

Déformations au front septentrional de la chaîne varisque : l'exemple des Ardennes franco-belges dans la région de Givet

Olivier AVERBUCH (1)
Frédéric LACQUEMENT (2)
Jean-Louis MANSY (1)
Rafal SZANIAWSKI (1,3)
Marek LEWANDOWSKI (3)

Deformation along the northern front of the variscan belt: example of the French-Belgium Ardennes in the Givet area

Géologie de la France, n° 1-2, 2006, pp. 85-90, 4 fig.

Mots-clés : Orogenèse varisque, Faille chevauchante, Transpression, Belgique, Département des Ardennes, Massif Ardennais

Key words: Variscan Orogeny, Thrust faults, Transpression, Belgium, Ardennes France, Ardennes

Abstract

The Ardennes fold-and-thrust belt (N France-S Belgium) is part of the western European Variscan belt. It represents the eastern tip of the Northern France Variscan arcuate thrust front and consists of fold-thrust structures showing a general ENE-WSW trend (about N060E) developed in a sequence of top- to the NNW thrusting. Along localized corridors, the general orientation deviates towards a NW-SE attitude defining major strike-deviated zones in the belt.

The Meuse Valley-Dinant recess (MVR) forms the most significant one along the Ardennes segment. Within that zone, the 3D geometry of fold-thrust structures have been investigated in maps and cross-sections and coupled with an analysis of the strain distribution using mesoscopic structural markers and magnetic fabrics (35 sites distributed along the zone within different lithological units). At a more regional scale, a comparative paleomagnetic study has been carried out within strike-deviated zones (12 sites) and zones showing the general ENE-WSW structural trend (5 sites).

These data show that the MVR resulted from the distributed dextral transpressional deformation of the Ardennes Basal thrust hangingwall above a buried lateral ramp inherited from the Lower Devonian extensional tectonics of the sedimentary wedge. This deep lateral discontinuity controls the thickness and basal friction of the Ardennes thrust wedge, thus resulting in contrasting thrust propagation west and east of the Meuse Valley Recess. Deformation within the transfer zone is accommodated by a complex combination of thrust-sheet

rotation and lateral shortening due to buttressing effects against the buried discontinuity.

Introduction et contexte géologique

Le front septentrional de la chaîne varisque d'Europe occidentale correspond à un ensemble plissé-faillé de forme arquée dont le trait majeur est une zone chevauchante d'échelle crustale à vergence NNW (le chevauchement basal ardennais) dont l'émergence principale correspond à la zone de chevauchement du Midi (fig. 1). Elle met en place l'Allochtone ardennais, ensemble dévono-carbonifère épais de plusieurs kilomètres, sur le bassin d'avant-chaîne à remplissage houiller d'âge namuro-westphalien plissé et fortement écaillé sur sa bordure méridionale. Ce dernier repose sur une série d'âge paléozoïque supérieur, faiblement déformée, d'épaisseur plus réduite et exempte de Dévonien inférieur, formant la couverture du massif calédonien du Brabant.

La géométrie de ces différentes unités ainsi que les schémas de branchement ou recoupement des différents chevauchements ont été précisés à partir de l'interprétation d'un profil sismique pétrolier d'orientation N-S, le profil M146 situé en bordure ouest des Ardennes (Lacquement *et al.*, 1999, 2005). Ce dernier a permis de montrer que le déplacement minimal sur le chevauchement basal ardennais, avoisinait 70 km et qu'une partie importante de ce déplacement intervenait tardivement (après le dépôt de la molasse namuro-westphalienne), lors d'une réactivation « hors-séquence » de ce chevauchement majeur. L'accumulation d'écaillés au front du système chevauchant

(1) USTL, bât. SN5, 59655 Villeneuve d'Ascq cedex, France, olivier.averbuch@univ-lille1.fr

(2) BRGM, 3 avenue Claude Guillemin, BP 36009, 45060 Orléans cedex 2, France

(3) Institut de Géophysique, Académie des Sciences de Pologne, Ks. Janusza 64, 01-452 Varsovie, Pologne

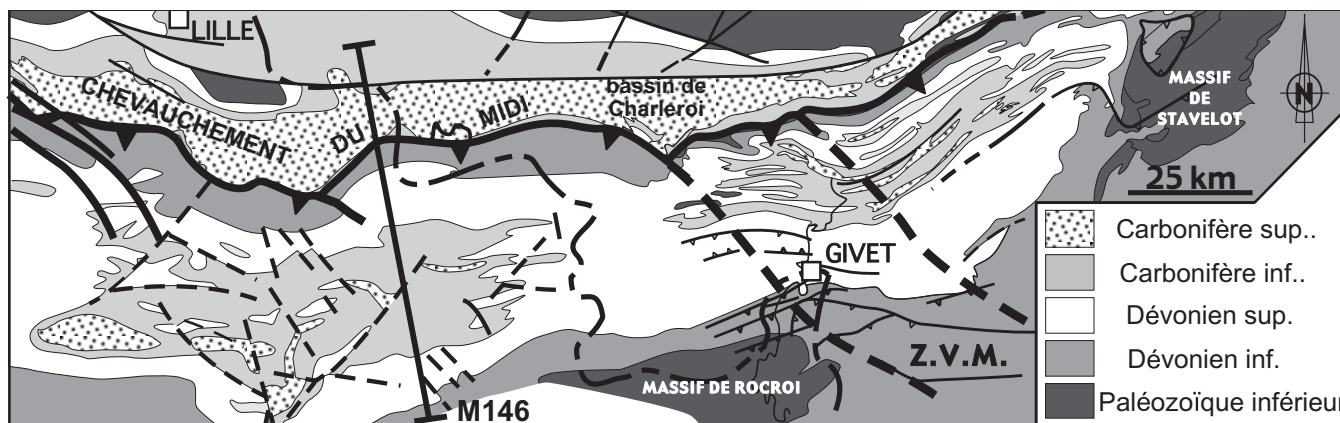


Fig. 1.- Schéma structural infra-mésozoïque du front de chaîne varisque du Nord de la France et du Sud de la Belgique. ZVM : Zone de virgation des structures de la vallée de la Meuse.

Fig. 1.- Subcrop structural map of the Variscan thrust front in northern France and southern Belgium. ZVM: Meuse Valley recess.

pourrait avoir exercé une surcharge importante sur la croûte du Brabant sous-charriée, expliquant ainsi sa flexuration importante à l'aplomb du bassin molassique houiller d'avant-chaîne (Averbuch *et al.*, 2004).

Les données sismiques permettent par ailleurs de mettre en évidence une pré-structuration en extension du substratum brabançon. Au niveau de l'Allochtonne ardennaise, cette pré-structuration a été également mise en évidence à l'échelle de l'affleurement à partir de l'analyse des déformations syn-sédimentaires des niveaux d'âge dévonien inférieur (e.g., Meilliez *et al.*, 1991 ; Lacquement, 2001). Cette structuration précoce, induite lors de la phase de rifting du bassin rhéno-hercynien au cours du Dévonien inférieur, contrôle la répartition des faciès et des épaisseurs des séries dévoniennes. Ainsi que l'ont proposé Oncken *et al.* (2000) pour la partie la plus orientale des Ardennes, l'existence d'écaillés de socle paléozoïque inférieur, en position renversée à la semelle du chevauchement du Midi, résulterait du recoupement en « short-cut » et du transport sur le palier supérieur des épaules du rift, formant initialement la limite d'extension vers le nord des dépôts d'âge dévonien inférieur. Ces structures illustrent la forte segmentation initiale du bassin rhéno-hercynien, segmentation qui a été contrôlée par la suite la profondeur et l'extension géographique des niveaux de décollement potentiels au sein de l'allochtonne ardennaise, localisant ainsi les rampes frontales et latérales des structures chevauchantes.

La zone de virgation structurale de la vallée de la Meuse (ZVM) : géométrie et modèle structural 3D

Au sein d'un couloir d'orientation NW-SE d'une quarantaine de kilomètres, centré sur la vallée de la Meuse, les axes des structures de chevauchement-plissement présentent un changement d'orientation important passant de la direction ardennaise classique (WSW-ESE, autour de N060) à une direction E-W voire localement NW-SE (fig. 1).

Cette virgation affecte l'ensemble de l'allochtonne ardennaise jusqu'au chevauchement du Midi et est particulièrement bien visible dans la région de Givet, au niveau de la retombée avant de la culmination de socle du massif de Rocroi (fig. 2).

Cette dernière peut être interprétée comme une accumulation d'écaillés de substratum cambro-ordovicien, développée à l'aplomb d'une rampe majeure du chevauchement basal ardennais (CBA). À l'avant du massif de Rocroi, le déplacement le long du CBA est transféré vers l'avant-pays à la base des niveaux de couverture dévonocarbonifères, dans le niveau de décollement localisé dans les formations schisteuses du Lochkovien (fig. 3). La retombée nord de la culmination implique une série dévonienne épaisse, de pendage assez fort vers le nord et affectée par de nombreux replis fortement déversés et chevauchements secondaires à vergence nord (e.g. carrières d'Aubrives, Lacquement, 2001). Dans la région de Givet, ce dispositif général vient buter sur une zone de rétro-chevauchement complexe (le rétro-chevauchement de Givet, RCG en figures 2 et 3). Le RCG s'enracine sur le chevauchement de base ardennais et émerge au sein des unités schisteuses du Frasnien-Famennien, agissant comme niveau de décollement de toit de la structure. Dans ces séries, le déplacement sur le RCG est transféré sur différents accidents secondaires et est absorbé par une intense déformation interne des roches. Au toit du RCG, le style structural change drastiquement, la déformation s'exprimant par des plissements polyharmoniques à plan axial sub-vertical caractéristiques d'un raccourcissement parallèle aux couches.

Au sein de la virgation, la retombée nord du massif de Rocroi subit une importante déflexion particulièrement bien marquée au niveau de la barre carbonatée givétienne, qui s'étend avec une orientation générale WNW-ESE, oblique à la chaîne, sur plus de quarante kilomètres (fig. 2). Cette large terminaison oblique du massif est affectée de replis d'échelle kilométrique présentant une augmentation graduelle du plongement axial vers l'est (de 5° à Givet, à

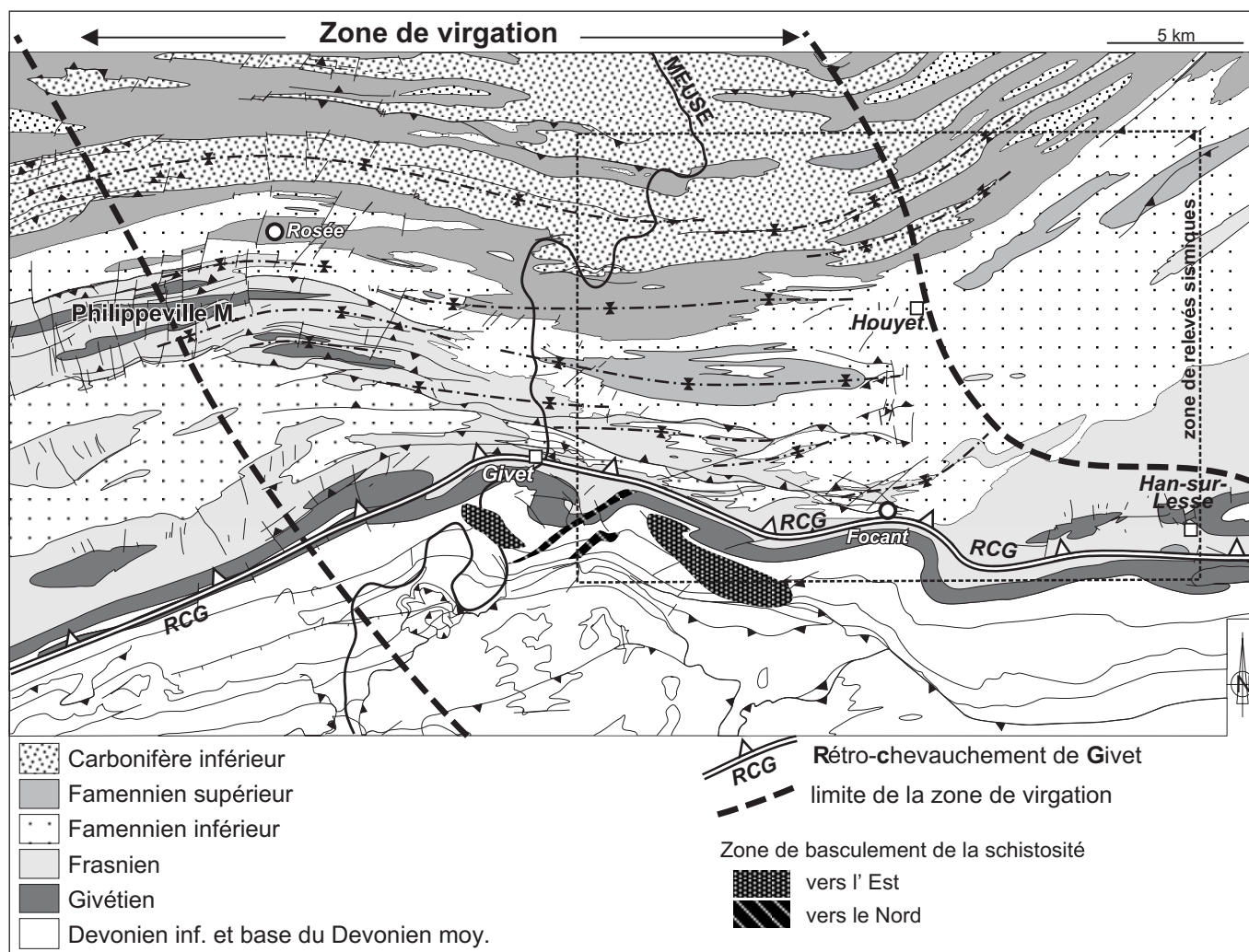


Fig. 2.- Carte géologique de la retombée septentrionale de la culmination anticlinale de Rocroi le long de la vallée de la Meuse.

Fig. 2.- Geological map of the northern forelimb of the Rocroi culmination along the Meuse valley.

50° au sud du sondage de Focant) (fig. 3). Cette augmentation du plongement axial des plis s'accompagne d'une déviation progressive de leur direction (jusqu'à 70° de déviation par rapport à l'orientation ardennaise classique) et localement d'un basculement de la schistosité vers le nord ou vers l'est (fig. 2).

En profondeur, les données du forage de Focant (Boulvain et Coen-Aubert, 1997; Han *et al.*, 2003) et les profils de sismique réflexion (e.g. Raoult, 1986; Goudalier, 1998) montrent que l'amplitude du raccourcissement le long du RCG augmente vers l'est de la zone de virgation (fig. 3). Par ailleurs, ainsi que l'a montré Raoult (1986) à partir de l'interprétation des lignes sismiques de la Famenne, la profondeur du chevauchement basal ardennais subit des variations latérales majeures à l'aplomb de la zone de virgation. En tenant compte des lois de vitesse classiques pour l'allochtone ardennais (Lacquement, 2001), le CBA se situe à environ 7 km de profondeur à l'ouest de la virgation et remonte aux alentours de 5 km de profondeur à l'est de la virgation ainsi

qu'il a été montré au niveau du forage profond d'Havelange (e.g. Raoult, 1986) (fig. 3). La virgation de la vallée de la Meuse est donc localisée à l'aplomb d'une rampe latérale majeure du chevauchement basal ardennais. Cette variation de profondeur du niveau de décollement basal du système chevauchant implique une variation dans la propagation des chevauchements de part et d'autre de la discontinuité profonde (e.g. Marshak *et al.*, 1992), la zone de virgation formant une zone distribuée de transfert entre les domaines ouest et est du système chevauchant ardennais. L'analyse de la géométrie des réflecteurs au mur du CBA (le réflecteur Y de Raoult, 1986) montre que le substratum est affecté également par une variation significative dans la profondeur des horizons de part et d'autre de la zone de virgation. Cette disposition suggère l'existence en profondeur d'une faille normale contrôlant la géométrie et l'épaisseur des dépôts dévono-carbonifères (fig. 3d). Cette faille issue de la structuration initiale du bassin rhéno-hercynien a vraisemblablement localisé la rampe latérale mise en évidence dans le système de chevauchement ardennais.

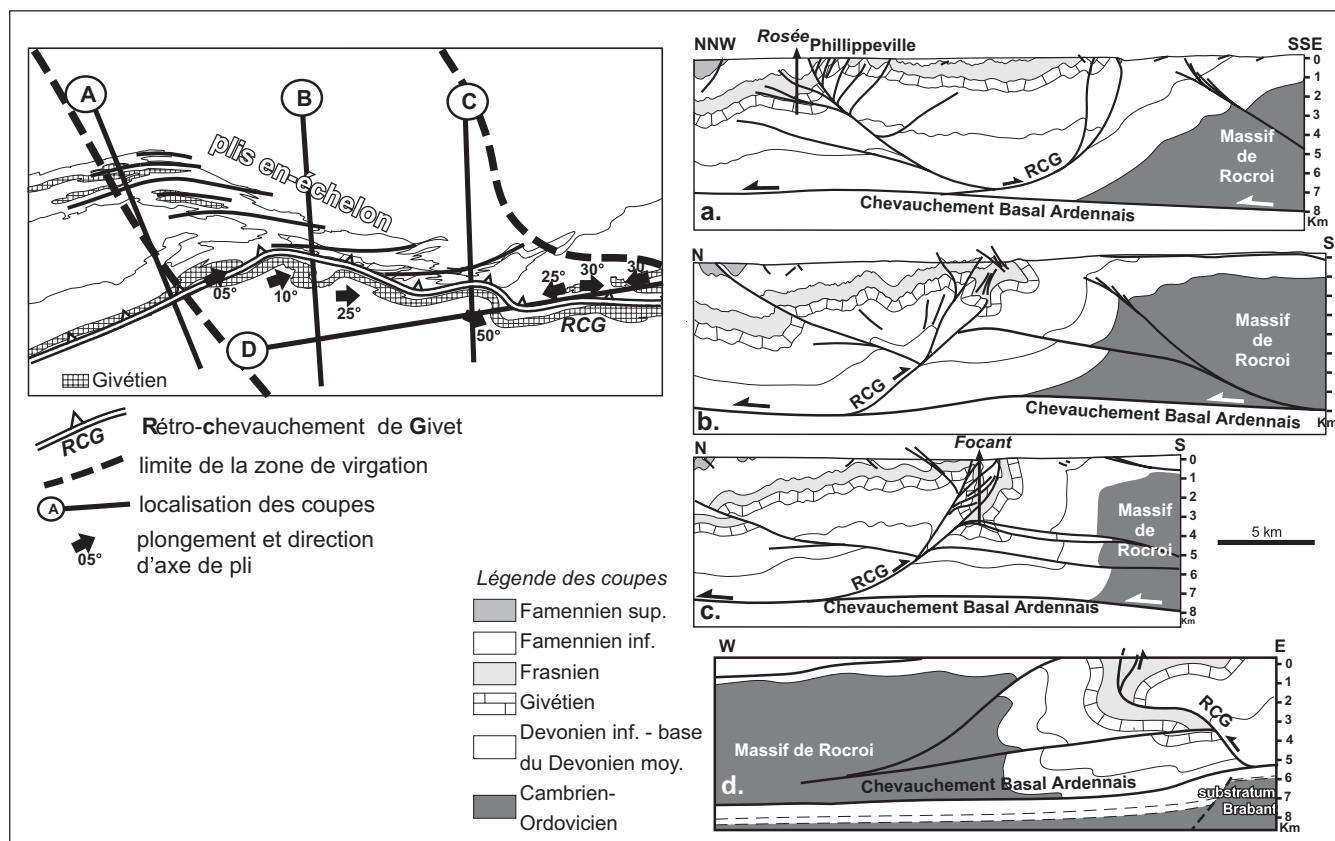


Fig. 3.- Schéma structural de la retombée septentrionale de la culmination anticlinale de Rocroi le long de la vallée de la Meuse et coupes géologiques selon les transects A, B, C et D.

Fig. 3.- Structural map of the northern forelimb of the Rocroi culmination along the Meuse valley and geological cross-sections along transects A, B, C and D.

Distribution de la déformation et analyse de la rotation des écailles chevauchantes

Afin de contraindre la distribution de la déformation au sein de la zone de virgation, l'étude de la fabrique magnétique a été entreprise au niveau de 35 sites répartis sur l'ensemble de la structure, et échantillonnés dans différentes formations dévoniennes (Lacquement *et al.*, 2005). Cette analyse montre une évolution significative des fabriques magnétiques en fonction de leur localisation. Les zones les plus occidentales au sein de la virgation, caractérisées par des plongements axiaux relativement faibles, ne montrent pas de variation majeure par rapport aux zones d'orientation ardennaise classique, si ce n'est un basculement globalement vers l'Est et une déviation en sens horaire de la fabrique syn-pli. Par contre, dans les secteurs orientaux (région de Focant), où les plongements axiaux des plis augmentent jusqu'à plus de 50°, on observe une réorganisation notable de la fabrique magnétique avec la surimposition d'une foliation subverticale d'orientation NNW-SSE sur la fabrique initiale syn-pli. Cette seconde foliation implique l'existence d'un raccourcissement ENE-WSW au niveau de l'extrémité orientale de la virgation. Ce gradient de raccourcissement latéral vers l'est, argumenté par l'analyse de la fabrique magnétique, est en complet accord avec l'augmentation

du raccourcissement sur le rétrochevauchement de Givet (fig. 3). L'ensemble de ces données montre que la rampe latérale, localisée sous la partie orientale de la virgation, agit comme une zone de butoir, impliquant un raccourcissement perpendiculaire à la direction du transport général, vers le NNW (fig. 4).

L'analyse paléomagnétique menée à plus grande échelle au sein de la virgation (12 sites) et dans les zones montrant l'orientation ardennaise classique (5 sites) montre une déviation systématique en sens horaire des déclinaisons au sein de la ZVM (Szaniawski *et al.*, 2003 ; Lacquement *et al.*, 2005). L'amplitude de la rotation ne se corrèle cependant pas de façon directe avec l'amplitude de déviation des structures plissées. En particulier, les sites montrant une déviation d'axe de plus de 30° ne présentent pas de rotation supérieure à 30°. Ces données suggèrent que, dans ces zones, les plis se soient développés obliquement par rapport aux structures ardennaises classiques puis aient été tournés en sens horaire à mesure que se propageaient les chevauchements plus frontaux (fig. 4). Les zones plus externes (occidentales) de la virgation ont subi une rotation en rapport avec la déviation des axes de pli. Ceci montre que la zone de virgation s'est élargie en direction de l'ouest au cours du temps, lors de la propagation des chevauchements vers l'avant-pays.

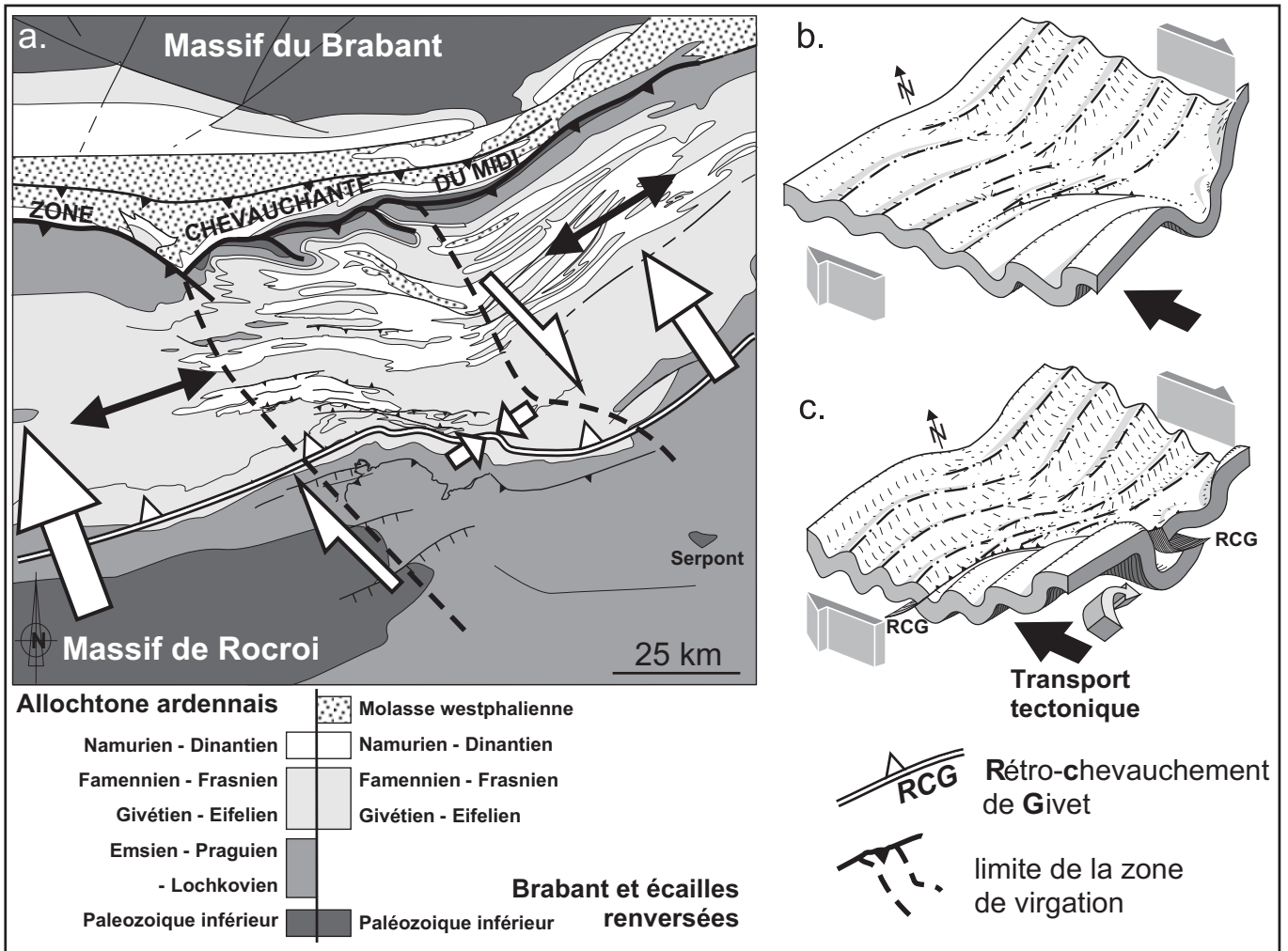


Fig. 4.- Schéma structural et blocs diagrammes illustrant le développement de la zone de virgation structurale de la Vallée de la Meuse en tant que zone de transfert entre domaines ouest- et est-ardennais.

Fig. 4.- Structural map and 3D diagrams illustrating the development of the Meuse valley recess as a transfer zone between the western and eastern parts of the Ardennes belt.

Conclusions

Les données présentées dans ce court article illustrent la complexité du dispositif structural 3D au front nord de la chaîne varisque. En particulier, elles soulignent l'importance de la structuration initiale du bassin sur l'efficacité et l'extension des niveaux de décollement au sein de l'allochtone ardennais. À cet égard, il est montré que la déviation des structures de chevauchement-plissement au sein de la virgation de la vallée de la Meuse résulte d'une déformation transpressive dextre localisée à l'aplomb d'une rampe latérale majeure du système chevauchant. Cette rampe est probablement contrôlée par une faille normale syn-sédimentaire héritée de la configuration initiale du bassin dévonien. Cette déformation transpressive se caractérise (1) par la formation de structures obliques à l'orientation générale de

la chaîne (2) par l'exagération de ces structures et l'élargissement de la zone transpressive par rotation horaire et basculement des plis lors de la propagation des chevauchements vers l'avant-pays brabançon. Dans la région de Givet, le raccourcissement oblique est principalement absorbé par une grande zone rétrochevauchante enracinée sur le chevauchement basal ardennais et émergeant au sein d'une zone de décollement de toit localisée dans les formations schisteuses du Frasnien-Famennien. À l'échelle du massif ardennais, la zone de virgation de La Meuse représente ainsi une zone de transfert distribuée entre les domaines ouest-ardennais et est-ardennais. Chacun de ces deux domaines est caractérisé par des propagations de chevauchements vers le NNW, différentes du fait des variations d'épaisseur du prisme chevauchant et de la friction à la base des unités allochtones.

Références bibliographiques

- Averbuch O., Mansy J.L., Lamarche J., Lacquement F., Hanot F. (2004) - Geometry and kinematics of the Boulonnais fold-and-thrust belt (N France): implications for the dynamics of the Northern Variscan thrust front. *Geodinamica Acta* **17**, 163-178.
- Boulvain F., Coen-Aubert M. (1997) - Le sondage de Focant : lithostratigraphie et implications structurales. *Memoirs of the geological survey of Belgium* **43**, 74 p.
- Goudalier M. (1998) - Dolomitisation de calcaires du Frasnien moyen de la Belgique : contrôle sédimentaire, diagénétique et tectonique. Thèse de doctorat, Université de Lille 1, France.
- Han G., Yans J., Goudalier M., Lacquement F., Corfield R.M., Mansy J.L., Boulvain F., Prétat A. (2003) - Recognition and implication of tectonic loading-induced reheating in the northern Variscan front (Belgium and northern France), based on an illite Kübler index and oxygen isotope study. *Internation. J. Earth Sci.*, **92**, 348-363.
- Lacquement F. (2001) - L'Ardenne varisque. Déformation progressive d'un prisme sédimentaire pré-structuré, de l'affleurement au modèle de chaîne. Publication de la Société géologique du Nord, **29**, 285 p.
- Lacquement F., Mansy J.L., Hanot F., Meilliez F. (1999) - Retraitement et interprétation d'un profil sismique pétrolier méridien au travers du massif paléozoïque ardennais (Nord de la France). *C.R. Geosciences, Paris* **329**, 471-477.
- Lacquement F., Averbuch O., Mansy J.L., Szaniawski R., Lewandowski M. (2005) - Transpressional deformations at lateral boundaries of propagating thrust-sheets : the example of the Meuse Valley Recess within the Ardennes variscan fold-and-thrust belt (N France-S Belgium). *J. Structur. Geol.*, **27**, 1788-1802.
- Marshak S., Wilkerson M.S., Hsui A.T. (1992) - Generation of curved fold-thrust belts: insight from simple physical and analytical models. *In: Mc Clay, K.R. (Ed.), Thrust Tectonics*, Chapman and Hall, 83-92.
- Meilliez F., André L., Blicq A., Fielitz W., Goffette O., Hance L., Khatir A., Mansy J.L., Overlau P., Verniers J. (1991) - Ardenne-Brabant. *Sci. géol. Bull.*, **44**, 3-29.
- Oncken O., Plesch A., Weber J., Ricken W., Schrader S. (2000) - Passive margin detachment during arc-continent collision (Central European Variscides). *In: Franke W., Haak V., Oncken O. and Tanner D. (Ed.), Orogenic processes: quantification and modeling in the Variscan Belt*, *Geol. Soc. London Spec. Pub.* **179**, 199-216.
- Raoult J.F. (1986) - Le front varisque du Nord de la France d'après les profils sismiques, la géologie de surface et les sondages. *Rev. géol. dynam. géogr. phys.*, **27**, 247-288.
- Szaniawski R., Lewandowski M., Mansy J.L., Averbuch O., Lacquement F. (2003) - Syn-folding remagnetization events in the French-Belgium Variscan thrust front as markers of the fold-and-thrust belt kinematics. *Bull. Soc. géol. Fr.*, **174**, 511-523.