

# La chronologie du fonctionnement de la zone de failles de Tizi n'Test : apport de l'étude des bassins stéphano-autuniens et permio-triasiques du Haut Atlas occidental (Maroc)

Abdelmounim QARBOUS<sup>1</sup>, Fida MEDINA<sup>2</sup>, Christian HOEPFFNER<sup>1</sup>, M'Fedal AHMAMOU<sup>1</sup>, Abdellatif ERRAMI<sup>1</sup> & Abdessalam BENSALHAL<sup>1</sup>

1. Université Mohammed V-Agdal, Faculté des Sciences, Département des Sciences de la Terre, UFR Géologie structurale et appliquée, Av. Ibn Batouta, B.P. 1014 R.P., Rabat, Maroc. e-mail : a.qarbous@caramail.com ; hoepffner@fsr.ac.ma

2. Université Mohammed V-Agdal, Institut Scientifique, Département de Géologie, Av. Ibn Batouta, B.P. 703 Agdal, Rabat, Maroc. e-mail : medina@israbat.ac.ma

**Résumé.** Les observations récentes réalisées le long de la zone de failles de Tizi n'Test (ZFTT), dans la partie sud et sud-est du Massif ancien du Haut Atlas occidental, permettent de préciser la chronologie du fonctionnement de cette zone de faille et de l'évolution géodynamique du Haut Atlas occidental depuis le Cambrien moyen jusqu'à l'Actuel. Huit grandes périodes tectoniques ont été déterminées dans cette partie du Haut Atlas, au sein desquelles des variations dans le temps de l'état de contraintes caractérisent des phases tectoniques. Pendant les phases distensives, les failles majeures de la ZFTT sont à jeu normal permettant l'individualisation de grabens ou de demi-grabens d'échelle kilométrique qui s'orientent selon la direction de ces failles majeures, alors que pendant les phases compressives, la ZFTT est à jeu décrochant ou inverse selon l'orientation des failles majeures de cette zone par rapport à la contrainte maximale  $\sigma_1$ .

**Mots clés :** Maroc, Haut Atlas, Zone de failles de Tizi n'Test, tectonique polyphasée.

**Chronology of the Tizi n'Test Fault Zone (High Atlas, Morocco): contribution of the study of the Stephanian–Autunian and Permian–Triassic basins.**

**Abstract.** Recent studies along the Tizi n'Test fault zone (TTFZ), which runs along the southern part of the western High Atlas, allowed us to set a new conception of its geodynamic evolution since the middle Cambrian to Present. Eight tectonic periods have been determined in this part of the High Atlas, with several tectonic phases characterized by a specific state of stress which controlled faulting and deformation. During the extensional phases, the normal faults allowed the individualization of several graben and half-graben structures, parallel to the TTFZ. During the compressional phases, strike-slip and reverse motions of the TTFZ were mainly controlled by the orientation of the maximum stress  $\sigma_1$ .

**Key words:** Morocco, High Atlas, Tizi n'Test Fault Zone, polyphased tectonics.

## INTRODUCTION

La Zone de failles de Tizi n'Test (ZFTT ci-après) regroupe l'ensemble des failles s'étendant à travers la partie occidentale du Haut Atlas selon une direction N50 à N90, sur presque 350 km (Fig. 1) depuis Agadir à l'ouest, jusqu'à la région de Zaouiat Ahençal à l'est (Jenny 1983). Les reconstitutions paléogéographiques suggèrent qu'avant le démantèlement de la Pangée au Jurassique, cette zone de failles s'étendait jusqu'au continent américain (Mattauer *et al.* 1972, Arthaud & Matte 1977, Manspeizer 1983).

Les failles majeures de la ZFTT, nées au Paléozoïque, voire au Précambrien, ont été réactivées durant la tectogenèse et l'orogénèse alpines (Mattauer *et al.* 1977, Laville 1981, Laville & Petit 1984, Laville & Piqué 1991, Piqué & Laville 1993). Mattauer *et al.* (1972) mentionnent les premiers un jeu dextre tardi-hercynien, avec un rejet de 200 km en relation avec des mouvements d'échelle continentale entre les Appalaches et l'Oural. Pour Petit (1976) et Arthaud & Matte (1977), ce rejet ne serait que de 40 km. Les études ultérieures ont clairement démontré le rôle majeur de la ZFTT dans l'évolution du Haut Atlas en tant que limite principale entre les domaines méséto-atlasique et anti-atlasique (Petit 1976, Proust *et al.* 1977, Ouanaïmi & Petit 1992, Medina & Errami 1996, Errami 2001).

Sur la base des observations récentes réalisées dans la partie occidentale du Haut Atlas, se rapportant essentiellement à la période Permien – Actuel, et en faisant appel aux travaux antérieurs, nous présentons dans cette note une mise à jour de l'histoire de cette zone de failles depuis le Cambrien à l'Actuel.

## DONNEES CARTOGRAPHIQUES ET SISMIQUES

Dans le bassin d'Argana, le segment occidental de la ZFTT est représenté à l'affleurement par des failles généralement inverses, de longueur kilométrique, de direction NE-SW à ENE-WSW et à pendage moyen vers le NNW (Tixeront 1973, El Fariati 1997). Plus à l'est, dans le bassin de Tine Mellil (Fig. 1), les failles majeures de cette zone sont de direction ENE-WSW à E-W, à pendage nord, délimitant un demi-graben triasique orienté ENE-WSW, pincé entre le socle cambrien et la couverture crétacée (Errami 1994, Medina & Errami 1996). Encore plus à l'est, dans le bassin de Tizi n'Test (Fig. 1, TNT), constitué d'affleurements de formations triasiques également pincées entre des blocs de socle paléozoïque et précambrien, les failles majeures sont orientées NE-SW à ENE-WSW avec un pendage fort vers le NW et le NNW, représentant les failles bordières inversées de demi-grabens triasiques (Petit 1976, Qarbous

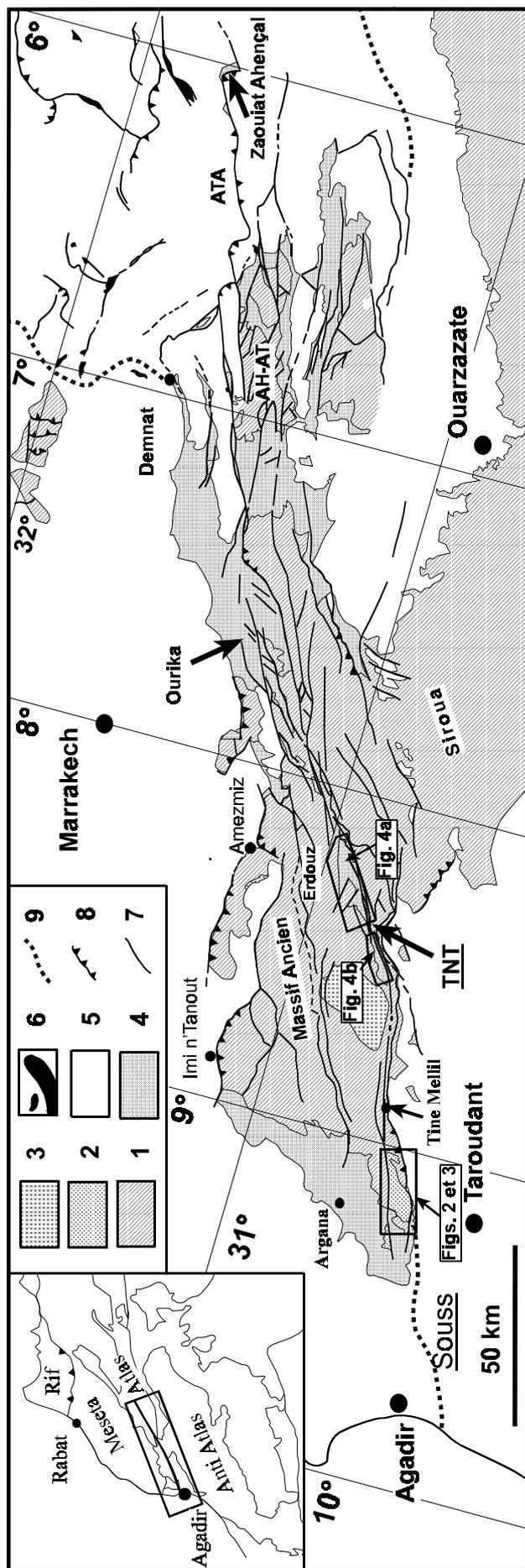


Figure 1. Localisation du réseau de failles de Tizi n’Test (d’après Petit 1976, et Jenny 1983). 1, socle paléozoïque et précambrien ; 2, Stéphanien ; 3, granite hercynien ; 4, Permien et Trias ; 5, terrains post-triasiques ; 6, volcanisme jurassique ; 7, failles ; 8, chevauchement ; 9, limite du Haut Atlas occidental. TNT, bassin de Tizi n’Test ; AH – AT, boutonnières d’Ait Hakim et Ait Tamilit ; ATA, Accident de Tizal – Azourki.

*et al.* 2003). Dans les bassins de l’Ourika (Fig. 1) et du Haut Atlas central, la partie orientale de la ZFTT est représentée par des failles de direction N70 (Laville 1981, Biron 1982), permettant par leur jeu inverse la surrection de boutonnières paléozoïques au sein de la couverture mésozoïque ; au sud-ouest de Demnat (Fig. 1), ces failles se relaient du nord-ouest vers le sud-est par des accidents chevauchants vers l’ENE (Jenny 1983).

En subsurface, l’interprétation des profils sismiques du bassin du Souss suggère qu’à l’extrémité occidentale du Haut Atlas, la ZFTT est matérialisée par un ensemble de failles normales légèrement inversées, délimitant des demi-grabens d’âge triasique et jurassique (Medina *et al.* 1996, Mustaphi *et al.* 1997).

### REVUE DES DONNEES ACQUISES PENDANT LA DERNIERE DECENNIE

Pendant la dernière décennie, la ZFTT a fait l’objet d’études stratigraphiques et structurales visant à préciser l’histoire de son fonctionnement en liaison avec les différentes phases tectoniques hercyniennes et alpines. Ces études concernent essentiellement le socle stéphano-autunien de la région d’Ida-Ou-Zal (Errami 2001, Errami *et al.* 2002), les bassins (permo)-triasiques de Tine Mellil (Errami 1994, Medina & Errami 1996) et de Tizi n’Test (Qarbous 2003, Qarbous *et al.* 2003), et le bassin méso-cénozoïque du Souss (Mustaphi 1997, Mustaphi *et al.* 1997). D’autre part, de nouvelles datations effectuées dans les régions voisines à l’aide de vertébrés (Jalil 2001) et de microfossiles (Tourani *et al.* 2000, Medina *et al.* 2001, El Arabi *et al.* 2002) permettent d’affiner la chronologie des phases au passage Permien – Trias.

### Dans le socle stéphano-autunien (région d’Ida-Ou-Zal)

Dans le Haut Atlas occidental, les dépôts stéphano-autuniens, localisés dans les régions d’Ida-Ou-Zal et d’Ida-Ou-Ziki, forment d’épaisses séries post-orogéniques pouvant atteindre 2000 m (De Koning 1957, Petit 1976). L’analyse séquentielle montre qu’il s’agit de sédiments lacustres détritiques et organiques, agencés en séquences

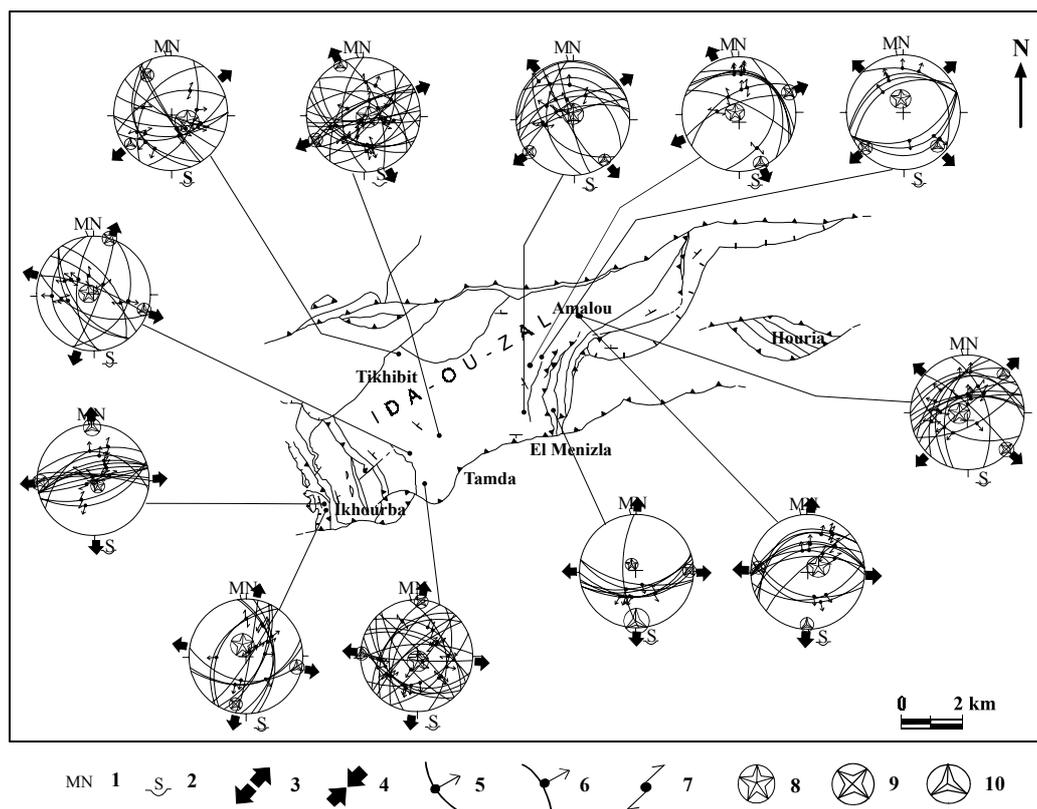


Figure 2. Stéréogrammes des plans striés et de l’orientation des axes de contrainte au cours de la phase distensive stéphano-autunienne dans les Ida-Ou-Zal (d’après Errami 2001). Localisation du secteur dans la figure 1. Légende des diagrammes : 1, Nord magnétique (M) et géographique (N) ; 2, canevas de Schmidt (hémisphère inférieur) ; 3, direction d’extension ; 4, direction de compression ; 5, trace cyclographique et strie de faille inverse ; 6, trace cyclographique et strie de faille normale ; 7, strie de faille décrochante ; 8, axe de la contrainte compressive maximale ( $\sigma_1$ ) ; 9, axe de la contrainte compressive intermédiaire ( $\sigma_2$ ) ; 10, axe de la contrainte compressive minimale ( $\sigma_3$ ).

positives (Saber 1989, 1998, Errami 2001).

La cartographie et l’analyse microtectonique des dépôts stéphano-autuniens ont permis de mettre en évidence 5 phases tectoniques superposées (Errami 2001, Errami *et al.* 2002):

- une extension NW-SE, parfois bi- ou multidirectionnelle, pendant le stéphaniens-autunien, responsable de la création du bassin par failles normales synsédimentaires de direction N-S et ENE-WSW (Fig. 2) ;
- un raccourcissement grossièrement E-W au Permien moyen, responsable de la déformation des séries stéphano-autuniennes par des plis N-S et de l’inversion des failles normales pré-existantes (Errami & Bensahal 1998, Errami 2001) ; au cours de cette phase, les failles de direction ENE-WSW sont à jeu décrochant dextre (Fig. 3) ;
- un raccourcissement N-S à NE-SW à la fin du Permien moyen, à l’origine du jeu senestre des failles majeures ENE-WSW à E-W, dont la plus importante a scindé le bassin en deux secteurs (Ida-Ou-Zal et Ida-Ou-Ziki) ;
- une extension E-W à NW-SE d’âge permien terminal à jurassique basal, responsable du rejeu des failles de socle en failles normales ;
- une compression subméridienne liée à l’orogénèse atlasique, matérialisée par le rejeu des accidents ENE-

WSW en failles inverses de rejet hectométrique ou kilométrique.

### Dans la couverture permo-triasique et plus récente

#### Datations

Les datations récentes des séries permo-triasiques du Haut Atlas permettent de contraindre l’âge des phases tectoniques du passage Permien – Trias. Ainsi, suite à la découverte de reptiles Paraieasaures au sommet de la Formation t2 d’Argana (Jalil 2001), la base des formations synrift peut être attribuée au Permien terminal, et ceci à travers tout le Haut Atlas en raison de la forte similitude de faciès. D’autre part, la base de la série triasique a livré des charophytes dans le bassin d’Argana (Medina *et al.* 2001), et des pollens dans le Haut Atlas central (El Arabi *et al.* 2002), qui permettent de dater le Trias moyen (Anisien/Ladinien).

Ces nouvelles datations impliquent l’existence de lacunes au Permien moyen et au Trias inférieur.

#### Bassin de Tine Mellil

Dans le petit bassin triasique de Tine Mellil, la cartographie et l’analyse microtectonique (Errami 1994, Medina & Errami 1996) permet la mise en évidence de deux phases tectoniques majeures: une extension (permo)-triasique N-S

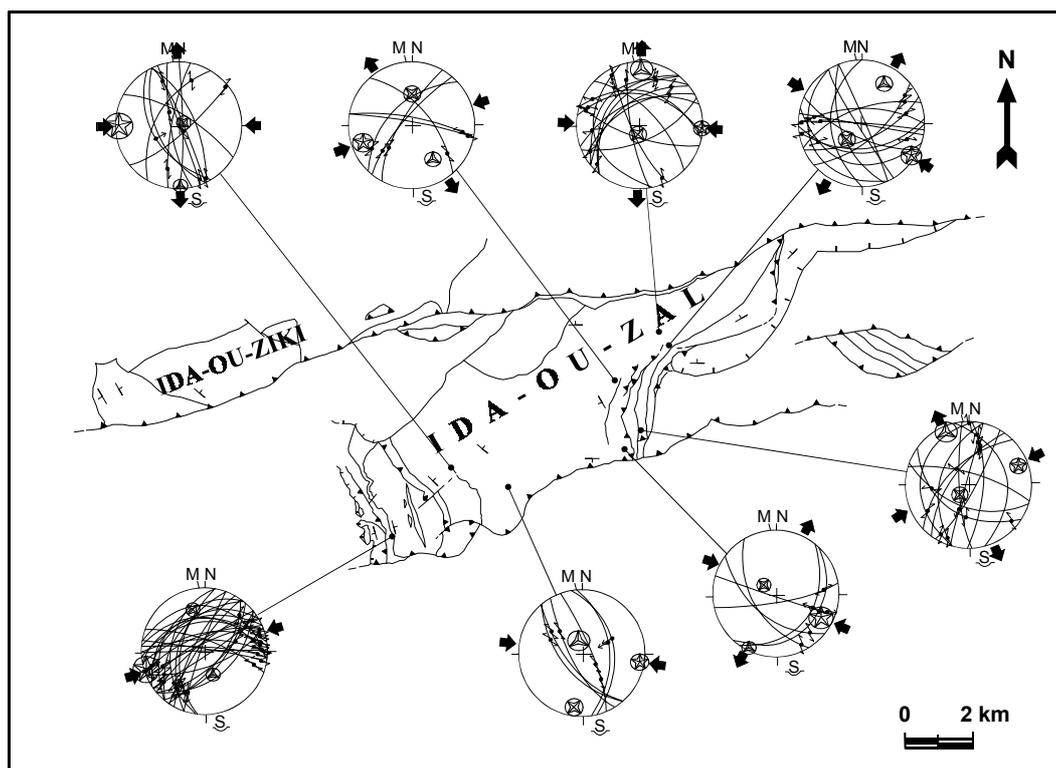


Figure 3. Stéréogrammes de la tectonique cassante au cours de la phase compressive I du Permien moyen dans les Ida-Ou-Zal (d’après Errami 2001). Localisation dans la figure 1. Légende des figurés comme dans la figure 2.

à NNW-SSE, responsable du jeu normal synsédimentaire des failles ENE-WSW, puis une inversion tertiaire (post-écène) liée à une compression NNW-SSE, à l’origine du jeu inverse des accidents de la ZFTT.

#### **Bassin de Tizi n’Test**

La cartographie détaillée du bassin triasique de Tizi n’Test et l’analyse des plans de faille montrent deux phases principales (Qarbous 2003, Qarbous *et al.* 2003) :

- une extension d’âge (permo)-triasique orientée NW-SE, avec des permutations et rotations locales, à laquelle est lié le développement d’un système de demi-grabens de dimension kilométrique (Fig. 4) ;
- une inversion en relation avec la phase de compression atlasique majeure, responsable de la déformation du bassin ; cette phase comporte deux épisodes compressifs, de direction successivement NNE-SSW puis NW-SE.

#### **Bassin du Souss**

L’analyse des profils sismiques et des forages réalisés par l’ONAREP dans la partie occidentale de la ZFTT, en particulier dans le bassin du Souss, montre également deux phases principales (Mustaphi 1996, Mustaphi *et al.* 1997) :

- une phase distensive au Trias et au Jurassique basal, matérialisée par le jeu normal apparent des failles de direction ENE-WSW, qui délimitent des demi-grabens recueillant d’épais sédiments ;
- une phase compressive responsable de l’inversion de certaines failles et du plissement des séries méso-cénozoïques.

#### **Segment oriental de la ZFTT**

Dans le socle précambrien et paléozoïque, la cartographie du segment oriental de la ZFTT a permis de mettre en évidence un saillant non déformé pendant le Paléozoïque (Ouanāmi & Petit 1992). Ce saillant sépare un secteur occidental (Erdouz), où les plis et la schistosité hercyniens sont orientés NNE-SSW, d’un secteur oriental (Aït Hakim – Aït Tamlil), où les structures sont de direction WNW-ESE (Fig. 1, AH-AT). Des décrochements senestres post-hercyniens, de direction E-W, décalent les structures antérieures.

Plus à l’est, dans le Haut Atlas central calcaire, l’analyse de l’accident de Tizal – Azourki (Fig. 1, ATA) montre que celui-ci limite un demi-graben basculé vers le sud, comblé par des sédiments d’âge lias inférieur et moyen (Ibouh *et al.* 2001). De part et d’autre de cette faille, les calcaires du Lias montrent d’importantes variations latérales d’épaisseur, ce qui témoigne d’un contrôle tectonique de la sédimentation par cette faille pendant cette période. Le jeu normal de la faille de Tizal – Azourki est associé à un système d’accidents de direction NW-SE, à sens de pendage variable, vers l’est ou vers l’ouest, avec un jeu également normal pendant le Lias moyen. Cette association de failles est interprétée comme étant le résultat d’une rotation des contraintes (Ibouh *et al.* 2001).

#### **Structure profonde**

Le long de la ZFTT, les failles sont à géométrie listrique ou plane, à pendage vers le NNW et le NW, et recourent le socle hercynien et sa couverture en y délimitant des demi-

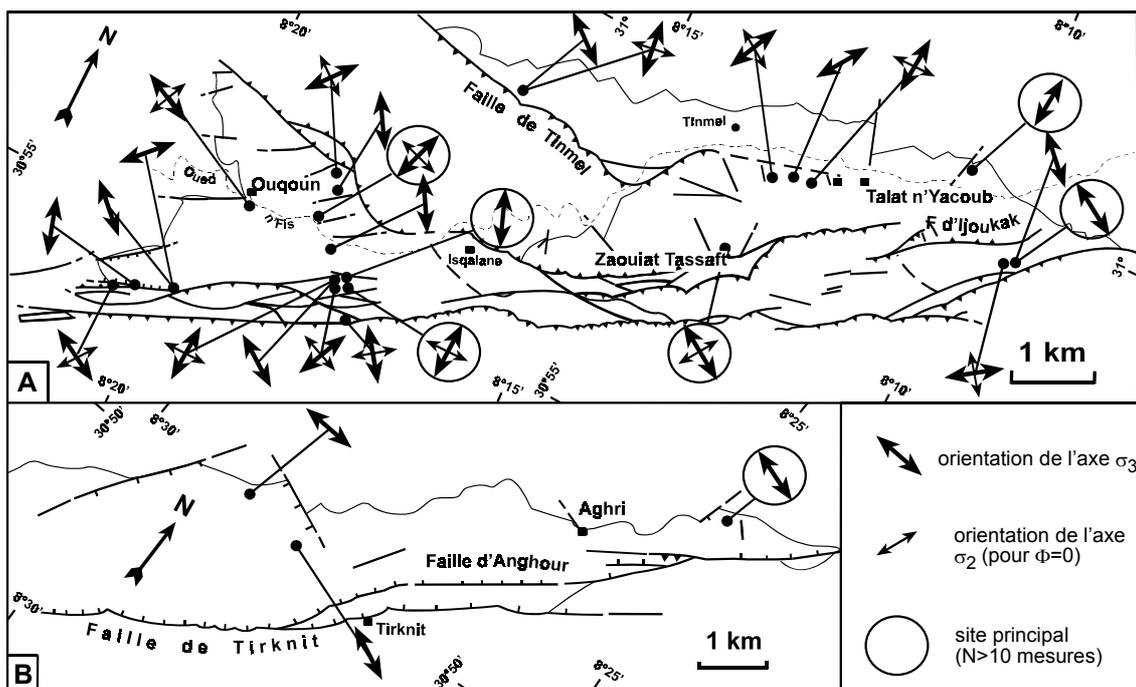


Figure 4. Directions d’extension au cours du Trias supérieur (Carnien) dans le bassin de Tizi n’Test (d’après Qarbous *et al.* 2003). Localisation dans la figure 1.

grabens mésozoïques inversés et déformés par la compression alpine (Proust *et al.* 1977, Petit & Beauchamp 1986, Qarbous 2003). Ces demi-grabens sont toujours basculés vers le SE et le SSE, ce qui suggère une association des failles et un contrôle par des discontinuités profondes (Wernicke & Burchfiel 1982, Gibbs 1983). Les études de sismique-réflexion menées dans le bassin du Souss montrent que ces failles se relient en profondeur à un plan de détachement intra-crustal faiblement penté vers le nord, qui serait un ancien plan de décollement hercynien (Medina *et al.* 1996, Mustaphi *et al.* 1997). Ce plan s’étendrait jusqu’à la marge marocaine à travers le bassin d’Essaouira (Fig. 5), où il s’exprime par un plan horizontal bien visible vers 4,5 sTD (Medina 2000). Dans ce même bassin, d’autres plans similaires se branchent en profondeur sur ce détachement basal (Bouatmani 2002). Plus à l’est, dans le Haut Atlas central, la région de Telouet présente une structure comparable, à blocs basculés vers le SSE, limités au sud par des failles probablement reliées à un détachement profond (El Arabi *et al.* 2002). Ce détachement majeur à pendage nord a été mis en évidence plus à l’est, sous le Haut Atlas oriental (Giese & Jacobshagen 1992, Schwarz *et al.* 1992, Wigger *et al.* 1992).

### SYNTHESE SUR LA CHRONOLOGIE DE FONCTIONNEMENT DE LA ZONE DE FAILLES DE TIZI N’TEST

#### Cambrien inférieur et moyen

Pendant cette période, les failles de Tizi n’Test formaient avec celle d’Imi n’Tanoute, un graben de direction N70 (Fig. 6, a) développé au sein d’un substratum d’âge précambrien (Cornée *et al.* 1987a, Cornée, 1989). Le remplissage sédimentaire de ce graben, épais de 6300 à 9400 m, est formé de siltites, de carbonates et de dépôts volcano-détritiques à la base et quartzitiques vers le sommet (Cornée *et al.* 1987a). Cette structure en graben s’amortit progressivement vers l’est à l’approche du bloc précambrien d’Adrar n’Dern, interprété comme une zone haute par Destombes *et al.* (1985). Pendant le Cambrien inférieur et moyen, la ZFTT constituait donc la limite sud d’un graben (Cornée 1989), et les failles majeures de Tizi n’Test étaient à jeu normal pendant cette période (Cornée *et al.* 1987b). Plus récemment, Piqué *et al.* (1995) ont suggéré que la ZFTT a joué le rôle d’une faille de transfert limitant au sud un bassin cambrien subméridien contrôlé par des failles de direction NNE-SSW à jeu normal.

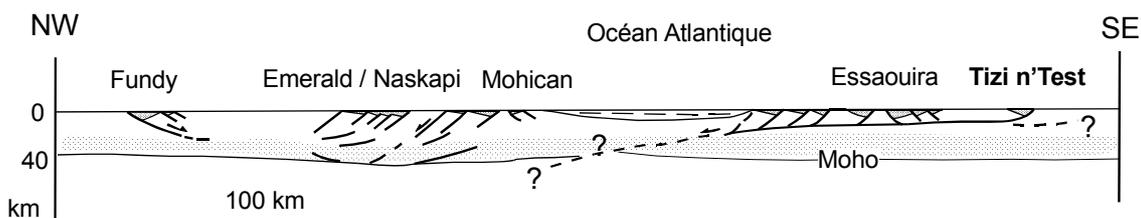


Figure 5. Coupe interprétative à travers le rift triasique depuis le bassin de Fundy (Canada) au Haut Atlas (Maroc) (B). Localisation de la coupe (A). D’après Medina (2000).

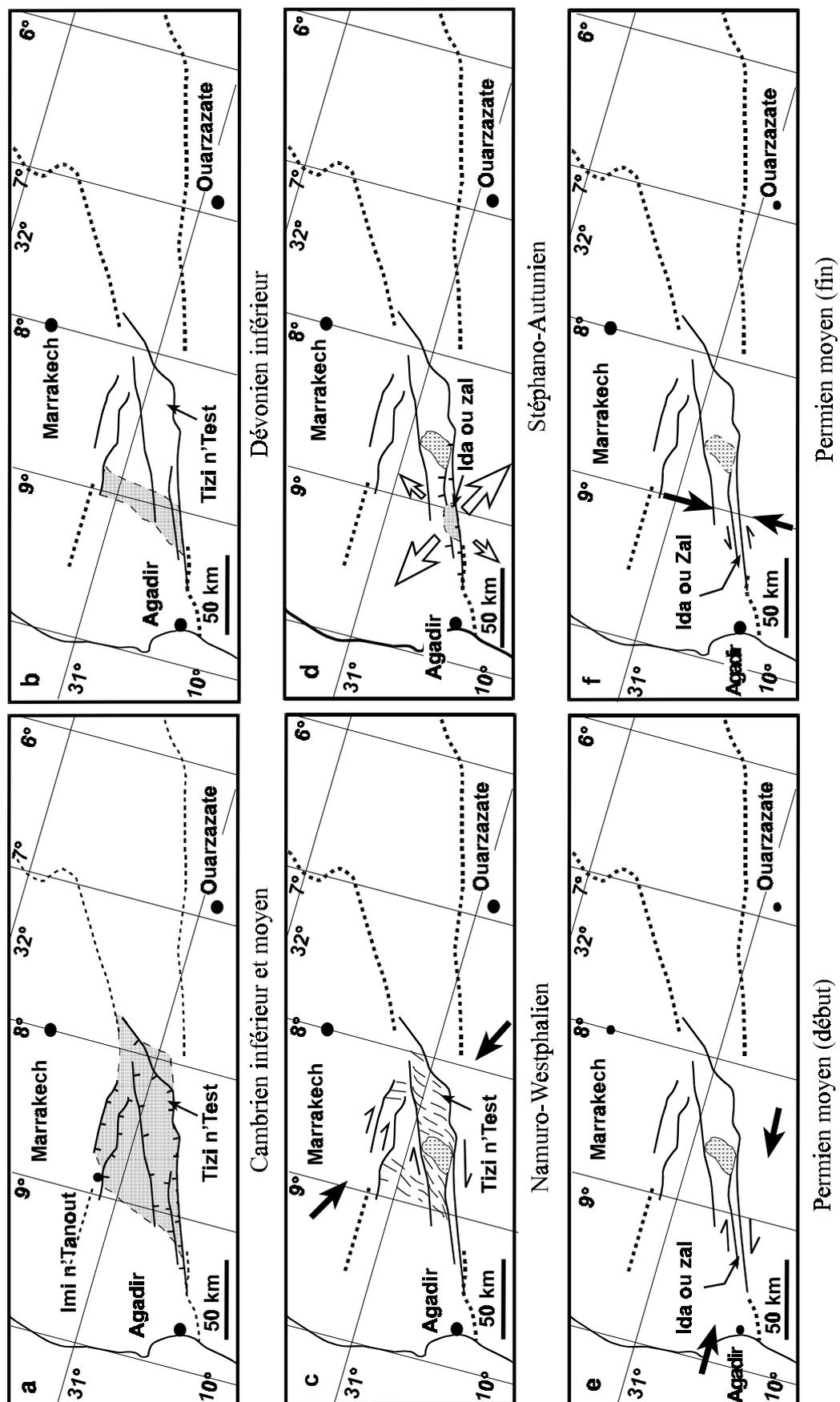


Figure 6. Chronologie de l'évolution du réseau de failles de Tizi n'Test (références dans le texte).

### Dévonien inférieur

Dans le Haut Atlas occidental, le Dévonien inférieur est caractérisé par le dépôt d’une série détritico-argilo-gréseuse rouge à plantes (Schaer 1967). Le rôle de la ZFTT pendant cette période n’est pas connu ; cependant, les dépôts du Dévonien inférieur constituent le remplissage sédimentaire d’un ensemble de grabens étroits orientés N-S (Cornée & Ferrandini 1985), relayés par des failles N30°-50° (Cornée *et al.* 1987a), probablement à valeur de relais décrochants (Fig. 6, b).

### Namurien-Westphalien

Pendant cette période de l’orogénèse hercynienne, les dépôts anté-stéphaniens ont été déformés par une compression orientée WNW-ESE (Petit 1976, Proust *et al.* 1977). Cette phase, correspondant à une inversion tectonique, a été à l’origine de la formation de plis sub-méridiens (De Koning 1957) et du jeu dextre syn-schisteux des failles de la ZFTT (Mattauer *et al.* 1972, Petit 1976, Proust *et al.* 1977 ; Fig. 6c). Au nord de cette zone, cette phase est associée à une schistosité régionale de plan axial, qui devient parallèle aux accidents N-S à ENE-WSW (Cornée *et al.* 1987a, Eddif *et al.* 2000), avec des perturbations au voisinage des intrusions granitiques et grano-dioritiques hercyniennes (Eddif *et al.* 2000, Lagarde & Roddaz 1983).

### Stéphaniens-Autunien

Après la phase paroxysmale namuro-westphalienne, la période stéphano-autunienne est une phase d’extension NW-SE, où le réseau de failles de la ZFTT est à jeu normal (Errami 2001, Errami *et al.* 2002 ; Fig. 6d). Cette phase pourrait refléter un collapse post-orogénique.

### Permien moyen

Le Permien moyen voit l’inversion tectonique du système de failles bordières sub-méridiennes, qui est à l’origine de la déformation du bassin stéphano-autunien. Cette compression, caractérisée par un raccourcissement E-W, est compatible avec un jeu dextre de la ZFTT (Errami 2001 ; Fig. 6e).

Après cet épisode, la direction du raccourcissement subit une rotation, devenant N-S à NE-SW à la fin du Permien moyen (Fig. 6f). Cette phase serait à l’origine du jeu senestre des failles majeures de cette zone (Errami 2001), et probablement des segments orientaux (Ouanaïmi & Petit 1992).

### Permien supérieur et Trias

Pendant le Permien supérieur et le Trias, période de rifting de l’Atlantique central, la ZFTT a joué en réseau de failles normales, contrôlant l’individualisation d’un ensemble de demi-grabens (Argana sud, Tine Mellil et Tizi n’Test) à remplissage de dépôts rouges grésos-conglomératiques à la base et argileux ou argilo-gréseux vers le sommet. Cette période est associée à une extension de direction essentiellement NW-SE (Fig. 6g), avec des rotations et des perturbations locales.

### Du Lias au Crétacé supérieur

Les affleurements de formations jurassiques ont été érodés dans le segment occidental de la ZFTT, mais à la terminaison ouest, l’interprétation des profils sismiques du bassin du Souss permet de mettre en évidence un jeu normal jurassique des failles ENE-WSW. Du côté oriental, dans le Haut Atlas central calcaire, les failles situées dans le prolongement de la ZFTT, comme l’accident de Tizal – Azourki, de direction N70°-N90 (Jenny 1984), sont à jeu normal pendant le Lias inférieur, et normal dextre au Lias moyen (Ibouh *et al.* 2001), comme dans le modèle de Lee & Burgess (1978). Plus tard, au Jurassique moyen, ce réseau semble avoir joué en coulissage dextre contemporain d’une compression NW-SE (Jenny 1984). Une cinématique complètement différente est proposée par Laville (1988), qui envisage que la chaîne atlasique est le siège d’un coulissage senestre continu pendant tout le Jurassique. Dans la figure 6h, le jeu représenté est le jeu liasique.

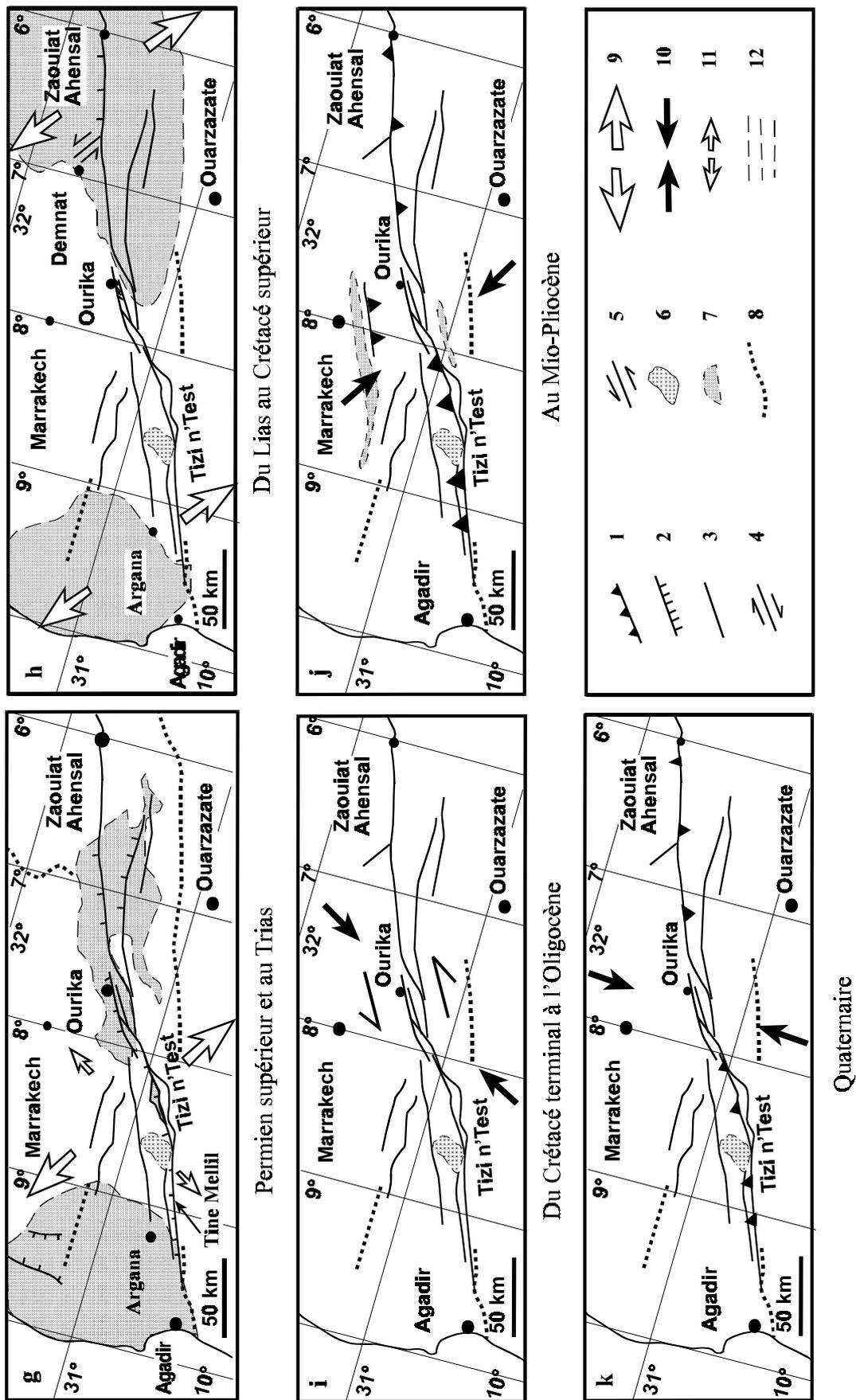
Peu d’informations sont disponibles sur l’activité de la ZFTT au Crétacé, en raison de l’absence le long de sa trace de terrains datés de cette période. Dans le bassin du Souss, les formations crétacées n’apparaissent pas affectées par les failles.

### Du Crétacé terminal à l’Oligocène probable

Du Crétacé terminal à l’Oligocène probable, le régime compressif lié à la collision Afrique-Europe s’installe (Laville *et al.* 1977, Froitzheim 1984), et les failles initialement normales pendant la période du rifting atlasique, sont réactivées en failles inverses chevauchantes en liaison avec une compression NNE-SSW (Medina 1994, Amrhar 2002). Le jeu des failles majeures de la ZFTT le plus compatible avec cette direction de compression est un décrochement senestre (Fig. 6i). Cependant, ces failles présentent à l’affleurement un jeu uniquement inverse, et il est probable que les traces du mouvement senestre aient été masquées ultérieurement par le jeu inverse de la phase mio-pliocène (Morel *et al.* 2000).

### Au Mio-Pliocène et au Quaternaire

Cette période correspond à la phase de raccourcissement général et de surrection de toute la chaîne atlasique, comme en témoignent les dépôts conglomératiques épais qui longent les bordures de la chaîne. Elle est caractérisée par une compression NW-SE à N-S (Mattauer *et al.* 1977, Laville 1981, Jenny 1983, Petit *et al.* 1985, Laville & Piqué 1991, Zouine 1993, Medina 1994, Amrhar 2002), active durant tout le Néogène et le Quaternaire, et qui serait à l’origine d’un jeu inverse de la ZFTT et de la formation de plis d’axe N110. Les études les plus récentes à l’échelle du Haut Atlas (Zouine 1993, Morel *et al.* 2000) montrent que la mise en relief du Haut Atlas s’est déroulée en deux étapes : (i) une première phase compressive d’âge mio-pliocène, de direction N150±10, responsable du jeu inverse de la majorité des failles atlasiques orientées NE-SW (Fig. 6j) ; (ii) une deuxième phase compressive orientée N-S, d’âge quaternaire, à l’origine de l’accentuation des chevauchements mio-pliocènes (Fig. 6k). Ces deux directions sont compatibles avec l’évolution géodynamique



à l’échelle du Maroc, liée à un raccourcissement NW-SE au Néogène et N-S au Quaternaire (Aït Brahim & Chotin 1984, Morel 1988, Fraissinet *et al.* 1988).

### CONCLUSION

Cette mise au point sur le fonctionnement de la ZFTT a permis de montrer que l’histoire de cette zone de failles est plus complexe que celle envisagée par les auteurs antérieurs, ce qui s’explique par le nombre croissant d’études de détail. En effet, les travaux antérieurs (Petit 1976, Proust *et al.* 1977, Ouanaïmi & Petit 1992) envisageaient simplement une évolution bi-phasée : jeu dextre hercynien et tardi-hercynien, et senestre post-hercynien. La compilation des travaux les plus récents permet en revanche de proposer 8 épisodes, chacun avec un jeu bien distinct. La ZFTT apparaît comme un excellent exemple de zone complexe, à jeu polyphasé, dont les failles ont accommodé à chaque fois les différents états de contrainte.

Toutefois, il faut signaler les points suivants :

– la nature du jeu au cours du Jurassique moyen et supérieur et du Crétacé n’est pas encore suffisamment établie, puisque les données sont soit contradictoires, soit absentes ;

– les études effectuées par différents auteurs sont souvent hétérogènes et effectuées avec des moyens et des approches différentes, ce qui augmente les incertitudes ;

– l’état actuel des travaux ne permet pas d’avoir une idée précise sur la manière dont les contraintes sont perturbées au niveau des accidents, d’où parfois (pour les localités situées à proximité des failles) une incertitude supplémentaire sur les directions des axes de contrainte.

D’autre part, nous n’avons pas envisagé dans cet article, axé sur la cinématique de la ZFTT, les rapports entre tectonique et volcanisme atlasique. Bien que la zone de faille ne semble pas avoir servi de conduit aux laves au sens strict, il est certain que cette relation semble étroite ; par exemple, pour le volcanisme triasico-liasique, on ne connaît pas de coulées au sud de l’Atlas, donc au sud de la ZFTT, qui apparaît comme une zone limite. Cependant, l’établissement de ces relations nécessite des études plus fines et une cartographie détaillée des affleurements de roches volcaniques.

### Remerciements

Nous remercions M. El Mostafa Zouine (Ecole Normale supérieure, Rabat) pour ses remarques et critiques qui ont servi à améliorer le manuscrit. Cette étude a été financée par les projets Péri-Tethys 95-96/01 et PARS SDU-30.

### Références

- Aït Brahim L. & Chotin P. 1984. Mise en évidence d’un changement de direction de compression dans l’avant-pays rifain (Maroc) au cours du Tertiaire et du Quaternaire. *Bull. Soc. géol. Fr.*, XXVI, 4, 681-691.
- Amrhar M. 2002. Les inversions tectoniques liées au rapprochement et à la collision Afrique-Europe enregistrées dans la couverture méso- et cénozoïque du Haut Atlas occidental (Maroc). *19<sup>th</sup> Colloquium of African Geology*, El Jadida, Mars 2002, p. 10.
- Arthaud F. & Matte P. 1977. Late Paleozoic strike-slip faulting in southern Europe and northern Africa result of a right-lateral shear zone between the Appalachians and Urals. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 88, 1305-1320.
- Biron P. 1982. *Le Permo-Trias de la région de l’Ourika*. Thèse de 3<sup>ème</sup> cycle, Univ. Grenoble, France, 2 t., 170 p.
- Bouatmani R. 2002. *Le bassin d’Essaouira (avant-pays atlasique, Maroc) : géodynamique méso-cénozoïque et modélisation de la maturation thermique des hydrocarbures*. Thèse de Doctorat, Univ. Mohammed V-Agdal, Fac. Sci. Rabat, 200 p.
- Cornée J.-J. 1989. *Le Haut Atlas occidental paléozoïque : un reflet de l’histoire hercynienne du Maroc occidental, stratigraphie sédimentaire et tectonique*. Thèse Sci. Univ. Saint-Jérôme, Marseille, France, 357 p.
- Cornée J.-J., Ferrandini J., Muller J. & Simon B. 1987a. Le Haut Atlas occidental paléozoïque : un graben cambrien moyen entre deux décrochements dextres N60 hercyniens (Maroc). *C. R. Acad. Sci. Paris*, 305, 499-503.
- Cornée J.-J., Destombes J. & Willefert S. 1987b. Stratigraphie du Paléozoïque de l’extrémité nord-ouest du Haut Atlas occidental (Maroc hercynien) ; interprétation du cadre sédimentaire du Maroc occidental. *Bull. Soc. géol. Fr.*, 8, III, 2, 327-335.
- Cornée J.-J. & Ferrandini J. 1985. Sur la tectonique hercynienne et le rôle des accidents anté-schisteux dans le Haut Atlas occidental paléozoïque au sud d’Imi n’Tanoute (Maroc). Relation avec les Jebilet occidentales. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 301, II, 1157-1162.
- De Koning G. 1957. Géologie des Ida Ou Zal (Maroc). *Leidse Geol. Mededelingen*, 23, 146 p.
- Destombes J., Hollard H. & Willefert S. 1985. Lower Paleozoic rocks of Morocco. In: Holland C. H. (éd.), *John Wiley, Londres*, pp. 91-336.
- Eddif A., Gasquet D., Hoepffner C. & Aït Ayad N. 2000. Les intrusions de Wirgane (Haut Atlas occidental, Maroc) : témoins d’un magmatisme syn- à tardi- cinématique hercynien ? *J. Afr. Earth Sci.*, 31, 3-4, 483-498.
- El Arabi E.H., Diez J.B., Broutin J. & Essamoud R. 2002. Nouvelle datation palynologique du Trias moyen dans le Haut Atlas central. *3<sup>ème</sup> Réunion du Groupe Marocain du Permien et du Trias*, Casablanca, avril 2002, p. 13.
- El Fariati A. 1997. *Etude sédimentologique et structurale des formations triasiques de la partie méridionale du couloir d’Argana (Haut Atlas occidental, Maroc)*. Thèse de 3<sup>ème</sup> cycle, Univ. Mohammed V, Fac. Sci. Rabat, 200 p.
- Errami A. 1994. *Etude géologique du bassin triasique de Tine Mellil (zone de faille de Tizi n’Test, Haut Atlas occidental)*. Mém. CEA, Univ. Mohammed V, Fac. Sci. Rabat, 42 p.
- Errami A. 2001. *Evolution tardi-hercynienne et alpine des bassins du Paléozoïque supérieur de la bordure sud-occidentale du Massif ancien du Haut Atlas : rôle des inversions tectoniques*. Thèse de Doctorat, Univ. Mohammed V-Agdal, Fac. Sci. Rabat, 226 p.
- Errami A. & Bensahal A. 1998. La faille d’Ikhourba: exemple d’inversion multiple le long de la bordure ouest du bassin des Ida-Ou-Zal (versant sud du Haut Atlas occidental, Maroc). *Afr. Geosci. Rev.*, 5, 1-2, 129-134.
- Errami A., Medina F., Hoepffner C., Ahmamou M. & Bensahal A. 2002. Etude structurale des formations stéphano-autuniennes d’El Menizla et nouvelle chronologie des phases tardi-hercyniennes dans le Haut Atlas occidental (Maroc). *Afr. Geosci. Rev.* 9, 1-2, 157-170.

- Fraissinet C., Zouine E.M., Morel J.L., Poisson A., Andrieux J. & Faure-Muret A. 1988. Structural evolution of the southern and the northern Central High Atlas in Palaeogene and Mio-Pliocene times. In: Jacobshagen V. (éd.): *The Atlas system of Morocco : studies on its geodynamic evolution*. Springer Verlag, Lecture Notes in Earth Sciences, 15, pp. 273-291.
- Froitzheim N. 1984. Oberkretazische Vertikaltektonik im Hohen Atlas SW von Marrakech/Marokko; rekonstruktion eines Bewegungsablaufs im Frühstadium der Atlas-Orogenese. *N. Jb. Geol. Paläont. Mh.*, 8, 463-471.
- Gibbs A.D. 1984. Structural evolution of extensional basin margins. *J. Geol. Soc. London*, 141, 609-620.
- Giese P. & Jacobshagen V. 1992. Inversion tectonics of intracontinental ranges : High and Middle Atlas, Morocco. *Geol. Rundsch.*, 81, 1, 249-259.
- Ibouh H., El Bchari F., Bouabdelli M., Souhel A., & Youbi N. 2001. L’accident Tizal– Azourki (Haut Atlas central du Maroc) : déformations synsédimentaires liasiques en extension et conséquences du serrage atlasique. *Estudios Geol.*, 57, 15-30.
- Jalil N. 2001. *Les vertébrés permien et triasiques d’Afrique du Nord, avec une description de nouveaux Parareptiles Paraeiasaures (Amniota, Parareptilia, Pareiasauria) du Permien du Maroc. Liste faunistique relations phylogénétiques et implications biostratigraphiques*. Thèse d’Etat, Univ. Cadi Ayyad, Fac. Sci. Marrakech, 209 p.
- Jenny J. 1983. Les décrochements de l’Atlas de Demnat (Haut Atlas central, Maroc) : prolongation orientale de la Zone de décrochement du Tizi n’Test et clef de la compréhension de la tectonique atlasique. *Eclogae geol. Helv.*, 76, 1, 243-251.
- Jenny J. 1984. Dynamique de la phase tectonique synsédimentaire du Jurassique moyen dans le Haut Atlas central. *Eclogae geol. Helv.*, 77, 1, 143-152.
- Lagarde J.L. & Roddaz B. 1983. Le massif plutonique de Tichka (Haut Atlas occidental, Maroc) : un diapir syntectonique. *Bull. Soc. géol. Fr.*, XXV, 3, 389-399.
- Laville E. 1981. Rôle des décrochements dans le mécanisme de formation des bassins d’effondrement du Haut Atlas marocain au cours des temps triasiques et liasiques. *Bull. Soc. géol. Fr.*, 7, 303-312.
- Laville E. 1988. A multiple releasing and restraining stepover model for the Jurassic strike-slip basin of the Central High Atlas (Morocco). In: Manspeizer W. (éd): *Triassic-Jurassic rifting, continental breakup and the origin of the Atlantic ocean and passive margins*. Elsevier, Developments in Geotectonics, 22, chap. 21, 1-25.
- Laville E., Lesage J.L. & Seguret M. 1977. Géométrie et cinématique (dynamique) de la tectonique sur le versant sud du Haut Atlas marocain. Aperçu sur les tectoniques hercyniennes et tardi-hercyniennes. *Bull. Soc. géol. Fr.*, 7, XIV, 3, 527-539.
- Laville E. & Petit J.-P. 1984. Role of synsedimentary strike-slip faults in the formation of the Moroccan Triassic basins. *Geology*, 12, 424-425.
- Laville E. & Piqué A. 1991. La distension crustale atlantique et atlasique au Maroc au début du Mésozoïque : le rejeu des structures hercyniennes. *Bull. Soc. géol. Fr.*, 162, 1161-1171.
- Le Roy P., Piqué A., Le Gall B., Aït Brahim L., Morabet A.M. & Demnati A. 1997. Les bassins côtiers triasico-liasiques du Maroc occidental et la diachronie du rifting intra-continental de l’Atlantique central. *Bull. Soc. géol. Fr.*, 168, 5, 637-648.
- Lee C.W. & Burgess J.B. Sedimentation and tectonic controls in the Early Jurassic Central High Atlas trough, Morocco. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 89, 1199-1204.
- Manspeizer W. 1983. Proto-Atlantic pull-apart basins along the south Atlas – 40°N fracture zone, Morocco and North America. *Bull. Fac. Sci. Marrakech*, n° sp. 1, sect. Sci. Terre, 61-68.
- Mattauer M., Proust F. & Taponnier P. 1972. Major strike-slip fault of late Hercynian age in Morocco. *Nature*, 237, 160-162.
- Mattauer M., Taponnier, P. & Proust, F. 1977. Sur les mécanismes de formation des chaînes intrac Continentales. L’exemple des chaînes atlasiques du Maroc. *Bull. Soc. géol. Fr.*, 7, 19, 521-526.
- Medina F. 1994. *Evolution structurale du Haut Atlas occidental et des régions voisines du Trias à l’actuel, dans le cadre de l’ouverture de l’Atlantique Central et de la collision Afrique-Europe*. Thèse d’Etat, Univ. Mohammed V, Fac. Sci. Rabat, 260 p.
- Medina F. 2000. Structural styles of the Moroccan Triassic basins. *Zbl. Geol. Paläont.* I, Heft 9-10 (1998), 1167-1192.
- Medina F. & Errami A. 1996. L’inversion tectonique dans le bassin de Tine Mellil (Haut Atlas occidental, Maroc), Implications sur le fonctionnement de la faille de Tizi n’Test. *Gaia*, 12, 9-18.
- Medina F., Mustaphi H., Jabour H., Ahmamou M., Hoepffner C., El Fariati A. & Errami A. 1996. Structure des formations triasiques le long du segment occidental de la zone de faille du Tizi n’Test (Haut Atlas occidental, Maroc). In : Medina F. (éd.). *Le Permien et le Trias du Maroc : état de connaissances*. Editions Pumag, Marrakech, pp. 291-305.
- Medina F., Vachard D., Colin, J.P., Ouarhache D. & Ahmamou M. 2001. Charophytes et ostracodes du niveau carbonaté de Taourirt Imzilen (Membre d’Aglegal, Trias d’Argana) ; implications stratigraphiques. *Bull. Inst. Sci.*, sect. Sci. Terre, 23, 21-26.
- Morel J-L. 1988. *Evolution récente de l’orogène rifain et de son avant-pays depuis la fin de la mise en place des nappes (Rif, Maroc)*. Mém. Géodiffusion, 4, 584 p.
- Morel J-L., Zouine E-M., Andrieux J. & Faure-Muret A. 2000. Déformations néogènes et quaternaires de la bordure nord haut-atlasique (Maroc) : rôle du socle et conséquences structurales. *J. Afr. Earth Sci.* 30, 1, 119-131.
- Mustaphi H. 1997. *Apport des données de subsurface (forages et profils sismiques) et de la modélisation à l’étude de l’évolution du bassin du Souss du Trias à l’Actuel*. Thèse de 3<sup>ème</sup> Cycle, Univ. Mohammed V, Fac. Sci. Rabat, 248 p.
- Mustaphi H., Medina F., Jabour H. & Hoepffner C. 1997. Le bassin du Souss (Zone de faille du Tizi n’Test, Haut Atlas occidental, Maroc) : résultat d’une inversion tectonique contrôlée par une faille de détachement profonde. *J. Afr. Earth. Sci.*, 24, 1-2, 153-168.
- Ouanaimi H. & Petit J.P. 1992. La limite sud de la chaîne hercynienne dans le Haut Atlas marocain : reconstitution d’un saillant non déformé. *Bull. Soc. géol. Fr.*, 163, 1, 63-72.
- Petit J.-P. 1976. *La zone de décrochements du Tizi n’Test (Maroc) et son fonctionnement depuis le Carbonifère*. Thèse 3<sup>ème</sup> cycle, Univ. Montpellier, France, 99 p.
- Petit, J.-P. & Beauchamp J. 1986. Synsedimentary faulting and palaeocurrent patterns in the Triassic sandstones of the High Atlas (Morocco). *Sedimentology*, 33, 817-829.
- Petit J-P., Raynaud S. & Coutru J-P. 1985. Microtectonique cassante lors du plissement d’un conglomérat (Mio-Pliocène du Haut Atlas, Maroc). *Bull. Soc. géol. Fr.*, 8, 1, 3, 415-421.
- Piqué A., Bouabdelli M. & Darboux J-R. 1995. Le rift cambrien du Maroc occidental. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 320, II a, 1017-1024.
- Piqué A. & Laville E. 1993. L’ouverture de l’Atlantique central : un rejeu en extension des structures paléozoïques. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 317, II, 1325-1328.
- Piqué A. & Laville E. 1995. L’ouverture initiale de l’Atlantique central. *Bull. Soc. géol. Fr.*, 166, 6, 725-738.
- Proust F., Petit J-P. & Taponnier P. 1977. L’accident de Tizi n’Test et le rôle des décrochements dans la tectonique du

- Haut Atlas occidental (Maroc). *Bull. Soc. géol. Fr.*, 7, XIX, 541-551.
- Qarbous A. 2003. *Evolution géodynamique du bassin triasique de la partie sud-orientale du Massif ancien du Haut Atlas occidental ; chronologie du réseau de failles du Tizi n'Test*. Thèse de Doctorat, Univ. Mohammed V-Agdal, Fac. Sci. Rabat, 166 p.
- Qarbous A., Medina F. & Hoepffner Ch. 2003. Le bassin de Tizi n'Test (Haut Atlas, Maroc): exemple d'évolution d'un segment oblique au rift de l'Atlantique central au Trias. *Can. J. Earth Sci.* 40, 7, 949-964.
- Saber H. 1989. *Les événements sédimentaires et tectoniques au tardi-Hercynien dans le Haut Atlas occidental : exemple des bassins des Ida-Ou-Ziki, de l'oued Zat et du bloc d'Imin Tanoute*. Thèse de 3<sup>ème</sup> cycle, Univ. Cadi Ayyad, Fac. Sci. Marrakech, 145 p.
- Saber H. 1998. *Le Stéphano-Permien du Haut Atlas occidental : étude géologique et évolution géodynamique (Maroc)*. Thèse d'Etat, Univ. Chouaib Doukkali, Fac. Sci. El Jadida, 212 p.
- Schaer J.P. 1967. Interférence entre les structures du socle et celles de la couverture dans le Haut Atlas marocain. *In : Etages tectoniques*. Colloque Neuchâtel, éd. La Baconnière, pp. 297-306.
- Schwarz G., Mehl H.G., Ramdani F & Rath V. 1992. Electrical resistivity structure of the eastern Moroccan Atlas system and its tectonic implications. *Geol. Rundsch.*, 81, 1, 221-235.
- Tixeront M. 1973. Lithostratigraphie et minéralisations cuprifères et uranifères stratiformes, syngénétiques et familières des formations détritiques permo-triasiques du couloir d'Argana, Haut Atlas occidental (Maroc). *Notes & Mém. Serv. géol. Maroc*, 33, 249, 147-177.
- Tourani A., Lund J.J., Benaouiss N. & Gaupp R. 2000. Stratigraphy of Triassic syn-rift deposition in Western Morocco. *Zbl. Geol. Paläont.*, 9-10 (1998), 1193-1215
- Wernicke B. & Burchfiel B.C. 1982. Modes of extensional tectonics. *J. Struct. Geol.*, 4, 105-115.
- Wigger P., Asch G., Giese P., Heinsohn W.D., El Alami S.O. & Ramdani F. 1992. Crustal structure along a traverse across the Middle and High Atlas mountains derived from seismic refraction studies. *Geol. Rundsch.*, 81, 1, 237-248.
- Zouine E.M. 1993. *Géodynamique récente du Haut Atlas. Evolution de sa bordure septentrionale et du Moyen Atlas sud-occidental au cours du Cénozoïque*. Thèse d'Etat, Université Mohammed V, Rabat, 308 p.

Manuscrit reçu le 15 janvier 2003  
Version modifiée acceptée le 15 juillet 2003

