

# Kinematics and timing of alpine deformation in the Mont Blanc region (western Alps)

**Doctoral Thesis**

**Author(s):**

Egli, Daniel

**Publication date:**

2013

**Permanent link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-009913673>

**Rights / license:**

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#)

DISS. ETH NO. 21126

**KINEMATICS AND TIMING OF ALPINE DEFORMATION  
IN THE MONT BLANC REGION (WESTERN ALPS)**

A dissertation submitted to

ETH ZÜRICH

for the degree of

Doctor of Sciences

presented by

DANIEL EGLI

Master of Science in Earth Science  
University of Basel

Date of birth: 02.12.1983

citizen of Aesch (BL)

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Neil S. Mancktelow - ETH Zürich  
Prof. Dr. Jean-Pierre Burg - ETH Zürich  
Prof. Dr. Marco Herwegh - University of Bern

2013

---

## Abstract

The Mont Blanc is the highest mountain in the Alps (4808 m) and its relief is also remarkable, with elevation differences exceeding 3500 m between the high ridge and the adjacent valleys only 5-10 km away. This pronounced relief and topography is also associated with a notably young cooling history, which is modelled to reflect a recent strong uplift. Furthermore, the Mont Blanc massif lies in a peculiar position in the westward continuation of the Simplon-Rhône fault system and in an area where the strike of the external cover units of the Alps make a sharp bend from ENE-WSW to almost N-S trend in the western Alps. Major tectonic structures, such as the Penninic thrust, roughly follow the arcuate trend and similarly turn from ENE-WSW to NE-SW or N-S trending. The tectonic evolution of the Mont Blanc range and its cooling and exhumation history have been discussed and debated over many years. Recently, several low-temperature thermochronology studies have determined the cooling history of the massif in considerable detail and various tectonic models have been proposed to explain the young and fast exhumation signal established from these studies. However, the kinematics and timing of deformation in the region is still controversial. In particular, the question whether the Mont Blanc basement acted as an isolated block during its recent uplift or whether it was more integrated into the larger scale regional tectonics is essential for understanding this rather special area. The processes leading to the current shape of the Mont Blanc massif and its uplift in Neogene times are discussed in this study. In the course of this thesis, a detailed field study was carried out to establish the tectonic context of the Mont Blanc region and, in particular, its uplift history. The information obtained from structural field analyses was combined with geochronology, using the  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  method on white mica and the Rb-Sr microsampling dating method on white mica and calcite pairs. Deformed rock-samples with synkinematically grown or recrystallized minerals were targeted for dating and, in the case of the Rb-Sr dating, separated under microstructural control aiming to obtain the absolute ages of deformation for some of the major shear zones of the study area. With this integrated structural and geochronology study, the Cenozoic evolution of the Mont Blanc region was re-examined, with the main focus on the kinematics and timing of the recent uplift history and its geodynamic context. The along-strike variability in many of the structural features indicates that 2D models cannot be easily applied to explain the evolution of the Mont Blanc massif and that cylindrical correlations between the central Alps and western Alps are problematic. This study showed that none of the

---

major faults or shear zones directly bounding the Mont Blanc massif (i.e. Mont Blanc shear zone, Mont Blanc back-thrust, Penninic thrust) was actively accommodating vertical motion in Late Neogene times and that young exhumation is therefore not controlled by movements along these structures. The geochronology data indicate that in mid-Miocene times there may have been a change from NW- to WNW directed thrusting, which started in Middle Oligocene, to localization of deformation on conjugate shear zones at around 14.5-15 Ma, interpreted to be related to collective updoming of the Aiguilles Rouges and Mont Blanc massifs. On the eastern margin of the massif, strain-partitioning during orogen-perpendicular shortening led to back-folding (and locally back-thrusting) of the massif whereas ductile dextral transcurrent shearing on its south-eastern side is supposed to be active until at least 9.5 Ma. It can be demonstrated that interference between NNW-SSE to WNW-ESE compression and orogen-parallel extension and associated strike-slip motion along the Simplon-Rhône fault system resulted in a complex regional structural pattern, with strike-slip movements on both sides of the Mont Blanc massif interacting with coeval on-going orogen-perpendicular shortening. The interplay between two driving forces acting upon the Mont Blanc massif, which had already obtained its non-cylindrical shape early in its structural evolution, led to variable movement directions as well as a locally induced rotation of the shortening direction by nearly 90°. However, despite the dextral deformation observable on either side of the massif (in the Chamonix valley and in the Ferret Valleys), there is no large scale localized dextral offset related to the Simplon-Rhône fault and a direct major kinematic link from the central to the western Alps through the Mont Blanc region cannot be established. The most recent tectonic overprint is represented by brittle faults, which are predominantly strike-slip without significant vertical offset. The young (< 2 Ma) rapid exhumation signal of the Mont Blanc massif is not tectonically controlled and is instead interpreted to be influenced by a more broadly distributed uplift combined with enhanced erosion and denudation, possibly related to increased glacial incision in Pliocene times.

---

## Zusammenfassung

Der Mont Blanc ist der höchste Gipfel der Alpen (4808 m) und hat ein beachtliches Relief mit Höhenunterschieden von über 3500 m zwischen den höchsten Gipfeln und den umliegenden Tälern über eine Distanz von lediglich 5-10 km. Dieses ausgeprägte Relief und die Topographie sind auch mit einer bemerkenswert jungen Abkühlungsgeschichte assoziiert, welche oft mit einer jungen und schnellen Hebung in Zusammenhang gebracht wird. Ausserdem liegt das Mont Blanc-Massiv in einer speziellen Position in der westlichen Fortsetzung der Simplon-Rhône-Störung und in einem Gebiet, wo die externen Sedimentdecken der Alpen eine scharfe Biegung von einem ENE-WSW- zu einem beinahe N-S-Streichen in den Westalpen zeigen. Wichtige tektonische Strukturen, wie zum Beispiel die Penninische Basisüberschiebung, folgen in etwa diesem bogenförmigen Trend und deren Streichen biegt ebenfalls von ENE-WSW zu NE-SW oder sogar N-S um. Die tektonische Entwicklung der Mont Blanc-Kette und deren Abkühlungs- und Exhumationsgeschichte wird seit vielen Jahren diskutiert. In jüngerer Zeit haben verschiedene Niedrigtemperatur-Thermochronologie-Studien die Abkühlungsgeschichte in beachtlichem Detail beschrieben und unterschiedliche tektonische Modelle wurden vorgeschlagen, um das junge und schnelle Exhumationssignal, welches aus diesen Studien resultierte, zu erklären. Die Kinematik und der zeitliche Ablauf der Deformation in der Region sind jedoch nach wie vor kontrovers. Besonders die Frage, ob sich das Mont Blanc-Kristallinmassiv als isolierter Block verhalten hat oder mehr in grossräumige regionale Tektonik eingebunden war, ist wesentlich für das Verständnis dieses besonderen Gebiets. Um die tektonische Entwicklung der Mont Blanc-Region und vor allem deren neogene Hebungsgeschichte zu verstehen, wurde während dieser Studie eine detaillierte Felderhebung durchgeführt. Die Resultate der strukturellen Feldarbeit wurden mit Geochronologie ( $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -Methode an Hellglimmern und Rb-Sr-Mikrobeprobung an Hellglimmer-Kalzit-Paaren) kombiniert. Synkinematisch gewachsene oder rekristallisierte Minerale aus deformierten Gesteinen wurden für die Datierung ausgewählt und, im Fall der Rb-Sr Mikrobeprobung unter mikrostruktureller Kontrolle, mit dem Ziel separiert, absolute Deformationsalter einiger der bedeutenden Scherzonen des Arbeitsgebiets zu erhalten. Mit dieser kombinierten Struktur- und Geochronologie-Studie wurde die känozoische Entwicklung der Mont Blanc-Region mit Schwerpunkt auf der Kinematik und dem zeitlichen Ablauf der Hebung sowie dem geodynamischen Zusammenhang untersucht. Die Unterschiede vieler struktureller Eigenschaften entlang des Streichens

---

zeigen, dass 2D-Modelle nicht auf das Mont Blanc-Massiv angewandt werden können und dass zylindristische Korrelationen zwischen den Zentralalpen und den Westalpen problematisch sind. Die Studie zeigt, dass keine der wichtigen Störungen, die das Mont Blanc-Massiv direkt umgrenzen (z.B. Mont Blanc shear zone, Mont Blanc back-thrust, Penninic thrust) in spät-neogener Zeit aktiv vertikale Bewegungen aufgenommen haben und dass die junge Exhumation deshalb nicht durch Bewegungen an diesen Störungen kontrolliert wurde. Die Geochronologie-Daten zeigen, dass im mittleren Miozän vor ca. 14,5-15 Ma ein Wechsel von NW- bis WNW-gerichteter Überschiebung, welche im mittleren Oligozän begann, zu lokalisierter Deformation an konjugierten Scherzonen stattgefunden haben könnte, was als ein Effekt der gemeinsamen Hebung der Aiguilles Rouges- und Mont Blanc-Massive interpretiert wird. Am östlichen Rand des Massivs führte Partitionierung der Deformation während andauernder Verkürzung senkrecht zum Gebirge zu Rückfaltung (und lokal Rücküberschiebung) des Massivs während dextrale, west-gerichtete duktile Scherung am südöstlichen Rand bis mindestens 9,5 Ma aktiv war. Es wird gezeigt, dass NNW-SSE- bis WNW-ESE-Verkürzung, orogen-parallele Extension und dazugehörige Blattverschiebung an der Simplon-Rhône-Störung zu einem komplizierten regionalen Muster mit Blattverschiebung auf beiden Seiten des Massivs in Wechselwirkung mit gleichzeitig andauernder Verkürzung senkrecht zum Gebirge führten. Das Zusammenspiel zweier Antriebskräfte im Gebiet des Mont Blanc-Massivs, welches schon früh in seiner alpinen Geschichte eine nicht zylindrische Form entwickelte, führte zu variablen Bewegungsrichtungen und einer lokalen Rotation der Verkürzungsrichtung von ungefähr 90°. Obwohl dextrale Bewegungen auf beiden Seiten des Massivs (im Chamonix-Tal und im Val Ferret) vorhanden sind, konnte keine lokalisierte grossräumige dextrale Bewegung in Zusammenhang mit der Simplon-Rhône-Störung und deshalb auch keine direkte kinematische Verbindung derselben durch die Mont Blanc-Region von den Zentral- zu den Westalpen nachgewiesen werden. Die jüngsten tektonischen Bewegungen sind grösstenteils kleine Blattverschiebungs-Brüche ohne bedeutenden vertikalen Versatz. Das junge (< 2 Ma) Exhumationssignal im Mont Blanc-Massiv ist nicht tektonisch kontrolliert und wird hier deshalb als Effekt von regional verteilter, grossräumiger Hebung in Kombination mit erhöhter Erosion und Denudation, die möglicherweise mit verstärktem glazialem Abtrag im Pliozän zusammenhängt, interpretiert.