

Nouvelles données sur la lherzolite d'Urdach : exhumation à l'Albien et plissement pyrénéen

Géraldine Bergamini

Encadrants : Yves Lagabriele (Géosciences Rennes), Marc Poujol (Géosciences Rennes)

Organisme d'accueil : Observatoire des Sciences de l'Univers de Rennes, Université de Rennes 1
Master Sciences de la Terre et de l'Environnement, spécialité Sciences de la Terre

Résumé

La Zone Nord-Pyrénéenne correspond à une ancienne marge passive distale au pied de laquelle le manteau a été exhumé à l'Albo-Cénomaniens. Les processus d'amincissement qui mènent à l'exhumation peuvent être déterminés par l'étude de la déformation de la croûte continentale, c'est pourquoi des éléments de croûte doivent être analysés au plus proche du manteau exhumé. Une nouvelle cartographie détaillée des affleurements du manteau subcontinental exhumé d'Urdach-Les Pernes (Chaînon Béarnais) est associée à des études pétrographiques, minéralogiques et géochronologiques. Le site d'Urdach-Les Pernes comprend une brèche sédimentaire à clastes de socle paléozoïque et de lherzolite serpentinisée directement en contact avec un corps lherzolitique massif. L'analyse des éléments de socle contenus dans la brèche permet d'appréhender leur déformation pré-clastique. D'autre part, des lentilles de croûte continentale supérieure préservée permettent de visualiser l'état du socle juste avant, voire pendant la création de la brèche. Les résultats de l'étude indiquent que l'exhumation du manteau à Urdach est associée à une déformation ductile et à un découplage de la croûte continentale le long de grands détachements. La croûte inférieure, absente sur le site d'Urdach, subit un « necking » et la croûte moyenne se retrouve en contact avec le manteau lithosphérique. Un contact majeur entre le manteau et la couverture sédimentaire est également observé. Des analyses minéralogiques et géochronologiques ont été réalisées le long de cette zone de déformation de quelques dizaines de mètres, où se retrouvent principalement des dolomies rousses et des calcaires noirs en lentilles. Dans la continuité, un affleurement de listvénites s'étend sur une dizaine de mètres, marquant le lessivage d'un morceau de lherzolite. Les analyses montrent une infiltration de l'ensemble du contact par une quantité conséquente de fluides, associée à un détachement majeur. Enfin, l'étude des flysch ayant préservés les structures du complexe d'Urdach permet de repenser la géométrie globale du complexe : les pendages des bancs se verticalisent à l'approche du corps lherzolitique, et ce en suivant la courbe Sud-Ouest du complexe. Le complexe d'Urdach formerait donc le pli terminal du chaînon du Mail Arrouy.

Mots Clés : Exhumation, brèche, croûte continentale, déformation

Abstract

The North Pyrenean Zone is an old distal passive margin with a mantle exhumation instead of the usual limit of ocean/ continental transition. This sub-continental mantle was exhumed at the Albo-Cenomanian period. In order to explore a new concept of lithospheric thinning and sub-continental mantle exhumation process, some elements of continental crust must be analyzed close to exhumed lithospheric mantle. With some outcrops of sub-continental mantle and the nearest continental crust, mineralogical, petrological and geochronological studies allows creating a new geological map of Pernes-Les-Udrach (Cahînons Béarnais). The Urdach-Les Pernes area is composed by sedimentary breccias of Paleozoic sole and serpentized lherzolite in contact with the sub-continental mantle. Breccias analysis allows us to understand their ante-clastic deformation. On the other hand, preserved continental crust lenses allow the understanding of the status of Paleozoic sole just before or during the breccia creation. The results of this study indicate that the exhumation of the Urdach body is associated with ductile deformation and a decoupling of the continental crust along a detachment. The absence of lower continental crust on this area proves that this part undergoes a necking. However, the middle crust is found in contact with the lithospheric mantle, where a major contact between the mantle and the sedimentary cover is also observed. Mineralogical and geochronological analysis has been realized along this latter deformation, which are mainly composed by red and black dolomite limestone lenses. A listvenites outcrop, leaching of lherzolite is also observed. Analyses show infiltration of the entire contact by a substantial amount of fluid, associated with a major detachment. Finally, flysch banks, which preserved structures of Urdach complex, allow rethinking the overall geometry of the complex. They show increasingly vertical dips towards the lherzolitic body. Therefore, the complex Urdach form the terminal fold of the Mail Arrouy.

Key words : Exhumation, breccia, continental crust, deformation

Préambule

Ce stage de M2 a été réalisé sur une période durant laquelle mon état de santé psychologique ne m'a pas permis d'exploiter pleinement mes capacités. En conséquence, j'ai reçu une grande aide de la part d'Arthur Briaud dans la rédaction de mon rapport et la réalisation de mes schémas lorsque je n'en étais plus capable. Ce travail reste néanmoins le mien, issu de mes réflexions personnelles et des discussions avec les chercheurs impliqués dans le sujet. Cependant, dans le contexte de réalisation de mon stage, je n'ai pas été en mesure d'approfondir mon étude bibliographique pour soutenir les arguments présentés dans ce rapport. C'est pourquoi les résultats présentés manquent cruellement de références.

Remerciements

A l'issue de ce stage, je souhaite remercier sincèrement Yves Lagabrielle pour son aide et sa bienveillance, ainsi que pour tout ce qu'il a su me transmettre par sa passion pour la recherche et son optimisme infailible, au laboratoire comme sur le terrain.

Je souhaite également remercier les responsables de cette deuxième année de Master ST, Florence Nicollin et Marc Jolivet, qui ont toujours su trouver des solutions pour m'accompagner et me soutenir au mieux pour que je puisse arriver au bout de cette année.

Merci à Benjamin Corre, qui m'a fait découvrir les Chaînon Béarnais, qui m'a transmis ses connaissances et ses réflexions scientifiques, et qui a été à la fois mon chauffeur et mon guide lors des missions de terrain.

Merci à Serge Fourcade pour ses critiques constructives, ses conseils et ses encouragements.

Merci à Marc Poujol pour son aide et sa pédagogie pour l'élaboration des datations à l'ICP-MS de Géosciences Rennes.

Merci à Jessica Langlade pour ses accueils toujours aussi chaleureux à la microsonde de l'Ifremer de Brest.

Merci à ma collègue de bureau, assistante de terrain et surtout amie, Jessica Uzel, qui a toujours su être présente, trouver les bons mots et apporter de la bonne humeur à ces quelques mois de stage.

Et enfin, un grand merci à Arthur Briaud pour son soutien, sa patience, mais surtout pour l'aide immense qu'il m'a apportée, et sans qui j'aurais eu de grandes difficultés à présenter les résultats de ce stage particulièrement riche et intéressant.

Sommaire

1. Introduction	5
2. Contexte géologique des Pyrénées.....	6
2.1. Les péridotites Pyrénéenne	6
2.2. Les chaînons Béarnais	7
2.3. Corps lherzolitique d'Urdach	7
3. Cartographie de détail du complexe d'Urdach.....	8
3.1. Lentille de socle du col d'Urdach	9
3.2. Contact du « ball-trap »	10
3.3. Massif lherzolitique	11
3.4. Le Flysch environnant	11
4. Etude de la déformation de la croûte continentale.....	11
4.1. Observations minéralogiques et texturales au microscope	12
4.2. Température de déformation à Urdach.....	12
4.3. Âge de la déformation.....	13
a. Méthode de datation radiochronologique	13
b. Les minéraux datés	13
5. Interprétations et discussion.....	14
5.1. Modèles d'exhumation mantellique	14
5.2. Plis d'Urdach.....	16
6. Conclusion	17
Références	

1. Introduction

La chaîne pyrénéenne résulte de la collision entre les plaques Europe et Ibérie suite à la fermeture de bassins intracontinentaux formés durant l'Albo-Cénomaniens lors de l'ouverture du Golfe de Gascogne et du bassin de Parentis (Jammes et al., 2010). Le fond de ces bassins a subi un amincissement crustal, induisant la remontée du manteau lithosphérique venant en contact tectonique avec les sédiments mésozoïques de la série pré-rift. Ces fragments de manteau se sont donc retrouvés en sub-surface, voire à l'affleurement (Lagabrielle et Bodinier, 2008 ; Jammes et al., 2009 ; Lagabrielle et al., 2010). L'inversion de ces bassins lors de l'orogénèse pyrénéenne donne naissance à la Zone Nord Pyrénéenne (ZNP), qui se caractérise par la présence de massifs de manteau sub-continentaux.

La mise en place de ces roches mantelliques a longtemps posé problème car elles sont intimement associées à la couverture Mésozoïque métamorphique et à des écaillés de granulites. Depuis les années 1980, elles ont été interprétées comme des corps chauds, solides, intrusifs dans la croûte supérieure provoquant une bréchification par décarbonation des calcaires et dolomies et libération de CO₂ à l'état gazeux (Minnigh et al., 1980). En 1984, Vielzeuf et Kornprobst suggèrent qu'il s'agit d'intrusions mantelliques dans une croûte amincie en relation avec l'histoire albienne et incorporées à la chaîne lors de la compression pyrénéenne. Debros et al. (2010) considèrent que l'exhumation se fait à la faveur de failles normales sub-verticales dans un système de blocs basculés. De récentes découvertes sur les processus d'exhumation du manteau dans les marges passives ont permis de proposer des modèles plus récents et mieux contraints, où la remontée le long de grandes failles de détachement est considérée comme le processus le plus probable. Dans ce modèle, l'exhumation du manteau se produit en contexte de pied de marge continentale passive (Lagabrielle et Bodinier, 2008 ; Peron-Pinvidic et Manatschal, 2009 ; Jammes, 2009 ; Sutra, 2010 ; Masini, 2011, Clerc et Lagabrielle, 2014 ; Mouthereau et al., 2014).

L'enjeu de ce stage est d'apporter de nouvelles contraintes pour les processus d'exhumation du manteau en se focalisant sur le comportement de la croûte continentale. En effet, exhumer le manteau revient à amincir puis à faire disparaître dans sa totalité 30 km d'épaisseur de croûte continentale : Quel est le régime de la déformation crustale au voisinage immédiat du manteau ? S'agit-il de grandes failles ou d'une déformation ductile plus homogène ? Pour répondre à ces questions, il est nécessaire d'obtenir et d'étudier des éléments de socle qui ont été au contact du manteau lors de l'exhumation. Dans le segment Ouest des Pyrénées, il est possible de trouver des fragments de socle dans des brèches sédimentaires situées au contact d'affleurements de lherzolite. C'est le cas au Col d'Urdach, à l'Ouest du premier des Chaînons Béarnais (anticlinal du Mail Arrouy). Le second objectif est de présenter une nouvelle cartographie détaillée du massif d'Urdach à partir des observations et des données de terrain analysées. De cette façon, il est possible de préciser les relations des roches au contact du massif lherzolitique et ainsi de comprendre le complexe d'Urdach en profondeur.

Ce stage vient en appui à la thèse de Benjamin Corre intitulée « Les paléomarges conjuguées du bassin pyrénéen albo-cénomaniens. Reconstitution d'un système extensif à haute thermicité, depuis la marge externe jusqu'au manteau exhumé ».

2. Contexte géologique des Pyrénées

La chaîne pyrénéenne s'étend sur 400 km d'Est en Ouest entre la mer Méditerranée et le Golfe de Gascogne. Les corps lherzolitiques se situent dans la Zone Nord Pyrénéenne (ZNP), au Nord d'une faille majeure, la Faille Nord Pyrénéenne (FNP), représentant la frontière entre les plaques Eurasie et Ibérie. La ZNP s'étend au Nord de la FNP, de Perpignan à Hendaye, sur une largeur maximale de 80 km. Elle chevauche la Zone Sous-Pyrénéenne par l'intermédiaire du Chevauchement Frontal Nord-Pyrénéen (Figure 1).

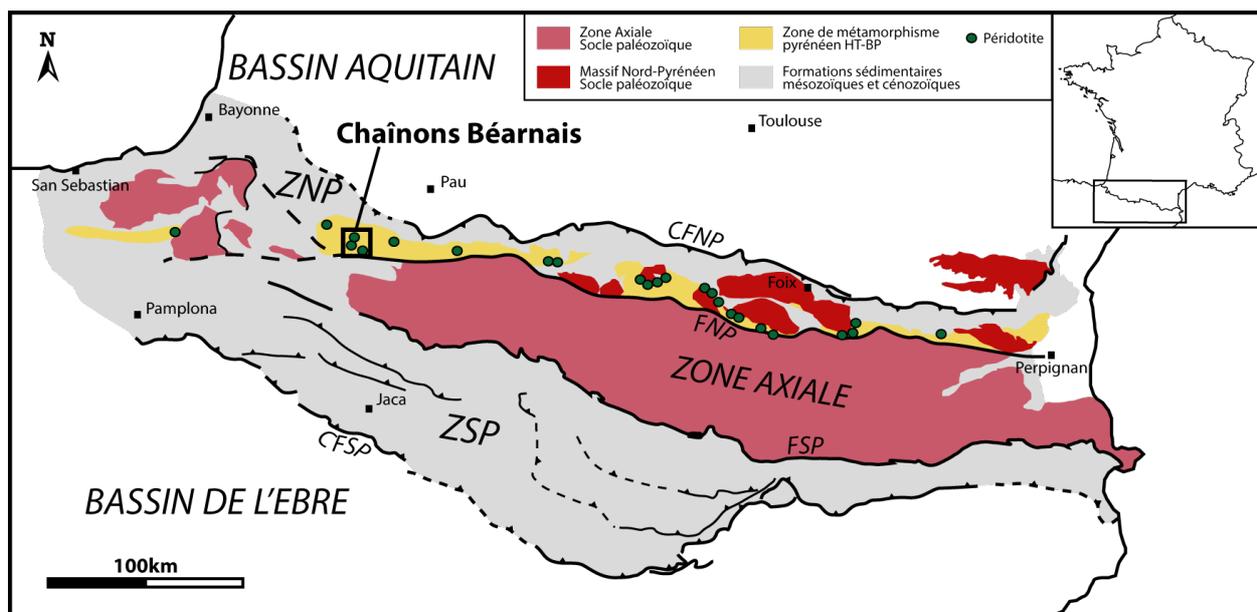


Figure 1 : Schéma structural des Pyrénées. CFNP : Chevauchement Frontal Nord-Pyrénéen, FNP : Faille Nord-Pyrénéenne, FSP : Faille Sud-Pyrénéenne, CFSP : Chevauchement Frontal Sud-Pyrénéen (modifié, d'après Corre et al., 2015)

2.1. Les péridotites Pyrénéenne

Une quarantaine de massifs de roches mantelliques sont présents dans la Zone Nord Pyrénéenne (ZNP) (Fabries et al., 1991). De nombreux modèles ont été proposés pour expliquer la mise en place des lherzolites, tels que : (i) des processus purement tectoniques, par intrusions chaudes ou froides (Minigh et al., 1980 ; Vielzeuf et Kornprobst, 1984), ou (ii) des processus tectono-sédimentaires, impliquant la mobilisation de matériel mantellique préalablement exhumé (Choukroune, 1973). La mise en évidence de manteau lithosphérique exhumé au pied de certaines marges passives non-volcaniques (Boillot et al., 1987) a permis d'établir de nouveaux modèles d'exhumation dans lesquels les roches mantelliques sont susceptibles d'être exhumées puis remobilisées sous forme de matériel sédimentaire (Whitmarsh et al., 2001 ; Manatschal, 2004).

Cette étude porte sur un massif de lherzolites situé dans les Chaînon Béarnais, le complexe d'Urdach, car le manteau se trouve au contact d'éléments de croûte continentale, pris dans une brèche sédimentaire. C'est à ce jour le lieu où le socle paléozoïque se trouve au plus proche du manteau.

2.2. Les chaînons Béarnais

Les Chaînons Béarnais se situent à l'Ouest des Pyrénées, dans la ZNP. Ils sont constitués d'une couverture mésozoïque plissée en contact avec des lentilles de socle paléozoïque et des corps de lherzolites serpentinisées. L'ensemble forme une série de trois anticlinaux d'axe Est-Ouest (Figure 2). Le Crétacé est principalement constitué de flysch. Le Mail Arrouy et Sarrance sont à déversement sud et le Layens est à déversement Nord.

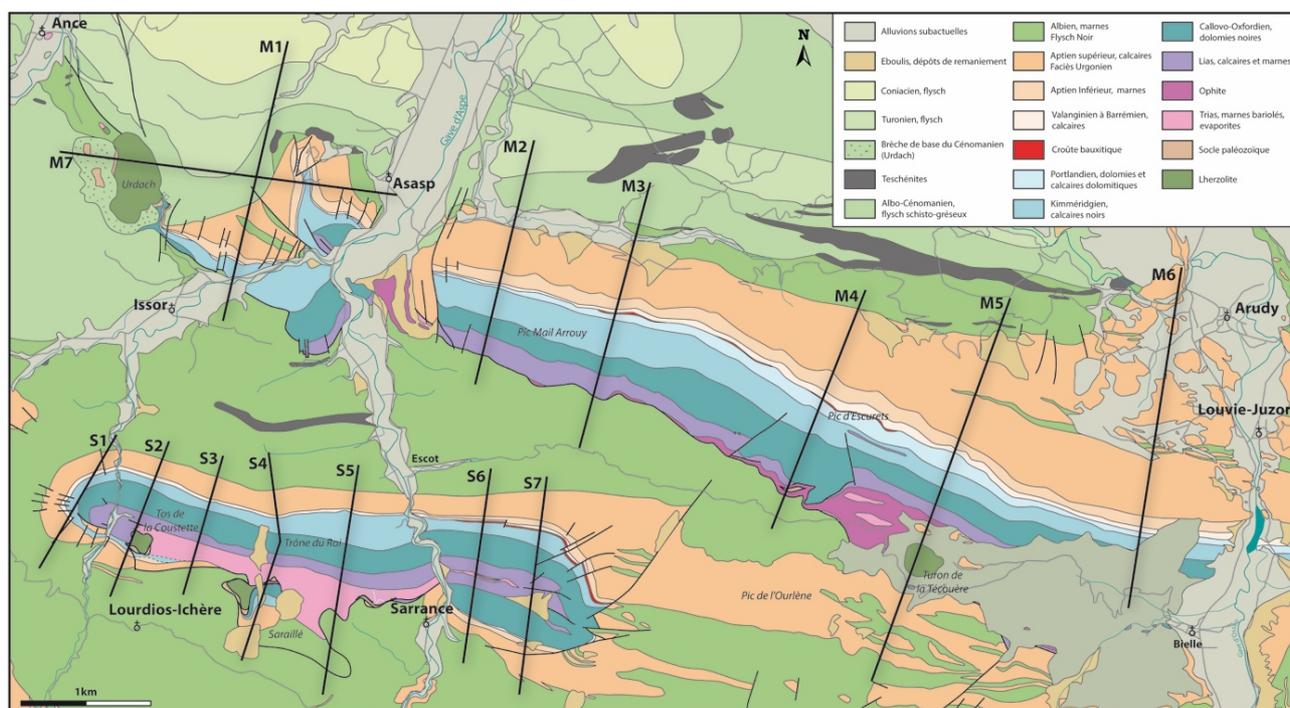


Figure 2 : Carte géologique de la région des Chaînons Béarnais (Corre, unpublished)

2.3. Corps lherzolitique d'Urdach

Le complexe d'Urdach se situe dans la terminaison Ouest du premier chaînon Béarnais, le Mail Arrouy (Figure 2). Les lherzolites du Col d'Urdach affleurent sur une zone très réduite de 1,4 x 0,7 km. Le massif de lherzolite est en contact avec des brèches sédimentaires du Cénomaniens formant la base des unités de flysch des Chaînons Béarnais. Les brèches, déjà connues depuis les levés pour la carte géologique au 50.000^{ème} d'Oloron-Sainte-Marie (Castéras et al., 1970), remanient des fragments de socle paléozoïque et de péridotite serpentinisée en proportions égales. Le fait que les brèches remanient des lherzolites prouve que le manteau a atteint les fonds marins (Fortané et al., 1986 ; Debroas et al., 2014).

La brèche d'Urdach montre à l'affleurement des blocs anguleux et hétérogènes, décimétriques à pluridécimétriques, portés par une matrice marneuse (Figure 3). Les éléments de socle paléozoïque présentent différentes lithologies : des métasédiments (schistes, quartzites, amphibolites, amphibolites à grenats, micaschistes à grenats, schistes à chialstolites) et des éléments à texture grenue de type granitoïde.



Figure 3 : Photo des éléments de socle dans la brèche d'Urdach

Les nouveaux concepts d'exhumation de manteau sub-continental proposés impliquent la nécessité de réaliser une nouvelle cartographie détaillée du complexe d'Urdach et des études pétrographiques afin d'avoir une meilleure compréhension de la déformation de la croûte continentale lors de l'exhumation du manteau lithosphérique.

3. Cartographie de détail du complexe d'Urdach

L'étude approfondie des modalités d'exhumation du manteau a mené à la reconsidération de l'exactitude des cartes géologiques existantes. C'est pourquoi une nouvelle cartographie de détail a été réalisée autour de la lherzolite d'Urdach (Figure 4).

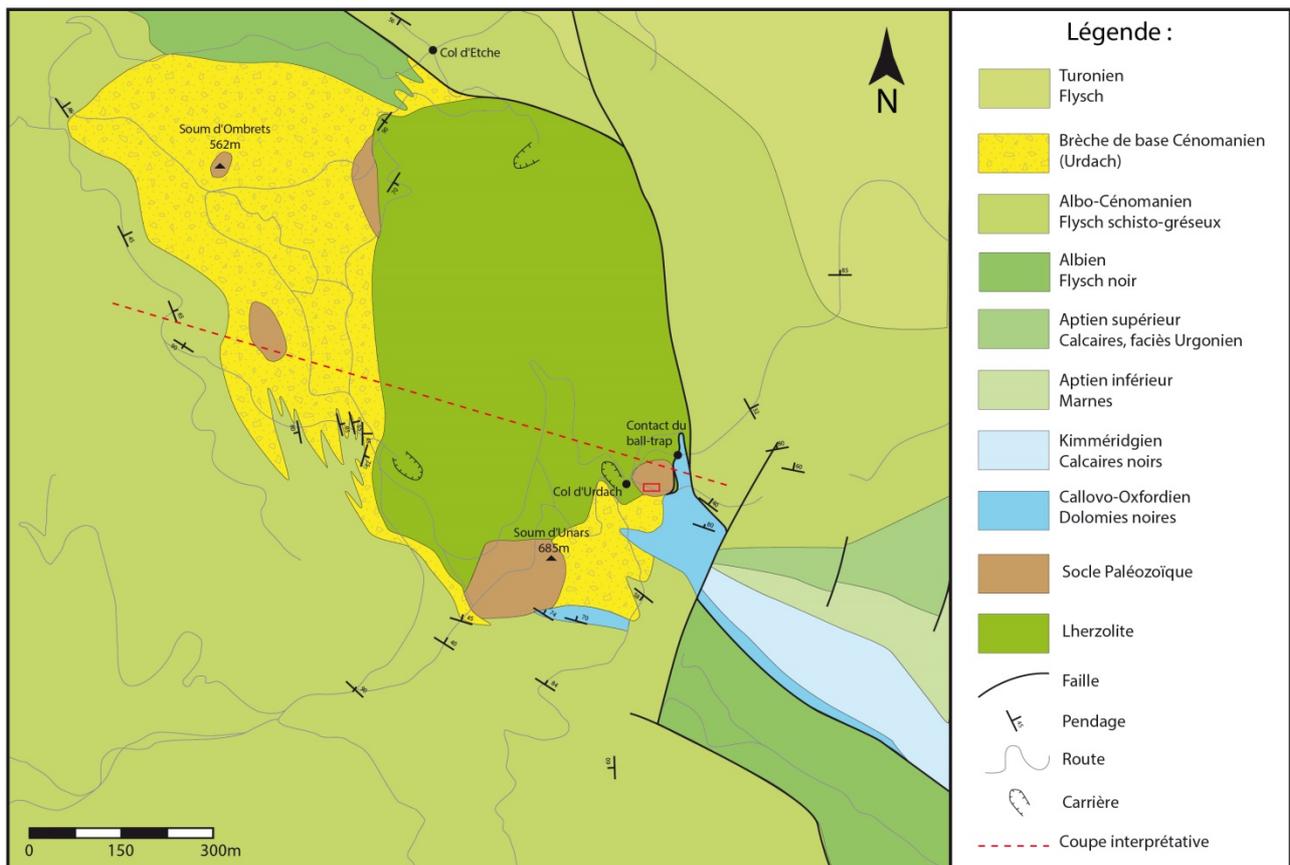


Figure 4 : Nouvelle carte géologique d'Urdach, réalisée à partir d'observations ponctuelles d'affleurement par G. Bergamini, avec B. Corre, J. Uzel, Y. Lagabriele et S. Fourcade

Cette carte géologique a été réalisée à partir d'observations et de mesures menées sur le terrain entre avril et mai 2016, mais également à partir des données préalablement acquises par des échantillonnages antérieurs, permettant notamment de préciser certaines compositions minéralogiques de roches à l'aide d'analyses microsonde. Il est à noter que dans le cadre de ce stage, l'étude détaillée de la nature de la couverture sédimentaire mésozoïque présente dans la zone (Jurassique et Crétacé) n'est pas incluse. Les informations relatives au Mésozoïque sont issues de la carte géologique au 50.000^{ème} d'Oloron-Sainte-Marie (Castéras et al., 1970) ainsi que des données de Benjamin Corre obtenues dans le cadre de sa thèse en cours.

La zone étudiée est facilement accessible, mais se caractérise par son manque d'affleurements. Néanmoins, quelques affleurements, une fois défrichés, présentent un intérêt particulier.

3.1. Lentille de socle du col d'Urdach

L'affleurement qui a permis d'identifier une lentille de socle paléozoïque se situe le long d'un chemin vers l'Est à partir du Col d'Urdach, au Sud de la lentille sur la carte (encadré rouge, Figure 4). Des lenticulations s'observent (Figure 5) dans une roche de type acide à micas de taille centimétrique. Des lames minces d'échantillons de roche prélevés dans cette lentille montrent que ce sont des mylonites de roche acide à composition granitique et à micas blancs (muscovite) très développés.



Figure 5 : Photo interprétée de la lentille de socle paléozoïque du col d'Urdach

Deux échantillons d'aspect différent ont été prélevés (URD24a et URD24b) pour des analyses plus approfondies de la roche.

3.2. Contact du « ball-trap »

Cet affleurement (Figure 4) est majeur puisqu'il représente un contact entre le manteau, ici sous forme d'opicalcites, et des sédiments qui ne font pas parti de la brèche. Ces sédiments sont considérés comme la couverture sédimentaire mésozoïque, qui serait exclusivement jurassique à cet endroit.

Plusieurs structures tectoniques apparaissent à l'affleurement. Des lentilles de dolomies rouges et de calcaires noirs sont relativement bien marquées (Figure 6), impliquant une composante importante d'aplatissement. Les linéations et lenticulations mesurées indiquent un sens de cisaillement normal, souligné par la présence de fentes de tension à proximité du contact. Des cataclasites de carbonates sont également observées, représentées par l'étoile jaune sur la figure 6. Cet ensemble de structures tectoniques pourrait caractériser un passage du ductile au fragile dans le temps le long de ce contact.



Figure 6 : Contact du ball-trap avec localisation des lentilles et des échantillonnages, et lames minces associées

Des lames minces ont été réalisées à partir d'un échantillonnage depuis les ophicalcites vers les sédiments (Figure 6). Les échantillons ont été prélevés dans les ensembles suivants : URD14, URD19 et URD20 dans les calcaires noirs, URD18 dans les dolomies rouges, URD13, URD16 et URD17(a-b) dans le contact, et URD15 à 30 mètres du contact vers l'Ouest (non visible sur la figure 6). L'étude microscopique de ses lames montre que la couverture sédimentaire est imprégnée de minéralisations de clinochlores (URD16), de sidérite (URD14), de sphalérite (oxyde de zinc, URD19), ou encore de serpentine (URD17b) et de fuschite (variété de muscovite chromifère, URD15)

Les taux de nickel et de chrome, respectivement dans les clinochlores et les fuschites, sont élevés pour des roches sédimentaires. Ils sont cohérents avec les taux observés dans les roches mantelliques. Par ailleurs, l'échantillon portant les fuschites a été identifié comme une listvénite. Cette roche correspond à une lherzolithe classiquement lessivée par des fluides métasomatiques ou hydrothermaux. L'affleurement de listvénite s'est révélé être large de quelques dizaines de mètres sur le terrain, prenant un espace important dans le contact du ball-trap. Au contact des ophicalcites (URD17b), des lames de serpentine sont intercalées avec de la calcite (URD17a).

L'ensemble de ces informations montre que ce contact est une zone de cisaillement importante qui s'étend sur plusieurs dizaines de mètres. La couverture sédimentaire et des éléments de manteau ont été parcourus par de grandes quantités de fluides et ainsi complètement métasomatisés. Ce contact tectono-métasomatisé caractérise la présence d'un détachement majeur le long du manteau exhumé.

3.3. Massif lherzolithique

Le massif en lui-même n'a été que très peu détaillé lors de ce stage puisque Benjamin Corre l'étudie dans le cadre de sa thèse. Les observations se résument donc à l'observation d'une lenticulation importante de la lherzolite, avec des couloirs complètement serpentinisés entre les lentilles bien définies. Les directions de ces lentilles sont variables et à ce jour il est difficile d'en déduire un quelconque mouvement général.

3.4. Le Flysch environnant

Le complexe d'Urdach est bordé par une couverture de flysch crétacé conséquente. Des mesures de pendage sont réalisées principalement le long des routes, où le flysch affleure. Ces mesures mettent en avant une direction globalement parallèle aux bordures du massif de lherzolites, notamment sur sa partie Sud-Ouest : les dépôts de flysch suivent la courbure du massif (Figure 4). De plus, les mesures de pendage du flysch suggèrent que ce dernier se poursuit en profondeur sous les péridotites.

4. Etude de la déformation de la croûte continentale

Des analyses complémentaires à l'échelle microscopique sont nécessaires pour définir la composition minéralogique des éléments de socle paléozoïque, ainsi que la température et l'âge de leur déformation.

Sur une soixantaine de lames étudiées lors de ce stage, 43 lames proviennent d'échantillons de socle paléozoïque prélevés dans la brèche d'Urdach. Seule ces dernières sont considérées dans cette partie.

4.1. Observations minéralogiques et texturales au microscope

Comme vu précédemment, la contribution continentale dans la brèche d'Urdach se présente sous forme de métasédiments et d'éléments à texture grenue de type granitoïde. Les minéraux les plus fréquents observés dans les lames minces de ces échantillons de croûte continentale sont l'albite, les micas, le quartz et la chlorite. Des cristaux d'hornblende verte (amphibole), de chialstolites (andalousite) et de grenats sont présents dans certaines lames. L'identification de certains minéraux reste complexe à cause de l'aspect des cristaux, parfois sériciteux. Une analyse microsonde a donc été réalisée à l'Ifremer de Brest pour définir précisément la composition des minéraux observés.

Les échantillons identifiés comme granitoïdes contiennent en majorité de grands cristaux de feldspaths plagioclases séricitisés, des biotites en réseau entre les grains et quelques possibles quartz. Ce sont des tonalites cataclastiques ou peu déformées par une phase fluide, infiltrée dans des fractures, qui induit une recristallisation aux joints et parfois à travers les grains. La texture n'est donc plus magmatique mais magmato-hydrothermale, à plusieurs générations de biotite. Parmi les échantillons de métasédiments, des ultra-mylonites sont observées, essentiellement quartziques ou quartzo-micasées. La majorité des autres lames sont des mylonites à quartz, micas ou encore hornblende verte.

Sur l'ensemble de ces échantillons de croûte continentale prélevés parmi les éléments de la brèche d'Urdach ainsi que dans des lentilles de socle relativement préservées, on remarque que près de 90% sont mylonitisés. Aucun indice de fusion même partielle de la croûte continentale n'a été observé. Par ailleurs, il n'y a aucune roche présentant un métamorphisme du faciès granulite : la croûte inférieure n'a pas été remaniée dans la brèche.

4.2. Température de déformation à Urdach

Les granitoïdes présents dans la brèche sont relativement peu déformés ou cataclasés, ce qui est l'indice d'une déformation plutôt Basse Température (BT). L'albite est omniprésente dans les échantillons étudiés, ce qui indique que les roches des brèches ont subi une évolution dans le métamorphisme schistes verts. D'autre part, l'abondance des mylonites est remarquable. Le protolithe des mylonites est très souvent métasédimentaire et à priori il n'y a pas ou peu de mylonites issues de la déformation de granite. Dans l'ensemble des lames mylonitiques, les feldspaths alcalins (albite et andésine) se présentent sous forme de porphyroclastes à bordure nette et anguleuse, ce qui traduit l'absence de déformation plastique de ces minéraux (Figure 7). Seuls les quartz sont ductiles, formant la fabrique mylonitique observée. Les micas sont présents sous forme de micas-fish, qui traduit une recristallisation des micas lors de la déformation de la roche.

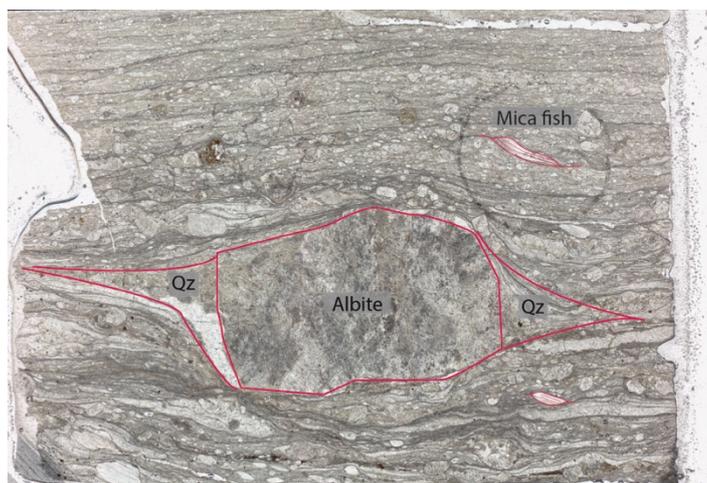


Figure 7 : Lame annotée de l'échantillon URD24b, élément de socle paléozoïque mylonitisé

Les observations menant aux conclusions que seul le quartz soit ductile et que les feldspaths ne soient pas remaniés par la déformation suggère que celle-ci se réalise à température relativement basse (~250-350°C).

Ces résultats coïncident avec ceux obtenus par thermométrie RAMAN sur la matière organique de la couverture sédimentaire du contact du ball-trap (échantillon URD14) et par les assemblages minéralogiques de la zone de cisaillement du détachement du Saraillé, localisé dans le deuxième Chaînon Béarnais (Fortané et al., 1986 ; Corre et al., in review).

L'absence de métamorphisme du faciès granulite est également un argument en faveur d'une température basse de déformation.

4.3. Âge de la déformation

a. Méthode de datation radiochronologique

L'ICP-MS (i.e., spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif) de géosciences Rennes est utilisé, sous la direction de Marc Poujol pour dater les minéraux liés à la déformation affectant le socle paléozoïque.

Différentes méthodes sont utilisées en fonction des minéraux présents dans les échantillons de socle paléozoïque. Ainsi, on utilise la méthode des isotopes $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ pour dater les micas, et la méthode $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$ pour dater les oxydes de titane (rutiles et sphène).

b. Les minéraux datés

Un premier échantillon de socle paléozoïque issu de la lentille du col d'Urdach (URD24b) est composé de quartz déformé ductilement, de micas fish et de feldspaths alcalins non déformé. Le mica-fish daté est un mica blanc (muscovite) qui enregistre la déformation de la roche lors de sa recristallisation et présente à son stade poste déformation une forme sigmoïdale (Figures 7). En datant ce mica syn-cinématique, nous obtenons l'âge de la mylonitisation à 105,2±0,5Ma (Albien). Ce résultat est un âge maximal pour la déformation de la roche car la température de déformation de la muscovite est plus haute (450-500°C pour des gros grains).

Un deuxième échantillon, cette fois prélevé dans la brèche, est daté. C'est un granitoïde déformé présentant de la titanite (e.g., sphène et rutile) en granules. Ces dernières ont été analysées à la microsonde pour vérification. Elles sont présentes dans la lame alignées dans la foliation, ce qui suggère qu'elles ont cristallisé au cours de la déformation. L'âge obtenu est 111 ± 17 Ma (Aptien-Albien), en accord avec l'âge de déformation des roches de la lentille paléozoïque. La forte incertitude de cette seconde datation est due à un taux de plomb initial important présent dans l'échantillon.

D'autres datations dans le complexe d'Urdach ont été réalisées par différents auteurs. Une compilation de ces données (Figure 8) montre que la déformation omniprésente dans les éléments de socle paléozoïque est albienne. Elle est directement associée à l'exhumation du manteau sub-lithosphérique.

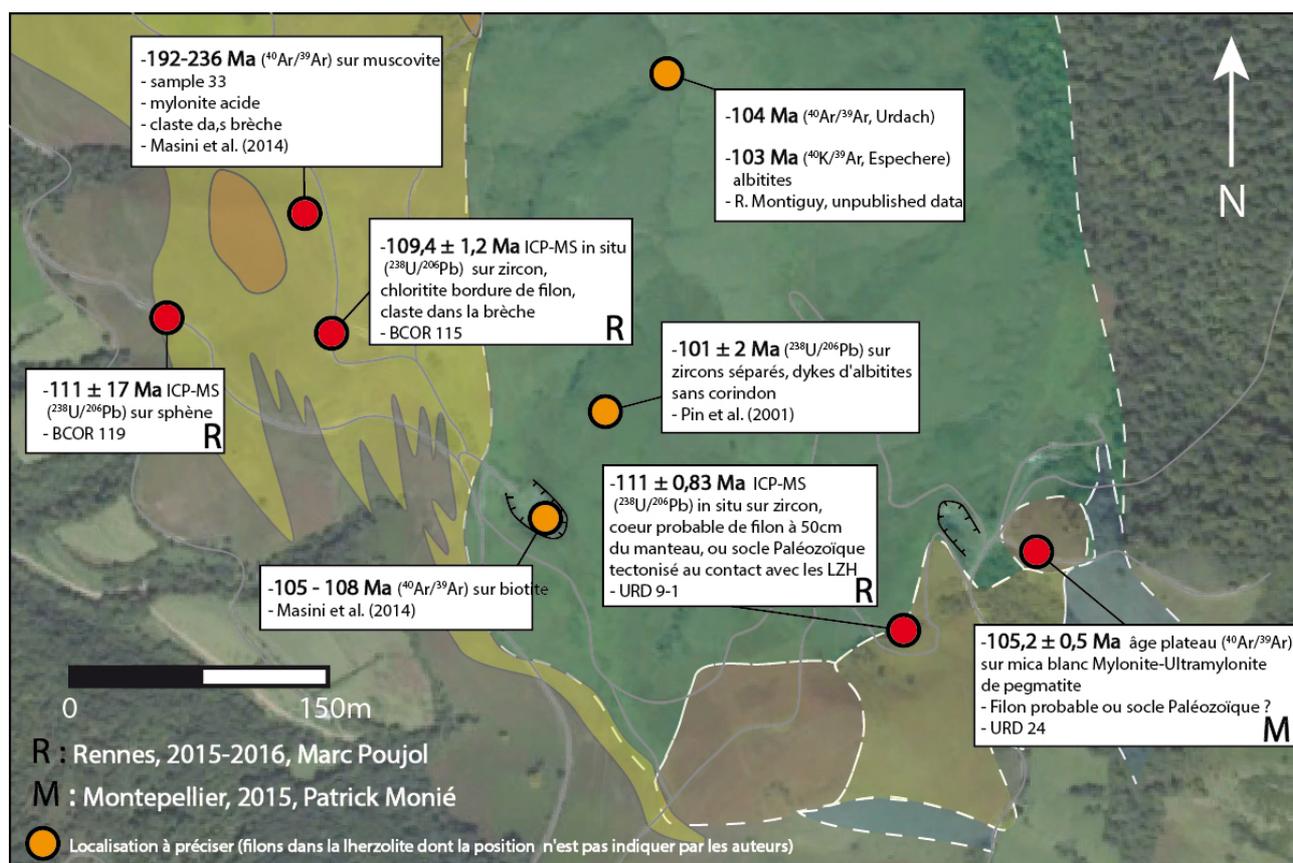


Figure 8 : Compilation des datations radiochronologiques des roches d'Urdach, données disponibles en 2016

5. Interprétations et discussion

5.1. Modèles d'exhumation mantellique

A partir de l'ensemble des données obtenues, il est possible de construire un nouveau modèle d'exhumation du manteau (Figure 9). La déformation de la croûte se réalise à basse température, par mylonitisation des roches du socle paléozoïque.

Les éléments de socle dans la brèche d'Urdach ainsi que dans les lentilles de croûte continentale au col d'Urdach et à la Soum d'Unars sont identifiés comme des schistes noirs, schistes à andalousites, quartzites et granitoïdes du Pré-Cambrien au Silurien, typiques de la partie basse de la croûte supérieure et de la croûte

moyenne. La croûte inférieure est totalement absente et l'hypothèse envisagée est qu'elle aurait été déformée ductilement jusqu'à subir une rupture. Un découplage entre les croûtes inférieure et moyenne permet alors de mettre en contact cette dernière avec le manteau lors de son exhumation. Les indices de la présence de la croûte supérieure (socle paléozoïque du Dévonien au Permien) sont trouvés à une trentaine de kilomètres à l'Ouest des Chaînes Béarnaises. En effet, les poudingues de Mendibelza comprennent surtout des clastes de roches du Dévonien, du Carbonifère et du Permien et reposent sur les terrains de mêmes âges en « onlap » (observations de terrain, avril-mai 2016). C'est pourquoi le modèle est construit en distinguant les différentes unités au sein de la croûte continentale qui se déforment différemment lors de l'exhumation du manteau. Un niveau de décollement est attribué au Silurien, permettant le découplage en bas de croûte supérieure. La croûte moyenne est exhumée par le bas, par un couplage probable avec le manteau sub-continental.

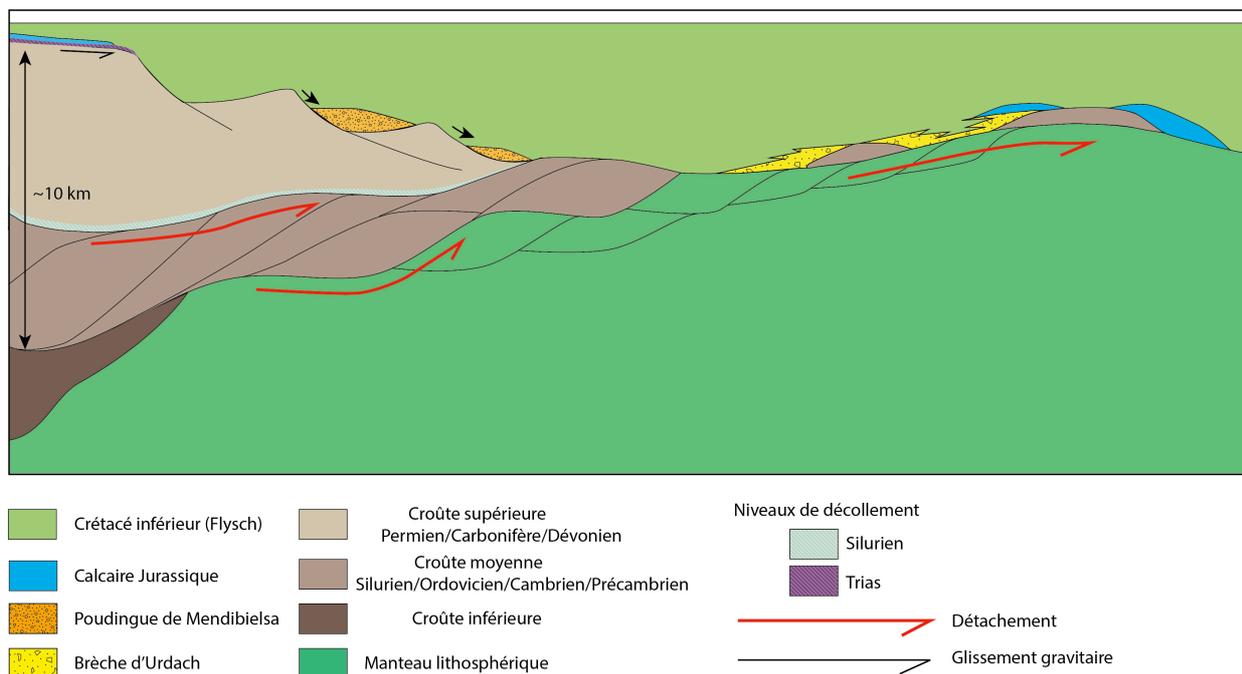


Figure 9 : Modèle d'exhumation du manteau par découplage de la croûte continentale et grands détachements de lentilles de croûte moyenne

Dans la partie gauche du modèle, les lentilles résiduelles restées couplées au manteau alimentent une brèche sédimentaire correspondant à la brèche d'Urdach. Les sédiments jurassiques trouvés au contact du manteau sont interprétés comme la couverture sédimentaire qui se serait décollée au niveau du Trias pour venir se déposer par glissement gravitaire à la fois sur la brèche, les lentilles de socle paléozoïque préservées et le manteau. L'ensemble aurait ensuite été recouvert par une épaisseur de flysch importante au Crétacé inférieur (Albien).

5.2. Plis d'Urdach

A force d'observations de terrain, des indices permettant de montrer l'existence d'un pli formé par le complexe d'Urdach ont été collectés. Une coupe Est-Ouest a été réalisée à partir de la carte géologique proposée dans ce rapport (Figure 10).

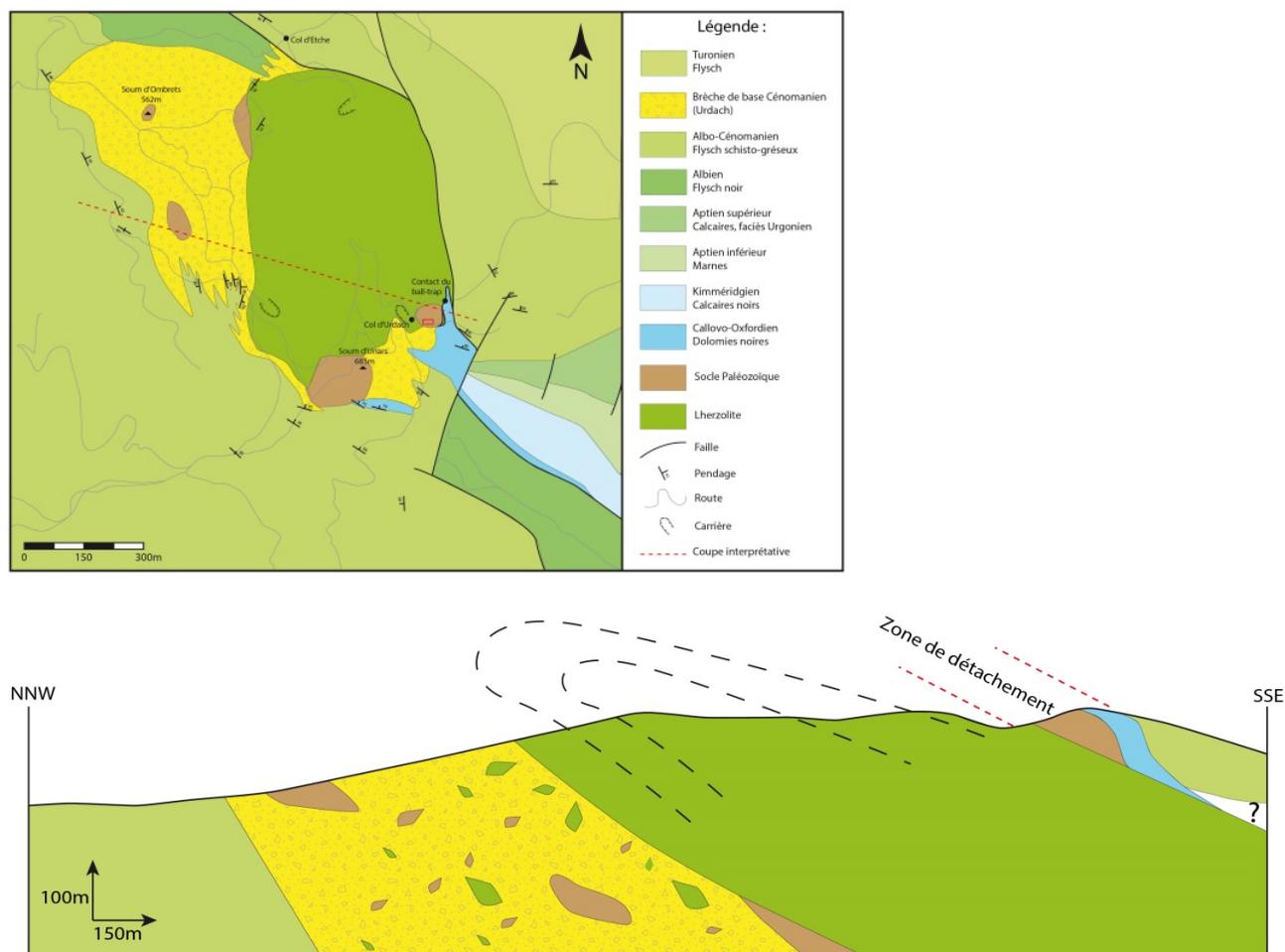


Figure 10 : Coupe géologique interprétative Est-Ouest dans le complexe d'Urdach, présentant un pli dans la lherzolite

Les indices principaux sont de deux types : les orientations et pendages relevés dans le flysch crétacé, et les lenticulations observées dans le corps lherzolitique d'Urdach. La brèche contient exclusivement des clastes de manteau et de croûte continentale. Elle a été formée durant l'exhumation du manteau à l'Albien. Le flysch présente un pendage qui le fait plonger sous les lherzolites et la brèche au Sud-Ouest du massif. Il est donc nécessairement en flanc inverse, et sa déformation est postérieure à la formation de la brèche.

Le pli du complexe d'Urdach est donc pyrénéen si on s'accorde avec l'histoire de la suture entre les plaques Ibérie et Eurasie.

Dans la géométrie des Chaînon Béarnais, il est alors possible de considérer ce pli comme la terminaison du chaînon du Mail Arrouy.

6. Conclusion

Lors de ce stage, un modèle d'exhumation a pu être réalisé à partir de nouvelles contraintes dans les processus d'exhumation du manteau. Les modalités de déformation de la croûte continentale ont été établies en distinguant différentes unités découplées les unes des autres. La croûte inférieure est déformée ductilement et s'amincit jusqu'à sa rupture initiée par la remontée mantellique. La croûte moyenne est désolidarisée de la croûte inférieure. Elle se déforme à basse température (250-350°C) au Crétacé inférieur par mylonitisation parfois extrême des roches. Certains éléments restent préservés de cette déformation, entraînés par les couloirs de roches mylonitisés, apparaissant sous forme de lentilles à bordures cataclasées. Le sommet de la croûte supérieure n'est finalement pas observé à Urdach, mais à une trentaine de kilomètres vers l'Ouest. Des études supplémentaires seraient nécessaires pour affirmer qu'elle est déformée de façon fragile, par succession de failles tectoniques. La croûte continentale ne subit donc pas de fusion durant l'évènement albien d'exhumation du manteau.

Une nouvelle cartographie détaillée du complexe d'Urdach a été réalisée. Elle met en évidence la présence d'un pli à cœur de lherzolite, formant la terminaison du chaînon du Mail Arrouy. Ce pli est complexe, et seule la partie Sud-Ouest du site d'Urdach-Les Pernes a été bien comprise, avec un axe de pli globalement Est-Ouest. Il serait donc utile de poursuivre les investigations vers le Nord du massif pour tenter de visualiser la courbure du pli qui se refermerait également suivant un axe Nord-Sud.

En perspective de ce travail, il serait également intéressant d'étudier plus en détails la question de la fusion mantellique soulevée par la présence de filons d'albitite à corindon, localisés exclusivement dans le manteau et datés du Crétacé inférieur.

Références

- Canérot, J., & Delavaux, F. (1986). Tectonique et sédimentation sur la marge nord-ibérique des chaînons béarnais (Pyrénées-béarnaises). Remise en question de la signification des lherzolites du sommet de Sarailé. *Comptes rendus de l'Académie des sciences. Série 2, Mécanique, Physique, Chimie, Sciences de l'univers, Sciences de la Terre*, 302, 951-956.
- Castéras, M. (1970). Oloron Sainte-Marie, carte géologique de la France, 1/50 000, Bureau de Recherche Géologique et Minière, Orléans, France.
- Castéras, M. (1974). Les Pyrénées. *Géologie de la France*, 2, 296-345.
- Choukroune, P. (1976). Structure et évolution tectonique de la zone nord-pyrénéenne (analyse de la déformation dans une portion de chaîne à schistosité subverticale). *Revue Géographique Physique et Géologique Française*, (127), 116.
- Choukroune, P., & Mattauer, M. (1978). Tectonique des plaques et Pyrénées; sur le fonctionnement de la faille transformante nord-pyrénéenne; comparaisons avec des modèles actuels. *Bulletin de la Société géologique de France*, (5), 689-700.
- Choukroune, P. (1992). Tectonic evolution of the Pyrenees. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 20, 143.
- Clerc C. (2012). Evolution du domaine Nord-pyrénéen au Crétacé. Amincissement crustal extrême et thermicité élevée : un analogue pour les marges passives, (Thèses).
- Clerc, C., Lagabrielle, Y., Neumaier, M., Reynaud, J. Y., & de Saint Blanquat, M. (2012). Exhumation of subcontinental mantle rocks: evidence from ultramafic-bearing clastic deposits nearby the Lherz peridotite body, French Pyrenees. *Bulletin de la Société Géologique de France*, 183, 443-459.
- Clerc, C. et Lagabrielle, Y. (2014), Lateral extraction of the crust as a mechanism of extreme continental thinning. Insight from the Cretaceous Pyrenean hot paleomargins, *Tectonics*, in press.
- Corre, B. (2014). Métasomatisme et déformation liés à l'exhumation du manteau en contexte de marge passive distale : étude du massif du Sarailé, (Master 2, Université de Rennes 1)
- Corre, B., Lagabrielle, Y., Labaume, P., Fourcade, S., Clerc, C., & Ballèvre, M. (in review). Deformation associated to mantle exhumation in a distal, hot passive margin environment: example of the Sarailé Massif (Chaînons Béarnais, North-Pyrenean Zone).
- Debroas, E. J., Mediavilla, F., & Souquet, P. (1978). La zone de failles transcurrente de Bigorre dans la région de Lourdes et de Bagnères (Pyrénées basco-béarnaises). *Bulletin de la Société Géologique de France*, (5), 631- 638.
- Debroas, E. J., Canérot, J., & Billotte, M. (2010). Les Brèches d'Urdach, témoins de l'exhumation du manteau pyrénéen dans un escarpement de faille vraconnien-cénomaniens inférieur (Zone nord-pyrénéenne, Pyrénées-Atlantiques, France). *Géologie de la France*, 2, 53-63.
- Duée, G., Lagabrielle, Y., Coutelle, A., & Fortané, A. (1984). Les lherzolites associées aux chaînons béarnais (Pyrénées Occidentales): Mise à l'affleurement anté-dogger et resédimentation albo-cénomaniennes. *Comptes-rendus des séances de l'Académie des sciences. Série 2, Mécanique-physique, chimie, sciences de l'univers, sciences de la terre*, 299, 1205-1210.
- Fabriès, J., Lorand, J.-P., Bodinier, J.-L., (1998). Petrogenetic evolution of orogenic lherzolite massifs in the central and western Pyrenees. *Tectonophysics*, 292, 145-167.
- Fortané, A., Duée, G., Lagabrielle, Y., & Coutelle, A. (1986). Lherzolites and the western "Chaînons béarnais" (French Pyrénées): Structural and paleogeographical pattern. *Tectonophysics*, 129, 81-98.
- Jammes, S., Manatschal, G., Lavier, L., & Masini, E. (2009). Tectosedimentary evolution related to extreme crustal thinning ahead of a propagating ocean: example of the western Pyrenees. *Tectonics*, 28.

- Jammes, S., Manatschal, G., & Lavier, L. (2010). Interaction between prerift salt and detachment faulting in hyperextended rift systems: The example of the Parentis and Mauléon basins (Bay of Biscay and western Pyrenees). *AAPG Bulletin*, 94, 957-975.
- Lagabriele, Y., & Bodinier J.-L. (2008). Submarine reworking of exhumed subcontinental mantle rocks: field evidence from the Lherz peridotites, French Pyrenees. *Terra Nova* 20, 11-21.
- Lagabriele, Y., Labaume, P., & de Saint Blanquat, M. (2010). Mantle exhumation, crustal denudation, and gravity tectonics during Cretaceous rifting in the Pyrenean realm (SW Europe): Insights from the geological setting of the lherzolite bodies. *Tectonics*, 29.
- Masini, E. (2011). L'évolution tectono-sédimentaire syn-rift des bassins de marge passive profonde : Exemples du bassin de Samedan (Alpes centrales, Suisse) et du bassin de Mauléon (Pyrénées basques françaises), (Thèse Université de Strasbourg)
- Masini, E., Manatschal, G., Tugend, J., Mohn, G., Flament, J. M. (2014). The tectono-sedimentary evolution of a hyper-extended rift basin: the example of the Arzacq- Mauléon rift system (Western Pyrenees, SW France), *International Journal of Earth Sciences (Geol Rundsch)*, (in press)
- Monchoux, P., & Besson, M. (1969). Sur les compositions chimiques des minéraux des lherzolites pyreneennes et leur signification genetique. *Bull. Soc. Franc. Mineral Crist*, (92), 289.
- Munoz, J. A. (1992). Evolution of a continental collision belt: ECORS-Pyrenees crustal balanced cross-section. *Thrust tectonics*, Springer Netherlands, 235-246.
- Muntener, O., & Piccardo, G. B. (2003). Melt migration in ophiolitic peridotites: the message from Alpine- Apennine peridotites and implications for embryonic ocean basins. *Special Publication- Geological Society Of London*, 218, 69-90.
- Mouthereau, F., Filleaudeau, P. Y., Vacherat, A., Pik, R., Lacombe, O., Fellin, M. G., Castellort, S., Christophoul, F., & Masini, E. (2014). Placing limits to shortening evolution in the Pyrenees: Role of margin architecture and implications for the Iberia/Europe convergence. *Tectonics*, 33, 2283-2314.
- Péron-Pinvidic, G., Manatschal, G. (2009). The final rifting evolution at deep magma-poor passive margins from Iberia-Newfoundland: a new point of view, *International Journal of Earth Sciences (Geol Rundsch)*, 98(7), 1581-1597.
- Pin, C., Monchoux, P., Paquette, J. L., Azambre, B., Wang, R. C., & Martin, R. F. (2006). Igneous albitite dikes in orogenic lherzolites, western Pyrenees, France: a possible source for corundum and alkali feldspar xenocrysts in basaltic terranes. II. Geochemical and petrogenetic considerations. *The Canadian Mineralogist*, 44, 843- 856.
- Tugend, J., Manatschal, G., Kuszniir, N. J., Masini, E., Mohn, G., & Thinon, I. (2014). Formation and deformation of hyperextended rift systems: Insights from rift domain mapping in the Bay of Biscay-Pyrenees. *Tectonics*, 33(7), 1239-1276.
- Vielzeuf, D., & Kornprobst, J. (1984). Crustal splitting and the emplacement of Pyrenean lherzolites and granulites. *Earth and planetary science letters*, 67, 87-96.