

## **Évaluation de la stabilité quaternaire des reliefs de moyenne altitude en contexte de faible déformation par des analyses morphométriques et géochimiques (le cas des Vosges)**

### Contacts:

Jérôme van der Woerd ([jerome.vanderwoerd@unistra.fr](mailto:jerome.vanderwoerd@unistra.fr)),  
Anne-Sophie Mériaux ([anne-sophie.meriaux@unistra.fr](mailto:anne-sophie.meriaux@unistra.fr)),  
François Chabaux ([francois.chabaux@unistra.fr](mailto:francois.chabaux@unistra.fr))

Laboratoire : Institut Terre et Environnement de Strasbourg ITES, Strasbourg France. Equipes Déformation Active et Biogéochimie ISotopique et Expérimentale.

L'origine et le maintien de la topographie des montagnes européennes de moyennes altitudes, comme les Vosges ou la Forêt-Noire, localisées dans des zones de déformations tectoniques dites faibles avec une sismicité modérée et des impacts limités et localisés des glaciations du Quaternaire, reste aujourd'hui mal comprise. Dans les Vosges, les reliefs de ces massifs sont classiquement associés à la formation du graben du Rhin dont les épisodes tectoniques paroxysmaux sont bien connus à l'Oligo-Miocène, mais où l'activité sismique récente semble trop faible pour expliquer le maintien de tels reliefs. Cette contradiction résulte-t-elle d'une méconnaissance de la sismicité récente (<10ka) du fossé Rhénan en raison de la compétition entre le temps long de retour des séismes et notre mémoire historique courte, ou encore de la disparition des traces de l'activité sismique récente du fossé Rhénan du fait d'une érosion importante ou de la modification récente des paysages par l'anthropisation importante des piémonts ? Ou est-ce un constat réel qui traduit des reliefs qui ne se forment plus aujourd'hui et seraient donc en cours de destruction ? La question qui se pose aujourd'hui est celle du degré de stabilité des reliefs des montagnes comme les Vosges ou la Forêt Noire.

Dans ce contexte le projet de thèse proposé vise à évaluer le degré de stabilité quaternaire de ces reliefs, c'est-à-dire d'évaluer si la topographie à l'échelle d'un massif comme les Vosges est à l'état d'équilibre dynamique ou au contraire si la topographie est en cours d'évolution durant l'histoire géologique récente.

Ce projet fait suite aux travaux récents menés sur le bassin versant amont du Strengbach (site de l'OHGE) dans les Vosges (Ackerer et al., 2016), qui ont montré que sur le Quaternaire récent, i.e. 20-150 ka, le relief pourrait être à l'état stationnaire, en cohérence avec des données plus anciennes acquises à l'échelle du massif de la Forêt Noire et sur des échelles de temps plus longues, i.e. sur le Miocène (Meyer et al., 2010). Cependant ces conclusions sont questionnées par les résultats préliminaires obtenus dans le cadre d'un stage de master (Bonne P. 2020) centré sur l'étude morphométrique de quelques rivières vosgiennes. Les résultats suggèrent en effet que les rivières du versant oriental du massif des Vosges ne seraient pas en état d'équilibre géomorphologique mais que leur profil reflète l'accommodation à des perturbations « récentes » dont l'origine et l'âge restent aujourd'hui à préciser.

Le/La doctorant(e) abordera ces questions par une approche multidisciplinaire combinant des analyses de la morphologie des bassins versants et des rivières à

partir de modèles numériques de terrain, de quantification des concentrations en isotope cosmogénique  $^{10}\text{Be}$  pour préciser des taux de dénudation à l'échelle des bassins et le long de transects au travers du massif des Vosges, et par la quantification des flux chimiques et particulaires le long de certaines rivières ciblées. L'ensemble des données associant spatialisation de la morphologie des rivières et des taux de dénudation des bassins versants sur des échelles de temps différentes, replacé dans un cadre tectonique, climatique et lithologique régional, permettra de mettre en évidence au moins au premier ordre la nature et/ou l'origine des déséquilibres observés (e.g., Montgomery et al., 2001 ; Kirby and Whipple, 2001 ; Mudd et al., 2014). Pour cela, il faudra discuter les paramètres contrôlant l'érosion de ces rivières comme la nature des lithologies drainées, les types de morphologies rencontrées (fluviales vs glaciaires) et l'influences des contextes climatiques et tectoniques locaux et régionaux. Ceci devrait permettre à cette étude de mieux comprendre les mécanismes, climatiques, tectoniques, érosifs, qui contrôlent et maintiennent les formes du relief des Vosges dans ce contexte de déformation lente tout en apportant de nouvelles informations sur les échelles de temps et l'amplitude des forçages.

Le/La doctorant(e) aura l'occasion de travailler avec ArcGIS, QGIS, Matlab, de programmer pour extraire des données topographiques pertinentes, mènera les sorties de terrain, fera des analyses géochimiques des eaux et des sédiments en laboratoire.

Ce projet est interdisciplinaire et transversal à plusieurs équipes de l'ITES impliquées dans l'étude des aléas naturels, de la dynamique des versants, de l'évolution des paysages, de la zone critique. Il sera mené en concertation avec des collègues du LIVE qui travaillent sur les thématiques de géomorphologie fluviale actuelle.

#### Références :

- Ackerer, J., Chabaux, F., Van der Woerd, J., Viville, D., Pelt, E., Kali, E., Lerouge, C., Ackerer, P., di Chiara Roupert, R., Nègre, P., Regolith evolution on the millennial timescale from combined U–Th–Ra isotopes and in situ cosmogenic  $^{10}\text{Be}$  analysis in a weathering profile (Strengbach catchment, France). *Earth and Planetary Science Letters* 453, 33-43, 2016.
- L'évolution des reliefs des Hautes Vosges orientales vue par l'incision des rivières, Pierre Bonne, mémoire de master GDT, 2020.
- Kirby, E. and Whipple, K., Quantifying differential rock-uplift rates via stream profile analysis, *Geology*, 29, 415–418, 2001.
- Meyer, H., R. Hetzel, B. Fügenschuh, H. Strauss, Determining the growth rate of topographic relief using in situ-produced  $^{10}\text{Be}$  : A case study in the Black Forest, Germany, *Earth and Planetary Science Letters*, 290, 391-402, 2010.
- Montgomery, D.R., G. Balco, S.D. Willet, Climate, tectonics, and the morphology of the Andes, *Geology*, 29;579-582, 2001.
- Mudd, S. M., Attal, M., Milodowski, D. T., Grieve, S. W., and Valters, D. A.: A statistical framework to quantify spatial variation in channel gradients using the integral method of channel profile analysis, *J. Geophys. Res.-Earth*, 119, 138–152, 2014.
- Proposition sujet de thèse 2021

# Evaluating the Quaternary stability of moderate elevation massifs in low strain context by morphometric and geochemical analysis (the Vosges mountains)

## Contact :

Jérôme van der Woerd ([jerome.vanderwoerd@unistra.fr](mailto:jerome.vanderwoerd@unistra.fr)),  
Anne-Sophie Mériaux ([anne-sophie.meriaux@unistra.fr](mailto:anne-sophie.meriaux@unistra.fr)),  
François Chabaux ([francois.chabaux@unistra.fr](mailto:francois.chabaux@unistra.fr))

Laboratory: Institut Terre et Environnement de Strasbourg ITES, Strasbourg, France.

## PhD proposal:

The build-up and preservation of mountain topography of middle elevation, like the Vosges or the Black Forest in eastern France, located in low tectonic strain areas with moderate seismicity and localized and limited Quaternary glaciation impacts, is presently poorly understood. In the Vosges, the massif topography is classically associated to the Rhine graben formation, which paroxysmal tectonic episodes are well known in the Oligo-Miocene, yet the recent seismic activity seems too low to explain the preservation of such topography. Is this the result of the poor knowledge of the recent (<10 ka) seismicity of the Rhine graben due to long recurrence time of earthquakes and our short historical memory, or from the loss of evidence of the seismic activity in the Rhine graben due to erosion, sedimentation or the active anthropization of the piedmonts ? Or is it evidence for a steady-state relief where growth and erosion balance each other? To help discriminate these end-models, one would need first to assess the stability of the mountain topography of these massifs such as the Vosges and the Black Forest.

In this context, the PhD project aims at evaluating the degree of stability of the relief over the Quaternary, i.e., evaluating if the topography at the scale of the Vosges is in a state of dynamic equilibrium or on the contrary, if the massif presents morphological signatures of transient states evolving during the recent geological history.

This research proposal is a follow up of the recent studies carried out in the upper catchment of the Strengbach river (site of OHGE, Observatoire Hydro-géochimique de l'Environnement, <http://ohge.unistra.fr/>) in the Vosges (Ackerer et al., 2016), which found that over the upper Quaternary, i.e., in the last 20-150 ka, the relief could be in steady state, in agreement with long-term data acquired at the scale of the Black Forest massif, i.e., over the Miocene (Meyer et al., 2010). However, these conclusions are questioned by preliminary results obtained during a Master's internship (Bonne P. 2020) looking at the morphometry of several rivers in the Vosges. The results suggest that the rivers on the eastern flank of the Vosges massif are in fact not in morphological equilibrium but undergoing transient response to recent perturbations, which origin and age need to be determined.

The PhD student will address these questions with a multidisciplinary approach combining morphometric analysis of the catchments and rivers based on high-resolution digital terrain model, cosmogenic-nuclide-derived denudation rates at the scale of the catchments and along transects crossing the Vosges massif, and by constraining chemical and river load fluxes along targeted rivers. This set of data combining the spatial distribution of river morphology and catchment denudation rates on various time scales, in the frame of regional tectonics, climate and lithology, will help unraveling the origin and nature of the observed disequilibrium (e.g., Montgomery et al., 2001 ; Kirby and Whipple, 2001 ; Mudd et al., 2014). To reach this goal, the parameters that control the river erosion, the nature of the incised lithology,

the various morphologies (fluvial or glacial), and the influence of local or regional climate and tectonics will be discussed. This study aims at better understanding the climatic, tectonic and erosional mechanisms that control and preserve the Vosges relief in a context of low deformation, while providing new information on the timing and strength of the forcing mechanisms.

The PhD student will be working with ArcGIS, QGIS, Matlab, handle codes to extract relevant topographic data, will conduct fieldwork, will participate in the geochemical analysis of water and sediment samples.

This project is interdisciplinary and transversal to the interest of several teams of ITES involved in the study of natural hazard, the catchment dynamics, the landscape evolution, the critical zone. It will be conducted in agreement with colleagues from the geography department (LIVE) involved in research topics including present fluvial geomorphology.

#### References:

- Ackerer, J., Chabaux, F., Van der Woerd, J., Viville, D., Pelt, E., Kali, E., Lerouge, C., Ackerer, P., di Chiara Roupert, R., Négrel, P., Regolith evolution on the millennial timescale from combined U–Th–Ra isotopes and in situ cosmogenic  $^{10}\text{Be}$  analysis in a weathering profile (Strengbach catchment, France). *Earth and Planetary Science Letters* 453, 33-43, 2016.
- L'évolution des reliefs des Hautes Vosges orientales vue par l'incision des rivières, Pierre Bonne, mémoire de master GDT, 2020.
- Kirby, E. and Whipple, K., Quantifying differential rock-uplift rates via stream profile analysis, *Geology*, 29, 415–418, 2001.
- Meyer, H., R. Hetzel, B. Fügenschuh, H. Strauss, Determining the growth rate of topographic relief using in situ-produced  $^{10}\text{Be}$  : A case study in the Black Forest, Germany, *Earth and Planetary Science Letters*, 290, 391-402, 2010.
- Montgomery, D.R., G. Balco, S.D. Willet, Climate, tectonics, and the morphology of the Andes, *Geology*, 29;579-582, 2001.
- Mudd, S. M., Attal, M., Milodowski, D. T., Grieve, S. W., and Valters, D. A.: A statistical framework to quantify spatial variation in channel gradients using the integral method of channel profile analysis, *J. Geophys. Res.-Earth*, 119, 138–152, 2014.