

Titre : Chronologie absolue de la déformation : Le cas du versant nord des Pyrénées, histoire d'une rencontre entre Ibérie et Europe

Mots clés : Géodynamique, Tectonic, Pyrénées, U-Pb, Calcite, LA-ICP-MS

Résumé : Les limites des plaques tectoniques sont des zones qui portent une histoire géodynamique souvent polyphasée et complexe, en particulier dans les domaines convergents. Pour caractériser l'évolution de ces domaines, il est essentiel de pouvoir s'appuyer sur un calendrier de la déformation fiable et exhaustif. Les méthodes traditionnellement utilisées pour dater les épisodes de déformation successifs, telles que la thermochronologie, l'analyse tectono-sédimentaire ou le paléomagnétisme, sont le plus souvent indirectes. Les approches directes, comme la géochronologie (U-Th)/He sur oxyde de fer ou $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ sur illite, restent limitées à des phases minérales rarement rencontrées dans un contexte de minéralisation syn-cinématiques.

La géochronologie U-Pb in-situ, appliquée aux calcites syn-cinématiques, s'appuie sur une phase minérale répandue au sein de la couverture. Elle offre un moyen direct et absolu de dater la déformation cassante, et ce avec une résolution temporelle adaptée aux problématiques des cycles orogéniques. Dans le cadre de cette thèse, cette technique a été appliquée à la limite de plaque Ibérie/Eurasie, matérialisée par la chaîne pyrénéenne. En effet, le calendrier de la déformation dans la chaîne pyrénéenne, bien que très étudié, reste incertain : certains épisodes restent mal contraints, tant sur leur durée que sur les mécanismes impliqués. Les travaux présentés tentent de préciser pour la première fois ce calendrier avec cette méthode, en s'appuyant sur les différents domaines du versant Nord de la chaîne Pyrénéenne.

Les résultats obtenus permettent (1) de préciser le calendrier tectonique dans chacun des secteurs étudiés (Ariège, Chaînons Béarnais, Languedoc), (2) de comparer l'enregistrement de la déformation de part et d'autre de la chaîne et longitudinalement et (3) de discuter de l'évolution du champ de contrainte dans le temps durant les épisodes de déformation, depuis les bordures de plaque jusque dans le domaine intraplaque.

Les résultats montrent que dans le versant nord de la chaîne, la déformation pyrénéenne compressive est continue tout au long de l'Eocène, et qu'au Crétacé supérieur, aucune déformation n'est enregistrée dans ce secteur. Dans le Languedoc, les âges absous confirment des phases tectoniques bien décrites dans l'enregistrement sédimentaire, telles que la compression associée à la formation de la chaîne Pyrénéo-Provençale ou encore l'extension Oligocène liée à l'ouverture du Golfe du Lion. Ils mettent aussi en avant des phases moins bien contraintes, comme la déformation Paléocène, associée à l'initiation de la convergence de la chaîne ou encore, de l'extension liée au bombardement durancien. Enfin, l'ensemble du jeu de données démontre l'existence à l'échelle régionale d'un épisode de déformation tardif miocène. L'intégration de l'ensemble de nos résultats avec ceux issus la littérature montre que la phase traditionnellement appelée « pyrénéenne » est continue et qu'elle affecte, de façon synchrone le domaine intraplaque de la plateforme ouest-européenne. Ce travail montre ainsi que la géochronologie U-Pb sur calcite syn-cinématique, en enregistrant l'ensemble des épisodes de déformation, permet de restituer une chronologie exhaustive et fiable de l'évolution d'un domaine orogénique au cours du temps. Appliquée non seulement aux limites de plaques mais également au domaine intraplaque, elle ouvre la voie à une meilleure compréhension des processus géodynamiques.

Title : Absolute chronology of deformation : Case study of the northern flank of the Pyrenees, an insight into the meeting of Iberia and Europe

Keywords : Geodynamic, Tectonic, Pyrenees, U-Pb, Calcite, LA-ICP-MS

Abstract : Tectonic plate boundaries are areas that record a polyphase and complex geodynamic history, especially in convergent settings. To characterize the evolution of plate boundaries, it is essential to rely on a precise deformation timeline. Usually used methods for dating deformation episodes are mostly indirect, such as thermochronology, tectono-sedimentary analysis of deposits, or paleomagnetism. Direct approaches, like (U-Th)/He geochronology on iron oxides or $40\text{Ar}/39\text{Ar}$ on illite, remain limited to mineral phases rarely present in a syn-kinematic mineralization context.

In-situ U-Pb geochronology applied to syn-kinematic calcite relies on a widespread mineral phase within the sedimentary cover. It provides a direct and absolute tool to date brittle deformation with a temporal resolution well suited to the timescale of orogenic cycles. Its application to the tectonic evolution of the Iberia-Eurasia boundary, represented by the Pyrenean orogen, provides absolute chronological constraints over most of the region's geological history. Despite being extensively studied, the chronology of deformation phases in the Pyrenean belt remains uncertain: several episodes are still poorly constrained, both in terms of duration and involved mechanisms. The present work aims to refine this chronology, for the first time using U-Pb geochronology on syn-kinematic calcite, by focusing on different domains of the northern Pyrenean wedge.

The results enable us (1) to refine the tectonic chronology in each studied sector, (2) to compare deformation records on both sides of the chain, and (3) to discuss the temporal evolution of the stress field during deformation episodes, from plate margins to the intraplate domain.

Results from the northern Pyrenean wedge show that compressive deformation is continuous throughout Eocene times, and no Upper Cretaceous deformation phase is recorded in this domain. In Languedoc, absolute ages confirm well-documented tectonic phases recorded in sediments, such as the compression associated with the formation of the Pyrenean-Provençal belt and Oligocene extension linked to the opening of the Gulf of Lion. They also highlight less constrained phases, such as Paleocene deformation associated with the initiation of convergence or extension related to the Durancian uplift. Finally, the entire dataset emphasizes the regional character of a late Miocene deformation episode.

Integrating our results with those from the literature demonstrates that the phase traditionally referred to as "Pyrenean" is continuous throughout Eocene times and that it affects the intraplate domain of the Western European platform synchronously. This work thus shows that U-Pb geochronology on syn-kinematic calcite, by recording all episodes of deformation, constitute a great tool to reconstruct a precise deformation timeline of the evolution of orogenic processes. Applied not only to plate boundaries but also in the intraplate domain, it paves the way for a better understanding of geodynamic processes.
