

Excursion dans les Andes du Nord du Chili

Contexte scientifique

Etienne Jaillard et Gérard Hérial

Les Andes constituent une chaîne très longue et relativement étroite, en bordure (chaîne «liminaire») de la zone de subduction dans laquelle la lithosphère océanique pacifique subduit sous la lithosphère continentale sud-américaine. Quoique géographiquement continue, elle présente des segments très différents, dans lesquels les processus de création du relief sont tout à fait différents. Alors que le relief des Andes septentrionales d'Equateur et de Colombie est principalement dû à l'addition en profondeur («sous-placage» tectonique) de matériel océanique, trop volumineux pour passer en subduction, la chaîne des Andes centrales du Pérou, Bolivie et Nord Chili, est essentiellement liée, en premier lieu à la déformation tectonique de la lithosphère continentale, mais aussi au sous-placage sous la chaîne de matériel continental arraché à la bordure de la marge andine (phénomène d'«érosion tectonique») sous l'effet de la friction («couplage») de la zone de subduction.

En effet, tout relief en équilibre à la surface de la Terre doit voir le surpoids qu'il représente, compensé en profondeur par une masse de faible densité exerçant une poussée d'Archimède, puisque reposant sur l'asthénosphère de densité relativement élevée ($\approx 3,3 \text{ g/m}^3$) (principe de l'«équilibre isostatique»). Cette masse de faible densité est le plus souvent constituée de matériel crustal (densité $\approx 2,7$ à $2,8$), appelé «racine crustale», mais peut également être constitué de matériel mantellique (densité $\approx 3,3$) chaud, donc moins dense puisque dilaté (cas envisagé pour l'Atlas marocain). La racine crustale est donc de nature océanique dans le cas des Andes septentrionales, et de nature continentale dans le cas des Andes centrales. Dans cette dernière région, en effet, le matériel constituant la racine crustale proviendrait en majeure partie du raccourcissement tectonique en compression de la lithosphère continentale qui donne donc lieu à un sur-épaississement de cette dernière, mais également du matériel continental arraché à la marge andine au niveau de la zone de friction. Ce matériel, entraîné en profondeur, mais trop peu dense pour plonger dans le manteau asthénosphérique, reste plaqué sous la lithosphère sud-américaine, contribuant donc à son épaississement aux abords de la zone de subduction. Cette «érosion tectonique», a été initialement proposée dans le centre et le Nord du Chili, pour expliquer le recul spectaculaire vers l'Est de l'arc magmatique associé à la subduction depuis $\approx 200 \text{ Ma}$.

L'un des défis majeurs pour les géologues travaillant dans les Andes est de comprendre pourquoi, alors que la subduction océanique sous la lithosphère sud-américaine a lieu depuis au moins le Jurassique inférieur ($\approx 200 \text{ Ma}$), le relief des Andes n'a commencé à se former, d'abord timidement qu'à partir du Crétacé supérieur ($\approx 80 \text{ Ma}$), puis plus vigoureusement à partir de l'Eocène moyen ($\approx 40 \text{ Ma}$), enfin très rapidement après le début du Miocène supérieur ($\approx 10 \text{ Ma}$). En effet, l'essentiel de l'histoire jurassique et créacée est enregistré sur la marge andine par des sédiments marins, généralement dépourvus d'apports détritiques. De la même façon qu'un relief est compensé isostatiquement par une racine crustale, une dépression envahie par la mer suppose généralement une lithosphérique amincie, plus facilement expliquée par une déformation en extension. La retrait progressif de la mer au cours du Crétacé supérieur indique donc un début de surrection, et donc d'épaississement lithosphérique. L'apparition à l'Eocène moyen à supérieur de dépôts continentaux grossiers (grès et conglomérats) implique la formation de pentes, et donc de dénivelés significatifs, même si l'altitude moyenne reste alors probablement modeste. Mais c'est à partir du Miocène supérieur que la chaîne acquiert progressivement mais rapidement son volume

actuel (≈ 4000 m d'altitude moyenne sur l'Altiplano bolivien). Quelles sont les raisons du changement entre extension et compression au Crétacé supérieur ? et pourquoi est-on passé de déformations tectoniques sans formation de racine crustale importante (Eocène-Oligocène) à la constitution d'une volumineuse racine crustale (Miocène supérieur) ?

Durant toute cette période, la subduction océanique donne lieu, par hydratation et donc fusion partielle du manteau asthénosphérique situé au-dessus de la plaque plongeante («coin asthénosphérique»), à d'importantes manifestations magmatiques constituant le classique «arc magmatique» des chaînes de subduction, constitué d'alignements de plutons intrusifs en profondeur («batholites»), et de chaînes volcaniques en surface. Cette structure majeure permet de diviser les chaînes de subduction en zones d'avant-arc (entre la zone de subduction et l'arc) et les zones d'arrière-arc. Actuellement localisé non loin de la crête faîtière des Andes bolivo-chiliennes, où il est associé à des lacs, geysers, ou sommets emblématiques, l'arc volcanique se situait au Jurassique, au niveau de la côte actuelle. On l'a vu, cette migration vers l'Est prouverait le recul dans les mêmes proportions de la bordure de la marge continentale, grignotée par le gigantesque plan de frottement de la zone de subduction. Cette activité magmatique, associée à des circulations de fluides minéralisés, a donné lieu à la formation des gisements miniers parmi les plus riches du monde. Si l'or et l'argent abondent au Pérou et en Bolivie, c'est le Cuivre qui fait la richesse du Chili, particulièrement dans le Nord.

L'édification de la chaîne andine s'est évidemment accompagnée de déformations tectoniques importantes. Pourtant, contrairement aux Alpes où des nappes -sédimentaires ou impliquant le socle- sont charriées à des dizaines de kilomètres de leur lieu d'origine, les Andes ne présentent généralement que des plis larges et des failles relativement raides. L'âge récent de la chaîne peut expliquer que seules les déformations de style superficiel soient apparentes, puisque l'érosion n'aurait pas eu le temps de mettre à l'affleurement les structures ductiles profondes. Mais ces structures évoquent aussi un style de déformation particulier, impliquant d'épais panneaux crustaux profondément enracinés («*thick-skinned*»), plutôt que de minces lames crustales décollées et mobiles («*thin-skinned*»). Dans le Nord du Chili, les structures pentées à l'Est dominant («vergence Ouest»), suggérant une remontée des zones orientales (zone d'arc) sur les zones d'avant-arc occidentales, le long de failles inverses en compression. Cette surrection croissante des zones orientales à grande échelle est illustrée par l'émergence locale, sous les formations volcaniques récentes, du socle précambrien dans la Cordillère, alors que le substratum des zones orientales est constitué de roches jurassiques et crétacées. Pourtant, les dépôts les plus récents (Miocène supérieur et Quaternaire) ne sont que peu déformés, impliquant que la surrection récente n'a pas eu pour moteur principal la déformation en compression de cette partie de la chaîne.

L'excursion projetée mènera de la Côte à la Cordillère du Nord du Chili, avec pour objectifs :

- d'une part, de reconstituer l'histoire géologique de la marge andine du Jurassique au Récent par la visite et l'étude des séries sédimentaires et volcaniques successives affleurant le long de cette coupe,

- et d'autre part, en examinant la disposition géométrique des déformations et des unités lithologiques, d'établir une coupe structurale transversale de cette partie de la chaîne.

Au long de ces reconstitutions, on s'efforcera de présenter et discuter les mécanismes principaux qui semblent régir l'évolution d'une telle chaîne : la subduction océanique, le magmatisme d'arc, l'érosion tectonique, l'amincissement lithosphérique (associé à subsidence et sédimentation), l'épaississement lithosphérique (accompagné de déformations compressives et surrections), enfin la surrection rapide de la chaîne sans déformations apparentes.