000 km.

**2A- La naissance des subductions et le devenir des marges passives :** La relative « jeunesse » du bassin algérien (moins de 20 Ma, selon Schettino et Turco, 2006) constitue un critère probablement favorable à l'initiation de subduction si l'on en croit le scénario non conventionnel (Figure 1). Néanmoins, il n'est pas encore clairement déterminé si les conditions de charge sédimentaire, l'état du système et les forces externes appliquées sont de fait réunies pour rentrer dans le cadre de ce modèle. Jusqu'à présent, la connaissance très imparfaite du socle du bassin algérien (nature et structuration de la lithosphère océanique et de la transition continent-océan, structures héritées, e.g.

Mauffret, 2007) et de l'histoire de sa formation (Schettino et Turco, 2006) rend difficile cette analyse. Par ailleurs, les conditions de convergence aux limites ne sont connues qu'avec une certaine incertitude, et surtout la distribution de la déformation au travers de la limite de plaque (de la Nubie supposée stable au bassin algérien profond) n'est que très mal appréciée (Serpelloni et al., 2007). Par l'apport de données structurales (bathymétrie, sismique-réflexion et grand-angle) et géophysiques nouvelles (campagnes MARADJA'03, MARADJA2-SAMRA'05, SPIRAL'09), nous disposons d'ores et déjà d'éléments importants pour progresser significativement dans la définition de ces conditions. Il semble que la « fabrique » profonde héritée du rifting (transition continent-océan) détermine en partie l'évolution de l'inversion de la marge (Strzeczynski et al., 2010), le modèle d'inversion des failles normales des blocs basculés initialement proposé (Yielding et al., 1989) n'étant à l'évidence pas vérifié (Yelles et al., 2009). Outre les contraintes géométriques apportées par les données bathymétriques, sismiques, gravimétriques et magnétiques, il faudra mieux connaître: (1) les structures profondes à terre, (2) la flexion de la marge ; et (3) l'évolution en surrection de la zone côtière depuis le Pliocène (par des études terre-mer), ceci pour contraindre un modèle d'initiation de subduction. Les données récentes indiquent en tout cas une surrection côtière environ 2 fois plus rapide au Pléistocène (150m/Ma) que sur l'ensemble du Plio-Quaternaire.

#### **2B- L'évolution (thermique, cinématique et géodynamique) du bassin arrière-arc algérien :**

Dans le modèle d'initiation de subduction d'un bassin jeune (Figure 1), la position d'arrière-arc ainsi que la structuration même de ce bassin sont de fait non réellement prises en compte, alors même qu'elles sont déterminantes dans l'initiation de la subduction. Dans le cas du bassin algérien, il est évidemment fondamental de rappeler que : (1) la réactivation récente (probablement moins de 3 Ma) de la marge est précédée par la disparition de l'océan Téthys Maghrébin, impliquant non seulement un important retrait (« roll-back ») de ce slab mais aussi une inversion Cénozoïque de l'avant-pays depuis l'Atlas jusqu'au domaine Tellien, bien mis en évidence par les études de terrain et la sismicité, comme par exemple sur le contact entre les zones internes et les zones externes (Yelles-Chaouche et al., 2006) ; (2) la cinématique de l'Afrique impose que celle-ci se déplace au-dessus des vestiges de cette subduction, amenant les perturbations (thermiques et de composition) du slab disparu depuis 15 Ma environ (en déchirure et/ou détachement) à impacter la zone côtière et donc à profondément modifier son comportement ; (3) la formation même du bassin algérien est géométriquement non contrainte : les reconstitutions existantes amènent à proposer une migration récente vers l'ouest de la microplaque Alboran variant de 600 km à moins de 200 km, incertitude amenant à considérer un âge et une structuration thermique et rhéologique très différents pour le bassin profond algérien. Il faut donc coupler fortement les études structurales et sédimentaires en cours à (1) des analyses pétro-géochimiques des nombreux témoins de l'activité magmatique et volcaniques qui jalonnent la marge maghrébine (Maury et al., 2000) ; et (2) une analyse cinématique nouvelle sur la base de données marines et géodésiques, amenant à ré-interpréter la tectonique tangentielle qui a affecté la partie ouest du bassin algérien et l'est de la mer d'Alboran.

**2C- Les enjeux sociétaux : l'évaluation du risque sismique :** Deux problèmes doivent être abordés conjointement :

(1) **La définition géométrique des zones sismogènes** est capitale, tout comme dans les zones de subduction. Or cette tâche est particulièrement difficile dans le cas d'une inversion telle que celle qui se produit au large de l'Algérie, essentiellement en raison du caractère très précoce de l'inversion. La cartographie publiée par Mauffret (2007) du système de failles en pied de marge est non contrainte et irréaliste, car extrapolée sur la base de lignes sismiques interprétées.. Nos observations plus précises sur la base des données MARADJA 2003 et 2005 nous amènent à proposer un système de failles beaucoup plus segmenté (Domzig et al., 2006 ; Yelles et al., 2009). Cette différence d'appréciation est fondamentale et doit être argumentée soigneusement, car elle détermine au premier ordre la dimension des sources sismogènes susceptibles de produire des tremblements de terre, et donc leur magnitude. Le cas de Boumerdes (2003) montre également que le prolongement des failles vers la surface est probablement complexe (Déverchère et al., 2010), rendant plus difficile l'évaluation du risque sismique. Ces deux raisons justifient de mieux caractériser la dimension des sources susceptibles d'affecter les zones côtières algériennes. Les

toutes nouvelles données sismiques pénétrantes acquises en 2009 (campagne SPIRAL) devraient y contribuer, mais aussi d'autres actions, comme par exemple : (1) des mesures magnétotelluriques Terre-Mer en 2D à travers certaines failles majeures (Boumerdes et Jijel) ; (2) des mesures sismologiques OBS de longue durée pour l'enregistrement de la micro-sismicité sous-marine.

(2) **Les contraintes temporelles sur le cycle sismique** doivent également être recherchées. Si elles sont déjà très délicates à obtenir dans les zones de subduction rapides, c'est encore plus vrai dans un système à faible vitesse de déformation, cette dernière étant par ailleurs distribuée sur un système large et au degré de connexion longitudinal mal établi. Les estimations de récurrence sismique en Afrique du Nord sont encore extrêmement parcellaires et établies uniquement sur des études de failles à terre (comme Chleff). Elles donnent un ordre de grandeur (500-700 ans) qui n'est qu'indicatif : la variabilité spatiale et temporelle de ces cycles est probablement très importante et dépend de nombreux facteurs (distribution de la déformation dans l'espace, processus asismiques sur les failles, etc...) totalement inconnus en Afrique du nord. En dépit des difficultés d'analyse, il est essentiel d'explorer à terre (domaine côtier) et en mer (littoral et domaine profond) des marqueurs de paléodislocation sismique, directs ou indirects, et des marqueurs de soulèvements relatifs, et de les dater, afin de **construire des séries temporelles longues**. Cette approche doit également amener à mieux comprendre les interactions entre dynamique sédimentaire dans les grands fonds (turbidites et contourites), tectonique salifère et tectonique sensu stricto.

## Références

- Auzende, J.-M., J.L. Olivet & J. Bonnin (1972) Une structure compressive au nord de l'Algérie? *Deep-Sea Res.*, 19, 149-155.
- Béthoux, N., E. Tric, J. Chéry & M.-O. Beslier (2008) Why is the Ligurian Basin (Mediterranean Sea) seismogenic? Thermomechanical modeling of a reactivated passive margin, *Tectonics*, 27, TC5011, doi:10.1029/2007TC002232.
- Bigot-Cormier, F., F. Sage, M. Sosson, J. Déverchère, M. Ferrandini, P. Guennoc, M. Popoff & J-F. Stéphan (2004) Déformation Pliocène de la marge nord-Ligure (France): Les conséquences d'un chevauchement crustal sud-alpin, *Bull. Soc. Géol. France*, 175(2), 197-211.
- Cloetingh, S., M.J.R. Wortel & N.J. Vlaar (1989) On the initiation of subduction zones, *Pure Appl. Geophys.*, 129, 7–29, doi:10.1007/BF00874622.
- Déverchère, J., N. Béthoux, Y. Hello, R. Louat & C. Eva (1991) Déploiement d'un réseau de sismographes sous-marins et terrestres en domaine Ligure (Méditerranée): Campagne SISBALIG1, *C. R. Acad. Sci. Paris, II*, t.313, 1023-1030.
- Déverchère, J., B. Mercier de Lépinay, A. Cattaneo, P. Strzeczynski, E., Calais, A., Domzig & R. Bracene (2010) Comment on «Zemmouri earthquake rupture zone (Mw 6.8, Algeria): Aftershocks sequence relocation and 3D velocity model » by Ayadi et al., *J. Geophys. Res.*, 115, B04320, doi:10.1029/2008JB006190.
- Domzig, A., K. Yelles, C. Le Roy, J. Déverchère, J-P. Bouillin, R. Bracene et al. (2006) Searching for the Africa-Eurasia Miocene boundary offshore Western Algeria (MARADJA'03 Cruise), *C.R. Geoscience*, 338, 80–91.
- Gurnis, M., C. Hall & L. Lavier (2004) Evolving force balance during incipient subduction, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 5, Q07001, doi:10.1029/2003GC000681.
- Leroy, M., F. Gueydan & O. Dauteuil (2008) Uplift and strength evolution of passive margins inferred from 2-D conductive modelling, *Geophys. J. Int.*, 172, 464-476.
- Mauffret, A. (2007) The Northwestern boundary of the Nubia (Africa) plate, *Tectonophysics*, 429(1-2), 21-44.
- Mauray, R.C. et al. (2000) Post-collisional Neogene magmatism of the Mediterranean Maghreb margin: a consequence of slab break off, *C. R. Acad. Sci. Paris*, 331, 159-173.
- Schettino, A., E. Turco (2006) Plate kinematics of the Western Mediterranean region during the Oligocene and Early Miocene. *Geophys. J. Int.*, doi: 10.1111/j.1365246X.2006.02997.x
- Serpelloni, E., G. Vannucci, S. Pondrelli, A. Argani, G. Casula, M. Anzidei & P. Baldi, P. Gasperini (2007) Kinematics of the western Africa-Eurasia plate boundary from focal mechanisms and GPS data, *Geophys. J. Int.*, 169(3), 1180-1200, doi: 10.1111/j.1365-246X.2007.03367.x.
- Strzeczynski, P., J. Déverchère, A. Cattaneo, A. Domzig, K. Yelles, B. Mercier de Lépinay, N. Babonneau & A. Boudiaf (2010) Tectonic inheritance and Pliocene-Pleistocene inversion of the Algerian margin around Algiers: Insights from multibeam and seismic reflection data, *Tectonics*, 29, TC2008, doi:10.1029/2009TC002547.
- Yelles-Chaouche, A.K., A. Boudiaf, H. Djellit & R. Bracene (2006) La tectonique active de la région nord-algérienne, *C. R. Geoscience*, 338, 126–139, doi:10.1016/j.crte.2005.11.002.
- Yelles, K., A. Domzig, J. Déverchère, R. Bracene et al. (2009) Plio-Quaternary reactivation of the Neogene margin off NW Algiers, Algeria: the Khayr-Al-Din bank, *Tectonophysics*, 475, 98-116.
- Yielding, G., M. Ouyed, G.C.P. King & D. Hatzfeld (1989) Active tectonics of the Algerian Atlas Mountains - Evidence from aftershocks of the 1980 El Asnam earthquake, *Geophys. J. Int.*, 99(3), 761-788.