

RAPPORT DU PRESIDENT DE JURY APRES LA SOUTENANCE ET SIGNATURE DES MEMBRES DU JURY

Arrêté du 25 avril 2002, art 12 : " Le jury désignent parmi eux un président, le président doit être un professeur ou assimilés. Le directeur de thèse ne peut être choisi ni comme rapporteur ni comme président du jury.

« Conformément à l'arrêté du 25 avril 2002 relatif aux Études doctorales, Article 14, les mentions de thèse ne figurent pas sur le diplôme de docteur délivré par l'Université Joseph Fourier. En application des décisions des conseils de l'Université Joseph Fourier (Conseil Scientifique du 11 avril 2003, Conseil d'Administration du 15 avril 2003), le formulaire « Rapport de soutenance » ne comporte pas de liste de mentions de thèse.

Il est demandé au jury d'indiquer clairement son jugement sur la qualité de la thèse et sur son niveau, d'une part dans le rapport de soutenance et d'autre part en complétant la grille d'évaluation prévue à cet effet. (page suivante)»

PRESIDENT : Maxella Mellini.....

Dans la durée impartie (45'), Muriel Andrieani a présenté ses travaux de thèse réalisés en trois ans sur les mécanismes de déformation des serpentinites. L'exposé était organisé en deux parties :

1 - la déformation des serpentinites en dehors des failles actives en utilisant les veines comme marqueurs des mécanismes d'ouverture et de la taille du système clos dans lequel se font les transferts de matière pendant la déformation. Elle distingue deux grands types de veines : les veines à ouverture lente, avec transfert par diffusion pour lesquelles elle propose un modèle original de remplissage, les autres à ouverture rapide avec transfert par advection. Ses résultats originaux sur les veines serpentines apportent un éclairage nouveau sur l'interprétation des veines en général

2 - la déformation des serpentinites dans une faille active, par un mécanisme de dissolution - diffusion - cristallisation. Là encore, M Andrieani propose un modèle interprétable expliquant le fluage des serpentines. Les résultats de la thèse sur les mécanismes de déformation lente et rapide sont très importants et intéressants dans le contexte scientifique international, car la combinaison de ces mécanismes permet d'interpréter le comportement globalement anisotrope de certains segments de la faille de San Andreas

Le jury a unanimement souligné la qualité des observations réalisées en microscopie sur un matériau de manipulation difficile, rendu encore plus fragile par la déformation en contexte de faille active. Ces observations ont combiné plusieurs échelles progressives, de celle du terrain à celle de la microscopie électronique à transmission, sans perdre d'informa-

tuin en passant de l'une à l'autre. Les membres jury experts en microscopie électronique à haute résolution ont insisté sur ce point original qui est une des grandes forces de travail réalisée

L'exposé oral a été remarquable et a mis en évidence les qualités pédagogiques de la candidate qui a su rendre accessibles ses résultats tout en restant à un niveau scientifique élevé. Elle a rendu compte très honnêtement des difficultés rencontrées et des points restés encore en suspens, et a proposé de larges perspectives de recherche tant sur la dynamique des failles que sur l'étude de matériaux industriels (carbone). Elle a répondu avec beaucoup d'assurance aux questions des membres du jury.

Muriel Andrieu a été entièrement autonome dans sa démarche scientifique et dans l'utilisation et la maîtrise des outils de microscopie électronique, et elle a fait preuve d'initiative. Deux articles ont été soumis (dont un déjà accepté) dans des revues internationales. Muriel Andrieu a donc démontré qu'elle était une chercheuse accomplie.

Rapports préalables

Rapporteurs :

M. Marie Jessel
M. Catherine Nivel

Satisfaisant

Bon

Niveau Scientifique

Très bon

Exceptionnel

Évaluation générale de la présentation orale

Qualité scientifique

Satisfaisant

Bon

Très bon

Exceptionnel


Qualité pédagogique

Réponses aux questions


Signatures des membres du jury validé par l'UJF: (indiquer lisiblement le nom au-dessous de chaque signature)

H. HELLINI
Marie-Claire Delbecq

GRATER


M. Jessell


C. Nivel



A. Baudouin

A. BARONNET



Rapport sur le mémoire de thèse de Muriel Andréani, intitulé: « Les microstructures de déformation des serpentines et la partition sismique-asismique : exemple de la Californie » .

Ce manuscrit de 215 pages, complété par une annexe de 21 pages, présente plusieurs études extrêmement détaillées de localités géologiques déjà identifiées en Californie. L'étude consiste en des observations effectives sur le terrain, complétées par des observations effectuées, et ceci à plusieurs échelles: microscopie optique, MEB, et MET. L'étude est fortement valorisée par une recherche originale concernant précisément les veines de serpentines impliquées dans les systèmes de failles.

Le manuscrit est composé de huit sections qui intègrent deux publications soumises à des revues internationales, et pour lesquelles Muriel Andréani est premier auteur d'un article.

La **Partie I** (43 pages) fait une synthèse détaillée des principales connaissances sur la minéralogie et la déformation des serpentines ainsi que sur l'histoire tectonique du centre de la Californie. Ceci permet à toute personne non avertie de comprendre la suite et d'avoir des références tout à fait à jour.

Le **Partie II** (126 pages) consiste en 7 sections sur la structure et les mécanismes de déformation dans les serpentinites.

-Section II.1 (« Campagne d'échantillonnage en Californie »). Muriel présente le contexte de son étude: location et état actuel des affleurements, montrant la déformation du système serpentiniteux du centre de la Californie, une zone décrochante majeure qui sépare la plaque Pacifique de la plaque Nord Américaine.

-La section II.2.1 (« Les blocs de serpentinites massives ») étudie la chimie et la microstructure (microscopie optique) des veines dans les blocs peu impliqués dans l'activité des failles récentes. Muriel présente une classification de cinq formes des veines, et les interprète de façon convaincante en terme de leur chronologie relative et de leur vitesse d'ouverture.

-La section II.2.2 (« Ouverture lente : les veines fibreuses ») présente les études à l'échelle du grain, utilisant le MEB et le MET. Muriel les interprète dans un modèle où l'ouverture est relativement lente.

-La section II.2.3 (« Ouverture saccadée : les veines de type « crack-seal ») consiste principalement en deux articles soumis. Le premier, à *European Journal of Mineralogy*, pour lequel Muriel est premier auteur, présente une étude bien construite des microstructures à l'échelle du grain des veines rubanées. Elle fournit un modèle de formation et en discute les implications. Le deuxième texte, à *The Geological Society of London, Special Publications*, où Muriel est deuxième auteur, présente une quantification des événements « crack-seal » dans des veines d'origines variées. L'analyse suggère qu'il n'y a aucune relation spatiale entre les événements successifs, et donc qu'on ne peut pas interpréter leurs variations d'espacement en termes de cycles sismiques. Ces deux articles représentent la

partie la plus novatrice du manuscrit, où la candidate démontre ses capacités de chercheur.

-La section II.2.4 (« Ouverture rapide : les veines microgrenues (lamellaires et sphérolitiques) ») présente les analyses chimiques et les observations multi-échelles sur ces deux formes de veines observées en Californie par Muriel. Pour ces dernières veines, Muriel propose un nouveau modèle de formation.

-La section II.2.5 (« Discussion ») récapitule les points principaux de cette Partie et présente un modèle bien conçu expliquant les cinq formes de veines en terme de paramètres d'écart à l'équilibre chimique, de profondeur, de température et de pression de fluide. Cette synthèse montre que Muriel maîtrise très bien, non seulement les techniques d'observation appliquées à la complexité microstructurale, mais aussi leur intégration dans un modèle générale.

-La section II.3 (« Les serpentinites dans les zones de failles ») est une étude à plusieurs échelles des surfaces brillantes et les gouges de failles. Muriel montre que si les surfaces brillantes sont bien directement liées avec des événements sismiques, la magnitude de ces événements est bien faible. Ce résultat est très significatif. A propos les gouges, Muriel montre la complexité de forme de serpentine présente.

Enfin, la section : « Conclusions générales et perspectives » est un sommaire clair et bien écrit des résultats majeurs de cette thèse, ainsi qu'un résumé des études que l'on pourrait entreprendre pour résoudre les questions posées par cette étude.

Dans l'ensemble, le manuscrit est facile à lire et présente peu de défauts de forme. Muriel Andréani montre, à cette occasion, les qualités d'un chercheur accompli, possédant bien son sujet, aussi bien sur le conceptuel que sur celui des techniques instrumentales. Les matériaux choisis sont très difficiles à observer et à analyser. Elle démontre sa capacité à aboutir à des modèles bien intégrés de leur mécanisme de formation.

En conclusion il s'agit d'un très bon travail scientifique, qui mérite évidemment d'être soutenu publiquement pour obtenir le grade de Docteur de l'Université.

Mark Jessell
Professeur à l'Université
Paul-Sabatier (Toulouse)

26/11/2003



Catherine Chauvel



Rapport sur le mémoire de Thèse de Muriel Andréani : Les microstructures de déformation des serpentines et la partition sismique-asismique : exemple de la Californie

Catherine Mével

DR CNRS, Laboratoire de Géosciences Marines, UMR 7097, IPGP-UMPC

Ce mémoire s'articule en deux parties :

Dans une première partie, une synthèse bibliographique est présentée sur les minéraux serpentiniteux et leurs occurrences à l'échelle globale.

La présentation des structures des minéraux serpentiniteux est très claire et très bien documentée. Elle sera très utile à qui veut avoir une idée générale de la question.

Quelques pages sont ensuite consacrées aux occurrences des serpentinites. Cette partie ne traite pas le problème de manière exhaustive. Elles se réfèrent uniquement au contexte divergent (dorsales océaniques) et au contexte convergent (ophiolites, zones de subduction) Il existe également des serpentinites associées à l'ouverture océanique, des serpentinites dans les ceintures vertes précambriennes, etc... Quelques inexactitudes émaillent la partie sur les dorsales, mais rien de vraiment grave. Mais il est clair que ces quelques pages ne font pas le tour de la question.

Ce que l'on connaît des conditions de stabilité des serpentinites est ensuite présenté clairement, avec toutes les incertitudes qui demeurent sur les rôles respectifs de la température, de la pression, de la chimie, du rapport eau/roche et de l'écart à l'équilibre.

Enfin l'état des lieux sur la déformation des serpentinites en fonction du contexte est également présenté.

Dans la mesure où la présentation des occurrences de serpentinites est très succincte, il m'aurait paru plus logique de la mettre en premier, les trois parties suivantes (structure des minéraux serpentiniteux, conditions de stabilité et déformation) s'articulant ensuite de manière plus logique. La première partie s'achève par une présentation du terrain d'étude, le centre Californie. La géologie de la Californie est très compliquée. L'image que l'on peut s'en faire après la lecture de ce texte reste un peu confuse.

La seconde partie est le cœur du travail personnel : l'échantillonnage sur le terrain avec la description précise des affleurements, les mécanismes d'ouverture et de colmatage des fractures et les serpentinites dans les zones de faille.

La description du terrain est bien faite et abondamment illustrée. On se fait une idée précise à la fois des conditions d'affleurement et des relations de terrain. Des serpentinites ont été échantillonnées hors failles actives et dans les failles actives pour voir l'effet de cette tectonique active. L'argumentation du choix de la zone d'étude est bien menée.

Il manque cependant une explication synthétique claire de ce que sont ces serpentinites : si j'ai bien compris, elles appartiennent aux terrains franciscains, ancien prisme d'accrétion avec des blocs qui a été enfoui dans la zone de subduction jusqu'aux conditions du faciès schiste bleu puis exhumé. Par la suite, l'influence de cet enfouissement et de cette exhumation ne sont jamais réellement abordés.

L'étude des mécanismes d'ouverture et de colmatage des fractures est particulièrement intéressante. Avoir mené de front les études de texture à différentes échelles (microscope, MEB et MET) fait l'originalité de ce travail. Elle permet de relier aux textures microscopiques la variété de serpentine, sa composition chimique et son mode de croissance. Deux grands types de veine ont pu ainsi être distingués :

- les veines à ouverture lente, dont le colmatage se fait en milieu confiné, essentiellement par diffusion. L'exemple des veines crack seal est particulièrement bien expliqué et convaincant, s'appuyant à la fois sur les textures et sur des résultats expérimentaux.

- les veines ouvertures rapide, dont le colmatage se fait par advection. Dans ce cas, un refroidissement du fluide au contact de l'encaissant est invoqué pour expliquer la précipitation. Si les mécanismes de formation de ces veines sont bien caractérisés, le contexte dans lequel elles se forme reste mal contraint. Certaines peuvent dater de la serpentinisation en milieu océanique, sur la base de l'argument que des textures similaires sont observées en milieu océanique. Pour les veines ouvertes, l'implication d'invoquer fluide plus chaud que l'encaissant n'est pas discutée. Finalement, les serpentinites des zones de faille active sont également étudiées.

La formation des miroirs de faille est attribuée à un processus de polissage dû à une rupture localisée. Mais les observations ne permettent pas de dire si cette rupture se fait en plusieurs épisodes successifs ou durant un épisode de glissement lent et continu. Les implications sismiques sont très importantes, puisque dans le second cas le glissement doit être asismique, alors que le premier peut engendrer une sismicité. La présence de talc est discutée en terme de température. Mais il faut également souligner que le talc est très riche en silice et donc implique également des mobilisations d'éléments. Dans les roches océaniques, le talc est également souvent associé à des zones de déformation, comme si des fluides siliceux circulaient dans les failles.

L'étude des zones de gouge permet de proposer un modèle de formation de la schistosité, par cristallisation syntectonique de chrysotile, d'une manière similaire à celle invoquée pour la formation des veines fibreuses. Un tel modèle de formation ne devrait pas générer de sismicité.

En conclusion, cette thèse apporte des modèles convaincants de colmatage des fractures et de formation de la schistosité dans les serpentines basés à la fois sur des études de terrain, au microscope, au MEB et au MET ainsi que des analyses chimiques. Elle montre que les conditions de croissance des minéraux serpentiniteux sont surtout contraints par le rapport eau/roche et l'écart à l'équilibre, même si le rôle de la température reste à préciser. En ce qui concerne le colmatage des fractures, il reste à faire le lien entre ces mécanismes et l'environnement géodynamique. En revanche, les mécanismes invoqués pour la formation des gougues suggèrent un fluage par dissolution cristallisation qui pourrait aboutir à un comportement asismique. Ce travail démontre l'intérêt de prendre en compte la présence éventuelle de serpentinites pour comprendre la distribution de la sismicité.

Les serpentinites sont des roches d'approche difficile. Muriel Andreani a montré ses capacités à utiliser des techniques variées sur ses échantillons, mais également à intégrer les données apportées par l'expérimentation pour aboutir à des modèles convaincants.

Au vu de la qualité de son travail et de l'importance de ses résultats, elle est tout a fait digne du grade de Docteur es Sciences.



C. Néel, le 25/11/03

Catherine Chauvel

