

Résumé

Résumé de la thèse de doctorat

Discipline: Sciences de la Terre et de l'Univers
Spécialité (*facultative*) : Géophysique Interne
Présentée par:

Paolo Marco de MARTINI

Titre: Identification et caractérisation des structures sismogènes des Apennins (Italie) :

Analyse conjointe (tectonique et géodésie) des déformations de la croûte terrestre à diverses échelles temporelles

Unité de recherche: UMR N° 7516 (*Jacques Hinderer*)

Directeur de thèse: MEGHRAOUI Mustapha

Co-Directeur de thèse: PANTOSTI Daniela

Grade Localisation: Physicien des Observatoires
ULP – EOST – IPGS

Résumé de Thèse de Paolo Marco de Martini

Identification et caractérisation des structures sismogènes des Apennins (Italie) :
Analyse conjointe (tectonique et géodésie) des déformations de la croûte terrestre à diverses
échelles temporelles

Combined geodetic and geologic analysis of crustal deformation
at different time scales :

A contribution to the identification and characterization of seismogenic structures in the
Apennines (Italy)

Les méthodes d'identification des failles actives et notamment l'évaluation de leur potentiel sismogène sont marquées par des incertitudes et par la diversité des interprétations. Des études récentes ont montré la persistance des difficultés de mise en évidence des structures actives lorsque les déformations récentes se superposent aux épisodes tectoniques anciens. Ces observations sont d'autant plus évidentes en ce qui concerne la chaîne montagneuse des Apennins d'Italie où chaque faille active présente une vitesse de déformation ≤ 1.0 mm/an et une période moyenne de récurrence de 1 à 5 ka (DISS et Galadini). Ces observations sont attestées par le caractère de faille « cachée » ou « aveugle » de plusieurs structures actives de la péninsule italienne telles que celles de Messine, Friuli, Irpinia, Val Comino, Gubbio, Colfiorito et Molise.

Les travaux qui sont présentés dans cette thèse s'attachent à traiter des problèmes des failles actives des Apennins méridionaux et septentrionaux. Ces problèmes se déclinent comme suit :

1. La déformation active dans les Apennins qui inclut les mouvements tectoniques aux abords des failles est souvent oblitérée par l'activité humaine (agriculture), le fort taux d'érosion conditionné par les effets climatiques qui conduit souvent à des interprétations erronées, et l'interférence avec les structures géologiques anciennes.
2. Les mouvements verticaux qui dominent le style tectonique des Apennins requièrent l'utilisation des profils géodésiques (durant au moins le dernier siècle d'observation) conventionnels bien meilleurs que les mesures de géodésie spatiale lorsqu'il s'agit des mesures des composantes verticales.
3. Les études sur les failles actives et leurs implications sur l'évaluation de l'aléa sismique nécessitent l'utilisation d'une approche multidisciplinaire en géologie, géodésie et

sismologie pour la caractérisation de structures sismogènes et le calcul de l'aléa et du risque sismiques.

Dans ce travail, nous traitons ces problèmes et apportons des réponses à l'aide de plusieurs cas d'étude des zones sismogènes des Apennins. Plusieurs de nos publications dans des revues internationales (de rang A) étayent nos observations, mesures et analyses (voir liste ci-dessous).

Cette thèse se compose de 7 chapitres :

- Le chapitre 1 présente les caractéristiques sismotectoniques des Apennins et leur évolution tectonique récente. Les structures tectoniques majeures des Apennins subdivisées en régions distinctes (Nord Apennins, Apennins centraux, Sud Apennins et Arc Calabrais) définies par : a) la sismicité historique et instrumentale, b) le champ de contrainte actuel, et c) les failles actives identifiées. Nous utiliserons également les caractéristiques de l'aléa sismique de la péninsule italienne dans l'analyse des zones actives.
- Le chapitre 2 résume en premier lieu les méthodes utilisées et les notions fondamentales en tectonique active, sismotectonique et géodésie des zones actives. Les aspects théoriques de la déformation active (sismique) et sa relation au cycle sismique sont combinés aux principes de la déformation élastique et des ruptures (déformation fragile). Nous présentons également une courte introduction de la tectonique active et la géologie des tremblements de terre telle que développée durant les dernières décennies. Un exemple d'étude d'une région en Iran à fort potentiel sismique (Faille de Kahrizak) près de Téhéran (De Martini et al., 1998). D'autre part, le cas d'une étude paléosismologique dans une zone dite stable en Australie marque les limites des méthodes utilisées et la complexité des zones actives (Crone et al., 2003). Des éléments de comparaison aux failles normales des Apennins sont présentés par une étude de la faille d'Atalanti (Grèce centrale ; Pantosti et al., 2004).

Cette présentation comporte également dans une deuxième partie les techniques du nivellement et l'histoire des réseaux géodésiques en Italie. Les marges d'erreur et précision sont mises en évidence afin de montrer les aspects qualitatifs de nos mesures des réseaux de nivellement centenaire des Apennins (article d'Anastasio et al., 2006). L'analyse des résultats est associée aux modèles des mouvements co-sismiques et des déplacements post-sismiques.

Une troisième partie explique par des illustrations et argumentation l'utilité de l'utilisation des réseaux géodésiques anciens combinés aux études de tectonique active et analyse de la sismicité pour mieux comprendre : i - les processus de déformation (pré-sismique, co-sismique, post-sismique et inter-sismique), et ii - les déformations à grande échelle. Une comparaison des déformations à court terme et à long terme nous permet de contraindre les caractéristiques géométriques et de comportement des failles actives des Apennins.

- Le chapitre 3 expose les évidences des déplacements pré-sismiques et asismiques le long des failles normales actives. Les mesures géodésiques à travers la zone sismique de l'Umbria-Marche lieu de la séquence sismique de 1997-98 montrent les mouvements pré-sismiques sur une rupture aveugle (De Martini & Valensise, 1999). Les évidences géodésiques des mouvements asismiques sur la faille normale de Amatrice avec l'absence de sismicité et des mouvements progressifs en surface posent le problème des failles silencieuses.

- Le chapitre 4 décrit les évidences de déplacements co-sismiques le long des failles normales par le biais des mesures géodésiques et géologiques. Les profils de nivellement réoccupés suite à la séquence sismique de l'Umbria-Marche de 1997-98 conduisent à une meilleure détermination des paramètres de la source sismique et de la répartition des déplacements co-sismiques (De Martini et al, 2003). La variation des taux de déformation le long des ruptures normales aveugles durant la séquence sismique et l'analyse conjointe avec modélisation des déformations de surface par le biais de l'InSAR nous a permis de mieux localiser les branches de failles et aspérités associées (Stramondo et De Martini, 2004). Les évidences géologiques des failles actives et sismogènes sont compilées des divers travaux de paléosismologie auxquels nous avons contribué et qui montrent la relation entre les déformations à court terme et celles à long terme des Apennins (Pantosti et al., 1999).
- Le chapitre 5 traite des mesures géodésiques de la zone active de la plaine intra montagneuse du Fucino, site du séisme majeur de 1915. La répétition de ces mesures et la mise en évidence des mouvements (et la modélisation) indiquent l'apparition d'une déformation post-sismique probablement liée à des mouvements de relaxation associés à la tectonique crustale (Amoroso et al., 2006).
- Le chapitre 6 décrit les mouvements verticaux de grande longueur d'onde durant les derniers 50 et 100 ans par les données géodésiques combinés aux évidences géologiques des paléorivages (D'Anastasio et al., 2006 ; Mancini et al., 2006). L'analyse conjointe des données géodésiques, géologiques-tectoniques (paléosismologie) et sismologiques permet de mieux contraindre les déformations inter-sismiques. L'étude de la déformation active à différentes fenêtres de temps et la comparaison du signal géodésique avec les caractéristiques de la déformation à long terme extraites de la géomorphologie quantitative permet une meilleure détermination du cycle sismique dans les Apennins.
- Le chapitre 7 résume les principaux résultats obtenus au cours de nos études des zones actives des Apennins. En parallèle, notre analyse de la déformation active de la péninsule italienne pose le problème d'une meilleure définition des dimensions des zones actives, leur état de contrainte tectonique, le lieu de chargement de ces contraintes et leur potentiel pour une recrudescence de l'activité sismique future. En perspective, ces cas d'étude nous permettent d'identifier et de mieux cerner les problèmes du signal géodésique pré-sismique et une évaluation réaliste de l'aléa sismique en Italie.

Liste des publications et communications

- De Martini P.M.**, K. Hessami, D. Pantosti, G. D'Addezio, H. Alinaghi & M. Ghafory-Ashtiani (1998). A geologic contribution to the evaluation of the seismic potential of the Kahrizak fault (Tehran, IRAN), *Tectonophysics* , 287, 187-199
- De Martini P.M.** & G. Valensise (1999). Pre-seismic slip on the 26 September 1997, Umbria-Marche earthquake fault? Unexpected clues from the analysis of 1951-1992 elevation changes, *Geophysical Research Letter*, 26 (13), 1953-1956.

- De Martini P.M.**, P. Burrato, D. Pantosti, A. Maramai, L. Graziani and H. Abramson (2003). Identification of tsunami deposits and liquefaction features in the Gargano area (Italy): paleoseismological implication, *Annals of Geophysics*, 46 (5) 883-902.
- De Martini P.M.**, N. A. Pino, G. Valensise & S. Mazza (2003). Geodetic and seismologic evidence for slip variability along a blind normal fault in the Umbria-Marche 1997-1998 earthquakes (central Italy), *Geophysical Journal International*, 155, 819-829.
- De Martini P.M.**, D. Pantosti, N. Palyvos, F. Lemeille, L. McNeill & R. Collier (2004). Slip rates of the Aigion and Eliki faults from uplifted marine terraces, Corinth Gulf, Greece, *Comptes rendus - Geosciences*, 336/4-5, 325-334.
- D'Addezio G., D. Pantosti & **P.M. De Martini** (1996). Paleoseismologic and geomorphic investigations along the middle portion of the Ovindoli-Pezza Fault (central Italy), *Annali di Geofisica Special Issue*, vol. XXXIX (3), May 1996, 663-675
- Collier R., D. Pantosti, G. D'Addezio, **P.M. De Martini**, E. Masana & D. Sakellariou (1998). Paleoseismicity of the 1981 Corinth earthquake fault: seismic contribution to the extensional strain in central Greece and implications for seismic hazard, *Journal of Geophysical Research*, 103, B12, 30,001-30,019
- Pantosti D., **P.M. De Martini**, P. Galli, F. Galadini, P. Messina, M. Moro & A. Sposato (1999). Studi paleosismologici lungo la rottura superficiale prodotta dal terremoto del 14 Ottobre 1997 (Umbria-Marche), in *Atti del 18° Convegno del Gruppo Nazionale di Geofisica Della Terra Solida*, 13 pp., Roma 9-11 Novembre 1999.
- Pantosti D., **P.M. De Martini**, D. Papanastassiou, N. Palyvos, F. Lemeille & G. Stavrakakis (2001). A reappraisal of the 1894 Atalanti earthquake surface ruptures, central Greece, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 91 (4), 760-780
- Cowan H., C.S. Prentice, D. Pantosti, **P.M. De Martini**, W. Strauch & Workshop Participants (2002). Late Holocene earthquakes on the Aeropuerto Fault, Managua, Nicaragua, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 92 (5), 1694-1707
- Pucci, S., **P.M. De Martini**, D. Pantosti and G. Valensise (2003). Geomorphology of the Gubbio Basin (Central Italy): understanding the active tectonics and earthquake potential, *Annals of Geophysics*, 46 (5) 837-864.
- Crone A.J., **P.M. De Martini**, Machette M.N., K.Okumura & J.R. Prescott (2003). Paleoseismicity of two historically quiescent faults in Australia- Implications for fault behavior in stable continental regions, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 93 (5), 1913-1934
- Stramondo S. and **P.M. De Martini** (2004). Modelling surface displacements of the 1997 central Italy earthquakes from InSAR and levelling geodetic data, 32nd International Geological Congress, Florence, Italy, 20-28 August 2004.
- Pantosti D., **P. M. De Martini**, D. Papanastassiou , F. Lemeille, N. Palyvos and G. Stavrakakis (2004): Paleoseismological trenching across the Atalanti fault (Central Greece): evidence for the ancestors of the 1894 earthquake during Middle Age and Roman time, *Bull. Soc. Seism. Am.*, 94 (2), 531-549
- Pantosti D., **P. M. De Martini** , I. Koukouvelas, L. Stamatopoulos, N. Palyvos, S. Pucci, F. Lemeille and S. Pavlides (2004): Paleoseismological investigations of the Aigion fault (Gulf of Corinth, Greece), *Comptes rendus - Geosciences*, 336/4-5, 335-342.
- Amoruso, A., L. Crescentini, E. D'Anastasio, **P.M. De Martini**, (2005): Clues of postseismic relaxation for the 1915 Fucino earthquake (central Italy) from modeling of leveling data, *Geophysical Research Letter*, 32, L22307, doi: 10.1029/2005GL024139

- Palyvos, N., D. Pantosti, **P. M. De Martini**, F. Lemeille, D. Sorel, K. Pavlopoulos (2005): The Aigion-Neos Erineos coastal normal fault system (western Corinth Gulf Rift, Greece): Geomorphological signature, recent earthquake history and evolution, *J.G.R. Solid Earth*, 110, B09302, doi: 10.1029/2004JB003165
- McNeill, L.C., R.E.L. Collier, **P. M. De Martini**, D. Pantosti, G. D'Addezio (2005): Recent history of the Eastern Eliki Fault, Gulf of Corinth: Geomorphology, paleoseismology and impact on palaeoenvironments, *Geophys. J. Int*, 161, 154-166, doi: 10.1111/j.1365-246X.2005.02559.x
- D'Anastasio E., **P.M. De Martini**, G. Selvaggi, D. Pantosti, A. Marchioni, R. Maseroli (2006): Short-term vertical velocity field in the Apennines (Italy) revealed by geodetic levelling data, *Tectonophysics*, doi: 10.1016/j.tecto.2006.02.008
- Vanneste, K., A. Radulov, **P.M. De Martini**, G. Nikolov, T. Petermans, K. Verbeeck, T. Camelbeeck, D. Pantosti, D. Dimitrov, and S. Shanov (2006), Paleoseismologic investigation of the fault rupture of the 14 April 1928 Chirpan earthquake (M 6.8), southern Bulgaria, *J.G.R. Solid Earth*, 111, B01303, doi:10.1029/2005JB003814
- Pantosti, D., S. Pucci, N. Palyvos, **P.M. De Martini**, G. D'Addezio, P.E.F. Collins and C. Zabci (2007): Paleoearthquakes of the Düzce fault (North Anatolian Fault Zone): insights for earthquake recurrence, *J.G.R. Solid Earth*, in press
- Pucci, S., **P.M. De Martini** and D. Pantosti (2007): Preliminary slip rate estimates for the Düzce segment of the North Anatolian Fault Zone from offset geomorphic markers, *Geomorphology*, in press, doi: 10.1016/j.geomorph.2007.09.002
- Mancini, M., E. D'Anastasio, M. Barbieri, **P.M. De Martini** (2007): Invited reply to Comment on "Geomorphological, paleontological and $87\text{Sr}/86\text{Sr}$ isotope analyses of early Pleistocene paleoshorelines to define the uplift of Central Apennines (Italy)", *Quaternary Research*, in press
- Mancini, M., E. D'Anastasio, M. Barbieri, **P.M. De Martini** (2007): Geomorphological, paleontological and $87\text{Sr}/86\text{Sr}$ isotope analyses of early Pleistocene paleoshorelines to define the uplift of Central Apennines (Italy), *Quaternary Research*, 67, 487–501

Participation au congrès internationaux:

- September 2000* Convener of the session SSC-2 Large Earthquake and related Long Term Faulting Behaviour *XXVII General Assembly of the European Seismological Commission (ESC)*, Lisbon, 10-15 September 2000.
- September 2002* Convener of the session SCC-2 Earthquake Deformation and Surface Processes *XXVIII General Assembly of the European Seismological Commission (ESC)*, Genova, 1-6 September 2002.
- July 2007* Co-convener of the session JSS005 Non-instrumental seismometry - Global and regional parameters of paleoseismology; implications for fault scaling and future earthquake hazard *XXIV General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG)*, Perugia, 2-13 July 2007.

Et plus de 20 communications scientifiques aux réunions, séminaires et colloques.