

Données stratigraphiques du Fossé Rhénan supérieur dans la région de Strasbourg

Coralie Aichholzer, Pauline Harlé, Philippe Düringer.

Bibliographie Web

- Adloff M.-C., Doubinger J. et Geisler D., 1982. Étude palynologique et sédimentologique dans le Muschelkalk moyen de Lorraine. *Sciences de la Terre*. 25 (2) : 91-104.
- Agemar T., Schellschmidt R. et Schulz R., 2012. Subsurface temperature distribution in Germany. *Geothermics*. 2012 Oct 1 ; 44 : 65-77.
- Aichholzer C., 2019. Le log complet de la stratigraphie de la zone rhénane ainsi que les modalités stratigraphiques, sédimentaires et structurales de la transition socle-couverture : application à la géothermie profonde [Internet] [Thèse de doctorat]. Strasbourg ; [cited 2021 Jul 1]. Available from: <http://www.theses.fr/2019STRAH008>
- Aigner T., 1985. Storm Depositional Systems: Dynamic Stratigraphy in Modern and Ancient Shallow-Marine Sequences [Internet]. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag; [cited 2021 Jul 2]. Available from: <https://www.springer.com/gp/book/9783540152316>
- Bauer J.-F., Meier S. et Philipp S.-L., 2015. Architecture, fracture system, mechanical properties and permeability structure of a fault zone in Lower Triassic sandstone, Upper Rhine Graben. *Tectonophysics*. 2015 Apr 19; 647-648 : 132-45.
- Blanc-Valleron M.-M., 1990. Les Formations paléogènes évaporitiques du bassin potassique de Mulhouse et des bassins plus septentrionaux d'Alsace [Internet] [thesis]. <http://www.theses.fr>. Université Louis Pasteur (Strasbourg) (1971-2008) ; [cited 2021 Jul 1]. Available from: <http://www.theses.fr/1990STR13113>
- Blumenroeder J., 1962. Le pétrole en Alsace. *Abh Geol Landesamt Baden-Würtbg*. 4 : 41-2.
- Bourquin S. et Guillocheau F., 1996. Keuper stratigraphic cycles in the Paris basin and comparison with cycles in other peritethyan basins (German basin and Bresse-Jura basin). *Sedimentary Geology*. 1996 Sep 1 ; 105 (3) : 159-82.
- Brun J.-P. et Wenzel F., 1991. Crustal-scale structure of the southern Rhinegraben from ECORS-DEKORP seismic reflection data. *Geology*. *GeoScienceWorld*; 1991 Jul 1; 19 (7) : 758-62.
- Dachroth W., 1985. Fluvial sedimentary styles and associated depositional environments in the buntsandstein west of river rhine in saar area and pfalz (F.R. Germany) and vosges (France). In: Mader D, editor. *Aspects of Fluvial Sedimentation in the Lower Triassic Buntsandstein of Europe*. Berlin, Heidelberg : Springer. P. 197-248.
- Doehl F., Müller C., Schuler M., Sittler C. et Weiler H., 1976. Les Marnes à Foraminifères et les Schistes à Poissons de Bremelbach (Bas-Rhin). Études sédimentologiques et micropaléontologiques. Reconstitution du milieu au début du Rupélien dans le Fossé Rhénan. *Sciences Géologiques, bulletins et mémoires. Persée-Portail des revues scientifiques en SHS* ; 29 (4) : 285-320.
- Doehl F. et Olbrecht W., 1974. An Isobath Map of the Tertiary Base in the Rhinegraben. *Approaches to Taphrogenesis*. Illies, H. and Fuchs, K. Stuttgart, E. Schweizerbartsche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller).
- Durand M., 1978. Paléocourants et reconstitution paléogéographique. L'exemple du Buntsandstein des Vosges méridionales (Trias inférieur et moyen continental).
- Durand M., 1987. Premiers exemples de sédimentation éolienne dans le Buntsandstein moyen du Nord-Est de la France. *Congrès français de sédimentologie*. 1. p. 162-3.
- Durand M., 2010. Le Trias de Lorraine et Alsace septentrionales. *Bulletin d'information des géologues du bassin de Paris*. Association des géologues du bassin de Paris ; 47 (1) : 13-21.
- Durand M., Bourquin S., 2001. La discontinuité éocimmérienne majeure sur les affleurements de Keuper du nord-est de la France (modalités d'expression-conséquences sédimentologiques). *ASF Association des sédimentologistes français*. 111-2.
- Durand M., Lepper H., Röhlings G., 2013. Der Buntsandstein in Nordost-Frankreich. *Schriftenreihe der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften*. 69 : 635-46.
- Düringer P., 1982. Sédimentologie et paléoécologie du Muschelkalk supérieur et de la Lettenkohle (Trias germanique) de l'est de la France : diachronie des facies et reconstitutions des paléoenvironnements. *ULP, Inst. de Geologie*.
- Düringer P., 1984. Tempêtes et tsunamis ; des dépôts de vagues de haute énergie intermittente dans le Muschelkalk supérieur (Trias germanique) de l'Est de la France. *Bulletin de la Société Géologique de France*. Société Géologique de France, Paris, France ; 7 (6) : 1177-85.
- Düringer P., 1985. Stratégie adaptative de la croissance de *Placunopsis ostracina* Schlotheim, épizoaire du Muschelkalk supérieur (Trias germanique, Est de la France). *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie - Monatshefte*. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung; 1985 Jan 29 ; 1-22.
- Düringer P., 1987. Une mégaséquence d'émersion : la Lettenkohle (Trias Est de la France). Mise en évidence de marées par l'imbrication bipolaire de plaques de dessiccation. *Geol Rundsch*. 1987 Jun 1 ; 76 (2) : 579-97.
- Düringer P., 1988. Les conglomérats de bordures du rift cénozoïque rhénan : dynamique sédimentaire et contrôle climatique [Thèse d'État]. [Strasbourg] : Université Louis Pasteur, Institut de géologie.
- Düringer P., 1999. Du lagon protégé aux tempestites distales : Un modèle transgressif d'école. L'exemple pédagogique du

- Muschelkalk supérieur de l'Est de la France (Trias moyen-Alsace Lorraine). ASF Association des sédimentologues français. III-IV.
- Düringer P., Aichholzer C., Orciani S. et Genter A., 2019. The complete lithostratigraphic section of the geothermal wells in Rittershoffen (Upper Rhine Graben, eastern France): a key for future geothermal wells. BSGF - Earth Sci. Bull. 190 : 13.
 - Düringer P. et Doubinger J., 1985. La palynologie : un outil de caractérisation des faciès marins et continentaux à la limite Muschelkalk supérieur - Lettenkohle. Palynology: a means of characterising marine and continental facies at the Upper Muschelkalk - Lettenkohle boundary. Sciences Géologiques, bulletins et mémoires. Persée - Portail des revues scientifiques en SHS ; 38 (1) : 19-34.
 - Düringer P. et Gall J.-C., 1989. Transgression et régression marines sur la marge occidentale du bassin germanique durant le Trias moyen: Une symétrie ? Passages carbonates-silicates. Réunion ASF. p. 57-69.
 - Düringer P., Hagdorn H., 1987. La zonation par cératites du Muschelkalk supérieur lorrain (Trias, Est de la France). Diachronisme des faciès et migration vers l'Ouest du dispositif sédimentaire. Bulletin de la Société géologique de France. 8 (3) : 3.
 - Eisbacher G.-H., Fielitz W. et Rothe P., 2010. Karlsruhe und seine Region Nordschwarzwald, Kraichgau, Neckartal, südlicher Odenwald, Oberrhein-Graben, Pfälzerwald und westliche Schwäbische Alb. Gebrüder Bornträger, Berlin-Stuttgart.
 - Fontes J.-C., Filly A., Gaudant J. et Düringer P., 1991. Origine continentale des évaporites paléogènes de Haute Alsace ; arguments paléocéologiques, sédimentologiques et isotopiques. Bulletin de la Société géologique de France. Société Géologique de France ; 162 (4) : 725-37.
 - Gall J.-C., 1971. Faunes et paysages du Grès à Voltzia du nord des Vosges. Essai paléocéologique sur le Buntsandstein supérieur [Internet]. Sciences Géologiques, bulletins et mémoires. Persée - Portail des revues scientifiques en SHS ; [cited 2021 Jul 1]. Available from: https://www.persee.fr/doc/sgeol_0080-9020_1971_mon_34_1
 - Gall J.-C. et Grauvogel-Stamm L., 2005. The early Middle Triassic 'Grès à Voltzia' Formation of eastern France: a model of environmental refugium. Comptes Rendus Palevol. 2005 Sep 1 ; 4 (6) : 637-52.
 - Gaudant J., 1981. Un nouveau Cyprinodontidae (poisson téléostéen) de l'Oligocène inférieur de Kleinkems (Pays de Bade, Allemagne) : *Prolebias rhenanus* nov. sp. Sciences Géologiques, bulletins et mémoires. Persée - Portail des revues scientifiques en SHS ; 34 (1) : 3-12.
 - Geisler D., 1978. Une Coupe détaillée dans le sommet du Muschelkalk moyen à Sarrebourg (Moselle).
 - Genter A., Vidal J., Baujard C., Dalmais E. et Schmittbuhl J., 2015. Permeability in deep-seated granitic rocks : lessons learnt from deep geothermal boreholes in the Upper Rhine Graben. Perméabilité des roches granitiques profondes : quelles leçons des forages géothermiques profonds réalisés dans le Fossé rhénan supérieur. 8.
 - Gérard A., Genter A., Kohl T., Lutz P., Rose P. et Rummel F., 2006. The deep EGS (Enhanced Geothermal System) project at Soultz-sous-Forêts (Alsace, France). Geothermics. 2006 Oct ; 35 (5-6) : 473-83.
 - Grauvogel-Stamm L. et Düringer P., 1983. *Annalepis zeilleri* Fliche 1910 emend., un organe reproducteur de Lycophyte de la Lettenkohle de l'Est de la France. Morphologie, spores *in situ* et paléocéologie. Geol Rundsch. 1983 Feb 1 ; 72 (1) : 23-51.
 - Guillou-Frottier L., Carré C., Bourguin B., Bouchot V. et Genter A., 2013. Structure of hydrothermal convection in the Upper Rhine Graben as inferred from corrected temperature data and basin-scale numerical models. Journal of Volcanology and Geothermal Research. 256 : 29-49.
 - Hinsken S., Schmalholz S.-M., Ziegler P.-A. et Wetzel A., 2011. Thermo-Tectono-Stratigraphic Forward Modelling of the Upper Rhine Graben in reference to geometric balancing: Brittle crustal extension on a highly viscous mantle. Tectonophysics. 509 (1-2) : 1-13.
 - Illies J.-H., 1967. Development and tectonic pattern of the Rhinegraben. The Rhinegraben Progress Report. Abh geol Landesamt Baden-Württemberg. 6 : 7-9.
 - Kappelmeyer O., 1991. European HDR project at Soultz-sous-Forêts general presentation. Geotherm. Sci. & Tech. 2 (4) : 263-89.
 - Mégnien C., 1980. Synthèse géologique du bassin de Paris : Lexique des noms de formation. BRGM.
 - Ménillet F., Durand M., Genter A. et Party J.-P., 2015. Notice explicative de la carte géologique de France (1/50 000). Feuille Haguenau (198) (2^e éd.). BRGM, Orléans.
 - Munck F., Walgenwitz F., Maget P., Sauer K. et Tietze R., 1979. Synthèse géothermique du Fossé Rhénan Supérieur. Service Géologique Régional Alsace, Strasbourg, France, Geologisches, Landesamt Bade-Wurtemberg. Commission of the European Communities.
 - Palain C., 1966. Contribution à l'étude sédimentologique du 'Grès à roseaux' (Trias supérieur) en Lorraine. Sciences de la Terre. 11 : 245-91.
 - Perriaux J., 1961. Notice explicative de la feuille de Bouxwiller 1/50 000. BRGM.
 - Pharisat A., 1991. La paléoichthyofaune du Rupélien marin de Froidefontaine (Territoire de Belfort). Taxinomie et populations, genèse du gisement, implications paléobiogéographiques. Annales scientifiques de l'Université de Franche-Comté. Géologie. (11) : 13-97.
 - Pirkenseer C., 2007. Foraminifera, ostracoda and other microfossils of the southern Upper Rhine Graben: palaeoecology, biostratigraphy, palaeogeography and geodynamic implications.
 - Pribnow D. et Schellschmidt R., 2000. Thermal tracking of upper crustal fluid flow in the Rhine graben. Geophysical Research Letters. 2000 Jul 1 ; 27 (13) : 1957-60.
 - Ricour J. et Hellas H.-B., 1962. Contribution à une révision du Trias français. Imprimerie nationale.
 - Rotstein Y., Schaming M. et Rouse S., 2005. Structure and Tertiary tectonic history of the Mulhouse High, Upper Rhine Graben: Block faulting modified by changes in the Alpine

INTRODUCTION

- stress regime. *Tectonics* [Internet]. [cited 2021 Jul 1];24(1). Available from: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/2004TC001654>
- Roussé S., 2006. Architecture et dynamique des séries marines et continentales de l'oligocène moyen et supérieur du sud du fossé rhénan : Évolution des milieux de dépôt en contexte de rift en marge de l'avant-pays alpin.
 - Rouse S., Düringer P. et Stapf K.-R.-G., 2012. An exceptional rocky shore preserved during Oligocene (Late Rupelian) transgression in the Upper Rhine Graben (Mainz Basin, Germany). *Geological Journal*. 47 (4) : 388-408.
 - Schirardin J., 1923. Note sur le Lias inférieur du Bas-Rhin. *Sciences Géologiques, bulletins et mémoires. Persée - Portail des revues scientifiques en SHS* ; 1 (2) : 89-116.
 - Schirardin J., 1938. Nouvelles observations sur le Toarcien de l'Alsace. *Bull Ass philom Als-Lorr*. 8 : 506-49.
 - Schirardin J., 1960a. Sur la limite du toarcien et de l'Aalenien en Alsace. *Sciences Géologiques, bulletins et mémoires. Persée - Portail des revues scientifiques en SHS* ; 13 (3) : 95-126.
 - Schirardin J., 1960b. Sur la zone à Ludwigella Concava Sow. en Alsace. *Sciences Géologiques, bulletins et mémoires. Persée - Portail des revues scientifiques en SHS* ; 13 (1) : 35-55.
 - Schnaebeler R., 1948. Monographie géologique du champ pétrolifère de Pechelbronn. *Sciences Géologiques, bulletins et mémoires* [Internet]. Persée - Portail des revues scientifiques en SHS ; [cited 2021 Jul 1] ; 7 (1). Available from: https://www.persee.fr/doc/sgeol_0080-9020_1948_mon_7_1
 - Schumacher M.-E., 2002. Upper Rhine Graben: Role of preexisting structures during rift evolution: UPPER RHINE GRABEN EVOLUTION. *Tectonics*. 21 (1) : 6-1-6-17.
 - Schwarz H.-U., 1970. Zur Sedimentologie und Fazies des unteren Muschelkalkes in Südwestdeutschland und angrenzenden Gebieten. na.
 - Sittler C., 1965. Le Paléogène des fossés rhénan et rhodanien, études sédimentologiques et paléoclimatiques : par Claude Sittler, ... Service de la carte géologique d'Alsace et de Lorraine.
 - Sittler C., 1969. Le fossé Rhénan en Alsace : aspect structural et histoire géologique. *Rev. Geogr. Phys. Geol. Dyn.* 11 : 465-94.
 - Sittler C., 1992. Illustration de l'histoire géologique du Fossé rhénan et de l'Alsace. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie. Abhandlungen*. 186 (3) : 255-82.
 - Wurster P., 1964. Géologie des Schilfsandsteins. Geologisches Staatsinstitut in Hamburg.
 - Ziegler P.-A. et Dèzes P., 2005. Evolution of the lithosphere in the area of the Rhine Rift System. *International Journal of Earth Sciences*. 94 (4) : 594-614.
 - Ziegler P.-A. et Dèzes P. Crustal evolution of Western and Central Europe. Geological Society, London, M.

Évolution du suivi sismique des sites géothermiques en exploitation dans le Fossé rhénan supérieur

Emmanuel Gaucher et Vincent Maurer

Bibliographie Web

- Baillieux P., Schill E., Edel J. et Mauri G., 2013. Localization of temperature anomalies in the Upper Rhine Graben: insights from geophysics and neotectonic activity. <https://doi.org/10.1080/00206814.2013.794914>
- Baujard C., Genter A., Dalmais E., Maurer V., Hehn R., Rosillette R., Vidal J. et Schmittbuhl J., 2017. Hydrothermal characterization of wells GRT-1 and GRT-2 in Rittershoffen, France: Implications on the understanding of natural flow systems in the rhine graben. *Geothermics* 65, 255-268. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2016.11.001>
- Bergerat F., 1985. Déformations cassantes et champs de contrainte tertiaires dans la plate-forme européenne. (Thèses). Université Pierre et Marie Curie - Paris VI.
- Cara M., Brüstle W., Gisler M., Kästli P., Sira C., Weihermüller C. et Lambert J., 2005. Transfrontier macroseismic observations of the M_L = 5.4 earthquake of February 22, 2003 at Rambervillers, France. *J Seismol* 9, 317-328. <https://doi.org/10.1007/s10950-005-6853-1>
- Charléty J., Cuenot N., Dorbath L., Dorbath C., Haessler H. et Frogneux M., 2007. Large earthquakes during hydraulic stimulations at the geothermal site of Soultz-sous-Forêts. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* 44, 1091-1105.
- Cornet F.-H., 2015. Earthquakes induced by fluid injections. *Science* 348, 1204-1205. <https://doi.org/10.1126/science.aab3820>
- Cornet F.-H., Bérard Th. et Bourouis S., 2007. How close to failure is a granite rock mass at a 5 km depth? *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts* 44, 47-66. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmmms.2006.04.008>
- Cuenot N., Dorbath C. et Dorbath L., 2008. Analysis of the microseismicity induced by fluid injections at the EGS site of Soultz-sous-Forêts (Alsace, France): implications for the characterization of the geothermal reservoir properties. *Pure and Applied Geophysics* 165, 797-828.
- Cuenot N., Frogneux M., Dorbath C. et Calo M., 2011. Induced Microseismic Activity During Recent Circulation Tests at the EGS Site of Soultz-sous-Forêts (France). Presented at the Proceedings, 36th workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford University, Stanford, California, p. 13.
- Cuenot N. et Genter A., 2015. Microseismic activity induced during recent circulation tests at the Soultz-sous-Forêts EGS power plant, in: *World Geothermal Congress 2015. IGA*.
- Deichmann N. et Giardini D., 2009. Earthquakes Induced by the Stimulation of an Enhanced Geothermal System below Basel (Switzerland). *Seismological Research Letters* 80, 784-798. <https://doi.org/10.1785/gssrl.80.5.784>
- Dezayes, C., Genter, A., Valley, B., 2010. Structure of the low permeable naturally fractured geothermal reservoir at Soultz. *Comptes Rendus Geoscience* 342, 517-530.
- Gaucher E., Cornet F.-H. et Bernard P., 1998. Induced seismicity analysis for structure identification and stress field determination, in: *SPE/ISRM Rock Mechanics in Petroleum Engineering*. Society of Petroleum Engineers.
- Gaucher E., Schoenball M., Heidbach O., Zang A., Fokker P.A., van Wees J.-D. et Kohl T., 2015. Induced seismicity in geothermal reservoirs: A review of forecasting approaches. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 52, 1473-1490. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.08.026>
- Genter A., 1989. Géothermie roches chaudes sèches: le granite de Soultz-sous-Forêts (Bas-Rhin, France): fracturation naturelle, altérations hydrothermales et interaction eau-roche (PhD Thesis). Orléans.
- Genter A., Evans K., Cuenot N., Fritsch D., Sanjuan B., 2010. Contribution of the exploration of deep crystalline fractured reservoir of Soultz to the knowledge of enhanced geothermal systems (EGS). *Comptes Rendus Geoscience, Vers l'exploitation des ressources géothermiques profondes des systèmes hydrothermaux convectifs en milieux naturellement fracturés* 342, 502-516. <https://doi.org/10.1016/j.crte.2010.01.006>
- Gerard A. et Kappelmeyer O., 1987. The Soultz-sous-Forêts project. *Geothermics* 16, 393-399. [https://doi.org/10.1016/0375-6505\(87\)90018-6](https://doi.org/10.1016/0375-6505(87)90018-6)
- Gombert P., Lahaie F. et Cherkaoui A., 2017. État des lieux des risques, impacts et nuisances liés à la géothermie profonde. *INERIS* 8.
- Grigoli F., Cesca S., Priolo E., Rinaldi A.-P., Clinton J.-F., Stabile T.-A., Dost B., Fernandez M.-G., Wiemer S. et Dahm T., 2017. Current challenges in monitoring, discrimination, and management of induced seismicity related to underground industrial activities: A European perspective. *Reviews of Geophysics* 55, 310-340. <https://doi.org/10.1002/2016RG000542>
- Häring M.-O., Schanz U., Ladner F. et Dyer B.-C., 2008. Characterisation of the Basel 1 enhanced geothermal system. *Geothermics* 37, 469-495. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2008.06.002>
- Helm J.-A., 1996. Aléa sismique naturel et sismicité induite du projet géothermique européen RCS (Roche Chaude Sèche) de Soultz-sous-Forêts (Bas-Rhin, France) (Ph.D. Thesis). Université Louis Pasteur/EOPGS, Strasbourg, France.
- Jones R.-H., Beauce A., Jupe A., Fabriol H. et Dyer B.-C., 1995. Imaging induced microseismicity during the 1993 injection tests at Soultz-sous-Forêts, France, in: *World Geothermal Congress 1995*. pp. 2665-2669.

- Lengline O., Boubacar M. et Schmittbuhl J., 2017. Seismicity related to the hydraulic stimulation of GRT1, Rittershoffen, France. *Geophysical Journal International* 208, 1704-1715. <https://doi.org/10.1093/gji/ggw490>
- Maurer V., Gaucher E., Grunberg M., Koepke R., Pestourie R. et Cuenot N., 2020. Seismicity induced during the development of the Rittershoffen geothermal field, France. *Geotherm Energy* 8, 5. <https://doi.org/10.1186/s40517-020-0155-2>
- Meixner J., Schill E., Gaucher E. et Kohl T., 2014. Inferring the in situ stress regime in deep sediments: an example from the Bruchsal geothermal site. *Geothermal Energy* 2, 7. <https://doi.org/10.1186/s40517-014-0007-z>
- Nocquet J.-M. et Calais E., 2003. Crustal velocity field of western Europe from permanent GPS array solutions, 1996-2001. *Geophysical Journal International* 154, 72-88. <https://doi.org/10.1046/j.1365-246X.2003.01935.x>
- Rozsa S., Mayer M., Westerhaus M., Seitz K. et Heck B., 2005. Towards the determination of displacements in the Upper Rhine Graben area using GPS measurements and precise antenna modelling. *Quaternary Science Reviews* 24, 425-438.
- Sanjuan B., Millot R., Innocent Ch., Dezayes Ch., Scheiber J. et Brach M., 2016. Major geochemical characteristics of geothermal brines from the Upper Rhine Graben granitic basement with constraints on temperature and circulation. *Chemical Geology* 428, 27-47. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2016.02.021>
- Sittler C., 1969. Le fossé rhénan en Alsace. Aspect structural et histoire géologique. *Rev. Géogr. phys. Géol.* XI, 465-494.
- Vergne J. et Schmittbuhl J., 2020. Séismes de Strasbourg : l'EOST sur le pont. *Lettre d'information de l'École et Observatoire des Sciences de la Terre* 34.
- Villemin T., 1986. *Tectonique Et Extension, Fracturation Et Subsidence: Le Fosse Rhenan Et Le Bassin De Sarre-Nahe (DOC-TORAT D'UNIVERSITE)*. France.

La transition Éocène-Oligocène dans le Fossé Rhénan

Emile Simon, Laurent Gindre-Chanu, Alexis Nutz, Quentin Boesch, Guillaume Dupont-Nivet, Hendrik Vogel et Mathieu Schuster.

- Ault T.-R., Cole J.-E., Overpeck J.-T., Pederson G.-T. et Meko D.-M., 2014. Assessing the risk of persistent drought using climate model simulations and paleoclimate data. *Journal of Climate*, 27(20), 7529-7549.
- Berger J.-P., 1996. Cartes paléogéographiques-palinspastiques du bassin molassique suisse (Oligocène inférieur-Miocène moyen). *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie-Abhandlungen*, 1-44.
- Berger J.-P., Reichenbacher B., Becker D., Grimm M., Grimm K., Picot L., ... et Schaefer A., 2005. Paleogeography of the upper Rhine Graben (URG) and the Swiss Molasse basin (SMB) from Eocene to Pliocene. *International Journal of Earth Sciences*, 94(4), 697-710.
- Berger J.-P., Reichenbacher B., Becker D., Grimm M., Grimm K., Picot L., ... et Schaefer A., 2005. Eocene-Pliocene time scale and stratigraphy of the Upper Rhine Graben (URG) and the Swiss Molasse Basin (SMB). *International Journal of Earth Sciences*, 94(4), 711-731.
- Bergerat F., 1985. *Déformations cassantes et champs de contrainte tertiaires dans la plate-forme européenne* (Doctoral dissertation, Université Pierre et Marie Curie-Paris VI).
- Bergerat F., 1987. Paléo-champs de contrainte tertiaires dans la plate-forme européenne au front de l'orogène alpin. *Bulletin de la Société géologique de France*, 3(3), 611-620.
- Berggren W.-A., Kent D.-V., Swisher III C.-C. et Aubry M.-P., 1995. A revised Cenozoic geochronology and chronostratigraphy.
- Berner R.-A., 1990. Atmospheric carbon dioxide levels over Phanerozoic time. *Science*, 249(4975), 1382-1386.
- Berner R.-A. et Kothavala Z., 2001. GEOCARB III: a revised model of atmospheric CO₂ over Phanerozoic time. *American Journal of Science*, 301(2), 182-204.
- Blanc-Valleron M.-M., 1990. Les formations paléogènes évaporitiques du bassin potassique de Mulhouse et des bassins plus septentrionaux d'Alsace: Ph.D. dissertation, Louis Pasteur University, Strasbourg, 350 p.
- Bohaty S.-M., Zachos J.-C. et Delaney M.-L., 2012. Foraminiferal Mg/Ca evidence for southern ocean cooling across the eocene-oligocene transition. *Earth and Planetary Science Letters*, 317, 251-261.
- Boulila S., Dupont-Nivet G., Galbrun B., Bauer H. et Châteauneuf J.-J., 2021. Age and driving mechanisms of the Eocene-Oligocene Transition from astronomical tuning of a lacustrine record (Rennes Basin, France). *Climate of the Past Discussions*, 1-27.
- Breedlovestrout R.-L., Evraets B.-J. et Parrish J.-T., 2013. New Paleogene paleoclimate analysis of western Washington using physiognomic characteristics from fossil leaves. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 392, 22-40.
- Châteauneuf J.-J. et Ménéillet F., 2014. Découverte d'une microflore bartonienne dans le Fossé rhénan supérieur : la formation de Mietesheim (Bas-Rhin, Alsace, France). *Géologie de la France*, n° 1, 2014, p. 3-20.
- Coccioni R., Monaco P., Monechi S., Nocchi M. et Parisi G., 1988. Biostratigraphy of the Eocene-Oligocene boundary at Massignano (Ancona, Italy). *The Eocene-Oligocene boundary in the Umbria-Marche Basin (Italy): Ancona, International Union of Geological Sciences Special Publication: Ancona, Italy, Fratelli Annibelli Publishers*, 59-74.
- Colwyn D.-A. et Hren M.T., 2019. An abrupt decrease in Southern Hemisphere terrestrial temperature during the Eocene-Oligocene transition. *Earth and Planetary Science Letters*, 512, 227-235.
- Coxall H.-K., Huck C.-E., Huber M., Lear C.-H., Legarda-Lisarrri A., O'Regan M., ... et Backman J., 2018. Export of nutrient rich Northern Component Water preceded early Oligocene Antarctic glaciation. *Nature Geoscience*, 11(3), 190-196.
- Coxall H.-K. et Pearson P.-N., 2007. The Eocene-Oligocene transition. *Deep time perspectives on climate change: Marrying the signal from computer models and biological proxies*, 351-387.
- Coxall H.K., Wilson P.-A., Pälike H., Lear C.-H. et Backman J., 2005. Rapid stepwise onset of Antarctic glaciation and deeper calcite compensation in the Pacific Ocean. *Nature*, 433(7021), 53-57.
- Danise S., Twitchett R.J. et Little C.-T., 2015. Environmental controls on Jurassic marine ecosystems during global warming. *Geology*, 43(3), 263-266.
- DeConto R.-M. et Pollard D., 2003. Rapid Cenozoic glaciation of Antarctica induced by declining atmospheric CO₂. *Nature*, 421(6920), 245-249.
- Dèzes P., Schmid S.-M. et Ziegler P.-A., 2004. Evolution of the European Cenozoic Rift System: interaction of the Alpine and Pyrenean orogens with their foreland lithosphere. *Tectonophysics*, 389(1-2), 1-33.
- Diester-Haass L. et Zachos J., 2003. Paleoproductivity Increase. *From Greenhouse to Icehouse: The Marine Eocene-Oligocene Transition*, 397.
- Dupont-Nivet G., Krijgsman W., Langereis C.-G., Abels H.-A., Dai S. et Fang X., 2007. Tibetan plateau aridification linked to global cooling at the Eocene-Oligocene transition. *Nature*, 445(7128), 635-638.
- Düringer P., 1988. *Les conglomérats des bordures du rift cénozoïque rhénan: dynamique sédimentaire et contrôle climatique* (Doctoral dissertation, Strasbourg 1).
- Düringer P., Aichholzer C., Orciani S. et Genter A., 2019. The complete lithostratigraphic section of the geothermal wells in Rittershoffen (Upper Rhine Graben, eastern France): a key

- for future geothermal wells. *BSGF-Earth Sciences Bulletin*, 190(1), 13.
- Edel J.-B., Schulmann K. et Rotstein Y., 2007. The Variscan tectonic inheritance of the Upper Rhine Graben: evidence of reactivations in the Lias, Late Eocene-Oligocene up to the recent. *International Journal of Earth Sciences*, 96(2), 305-325.
 - Fan M., Ayyash S.-A., Tripathi A., Passey B.-H. et Griffith E.-M., 2018. Terrestrial cooling and changes in hydroclimate in the continental interior of the United States across the Eocene-Oligocene boundary. *Bulletin*, 130(7-8), 1073-1084.
 - Francis J.-E., Marensi S., Levy R., Hambrey M., Thorn V.-C., Mohr B., ... et DeConto R., 2008. From greenhouse to icehouse – the Eocene/Oligocene in Antarctica. *Developments in earth and environmental sciences*, 8, 309-368.
 - Friedlingstein P., Meinshausen M., Arora V.-K., Jones C.-D., Anav A., Liddicoat S.-K. et Knutti R., 2014. Uncertainties in CMIP5 climate projections due to carbon cycle feedbacks. *Journal of Climate*, 27(2), 511-526.
 - Gallagher T.-M. et Sheldon N.-D., 2013. A new paleothermometer for forest paleosols and its implications for Cenozoic climate. *Geology*, 41(6), 647-650.
 - Gradstein F.-M., Ogg J.-G., Schmitz M.-D. et Ogg G. M. (Eds.), 2012. *The geologic time scale 2012*. Elsevier.
 - Gradstein F.-M., Ogg J.-G., Smith A.-G., Bleeker W. et Lourens L.-J., 2004. A new geologic time scale, with special reference to Precambrian and Neogene. *Episodes*, 27(2), 83-100.
 - Hooker J.-J., Collinson M.-E. et Sille N.-P., 2004. Eocene-Oligocene mammalian faunal turnover in the Hampshire Basin, UK: calibration to the global time scale and the major cooling event. *Journal of the Geological Society*, 161(2), 161-172.
 - Hren M.-T., Sheldon N.-D., Grimes S.-T., Collinson M.-E., Hooker J.-J., Bugler M. et Lohmann K.-C., 2013. Terrestrial cooling in Northern Europe during the Eocene-Oligocene transition. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(19), 7562-7567.
 - Hutchinson D.-K., Coxall H.-K., Lunt D.-J., Steinhorsdottir M., De Boer A.-M., Baatsen M., ... et Zhang Z., 2021. The Eocene-Oligocene transition: a review of marine and terrestrial proxy data, models and model-data comparisons. *Climate of the Past*, 17(1), 269-315.
 - Illies J.-H., Rothé J.-P. et Sauer K., 1967. Development and tectonic pattern of the Rhinegraben. *The Rhinegraben Progress Report. Abh geol Landesamt Baden-Württemberg*, 6, 7-9.
 - Kennedy A.-T., Farnsworth A., Lunt D.-J., Lear C.-H. et Markwick P.-J., 2015. Atmospheric and oceanic impacts of Antarctic glaciation across the Eocene-Oligocene transition. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 373(2054), 20140419.
 - Kennett J.-P. et Shackleton N.-J., 1976. Oxygen isotopic evidence for the development of the psychrosphere 38 Myr ago. *Nature*, 260(5551), 513-515.
 - Kohn M.-J., Josef J.-A., Madden R., Kay R., Vucetich G. et Carlini A.-A., 2004. Climate stability across the Eocene-Oligocene transition, southern Argentina. *Geology*, 32(7), 621-624.
 - Kohn M.-J., Strömberg C.-A., Madden R.-H., Dunn R.-E., Evans S., Palacios A. et Carlini A.-A., 2015. Quasi-static Eocene-Oligocene climate in Patagonia promotes slow faunal evolution and mid-Cenozoic global cooling. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 435, 24-37.
 - Kooi H., Cloetingh S. et Burrus J., 1992. Lithospheric necking and regional isostasy at extensional basins 1. Subsidence and gravity modeling with an application to the Gulf of Lions margin (SE France). *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 97(B12), 17553-17571.
 - Korasidis V.-A., Wallace M.-W., Wagstaff B.-E. et Hill R.-S., 2019. Terrestrial cooling record through the Eocene-Oligocene transition of Australia. *Global and Planetary Change*, 173, 61-72.
 - Krohe A. et Eisbacher G.-H., 1988. Oblique crustal detachment in the Variscan Schwarzwald, southwestern Germany. *Geologische Rundschau*, 77(1), 25-43.
 - Ladant J.-B., Donnadiou Y., Lefebvre V. et Dumas C., 2014. The respective role of atmospheric carbon dioxide and orbital parameters on ice sheet evolution at the Eocene-Oligocene transition. *Paleoceanography*, 29(8), 810-823.
 - Lavoyer T., 2013. *Paléontologie et stratigraphie de la partie nord du fossé rhénan supérieur moyen au cours du Paléogène : relations entre le système du rift, les transgressions marines et le paléoclimat*.
 - Lear C.H. et Williams M., 2007. Mg/Ca palaeothermometry: a new window into Cenozoic climate change. *Deep-time perspectives on climate change: marrying the signal from computer models and biological proxies*, 313-312.
 - Lear C.-H., Bailey T.-R., Pearson P.-N., Coxall H.-K. et Rosenthal Y., 2008. Cooling and ice growth across the Eocene-Oligocene transition. *Geology*, 36(3), 251-254.
 - Lear C.-H., Mawbey E.-M. et Rosenthal Y., 2010. Cenozoic benthic foraminiferal Mg/Ca and Li/Ca records: toward unlocking temperatures and saturation states. *Paleoceanography*, 25(4).
 - Lear C.-H., Rosenthal Y., Coxall H.-K. et Wilson P.-A., 2004. Late Eocene to early Miocene ice sheet dynamics and the global carbon cycle. *Paleoceanography*, 19(4).
 - Liu Z., Pagani M., Zinniker D., DeConto R., Huber M., Brinkhuis H., ... et Pearson A., 2009. Global cooling during the Eocene-Oligocene climate transition. *Science*, 323(5918), 1187-1190.
 - Livermore R., Hillenbrand C.-D., Meredith M. et Eagles G., 2007. Drake Passage and Cenozoic climate: an open and shut case?. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 8(1).
 - Macphail M., 2007. *Australian palaeoclimates: Cretaceous to Tertiary a review of palaeobotanical and related evidence to the year 2000*. CRC LEME.
 - Martin H.-A., 2006. Cenozoic climatic change and the development of the arid vegetation in Australia. *Journal of Arid Environments*, 66(3), 533-563.
 - Martini E., 1990. The Rhinegraben system, a connection between northern and southern seas in the European Tertiary. *Veröffentlichungen aus dem Übersee-Museum Bremen A*, 10, 83-98.
 - McInerney F.-A. et Wing S.L., 2011. The Paleocene-Eocene Thermal Maximum: A perturbation of carbon cycle, climate, and biosphere with implications for the future. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 39, 489-516.

- Mudelsee M., Bickert T., Lear C.-H. et Lohmann G., 2014. Cenozoic climate changes: A review based on time series analysis of marine benthic $\delta^{18}O$ records. *Reviews of Geophysics*, 52(3), 333-374.
- Nocchi M., Parisi G., Monaco P., Monechi S., Madile M., Napoleone G., ... et Bice D.-M., 1986. The Eocene-Oligocene boundary in the Umbrian pelagic sequences, Italy. In *Developments in Palaeontology and Stratigraphy* (Vol. 9, pp. 25-40). Elsevier.
- Pancost R.-D., 2017. Climate change narratives. *Nature Geoscience*, 10(7), 466-468.
- Pearson P.-N., Foster G.-L. et Wade B.-S., 2009. Atmospheric carbon dioxide through the Eocene-Oligocene climate transition. *Nature*, 461(7267), 1110-1113.
- Peck V.L., Yu J., Kender S. et Riesselman C.-R., 2010. Shifting ocean carbonate chemistry during the Eocene-Oligocene climate transition: Implications for deep-ocean Mg/Ca paleothermometry. *Paleoceanography*, 25(4).
- Pekar S.-F., Christie-Blick N., Kominz M.-A. et Miller K.-G., 2002. Calibration between eustatic estimates from backstripping and oxygen isotopic records for the Oligocene. *Geology*, 30(10), 903-906.
- Pound M.J. et Salzmann U., 2017. Heterogeneity in global vegetation and terrestrial climate change during the late Eocene to early Oligocene transition. *Scientific Reports*, 7(1), 1-12.
- Pusz A.-E., Thunell R.-C. et Miller K.-G., 2011. Deep water temperature, carbonate ion, and ice volume changes across the Eocene-Oligocene climate transition. *Paleoceanography*, 26(2).
- Rauscher R. et Schuler M., 1988. Les Dinokystes, des témoins d'influences marines dans le Paléogène d'Alsace. *Bulletin des centres de recherches exploration-Production Elf-Aquitaine*, 12(1), 405-425.
- Raymo M.-E. et Ruddiman W.-F., 1992. Tectonic forcing of late Cenozoic climate. *Nature*, 359(6391), 117-122.
- Ridgway K.-D. et Sweet A.-R., 1995. Climatically induced floristic changes across the Eocene-Oligocene transition in the northern high latitudes, Yukon Territory, Canada. *Geological Society of America Bulletin*, 107(6), 676-696.
- Roussé S., 2006. *Architecture et dynamique des séries marines et continentales de l'oligocène moyen et supérieur du sud du fossé rhénan : Évolution des milieux de dépôt en contexte de rift en marge de l'avant-pays alpin* (Doctoral dissertation, Université Louis Pasteur (Strasbourg) (1971-2008)).
- Ruddiman W.-F., Raymo M.E., Prell W.-L. et Kutzbach J.-E., 1997. The uplift-climate connection: a synthesis. In *Tectonic uplift and climate change* (pp. 471-515). Springer, Boston, MA.
- Schuler M., 1983. Pollens et spores des séries salifères (Éocène/Oligocène) du bassin potassique de Mulhouse (France). Relations entre la microflore et les dépôts évaporitiques. *Sciences Géologiques, bulletins et mémoires*, 36(4), 255-265.
- Schuler M., 1988. *Environnements et paléoclimats paléogènes. Palynologie et biostratigraphie de l'Éocène et de l'Oligocène inférieur dans les fossés rhénan, rhodanien et de hesse* (Doctoral dissertation, Strasbourg 1).
- Schumacher M.-E., 2002. Upper Rhine Graben: role of preexisting structures during rift evolution. *Tectonics*, 21(1), 6-1.
- Silva I.-P. et Jenkins D.-G., 1993. Decision on the Eocene-Oligocene boundary stratotype. *Episodes Journal of International Geoscience*, 16(3), 379-382.
- Sissingh W., 1998. Comparative tertiary stratigraphy of the Rhine Graben, Bresse Graben and Molasse Basin: correlation of Alpine foreland events. *Tectonophysics*, 300(1-4), 249-284.
- Sissingh W., 2006. Syn-kinematic palaeogeographic evolution of the West European Platform: correlation with Alpine plate collision and foreland deformation. *Netherlands Journal of Geosciences/Geologie en Mijnbouw*, 85(2), 131-180.
- Sittler C., 1965. *Le Paléogène des fossés rhénan et rhodanien. Études sédimentologiques et paléoclimatiques* (Vol. 24, No. 1). Persée-Portail des revues scientifiques en SHS.
- Stehlin H.-G., 1910. Remarques sur les faunules de Mammifères des couches éocènes et oligocènes du Bassin de Paris. *Bulletin de la Société Géologique de France*, vol. 4, no 9, 1910, p. 488-520.
- Strömberg C.-A., Dunn R.-E., Madden R.-H., Kohn M.-J. et Carlini A.-A., 2013. Decoupling the spread of grasslands from the evolution of grazer-type herbivores in South America. *Nature communications*, 4(1), 1-8.
- Sun J., Ni X., Bi S., Wu W., Ye J., Meng J. et Windley B.-F., 2014. Synchronous turnover of flora, fauna and climate at the Eocene-Oligocene Boundary in Asia. *Scientific Reports*, 4(1), 1-6.
- Tierney J.-E., Poulsen C.-J., Montañez I.-P., Bhattacharya T., Feng R., Ford H.-L., ... et Zhang Y.-G., 2020. Past climates inform our future. *Science*, 370(6517).
- Toumoulin A., Tardif D., Donnadieu Y., Licht A., Ladant J.-B., Kunzmann L. et Dupont-Nivet G., 2021. Evolution of continental temperature seasonality from the Eocene greenhouse to the Oligocene icehouse-A model-data comparison. *Climate of the Past Discussions*, 1-30.
- Tramoy R., Salpin M., Schnyder J., Person A., Sebilo M., Yans J., ... et Bauer H., 2016. Stepwise palaeoclimate change across the Eocene-Oligocene transition recorded in continental NW Europe by mineralogical assemblages and $\delta^{15}N_{org}$ (Rennes Basin, France). *Terra Nova*, 28(3), 212-220.
- Wickert F. et Eisbacher G.-H., 1988. Two-sided Variscan thrust tectonics in the Vosges Mountains, northeastern France. *Geodinamica Acta*, 2(3), 101-120.
- Wing S.-L., 1987. Eocene and Oligocene floras and vegetation of the Rocky Mountains. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 748-784.
- Yancey T.-E., Elsik W.-C., Sancay R.-H., Prothero D.-R., Ivany L.-C. et Nesbitt E.-A., 2003. The palynological record of late Eocene climate change, northwest Gulf of Mexico. *From Greenhouse to Icehouse-the marine Eocene-Oligocene transition*, 252-268.
- Zachos J., Pagani M., Sloan L., Thomas E. et Billups K., 2001. Trends, rhythms, and aberrations in global climate 65 Ma to present. *Science*, 292(5517), 686-693.
- Zanazzi A., Kohn M.-J., MacFadden B.-J. et Terry D.-O., 2007. Large temperature drop across the Eocene-Oligocene transition in central North America. *Nature*, 445(7128), 639-642.
- Ziegler P.-A., 1990. Collision related intra-plate compression deformations in Western and Central Europe. *Journal of Geodynamics*, 11(4), 357-388.
- Ziegler P.-A., 1992. European Cenozoic rift system. *Tectonophysics*, 208(1-3), 91-111.

La géothermie profonde dans le Fossé rhénan supérieur, des années 80 à aujourd'hui

Eléonore Dalmais, Albert Genter, John Reinecker et Béatrice Pandélis.

Références bibliographiques

- Baujard C., Genter A., Dalmais E., Maurer V., Hehn R., Rosillette R., Vidal J. et Schmittbuhl J., 2017. Hydrothermal characterization of wells GRT-1 and GRT-2 in Rittershoffen, France: Implications on the understanding of natural flow systems in the rhine graben, *Geothermics* 25, 255-268. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2016.11.001>
- Bosia C., Kaymakci E., Koelbel T., Sanjuan B., Gourcerol B. et Millot R., 2021. La valorisation du lithium issu des eaux géothermales : le cas du Fossé rhénan, "Géologues" 210, Septembre 2021.
- Douziech M., Ravier G., Jolivet R., Perez Lopez P. et Blanc I., 2020. How Far Can Life Cycle Assessment Be Simplified? A Protocol to Generate Simple and Accurate Models for the Assessment of Energy Systems and Its Application to Heat Production from Enhanced Geothermal Systems, *Environmental Science & Technology* 2021, 55, 11, 7571-7578. <https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acs.est.0c06751>.
- Edel J.B., Maurer V., Dalmais E., Genter A., Richard A., Letourneau O. et Hehn R., 2018. Structure and nature of the Paleozoic basement of the Central Upper Rhine Graben derived from new and old magnetic, gravimetric and seismic investigations. Zoom on the deep geothermal project of Illkirch-Graffenstaden (S. of Strasbourg, France). *Geothermal Energy Journal*, 6:13. <https://doi.org/10.1186/s40517-018-0099-y>.
- Gaucher E. et Maurer V., 2021. Évolution du suivi sismique des sites géothermiques en exploitation dans le Fossé rhénan supérieur, "Géologues" 210, Septembre 2021.
- Genter A., Evans K., Cuenot N., Fritsch D. et Sanjuan B., 2010. Contribution of the exploration of deep crystalline fractured reservoir of Soultz to the knowledge of enhanced geothermal systems (EGS). *Comptes Rendus Geoscience, Vers l'exploitation des ressources géothermiques profondes des systèmes hydrothermaux convectifs en milieux naturellement fracturés* 342, 502-516. <https://doi.org/10.1016/j.crte.2010.01.006>
- Gerard A. et Kappelmeyer O., 1987. The Soultz-sous-Forets project. *Geothermics* 16, 393-399. [https://doi.org/10.1016/0375-6505\(87\)90018-6](https://doi.org/10.1016/0375-6505(87)90018-6)
- Glaas C., 2021a. Mineralogical and structural controls on permeability of deep naturally fractured crystalline reservoirs. Insights from geothermal wells (upper Rhine graben). *Thèse de doctorat, Université de Strasbourg*, 2021.
- Glaas C., Patrier P., Vidal J., Beaufort D. et Genter A., 2021b. Clay mineralogy: a signature of granitic geothermal reservoirs of central Upper Rhine Graben, *Minerals*, 11, 479. <https://doi.org/10.3390/min11050479>
- Housse B.A., 1984. Reconnaissance du potentiel géothermique du Buntsandstein à Strasbourg-Cronembourg. *Géothermie Actualités* 1, 1984, 36-41.
- Kölbl L., Kölbl T., Maier U. et al., 2020. Water-rock interactions in the Bruchsal geothermal system by U-Th series radionuclides. *Geotherm Energy* 8, 24. <https://doi.org/10.1186/s40517-020-00179-4>
- Maurer V., Aichholzer C., Richard A., Harle P., Hehn R., Genter A. et Düringer Ph., 2018. Geothermal reservoir temperature estimation derived from gradient wells in a continental rift context (Upper Rhine Graben). *Stanford Geothermal Workshop 2018*, Stanford, California, USA, 12-14 February 2018.
- Meixner J., Schill E., Grimmer J.C., Gaucher E., Kohl T. et Klingler Ph., 2016. Structural Control of Geothermal Reservoirs in Extensional Tectonic Settings: An Example from the Upper Rhine Graben. *Journal of Structural Geology*, 82, 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2015.11.003>
- Reinecker J., Hochschild T., Kraml M., Löschan G. et Kreuter H., 2019. Experiences and challenges in geothermal exploration in the Upper Rhine Graben. *European Geothermal Congress 2019*, Den Haag, The Netherlands, 11-14 June 2019.
- Sanjuan B., Millot R., Innocent Ch., Dezayes Ch., Scheiber J. et Brach M., 2016. Major geochemical characteristics of geothermal brines from the Upper Rhine Graben granitic basement with constraints on temperature and circulation. *Chemical Geology* 428, 27-47. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2016.02.021>
- Schmittbuhl J., Lambotte S., Lengliné O., Grunberg M., Jund H., Vergne J., Cornet F., Doubre C. et Masson F., 2021. Induced and triggered seismicity below the city of Strasbourg, France from November 2019 to January 2021, *C. R. Géoscience*, Online first, 5th August 2021. <https://doi.org/10.5802/crgeos.71>
- Vidal J., Genter A., Düringer P. et Schmittbuhl J., 2015. Natural Permeability in Fractured Triassic Sediments of the Upper Rhine graben from Deep Geothermal Boreholes. *Proceedings World Geothermal Congress 2015*. Melbourne, Australia, 19-25 April 2015.
- Vidal J. et Genter A., 2018. Overview of naturally permeable fractured reservoirs in the Upper Rhine Graben: insights from geothermal wells, *Geothermics* 74, July 2018, 57-73. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2018.02.003>

La valorisation du lithium issu des eaux géothermales : le cas du Fossé rhénan

Clio Bosia, Elif Kaymakci, Thomas Koelbel, Bernard Sanjuan, Blandine Gourcerol et Romain Millot.

Bibliographie web

- Bosia C., Mouchot J., Ravier G., Seibt A., Jähnichen S., Degeering D., Scheiber J., Dalmais E., Baujard C. et Genter A., 2021. Evolution of Brine Geochemical Composition during Operation of EGS Geothermal Plants (Alsace, France). Proceedings, 46th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford University, Stanford, California.
- Eramet, 2021. Eramet et Électricité de Strasbourg (ÉS) annoncent le succès du premier pilote pour l'extraction de lithium à partir de saumure géothermale en Alsace. Communiqué de presse. <https://www.eramet.com/sites/default/files/2021-05/Eramet-ES-CP-EuGeLi-11052021.pdf>
- Gourcerol B., Gloaguen E., Melleton J., Tuduri J. et Galiegue X., 2019. Re-assessing the European lithium resource potential. A review of hard-rock resources and metallogeny. *Ore Geology Reviews*, 109, 494-519.
- Gourcerol B., Sanjuan B., Millot R., Rettenmaier D., Jeandel E., Genter A., Bosia C. et Rombaut A., 2021. Atlas of lithium geothermal fluids in Europe. *Terra Nova* (accepted manuscript).
- IFP Énergies Nouvelles, 2018. Quelle criticité du lithium dans un contexte d'électrification du parc automobile mondial. *Connaissances des Énergies*. https://www.connaissance-desenergies.org/sites/default/files/pdf-actualites/18-panorama-2018_vf_criticitelithium.pdf
- Mouchot J., Genter A., Cuenot N., Scheiber J., Seibel O., Bosia C. et Ravier G., 2018. First Year of Operation from EGS geothermal Plants in Alsace, France: Scaling Issues. PROCEEDINGS, 43rd Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford University, Stanford, California.
- NS Energy, 2020. Profiling the top six lithium-producing countries in the world. <https://www.nsenerybusiness.com/features/top-lithium-producing-countries/~:text=1,lithium,%20as%20well%20as%20aluminium.>
- Kavanagh L., Keohane J., Cabellos G.G., Lloyd A. et Cleary J., 2018. Global Lithium Sources - Industrial Use and Future in the Electric Vehicle Industry: A Review. *Resources* 2018, 7, 57.
- Kesler S.E., Gruber P.W., Medina P.A., Keoleian G.A., Everson M.P. et Wallington T.J., 2012. Global lithium resources: relative importance of pegmatite, brine and other deposits. *Ore Geology Reviews*, Vol. 48, 55-69.
- Pauwels H., Lambert M. et Genter A., 1991. Valorisation des fluides géothermaux contenant du lithium en vue d'une production industrielle. Rapport BRGM-IMRG R 33547, 173 p. + annexes.
- Projet EuGeLi (European Geothermal Lithium Brine). <https://www.eramet.com/fr/activites/innover-concevoir/projet-eugeli>
- Projet Thermo'Li (Valorisation de eaux géothermales par extraction de sels de lithium). <https://www.geothermies.fr/comprendre/innovation/les-projets/2019-2021-thermali-valorisation-des-eaux-geothermales-par-extraction-des-sels-de-lithium>
- Projet Unlimited (Investigations into lithium production from hot deep waters in Germany) <https://www.geothermal-lithium.org/en>
- Roskill, 2020. Lithium: Outlook to 2030, 17th Edition. Report. <https://roskill.com/market-report/lithium>
- Sanjuan B., Millot R., Innocent Ch., Dezayes Ch., Scheiber J., Brach M., 2016. Main geochemical characteristics of geothermal brines collected from the granite basement in the Upper Rhine Graben and constraints on their deep temperature and circulation. *Chemical Geology*, 428, 27-47.
- Sanjuan B., Gourcerol B., Millot R., Rettenmaier D., Jeandel E., Rombaut A., 2021. Main chemical and isotopic characteristics of geothermal lithium-rich brines in Europe. Submitted to *Geothermics*.
- Stringfellow W.T. et Dobson P.F., 2021. Technology for Lithium Extraction in the Context of Hybrid Geothermal Power. Proceedings, 46th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford University, Stanford, California, 2021.
- Vulcan Energy Resources, 2021. Positive PFS & Maiden JORC Ore Reserve: Zero Carbon Lithium® Project. Communiqué ASX du 15 janvier 2021.
- Warren I., 2021. Techno-Economic Analysis of Lithium Extraction from Geothermal Brines. National Renewable Energy Laboratory. NREL/TP-5700-79178. <https://www.nrel.gov/docs/fy21osti/799178.pdf>

Les gisements métalliques des Vosges et leurs relations avec l'histoire régionale : un aperçu bibliographique

C. Marignac.

Références complètes

- Altherr R. et Kalt A., 1996. Metamorphic evolution of ultra-high-pressure garnet peridotites from the Variscan Vosges Mts.(France). *Chemical Geology*, 134(1-3), 27-47.
- Altherr R., Holl A., Hegner E., Langer C. et Kreuzer H., 2000. High-potassium, calc-alkaline I-type plutonism in the European Variscides: northern Vosges (France) and northern Schwarzwald (Germany). *Lithos*, 50, 51-73.
- Bossennec C., Géraud Y., Böcker J., Klug B., Mattioni L., Sizun J.-P., Sudo M. et Moretti I., 2021. Evolution of diagenetic conditions and burial history in Buntsandstein Gp. fractured sandstones (Upper Rhine Graben) from in-situ $\delta^{18}\text{O}$ of quartz and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology of K⁺feldspar overgrowths. *International Journal of Earth Sciences*, <https://doi.org/10.1007/s00531-021-02080-2>.
- Brander T., 2000. U/He-chronologische Fallstudien an Eisen- und Manganerzen. PhD, Universität Heidelberg, 226 pp.
- Clauer N., Liewig N., Ledesert B. et Zwingmann H., 2008. Thermal history of Triassic sandstones from the Vosges Mountains-Rhine Graben rifting area, NE France, based on K-Ar illite dating. *Clay Minerals*, 43, 363-379.
- Dekoninck A., Rochez G. et Yans J., 2017. Mineralizing events in the Vosges massif: insights from the Mn-W Haut-Poirot deposit (NE France). *Proceedings 14th SGA Biennial Meeting*, 4, 1519-1522.
- Domergue C. et Héral C.-G., 1999. Conditions de gisement et exploitation antique à Las Médulas (León, Espagne). *L'or dans l'Antiquité, Aquitania Supplément*, pp. 93-116, documentation.ird.fr.
- Edel J.-B., 1997. Les réaimantations post-permiennes dans le bassin dévono-dinartien des Vosges méridionales: existence d'une phase de réaimantation au Lias, contemporaine de minéralisations d'ampleur régionale. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris*, 324, 11a, 617-624.
- Edel J.-B., Schulmann K. et Rotstein Y., 2007. The Variscan tectonic inheritance of the Upper Rhine Graben: evidence of reactivations in the Lias, Late Eocene-Oligocene up to the recent. *International Journal of Earth Sciences (Geologische Rundschau)*, 95, 305.
- Elsass P., von Eller J.-P. et Stussi J.-M., 2008. Géologie du massif du Champ du Feu et de ses abords. *Éléments de notice pour la feuille géologique 307 Sélestat. Rapport BRGM/RP-56088-FR*, 184 pp.
- Epp T., Walter B.-F., Scharrer M., Lehmann G., Henze K., Heimgärtner C., Bach W. et Mark G., 2019. Quartz veins with associated Sb-Pb-Ag±Au mineralization in the Schwarzwald, SW Germany: a record of metamorphic cooling, tectonic rifting, and element remobilization processes in the Variscan belt. *Mineralium Deposita*, 54, 281-306.
- Fluck P., 1972. Les gîtes minéraux dans le département du Haut-Rhin. *Sciences Géologiques, Bulletin*, 25, 137-149.
- Geldron A., 1987. Genèse et contexte magmatique des stockworks à molybdénite de la chaîne hercynienne française. Étude comparée des gisements à Mo-W de Breitenbach (Bas-Rhin), à Mo-Cu de Beauvain (Orne) et à Mo-W-Sn-Ag-Sb-Bi de la Rousselière (Loire Atlantique). *Thèse Université Orléans*, 436 pp.
- Gigoux M., Delpech G., Guerrot C., Pagel M., Augé T, Négrel P. et Brigaud B., 2015. Evidence for an Early Cretaceous mineralizing event above the basement/sediment unconformity in the intracratonic Paris Basin: paragenetic sequence and Sm-Nd dating of the world-class Pierre-Perthuis stratabound fluorite deposit. *Mineralium Deposita*, 50, 455-463.
- Grimbert A. et Carlier A., 1957. Les schistes uranifères du versant alsacien des Vosges moyennes. *Rapport CEA 634*, 40 pp.
- Guillot F., Averbuch O., Dubois M., Durand C., Lanari P. et Gauthier A., 2020. Zircon age of vaugnerite intrusives from the Central and Southern Vosges crystalline massif (E France): contribution to the geodynamics of the European Variscan belt. *Bulletin de la Société Géologique de France/Earth Sciences Bulletin*, 191, 26.
- Hameurt J., 1967. Les terrains cristallins et cristallophylliens du versant occidental des Vosges moyennes. *Mémoires du Service de la carte géologique d'Alsace et de Lorraine*, 26, 1-386.
- Ielsch G., Cuney M., Buscail F., Rossi F., Leon A., Cushing M.-E., 2017. Estimation and mapping of uranium content of geological units in France. *Journal of Environmental Radioactivity*, 166, 210-219.
- Lenoir L., Blaise T., Somogyi A., Brigaud B., Barbarand J., Boukari C., Nouet J., Brézard-Oudot A. et Pagel M., 2021. Uranium incorporation in fluorite and exploration of U-Pb dating. *Geochronology*, 3, 199-227.
- Lheur C. et Moreau F., 1994. Les Minéralisations du filon du Bas Hérival près du Val d'Ajol (Vosges).
- Lougnon J., 1974. Contribution à l'étude d'un gisement stratiforme de fluorine encaissé dans le Permien supérieur de la dépression de Saint-Dié (Vosges, France). *Sciences Géologiques, bulletins et mémoires*, 27, 195-217.
- Lougnon J., 1985. Contribution à la connaissance de la géologie de la région Vosges-Alsace-Moselle après 14 années de prospection de la part du BRGM Bureau de Recherches Géologiques et Minières, 85 DAM 038 O4, 567 pp.
- Meary A., 1983. Étude par résonance paramagnétique électronique et activation neutronique du comportement d'ions

- lanthanides dans la fluorine. Application à l'étude géochimique des filons de Montroc et du Burc (Tarn). PhD Université Grenoble, 116 pp.
- Nicourt B., 1983. Les filons à fluorine et barytine des Vosges méridionales. Rapport du BRGM 83 SGN 709 GMX, 36 pp.
 - Pagel M., 1982. The mineralogy and geochemistry of uranium, thorium, and rare-earth elements in two radioactive granites of the Vosges, France. *Mineralogical Magazine*, 46, 149-161.
 - Pagel M. et Ruhlmann F., 1979. Minéralogie et inclusions fluides dans les formations filoniennes minéralisées (Cu, Mo, Ag, U) du secteur de Château-Lambert (Vosges méridionales). *Bulletin de Minéralogie*, 102, 654-664.
 - Pfaff K., Romer R.-L. et Markl G., 2009. U-Pb ages of ferberite, chalcidony, agate, 'U-mica' and pitchblende: constraints on the mineralization history of the Schwarzwald ore district. *European Journal of Mineralogy*, 21, 817-836.
 - Picot P., Ruhlmann F., 1978. Présence d'arséniures de cuivre de haute température dans le granite des Ballons (Vosges méridionales). *Bulletin de Minéralogie*, 101, 563-569.
 - Potel S., Maison T., Maillet M., Sarr A.-C., Doublier M.-P., Trullenque G. et Mählmann R.-F., 2016. Reliability of very low-grade metamorphic methods to decipher basin evolution: Case study from the Markstein basin (Southern Vosges, NE France). *Applied Clay Science*, 134, 175-185.
 - Romer R.-L. et Kroner U., 2015. Sediment and weathering control on the distribution of Paleozoic magmatic tin-tungsten mineralization. *Mineralium Deposita*, 50, 327-338.
 - Ruhlmann F., 1978. Une paragenèse bismuthifère dans les filons de la mine d'Engelsbourg (Sainte-Marie-aux-Mines, Vosges). *Bulletin de Minéralogie*, 101, 570-572.
 - Ruhlmann F., 1979. Étude métallogénique des minéralisations à Cu-Mo, Cu-As et Cu-Bi des Vosges méridionales : cas particulier de la haute vallée de la Doller. *Sciences Géologiques Bulletin*, 32, 107-115.
 - Schlegel A., Brockamp O. et Clauer N., 2007. Response of clastic sediments to episodic hydrothermal fluid flows in intramontane troughs: A case study from Black Forest. *European Journal of Mineralogy*, 19, 833-848.
 - Schleicher A.-M., Warr L.-N., Kober B., Laverret E. et Clauer N., 2006. Episodic mineralization of hydrothermal illite in the Soultz-sous-Forêts granite (Upper Rhine Graben, France). *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 152, 349-354.
 - Skrzypek E., Stipska P. et Cocherie A., 2012a. The origin of zircon and the significance of U-Pb ages in high-grade metamorphic rocks: a case study from the Variscan orogenic root (Vosges Mountains, NE France). *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 164, 935-957.
 - Skrzypek E., Tabaud A.-S., Edel J.-B., Schulmann K., Cocherie A., Guerrot C., Rossi P., 2012b. The significance of Late Devonian ophiolites in the Variscan orogen: a record from the Vosges Klippen Belt. *International Journal Earth Sciences (Geologische Rundschau)*, 101, 951-972.
 - Skrzypek E., Schulmann K., Tabaud A.-S. et Edel J.-B., 2014. Palaeozoic evolution of the Variscan Vosges Mountains. In: Schulmann K., Martinez Catalan J.-R., Lardeaux J.-M., Janousek V. et Oggiano G. (eds), *The Variscan Orogeny: Extent, Timescale and the Formation of the European Crust*. Geological Society, London, Special Publications, 405, 45-75.
 - Soder C.-G. et Romer R.-L., 2018. Post-collisional Potassic-Ultrapotassic Magmatism of the Variscan Orogen: Implications for Mantle Metasomatism during Continental Subduction. *Journal of Petrology*, 59, 100-1034.
 - Steiner B.-M., 2019. W and Li-Cs-Ta geochemical signatures in I-type granites - A case study from the Vosges Mountains, NE France. *Journal of Geochemical Exploration*, 197, 238-250.
 - Steiner B.-M., Rollinson G.-K. et Condron J.-M., 2019. An Exploration Study of the Kagenfels and Natzwiller Granites, Northern Vosges Mountains, France: A Combined Approach of Stream Sediment Geochemistry and Automated Mineralogy. *Minerals*, 9, 750, doi:10.3390/min9120750.
 - Tabaud A.-S., 2012. Le magmatisme des Vosges: conséquence des subductions paléozoïques (datation, pétrologie, géochimie, ASM). These Doctorat Université de Strasbourg, 211 pp.
 - Tabaud A.-S., Janoušek V., Skrzypek E., Schulmann K., Rossi P., Whitechurch H., Guerrot C. et Paquette J.-L., 2014. Chronology, petrogenesis and heat sources for successive Carboniferous magmatic events in the Southern-Central Variscan Vosges Mts (NE France). *Geological Society, London, Special Publication* 405, 197-223.
 - Tooth B., Brugger J., Ciobanu C. et Liu W.-H., 2013. Modeling of gold scavenging by bismuth melts coexisting with hydrothermal fluids. *Geology* 36:815-818.
 - von Eller J.-P. et Weil R., 1962. Les gîtes métallifères de la région de Sainte-Marie-aux-Mines (Haut-Rhin). *Bulletin du Service de la carte géologique d'Alsace et de Lorraine*, 15, 69-80.
 - von Eller J.-P., Fluck P., Hameurt J. et Ruhland M., 1972. Présentation d'une carte structurale du socle vosgien. *Sciences Géologiques, Bulletin*, 25, 3-20.
 - Walter B.-F., Gerdes B., Kleinhanns I.-C., Dunkl I., von Eynatten H., Kreissl S. et Markl G., 2018. The connection between hydrothermal fluids, mineralization, tectonics and magmatism in a continental rift setting: Fluorite Sm-Nd and hematite and carbonates. *Geochimica Cosmochimica Acta*, 240, 11-42.
 - Wernicke R.-S. et Lippolt H.-J., 1997. (U+Th)-He evidence of Jurassic continuous hydrothermal activity in the Schwarzwald basement, Germany. *Chemical Geology*, 138, 273-285.