

Tectonique et genèse des reliefs et paysages alpins Evolution 3D de la Nappe de Digne et de son avant-pays dans la région de Barles

Agathe Faure

Résumé

Les zones externes des chaînes de montagne, incluant les bassins d'avant-pays, présentent généralement une succession de plis et de chevauchements souvent détachés sur un niveau de décollement. Les géométries de ces zones peuvent s'avérer complexes avec une forte composante non-cylindrique nécessitant une approche 3D afin de préciser le calendrier et le style de déformation des zones externes.

Le front orogénique sud-ouest alpin est représenté essentiellement par la nappe de Digne, qui chevauche les unités mésozoïques déformées sur lesquelles se sont déposés, en discordance, les dépôts molassiques cénozoïque du bassin d'avant-pays du Valensole, également déformés. Dans la région de Barles, la nappe de Digne s'est déplacée vers le SSW jusqu'au pliocène terminal en décollant sur un niveau triasique gypsifère.

Bien que la série sédimentaire de Barles et un grand nombre de ses structures soient bien contraintes, aucune étude n'a encore réussi à rendre compte des géométries complexes en 3D et des processus qui ont conduit à leur formation. En effet, cette région fournit un exemple 3D exceptionnel d'avant-chaîne plissé ayant enregistré une grande partie de l'histoire syn- et post-collisionnelle de l'histoire alpine. Le style structural, le calendrier et la présence de structures salifères restent difficiles à préciser du fait notamment des géométries non cylindriques rendant difficiles une simple restitution 2D. Le pli du Vélodrome, formé par les premiers dépôts du bassin d'avant-pays du Valensole, est un exemple de structure non cylindrique dont la compréhension reste encore incomplète, suscitant des débats et des interprétations variées (pli de croissance, pli post-sédimentaire, mini-bassin salifère).

Afin de fournir une image et une interprétation précise des géométries en 3D des structures, pour mieux caractériser le style et le calendrier de déformation de la région de Digne, une approche combinant étude structurale fine de terrain et modélisation géométrique 3D (GeoModeller ©BRGM) a été menée. L'approche de terrain a constitué en une réalisation d'un grand nombre de coupes et de mesures structurales de terrain, ou par modèle photogrammétrique à l'aide d'images drone, afin d'alimenter la modélisation 3D. La modélisation 3D a été réalisée à deux échelles différentes : (i) régionale incluant la nappe de Digne, le lobe de la Robine, la demi-fenêtre de Barles et le bassin du Valensole et (ii) à une échelle plus locale, celle du synclinal du Vélodrome. Pour ce second modèle, le GeoModeller a été utilisé comme un outil pour tester les hypothèses proposées dans la littérature. Cette approche a permis de reproduire des géométries observées sur le terrain en 3D et donc de fournir une interprétation de l'ensemble des formations compatible avec les observations de surface. Ainsi, les parts de la tectonique régionale et de la tectonique salifère ont été évaluées et le calendrier de déformation précisé.

Outre l'apport d'une image 3D complète incluant une base de données structurales inédite, cette thèse a permis de préciser des éléments sur la géométrie et le calendrier de la déformation dans cette partie frontale des Alpes. Nous montrons qu'au sud de la demi-fenêtre de Barles, la déformation du Vélodrome est précoce et syn-dépôt démarrant plus tôt au sud du bassin (23Ma) qu'au nord (18Ma) et nécessitant à la fois un contrôle tectonique régional, mais aussi halocinétique afin de rendre compte de la fermeture des structures plissées. La partie nord de cette demi-fenêtre montre des structures plus

cylindriques mais certains accidents semblent localisés et corrélés aux variations d'épaisseur de la barre tithonique indiquant un rôle de l'héritage sur la localisation de la déformation. Enfin, cette étude a également permis de démontrer la puissance du GeoModeller comme un outil 3D à la fois prédictif mais aussi de test d'hypothèses géologiques dans des zones aussi complexes que les avant-chaînes plissés.

Tectonics and genesis of alpine reliefs and landscapes - 3D evolution of the Digne Nappe and its foreland in the Barles region

Agathe Faure

Abstract

The external parts of mountain belts, including their foreland basins, classically present a fold-and-thrust belt often detached on shallow décollement levels. The geometries of these areas can be complex, with a strong non-cylindrical component, requiring a 3D approach to specify the timing and style of deformation of the external zones.

The southwestern alpine orogenic front is primarily represented by the Digne Nappe, which thrusts over the deformed mesozoic units. These units are unconformably overlain by the Cenozoic molasse deposits of the Valensole foreland basin, which are also deformed. In the Barles area, the Digne Nappe moved towards the SSW until the late Pliocene stage, detaching along a gypsiferous Triassic level.

Although the sedimentary series of Barles and many of its structures are well constrained, no study has yet succeeded in accounting for the complex 3D geometries and processes that led to their formation. Indeed, this region provides an exceptional 3D example of a folded foreland that has recorded much of the syn- and post-collisional history of the Alpine orogeny. The structural style, timing, and presence of salt structures remain difficult to specify, particularly due to the non-cylindrical geometries that make simple 2D reconstruction challenging. The Velodrome fold, formed by the initial deposits of the Valensole foreland basin, is an example of a non-cylindrical structure whose understanding remains incomplete, prompting debates and various interpretations (growth fold, post-sedimentary fold, salt mini-basin).

In order to provide an accurate image and interpretation of the 3D geometries of the structures, and to better characterize the style and timing of deformation in the Digne region, an approach combining detailed structural field study and 3D geometric modeling (GeoModeller ©BRGM) was undertaken. The field approach involved creating numerous cross-sections and structural measurements in the field, or using photogrammetric models with drone images, to constrain the 3D modelling. The 3D modeling was carried out at two different scales: (i) regional, including the Digne Nappe, the Robine unit, the Barles half-window, and the Valensole Basin, and (ii) at a more local scale, that of the Velodrome syncline. For this second model, GeoModeller was used as a tool to test hypotheses proposed in the literature. This approach allowed for the reproduction of field-observed geometries in 3D, providing an interpretation of all formations that is consistent with surface observations. Consequently, the contributions of regional tectonics and salt tectonics were assessed, and the timing of deformation was refined.

In addition to providing a complete 3D image including a novel structural database, this thesis has clarified elements of the geometry and timing of deformation in this frontal part of the Alps. We

show that south of the Barles half-window, the deformation of the Velodrome is early syn-depositional, starting earlier in the south of the basin (23 Ma) than in the north (18 Ma), requiring both regional tectonic control and halokinetic processes to account for the closure of the folded structures. The northern part of this half-window shows more cylindrical structures, but some faults appear localized and correlated with thickness variations of the Tithonian unit, indicating a role of inheritance in the localization of deformation. Finally, this study also demonstrated the power of GeoModeller as a 3D tool that is both predictive and useful for testing geological hypotheses in areas as complex as folded forelands.