

OUVERTURE des BASSINS NORD-PYRENEENS et EXHUMATION du MANTEAU

Yves Lagabrielle, CNRS, Géosciences Rennes
Pierre Labaume, CNRS, Géosciences Montpellier
Benjamin Corre, docteur Géosciences Rennes

04 juin 2019 - Pau

CHANTIER RGF - PYRÉNÉES

PARTIE 1. **le cadre historique.....**

Mer Méditerranée

La chaîne des Pyrénées

Entre l'Europe et l'Ibérie



Entre l'Europe et l'Ibérie



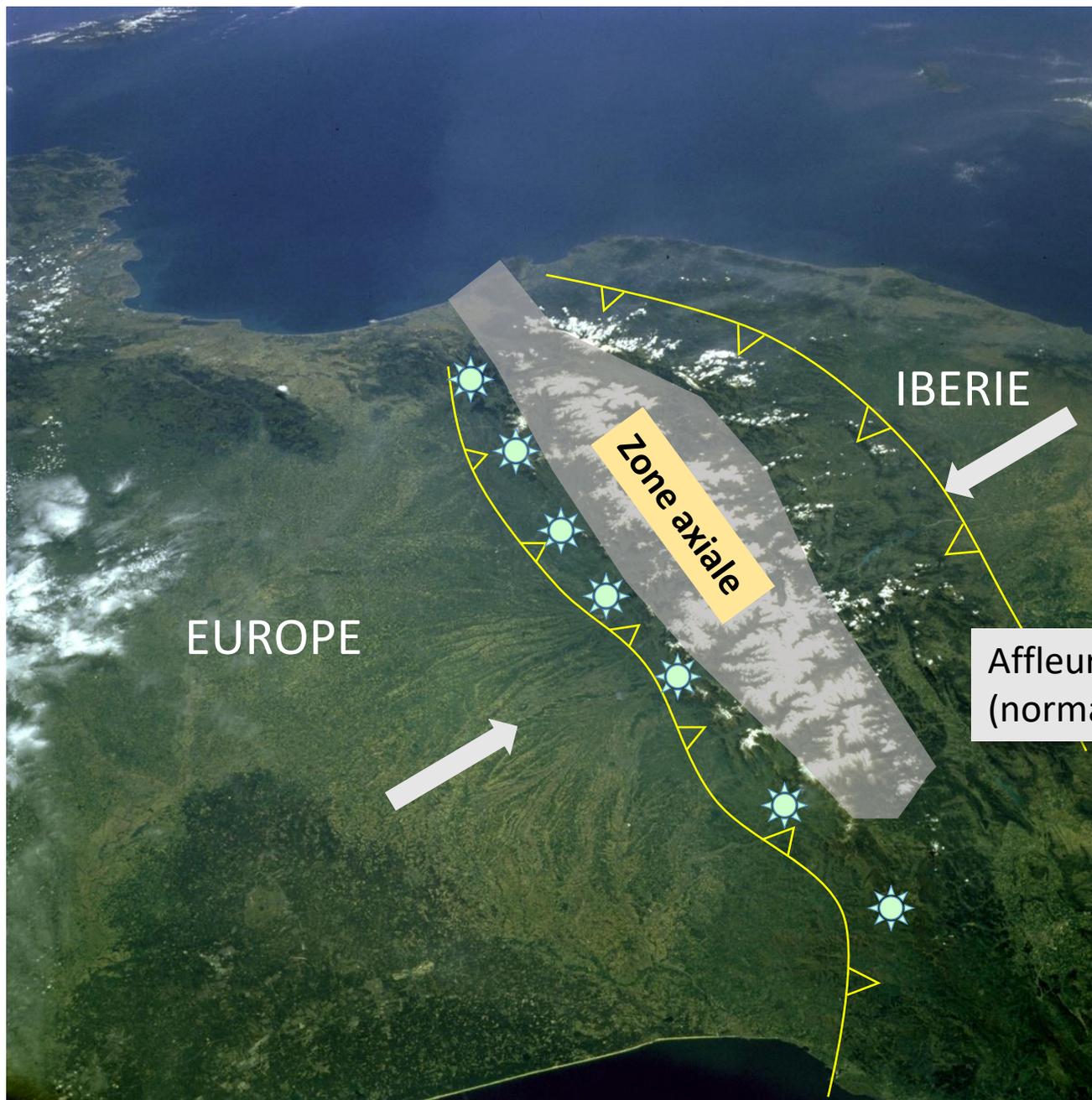
Prisme tectonique à double vergence :
Front de charriages nord et sud



Entre l'Europe et l'Ibérie

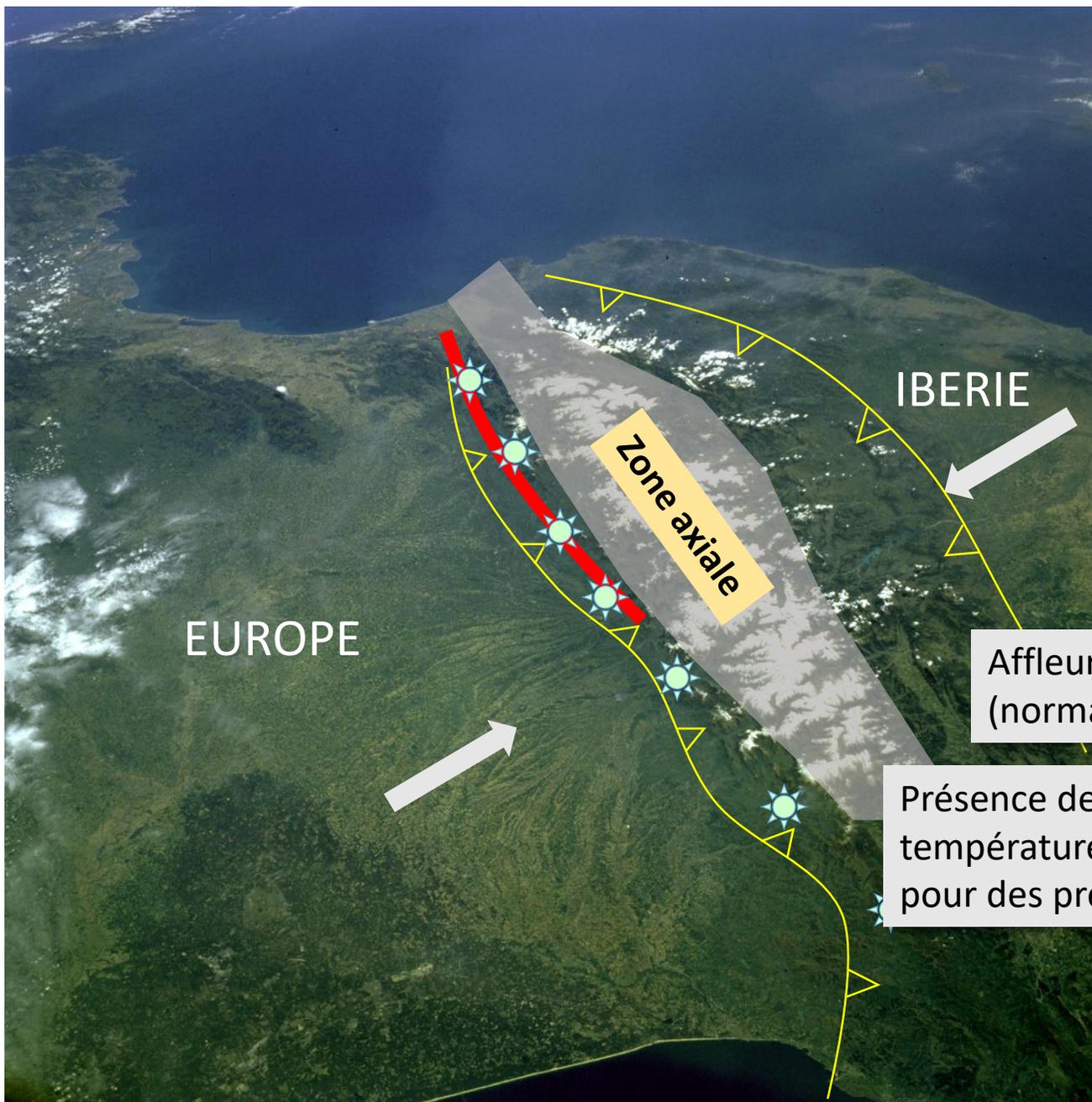
Zone axiale :
terrains d'âge primaire (Paléozoïque)

Entre l'Europe et l'Ibérie



Affleurements de roches du manteau terrestre
(normalement enfouies à 30 km de profondeur)

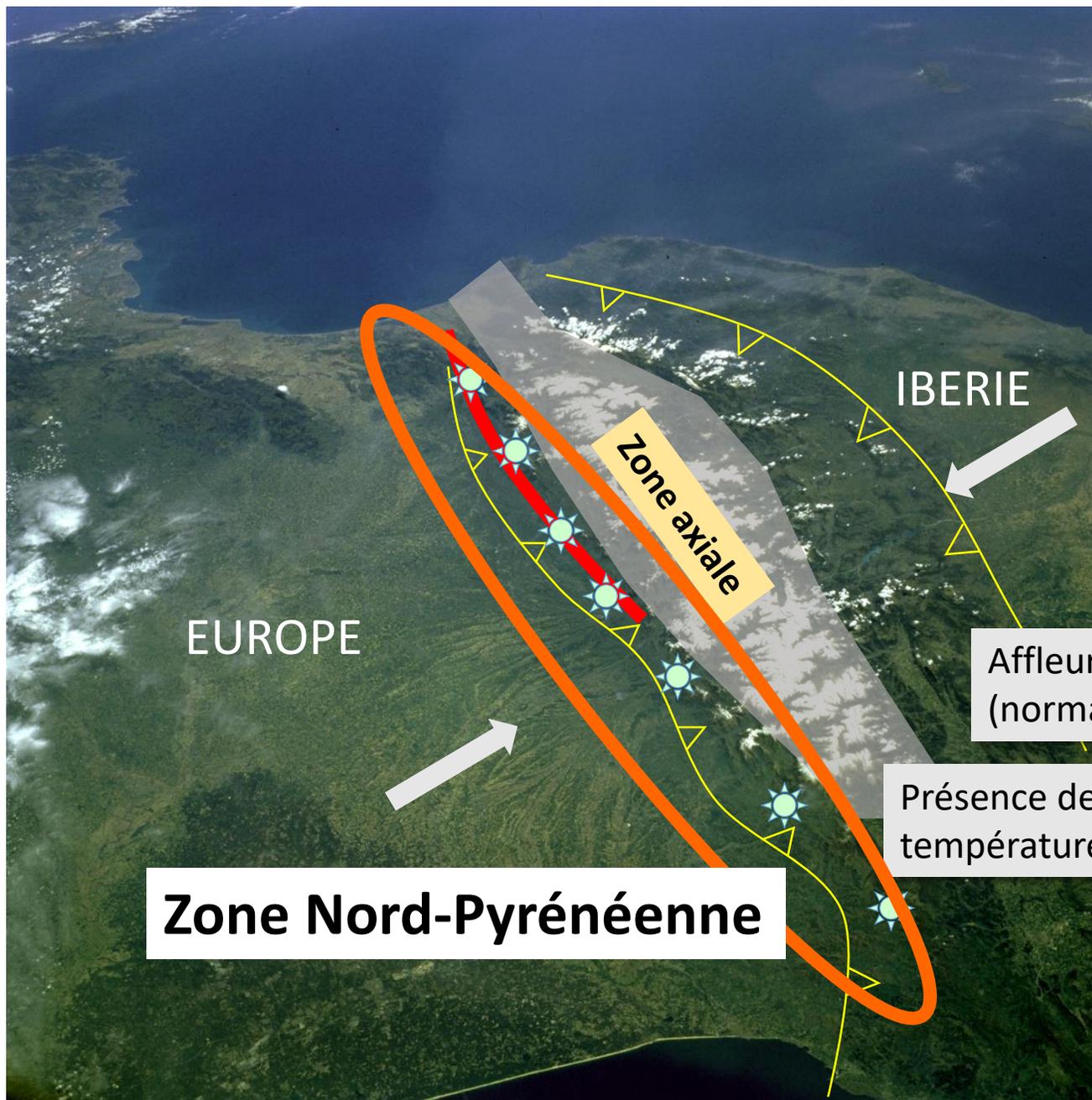
Entre l'Europe et l'Ibérie



Affleurements de roches du manteau terrestre (normalement enfouies à 30 km de profondeur)

Présence de roches sédimentaires portées à des températures anormalement hautes (250 à 600°C) pour des pressions standard

Entre l'Europe et l'Ibérie



Affleurements de roches du manteau terrestre (normalement enfouies à 30 km de profondeur)

Présence de roches sédimentaires portées à des températures anormalement hautes (250 à 600°C)

Zone Nord-Pyrénéenne

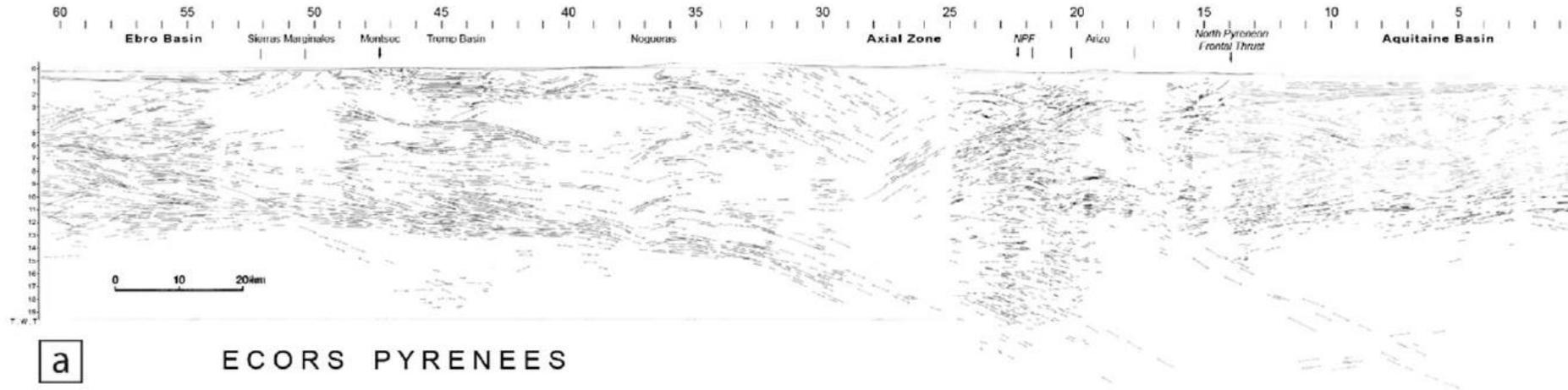
Une chaîne de collision (...vue par la géophysique)

Sud

Nord

B. De l'Ebre

B. d'Aquitaine

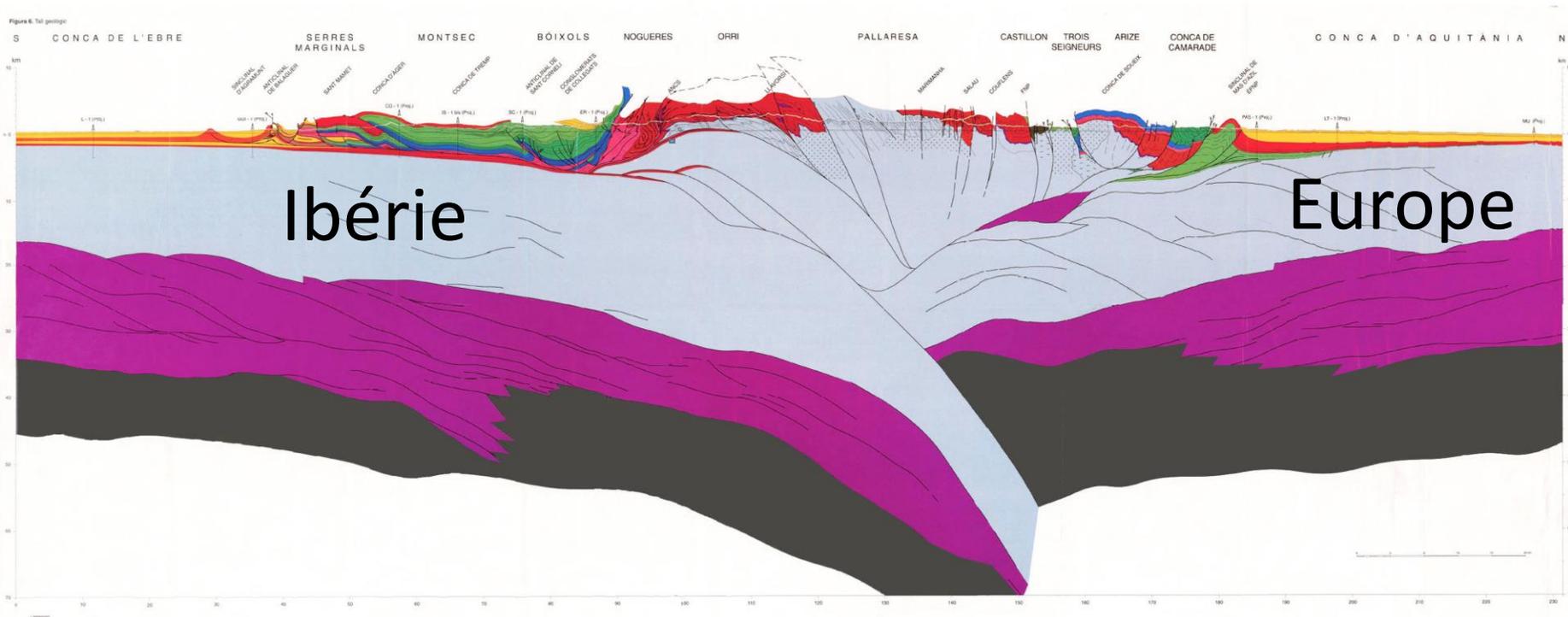


Une chaîne de collision interprétée par les géologues

Sud

Nord

Zone axiale

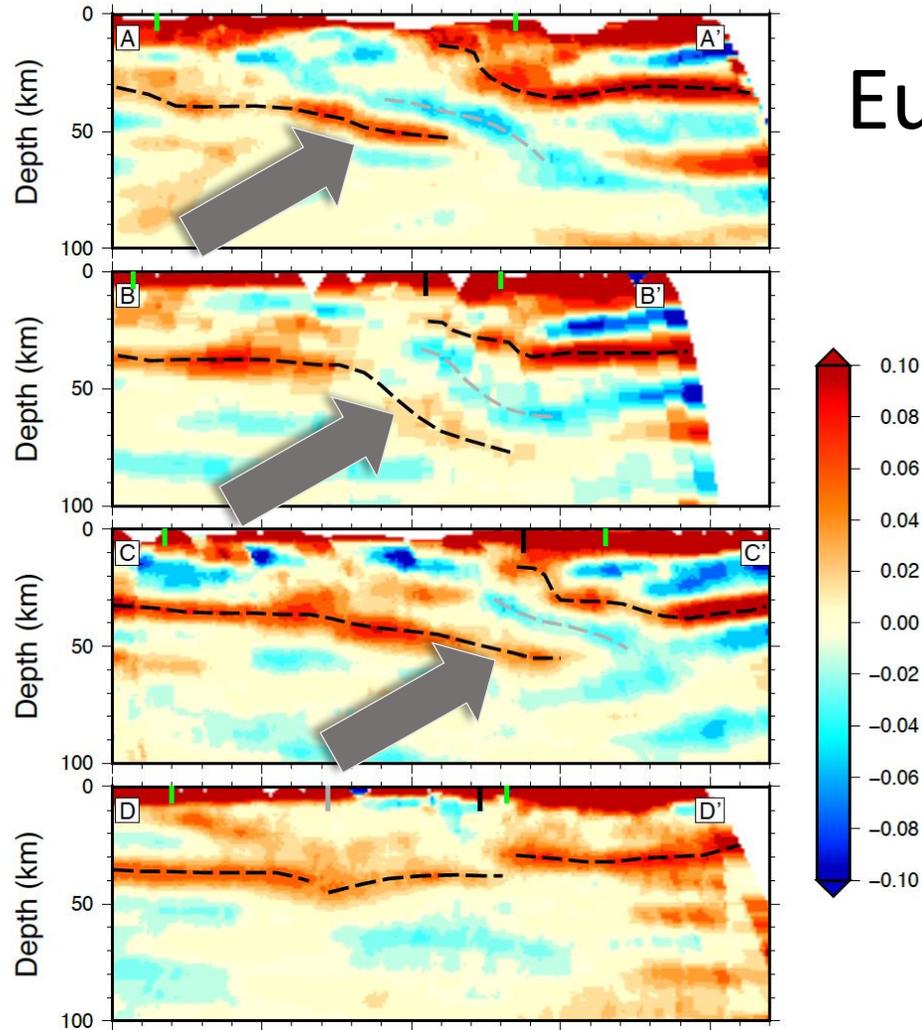


Munoz et al, 1992

Données plus récentes : la tomographie sismique

Ibérie

Europe



Chevrot et al., 2018

Autres données de la géophysique : la gravimétrie

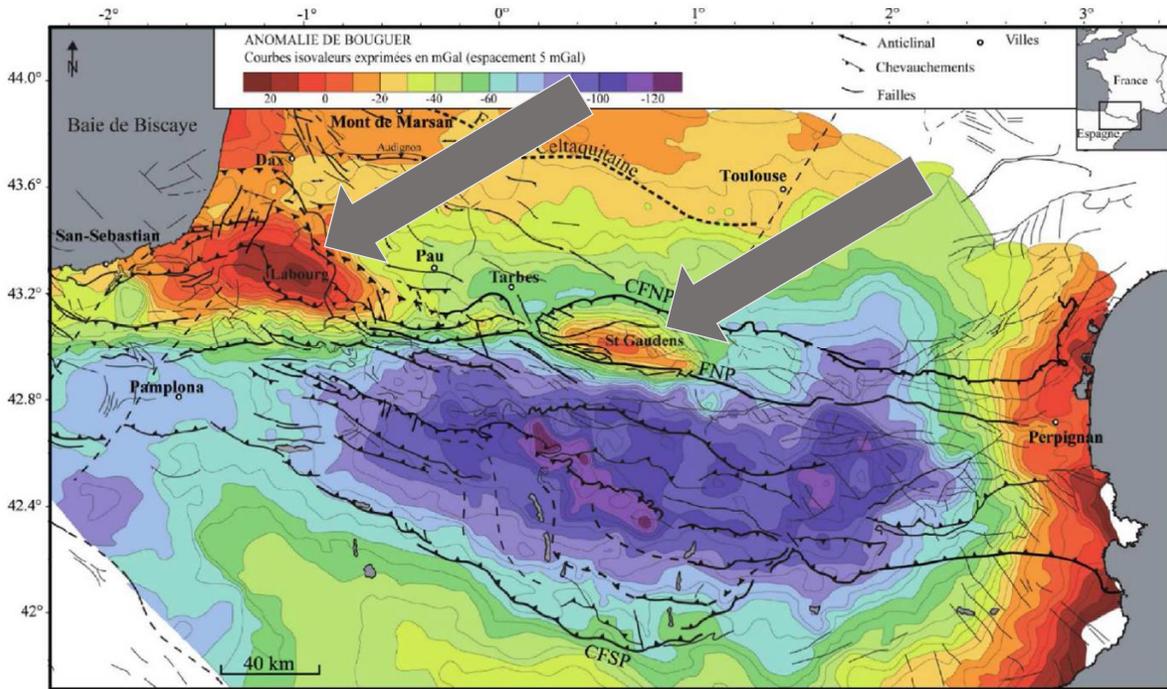


Figure I-13 : Carte de l'anomalie de Bouguer représentant la répartition des anomalies gravitaires dans le domaine pyrénéen, d'après Lacan (2008), modifiée d'après Bayer et al. (1996) et Casas et al. (1997). Deux anomalies

Lacan et al. 2008

Autres données de la géophysique : la gravimétrie + tomographie sismique

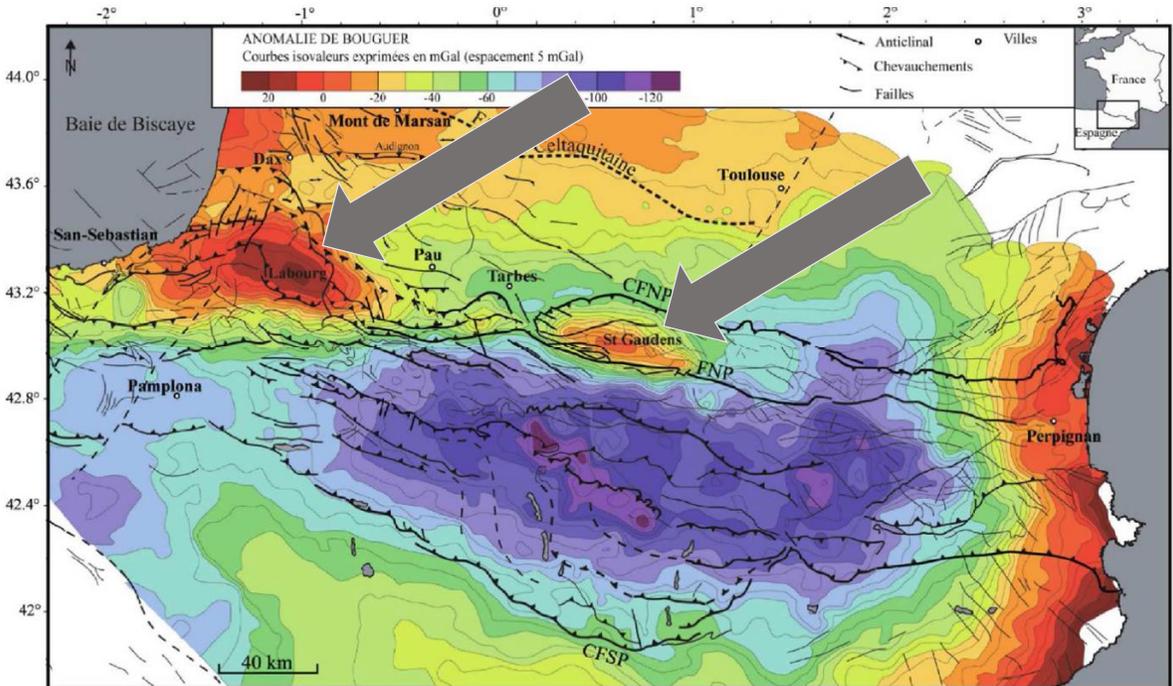
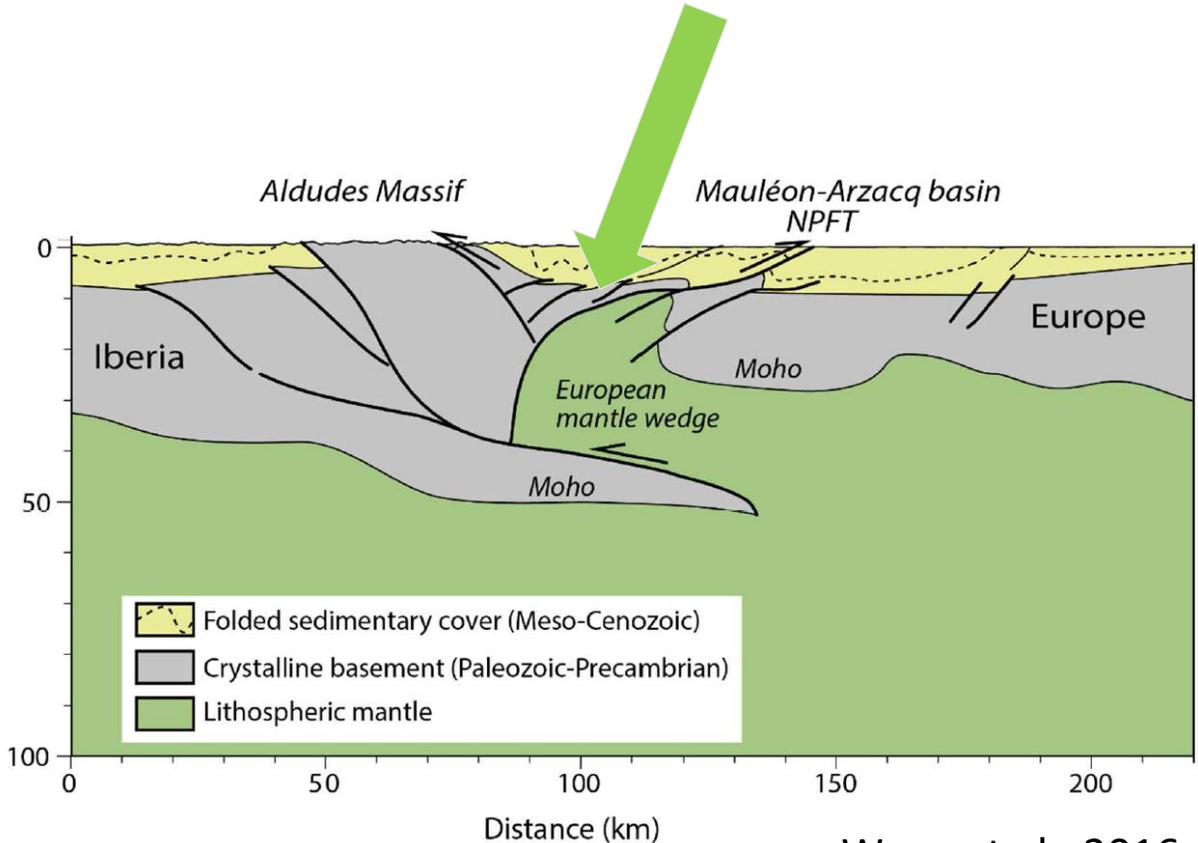
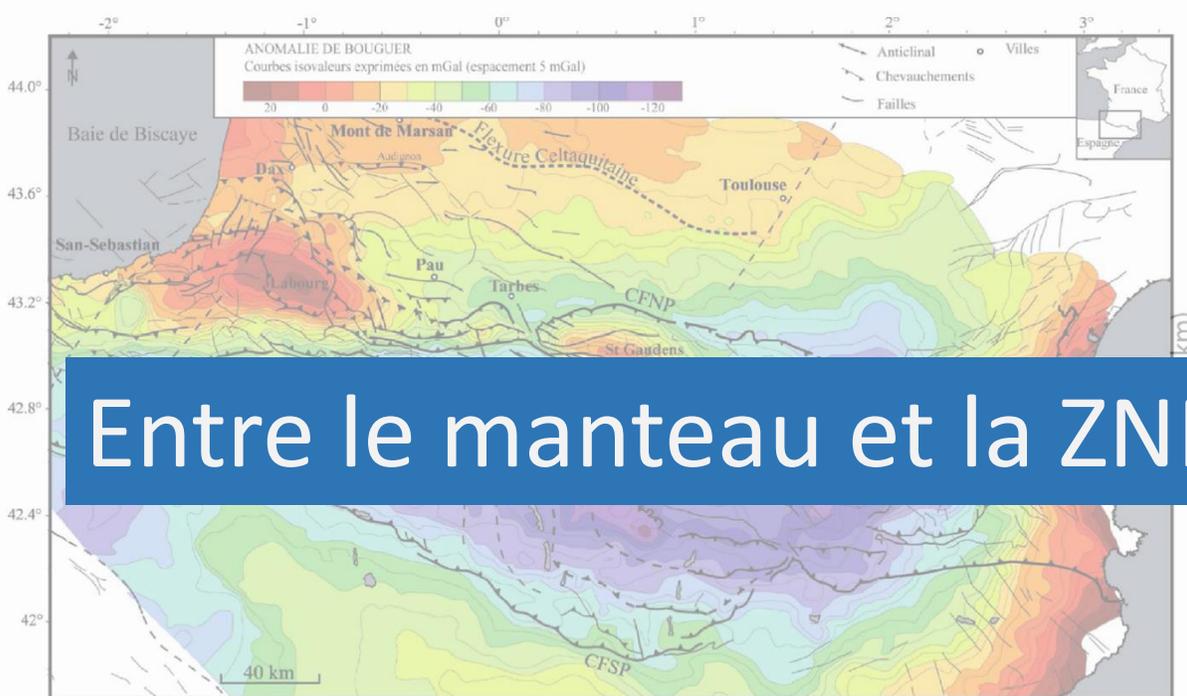


Figure I-13 : Carte de l'anomalie de Bouguer représentant la répartition des anomalies gravitaires dans le domaine pyrénéen, d'après Lacan (2008), modifiée d'après Bayer et al. (1996) et Casas et al. (1997). Deux anomalies

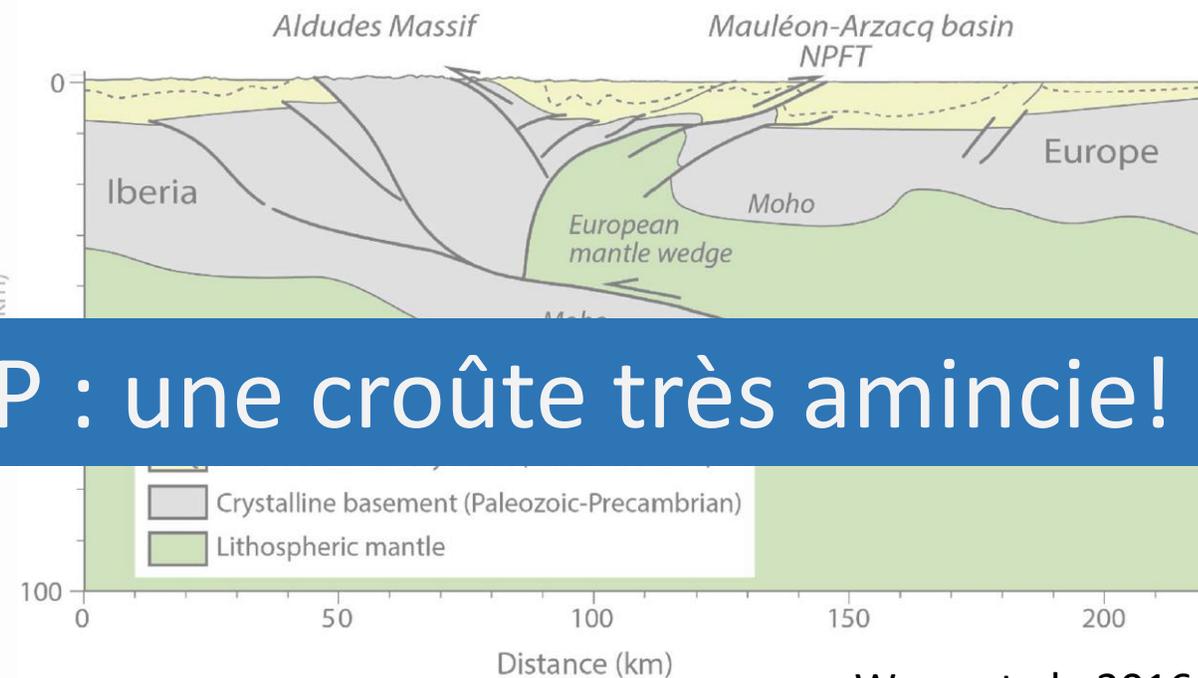
Lacan et al. 2008



Wang et al., 2016



Entre le manteau et la ZNP : une croûte très amincie!

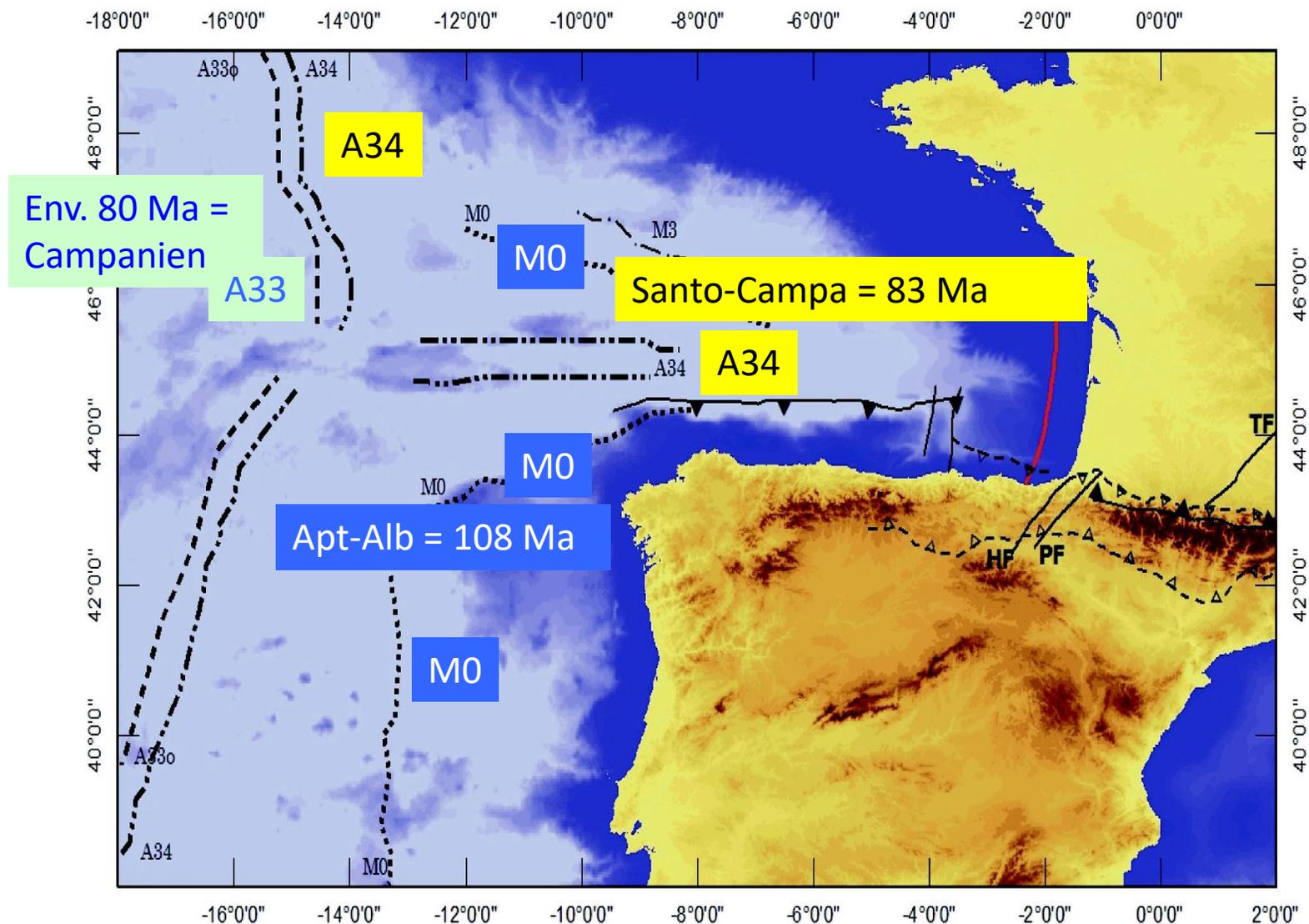


Wang et al., 2016

Figure I-13 : Carte de l'anomalie de Bouguer représentant la répartition des anomalies gravitaires dans le domaine pyrénéen, d'après Lacan (2008), modifiée d'après Bayer et al. (1996) et Casas et al. (1997). Deux anomalies

Lacan et al. 2008

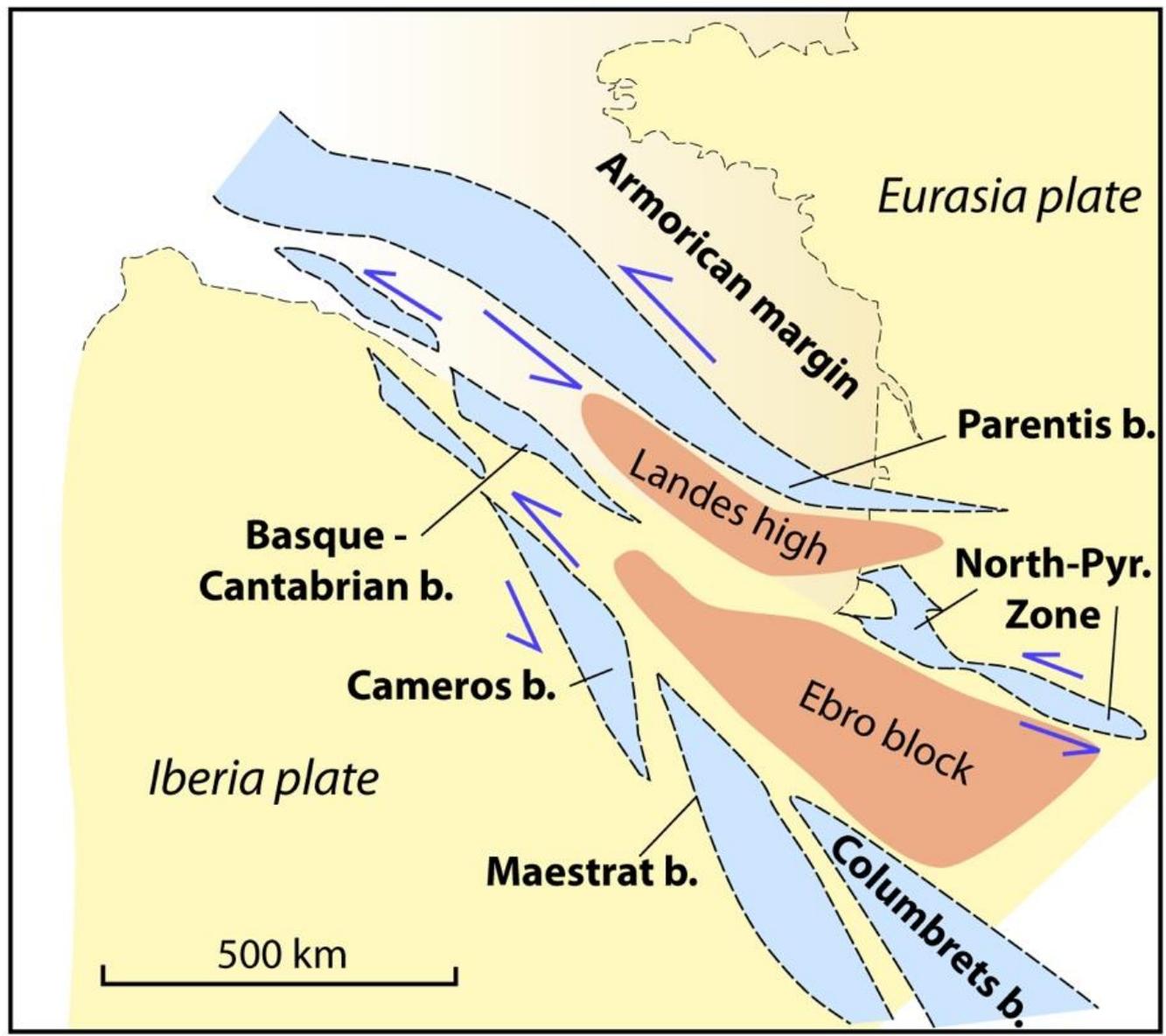
Les anomalies magnétiques dans l'océan : des guides pour décrire les mouvements Ibérie-Europe





Aptien inf. 125 Ma

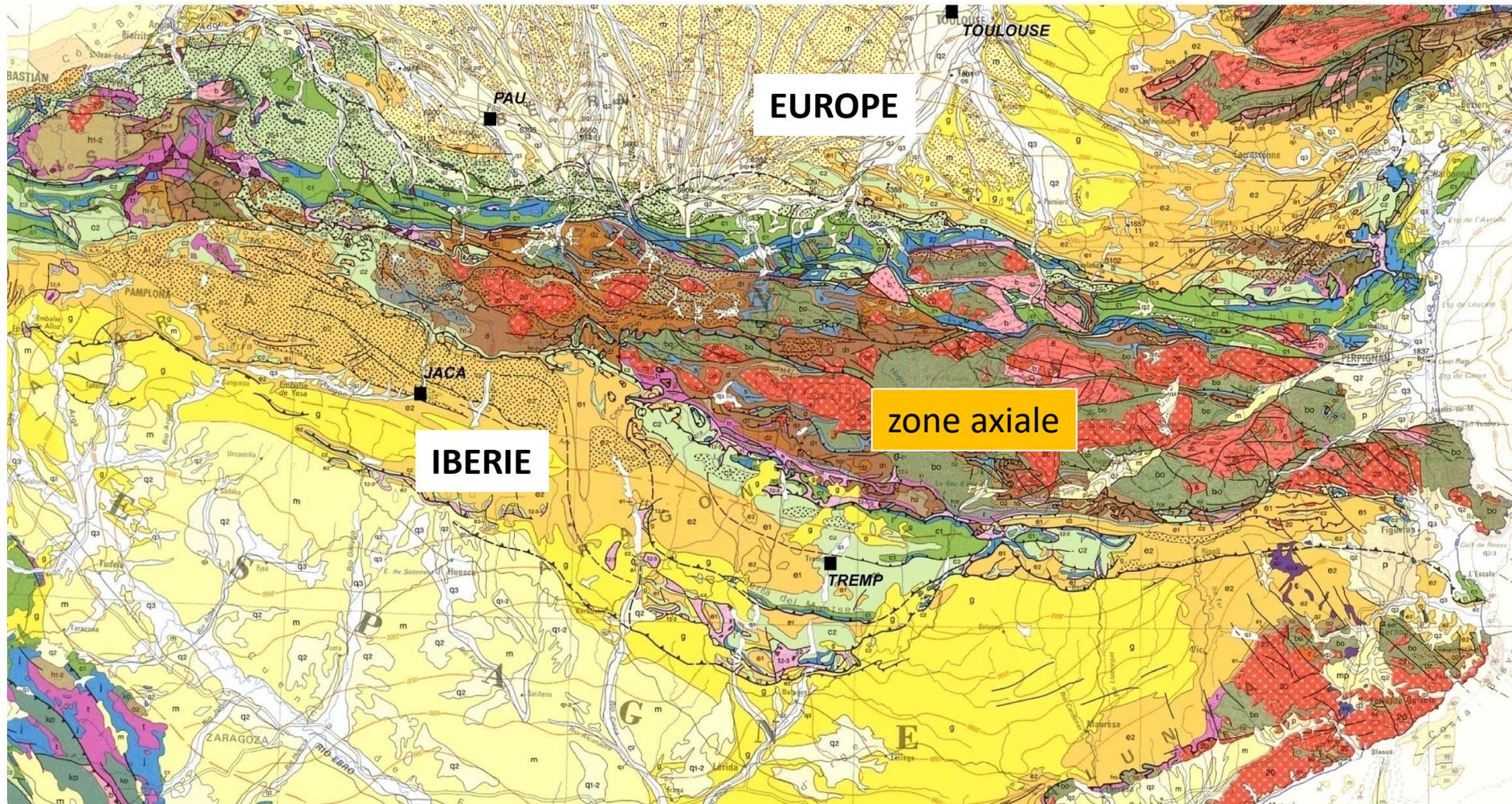
Ouverture de bassins
entre Ibérie et Europe
pendant la dérive de
l'Ibérie vers l'Est



Lagabrielle et al., sub.
modifié de Tugend et al., 2014

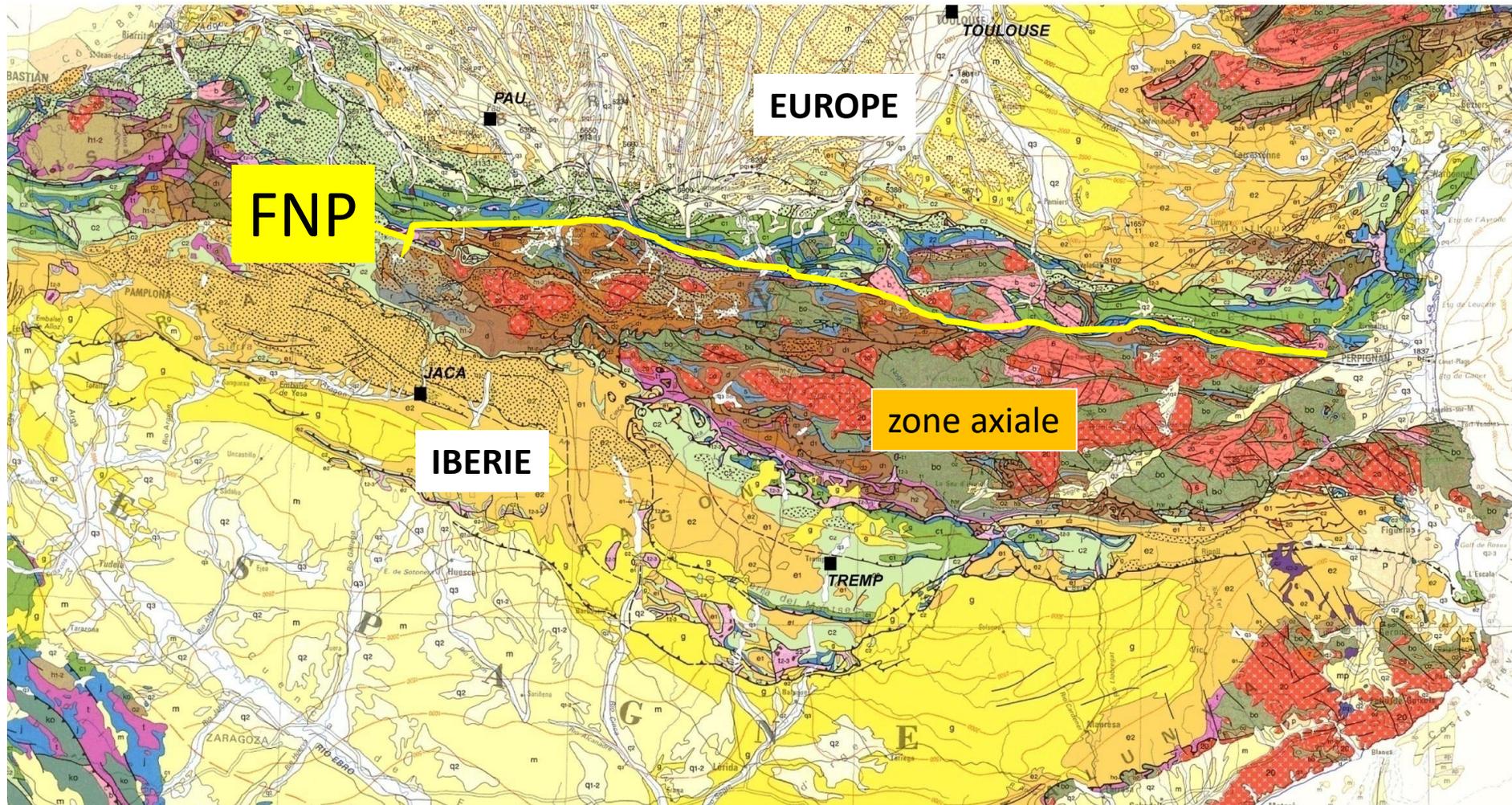
La Zone Nord-Pyrénéenne

Carte géologique des Pyrénées (extrait de la carte 1:10⁶ de la France)



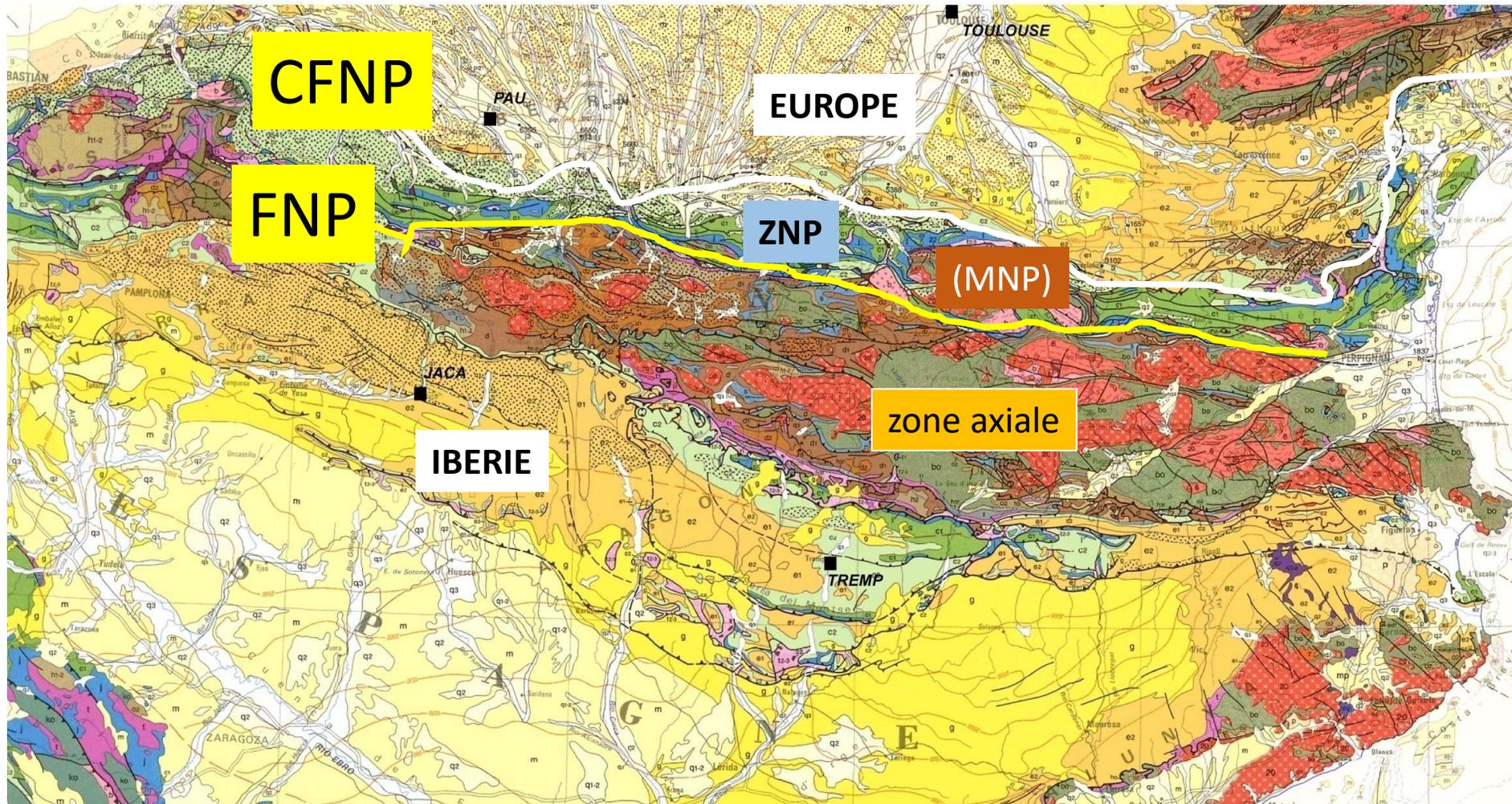
La Zone Nord-Pyrénéenne

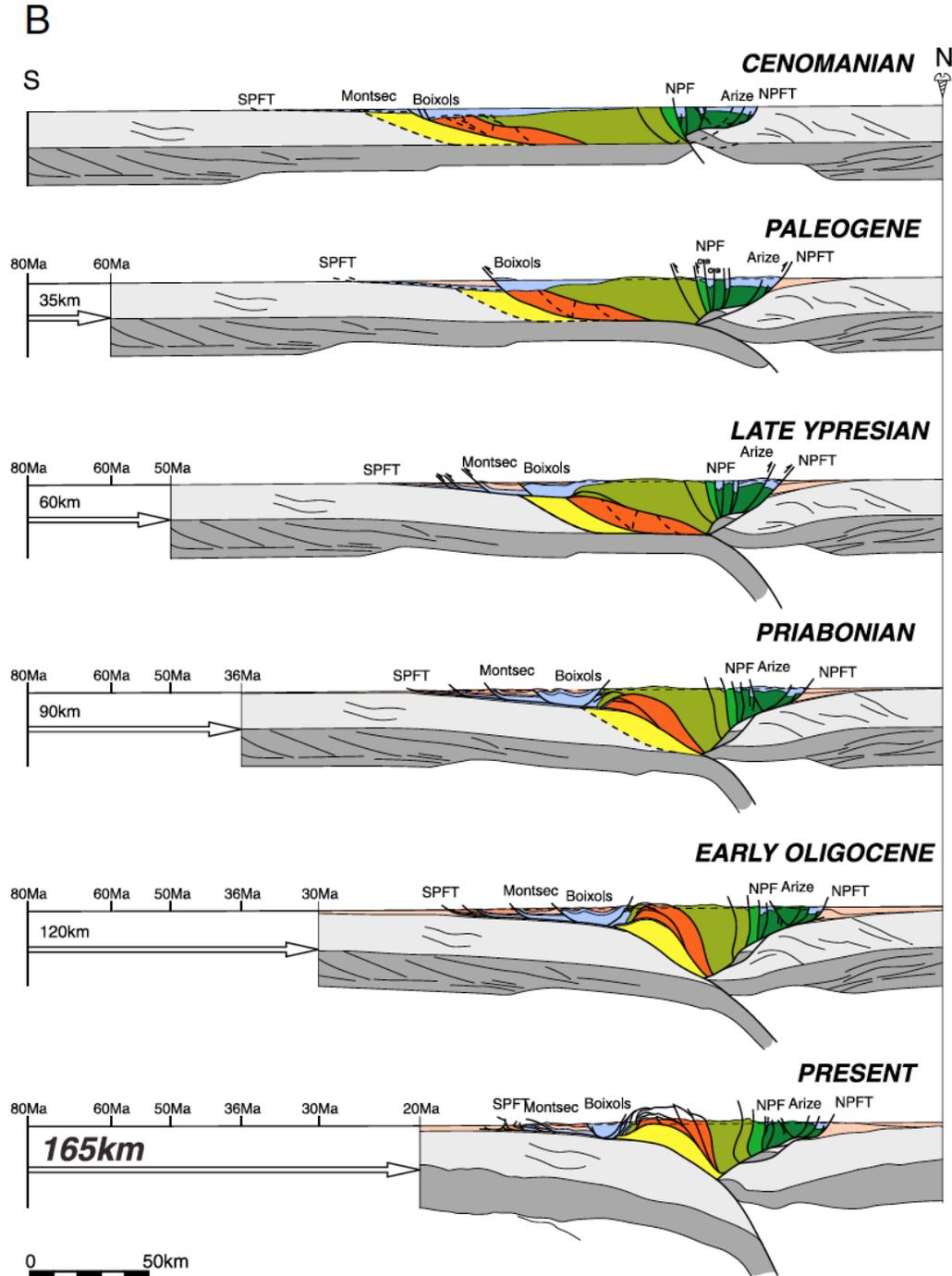
Carte géologique des Pyrénées (extrait de la carte 1:10⁶ de la France)



La Zone Nord-Pyrénéenne

Carte géologique des Pyrénées (extrait de la carte 1:10⁶ de la France)





Rétro-déformation dans les années 2000 et auparavant

Beaumont et al., 2000, in Mouthereau et al., 2014



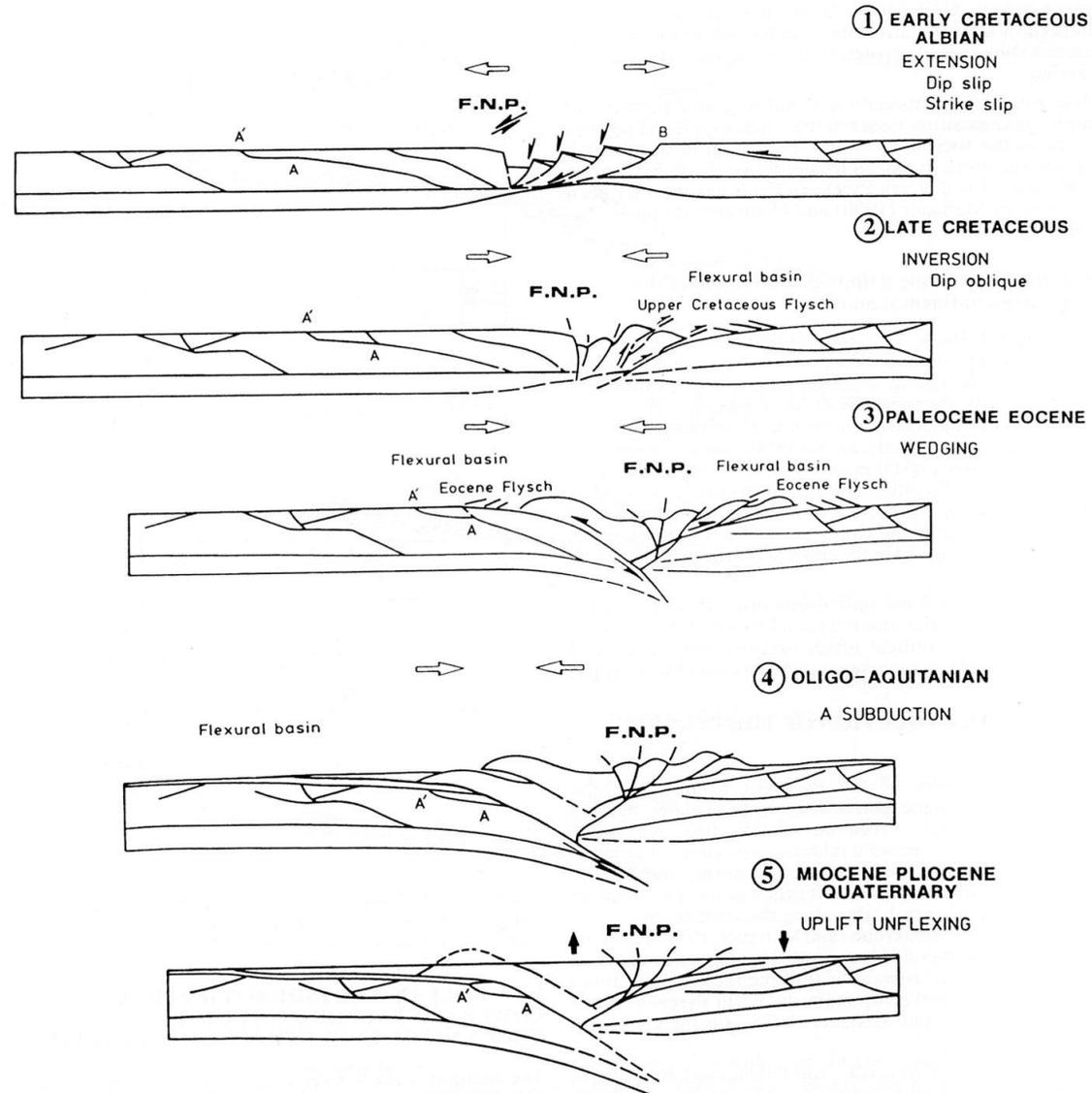


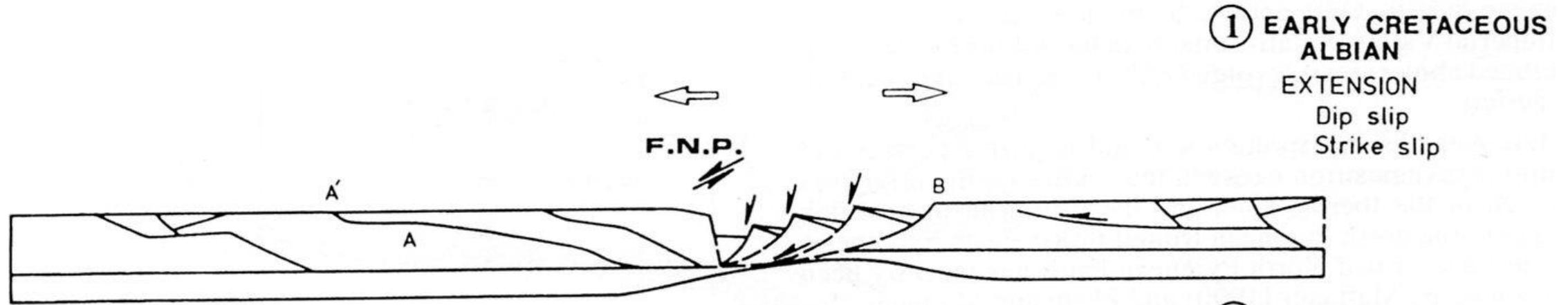
FIG. V-14. – Evolutionary model of the Pyrenees according to the present geometry imaged in figure V-12 c.

Rétro-déformation dans les années 2000 et auparavant

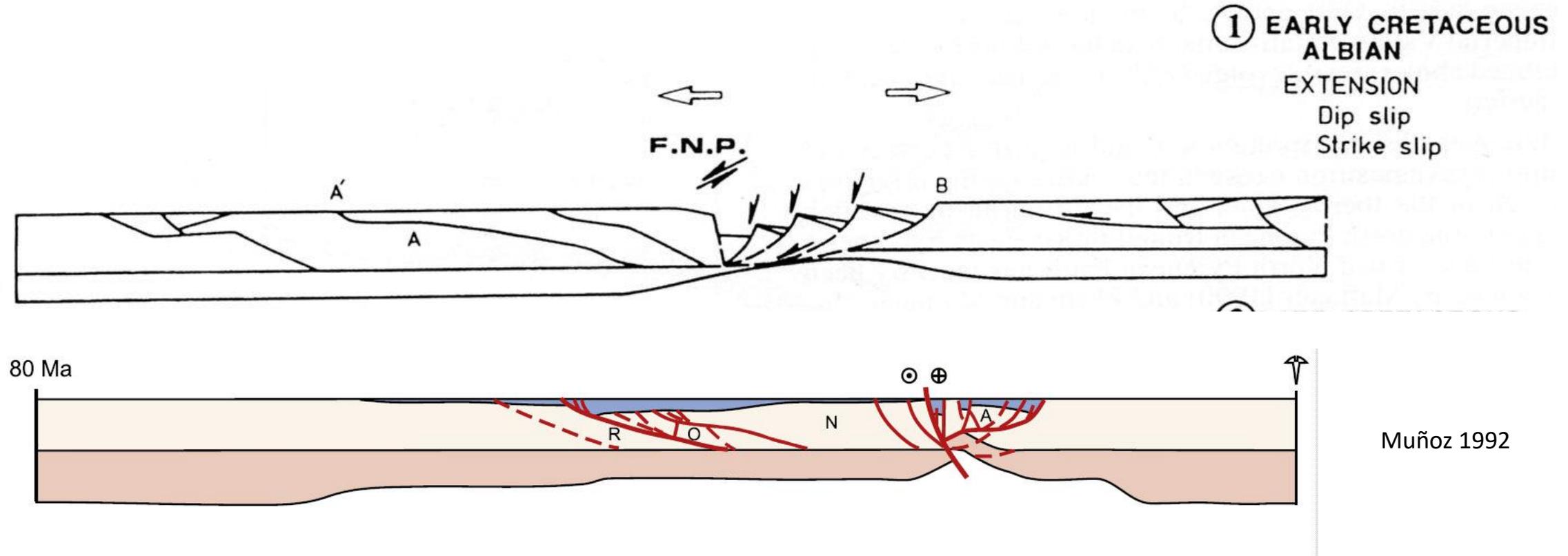
Roure et Choukroune, 1998

Roure, F., and P. Choukroune (1998), Contribution of the ECORS seismic data to the Pyrenean geology: Crustal architecture and geodynamic evolution of the Pyrenees, *Mem. Soc. Geol. Fr.*, 173, 37–52.

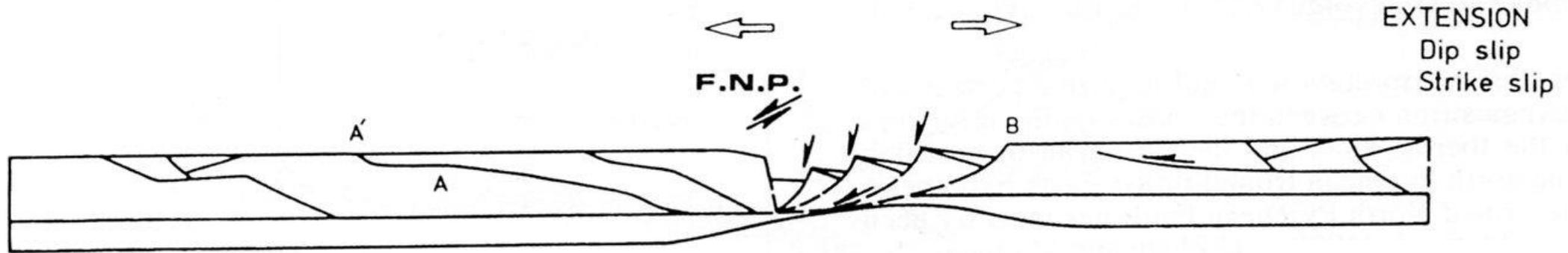
Reconstitutions "anciennes" des bassins de la ZNP



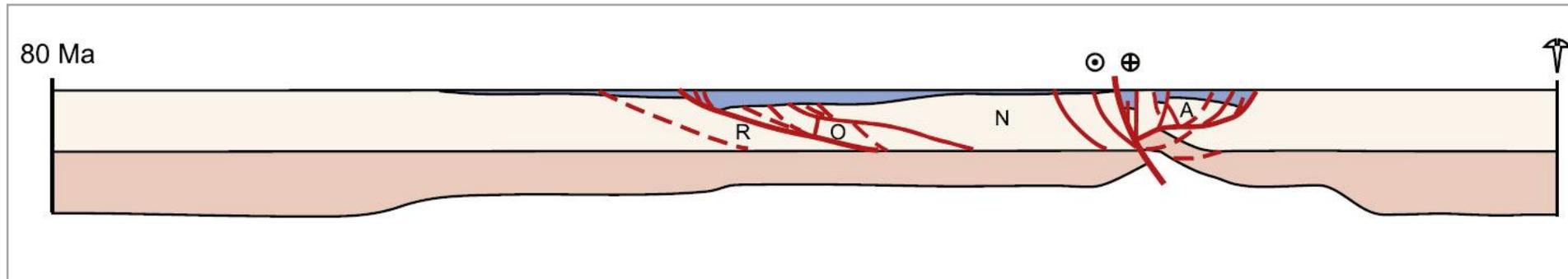
Reconstitutions "anciennes" des bassins de la ZNP



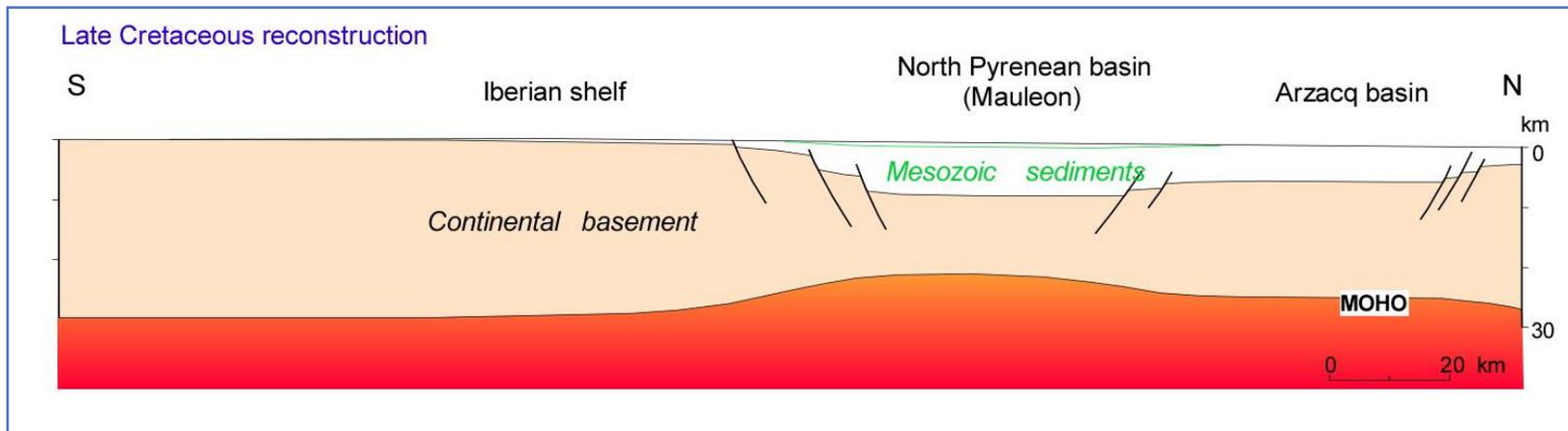
la ZNP correspond donc classiquement à des bassins étroits à fond continental



Roure et Choukroune, 1998

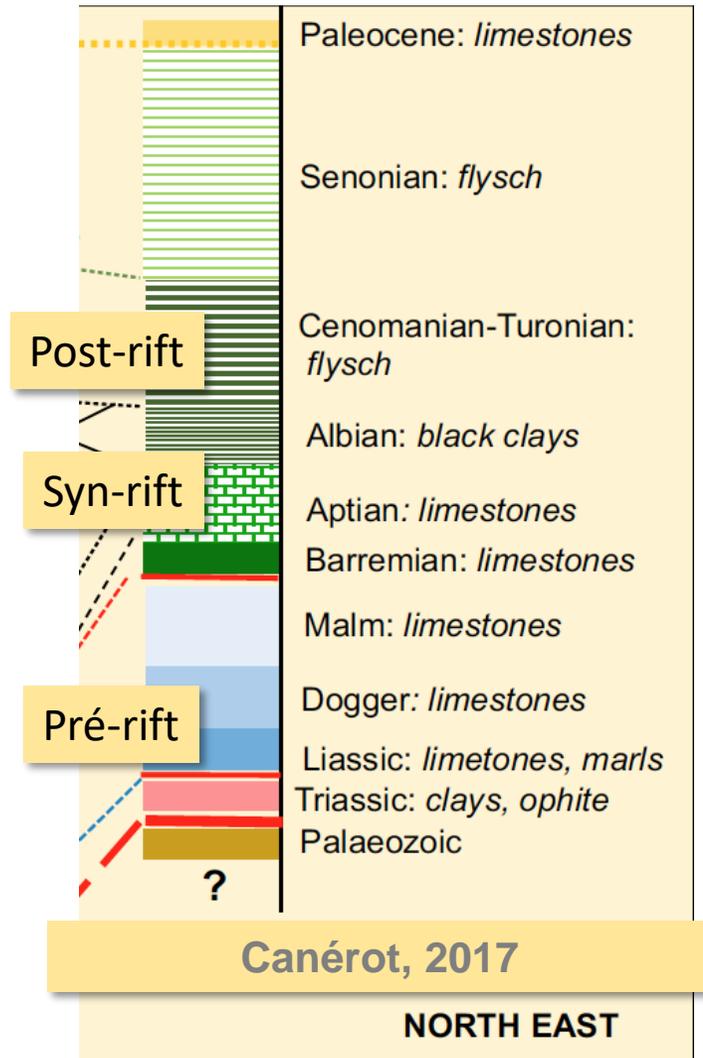


Muñoz, 1992

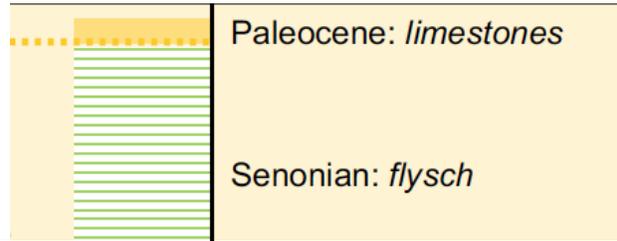


Teixell, 1998

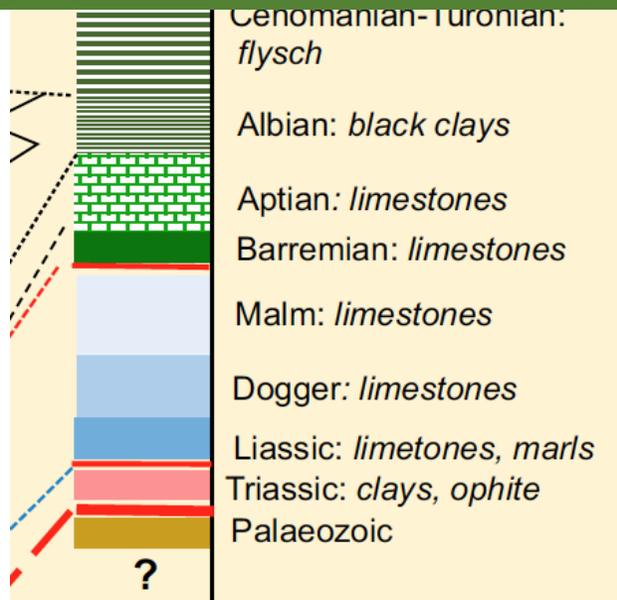
Contenu des bassins : la série sédimentaire de la ZNP



Contenu des bassins : la série sédimentaire de la ZNP



Amincissement crustal s'accompagne de volcanisme alcalin dans le flysch (remontée du manteau)



Canérot, 2017

NORTH EAST

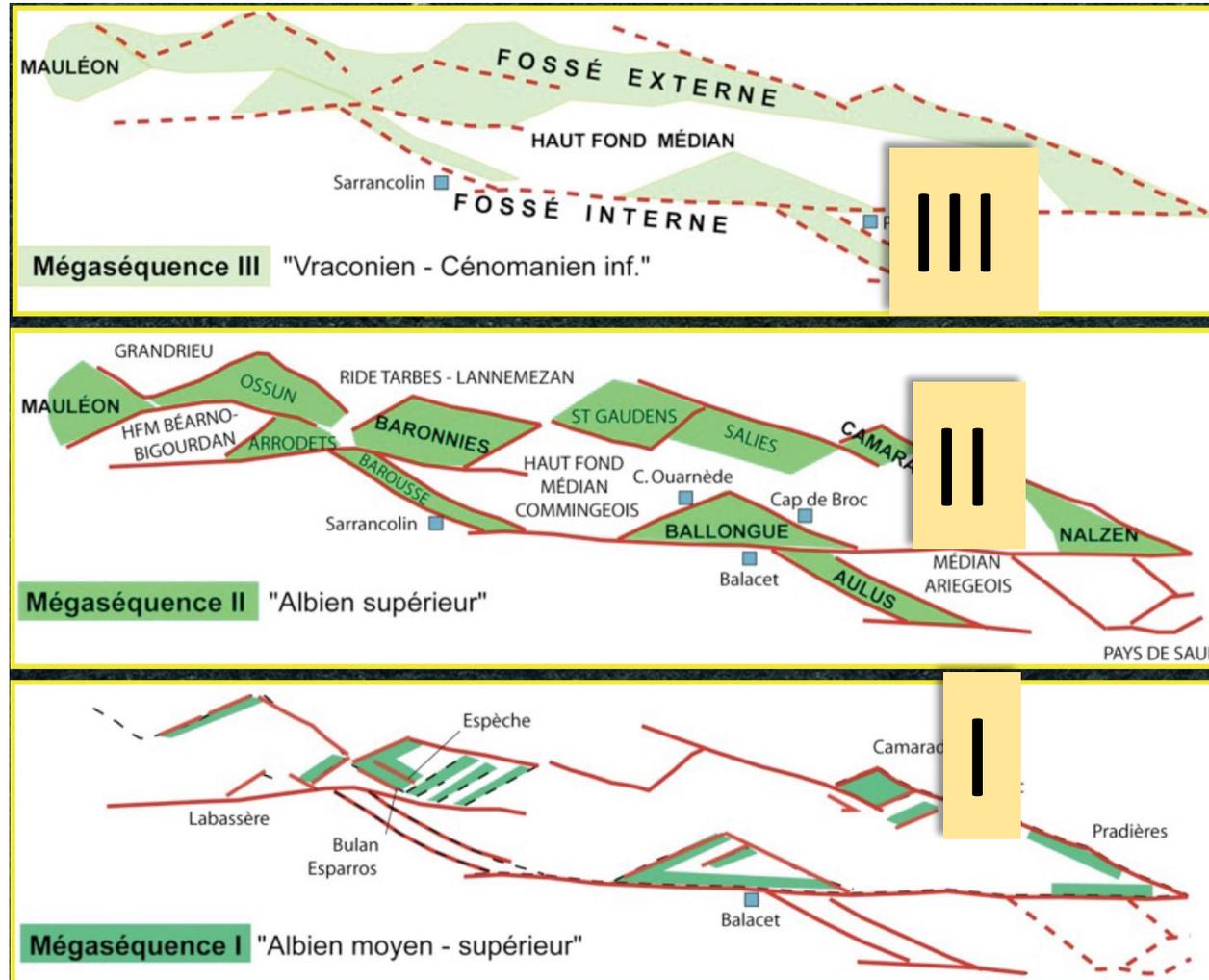


La ZNP contient les fossés des flyschs crétacés (Albien moyen – Cénomanién inférieur inf.)



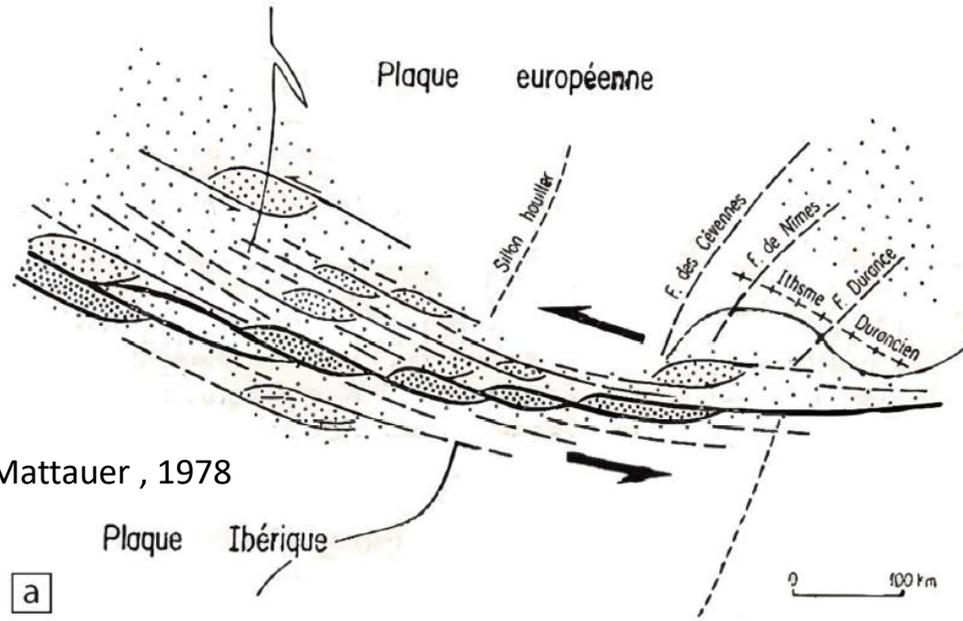
Debroas, 1978, 1985, 1987, 1990, Souquet et al., 1985, ...

La ZNP contient les fossés des flyschs crétacés (Albien moyen – Cénomanién inférieur inf.)

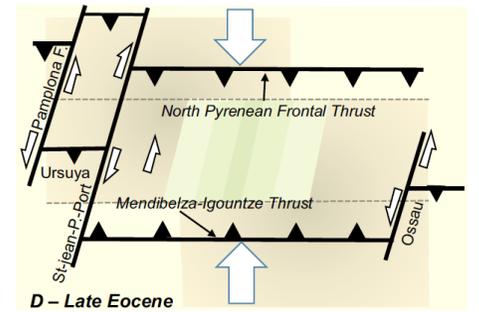
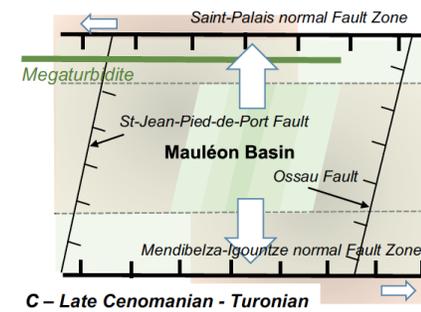
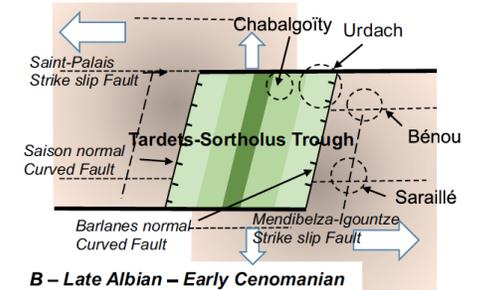
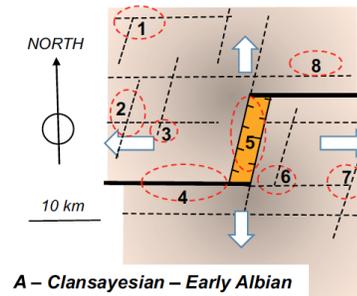


Rifting :
Apt-Alb moy-sup

Enfin, la ZNP correspondrait à des bassins étroits à fond continental liés à la dérive plus ou moins importante de l'Ibérie vers l'E

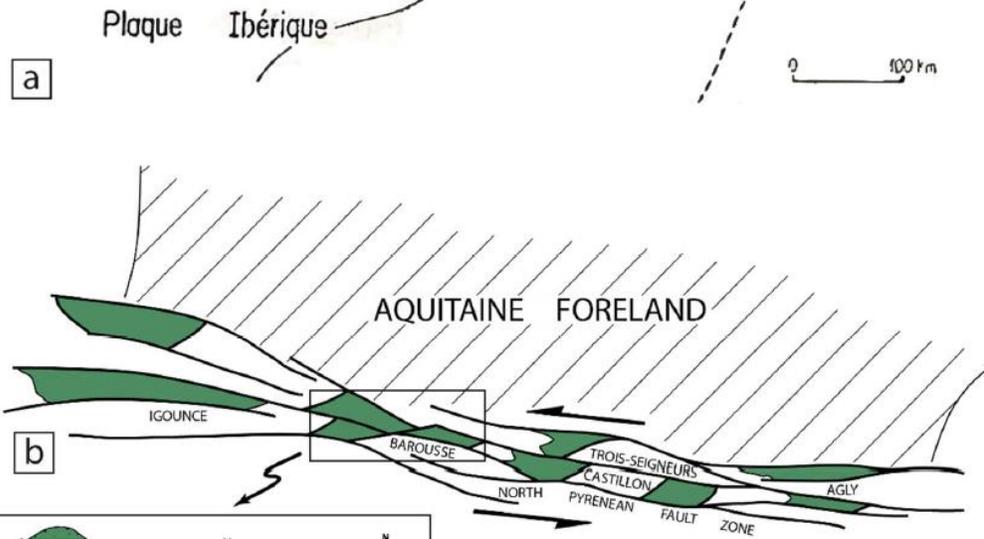


J. Canérot: BSGF 2017, 188, 35



Canérot, 2017

Choukroune et Mattauer, 1978



Choukroune, 1992

MAIS!

Quid du métamorphisme et de la présence des roches du manteau?

Le métamorphisme dans la ZNP se caractérise par le développement de minéraux symptomatiques bien visibles dans les méta-sédiments carbonatés de la couverture pré-rift et parfois des flyschs. La ZIM.

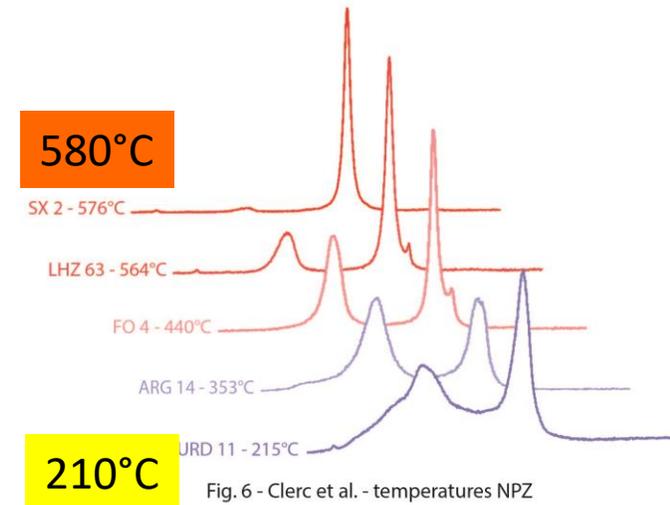
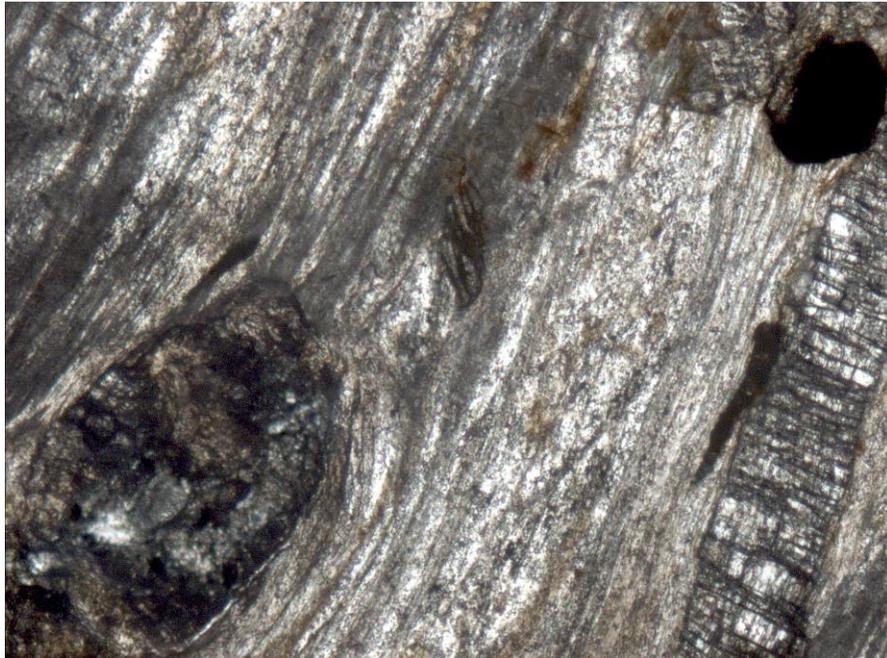


Fig. 6 - Clerc et al. - températures NPZ

Scapolites dans un marbre mylonitique (plasticité de la calcite) Lherz-Les Plagnaux

Clerc et al., 2015

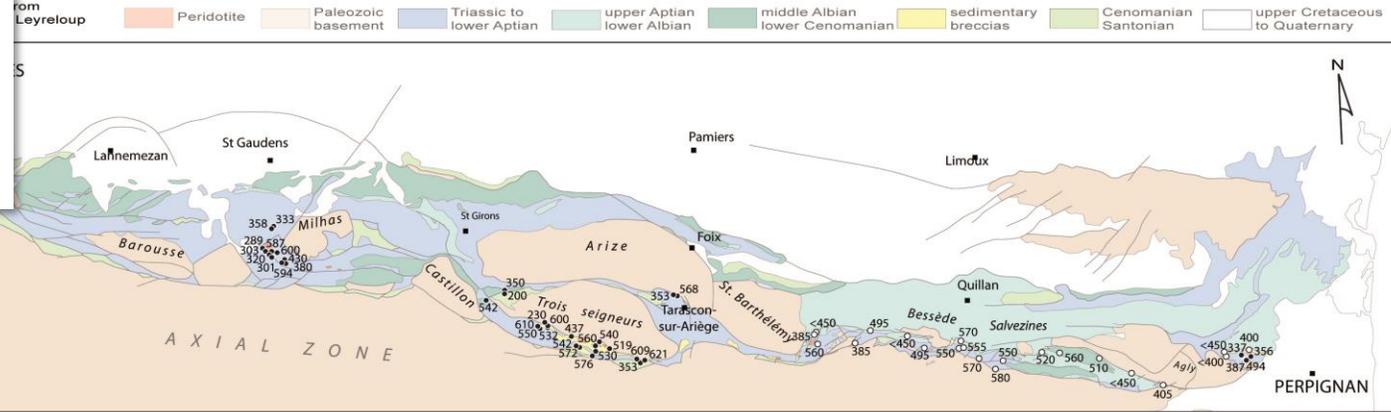
**spectrométrie RAMAN
sur la MO fossile**

High-temperature metamorphism during extreme thinning of the continental crust: a reappraisal of the north Pyrenean paleo-passive margin

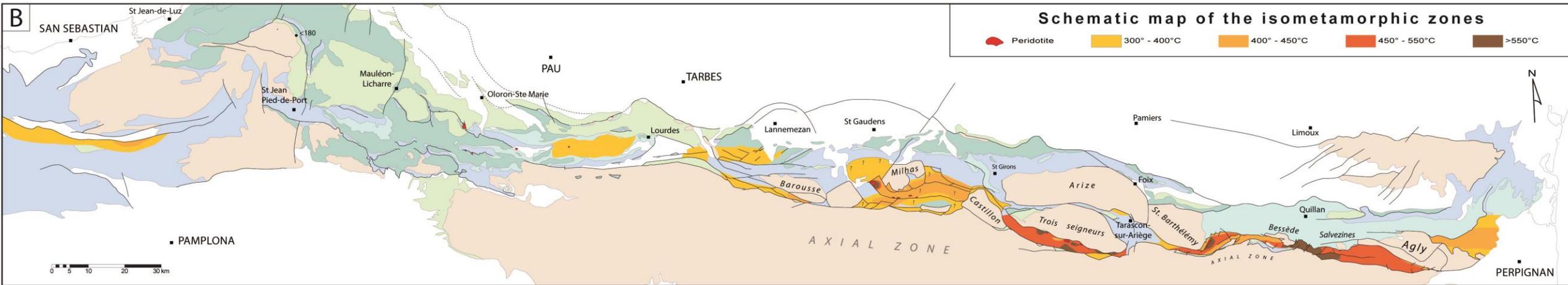
C. Clerc^{1,2,*}, A. Lahfid³, P. Monié², Y. Lagabrielle⁴, C. Chopin¹, M. Poujol⁴, P. Boulvais⁴, J.-C. Ringenbach⁵, E. Masini⁵, and M. de St Blanquat⁶

Clerc et al., 2015

Temperatures of the HT/LP cretaceous metamorphism in the Pyrenees



Schematic map of the isometamorphic zones



M. Ducoux, 2017

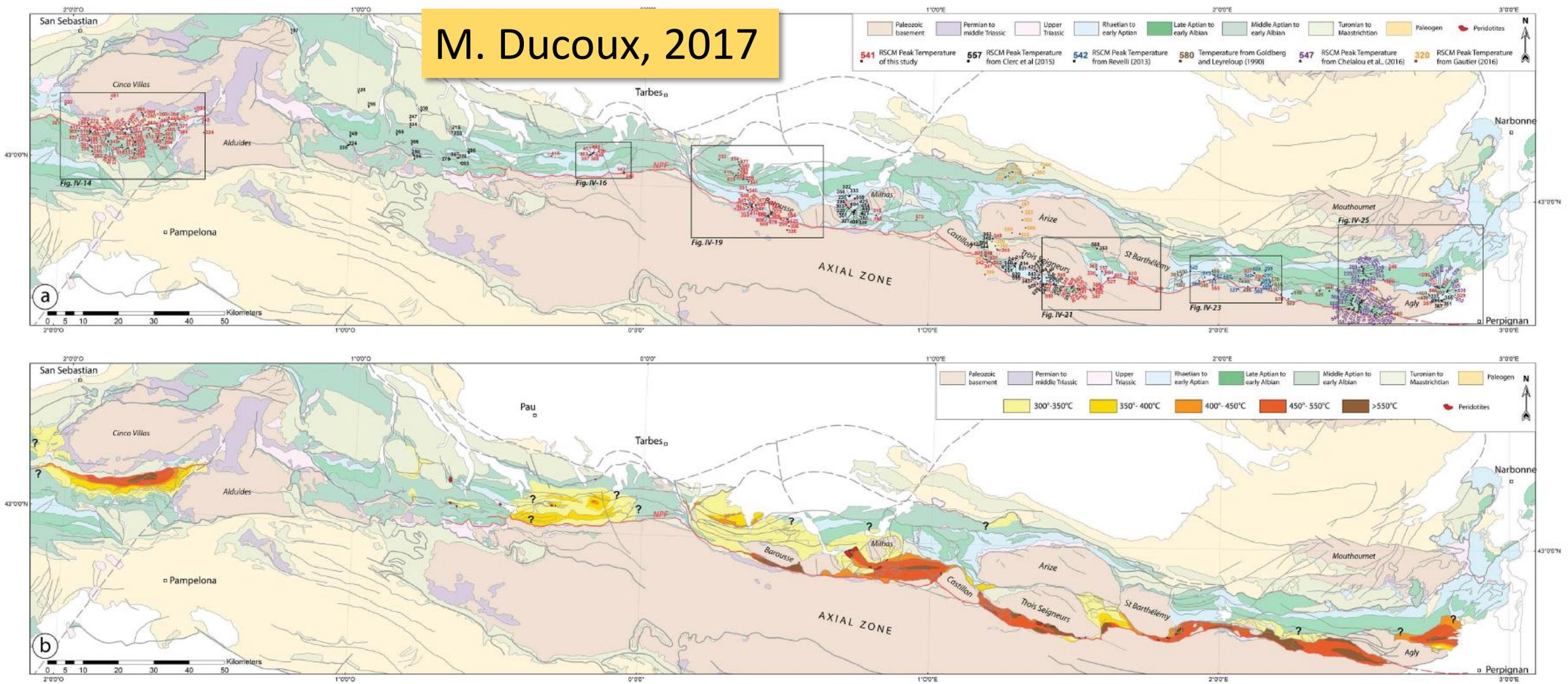


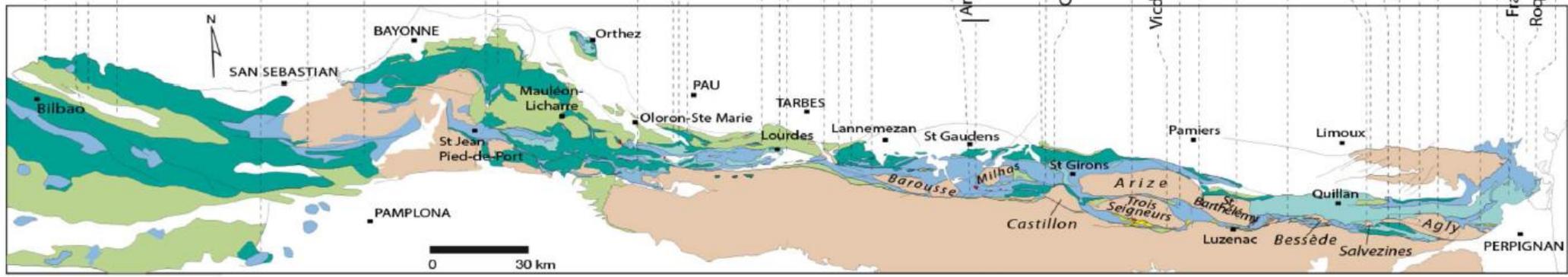
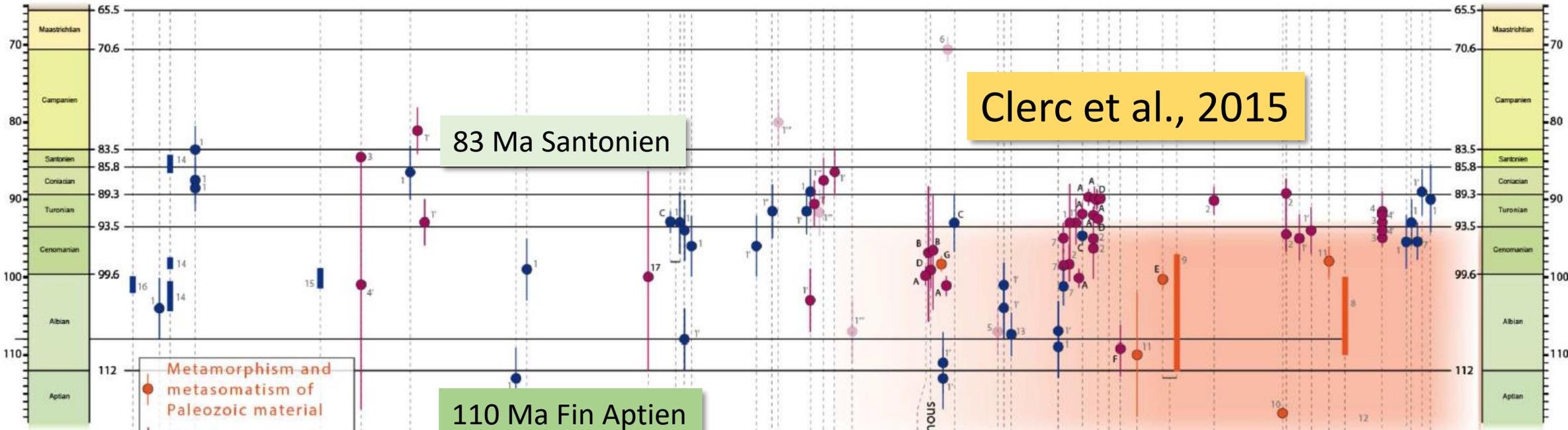
Figure IV-11 : (a) Carte des températures du pic métamorphique (T_{RSCM}) obtenues à l'aide de géothermométrie Raman (RSCM) (Points et valeurs numériques en rouge sur la carte). La majeure partie des points a été représentée sur la carte. Les autres points correspondent à la compilation de différentes études antérieures de la thermométrie dans les Pyrénées. Les données de T_{RSCM} de Clerc et al., (2015) sont représentées en noir, celles de Goldberg et Leyreloup (1990) en marron et celles de Chelalou (2015) en violet. Des données de travaux de master associés à ce travail sont aussi représentées, Revelli (2013) en bleu et Gautier, (2016) en orange. (b) Carte de la répartition du métamorphisme représentant les différentes zones isométamorphiques ; les données compilées proviennent de cette étude, des différentes études Raman et de la littérature (Choukroune and Séguret, 1973; Bernus-Maury, 1984; Golberg, 1987; Golberg and Leyreloup, 1990 ; Clerc et al, 2015)

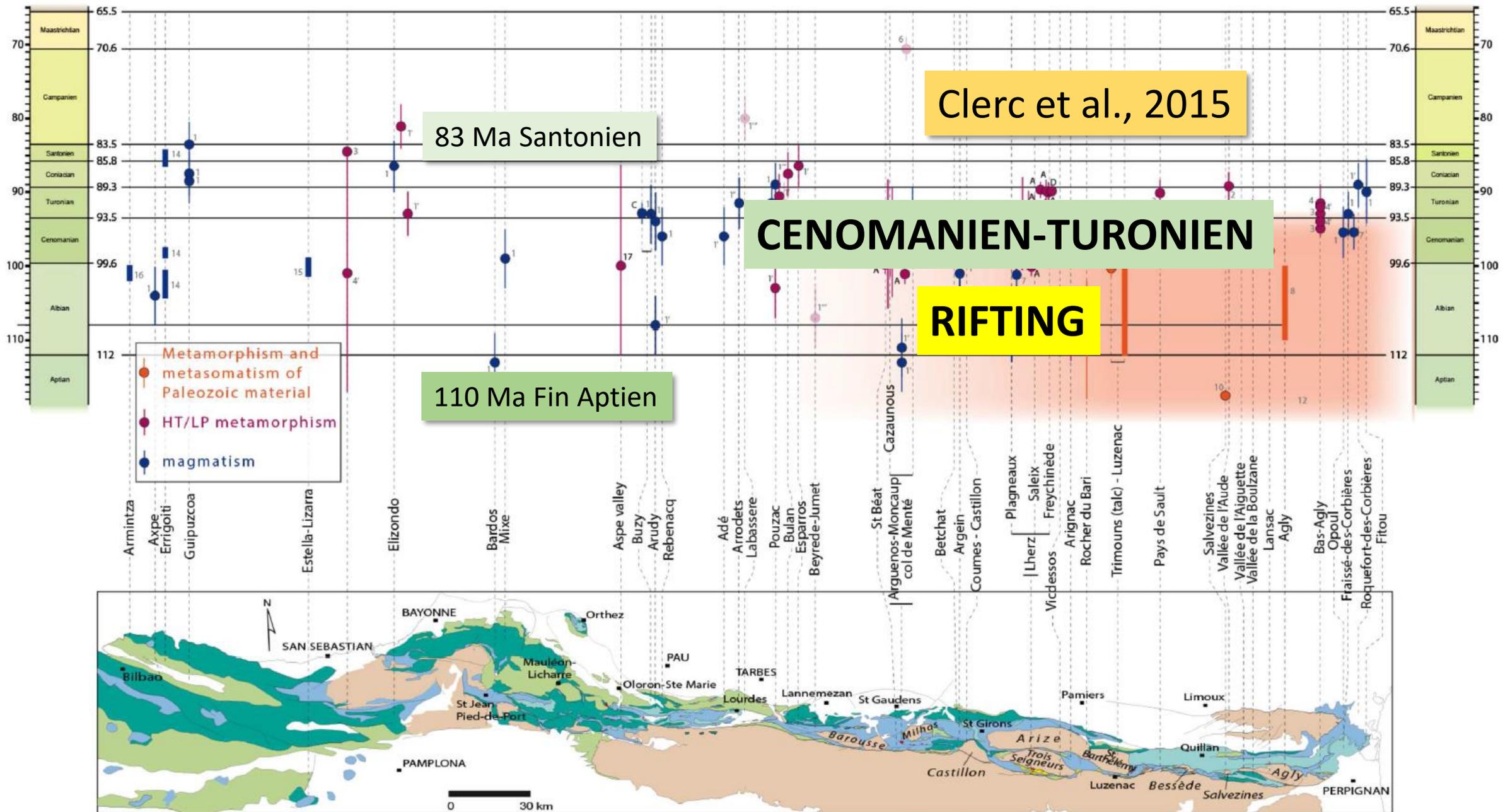
Clerc et al., 2015

83 Ma Santonien

110 Ma Fin Aptien

- Metamorphism and metasomatism of Paleozoic material
- HT/LP metamorphism
- magmatism





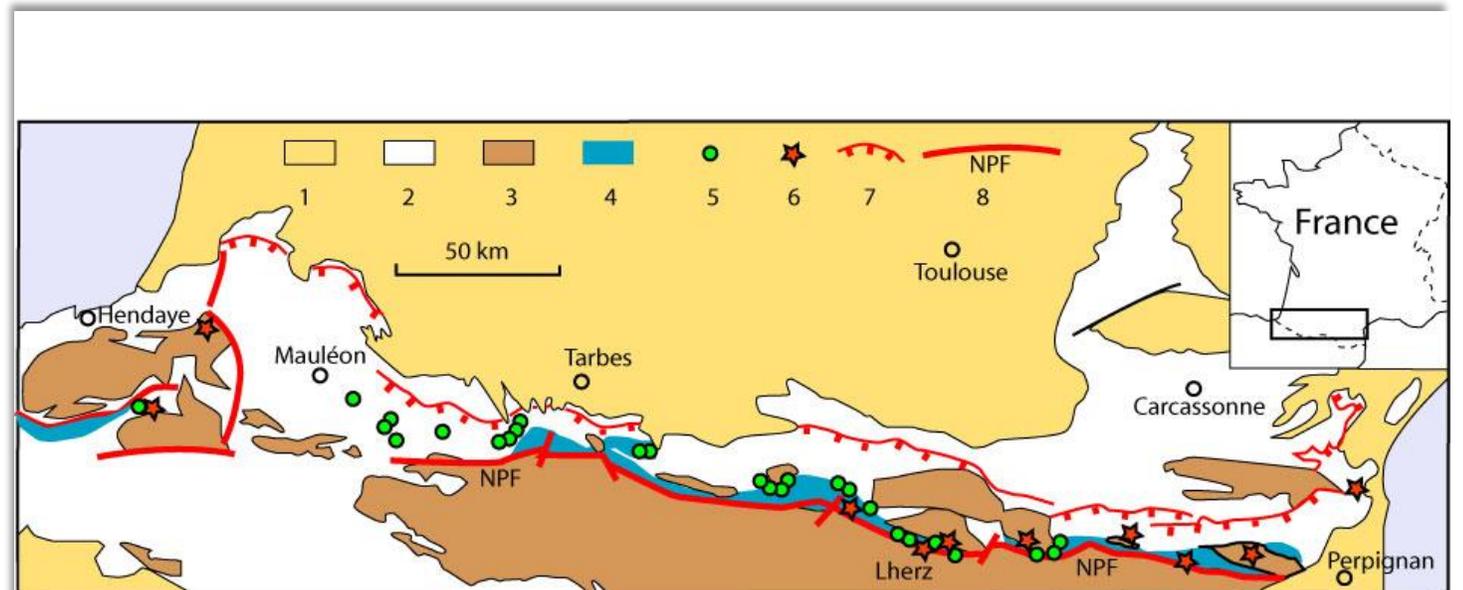
La question des lherzolites : quel parcours dans la lithosphère?

Lherzolites des Pyrénées :

- : corps de très petite taille (moins de 2 km de long)
- : associées étroitement à des sédiments (souvent métamorphiques)
- : associées à des granulites et des gabbros
- : associées au métamorphisme pyrénéen (HT + fluides)



Elles sont souvent serpentinisées et ont subi parfois une carbonatation plus ou moins intense (ophicalcites).



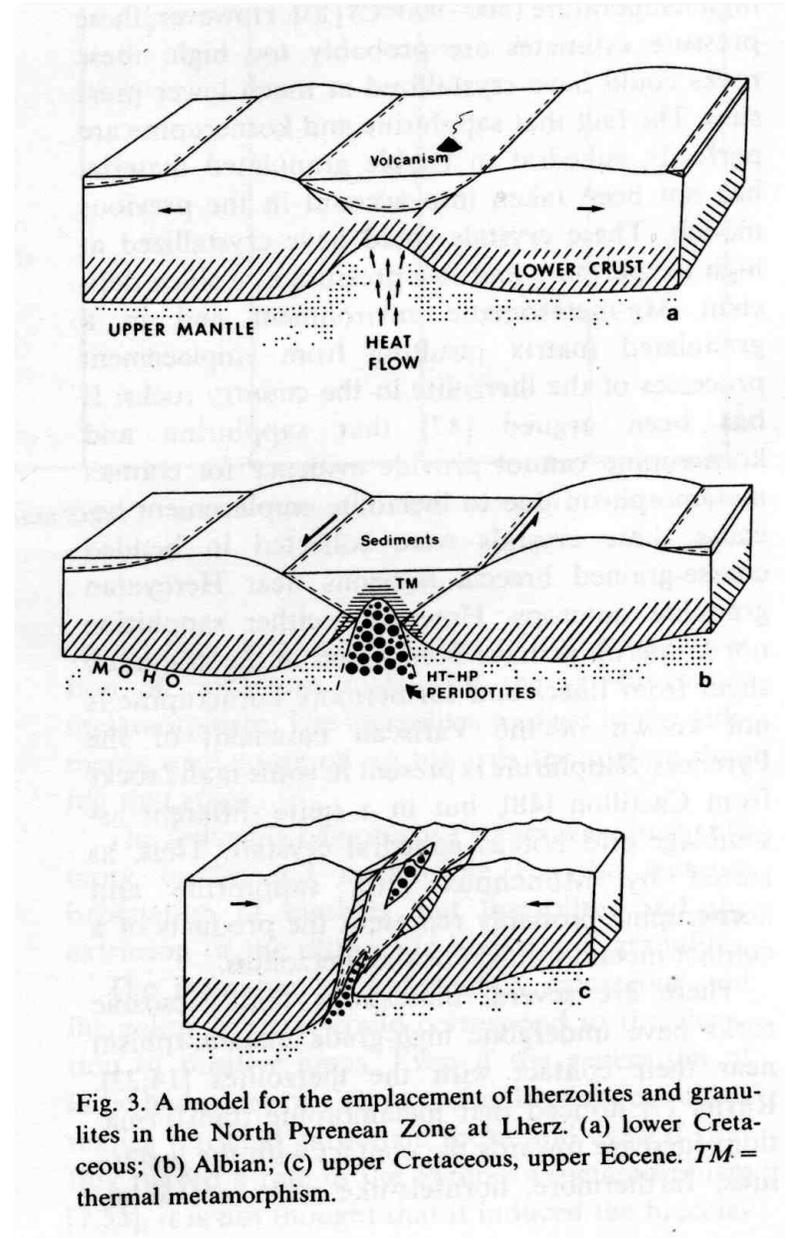
1 : Oligocene and post-Oligocene; 2 : Mesozoic and Eocene; 3 : Paleozoic basement; 4 : area of HT-LP Pyrenean metamorphism; 5 : lherzolites bodies; 6 : granulites ; 7 main external thrusts; 8 : North Pyrenean Fault

La question des lherzolites : un modèle géodynamique cohérent en 1984

Mise en place
tectonique des lherzolites,
après un fort amincissement
crustal
dans un contexte de fort
gradient thermique
(Vielzeuf and Kornprobst, 1984)

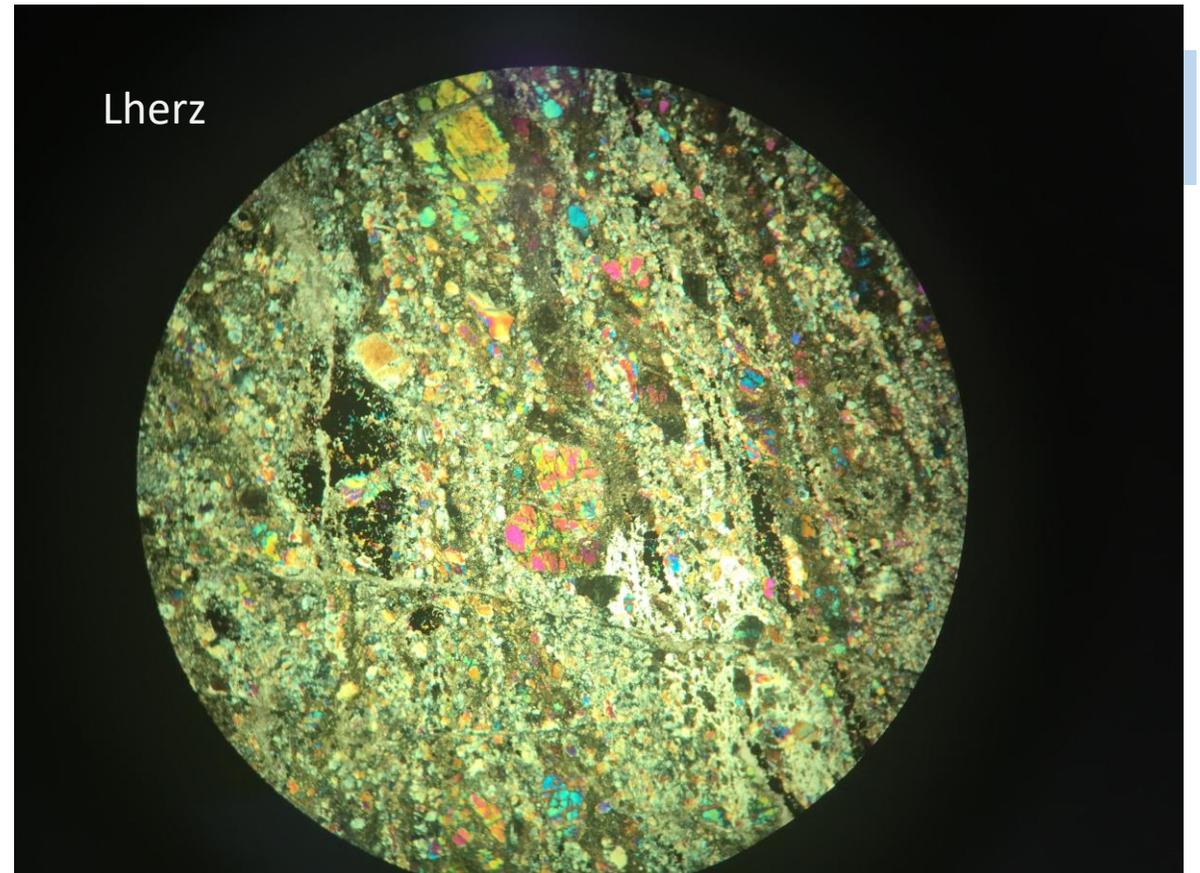
Kornprobst J, Vielzeuf D (1984) Transcurrent crustal thinning: A mechanism for the uplift of deep continental crust / upper mantle associations.
In: J. Kornprobst (ed.) *Kimberlites and Related Rocks*. pp. 347-359. Elsevier Pub.: Amsterdam.

Vielzeuf D, Kornprobst J (1984) Crustal splitting and the emplacement of Pyrenean lherzolites and granulites *Earth Planet. Sci. Lett.* 67 87-96



Les Iherzolites : une remontée rapide au Crétacé

Elles montrent des déformations mylonitiques liées à leur mise en place dans les conditions de la lithosphère sup. Elles sont parcourues de filons de **Iherzites** datées à 105-108 Ma (Ar-Ar sur amphiboles).



Les Iherzolites : une remontée rapide au Crétacé

Elles montrent parfois des déformations mylonitiques liées à leur mise en place dans les conditions de la lithosphère sup. Elles sont parcourues de filons de **Iherzites** datées à 105-108 Ma (Ar-Ar sur amphiboles).



« Remontée rapide dans les niveaux crustaux en raison de la rotation de l'Ibérie au Crétacé moyen »

Henry et al., 1998



ELSEVIER

Tectonophysics 296 (1998) 103–123

TECTONOPHYSICS

Late mantle evolution of the Pyrenean sub-continental lithospheric mantle in the light of new ^{40}Ar – ^{39}Ar and Sm–Nd ages on pyroxenites and peridotites (Pyrenees, France)

P. Henry ^{a,*}, B. Azambre ^b, R. Montigny ^c, M. Rossy ^a, R.K. Stevenson ^d

Une confirmation décisive : le lien entre amincissement crustal et métamorphisme

Contrib Mineral Petrol (1990) 104:194–207

1990

Contributions to
Mineralogy and
Petrology

© Springer-Verlag 1990

High temperature-low pressure Cretaceous metamorphism related to crustal thinning (Eastern North Pyrenean Zone, France)

Golberg and Leyreloup, 1990

J.M. Golberg¹ and A.F. Leyreloup²

¹ Centre Géologique et Géophysique, CNRS, Université des Sciences et Techniques du Languedoc, Place Eugène Bataillon, F-34095 Montpellier Cedex 2, France

² Laboratoire de Pétrologie des Zones Profondes, G.P.F.A., Université des Sciences et Techniques du Languedoc, Place Eugène Bataillon, F-34095 Montpellier Cedex 2, France

sins. For these reasons, it is considered likely that the heat propagation was largely controlled by crustal fractures, with convective circulation systems, and that the heat sources were shallow and discontinuous (Golberg et al. 1986).

Crustal thinning associated with continental rifting has been proposed as a mechanism for generating high temperature-low pressure metamorphic terranes (Dixon et al. 1981;

Tout est en place en 1998!

non-adiabatic uplift. The earliest event is a nearly isothermal (1050–950°C) decompression from 60 km up to 25 km depth caused by a lithospheric thinning event, possibly related to the late Hercynian extension. The further uplift step from 25 km to 15 km depth was accompanied by cooling down to 600°C and high-stress mylonitic deformation, resulting in tectonic denudation and emplacement of the western Pyrenean massifs onto the floor of small Albo-Aptian pull-apart basins via large-scale shear zones. Geospeedometric constraints on mylonitic deformation, coeval with the mid-Cretaceous uplift of the western Pyrenean peridotite massifs left the massifs deeper than the EP massifs. © 1998 Elsevier Science



ELSEVIER

Tectonophysics 292 (1998) 145–167

TECTONOPHYSICS

Petrogenetic evolution of orogenic lherzolite massifs in the central and western Pyrenees

J. Fabriès^{a,*}, J.-P. Lorand^a, J.-L. Bodinier^b

^a Laboratoire de Minéralogie, URA–CNRS 736, Muséum National d'Histoire Naturelle, 61 rue Buffon, 75005 Paris, France

^b UMR 5569 — Géofluides-Bassins-Eau, ISTEEM, C.P. 057, Université de Montpellier 2, Place E. Bataillon, 34095 Montpellier Cedex 05, France

Received 30 June 1997; accepted 12 January 1998

Fabriès et al., 1998

Tout est en place en 1998!

-2 étapes de remontée pour les Iherzolites de l'ouest :
une permienne puis une rapide au Crétacé pendant la rotation de l'Ibérie

1050-950°C

950°-600°C

- Mise à nu du manteau dans le fond de petits bassins albiens

Fabriès et al., 1998



ELSEVIER

Tectonophysics 292 (1998) 145–167

TECTONOPHYSICS

Petrogenetic evolution of orogenic Iherzolite massifs in the central and western Pyrenees

J. Fabriès ^{a,*}, J.-P. Lorand ^a, J.-L. Bodinier ^b

^a Laboratoire de Minéralogie, URA-CNRS 736, Muséum National d'Histoire Naturelle, 61 rue Buffon, 75005 Paris, France

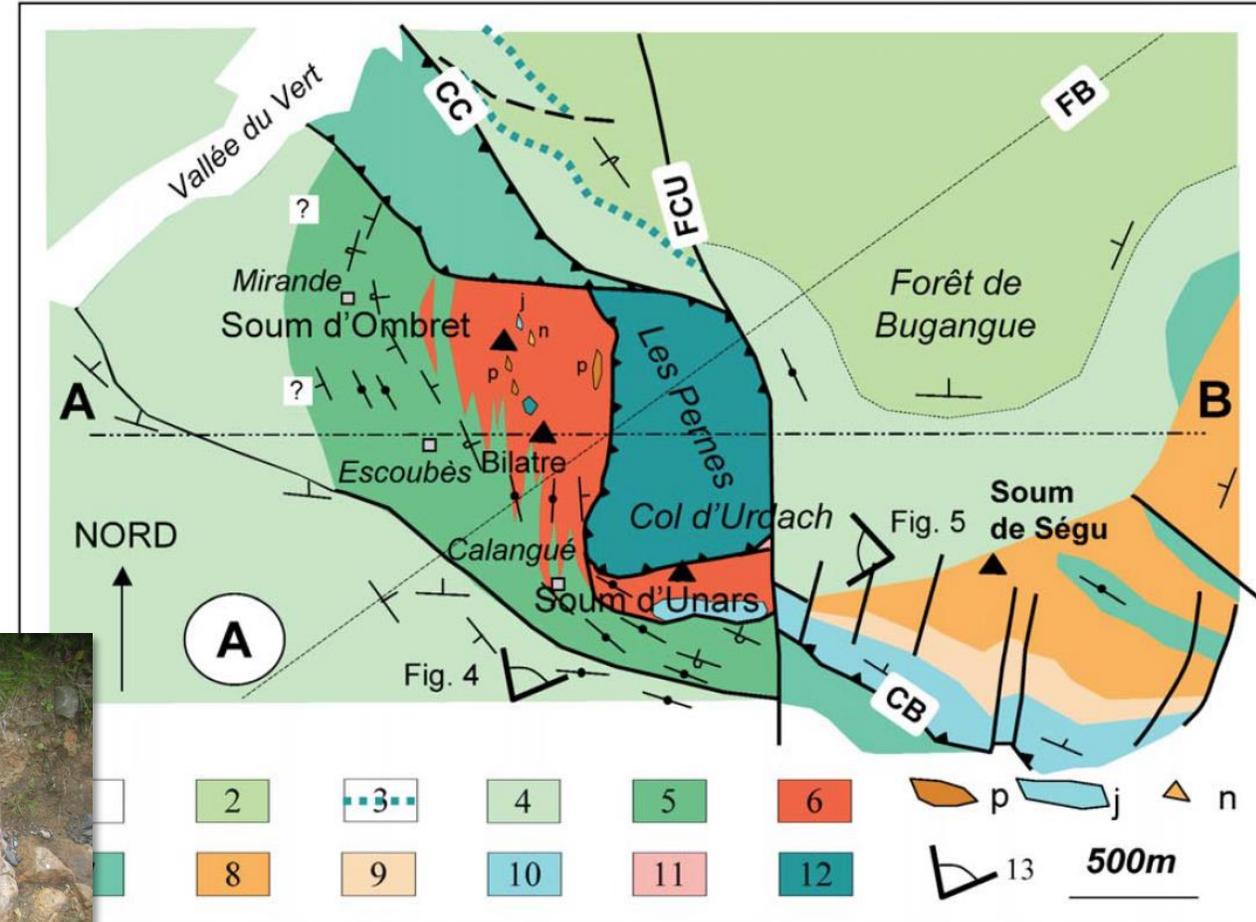
^b UMR 5569 — Géofluides-Bassins-Eau, ISTEEM, C.P. 057, Université de Montpellier 2, Place E. Bataillon, 34095 Montpellier Cedex 05, France

Received 30 June 1997; accepted 12 January 1998

Affleurement des Iherzolites sur le fond des bassins de la ZNP? Un consensus autour de la Iherzolite d'Urdach-Les Pernes

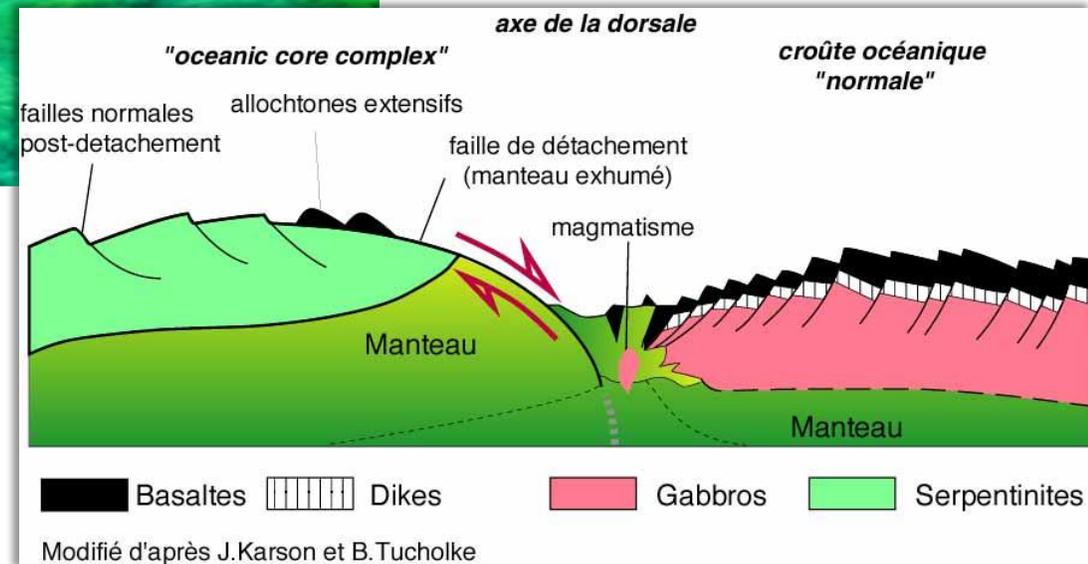
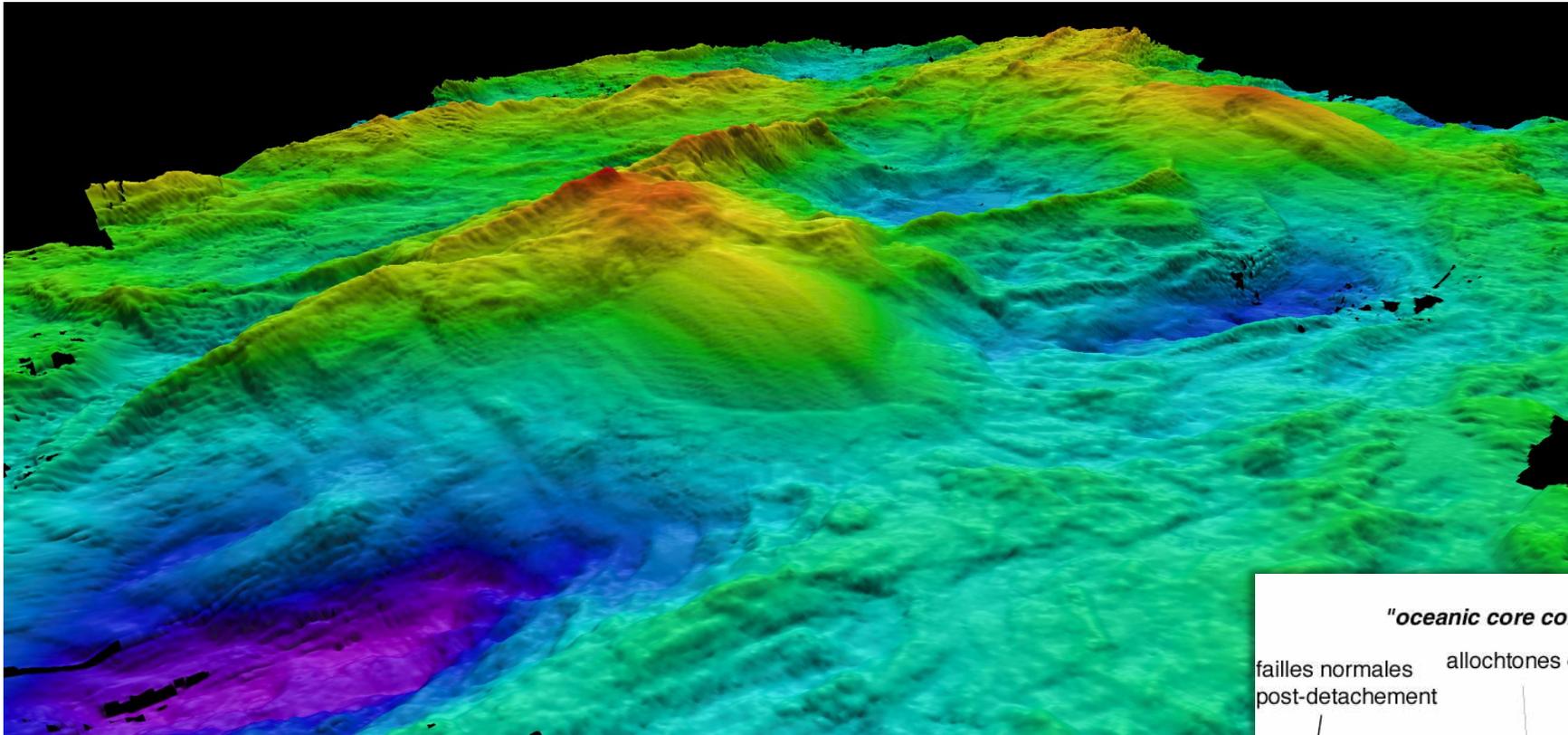


Remaniement dans l'Albien sup.

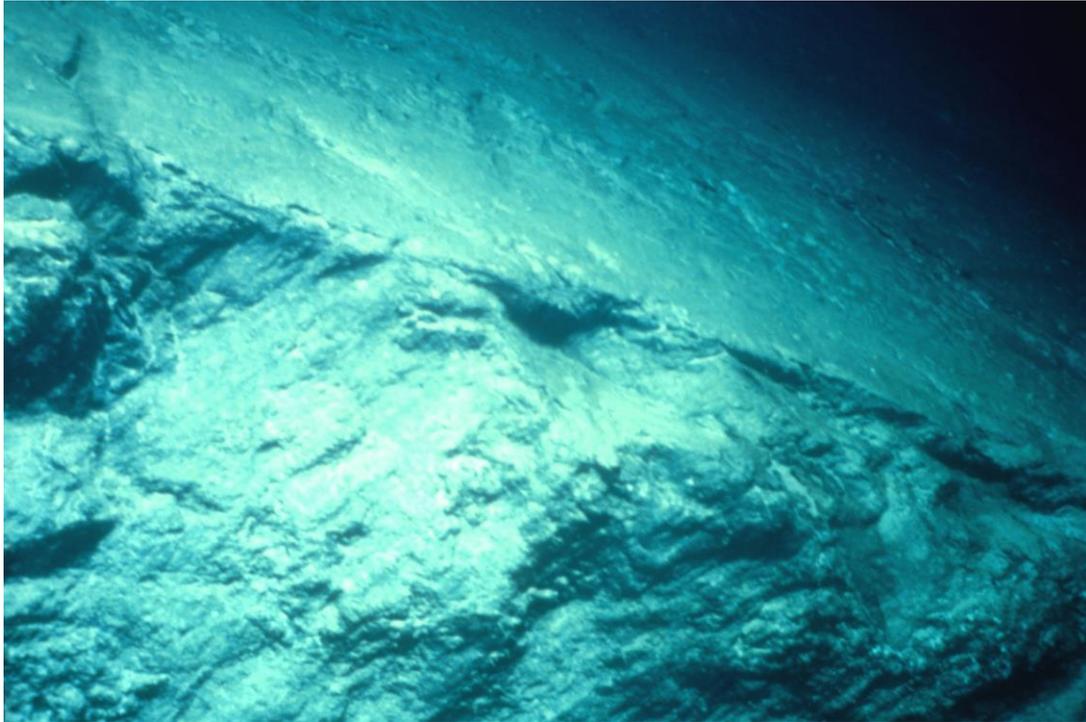


Debroas et al., 2010b

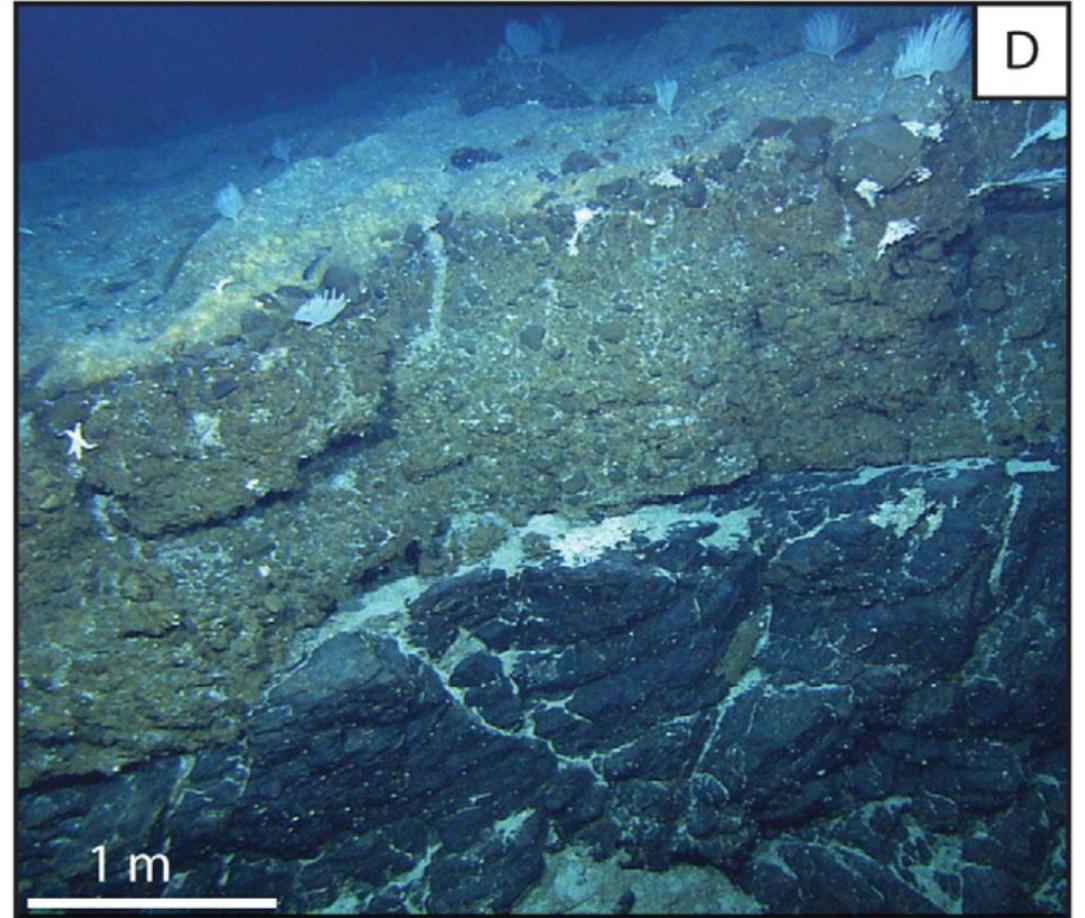
Les Oceanic Core Complexes (OCC)



Les détachements océaniques



Faille plate exhumant des gabbros
(sud de la ZF Kane, plongées Kanaut)



Brèches SÉDIMENTAIRES à matrice carbonatée sur péridotites
Exhumées (Lost City Hydrothermal Field, Atlantique).
(Denny et al., 2005)

Rétro-déformations aujourd'hui

JGS

Journal of the Geological Society

Research article

Published Online First

doi:10.1144/jgs2015-129

Retro-wedge foreland basin evolution along the ECORS line, eastern Pyrenees, France

Mary Ford^{1,2*}, Louis Hemmer^{1,2*}, Arnaud Vacherat³, Kerry Gallagher⁴ & Frédéric Christophoul⁵

¹ CRPG, UMR 7358, 15 Rue Notre Dame des Pauvres, 54501 Vandœuvre-lès-Nancy, France

² Université de Lorraine, ENSG, INP, Rue Doyen Marcel Roubault, 54501 Vandœuvre-lès-Nancy, France

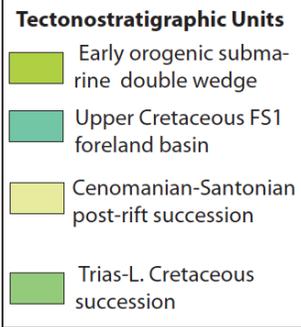
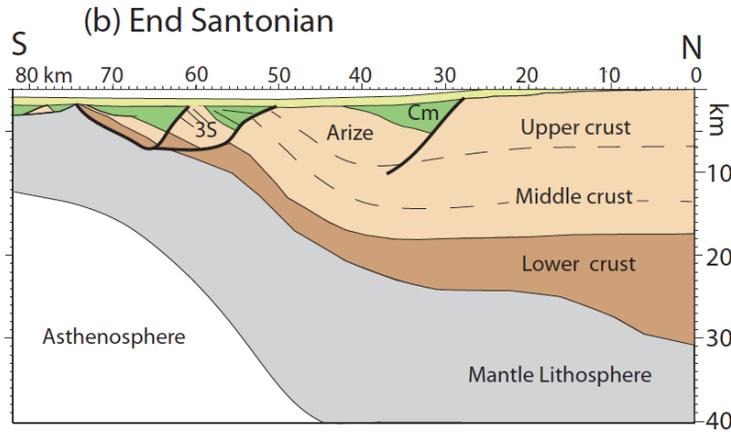
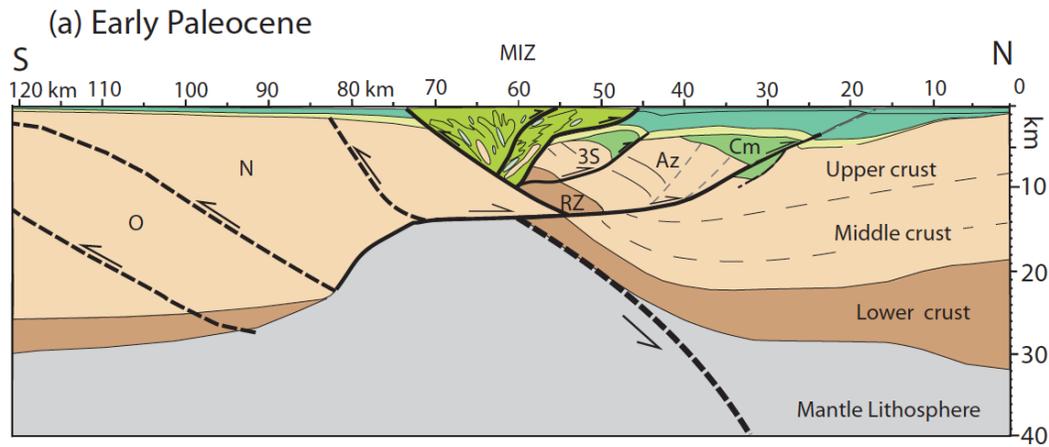
³ ISTEP, Université Pierre et Marie Curie, Paris 6, France

⁴ Géosciences Rennes, Université de Rennes 1, Campus de Beaulieu, 35042 Rennes, France

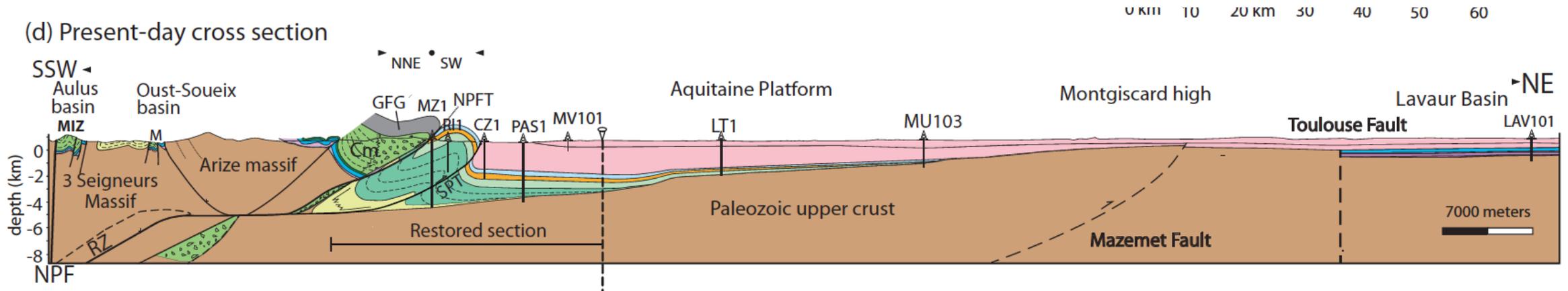
⁵ GET, UMR 5563, Université de Toulouse-CNRS-IRD-OMP, 14 Avenue Edouard Belin, 31400 Toulouse, France

* Correspondence: mary.ford@univ-lorraine.fr

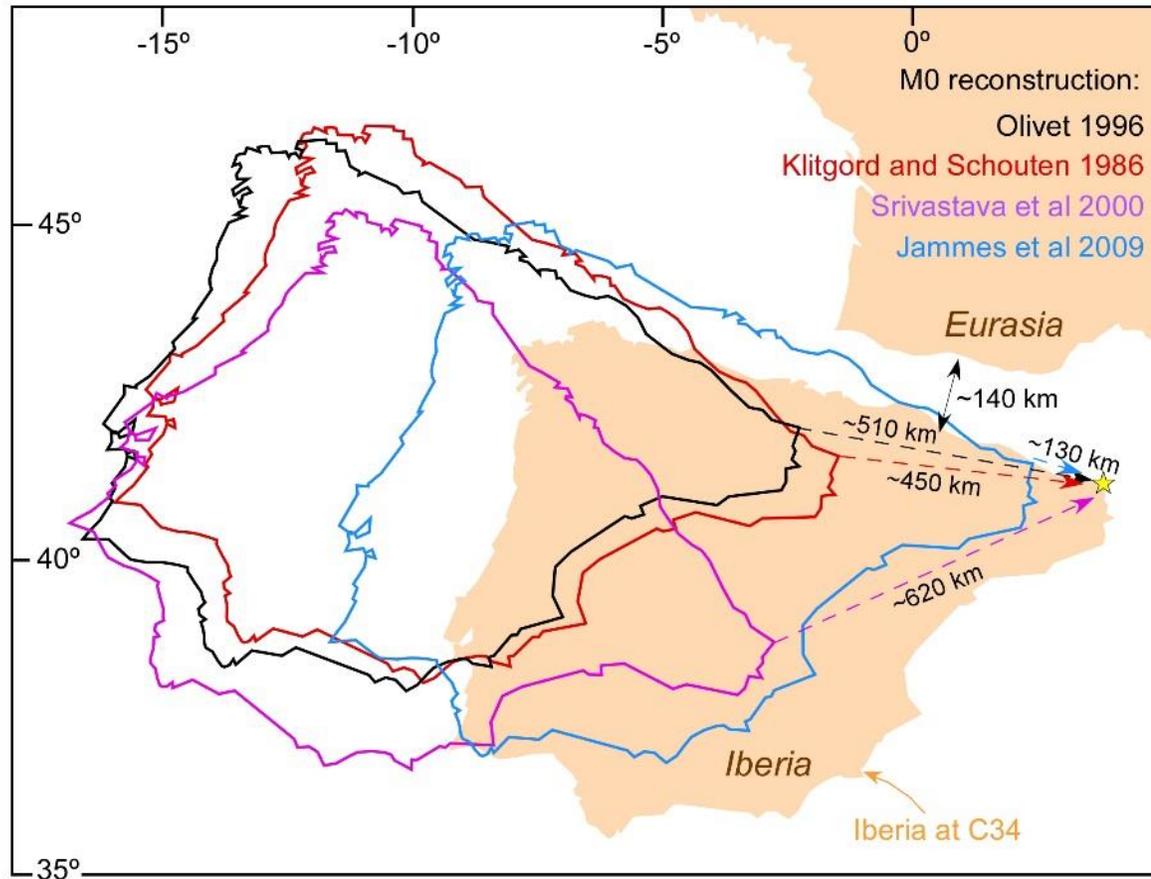
Ford et al., 2015



(d) Present-day cross section



Cependant quelle était la position de l'Ibérie? Quel espace pour exhumer le manteau?



Anomalie M0 (base de l'Aptien 125 Ma).

Teixell et al., 2018

PARTIE 2. Nos travaux dans le cadre du programme RGF

Répondre aux questions suivantes :

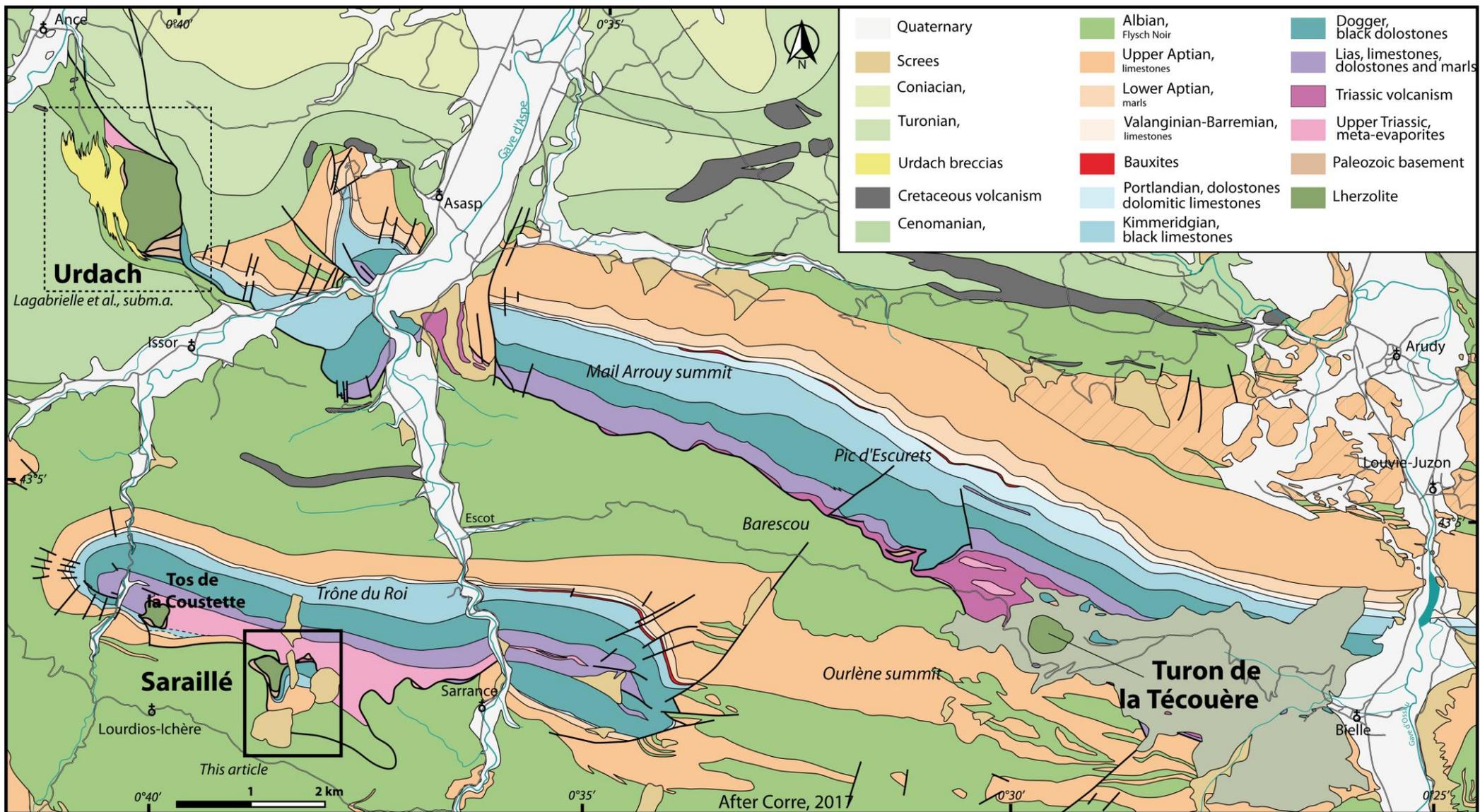
1. Comment s'amincit la croûte (grandes failles localisées ou déformation homogène : pure shear, simple shear?)
2. Quelle est l'évolution thermique du système rift. La croûte peut-elle fondre durant l'amincissement?
3. Le manteau remonte-il sous tous les bassins jusqu'à la surface? Cylindrisme?
4. Quels fluides circulent dans les failles, à quelle température, où sont les sources ?

Nos travaux dans le cadre du programme RGF

Le choix de la zone d'étude :

Deux massifs de lherzolites associés à des écaillés de socle paléozoïque et à une couverture pré-rift préservée. Des contacts majeurs entre manteau et croûte y sont accessibles.

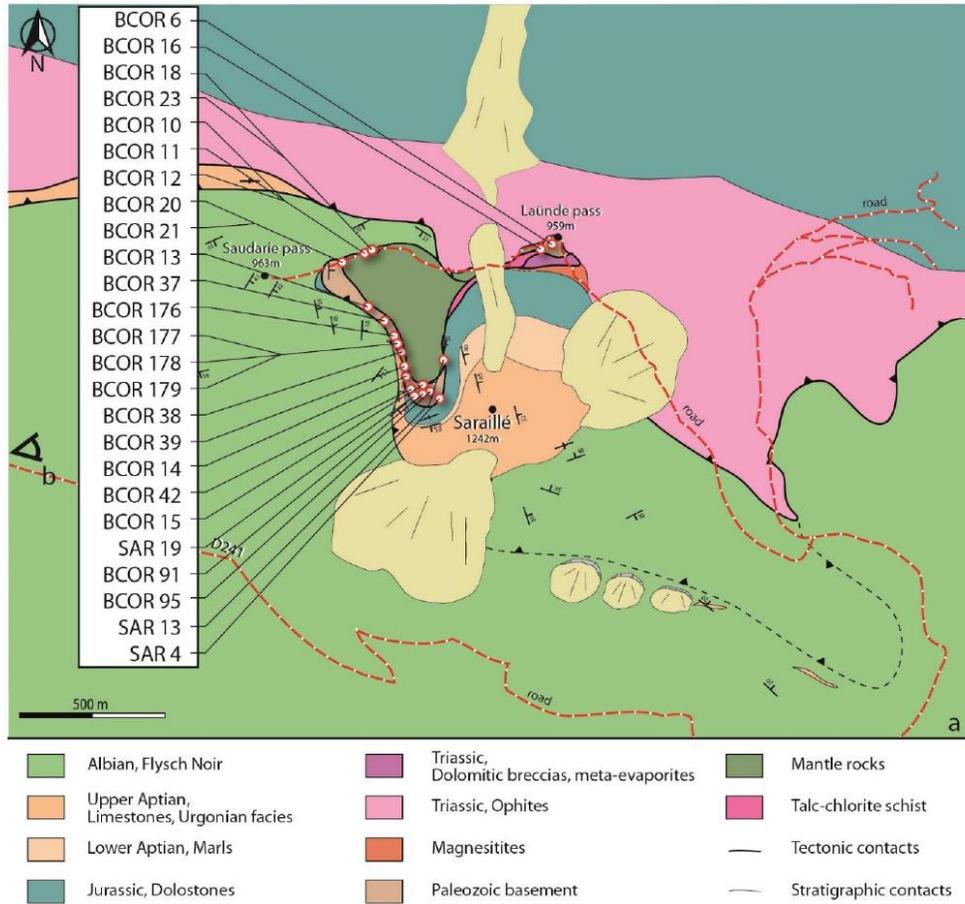
- **1 thèse en co-direction GR et GM,**
- **3 M2,**
- **collaborations avec Orogen (post-doc) et Pyramid (M2)**



B. Corre, thèse, 2017

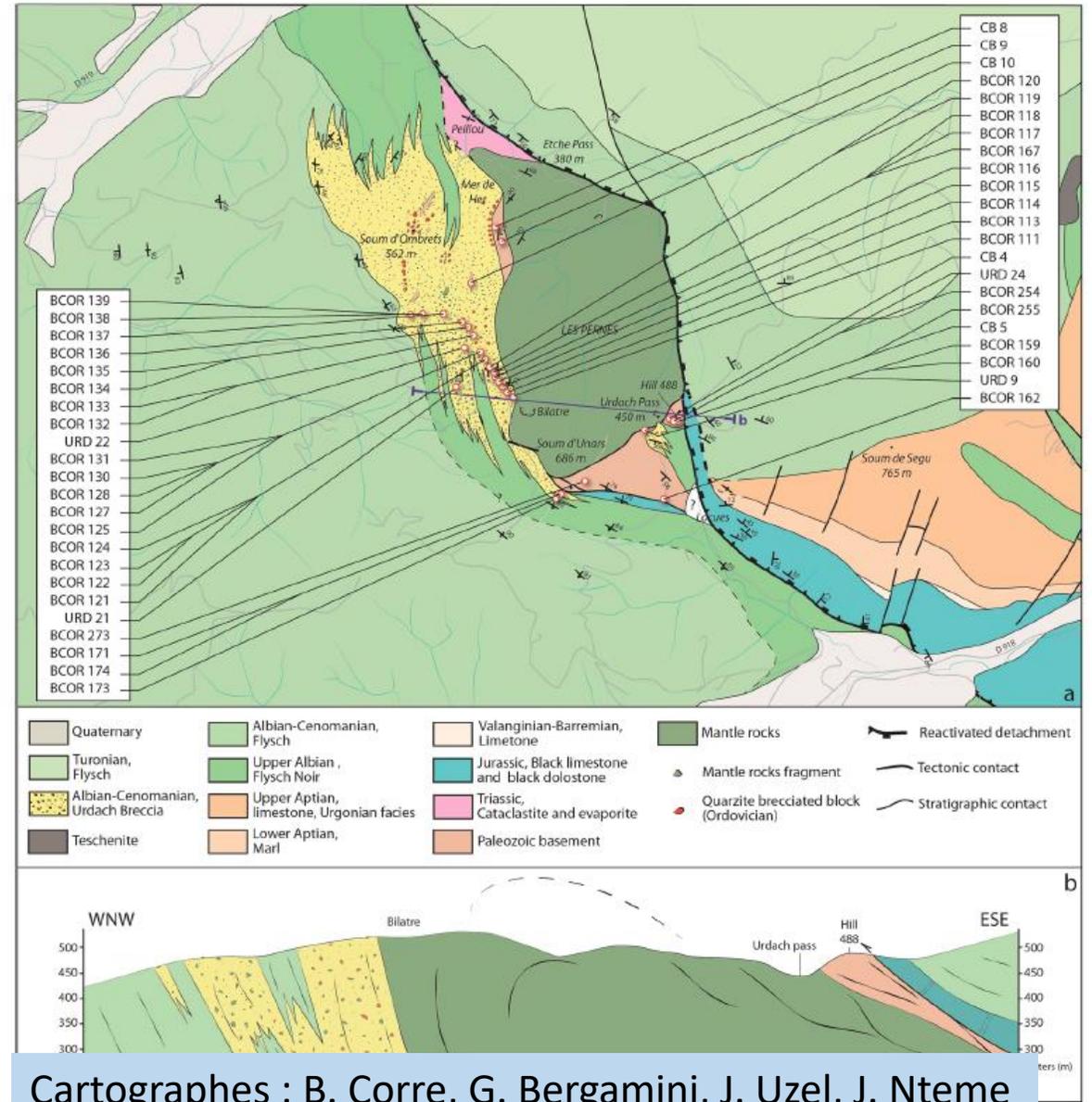
fig.3-SAR

1. Déformation du socle : échantillonnage



100 échantillons différents : un inventaire complet des lithologies dans les lentilles de socle

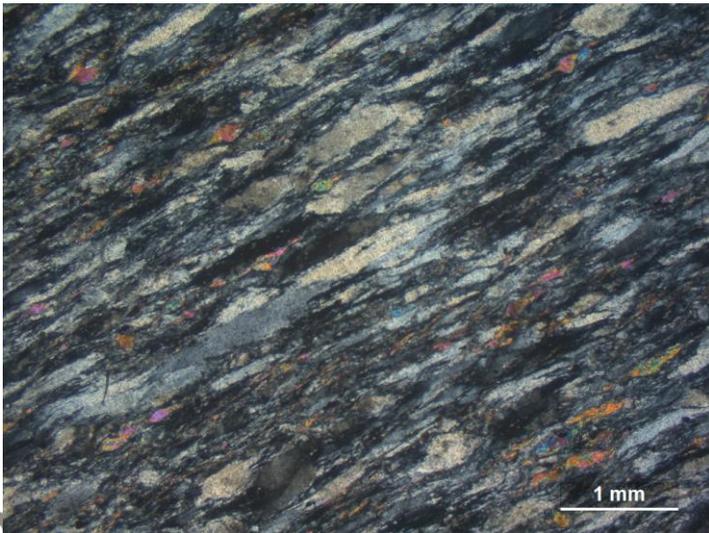
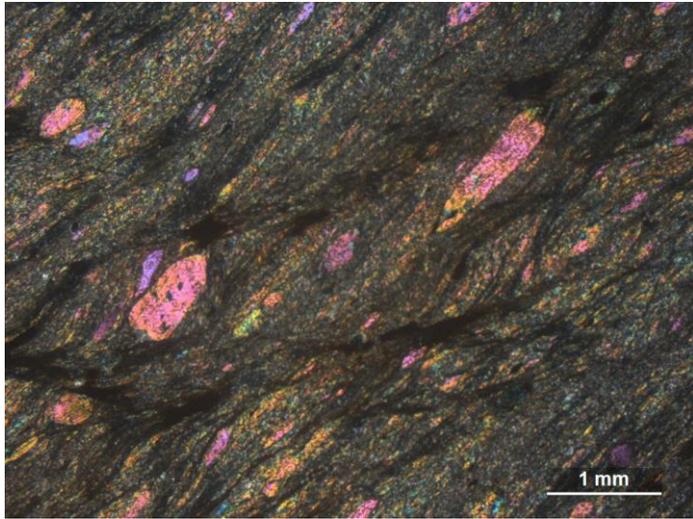
Asti et al., 2019



Cartographes : B. Corre, G. Bergamini, J. Uzel, J. Nteme

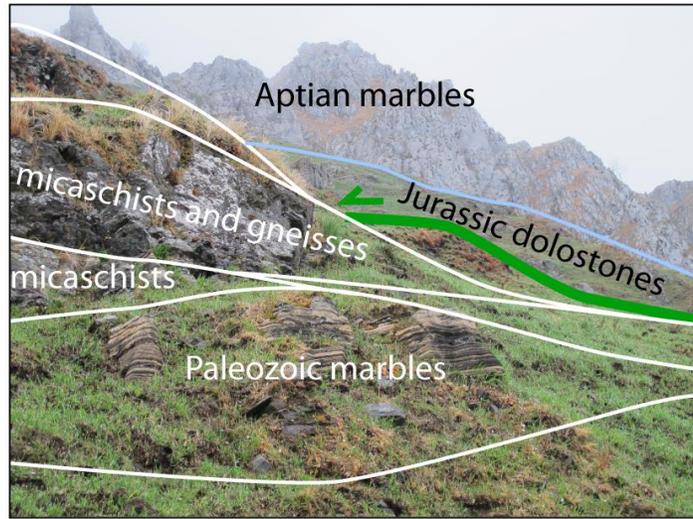
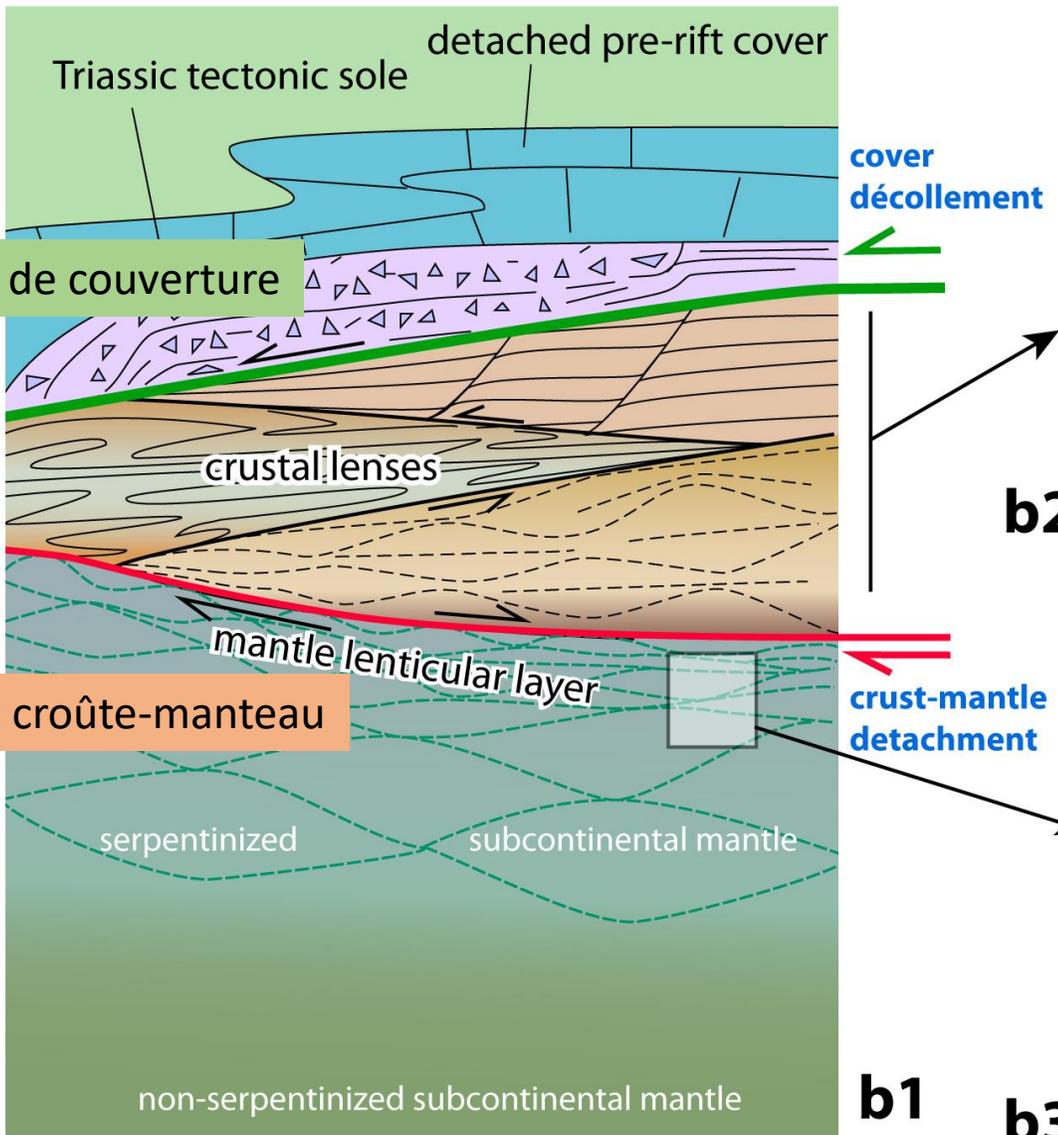
Figure 5. Geological map (a) and cross section (b) of the Urdach massif with location of the analyzed samples.

La déformation du Paléozoïque : Mylonites de socle



Urdach breccia and Sarailé

b



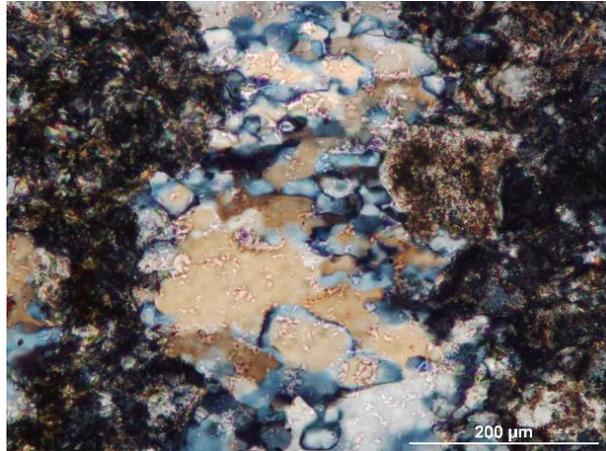
Décollement de couverture

Détachement croûte-manteau

Conditions thermiques de la déformation ductile du socle

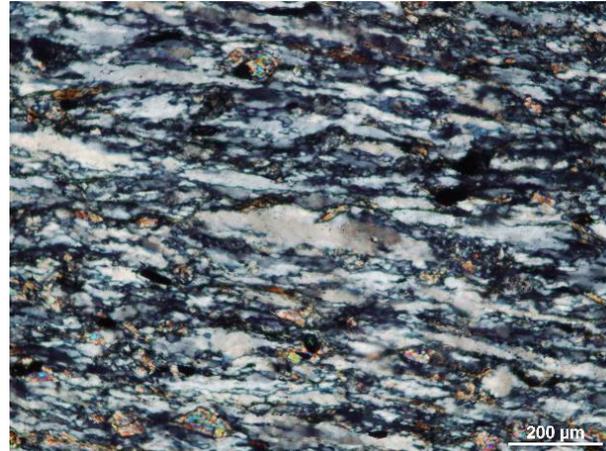


Rubans



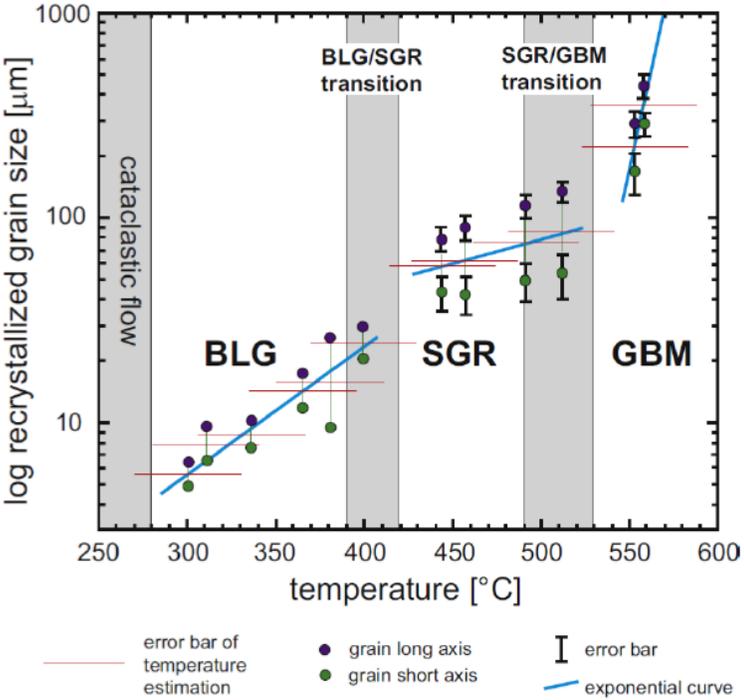
Bourgeonnement

BLG



Rotation de sous-grains

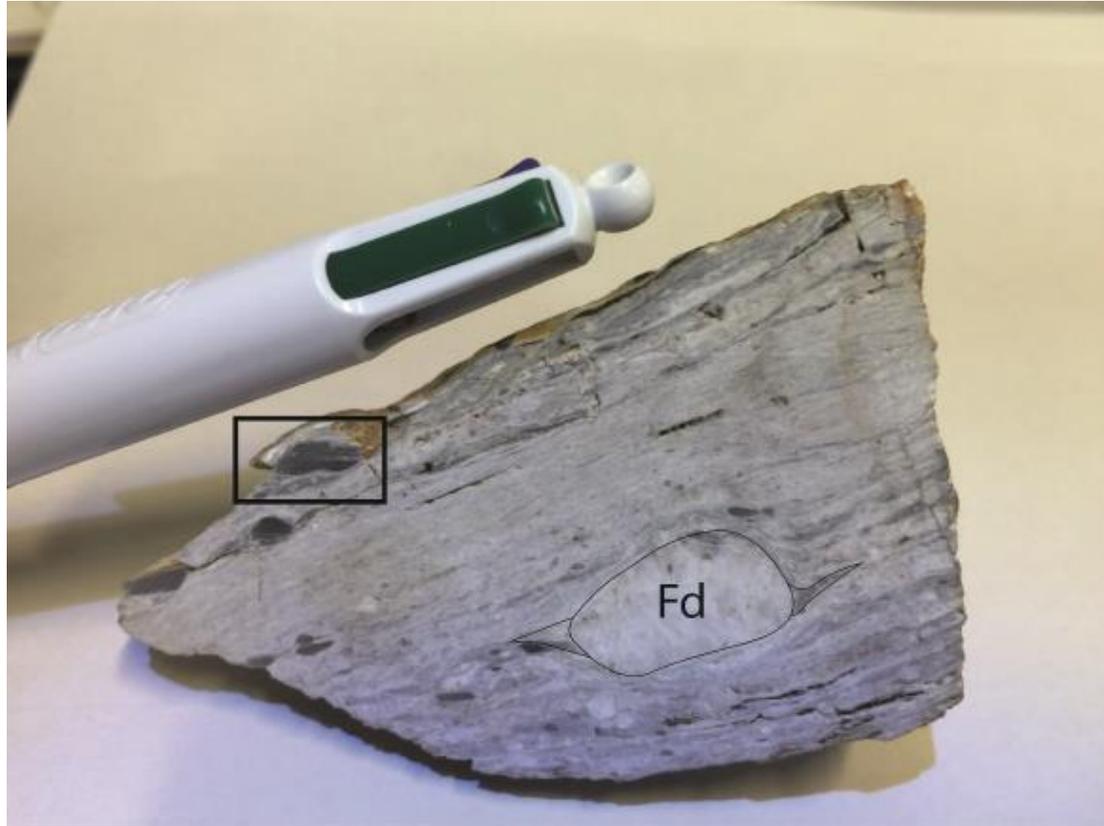
SGR



350°C à 450°C
aw, 2014

Asti et al. 2019

Datation de la déformation mylonitique du socle



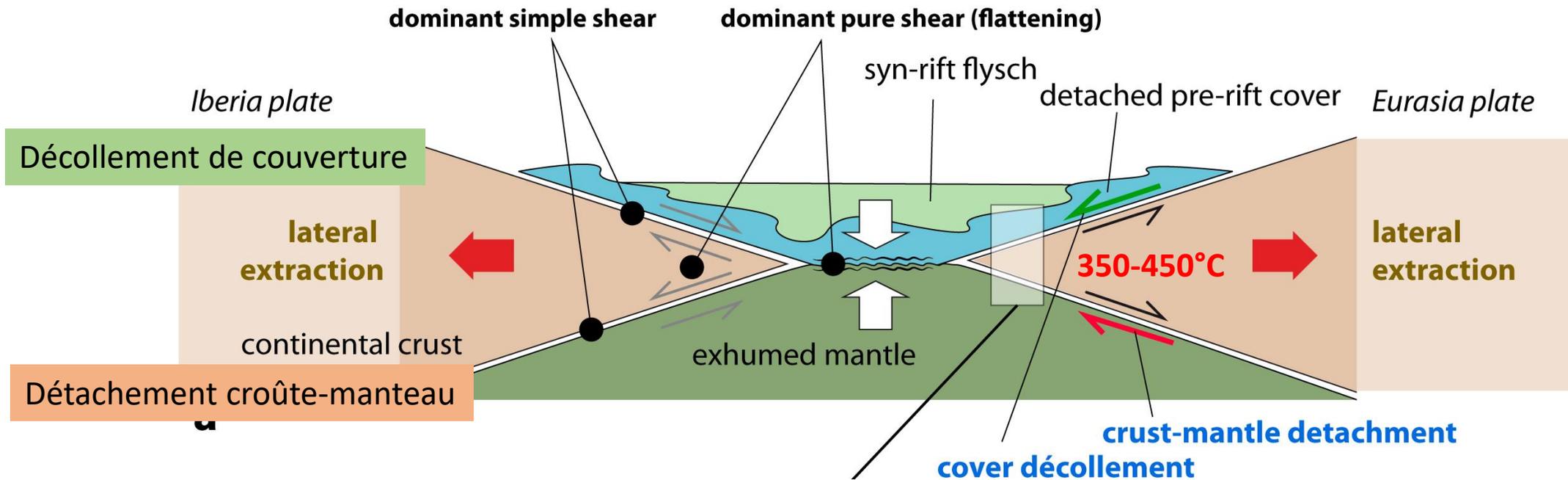
Mylonitic orthogneiss in Urdach
Ar/Ar dating on Musc

Age : 105,2 +/- 0,5 Ma



Asti et al. 2019

2. Etat thermique de la croûte? Mécanismes de la déformation au cœur des bassins.



Evolution thermique : déformation « chaude » du pré-rift

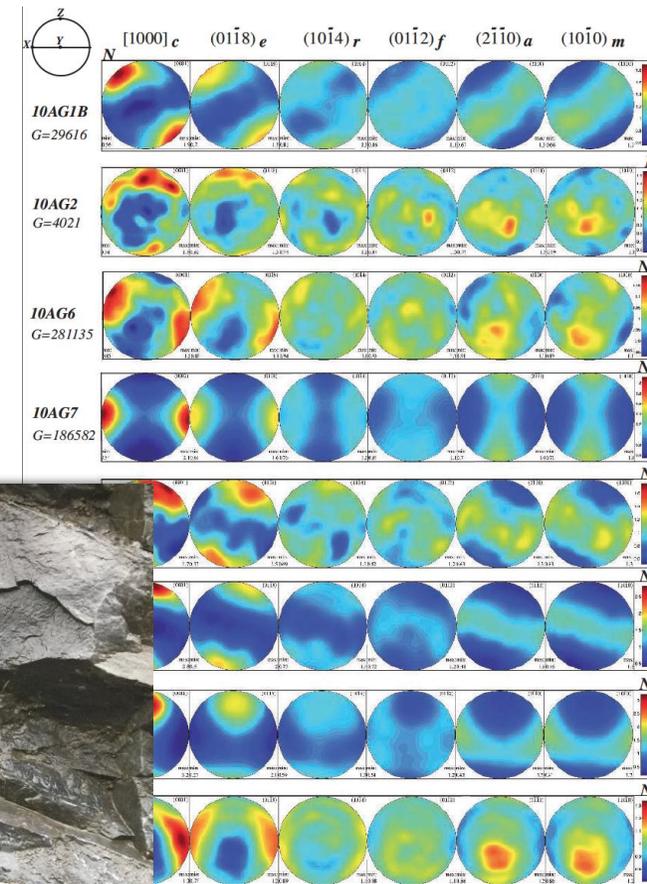
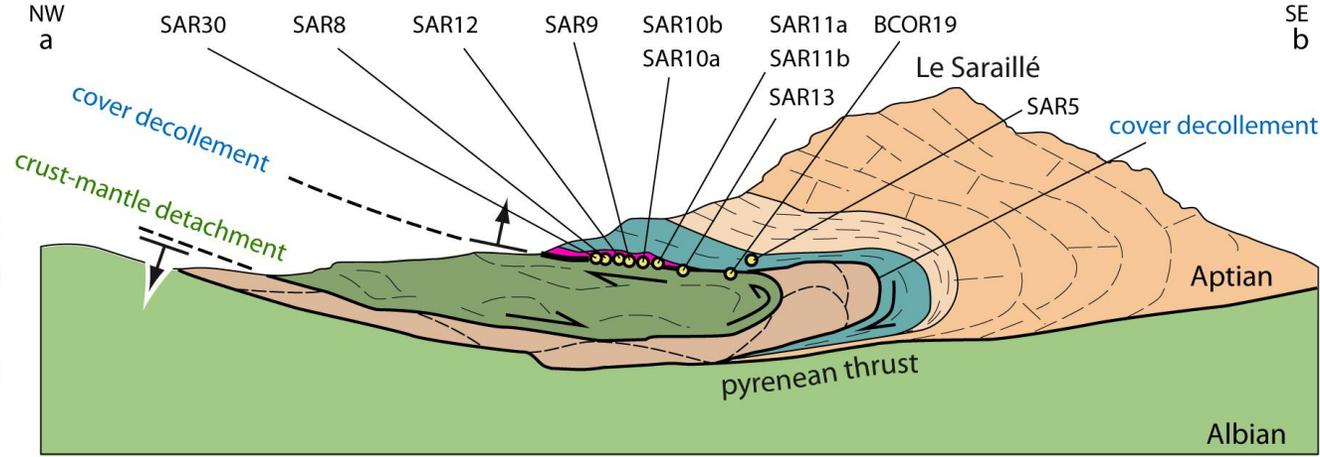
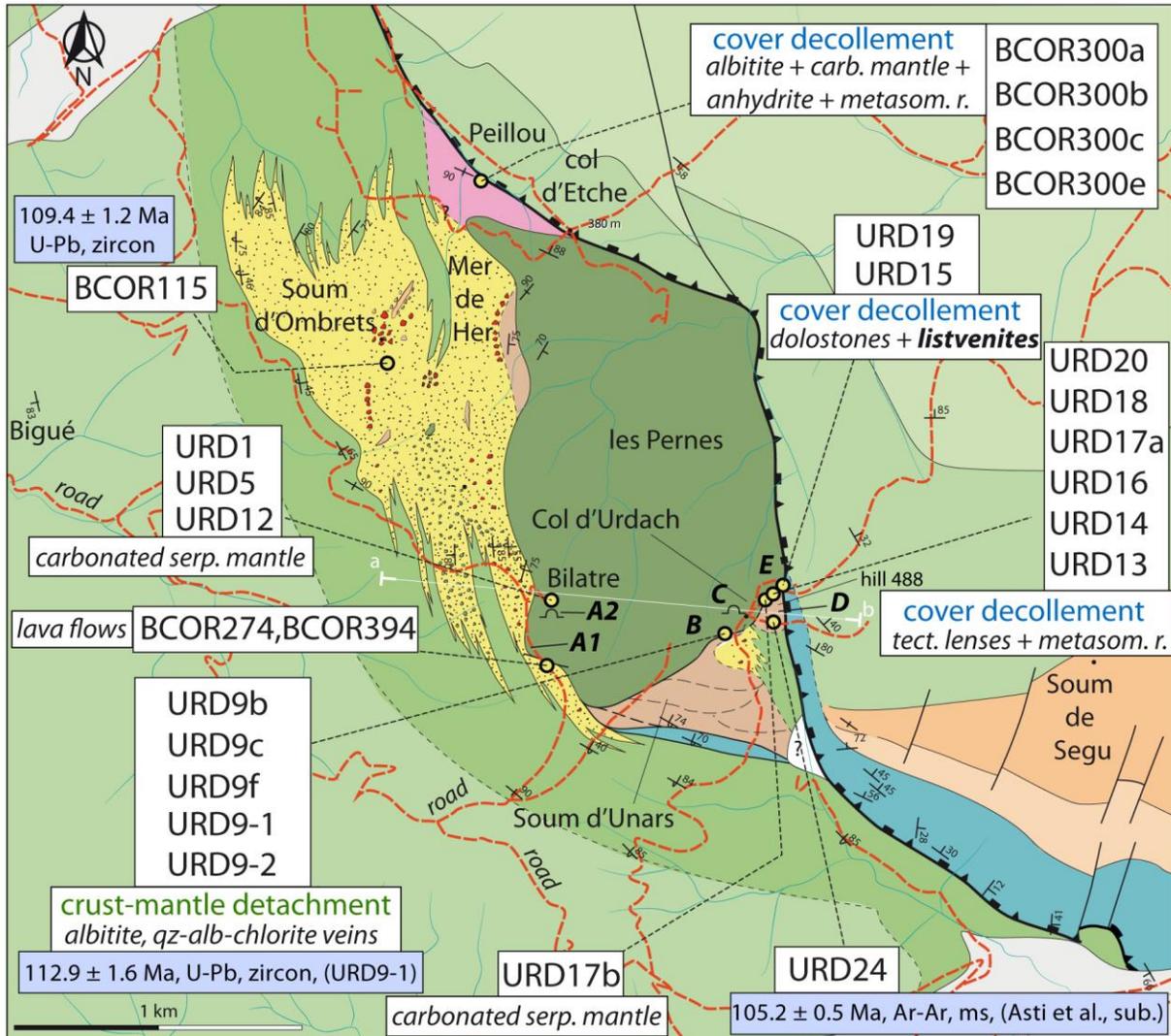
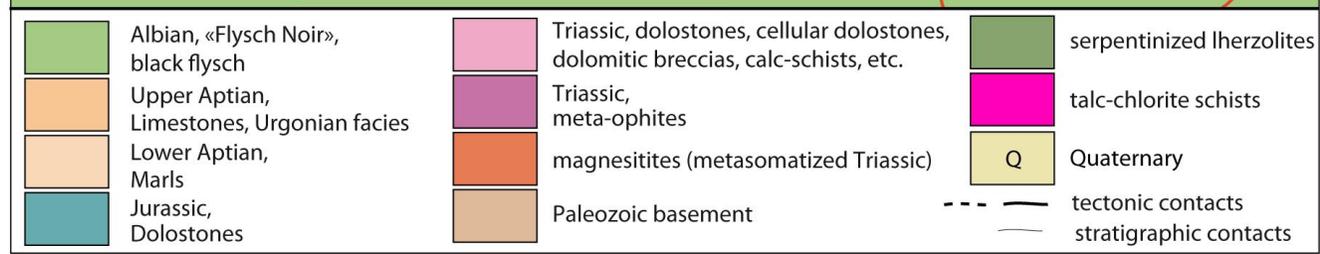


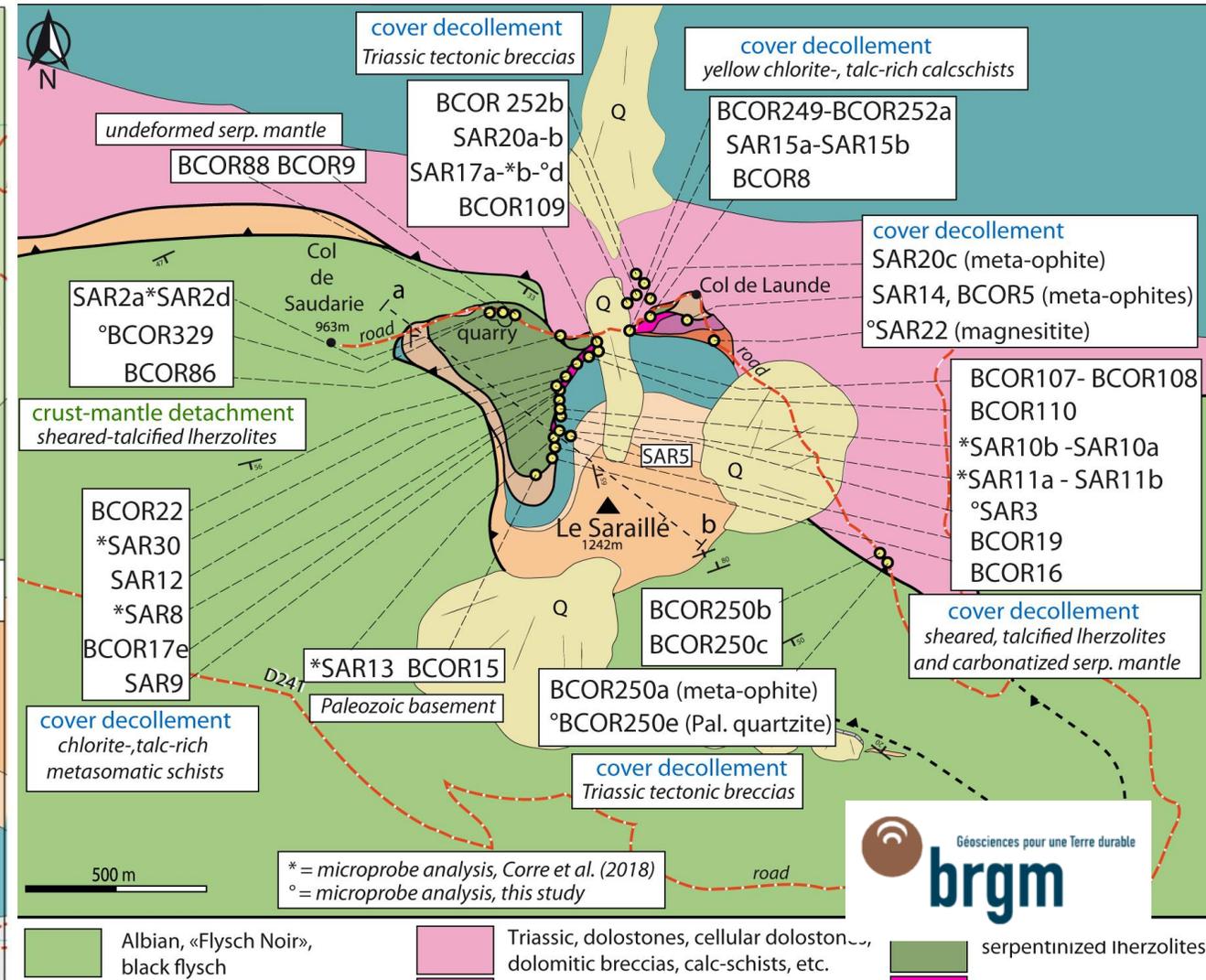
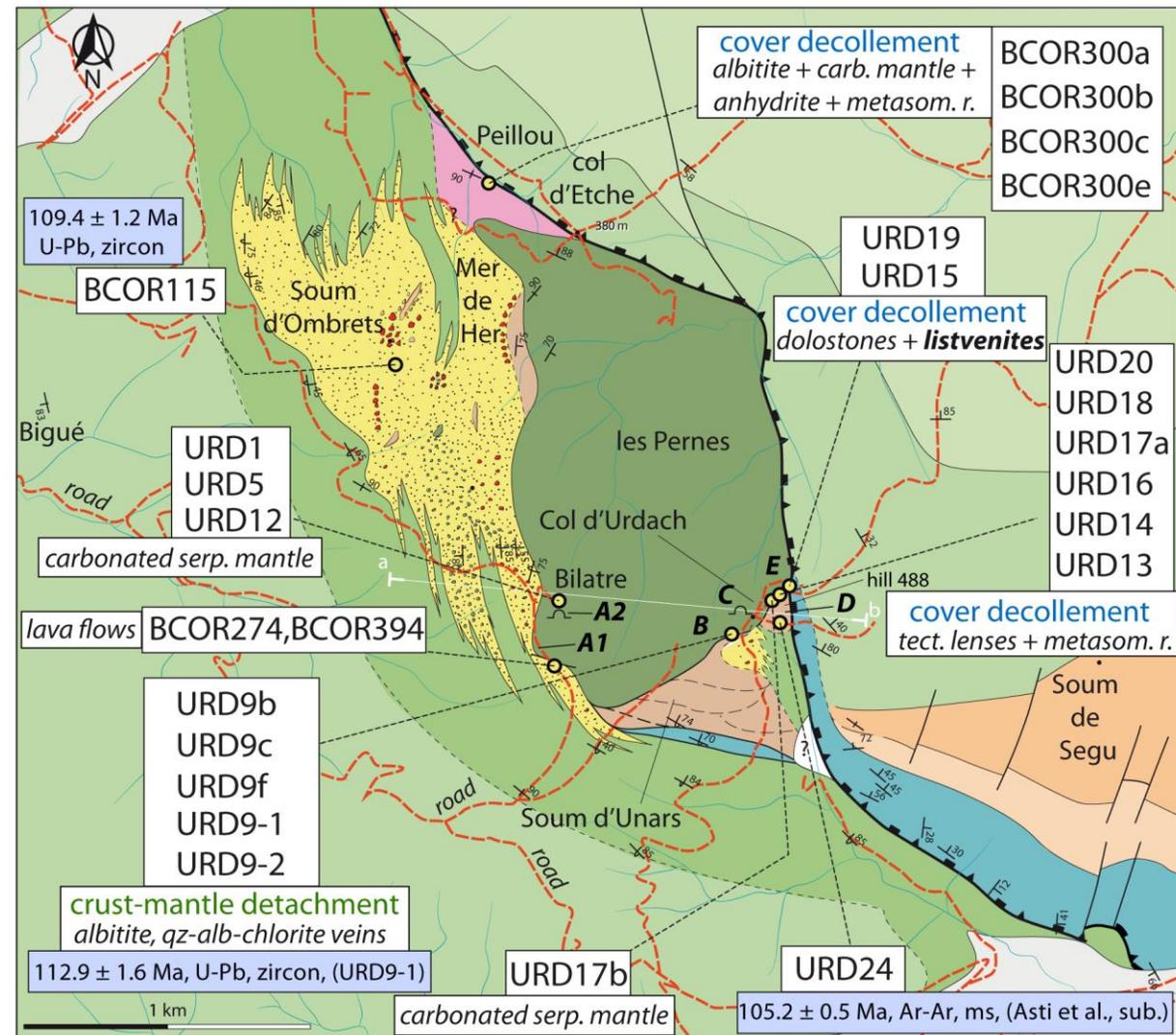
Figure 11

3. Cylindrisme?



Certainement pas!

4. Fluides dans les détachements



Fluides dans les détachements



Jurassic
dolomites

Lherzolites

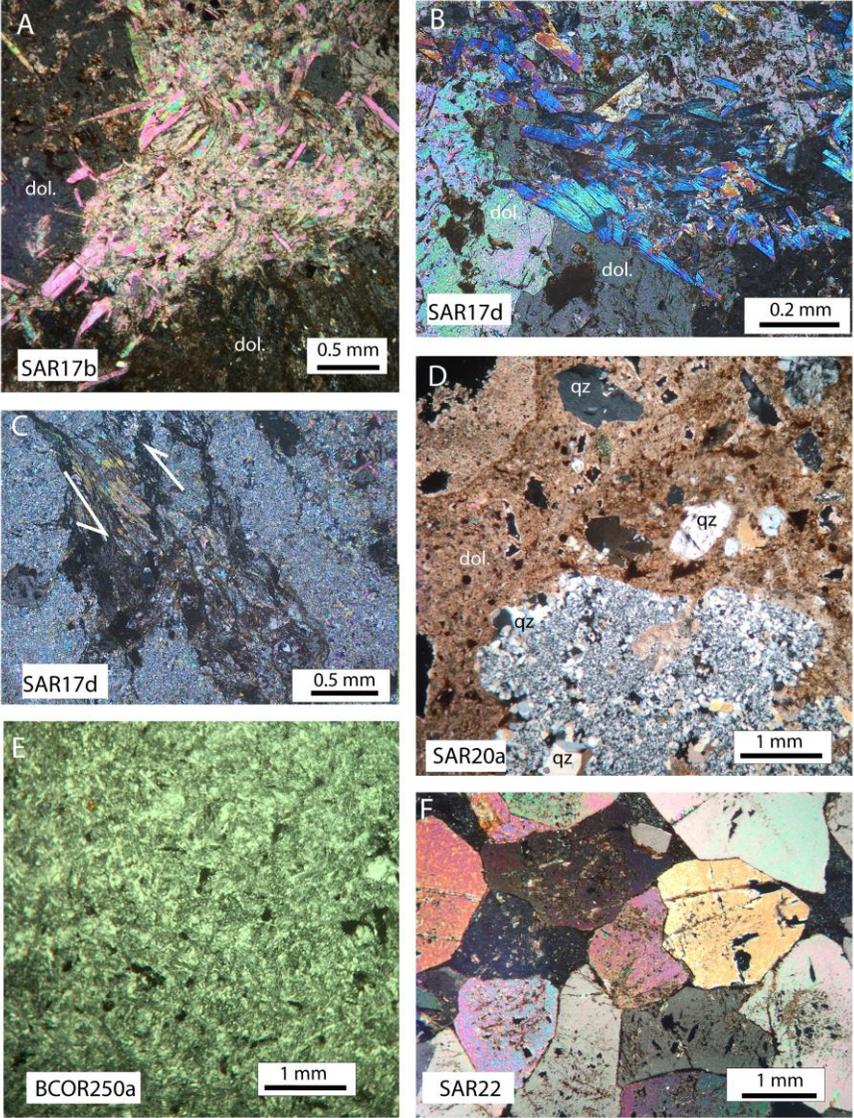
Metasomatic rocks+
Tectonic breccias
350°-200°C

**Métasomatose
crustale et mantellique**

Cataclase et fluides

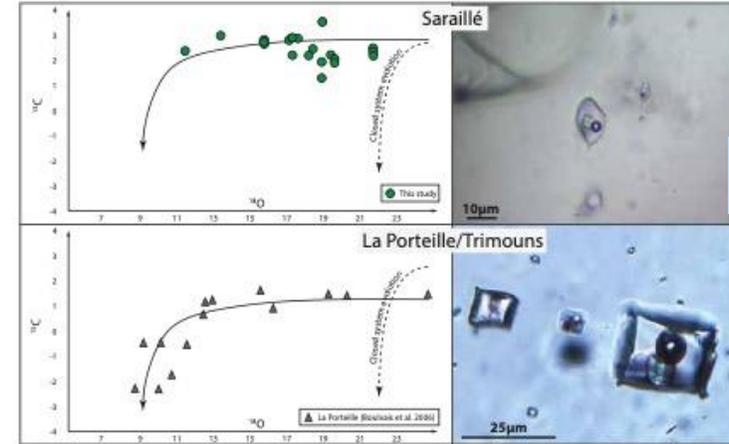
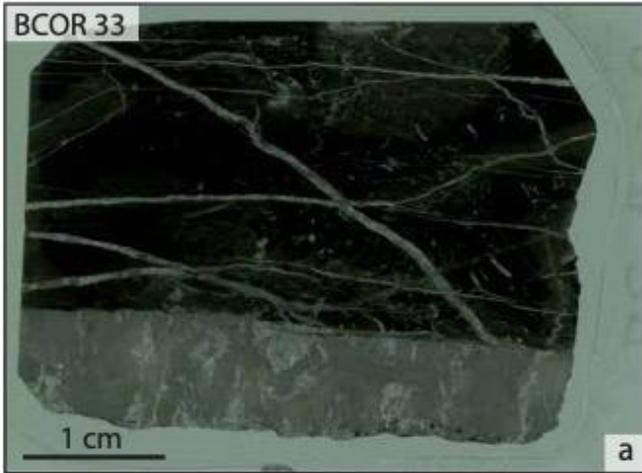


Métasomatose crustale et mantellique



Analyse
minéralogique
classique

Inclusions fluides + isotopes C/O : rôle majeur du Trias comme source des fluides



Corre et al., 2018

Corre et al. Figure 11



Ntème et al., en cours



Brèches tectono-sédimentaires, socle

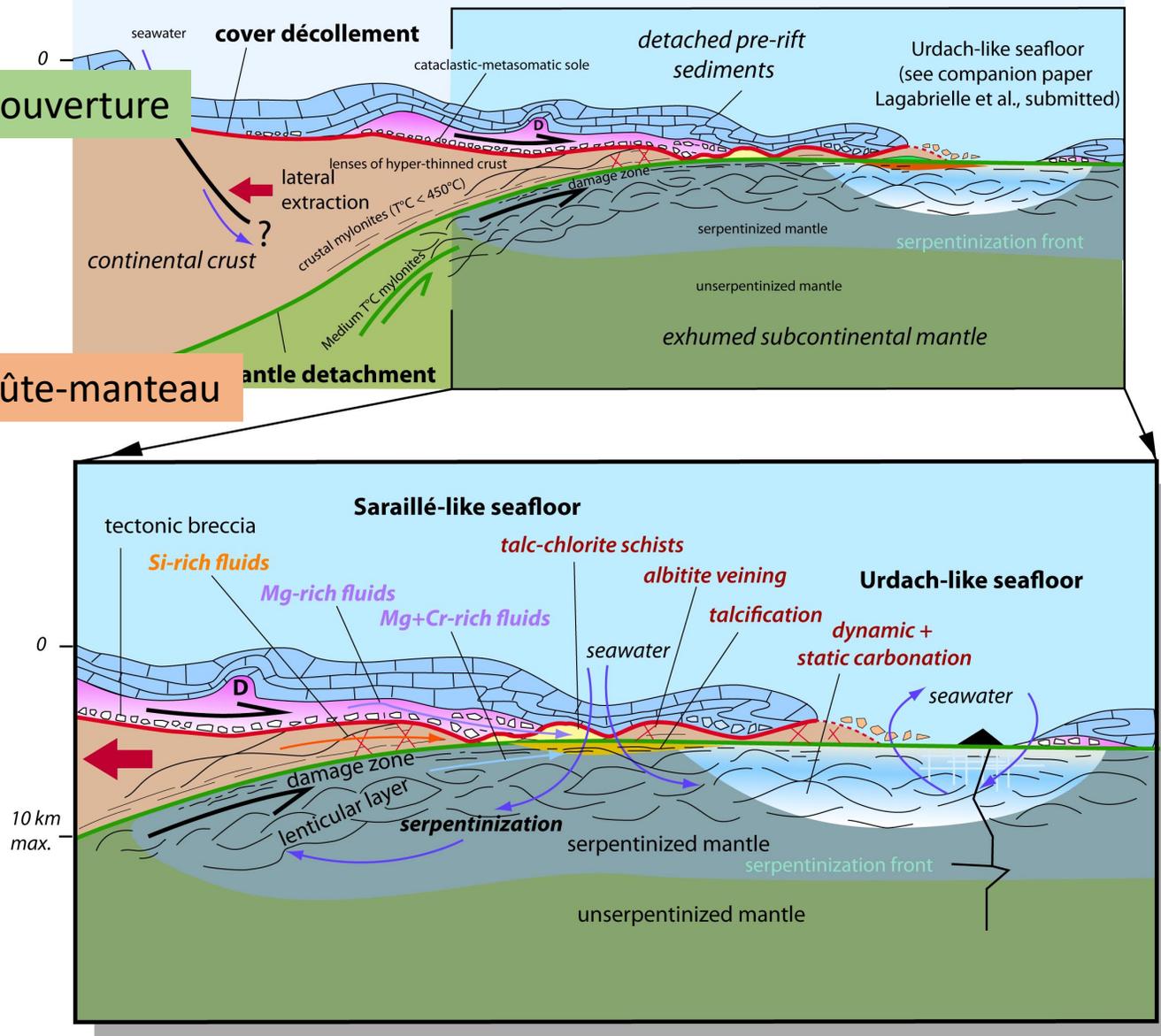
IBERIA MARGIN

S necking domain exhumed mantle domain N

margin domains
brittle, proximal margin *ductile, distal margin*

Décollement de couverture

Détachement croûte-manteau



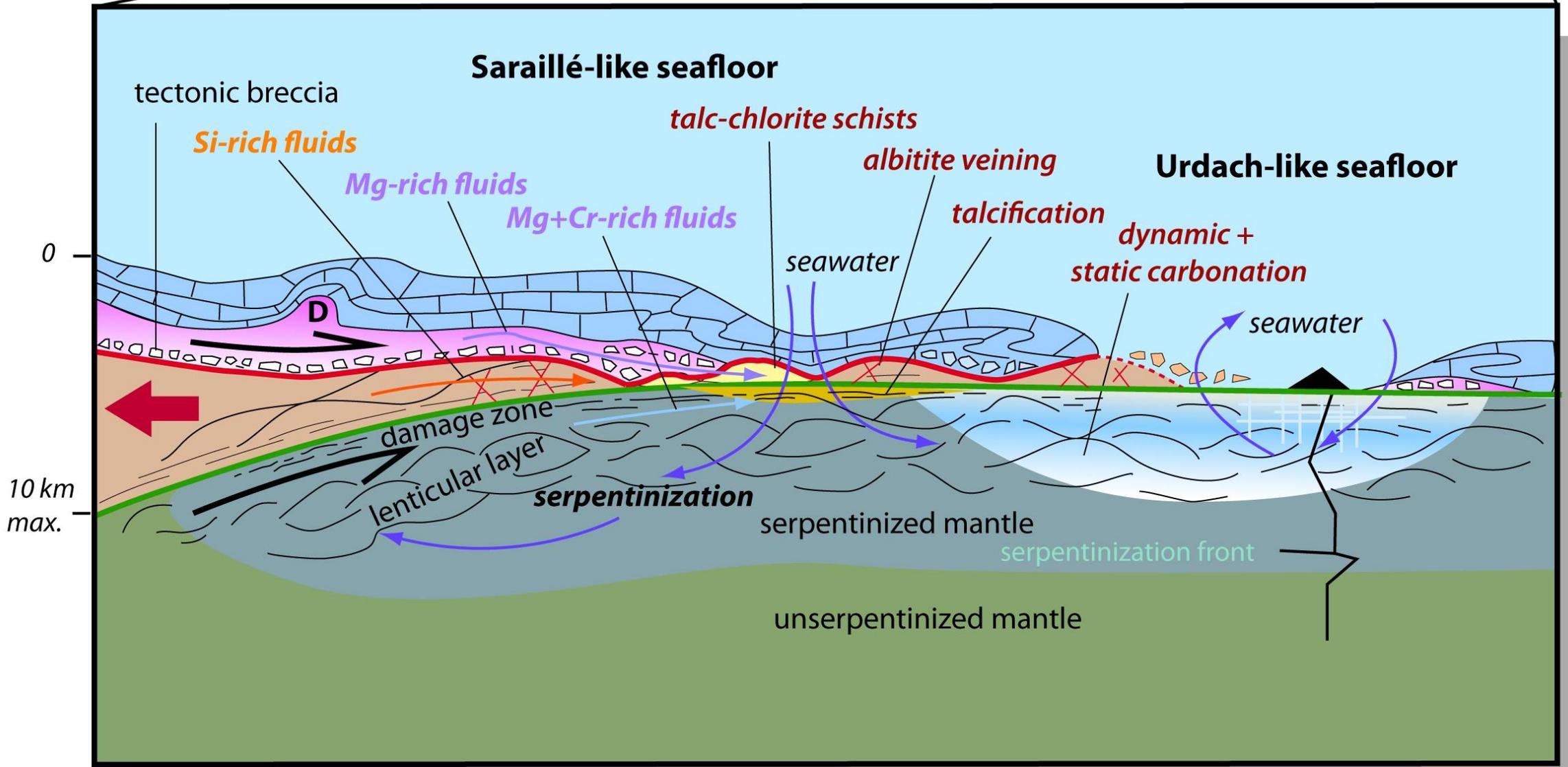


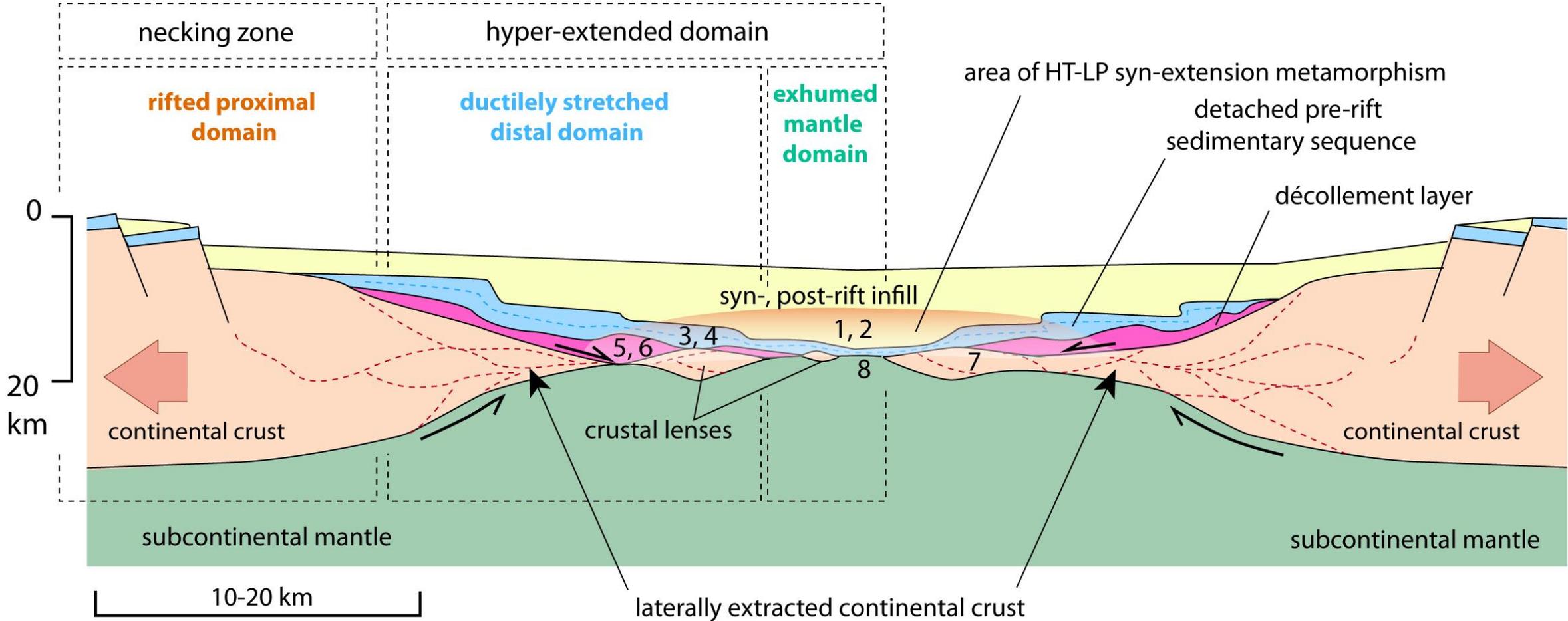
fig.14-SAR

Conclusions : les spécificités de la ZNP

Pour simplifier le message, en termes de géodynamique :

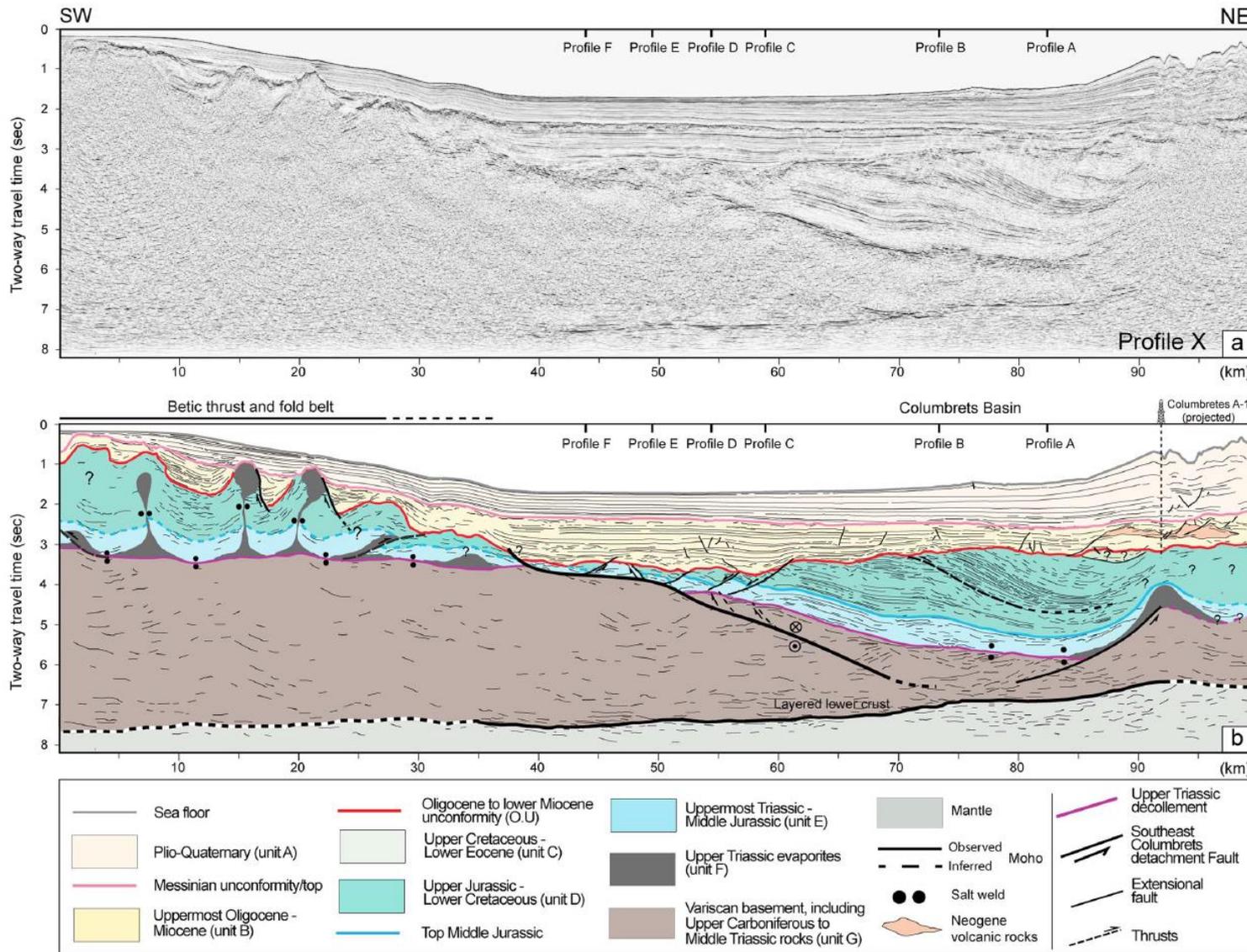
- 1. Le manteau remonte (exhumation) sous une croûte qui s'amincit et s'écarte latéralement (extension du bassin).**
- 2. La couverture reste en place mais glisse sur le sel et cuit dans le fond du bassin où se trouve le maximum de l'anomalie thermique. La couverture de flysch syn-rift accentue l'effet thermique par enfouissement.**

Un modèle géologique pour l'évolution des bassins de la ZNP



numbers 1, 2,..., 8 refer to photographs in fig. 6

Bassin de Columbrets



Ethève et al., 2017

Figure 7. NE trending seismic Profile X across the Columbrets Basin and northern edge of the Betic fold-and-thrust belt. (a) Time migrated seismic reflection profile (SGV01-204). (b) Line drawing and proposed interpretation. The location of the seismic profile is indicated in Figure 2b.

Merci pour votre attention

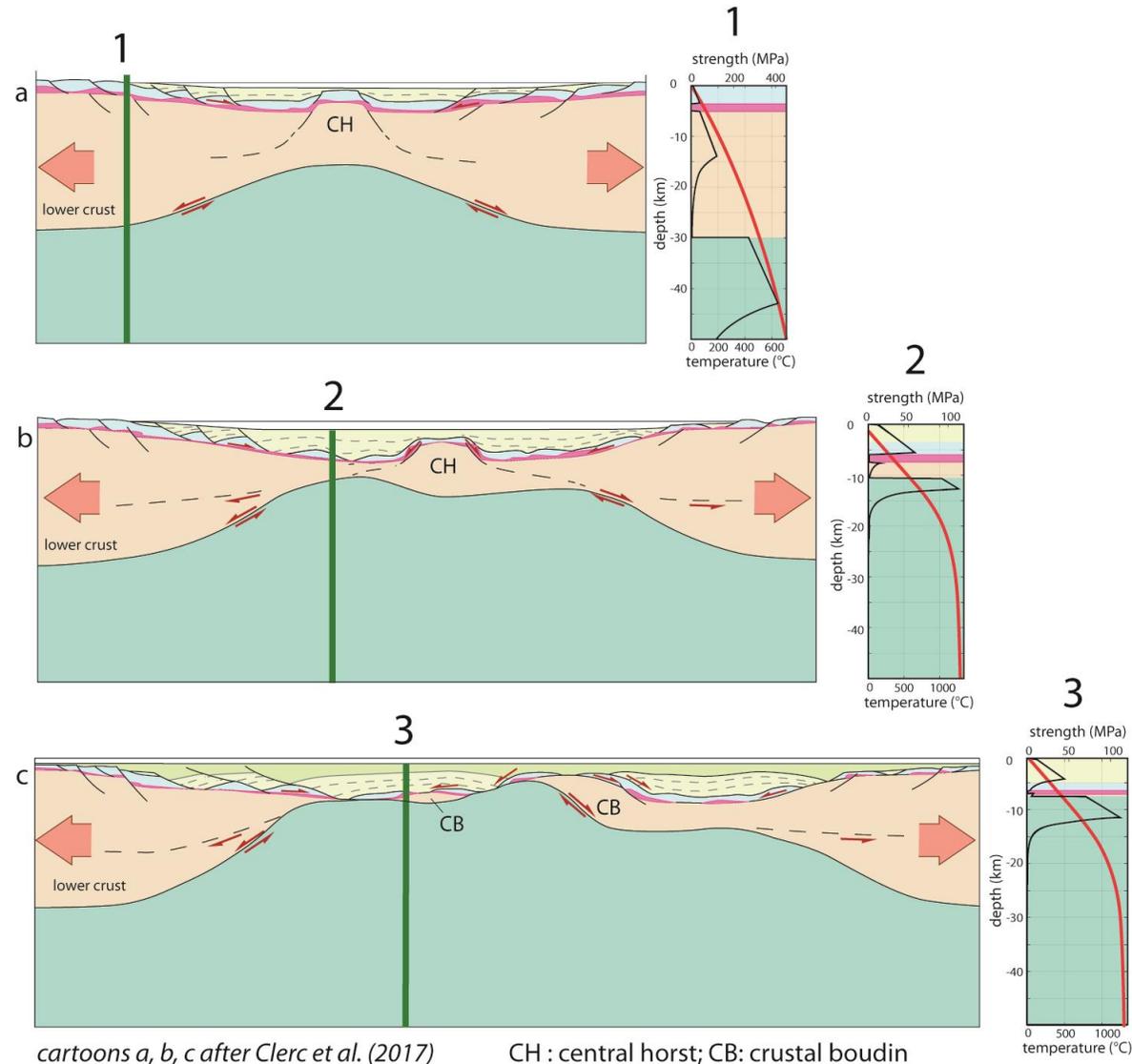
- + P. Monié
- P. Boulvais
- M. Poujol
- C. Clerc
- B. Azambre
- M-C. Boiron
- M. Cathelineau
- L. Marasy
- JE. Rose



J. Uzel G. Bergamini F. Pape B. Corre S. Fourcade N. Saspiturry B. Corre R. Asti J. Nteme

extras

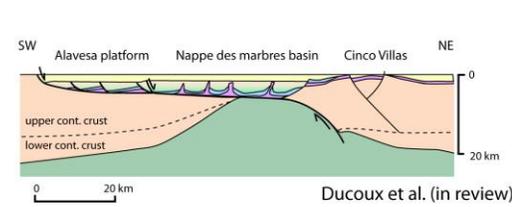
Les modèles géologiques pour l'évolution des bassins de la ZNP



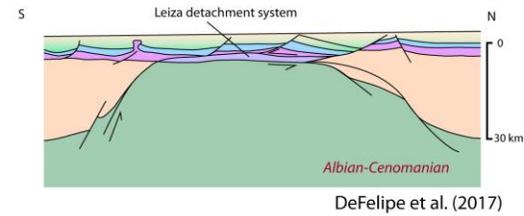
cartoons a, b, c after Clerc et al. (2017)



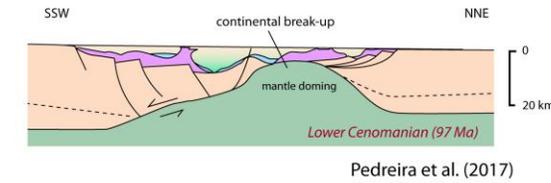
Perspectives : les bassins « smooth slopes » ibériques



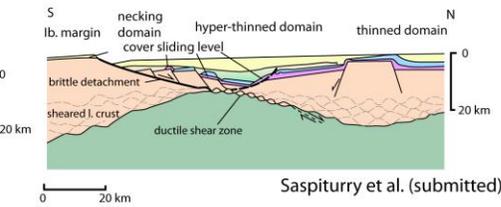
a. Basque-Cantabrian basin (1)



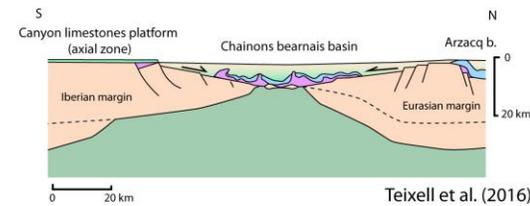
b. Basque-Cantabrian basin (2)



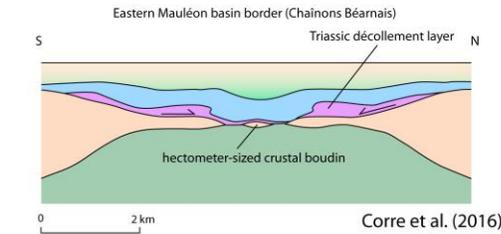
c. Basque-Cantabrian basin (3)



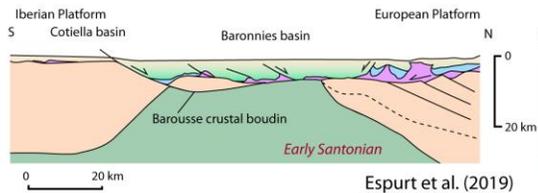
d. Western North Pyrenean Zone (1)



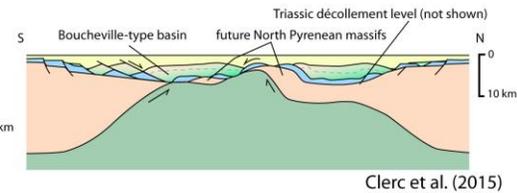
e. Western North Pyrenean Zone (2)



f. Western North Pyrenean Zone (3)



g. Central North Pyrenean Zone



h. Eastern North Pyrenean Zone

Quel contrôle pour ce type de rifting sans blocs basculés ?

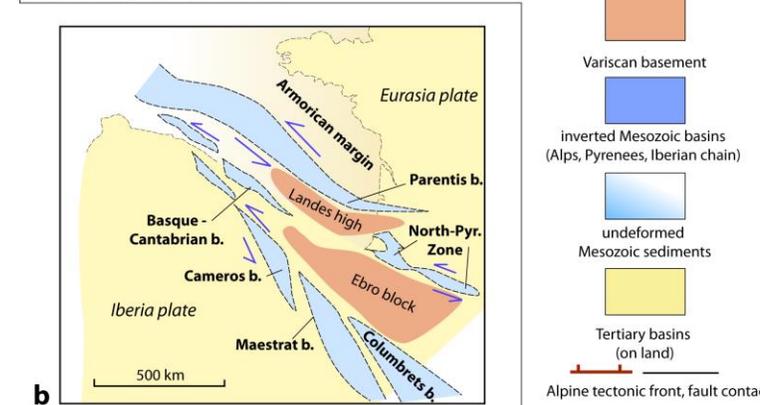
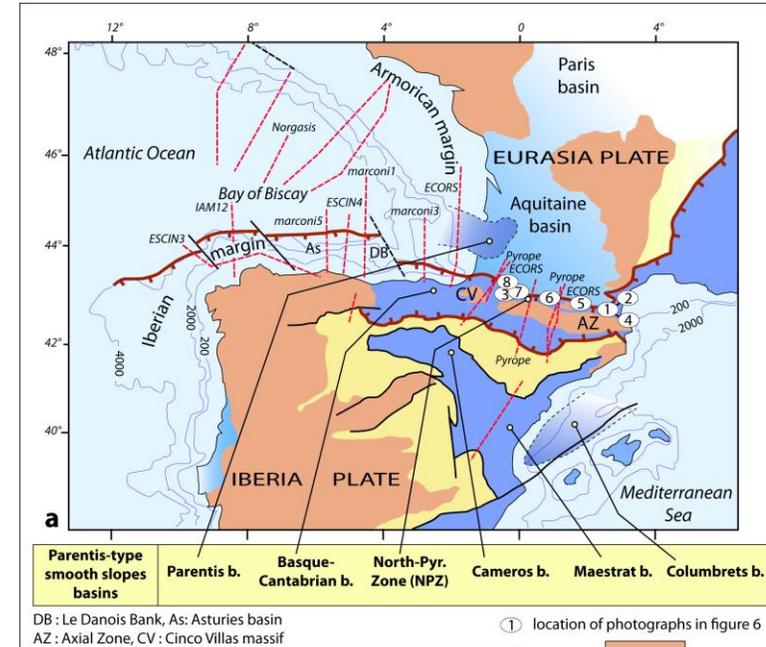
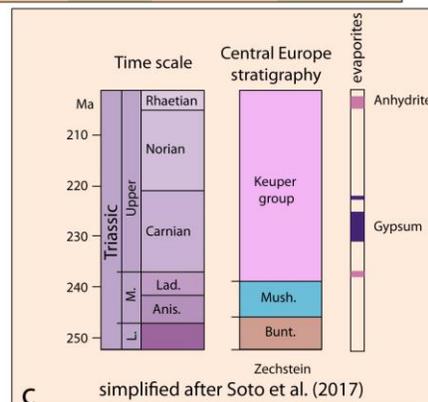
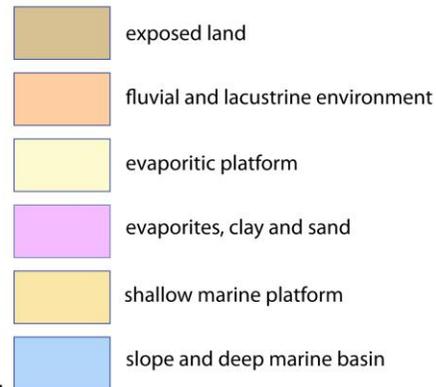
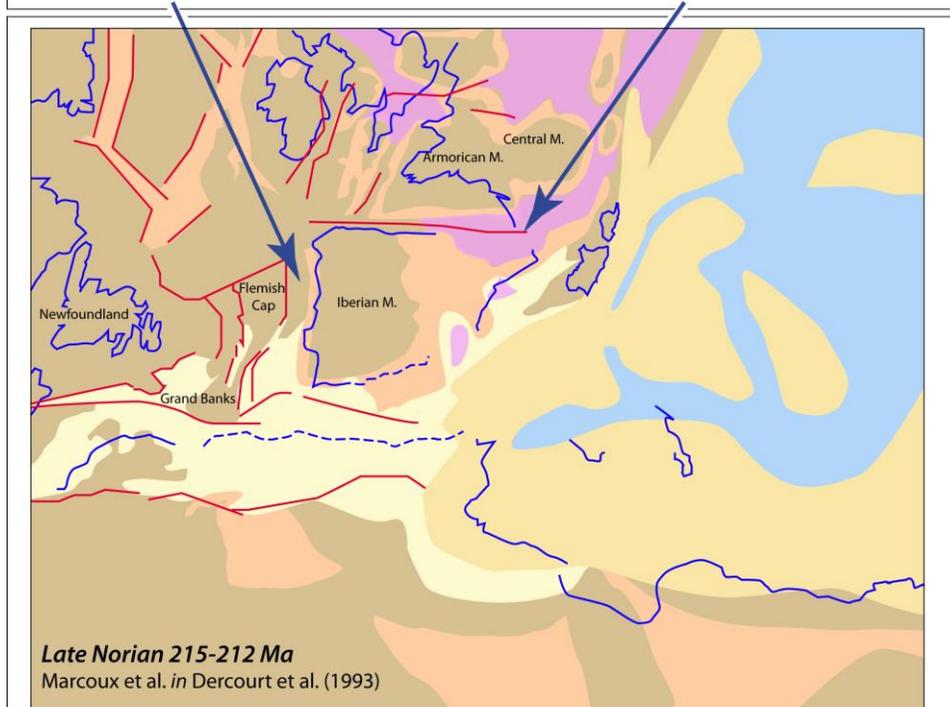
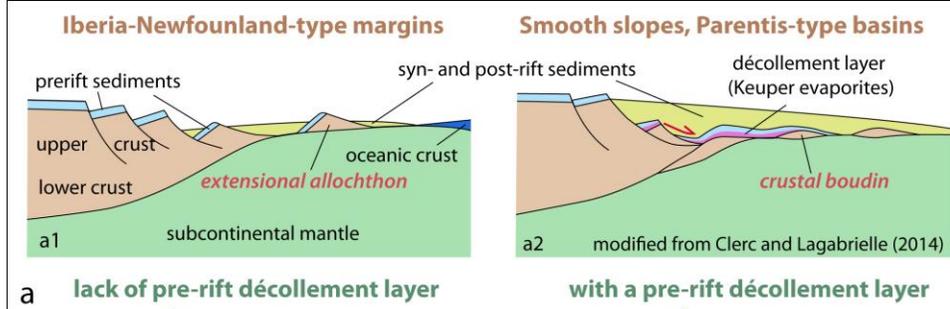
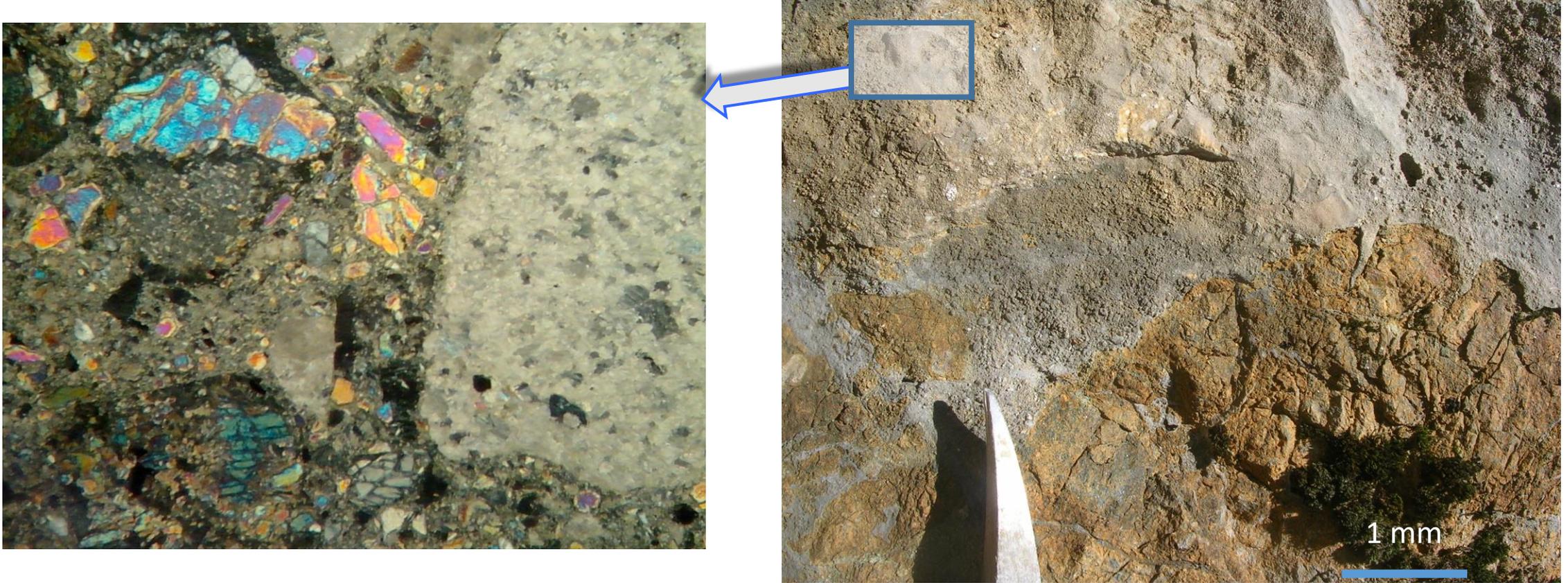


fig.1

Lagabrielle et al., smooth slopes basins, submitted

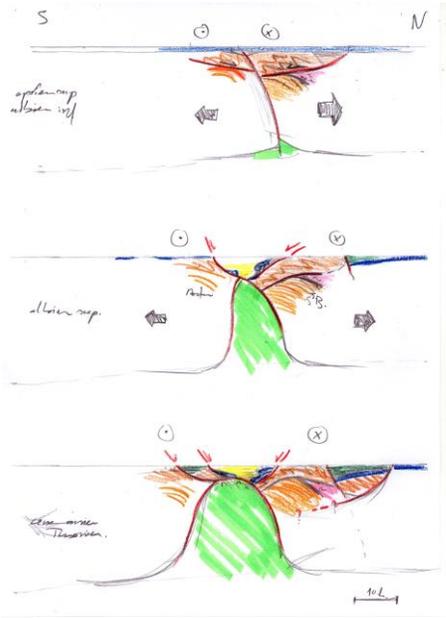
La question des Iherzolites : faut-il élargir les bassins crétacés ?



Le contact Iherzolites/grès mixtes

Lherz

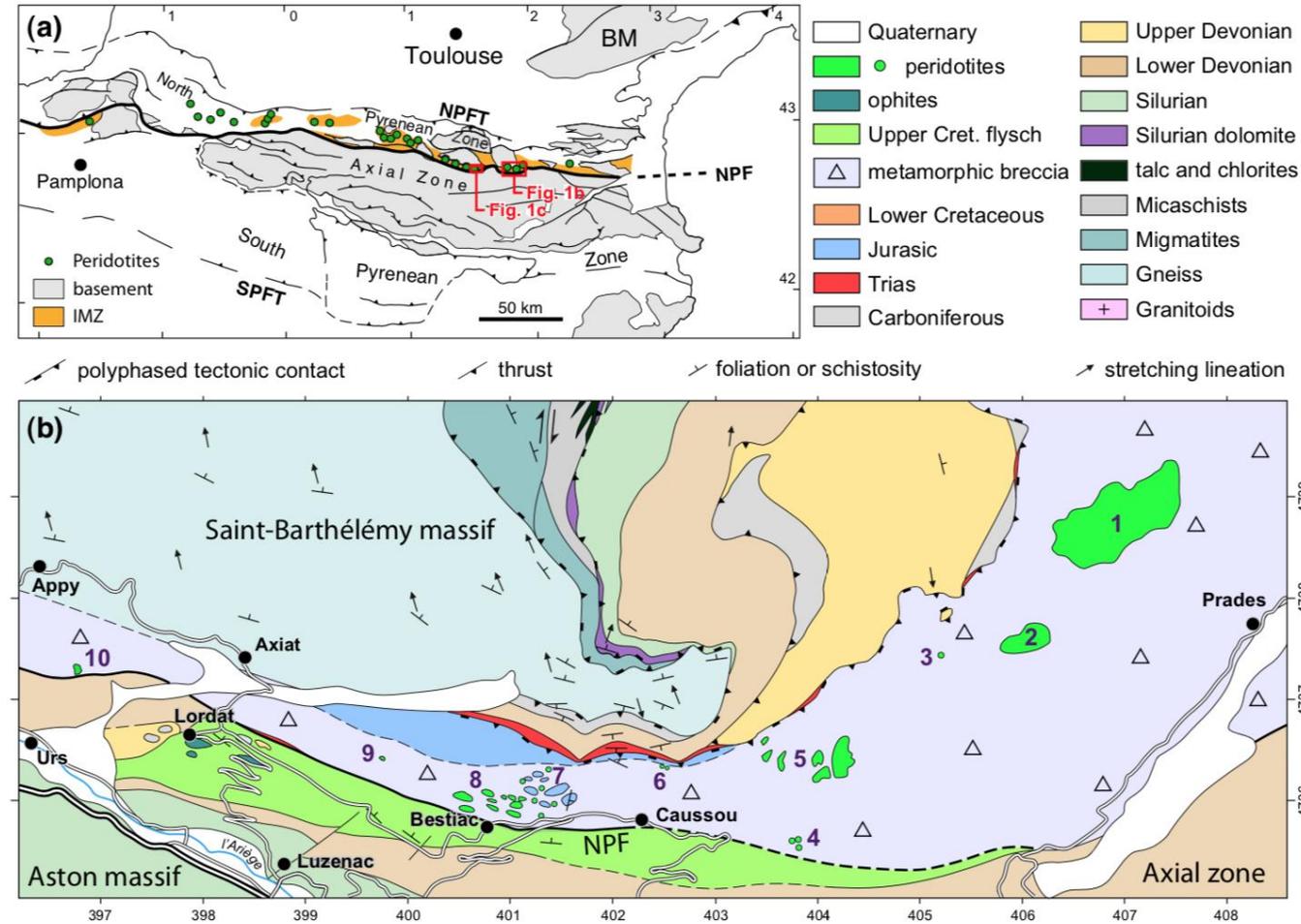
La question des Iherzolites : faut-il élargir les bassins crétacés ?



De Saint Blanquat et al., 2016

270

M. de Saint Blanquat et al./C. R. Geoscience 348 (2016) 268–278



Bestiac-Caussou