

Les conglomérats calcaro-péridotitiques de Lers (Ariège), une clé pour comprendre la mise en place des lherzolites pyrénéennes

Image de la semaine | 19/06/2023

Pierre Thomas

Laboratoire de Géologie de Lyon / ENS de Lyon

Olivier Dequincey

Résumé

Amincissement crustal extrême et mise à nu du manteau dans un contexte transformant et extensif.



Source - © 2009 Pierre Thomas

Figure 1. Panorama sur le massif de lherzolite de Lers, vu depuis la route menant de l'étang vers le port (= col) de Lers

La lherzolite, en s'altérant, se recouvre d'une patine rousse-orangée, ce qui permet de bien la distinguer des carbonates jurassiques gris-blancs constituant la majorité du secteur. Que fait ce massif de péridotite inclus au sein des carbonates jurassiques ?



Source - © 2023 BRGM / Géoportail, modifié

Figure 2. Extrait de la carte géologique d'Aulus-les Bains à 1/50 000 centré sur le massif de Lers (quasi rectangle vert)

On voit que, d'après les auteurs de cette carte (publiée en 1997), ce massif de lherzolite est "inclus" dans des calcaires jurassiques métamorphisés (en bleu avec des pointillés rouges), que les contacts lherzolite / carbonates sont cartés comme des "failles - contacts anormaux", et que les bordures Sud et Est de ce massif sont bréchiques (surcharge par des triangles). Les "traits jaunes" indiquent le site d'où a été prise la photo de la figure 1, l'astérisque rouge le site de la figure 5 et le rectangle rouge le ravin de Paumères (figures 8 à 27).

La lherzolite est l'une des roches dont le nom est le plus connu dans le monde des géologues puisque c'est le constituant majeur du manteau supérieur. Elle a été "découverte" puis nommée en 1797 par J.-C. Delamétherie. Son nom vient de l'étang de Lers (qui s'orthographiait Lherz à l'époque) où elle affleure largement. Elle est constituée d'olivine, d'ortho- et de clinopyroxène, et de spinelle. Elle fut d'abord interprétée comme une roche magmatique intrusive dans les calcaires jurassiques (un petit pluton en quelque sorte). Quand on a compris que ces lherzolites des Pyrénées n'étaient pas des roches

magmatiques (elles ne proviennent pas de la cristallisation d'un magma) mais des fragments de manteau, il s'est tout de suite posé le problème de l'origine de leur mise en place au sein de calcaires métamorphisés datant du Jurassique. Il y avait en fait un double problème : (1) le problème de l'histoire pétrogénétique de ces fragments de manteau, et (2) le problème de leur mise en place après le Jurassique. Nous ne détaillerons pas ici l'histoire pétrogénétique des roches de l'étang de Lers. La figure 3 et sa légende montrent que le manteau affleurant à Lers n'est pas "simplement" fait de lherzolite, mais est en fait beaucoup plus complexe. Ce problème pétrogénétique est rapidement discuté sur le site de Christian Nicollet (*La Lherzolite de l'Etang de Lers en Ariège*). Différents faciès de lherzolites peuvent être vus sur le site de la *lithothèque de l'ENS de Lyon*.

Dans la suite, nous ne discuterons que de la question de la mise en place.

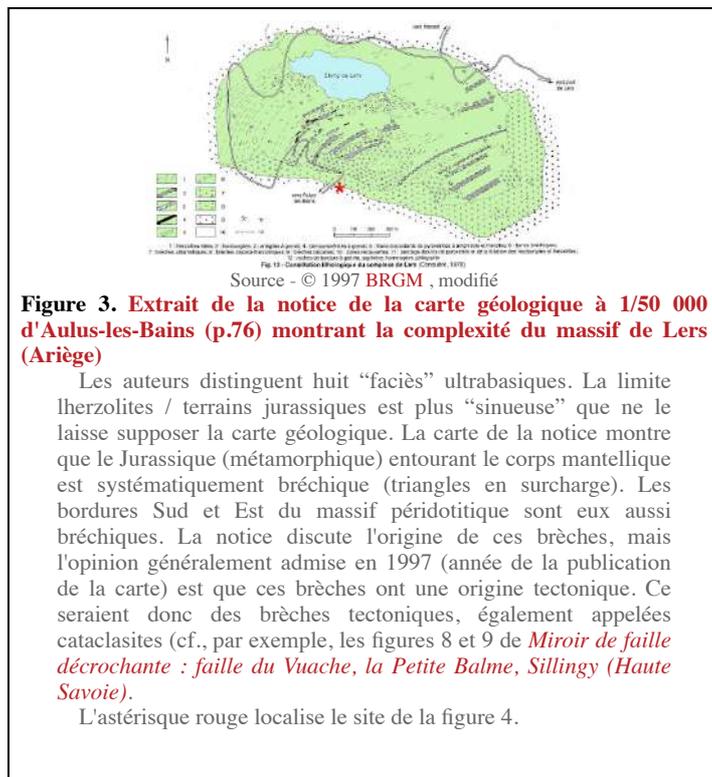


Figure 4. Contact lherzolite / carbonates au Sud du massif lherzolitique (astérisque rouge sur les figures 2 et 3) de Lers (Ariège)

On voit bien la différence entre la péridotite et sa patine d'altération rousse-orangée à gauche, les carbonates gris clairs à droite. Sous le pied droit (à gauche) du personnage, on voit bien la nature bréchique de la péridotite. Sous le pied gauche (à droite) on voit une brèche avec des clastes de péridotite (que l'on reconnaît à sa couleur) dans un ciment / une matrice calcaire.

Localisation par fichier kmz du **contact lherzolite / carbonates jurassiques au Sud du massif de Lers (Ariège)**.

D'autres observations sont nécessaires pour proposer une explication à la mise en place de ces massifs de péridotite au sein de calcaires métamorphisés mésozoïques des Pyrénées. Dans un premier temps, nous rappellerons 6 observations / interprétations faites jusqu'en 1997 (l'année de la publication de la carte d'Aulus-les Bains à 1/50 000) et les explications admises en cette fin de XX^e siècle. Puis, dans un deuxième temps (après la figure 6), nous verrons de nouvelles observations faites à partir du début du XXI^e siècle et les nouvelles interprétations que cela implique.

1 – Le massif de Lers n'est pas le seul de ce type dans les Pyrénées ; c'est simplement le plus gros et celui où les affleurements sont les plus "beaux". Il y en a une quarantaine d'un bout à l'autre de la chaîne.

2 – Ces affleurements de lherzolite sont tous situés à proximité de la Faille Nord Pyrénéenne (FNP en français, NPF en anglais). On sait depuis les années 1980 (grâce à l'étude des anomalies magnétiques de l'Atlantique central et du Golfe de Gascogne) que cette FNP correspond à une faille transformante séparant la plaque eurasiatique et la microplaque ibérico-corso-sarde. Cette faille a joué en décrochement senestre durant le Crétacé supérieur, et a rejoué en faille inverse pendant le raccourcissement cénozoïque.

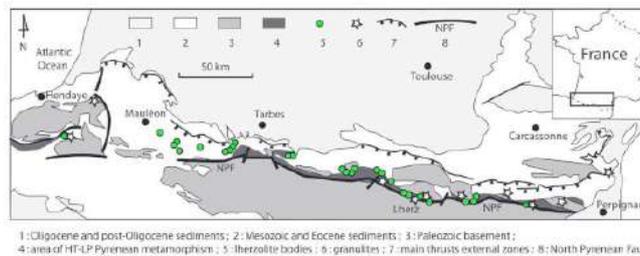
3 – Il n'y a pas que des affleurements de manteau supérieur qui affleurent à proximité de la FNP. Une dizaine d'écaillés de granulites (roches avec le faciès métamorphique "granulite", constituant la croûte continentale inférieure). Le mécanisme qui a fait remonter du manteau supérieur a aussi fait remonter de la croûte continentale inférieure.

4 – Une bande étroite (moins de 10 km) et longue (plusieurs centaines de kilomètres d'Est en Ouest) de terrains métamorphiques affleure le long de la FNP. Il s'agit d'un métamorphisme datant du Crétacé supérieur (90-95 Ma) affectant majoritairement des carbonates mésozoïques. Ce métamorphisme est un métamorphisme haute température - basse pression (HT-BP) avec des minéraux caractéristiques comme les scapolites. Ce type de métamorphisme n'est pas classiquement inclus dans les classifications des métamorphismes, classifications simples (pour ne pas dire simplistes) habituellement présentées aux étudiants. Les figures 15 et 16 de *Mini-zones de cisaillement (shear zones) dans des granites et autres roches* montrent un calcaire urgonien à rudistes affecté par ce métamorphisme HT-BP.

5 – Un profil ECORS traversant les Pyrénées du Nord au Sud dans le secteur de Lers a été réalisé en 1985-1986. Il a permis aux géologues de connaître la structure de la chaîne pyrénéenne à l'échelle de toute la lithosphère. L'application de techniques classiques en géologie pétrolière a permis de "déplier" ce profil des Pyrénées en "enlevant" les effets du raccourcissement cénozoïque (plis, failles inverses, chevauchements...). Cette technique permet de proposer une reconstitution de la chaîne pyrénéenne comme elle était au Crétacé supérieur, pendant le fonctionnement de la FNP en faille transformante senestre. Selon cette reconstitution, la croûte continentale (surtout du côté européen) était amincie par une extension contemporaine du décrochement (Crétacé supérieur), amincissement accompagné de failles normales, d'une subsidence... Ces mouvements ont créé une succession de petits bassins subsidés allongés, étroits et alignés le long du décrochement. Le Moho, au lieu d'être "normalement" à 30-35 km de profondeur, n'était plus qu'à une dizaine de kilomètres de profondeur. Cette extension et cette remontée du manteau expliqueraient le métamorphisme HT-BT affectant le Mésozoïque. Cette remontée du manteau explique aussi le faible magmatisme alcalin existant à cette époque à l'Ouest des Pyrénées (cf. *Un volcanisme bien méconnu et pourtant si riche d'enseignement : le volcanisme du Crétacé supérieur du Pays Basque, ses pillow-lavas et la salinité de l'eau de mer*) et ne se manifestant dans le secteur de Lers, que par deux "minuscules" affleurements de gabbro.

6 – Des petits fragments de manteau supérieur (les lherzolites) et de croûte inférieure (les granulites) remontés vers 10 km de profondeur lors de l'extension crétacée sont "éjectés" tectoniquement vers la surface par le (re)jeu de failles lors de la compression cénozoïque pyrénéenne, d'où le contact lherzolite / carbonates constitué de brèches tectoniques.

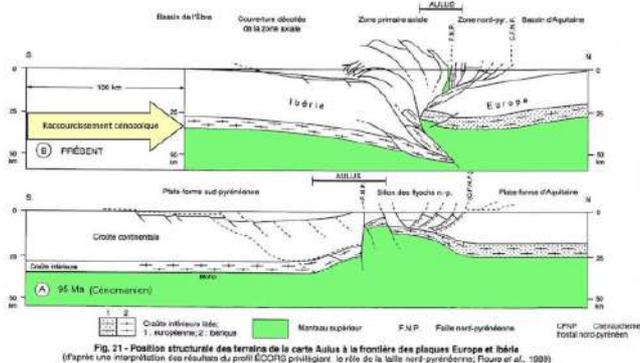
C'est cette "histoire" que j'enseignais il y a 30 ans lors de mes enseignements à la préparation à l'agrégation de l'ENS de Lyon.



Source - © 2008 Y. Lagabrielle et J.-L. Bodinier, Terra Nova, modifié

Figure 5. Carte tectono-métamorphique des Pyrénées montrant les affleurements de lherzolite et de granulite, la bande de métamorphisme HT-BP, et le tracé de la FNP

Source : Y. Lagabrielle, J.-L. Bodinier, 2008. *Cretaceous exhumation of pyrenean mantle*, Terra Nova, 20, 11–21 [pdf]



Source - © 1989 F. Roure et al., Tectonics, modifié

Figure 6. Coupes montrant la reconstitution de l'histoire des Pyrénées telle que proposée dans la notice de la carte géologique d'Aulus-les-Bains à 1/50 000 (p. 116) d'après les études postérieures au profil ECORS

En bas, la situation au Cénomaniens (Crétacé supérieur, 95 Ma). La Faille Nord Pyrénéenne correspond à une faille transformante senestre verticale (coupée perpendiculairement par la coupe), la gauche "se dirigeant vers nous", et la droite "s'éloignant de nous". Son jeu décrochant s'accompagne d'une extension avec amincissement de la croûte continentale (par le jeu de failles normales) et remontée du manteau jusque vers 10 km de profondeur.

En haut, la situation actuelle déduite du profil ECORS, obtenue après la compression au Paléocène-Éocène (65 à 35 Ma) qui provoque un raccourcissement Nord-Sud d'environ 100 km. Les écaillages chevauchants de la croûte continentale précédemment amincie lui font retrouver une épaisseur "standard". Mais, lors de cette remontée, des petits blocs de manteau supérieur (et de croûte continentale inférieure) remontent vers la surface et affleurent.

Source : F. Roure F., P. Choukroune, X. Berastegui, J.A. Munoz, A. Villien, P. Matheron, M. Bareyt, M. Séguret, P. Camara, J. Déramond, 1989. *ECORS deep seismic data and balanced cross sections: Geometric constraints on the evolution of the Pyrenees*, Tectonics, vol. 8, n° 1, p. 41-50 [pdf], repris dans BRGM (1997).

À partir du début des années 2000, de nouvelles observations de terrain faites dans les Pyrénées et des comparaisons avec des observations sous-marines au niveau de certaines zones de transition océan-continent (TOC) ont permis de changer la reconstitution au Crétacé supérieur (95 Ma). Si la paléogéographie régionale ne changeait pas dans cette nouvelle interprétation (suite de bassins subsidents, étroits, allongés et alignés le long de la faille transformante), ces observations ont permis de prouver que les brèches séparant péridotites et carbonates, au moins pour une partie d'entre elles, étaient des brèches sédimentaires, ce qui n'exclut pas qu'il y ait aussi des brèches tectoniques. Au Crétacé supérieur, certaines lherzolites visibles aujourd'hui étaient à l'affleurement (sous l'eau) dans d'étroits bassins sédimentaires. L'extension a (localement) été tellement importante que la croûte continentale a été "rompue", que le Moho a atteint la surface et que le manteau a été mis à nu au fond de ces mini-bassins. Ces fragments de manteau formaient des falaises et reliefs sous-marins dont les éboulements se mélangeaient avec des éboulements venant de reliefs calcaires sous-marins voisins, et éventuellement avec une sédimentation carbonatée benthique. Ces observations peuvent être faites sur le corps péridotitique principal près de l'étang de Lers, mais aussi à quelques kilomètres à l'Est, dans le ravin de Paumères.

Toutes les photographies qui suivent (figures 8 à 27) ont été prises en 2009 dans ce ravin de Paumères lors d'un stage géologique organisé par le CBGA et dont l'encadrement scientifique était assuré par Yves Lagabrielle, alors directeur de recherche au Laboratoire Géosciences Montpellier.

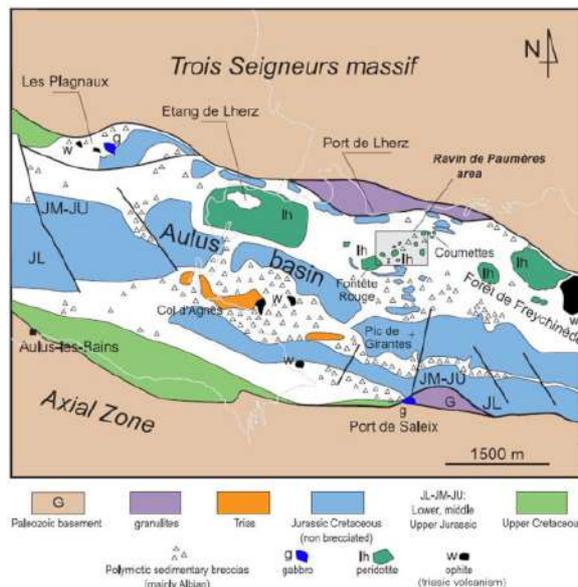


Figure 7. Carte géologique simplifiée du secteur de Lers (Ariège)

Par rapport à la carte BRGM de la figure 2, les auteurs ont “rajouté” de nombreux “petits” blocs de lherzolite, en particulier dans le secteur du ravin de Paumères. Les photos 8 à 27 ont toutes été prises dans ce ravin. C'est avec de tels affleurements que les auteurs de l'article source de cette carte ont compris que, localement, le manteau affleurait au fond de ces petits bassins marins synchrones des décrochements extensifs.

Source : C. Clerc, Y. Lagabrielle, M. Neumaier, J.Y. Reynaud and M. de St Blanquat, 2012. *Exhumation of subcontinental mantle rocks: evidence from ultramafic-bearing clastic deposits nearby the Lherz peridotite body, French Pyrenees*, Bull. Soc. géol. Fr., 183, 5, 443-459 [pdf]



Source - © 2009 Pierre Thomas

Figure 8. Falaise du ravin de Paumères, Ariège

La falaise est majoritairement constituée de carbonates. Mais des “taches” rousses-orangées montrent que ces carbonates contiennent des blocs de péridotite. De probables olistolithes ! À cette distance, il est difficile de savoir si ce sont des olistolithes de péridotite, de brèche tectonique péridotitique, de brèche sédimentaire calcaro-péridotitique... La photo suivante montre un détail de l'affleurement péridotitique au centre de la photo.

Localisation par fichier kmz du **ravin de Paumères (Ariège)** et ses **conglomérats calcaro-péridotitiques**.



Source - © 2009 Pierre Thomas

Figure 9. Détail de l'affleurement de péridotite du centre de la figure précédente, ravin de Paumère (Ariège)

La nature bréchique de la gauche de l'affleurement est évidente, ce qui n'est pas le cas à droite. À cette distance, il est difficile de trancher entre brèche tectonique et brèche sédimentaire.



Source - © 2009 Pierre Thomas

Figure 10. Vue générale sur une passée bréchique rousse-orangée au sein des carbonates, ravin de Paumères (Ariège)

On voit très bien des blocs (ou clastes) de péridotite de taille décimétrique. Parfois, les clastes de péridotite sont jointifs. Parfois ils sont “noyés” dans les carbonates.



Source - © 2009 Pierre Thomas

Figure 11. Vue rapprochée sur une passée bréchique rousse-orangée au sein des carbonates, ravin de Paumères (Ariège)

On voit très bien des blocs (ou clastes) de péridotite de taille décimétrique. Parfois, les clastes de péridotites sont jointifs. Parfois ils sont “noyés” dans les carbonates.



Source - © 2009 Pierre Thomas

Figure 12. Vue partielle sur une passée bréchique rousse-orangée au sein des carbonates, ravin de Paumères (Ariège)

On voit très bien des blocs (ou clastes) de péridotite de taille décimétrique. Parfois, les clastes de péridotites sont jointifs. Parfois ils sont “noyés” dans les carbonates. Dans le quart supérieur droit de la photo, les clastes sont très minoritaires par rapport au carbonate.



Source - © 2009 Pierre Thomas

Figure 13. Zone de brèche lherzolitique dans le ravin de Paumères (Ariège)

Les clastes de lherzolites sont jointifs, sans “liant” et ressemblent beaucoup à de la brèche tectonique.



Source - © 2009 Pierre Thomas

Figure 14. Zoom sur une zone de brèche lherzolitique dans le ravin de Paumères (Ariège)

Les clastes de lherzolites sont jointifs, sans “liant” et ressemblent beaucoup à de la brèche tectonique.



Source - © 2009 Pierre Thomas

Figure 15. Détail de brèche lherzolitique dans le ravin de Paumères (Ariège)

Les clastes de lherzolites sont jointifs, sans “liant” et ressemblent beaucoup à de la brèche tectonique.



Source - © 2009 Pierre Thomas

Figure 16. Bloc de brèche mixte calcaro-péridotitique faisant partie d'un éboulis, ravin de Paumères (Ariège)

Le bloc central contient une majorité de clastes de péridotite et quelques clastes de carbonates, non jointifs, emballés dans ce qui semble être un liant constitué de sable et de graviers (maintenant consolidé) fait de grains ayant la couleur de la péridotite altérée. Il s'agit très vraisemblablement d'une brèche sédimentaire.



Source - © 2009 Pierre Thomas

Figure 17. Détail d'un bloc de brèche mixte calcaro-péridotitique faisant partie d'un éboulis, ravin de Paumères (Ariège)

Le bloc contient une majorité de clastes de péridotite et quelques clastes de carbonates, non jointifs, emballés dans ce qui semble être un liant constitué de sable et de graviers (maintenant consolidé) fait de grains ayant la couleur de la péridotite altérée. Il s'agit très vraisemblablement d'une brèche sédimentaire.



Source - © 2009 Pierre Thomas

Figure 18. Éboulis contenant des blocs de carbonates, d'autres de péridotites et des blocs de brèche mixte calcaro-péridotitique, ravin de Paumères (Ariège)

Les blocs mixtes contiennent une majorité de clastes de carbonates et quelques clastes de lherzolite très altérée, non jointifs et emballés dans ce qui semble être un liant constitué de sable et de graviers (maintenant consolidé). Ce liant est fait de grains ayant la couleur de la péridotite altérée. Il s'agit très vraisemblablement de brèches sédimentaires.



Source - © 2009 Pierre Thomas

Figure 19. Bloc de brèche mixte calcaro-péridotitique, ravin de Paumères (Ariège)

Ce bloc contient une majorité de clastes de carbonates et quelques clastes de lherzolite très altérée, non jointifs et emballés dans ce qui semble être un liant constitué de sable et de graviers (maintenant consolidé). Ce liant est fait de grains ayant la couleur de la péridotite altérée. Il s'agit très vraisemblablement d'un bloc de brèche sédimentaire.



Source - © 2009 Pierre Thomas

Figure 20. Détail d'un bloc de micro-brèche mixte calcaro-péridotitique, ravin de Paumères (Ariège)

Cette brèche contient de petits clastes de carbonates, de la taille du gravier à celle d'un grain de sable, emballés dans ce qui semble être un liant constitué de graviers encore plus fins et de sable (liant maintenant consolidé et devenu grès). Ce liant est fait de petits grains ayant la couleur de la péridotite altérée. Si certains des clastes sont anguleux, d'autres sont arrondis. La taille des graviers carbonatés est relativement homogène sur plusieurs centimètres carrés. Ces caractéristiques sont celles d'une roche sédimentaire ayant subi un certain transport.



Source - © 2009 Pierre Thomas

Figure 21. Détail rapproché d'un bloc de micro-brèche mixte calcaro-péridotitique, ravin de Paumères (Ariège)

Cette brèche contient de petits clastes de carbonates, de la taille du gravier à celle d'un grain de sable, emballés dans ce qui semble être un liant constitué de graviers encore plus fins et de sable (liant maintenant consolidé et devenu grès). Ce liant est fait de petits grains ayant la couleur de la péridotite altérée. Si certains des clastes sont anguleux, d'autres sont arrondis. La taille des graviers carbonatés est relativement homogène sur plusieurs centimètres carrés. Ces caractéristiques sont celles d'une roche sédimentaire ayant subi un certain transport.



Source - © 2009 Pierre Thomas

Figure 22. Affleurement montrant une brèche avec des clastes lherzolitiques décimétriques anguleux non jointifs, emballés dans un liant carbonaté, ravin de Paumères (Ariège)



Source - © 2009 Pierre Thomas

Figure 23. Vue rapprochée sur un affleurement montrant une brèche avec des clastes lherzolitiques décimétriques anguleux non jointifs, emballés dans un liant carbonaté, ravin de Paumères (Ariège)



Source - © 2009 Pierre Thomas

Figure 24. Détail d'un affleurement montrant une brèche avec des clastes lherzolitiques décimétriques anguleux non jointifs, emballés dans un liant carbonaté, ravin de Paumères (Ariège)



Source - © 2009 Pierre Thomas

Figure 25. Autre bloc éboulé montrant une brèche avec des clastes lherzolitiques décimétriques anguleux non jointifs, emballés dans un liant carbonaté, ravin de Paumères (Ariège)



Source - © 2009 Pierre Thomas

Figure 26. Blocs dans un éboulis dont un, au centre gauche, formé d'une brèche constituée d'une majorité de clastes calcaires (dont certains relativement arrondis) et de quelques rares clastes de péridotite très altérés, ravin de Paumères (Ariège)

Les clastes de ce bloc, presque jointifs, sont emballés dans un liant d'une teinte intermédiaire entre carbonates et péridotites altérées.

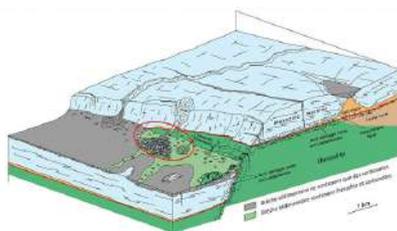


Source - © 2009 Pierre Thomas

Figure 27. Détail d'un bloc formé d'une brèche constituée d'une majorité de clastes calcaires (dont certains relativement arrondis) et de quelques rares clastes de péridotite très altérés, ravin de Paumères (Ariège)

Les clastes, presque jointifs, sont emballés dans un liant d'une teinte intermédiaire entre carbonates et péridotites altérées.

C'est avec de tels affleurements et bien d'autres que les géologues de Montpellier, de Toulouse et d'autres laboratoires ont élaboré le scénario énoncé plus haut (après la figure 6). Dans plusieurs publications, ces géologues ont fait des schémas pour illustrer ce scénario. Nous vous en montrons quatre.



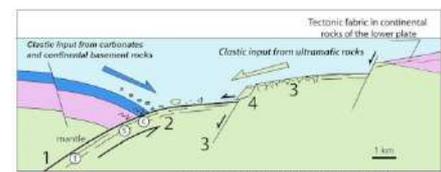
3D reconstruction of the tectonic environment for the polyrotary extensional tectonics in the Euzéouly-Lherz region.

Source - © 2012 C. Clerc et al., Bull. Soc. géol. Fr., modifié

Figure 28. Bloc diagramme reconstituant l'environnement des brèches mixtes (carbonatées et lherzolitiques) du ravin de Paumères (Ariège)

Les affleurements des photos précédentes pourraient être localisés dans l'ovale rouge.

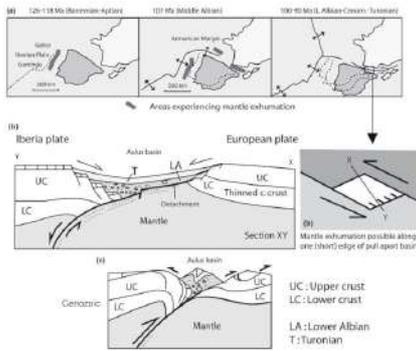
Source : C. Clerc, Y. Lagabrielle, M. Neumaier, J.Y. Reynaud and M. de St Blanquat, 2012. *Exhumation of subcontinental mantle rocks: evidence from ultramafic-bearing clastic deposits nearby the Lherz peridotite body, French Pyrenees*, Bull. Soc. géol. Fr., 183, 5, 443-459 [pdf]



Source - © 2008 Y. Lagabrielle et J.-L. Bodinier, Terra Nova, modifié

Figure 29. Illustration du mécanisme proposé pour expliquer les affleurements de manteau dans des petits bassins en extension associés à la faille transformante, future Faille Nord Pyrénéenne

Source : Y. Lagabrielle, J.-L. Bodinier, 2008. *Cretaceous exhumation of pyrenean mantle*, Terra Nova, 20, 11-21 [pdf]

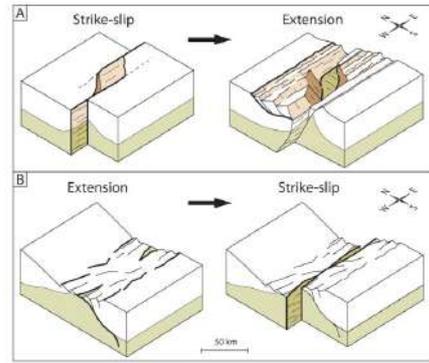


Source - © 2008 Y. Lagabrielle et J.-L. Bodinier, Terra Nova

Figure 30. Figure replaçant les bassins en extension à fond péridotitique (et bréchiqique) dans leur contexte géographique et chronologique

Selon ce modèle, l'extension associée à la faille transformante séparant Europe et Ibérie était surtout localisée dans des petits bassins en *pull apart* le long de la faille.

Source : Y. Lagabrielle, J.-L. Bodinier, 2008. *Cretaceous exhumation of pyrenean mantle*, Terra Nova, 20, 11–21 [pdf]



Source - © 2012 C. Clerc et al., Bull. Soc. géol. Fr.

Figure 31. Figure proposant deux scénarios possibles expliquant les nombreux petits bassins extensifs crétaçés le long de la faille transformante Europe-Ibérie

(A) : Décrochement E-O suivi d'une extension N-S.
 (B) extension N-S suivi d'un décrochement E-O.

Plusieurs de ces épisodes ont pu se succéder pendant le Crétacé supérieur. Un troisième scénario de transtension est aussi proposé (décrochement avec une composante en extension).

Source : C. Clerc, Y. Lagabrielle, M. Neumaier, J.Y. Reynaud and M. de St Blanquat, 2012. *Exhumation of subcontinental mantle rocks: evidence from ultramafic-bearing clastic deposits nearby the Lherz peridotite body, French Pyrenees*, Bull. Soc. géol. Fr., 183, 5, 443-459 [pdf]



Source - © 2023 BRGM / Google Earth

Figure 32. Localisation de la région de Lers (Ariège) sur la carte géologique de France