DIACLASES À RIDES CONCHOÏDALES DANS L'ORDOVICIEN SUPÉRIEUR DU VERYAC'H, PRESQU'ÎLE DE CROZON, MASSIF ARMORICAIN

Jean-René DARBOUX[1], Yves PLUSQUELLEC[2] & Muriel VIDAL[3]

1 - Université de Bretagne occidentale, UFR Sciences & Techniques, Brest, France (e.r.)
2 - Université de Bretagne occidentale, UFR Sciences & Techniques, Brest, France (e.r.)
3 - Univ Brest, CNRS, Ifremer, Geo-Ocean, UMR 6538, F-29280 Plouzané, France.

Résumé. Des surfaces de fracture à rides concentriques elliptiques ont été découvertes dans la partie supérieure de la Formation de Postolonnec (menbre du Veryac'h) au Veryac'h, sud de Camaret (Ordovicien Supérieur, Sandbien). Ces structures, décrites et discutées ici, sont signalées pour la première fois dans le Massif Armoricain.

Abstract. *Fracture surfaces displaying pattern of concentric elliptical ridges have been found in the upper part of the Postolonnec Formation (Veryac'h member) in the Veryac'h section south of Camaret (Upper Ordovician, Sandbian). Recorded for the first time in the Armorican Massif, they are here described and discussed.*

Mots-clés. Tectonique, diaclases, gradins conchoïdaux, Ordovicien, Presqu'île de Crozon

À la suite d'un éboulement de la falaise dans les niveaux de la partie supérieure de la Formation de Postolonnec sur le site du Veryac'h au cours du mois de Novembre 2020, des fouilles de sauvegarde avaient été entreprises sous la responsabilité de Sophie Coat, conservatrice de la réserve et de M. Vidal, présidente du Conseil Scientifique de la RNR (Coat & Vidal, 2021). Parmi les blocs observés alors, nous signalions "*des traces concentriques vraisemblablement d'origine tectonique*" jusqu'alors inconnues en presqu'île .

L'étude de ces traces constitue l'objet de la présente note.

I - Contexte géographique et stratigraphique

L'éboulement se situe stratigraphiquement dans partie tout à fait supérieure de la Formation de Postolonnec (membre du Veryac'h), à quelques mètres sous le contact avec la Formation de Kermeur [Fig. 1A-B]. Ces niveaux d'âge Sandbien (base de l'Ordovicien Supérieur) d'après les corrélations établies sur les biozones à chitinozoaires (Paris 1981, 2016) correspondent à des schistes sombres à nodules souvent fossilifères et à petits lits d'accumulation de columnales de crinoïdes.

Trois blocs montrent les structures décrites ci-dessous. Celui qui porte la structure la plus complète a été prélevé en 2021 ; il est conservé, ainsi que les lames minces et sections polies, dans les collections du laboratoire de Paléontologie de l'Université de Bretagne occidentale à Brest, sous le numéro LPB 19 446. Les deux autres blocs ont été laissés sur place [Fig. 1C-D].

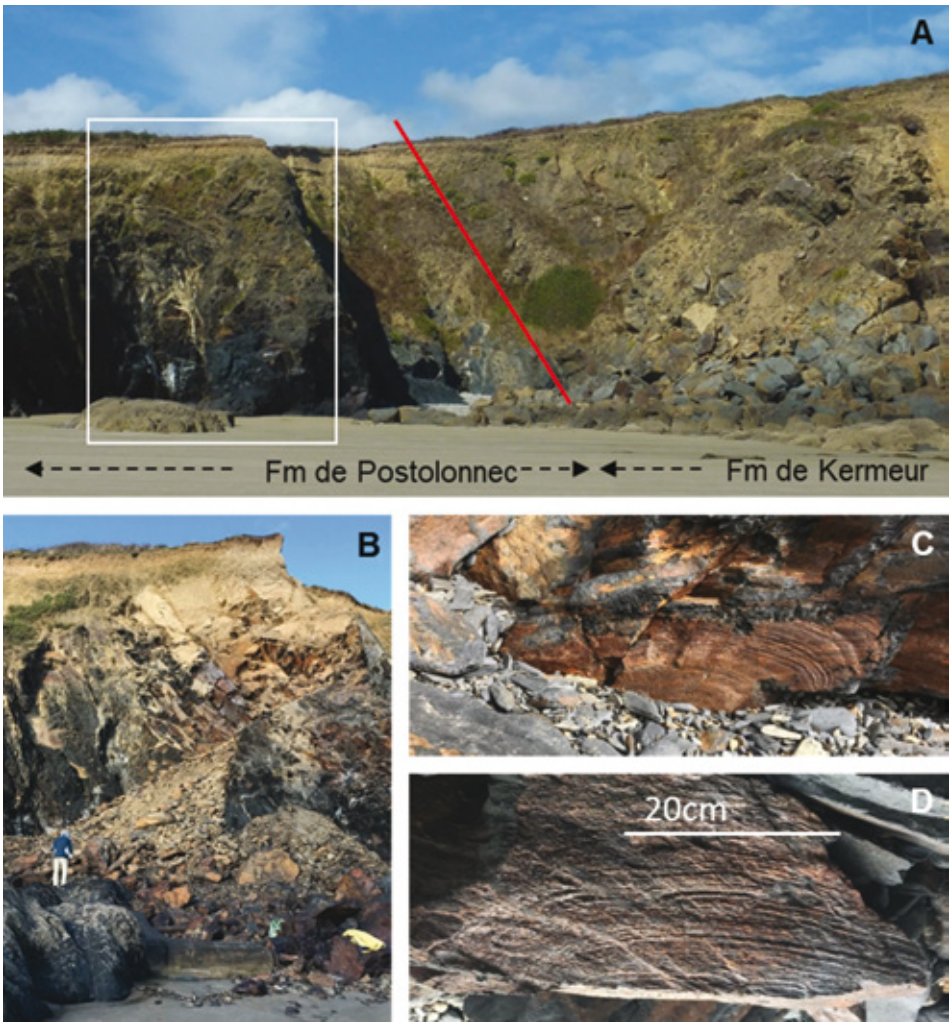

Fig. 1 - La falaise du Veryac'h au niveau du contact entre les formations de Postolonnec et Kermeur. A - Aspect de la falaise en 2015 avant l'éboulement localisé par le rectangle blanc. B - L'éboulement en 2020. C-D - Structures elliptiques sur deux blocs au pied de l'éboulement.

II - Description et interprétation

Il sera successivement question de morphologie et de tectonique en faisant référence, pour faciliter la description de la structure, aux secteurs haut ou supérieur, bas ou inférieur, droit et gauche de la figure 2.

Caractéristiques géométriques et morphologiques de la structure

La structure en question est portée par une surface relativement plane, abstraction faite de différentes irrégularités de détail mentionnées et décrites ci-

dessous. Elle présente la forme d'une ellipse dont le grand axe mesure environ 30 cm et le petit axe 12 cm ; elle est incomplète à l'une de ses extrémités [secteur supérieur gauche, Fig. 2]. Trois types de reliefs s'observent à la surface du spécimen : des rides concentriques, des rides radiaires et quelques gradins rayonnants largement espacés [Fig. 3].

Fig. 2 - Vue générale de la structure elliptique à rides conchoïdales (échelle 5 cm). Spécimen LPB 19446.

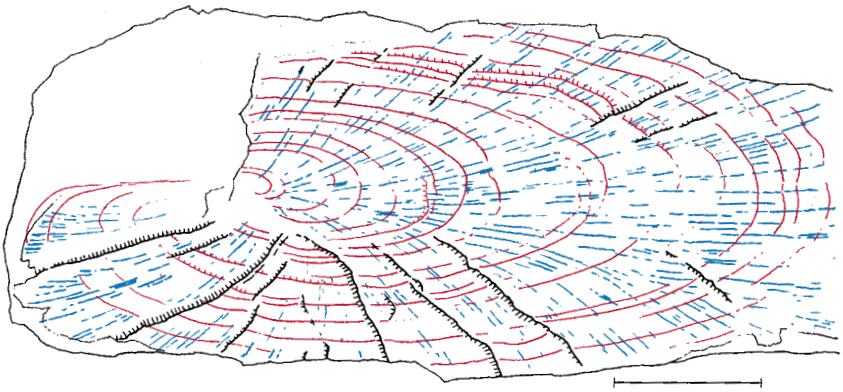

Fig. 3 - Vue d'ensemble montrant les différents éléments de la structure : rides concentriques (en rouge), rides radiaires (en bleu) et gradins rayonnants (en noir). Échelle 5 cm.

- Les rides concentriques : elles forment un motif en ellipse qui se répète depuis le centre vers la périphérie, à la manière d'ondes successives, bien plus espacées dans la direction du grand axe que dans celle du petit axe (Fig. 3). Elles correspondent à des reliefs millimétriques généralement asymétriques. La plupart d'entre elles présentent un flanc plus raide et court qui regarde vers l'extérieur de la structure elliptique ; c'est en particulier le cas de la majorité de celles qui sont portées par le secteur supérieur droit du spécimen. D'autres zones, réduites (secteur inférieur gauche), montrent un dispositif inverse, c'est-à-dire des escarpements regardant vers l'intérieur de l'ellipse. D'autres enfin ne présentent pas d'asymétrie flagrante.

- Les rides radiaires : elles forment un système très dense de reliefs millimétriques à infra-millimétriques. Leur dispositif rayonnant est calqué sur l'orientation des axes du motif elliptique [Fig. 3].

- Les gradins rayonnants : peu nombreux et principalement localisés dans le secteur inférieur du spécimen ils forment des escarpements millimétriques à pluri-millimétriques dont l'orientation est - à une exception près - identique à celle des rides radiaires du secteur concerné [Fig. 3]. L'orientation et le regard des gradins montrent une disposition symétrique par rapport au grand axe de l'ellipse [Fig 3]. Ces gradins délimitent sur l'ensemble de la structure une dizaine de surfaces d'inégale importance légèrement décalées - en marche d'escalier - l'une par rapport à l'autre (Fig. 4D).

À leur intersection avec les gradins, les rides concentriques montrent un léger rebroussement déterminant des segments faiblement arqués à concavité tournée vers le centre de la structure [Fig. 2 et 3].

Relations avec les marqueurs de l'évolution sédimentaire et tectonique

La surface exposant rides et gradins est quasiment perpendiculaire au litage sédimentaire (S0) exprimé à l'échelle de l'échantillon par l'alternance de niveaux silteux centimétriques plus ou moins riches en quartz [Fig. 4B-C]. On note par ailleurs que sur cette surface, l'orientation de l'ellipse est telle que son grand axe est parallèle à l'intersection avec le plan de stratification.

Le matériel présente par ailleurs deux surfaces d'anisotropie plus discrètes quoique plus pénétratives. L'observation microscopique des lames minces permet en effet de constater l'organisation planaire des phyllites (micas blancs, séricite…) parallèlement aux plans de stratification. Le développement de figures type ombres de pression associées à la présence des plus gros grains de quartz suggère l'effet d'un raccourcissement perpendiculaire à ce feuilletage minéral. La trajectoire de celui-ci est légèrement perturbée au passage d'une seconde famille de plans au développement assez fruste, à espacement millimétrique, et soulignés par des concentrations de matériel opaque. L'orientation de cette seconde famille, presque orthogonale à celle du litage sédimentaire, est à l'origine de la linéation d'intersection visible sur l'un des plans de stratification limitant l'échantillon [Fig. 4C-D].

L'ensemble évoque la superposition d'un clivage (S2) de type pli/fracture et dissolution à une fabrique minérale (S1) plus ancienne et plus pénétrative (schistosité de flux) parallèle à la stratification.

III - Discussion

Le gisement de cette structure dans un plan qui recoupe celui du litage permet d'évacuer l'hypothèse de son origine primaire, sédimentaire, et celle de l'empreinte d'un organisme fossile à corps mou de type méduse. Son obliquité par rapport aux anisotropies de type schistosité (S1 et S2) démontre par ailleurs qu'elle n'est pas le résultat d'une déformation synschisteuse mais qu'elle lui est postérieure. Son origine et sa signification doivent donc être recherchées parmi les phénomènes tardifs qui clôturent l'évolution des roches, notamment la fracturation qui génère les discontinuités de type diaclase.

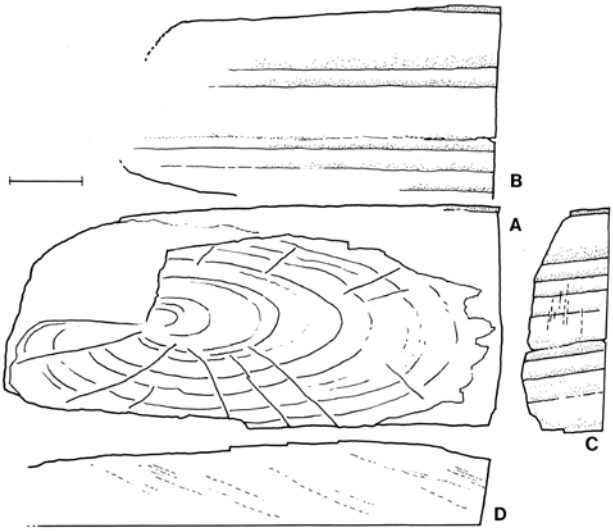

Fig. 4 - Vue éclatée du spécimen montrant l'orientation relative de la structure par rapport aux plans de stratification et de schistosité.
A - Vue de face de la structure elliptique.
B - Face opposée (sciage) montrant l'intersection de la stratification S0 (pointillés) dans une direction parallèle au grand axe de l'ellipse.
C - Section transversale, perpendiculaire à la surface de l'ellipse et à son grand axe, montrant la stratification S0 (pointillés) et la schistosité S2 (tiretés).
D - Cassure longitudinale, perpendiculaire à la surface de l'ellipse et subparallèle à la stratification, montrant la linéation d'intersection S2 sur S0 (tiretés). Remarquer les sections de gradins regardant tous vers la gauche. Échelle 5 cm.

Les diaclases, ou joints, sont des fractures sans rejet notable de type cisaillant qui, dans le cas des roches sédimentaires, s'expriment le plus généralement perpendiculairement aux strates. Leur développement peut précéder, accompagner ou suivre celui des structures de la déformation souple (plis, schistosité). Certaines configurations permettent d'envisager par ailleurs qu'elles traduisent le relâchement de la charge lithostatique sous l'effet de l'érosion. Ces surfaces de rupture, souvent planes et parfaitement lisses, portent cependant parfois des marques linéaires en relief. Celles-ci sont d'une toute autre nature et signification que les tectoglyphes du type stries et gradins, visibles sur les plans de faille qui temoingnent de déplacements cisaillants

Ces marques se rangent dans deux familles, parfois associées sur une même surface, mais inégalement exprimées. Les unes divergent depuis la zone centrale en direction des surfaces de stratification limitant l'unité lithologique, évoquant ainsi les barbes d'une plume ou **hackle marks** ; on parle dans ce cas de structures en plume ou **plumose stuctures** [Hodgson, 1961 ; Fig. 5]. Ces lignes de crêtes asymétriques correspondent en fait à des micro-gradins reliant de petites surfaces de joints ayant pivoté jusqu'à prendre l'aspect d'un système de fentes en échelon (Ramsay & Huber, 1987 ; Simon *et al.*, 2006). Les autres, au profil de rides toujours plus ou moins asymétriques, les **rib marks**, montrent une disposition concentrique circulaire à elliptique dont la trajectoire est toujours sub-orthogonale à celle des hackle marks mentionnées ci-dessus [Fig 5].

Sur notre spécimen, les structures ici décrites s'ordonnent autour d'une zone centrale interprétée comme le site initial à partir duquel la fracture va se propager. Il s'agit le plus souvent d'une hétérogénéité initiale du milieu rocheux comme, par exemple, une concrétion minérale, un claste de taille importante ou bien encore un fossile.

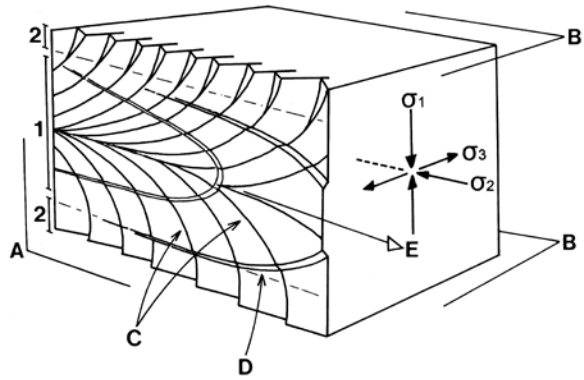

Fig. 5 - Bloc diagramme synthétique exposant les principales structures portées par un plan de diaclase. D'après Ramsay & Huber (1987).
A - Surface de diaclase
(1- plan principal de fracture. 2- franges latérales montrant la rotation des surfaces de fracture élémentaires).
B - Surfaces de stratification.
C - Hackle marks.
D - Rib mark.
E- Axe de la structure en plume et sens de propagation de la rupture. σ1, σ2 et σ3 sont les directions principales de contrainte.

Dans le cas présent une famille de marques est prépondérente, il s'agit des rides concentriques dont la morphologie et la trajectoire elliptique peuvent être rapprochées de celles des rib marks, et plus précisément des rib marks de type « cuspate » (Twiff & Moores, 1992) à profil de crête asymétriques [Fig. 6A]. Ces ondulations parfaitement concentriques communiquent à la surface du spécimen l'aspect conchoïdal des cassures affectant les matériaux vitreux ou les roches à

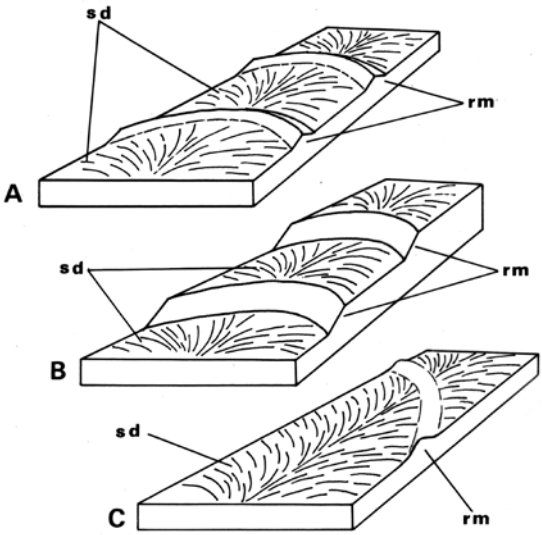

Fig. 6 - Différents types de rides (r m) portées par une surface de diaclase (s d). D'après Twiss & Moores (1992). A - Rib marks de type « cuspate ». B - Rib marks à géométrie de rampes. C - Rib marks de type « ripple ».

grain extrèmement fin. Ce trait caractéristique, régulièrement évoqué depuis les précurseurs (Woodworth, 1896) à propos de structures et de contextes similaires, est parfaitement défini par la dénomination **conchoidal step fractures** littéralement fractures à gradins conchoïdaux (Ramsay & Huber, 1987).

Ces rib marks sont le plus généralement interprétés comme marquant des arrêts momentanés dans la progression de la fracture, rythmique et centrifuge. L'ellipticité de leur motif traduit ici une vitesse de propagation de la rupture plus rapide dans la direction de la stratification (grand axe de l'ellipse) que perpendiculairement à celle-ci (petit axe). Ceci peut être également interprété en termes d'orientation des directions principales de contraintes locales, soit, respectivement, σ 2 (contrainte intermédiaire) selon la direction du grand axe et σ 1 (contrainte maximale) selon la direction du petit axe ; σ 3 (contrainte minimale) leur est orthogonale, c'est-à-dire perpendiculaire au plan de diaclase [Fig 5].

L'interprétation des rides radiaires demeure plus énigmatique. On peut noter toutefois que leur orientation est en faveur d'un développement contemporain de celui des structures elliptiques et qu'elles semblent avoir guidé la formation des gradins rayonnants qui limitent les différentes facettes exposant les rides concentriques. L'organisation de ces gradins, symétrique par rapport à l'axe de l'ellipse, n'est pas sans évoquer par ailleurs le dispositif des hackle marks d'une structure en plume.

Les références à ces structures mentionnent en général soit l'une (plumes) soit l'autre (ribs) type de ces marques et plus rarement l'association des deux. Si leur interprétation dynamique et cinématique fait aujourd'hui l'objet d'un très large consensus en faveur d'un processus en tension et non pas en cisaillement, les conditions mécaniques qui président à leur formation demeurent par contre mal connues. Outre le contrôle des paramètres lithologiques (nature, taille des grains, anisotropies) l'intensité des contraintes et la vitesse de propagation des fractures (en moyenne de l'ordre de 0,5 fois la vitesse du son) doivent également être prises en compte. Des études sur le sujet (Weinberger & Bahat, 2008) montrent en particulier [Fig 7] que les surfaces à rides concentriques (notre spécimen) se développent sous plus faibles contraintes et à des vitesses de propagation deux à trois fois moins rapides que celles qui produisent les structures en plume. Les diaclases ayant enregistré le développement simultané de l'un et l'autre type de marques représenteraient une forme de transition entre ces deux situations. Une forme vers laquelle tendrait finalement notre spécimen, avec ses rides concentriques prédominantes et son ébauche de marques en plumes.

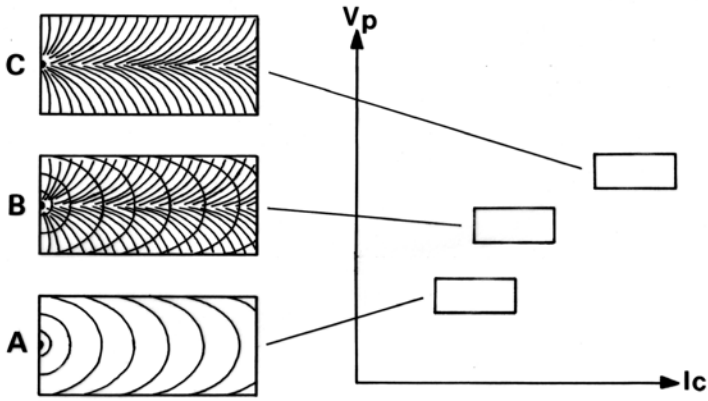

Fig. 7 - Les principaux types de marques et leurs situations respectives dans un diagramme Log Vitesse de propagation vs Intensité de la contrainte. D'après Weinberger & Bahat (2008).
A - Rides concentriques.
B - Combinaison de rides concentriques et de marques en plume. C- marques en plume.

IV - Conclusions

les arguments d'ordre chronologique, géométrique et morphologique disponibles nous conduisent à rapprocher les figures observées dans les schistes de la coupe du Veryac'h des systèmes de rides conchoïdales qui ornent certaines surfaces de diaclase et attestent leur développement progressif centrifuge. Il s'agit du premier signalement de ce type de structure pour le Massif Armoricain. On doit noter par ailleurs que, si les structures en plume sont assez souvent décrites et illustrées, beaucoup plus rares sont les mentions de rides concentriques aussi nettement exprimées que sur notre spécimen.

Le matériel étudié n'ayant pas été observé en place, mais récolté dans un éboulement de falaise, nous ignorons l'orientation et le pendage de ces surfaces. À ce jour, la seule donnée géométrique exploitable et fiable, leur orthogonalité aux plans de stratification ne permet pas de les situer vis-à-vis des autres éléments de la structure du site.

Remerciements

Les auteurs remercient la Réserve Naturelle Régionale – Sites géologiques de la Presqu'île de Crozon et Sophie Coat, sa gestionnaire, d'avoir mis à disposition le matériel récolté en 2021 pour étude. Nous remercions également Denis et Marie-Noëlle Bailliot ainsi que Christian Gaudu qui ont été particulièrement présents lors des fouilles de sauvegarde au début de l'année 2021 malgré une météo difficile. Merci aussi à notre excellent collègue Alfredo Loi de l'Université de Cagliari qui a orienté nos recherches vers les plumose structures et autres hackle marks.

Bibliographie

Coat S. & Vidal M. 2021 - Éboulements dans les falaises du Veryac'h, réserve naturelle régionale (RNR) des sites géologiques de la presqu'île de Crozon. Fouilles géologiques de Sauvegarde. *Bulletin de la Société géologique et minéralogique de Bretagne*, 19, p. 89-90.

Hodgson R.A. 1961 - Classification of structures on joint surfaces. *American Journal of Science*, 259 (7), p. 493-502, 10.2475/ajs.259.7.493

Ramsay J.G. & HUBER M.I. 1987 - *The techniques of modern structural geology Volume 2 : Folds and Fractures.* Academic Press, London. 700 pp.

Simon J.L., Arlegui L.E.& Pocovi A. 2006 - Fringe cracks and plumose structures in layered rocks: stepping senses and their implications for palaeostress interpretation. *Journal of Structural Geology*, 28, p. 1103-1113.

Twiss R.J. & Moores E.M. 1992 - *Structural Geology*. W.H. Freeman and Company, New York, 532 pp.

Vidal M., Dabard M.-P., Gourvennec R., Le Hérissé A., Loi A., Paris F., Plusquellec,Y. & Racheboeuf P.R. 2011 - Le Paléozoïque de la presqu'île de Crozon, Massif armoricain (France). *Géologie de la France*, 1, p. 1-45.

Weinberger R. & Bahat D. 2008 - Relative fracture velocities based on fundamental characteristics of joint-surface morphology. *Terra Nova*, 20 (1), p. 68-73.

Woodworth J.B. 1896 - On the fracture systems of joints with remarks on certain great fractures. *Proceedings of Boston Society for Natural History*, 27, p.163-184.