

# Datation de la déformation dans le Centre-Nord de Madagascar : apport de la géochronologie in-situ U-Th-Pb sur monazite à la microsonde électronique

Mary-alix Kaczmarek, Philippe Goncalves et Christian Nicollet

Laboratoire Magmas et Volcans, Université Blaise Pascal.  
5, rue Kessler, 63 038 Clermont-Ferrand cedex, FRANCE

## Contexte géologique

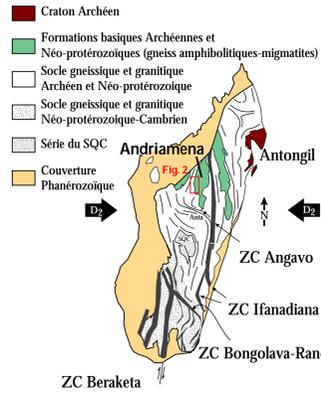


Fig. 1: Carte simplifiée du Précambrien de Madagascar (-550-500 Ma).

Le Centre-Nord Madagascar se caractérise par la présence de deux unités lithologiques et structurales bien contrastées (Fig. 1 et 2): un socle gneissique et granitique surmontée par l'unité basique d'Andriamena, interprétée comme une unité allochtone.

Le champ de déformation finie de cette zone résulte de la superposition de deux événements tectoniques D<sub>1</sub> et D<sub>2</sub>. L'événement D<sub>1</sub> est associé à la mise en place de l'unité basique d'Andriamena. L'événement D<sub>2</sub> correspond à un raccourcissement horizontal Est-Ouest, bien reconnu sur l'ensemble de Madagascar (Fig. 1), et attribué à la consolidation finale du Gondwana.

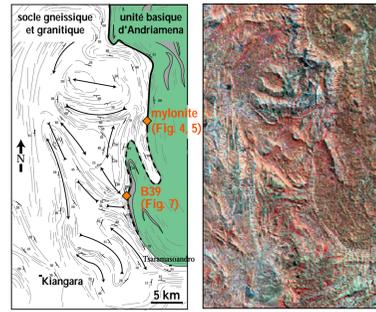


Fig. 2: Carte de trajectoire de foliation de la bordure ouest de l'unité d'Andriamena et la portion d'image satellitale SPOT correspondante.

Le but de cet étude est de contraindre l'âge de la mise en place de l'unité d'Andriamena (événement D<sub>1</sub>).

Les principales structures associées à cet événement D<sub>1</sub>, correspondent à une foliation S<sub>1</sub> et une zone de déformation très intense qui s'étend continuellement sur près de 200 km au contact de l'unité d'Andriamena et du socle. L'ensemble nappe/socle est affecté par le raccourcissement horizontal Est-Ouest D<sub>2</sub> (~500 Ma) qui est principalement accommodé par un plissement F<sub>2</sub>. (Fig. 3) (Goncalves et al., 2002 - Prec. Res.).

La superposition D<sub>1</sub>-D<sub>2</sub> donne lieu à des interférences de plis de taille kilométrique bien visibles dans le socle granitique (Fig. 2 et 3).

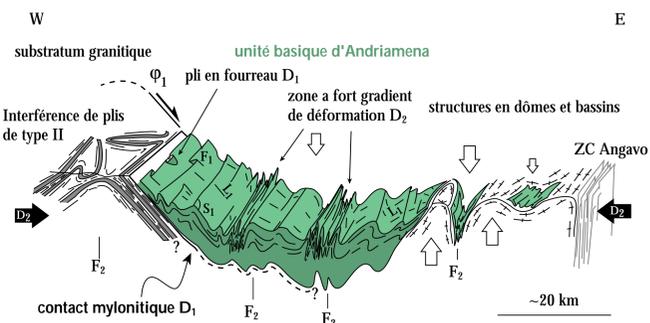


Fig. 3: Coupe 3D interprétative montrant la géométrie de l'unité basique d'Andriamena et du socle.

## Le contact tectonique D<sub>1</sub>

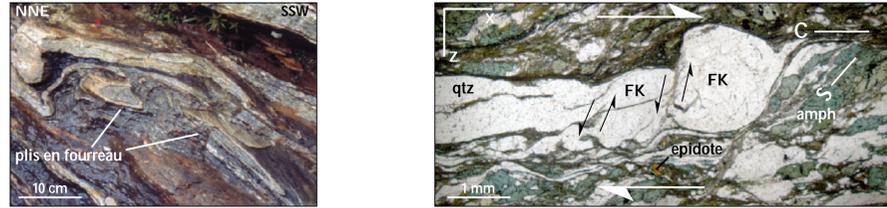


Fig. 4: Aflètement de la zone mylonitique au contact de l'unité d'Andriamena et du socle (section perpendiculaire à la direction d'étirement).

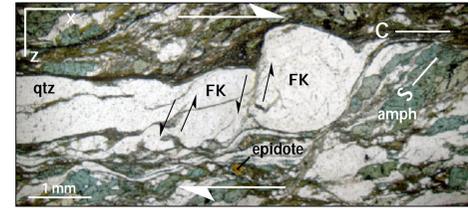


Fig. 5: Exemples de microstructures visibles dans la mylonite sur les sections parallèles à la direction d'étirement.

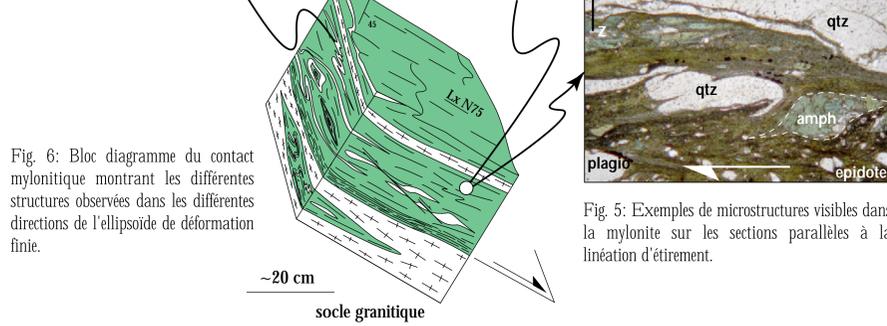


Fig. 6: Bloc diagramme du contact mylonitique montrant les différentes structures observées dans les différentes directions de l'ellipsoïde de déformation finie.

Les différentes structures observées sur le contact mylonitique D<sub>1</sub> à différentes échelles (Fig. 4, 5 et 6) sont compatibles avec un déplacement vers l'Est de l'unité d'Andriamena par rapport au socle.

La mylonite se compose essentiellement d'amphibole, d'épidote, de feldspath alcalin, de plagioclase, de ruban monominéral de quartz et de phyllites. La déformation intracrystalline plastique du quartz (extinction ondulante, sous-grains avec OPF et OPR) associée à une déformation fragile du feldspath alcalin (Fig. 4), suggère une déformation de relativement basse température, à la transition des faciès schistes verts et amphibolite à épidote (~400-500°C).

## Géochronologie in-situ U-Th-Pb sur monazite

**Méthode**

Les âges ont été obtenus par datation ponctuelle U-Th-Pb de monazites à la microsonde électronique (Cameca SX100). La monazite (REEPO<sub>4</sub>) peut incorporer, par l'intermédiaire de substitutions, d'importantes quantités de Th et d'U qui, par désintégration radioactive, produiront du Pb en quantité suffisante pour être analysable à la microsonde. Du fait de l'absence de Pb commun dans la monazite, un âge peut être calculé directement à partir des concentrations en U, Th et Pb et en supposant que le système n'a pas subi de perte partielle en Pb (Th et/ou U). L'interprétation des âges est par conséquent limitée par l'absence de données isotopiques permettant de tester la concordance des âges obtenus à la microsonde.

**Pétrographie**

L'échantillon daté (B39) provient du contact tectonique D<sub>1</sub> (Fig. 2). C'est une **pelite migmatitique**, constituée de grenat, feldspath alcalin, biotite et quartz. La biotite définit une **foliation parallèle au contact nappe-socle**.

Deux types de monazites ont été distingués:

- 1) monazites de 100 à 200 μm (Fig. 7), localisées dans la matrice. Leur orientation préférentielle est compatible avec la foliation marquée par la biotite.
- 2) monazites de petite taille (10-20 μm), localisées dans des amas de biotite et à l'équilibre textural avec ce minéral.

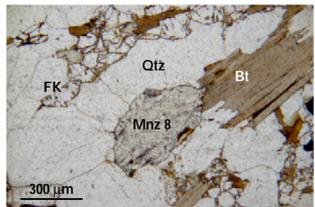


Fig. 7: Photo d'une monazite en lame mince, en lumière naturelle.

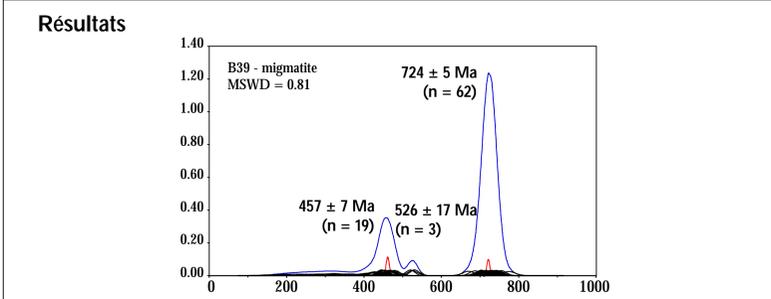


Fig. 8: Histogramme cumulé des âges obtenus sur l'échantillon B39. Chaque gaussienne (courbes noires) représente un âge individuel et son erreur. La courbe bleue correspond à une courbe cumulée. Les courbes rouges correspondent aux âges moyens calculés et leurs erreurs (2σ).

L'analyse statistique a été réalisée sur un ensemble de 9 monazites appartenant aux deux populations définies précédemment.

L'ensemble des "grosses" monazites localisées dans la matrice montre 2 populations d'âges principales à 724 ± 5 Ma et 457 ± 7 Ma (Fig. 8). Une population moins marquée (n=3) apparaît à 526 ± 17 Ma.

Les monazites de petite taille à l'équilibre textural avec les amas de biotite se caractérisent par des âges en U, Th et Pb très faibles générant des erreurs très importantes sur les âges calculés. Les âges obtenus varient de 220 Ma à 417 Ma et sont interprétés comme des âges minima. L'âge de 417 ± 55 Ma, obtenu sur les cristaux les plus radioactifs de cette population est compatible avec l'âge moyen de 457 ± 7 Ma. Nous l'interprétons comme l'âge de cristallisation de ces monazites contemporaines de la foliation.

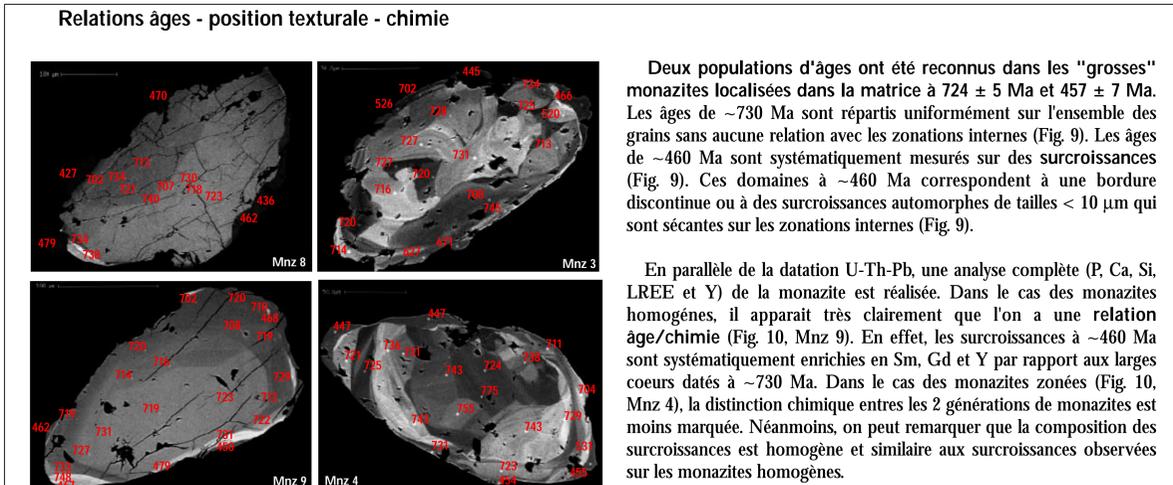


Fig. 9: Images MEB de monazites localisées dans la matrice illustrant les différents types de zonations. Les âges reportés sur chaque grain sont donnés en millions d'années. L'erreur à 2σ sur chaque analyse est d'environ 30 Ma.

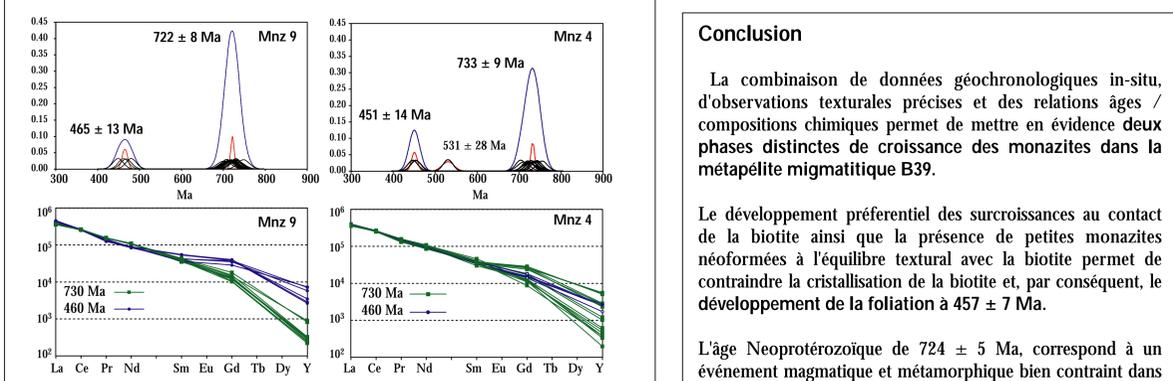


Fig. 10: histogramme cumulé des âges et spectres de Terres Rares normalisées aux chondrites de monazites homogène (Mnz 9) et zonée (Mnz 4).

Deux populations d'âges ont été reconnues dans les "grosses" monazites localisées dans la matrice à 724 ± 5 Ma et 457 ± 7 Ma. Les âges de ~730 Ma sont répartis uniformément sur l'ensemble des grains sans aucune relation avec les zonations internes (Fig. 9). Les âges de ~460 Ma sont systématiquement mesurés sur des surcroissances (Fig. 9). Ces domaines à ~460 Ma correspondent à une bordure discontinue ou à des surcroissances automorphes de tailles < 10 μm qui sont sécantes sur les zonations internes (Fig. 9).

En parallèle de la datation U-Th-Pb, une analyse complète (P, Ca, Si, LREE et Y) de la monazite est réalisée. Dans le cas des monazites homogènes, il apparaît très clairement que l'on a une relation âge/chimie (Fig. 10, Mnz 9). En effet, les surcroissances à ~460 Ma sont systématiquement enrichies en Sm, Gd et Y par rapport aux larges coeurs datés à ~730 Ma. Dans le cas des monazites zonées (Fig. 10, Mnz 4), la distinction chimie entre les 2 générations de monazites est moins marquée. Néanmoins, on peut remarquer que la composition des surcroissances est homogène et similaire aux surcroissances observées sur les monazites homogènes.

Le nombre trop faible d'analyse définissant l'âge de 526 ± 17 Ma (Fig. 8 et 10) rend les interprétations de cet âge très spéculatives.

**Conclusion**

La combinaison de données géochronologiques in-situ, d'observations texturales précises et des relations âges / compositions chimiques permet de mettre en évidence deux phases distinctes de croissance des monazites dans la métapélite migmatitique B39.

Le développement préférentiel des surcroissances au contact de la biotite ainsi que la présence de petites monazites néoformées à l'équilibre textural avec la biotite permet de contraindre la cristallisation de la biotite et, par conséquent, le développement de la foliation à 457 ± 7 Ma.

L'âge Neoproterozoïque de 724 ± 5 Ma, correspond à un événement magmatique et métamorphique bien contraint dans l'unité d'Andriamena (Guérrot et al., 1993; Nicollet et al., 1997; Goncalves et al., soumis J. Pet). Nous l'interprétons comme l'âge de la fusion partielle.

## Discussion

L'âge de mise en place de l'unité d'Andriamena à ~460 Ma (D<sub>1</sub>) est à priori incompatible avec le raccourcissement D<sub>2</sub> daté à 500 Ma (Goncalves et al., 2002 Prec. Res). Les déformations D<sub>1</sub> et D<sub>2</sub> au coeur de l'unité d'Andriamena se font dans des conditions du faciès amphibolite à granulite, alors que le contact mylonitique montre une déformation jusque dans les conditions du faciès schistes verts. Par conséquent, nous suggérons que l'âge de ~460 Ma correspond à un âge de refroidissement ou d'un rejeu tardif à basse température associé à des circulations de fluides. L'âge peu contraint de 526 ± 17 Ma, s'il est confirmé, pourrait correspondre à l'âge de mise en place de la nappe.

L'emplacement de l'unité d'Andriamena selon une direction de transport Ouest-Est (D<sub>1</sub>) et le raccourcissement horizontal Est-Ouest (D<sub>2</sub>) se produisent continuellement dans le temps (530-500 Ma). Nous suggérons que ces deux événements tectoniques sont associés au même régime tectonique Cambrien (convergence Est-Ouest) traduisant la convergence continentale du bloc Australie-Antarctique et Madagascar-Inde-Sri Lanka au cours de la consolidation finale du Gondwana.

La datation U-Th-Pb de monazite à la micro-sonde électronique est un bon outil pour estimer l'âge de la déformation. En effet, par son caractère in-situ et sa très haute résolution spatiale, les données géochronologiques peuvent être directement liées aux microstructures. D'autres part, cette technique permet de mettre en évidence des domaines d'âges contrastés à l'échelle du cristal interprétés, au vu des relations âges-chimie, comme différentes phases de croissance de la monazite.