
Mécanismes de plissement et disharmonie : l'exemple de l'Allochtonne ardennais

Frédéric LACQUEMENT (1)

Jean-Louis MANSY (2)

Mechanisms of folding and disharmony: the case of the Ardennes Allochton

Géologie de la France, n° 1-2, 2006, pp. 79-83, 5 fig.

Mots-clés : Plissement, Cisaillement, Orogenèse varisque, Décollement, Cinématique, Département du Nord, Département des Ardennes, Belgique

Key words: Folding, Shear, Variscan orogeny, Detachment, Kinematics, Northern France, Ardennes France, Belgium

Abstract

The stratigraphic succession is strongly heterogeneous and is characterized by thick incompetent layers that govern the fold wavelength and amplitudes. Based on a detailed structural study of folds, faults and other deformation markers the structural style and the kinematic evolution of the deformation have been characterized. Folds have been formed by rotation of the limbs around fixed hinges in the competent levels. The interstratified incompetent levels localize multiple detachments that generate relay anticlines. In the Ardennes, this model is observed from micro to macroscopic scales. The kinematics of the fold structures affecting the Palaeozoic series in Ardenne have been shown to be controlled by the rheological properties of the sedimentary sequence.

Résumé

Les études structurales antérieures réalisées dans l'Allochtonne ardennais (Meilliez, 1989 et Khatir, 1990) ont permis de mettre en évidence l'importance du contrôle lithologique lors de la déformation, ainsi que la difficulté à définir un style structural typique d'une série hétérogène dominée par des niveaux incompetents épais (Meilliez, 1988).

À partir d'une étude géométrique détaillée de structures plissées faillées et des marqueurs de la déformation, un style structural et une cinématique de la déformation de ce type de série peuvent être définis. Ce motif est applicable depuis l'échelle de la lame mince à celle du kilomètre.

Mécanismes de déformation : définitions et vocabulaire

Le vocabulaire employé pour décrire une structure plissée est basé sur la géométrie des couches. Un pli

comporte 2 flancs de longueur différente ou non, séparés par une zone de charnière anticlinale ou synclinale (Ramsay, 1967 et Rowland and Duebendorfer, 1994). La charnière correspond au lieu des points de courbures maximales de la surface de référence (le plan de stratification) et une zone de charnière correspond à la région où les plans de stratification sont courbes. La surface passant par toutes les charnières correspond à la surface axiale.

Pour passer de l'état plat subhorizontal à un état plissé, il y a eu déformation progressive de la roche. Plusieurs modèles de plissements coexistent. Ils se différencient par l'évolution cinématique des charnières et des flancs lors du plissement ainsi que par la rhéologie de la pile sédimentaire déformée. Définir un mécanisme de plissement revient à décrire le comportement des charnières et des flancs au cours de la déformation (De Sitter, 1956 ; Suppe, 1985 ; Suppe *et al.*, 1992 ; Homza et Wallace, 1995 ; Mercier, 1995 ; Poblet et Hardy, 1995 ; et Poblet et Mc Clay, 1996). On distinguera ainsi des charnières fixes ou mobiles et des flancs dont les angles sont soit fixés dès le départ soit acquis progressivement par rotation.

Lors du raccourcissement, une partie de la déformation est absorbée par les flancs (Suppe, 1985). Ces déformations peuvent être localisées aux inter-bancs et se traduisent alors par des glissements banc sur banc, ou bien être réparties dans la série sous forme de cisaillement généralisé. Dans le cas de plissements à charnières fixes, de nombreux auteurs ont démontré que la formation de couples anticlinaux/synclinaux ne pouvait s'opérer simplement sans poser de problèmes volumétriques ou de longueur de couche entre deux charnières (Laubscher, 1976 ; Ramsay, 1987 ; Price et Cosgrove, 1990 ; Mercier, 1995).

(1) BRGM, 3 avenue Claude Guillemin, BP 36009, 45060 Orléans Cedex 02, France, f.lacquement@brgm.fr

(2) USTL, bat. SN5, 59655 Villeneuve d'Ascq cedex, France, mansy@univ-lille1.fr

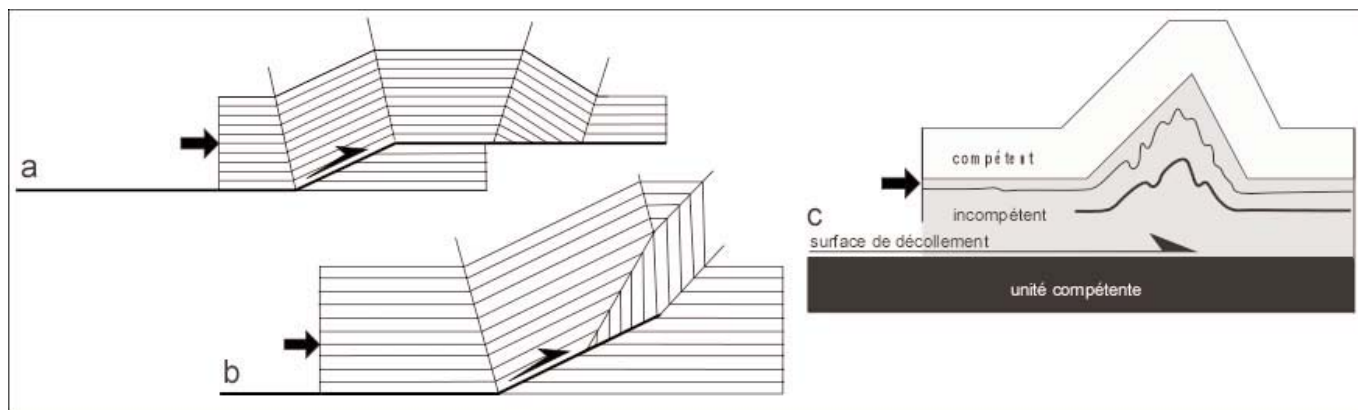


Fig. 1.- Pli de rampe (a) pli de propagation (b) et pli de décollement (c) (Mercier, 1995 et Homza et Wallace, 1997).

Fig. 1.- Fault-bend fold (a), fault-propagation (b) fold and detachment fold (c) (Mercier, 1995 and Homza and Wallace, 1997)

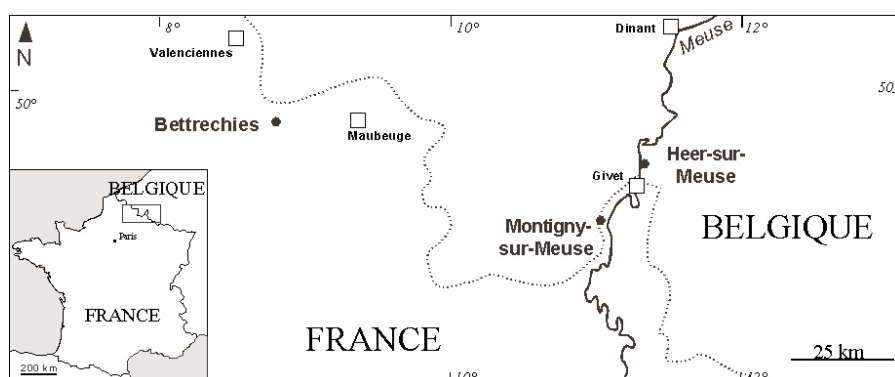


Fig. 2.- Localisation des affleurements.

Fig. 2.- Location of the study area.

Structures varisques en Ardenne

En Ardenne, les tentatives d'analyses géométriques de détail et la détermination de la cinématique de déformation des structures plissées et/ou faillées sont peu nombreuses (Khatir *et al.*, 1989 ; Khatir, 1990 ; Meilliez et Mansy, 1990 ; Khatir *et al.*, 1992 ; Mercier, 1995 et Mansy et Meilliez, 1993). Elles s'attachent à démontrer l'aspect complexe (Kaisin, 1936 et Meilliez et Mansy, 1990) et

souvent disharmonique des structures (Meilliez, 1988 et Khatir *et al.*, 1989 et Mansy *et al.*, 1995) sans toutefois définir un modèle de plissement. Les hétérogénéités lithologiques présentes au sein de la pile sédimentaire impliquent des comportements différents face à la déformation. Ainsi, les niveaux de lithologies incompetentes localisent les décollements et sont à l'origine de la disharmonie. Les niveaux compétents proportionnellement moins nombreux et moins épais forment des marqueurs au sein des structures.

Il existe actuellement trois principaux types de modèles géométriques de plis (Jamison, 1987 et Dahlstrom, 1990). Ceux-ci sont définis par les mécanismes de déformation qui leur sont associés et ils correspondent au :

- pli de flexion sur rampe (*fault-bend fold*) ;
- pli de propagation (*fault-propagation fold*) ;
- pli de décollement ou de détachement (*detachment fold* ou *décollement fold*).

Les plis de décollement (Dahlstrom, 1969 et 1970) correspondent à des plis disharmoniques. Ils affectent généralement les séries litées à fort contraste lithologique et à niveaux incompetents épais (Boyer et Elliott, 1982 et Jamison, 1987). Les niveaux de faible compétence correspondent aux intervalles de décollement au toit desquels se déforment les niveaux compétents (Dahlstrom, 1990 ; Epard et Groshong, 1993 ; Homza et Wallace, 1995 ; Epard et Groshong, 1995 ; Poblet et Mc Clay, 1996 et Mercier, 1995). La longueur d'onde et l'amplitude des plis sont fonction du contraste de compétence et de l'épaisseur des bancs (Ramsay et Huber, 1987).

Comportement d'une barre compétente

La barre carbonatée du Givétien constitue l'un des niveaux compétents (400 m d'épaisseur) de cette série. À Bettrechies (fig. 2), la barre carbonatée est constituée par des bancs de calcaire argileux d'épaisseur métrique à intercalations marneuses centimétriques. La carrière est ouverte dans une structure anticlinale/synclinale de dimension kilométrique. L'analyse structurale de cet objet permet de démontrer que le plissement résulte de la rotation des flancs autour de zones de charnières fixes (fig. 3). Le plissement s'accompagne par un cisaillement simple des flancs, divergeant à partir de la zone de charnière synclinale (Khatir, 1990). L'intensité du cisaillement dans chaque flanc est directement liée à l'angle de redressement du flanc par rapport à l'horizontale (Suppe, 1985).

Rôle des niveaux incompetent

Dans la carrière de Montigny-sur-Meuse, les grès et schistes de la Formation de Vireux (Dévonien moyen) sont affectés par des plis déversés vers le nord-ouest. La série est caractérisée par des unités compétentes, dominées par des niveaux gréseux épais intercalés de minces lits argilo-silteux et d'unités incompetentes formées de petits bancs silteux, schisteux et gréseux (Cibaj, 1992). Les marqueurs de la déformation enregistrés au sein des unités compétentes permettent de mettre en évidence un plissement s'effectuant à charnières fixes (au moins pour les anticlinaux). La présence de bourrages de charnières pour les interlits silto-argileux peu épais indique une migration du matériel fin, majoritairement depuis le flanc long, vers la zone de charnière. Au sein des unités incompetentes, on note que la surface axiale anticlinale n'est pas unique sur toute la hauteur de la structure affleurante. En effet, au niveau du banc le plus incompetent et le plus épais, il existe un décollement au passage entre la plateur et la zone de charnière. Ce décollement est à l'origine de la formation d'un nouvel anticlinal s'emplantant sur l'anticlinal sous-jacent. À Heer-sur-Meuse (fig. 4), la Formation d'Esneux (Famennien), caractérisée par une série de petits bancs de grès et de siltites argileuses, présente des structures plissées disharmoniques très nombreuses et complexes. L'étude d'un couple anticlinal/synclinal « simple » permet de mettre en évidence les mêmes relations géométriques que celles observées dans la carrière de Montigny-sur-Meuse, à savoir : 1 - une succession d'anticlinaux en relais prenant naissance au passage entre le flanc long et la zone de charnière du pli sous-jacent ; 2 - l'unicité de la surface axiale synclinale ; 3 - la forme courbe des surfaces axiales traduisant l'enroulement tardif des structures.

Conclusions

Les observations détaillées des structures plissées/faillées au sein d'une série complexe de lits compétents et incompetentes d'épaisseur très variable montrent que le mode de plissement ne s'effectue pas de manière aléatoire. Les ensembles compétents présentent un plissement à charnières fixes. Les cisaillements qui s'enregistrent dans les flancs des structures résultent essentiellement du redressement des couches depuis une origine sub-horizontale. Les niveaux incompetentes localisent les décollements et sont à l'origine de la formation d'anticlinaux empilés qui apparaissent au passage du flanc long à la zone de charnière du pli sous-jacent.

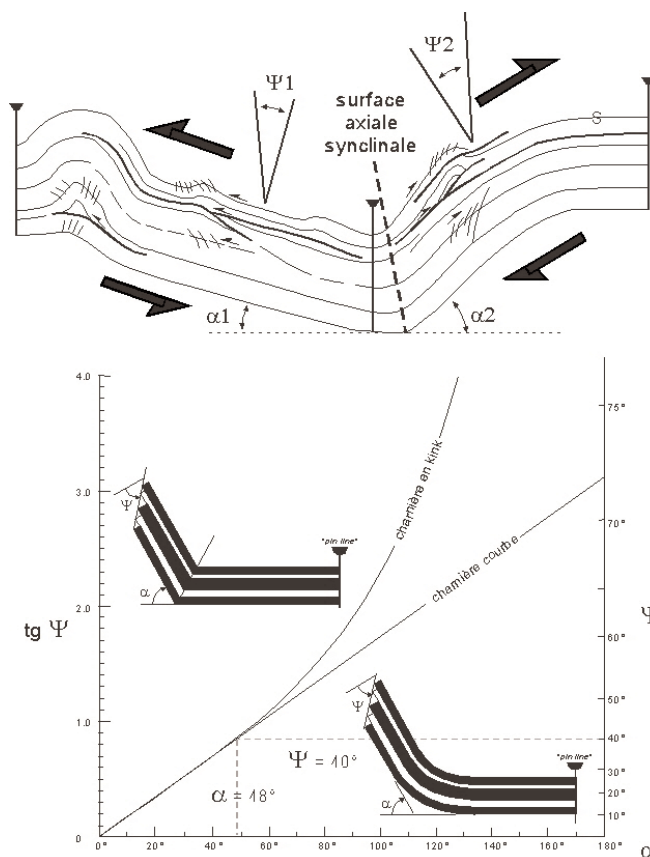


Fig. 3.- Formation d'une structure plissée par rotation des flancs autour de charnières fixes et abaque reliant l'intensité du cisaillement en fonction du redressement d'une couche (Suppe, 1985), carrière de Bettrechies.

Fig. 3.- Folding by rotation of limbs around fixed hinges and plot of curves for intensity of shearing vs the layer dip (Suppe, 1985), Bettrechies Quarry.

Ainsi, les structures plissées/faillées se forment par l'activation de décollements multiples épais induisant la genèse d'anticlinaux en relais. Chaque niveau de décollement permet à la structure de se développer vers le haut et aussi de transférer les déformations vers l'avant. Ces conclusions sont à l'origine d'un modèle cinématique de déformation valable pour les séries dominées par les niveaux incompetentes (fig. 5).

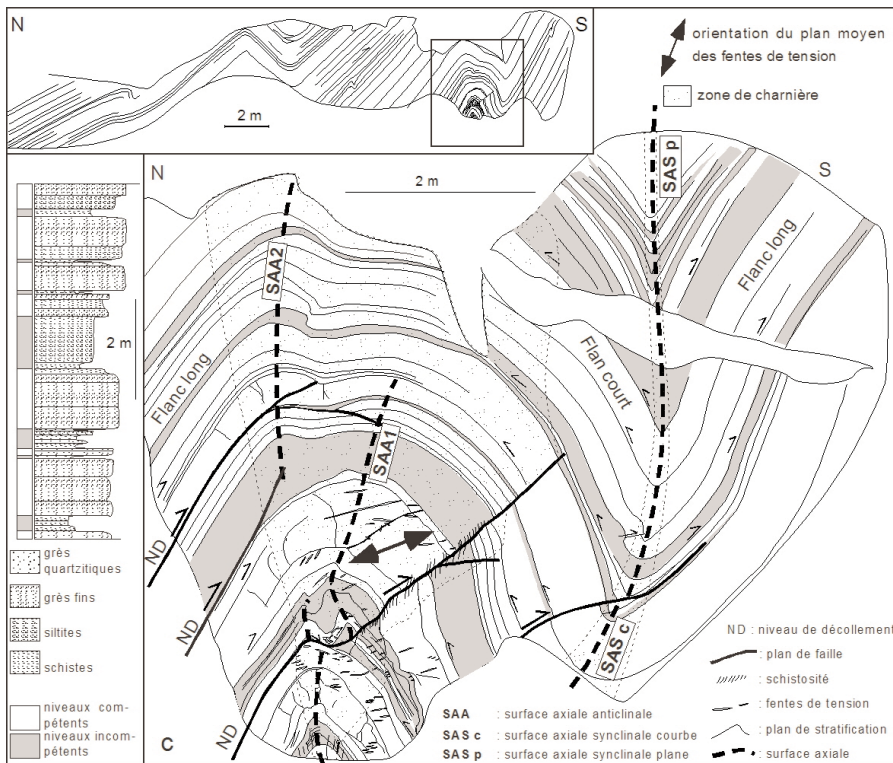


Fig. 4.- Structure plissée de Heer-sur-Meuse montrant l'empilement d'anticlinaux liés à la présence de niveaux de décollements interstratifiés.

Fig. 4.- Heer-sur-Meuse folded structure showing the stacking of anticlines related to décollement zone.

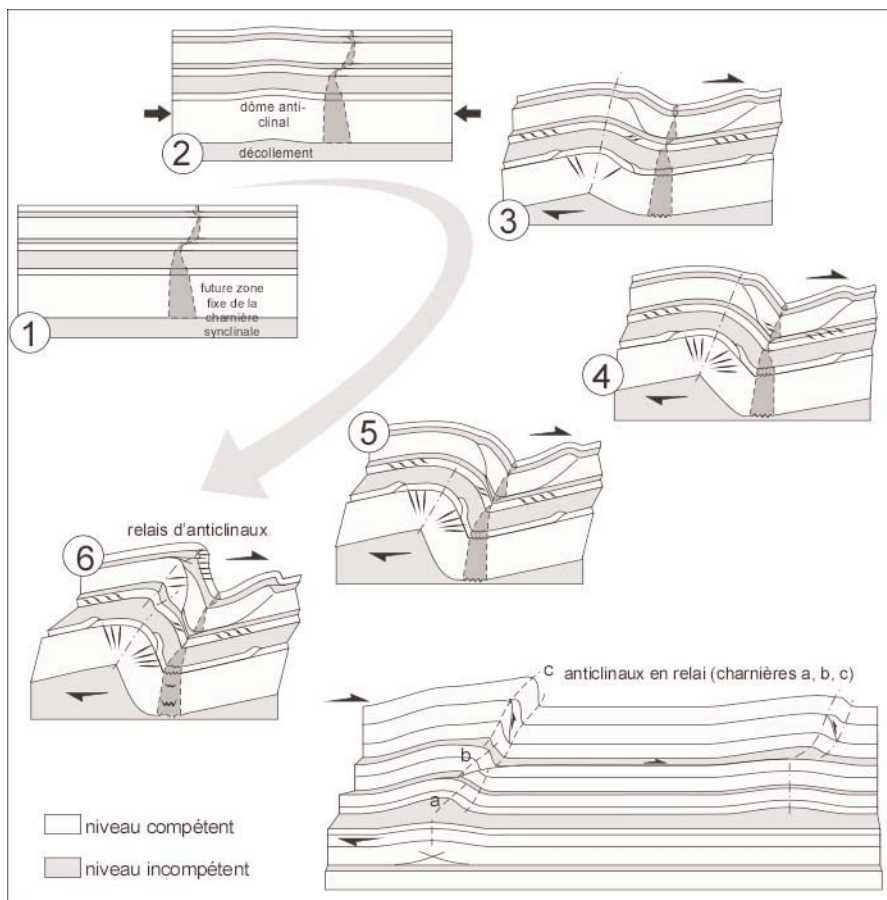


Fig. 5.- Modèle cinématique de déformation pour une série hétérogène.

Fig. 5.- Kinematic model of folding for heterogeneous series.

Bibliographie

- Boyer S.E., Elliott D. (1982) - Thrust systems. *AAPG Bulletin*, **66**, 9, 1196-1230.
- Cibaj I. (1992) - Structures sédimentaires dans les grès de Vireux (Dévonien inférieur). La coupe du Mont de Vireux, Ardenne méridionale. *Ann. Soc. géol. Nord*, 1, 2^e série, **4**, 195-203.
- Dargomyjski C.D.A. (1969) - Balanced cross-sections. *Canad. J. Earth Sci.*, **6**, 743-757.
- Dahlstrom C.D.A. (1970) - Structural Geology in the eastern margin of the Canadian Rocky Mountains. *Bull. Canad. Petroleum. Geol.*, **18**, 332-406.
- Dahlstrom C.D.A. (1990) - Geometric constraints derived from the law of conservation of volume and applied to evolutionary models for detachment folding. *AAPG Bulletin*, **74**, 3, 336-344.
- De Sitter L.U. (1956) - Structural Geology. Mc Graw Hill, New York.
- Epard J.L., Groshong R.H.J. (1993) - Excess Area and Depth to Detachment. *AAPG*, **77**, 8, 1291-1302.
- Epard J.L., Groshong R.H.J. (1995) - Kinematic model of detachment folding including limb rotation, fixed hinges and layered-parallel strain. *Tectonophysics*, **247**, 85-103.
- Homza T.X., Wallace W.K. (1995) - Geometric and cinematic models for detachment folds with fixed and variable detachment depths. *J. Structur. Geol.*, **17**, 4, 575-588.
- Jamison J.R. (1987) - Geometric analysis of fold development in overturned terranes. *J. Structur. Geol.*, **9**, 2, 207-219.
- Kaisin F. (1936) - Le problème tectonique de l'Ardenne. Mém. Inst. Univ. Louvain, **XI**, 1, 366 p.
- Khatir A. (1990) - Structuration et déformation progressive au front de l'Allochtone ardennais (Nord de la France). Publication n°18, Soc. géol. du Nord, 239 p.
- Khatir A., Mansy J.L., Meilliez F. (1992) - Structuration varisque en Ardenne occidentale : une hiérarchie des niveaux de décollements. *C.R. Acad. Sci. Paris*, **314**, II, 365-371
- Khatir A., Mansy J.L., Meilliez F. (1989) - Structures et déformations dans l'Allochtone ardennais dans l'Avesnois (Nord). *Ann. Soc. géol. Nord*, **CVIII**, 73-83.
- Laubscher H.P. (1976) - Geometrical adjustment during rotation of a Jura fold limb. *Tectonophysics*, **36**, 347-365.
- Mansy J.L., Meilliez F. (1993) - Eléments d'analyse structurale à partir d'exemples pris en Ardenne - Avesnois. *Ann. Soc. géol. Nord*, **CVIII**, 125-142.
- Mansy J.L., Meilliez F., Mercier E., Khatir A., Boulvain F. (1951) - Le rôle du plissement disharmonique dans la tectogénèse de l'Allochtone ardennais. *Bull. Soc. géol. Fr.*, **166**, 3, 295-302.
- Meilliez F. (1988) - La tectonique pelliculaire et ses limites en pratique : exemple des rocheuses canadiennes et de l'Ardenne. Mémoires et documents du CAESS, **20**, 93-106.
- Meilliez F. (1989) - Importance de l'évènement calédonien dans l'Allochtone ardennais ; essai sur une cinématique paléozoïque de l'Ardenne dans la chaîne varisque. Thèse de l'Université du Maine, 518 p.
- Meilliez F., Mansy J.L. (1990) - Déformation pelliculaire différenciée dans une série lithologique hétérogène : le Dévono-Carbonifère de l'Ardenne. *Bull. Soc. géol. Fr.*, **8**, VI, 177-188.
- Mercier E. (1995) - Les plis de propagation de rampe : cinématique, modélisation et importance dans la tectogénèse. Habilitation à diriger des recherches, Université de Cergy Pontoise.
- Poblet J., Hardy S. (1995) - Reverse modelling of detachment folds; application to the Pico del Aguila anticline in the South Central Pyrenees (Spain). *J. Structur. Geol.*, **17**, 12, 1707-1724.
- Poblet J., Mc Clay K. (1996) - Geometry and kinematics of singles detachment Folds. *AAPG Bulletin*, **80**, 7, 1085-1109.
- Price N.J., Cosgrove J.W. (1990) - Analysis of geometrical structures. Cambridge University Press, 502 p.
- Ramsay J.G. (1967) - Folding and fracturing of rocks. New York, Mc Graw-Hill, A Standard reference on the geometry and mechanism of folding, 568 p.
- Ramsay J.G., Huber M.I. (1987) - The techniques of modern structural geology. Vol. 2, Folds and Fractures. London, Academic Press, **2**, 700 p.
- Rowland S.M., Duebendorfer E.M. (1994) - Structural analysis and synthesis, 2nd edition - A laboratory Course in Structural Geology. Boston, Blackwell scientific publications, 279 p.
- Suppe J. (1985) - Principles of structural Geology. New Jersey, Englewood Cliffs, 357 p.
- Suppe J., Chou G.T., Hook S.C. (1992) - Rates of folding and faulting determined from growth strata. *In: Thrust tectonics*. K.R. Mc Clay Ed. 105-106. London, Chapman and Hall.