

RIFTS ET MARGES MESO-CENOZOIQUES

Olivier LACOMBE



Même si des sédiments peuvent se déposer pratiquement dès leur érosion, leur devenir est en général de terminer leur voyage au sein d'un bassin sédimentaire.

Un bassin sédimentaire ne se forme que là où des sédiments peuvent s'accumuler.

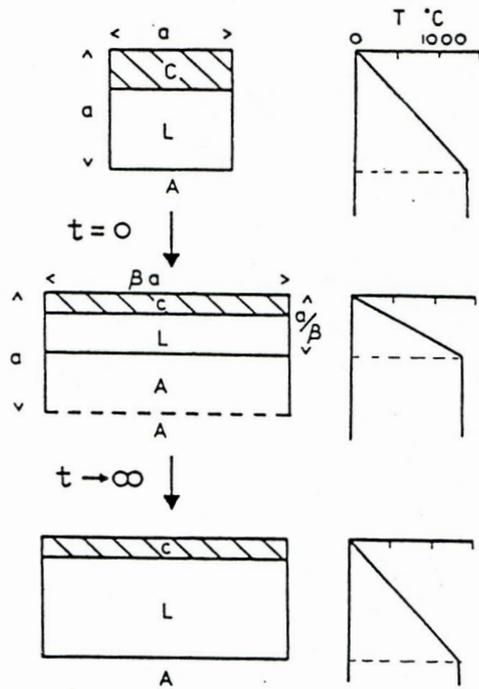
Cette évidence recouvre un concept majeur : l'accumulation des sédiments nécessite une création d'espace, résultant soit d'un enfoncement de la base du bassin (subsidence), soit d'une hausse du niveau marin.

Les bassins sédimentaires résultent de l'interaction de phénomènes superficiels (érosion/transport, variations du niveau marin, ...) et profonds (dynamique lithosphérique).

La subsidence peut être tectonique (étirement/amincissement, flexure) ou thermique

Les bassins sédimentaires français se classent en différentes catégories :

- Les bassins intracratoniques : le Bassin de Paris
- Les bassins de type rift / graben : les fossés du rift ouest-européen
- Les bassins de type marge passive : les marges atlantiques et méditerranéennes
 - Les bassins (compressifs) d'avant-pays : les bassins flexuraux alpins
 - Les bassins complexes/mixtes : le bassin d'Aquitaine/ le bassin du SE
- les bassins sur décrochement (pull-apart) : les bassins le long du Sillon Houiller



- Distension de la lithosphère continentale (McKENZIE, 1978).

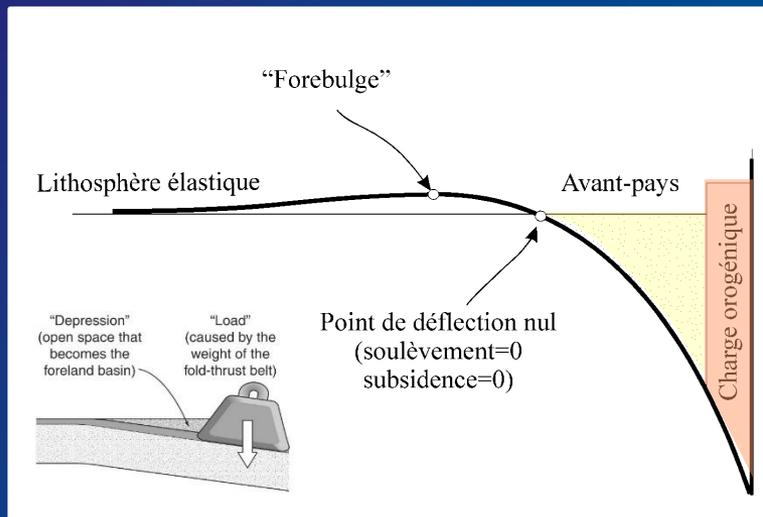
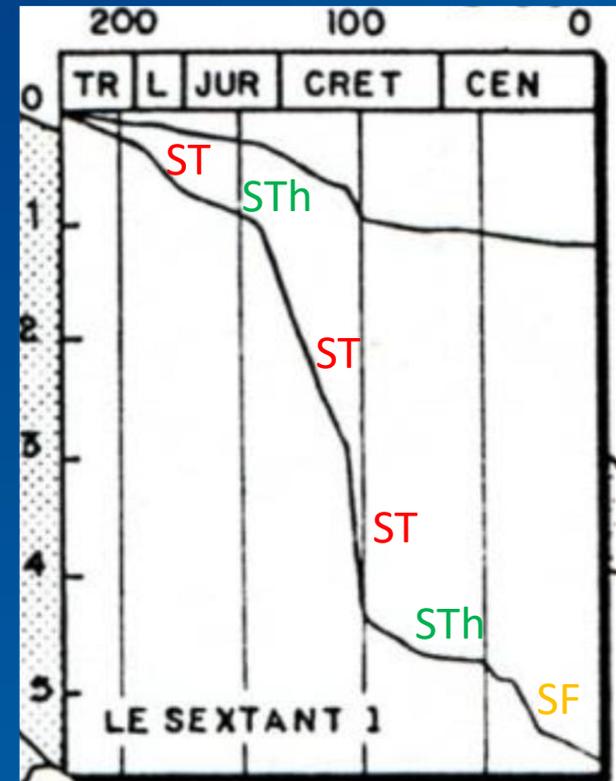
Evolutions de l'épaisseur de la croûte et de la lithosphère, et évolution des températures.

temps $t = 0$:

. distension d'une portion de lithosphère à l'équilibre thermique selon un coefficient β .
L'épaisseur est multipliée par β et la surface est multipliée par ce coefficient.

. remontée de matériel asthénosphérique chaud.

Il y a ensuite refroidissement de ce matériel chaud produisant une subsidence. Au temps $t = \infty$, la lithosphère a retrouvé son épaisseur et sa température initiales.



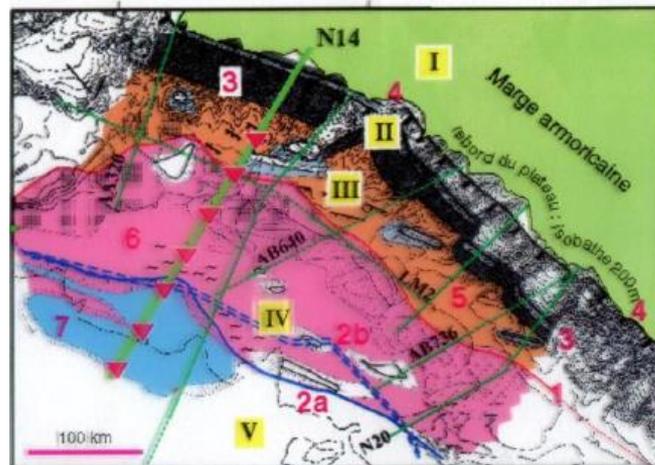
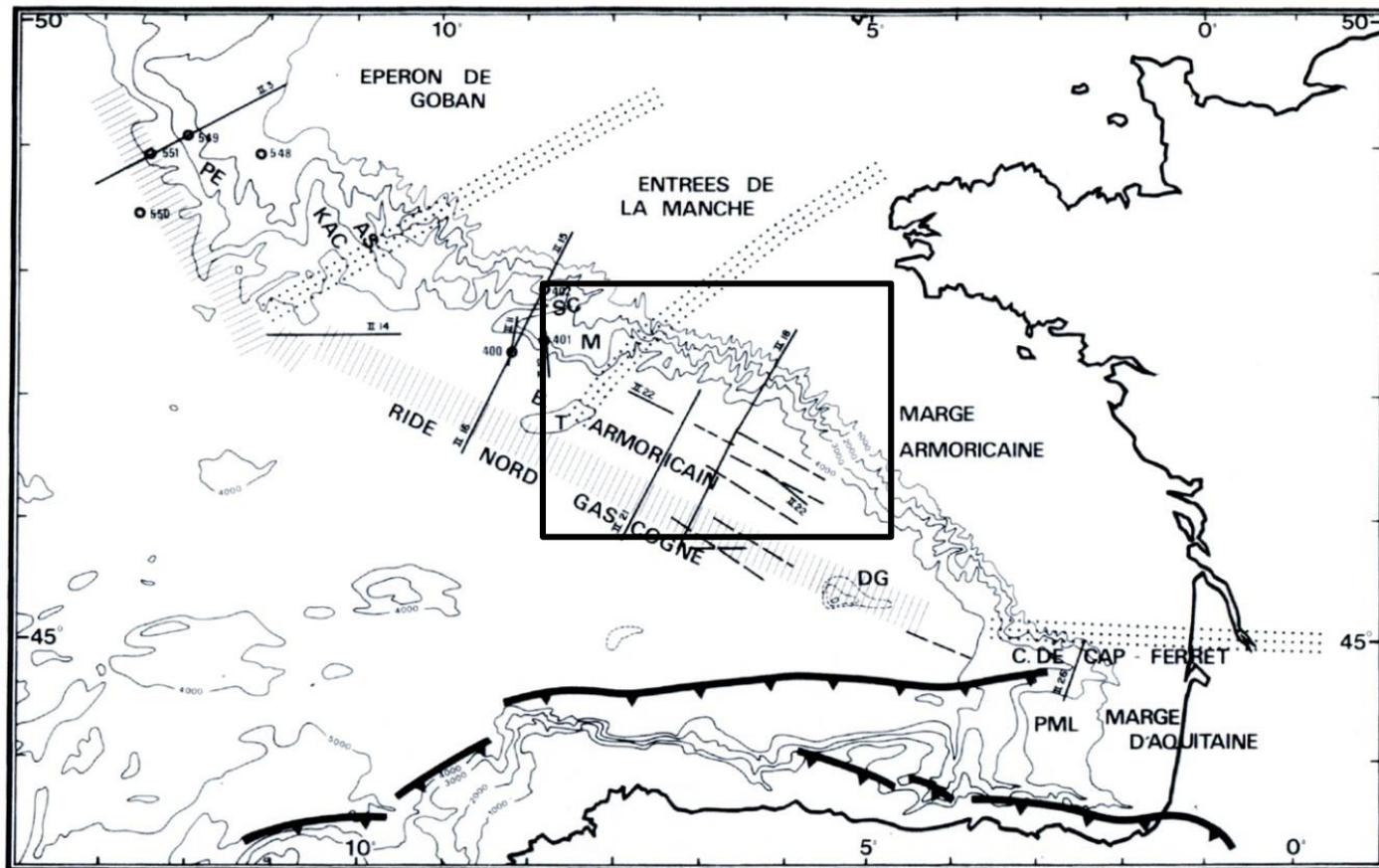
Subsidence « **tectonique** » puis **thermique** des rifts continentaux et marges passives divergentes

Subsidence **flexurale** des bassins d'avant-pays

I. Les marges mésozoïques atlantiques

I. Les marges mésozoïques atlantiques

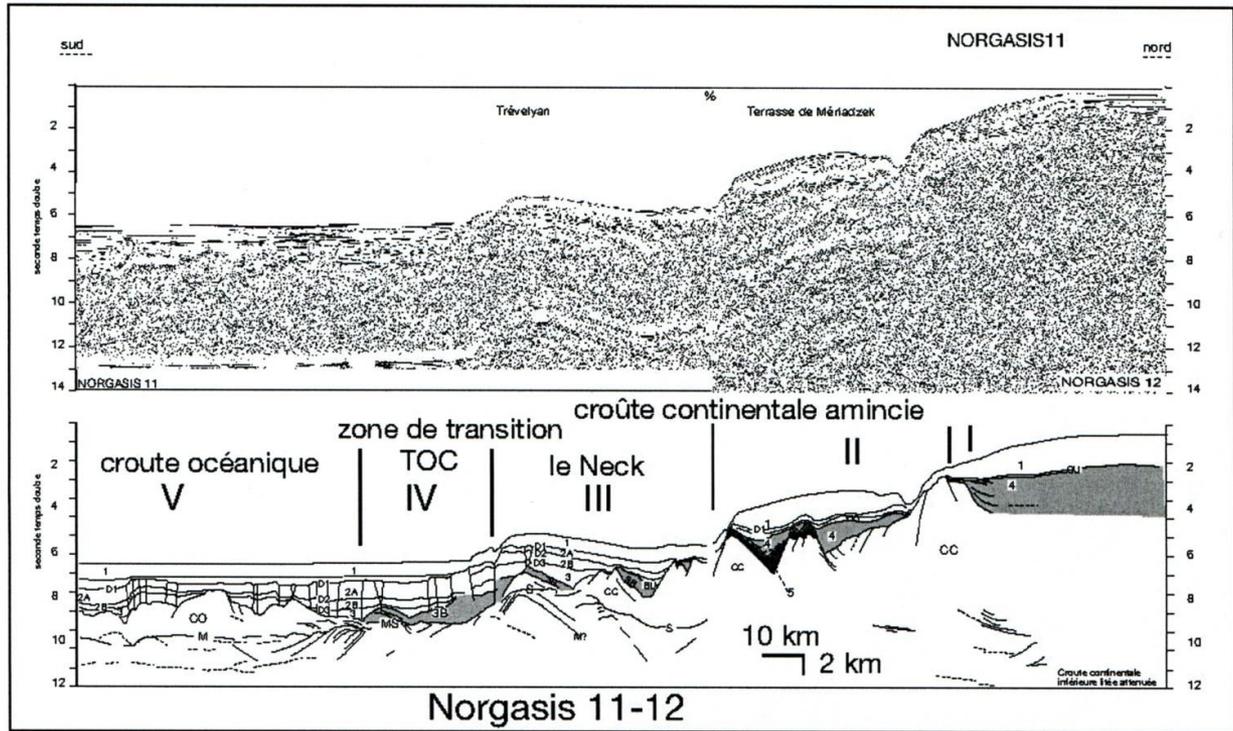
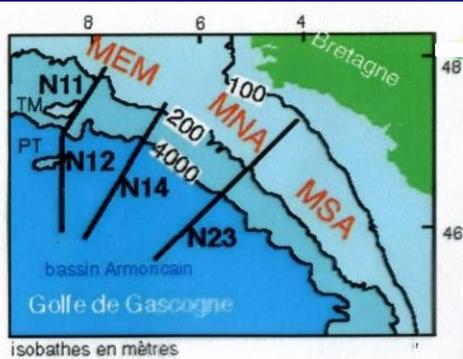
La marge armoricaine :
morphologie et structure



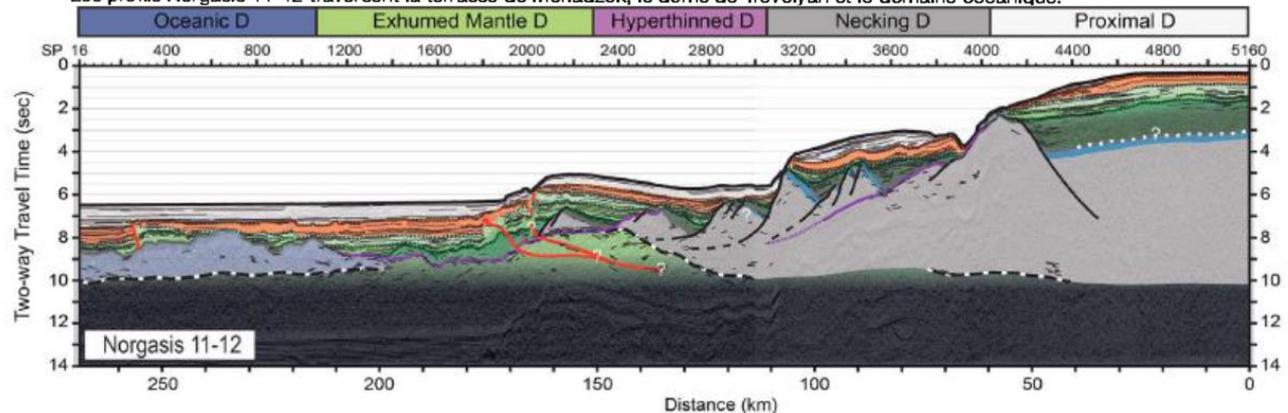
1. limite des blocs continentaux failés
2. limite du domaine océanique
(2a : données sismiques, 2b : données magnétiques)
3. escarpement rajeun (partie continentale épaissie)
4. faille tectonique inversant le haut des blocs basculés (escarpement majeur tréflant)
5. pente du plateau continental
6. zone des blocs failés (le neck)
7. domaine à vitesse sismique anormale : transition océan-continent
7. plateau océanique

- I. plateau continental
- II. pente continentale
- III. région du "neck"
- IV. TOC, transition océan-continent
- V. domaine océanique franc
- NBR: RIDE Nord/Biscaye

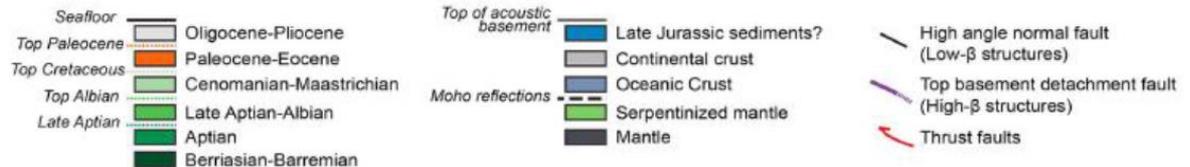
(D'après Lagabrielle
et Leroy;
Tugend et al., 2014)

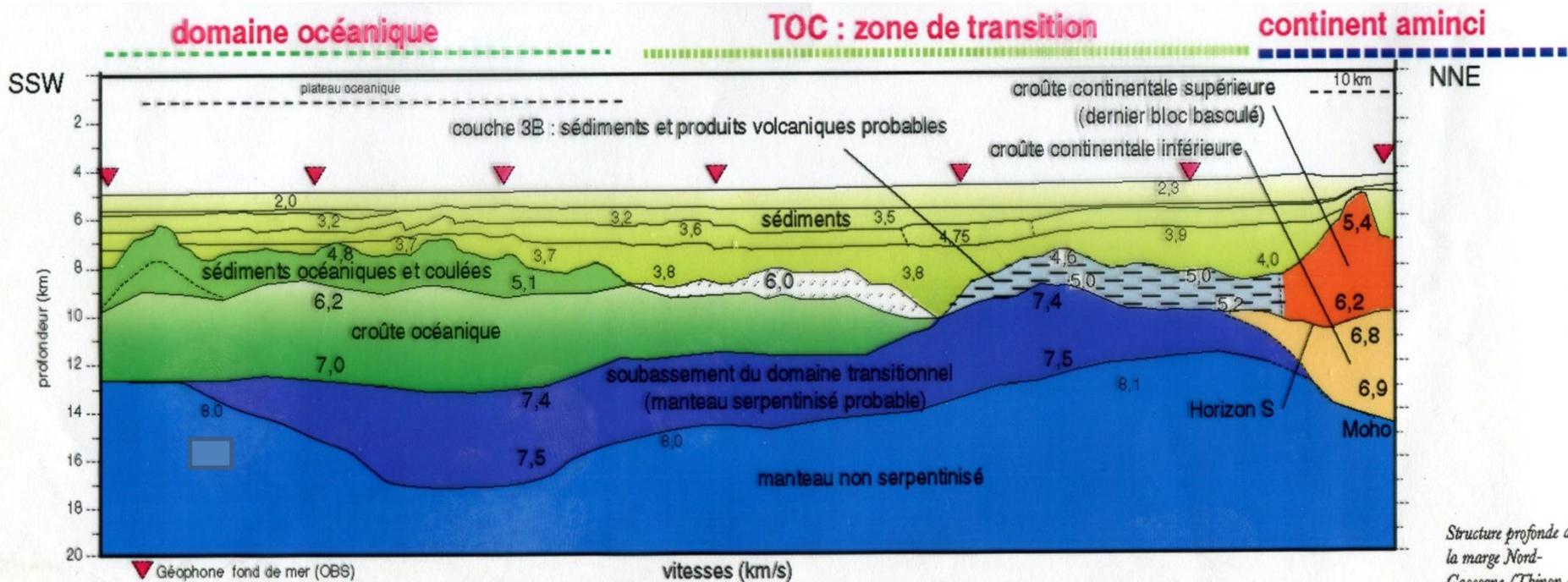
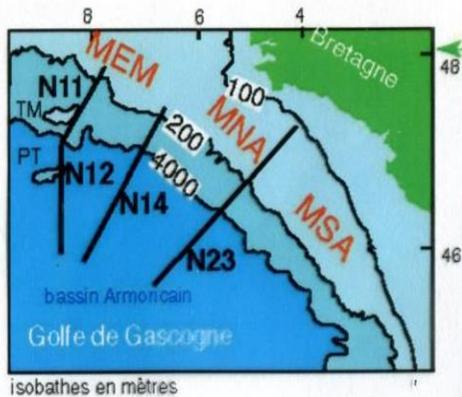


Les profils Norgasis 11-12 traversent la terrasse de Mériadzek, le dôme de Trévélyan et le domaine océanique.



M : Moho - S : horizon S
D1 à D3 : discordances.
CC : croûte continentale
CO : croûte océanique
BU : discordance "break up"
4 : série syn-rift (140 à 110 Ma)
3B : couche sédimentaire probablement
allochtone (glissement d'unités type 4
sur le domaine de la TOC depuis la
marge haute en fin de rifting)
3 : Albien (post-rift),
2B : Crétacé supérieur,
2A : Paléocène à Eocène.
1 : post-Eocène.





D. Modèle de vitesse de la transition continent-océan de la marge Nord-Gascogne le long du profil N14

Structure profonde de la marge Nord-Gascogne (Thinon et al., 2002, 2003).

I. Les marges mésozoïques atlantiques

La marge du golfe de Gascogne :
morphologie et structure

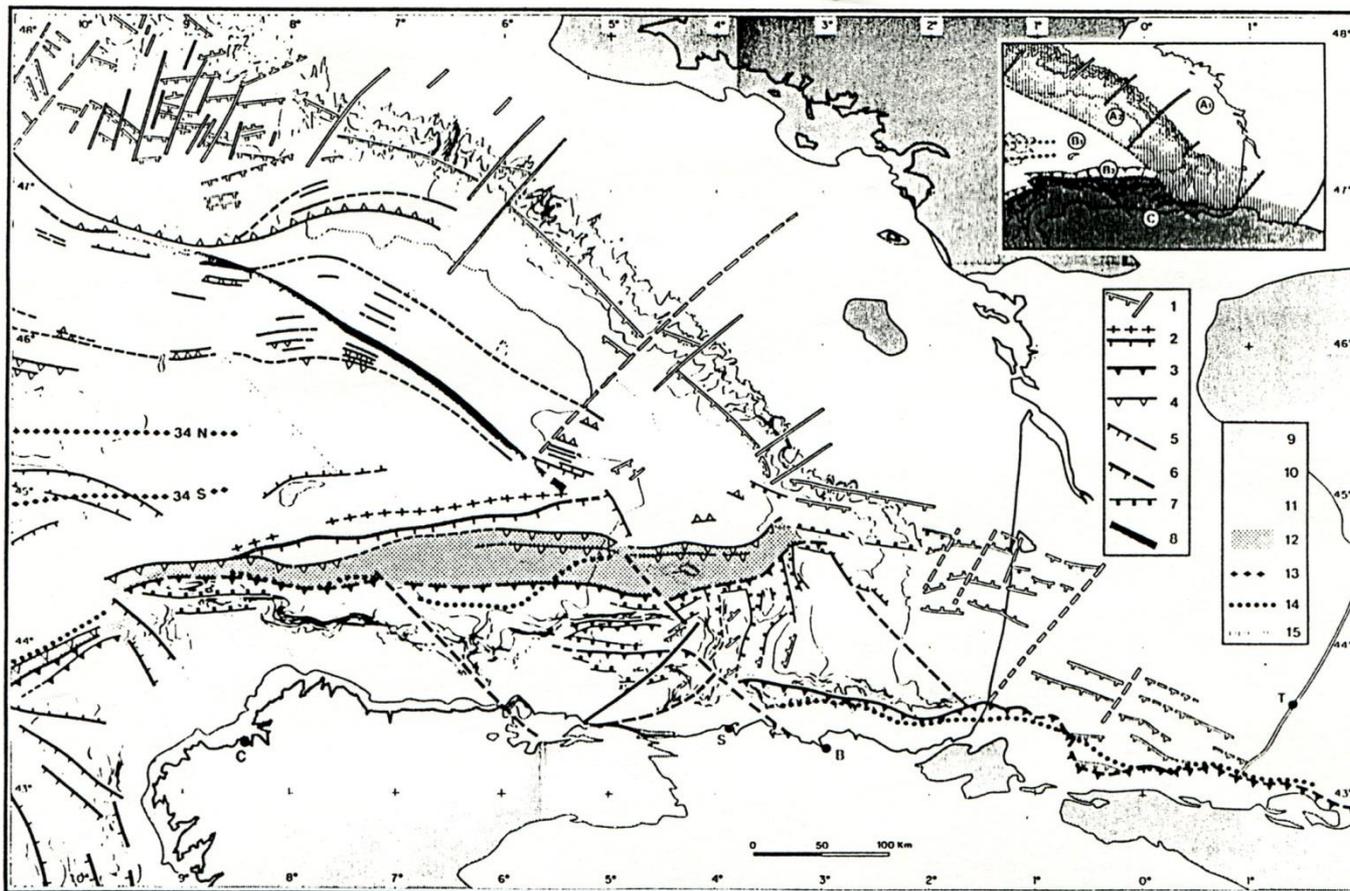
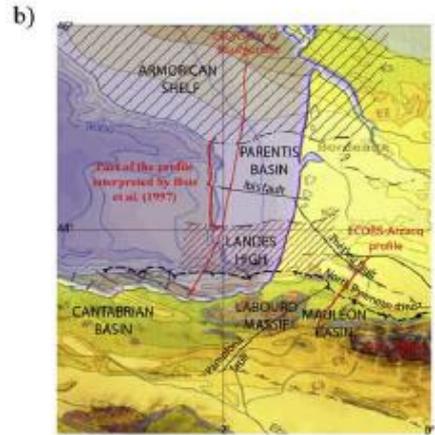
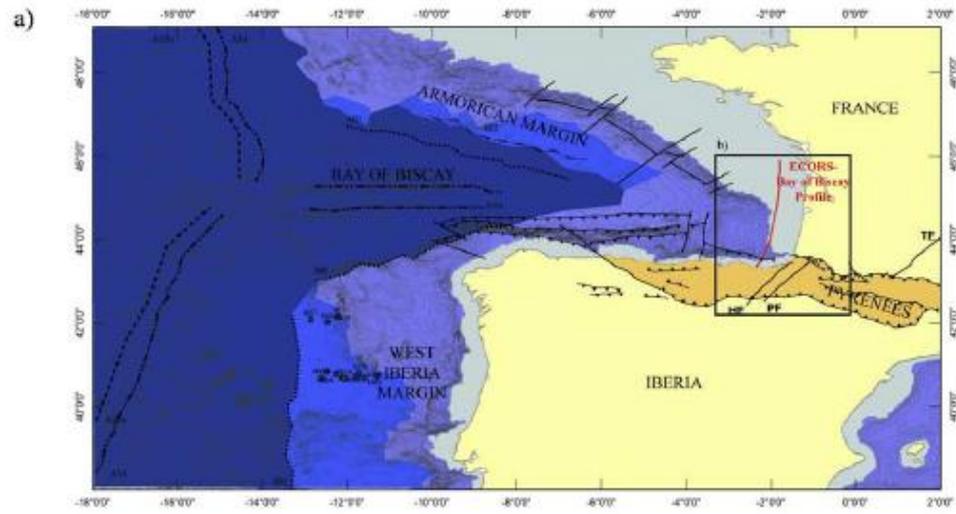


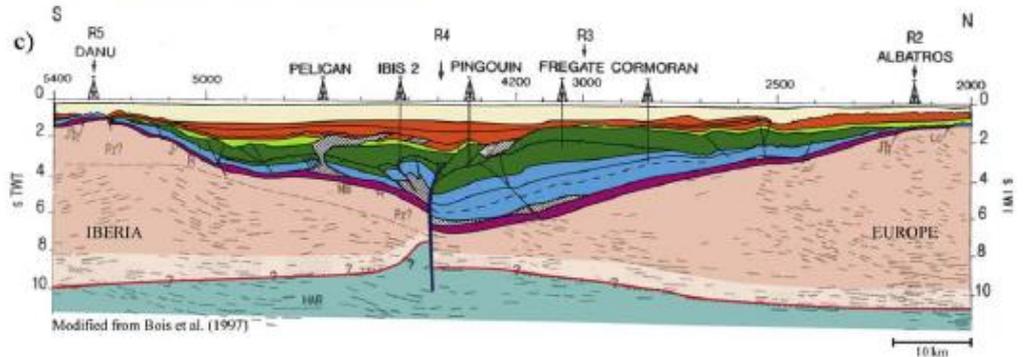
Schéma structural du Golfe de Gascogne.

1. Failles normales et décrochantes (Fa, Fb, Fc, Fd) d'âge Jurassique et Crétacé inférieur (structures "syn-rift").
2. Ride Sud-Gascogne, d'âge Crétacé terminal.
3. Chevauchements paléogènes.
4. Front du prisme d'accrétion tectonique (au Nord de la Galice et des Asturies) et failles inverses paléogènes.
5. Failles normales et décrochements paléogènes.
6. Failles et décrochements paléogènes et/ou néogènes.
7. Failles tardives, fini-Oligocène ou néogènes
8. Limite probable entre la croûte océanique (au Sud-Ouest) et la croûte continentale amincie (au Nord-Est). (Cette limite est confondue avec la ride Nord-Gascogne).
9. Zones d'affleurement du socle anté-mésozoïque.
10. Bassin mésozoïque sud-armoricain.
11. Croûte océanique, d'âge Aptien-Sénonien.
12. Prisme d'accrétion tectonique paléogène.
13. Anomalies magnétiques 34.
14. Anomalies gravimétriques négatives.
15. Failles transformantes probables (Ft) d'âge Crétacé supérieur.



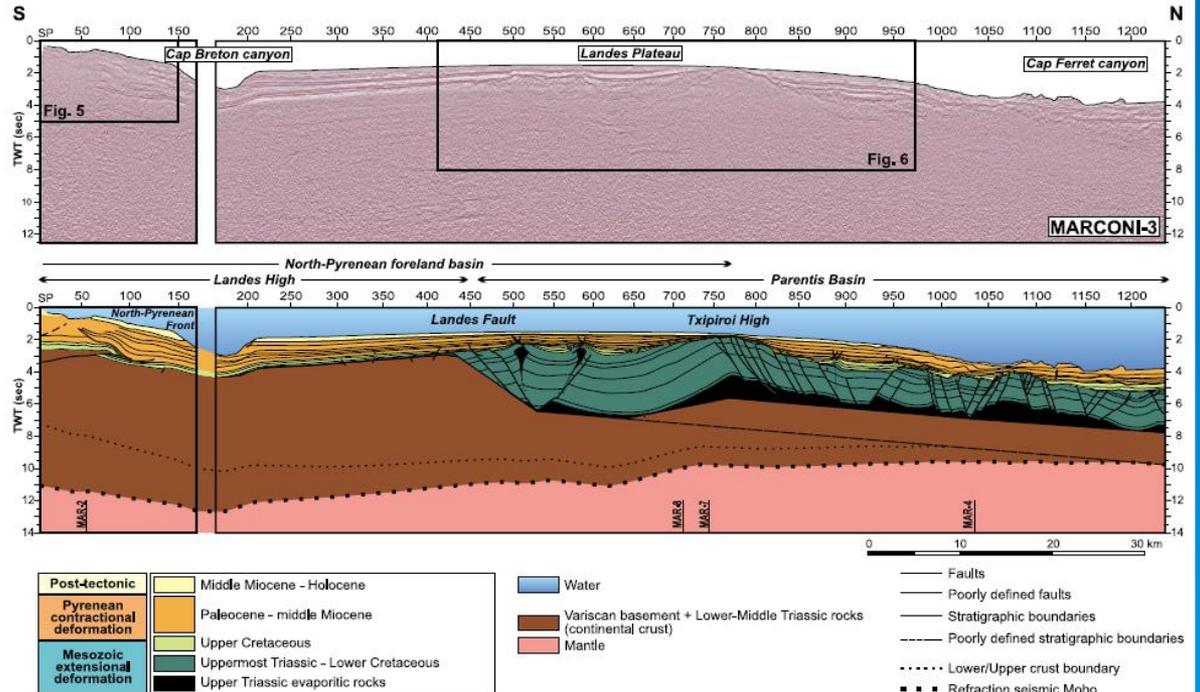
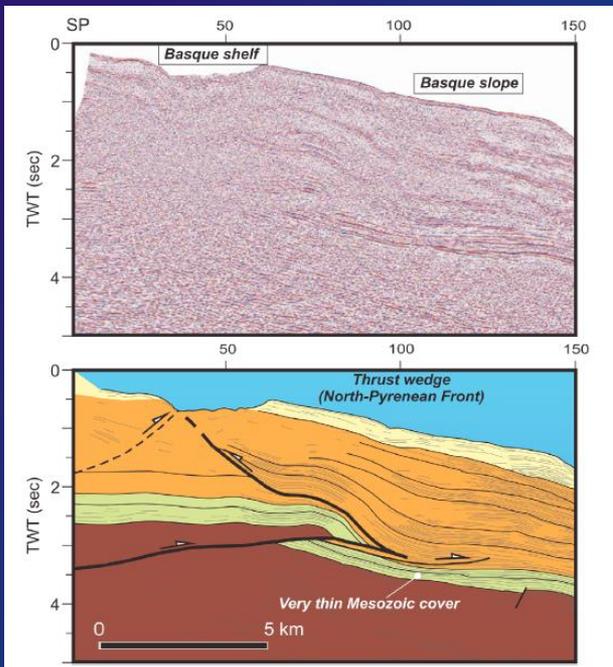
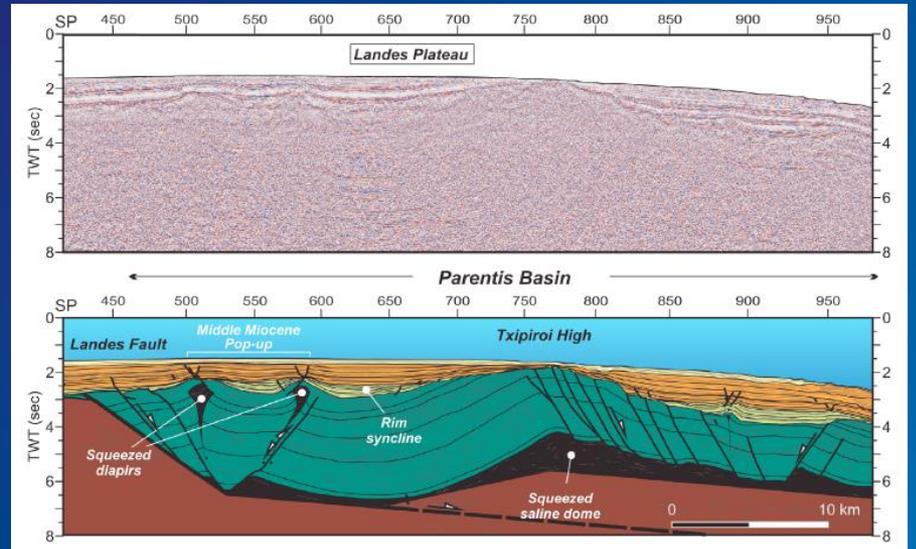
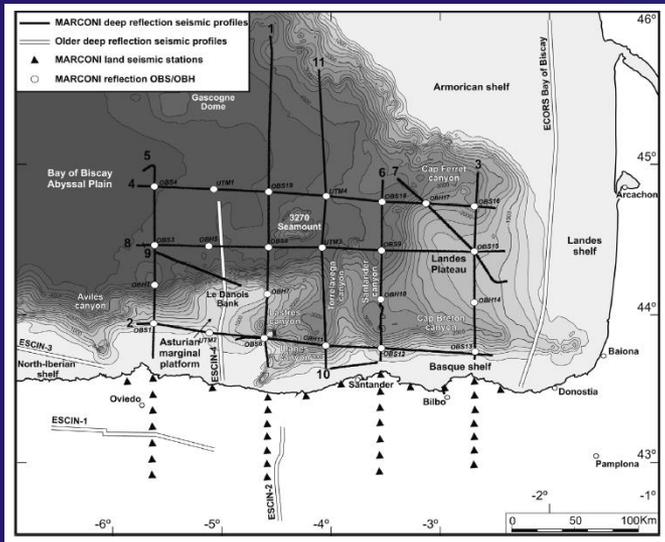
- Legend of the map :
- Continent
 - Anormal thick crust
 - Normal thick crust
 - Thin crust
 - Ocean continent transition
 - Oceanic domain
 - Thrust fault
 - Transfer fault
 - Magnetic Anomaly A33a
 - Magnetic Anomaly A34
 - Magnetic Anomaly M0
 - Magnetic Anomaly M3
 - IODP wells

- Legend of the Parentis cross-section :
- Cenozoic
 - Upper Cretaceous
 - Middle Cretaceous
 - Jurassic-Lower Cretaceous
 - Triassic
 - Salt
 - Upper crust
 - Lower crust
 - Mantle
 - Moho
 - Strike-slip faults



(Jammes et al., 2009)

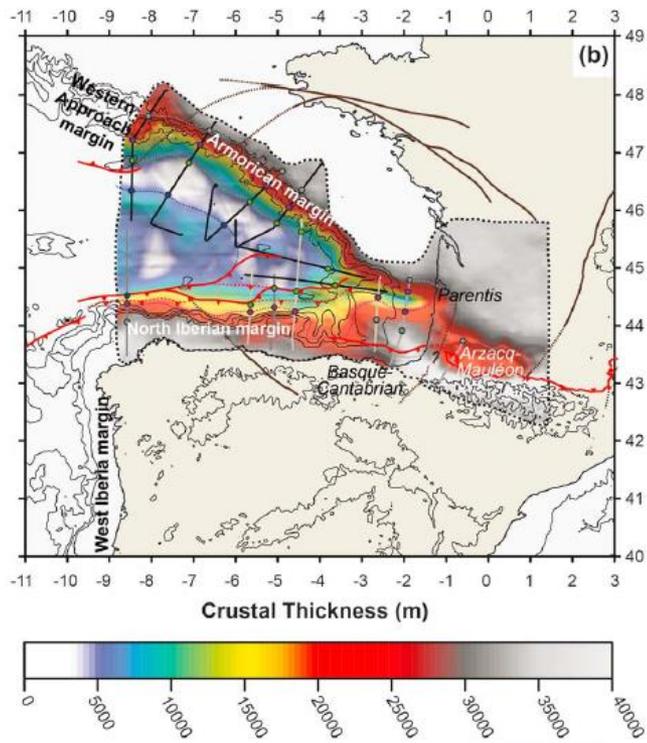
Modified from Bois et al. (1997)



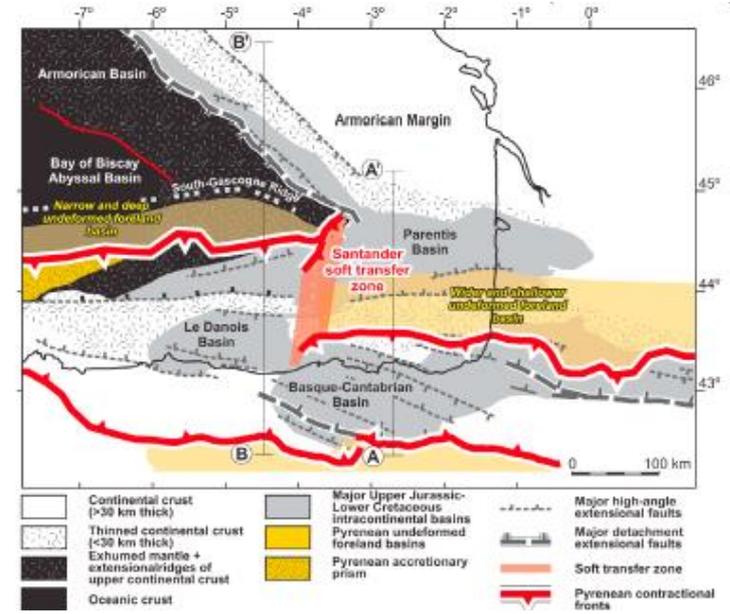
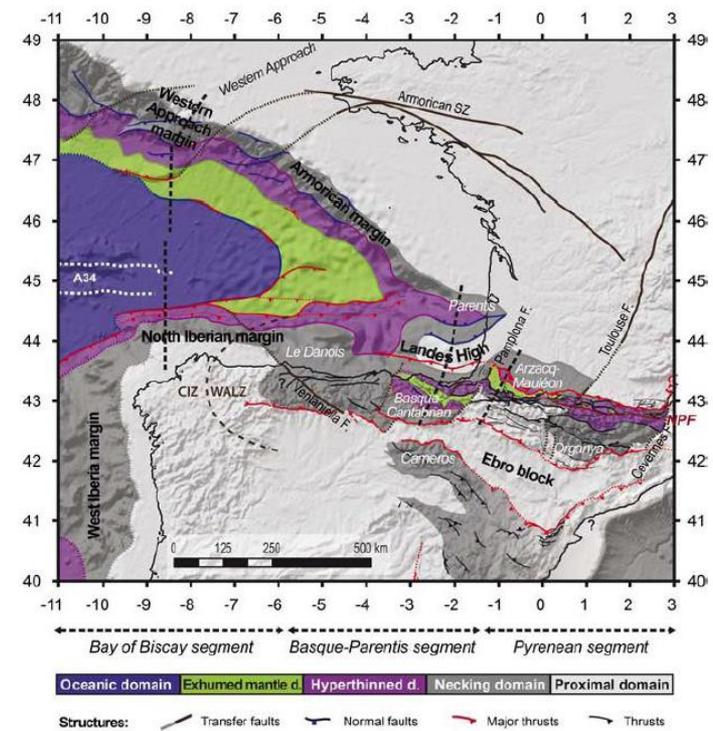
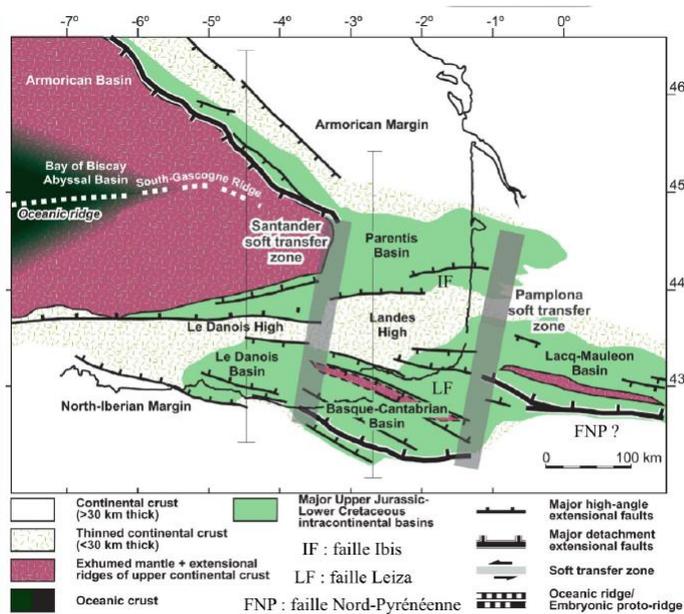
(Roca et al., 2011)

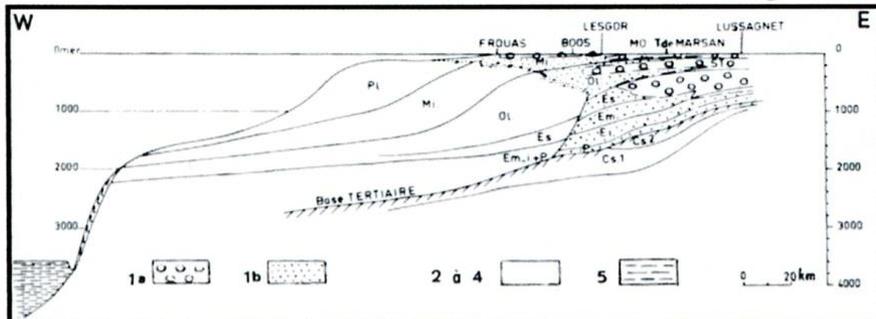
Figure 4. Unmigrated MARCONI-3 deep seismic profile with line drawing interpretation showing the main geological features of the upper crust in the Basque-Parentis Domain (modified from Ferrer et al. [2008]). Refraction seismic Moho boundary is compiled from Muñoz [2002], Pedreira [2004] and Ruiz [2007]. See Figure 2 for location.

(Tugend et al., 2014)

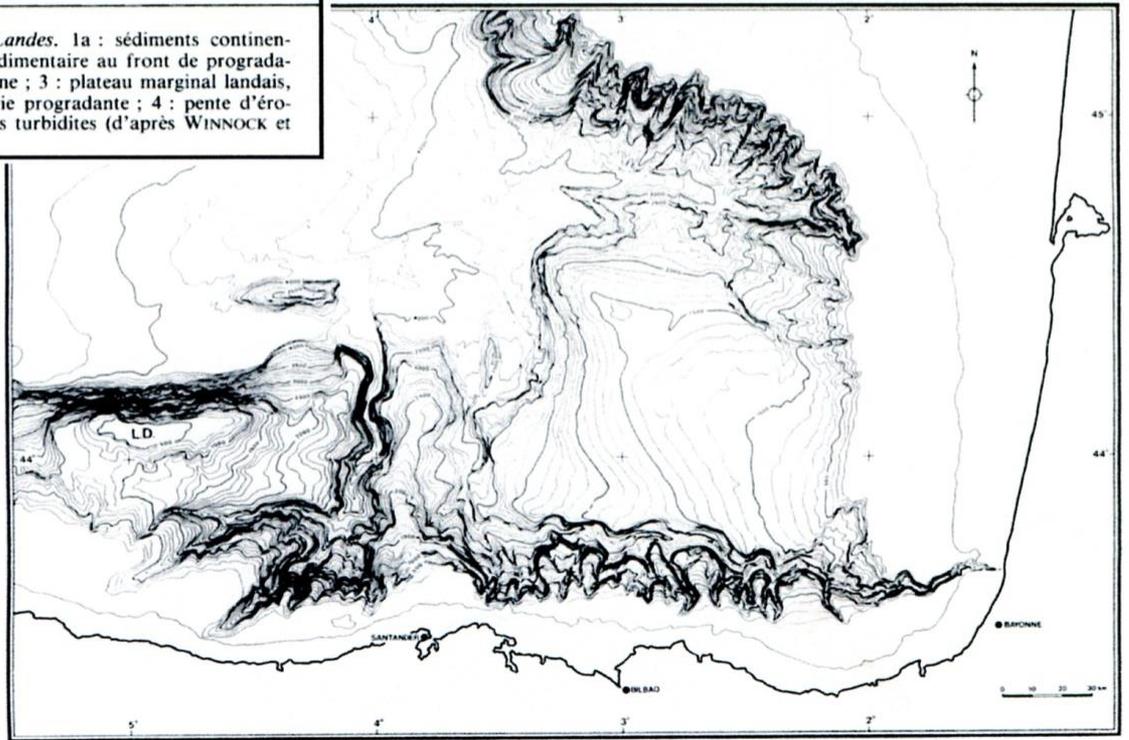


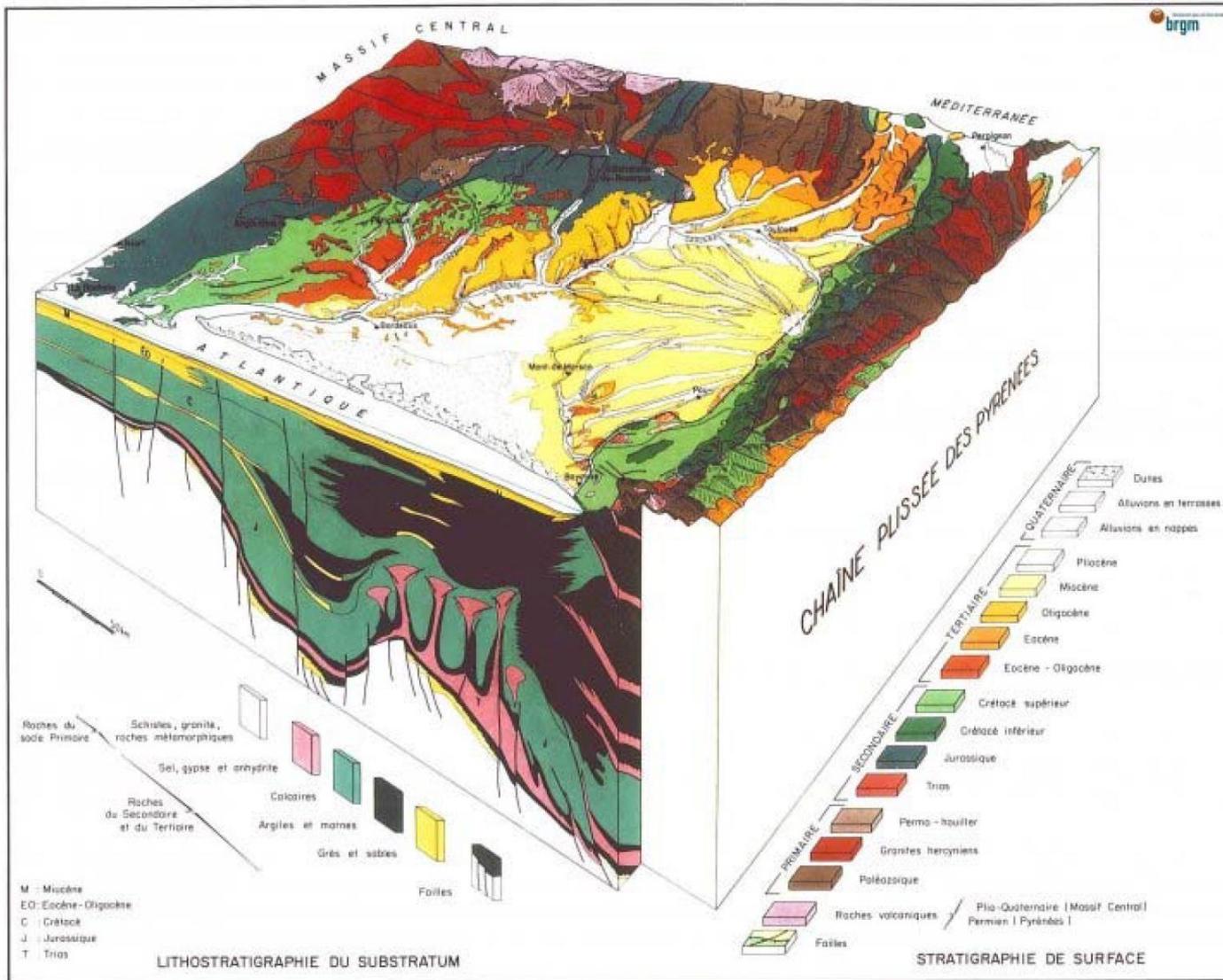
(Roca et al., 2011)





La progradation oligo-miocène à l'ouest des Landes. 1a : sédiments continentaux ; 1b : sédiments marins peu profonds ; 2 : pente sédimentaire au front de progradation (2 à 3°) qui s'est déplacée vers l'ouest depuis l'Éocène ; 3 : plateau marginal landais, correspondant aux sédiments de pied de pente de la série progradante ; 4 : pente d'érosion (10° environ) ; 5 : plaine abyssale, lieu de dépôt des turbidites (d'après WINNOCK et al., 1973).



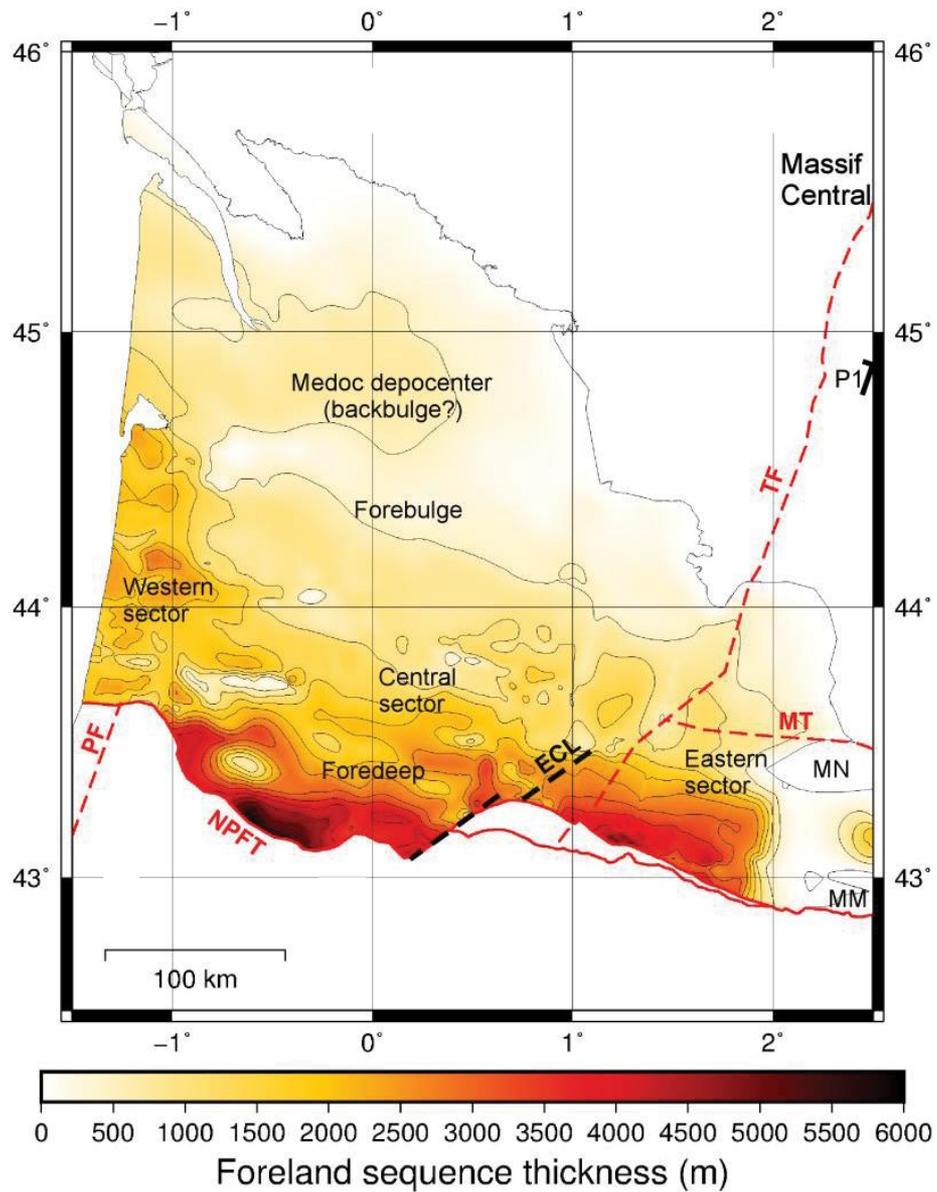


Vue en 3D du bassin d'Aquitaine (source : BRGM, 1986)

Domaine septentrional de plate-forme, relativement stable et faiblement subsident / domaine méridional très fortement subsident.

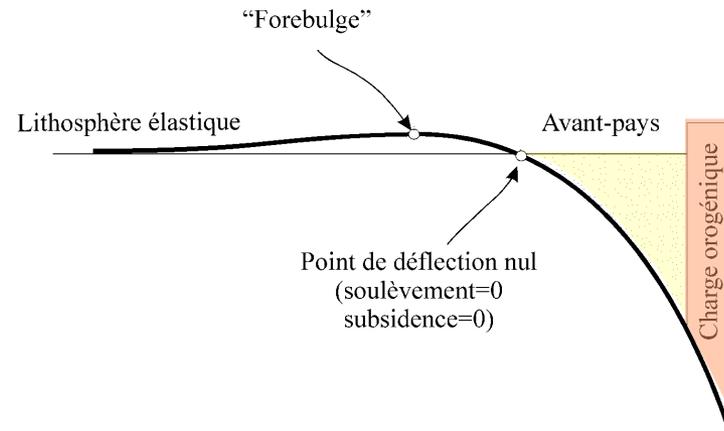
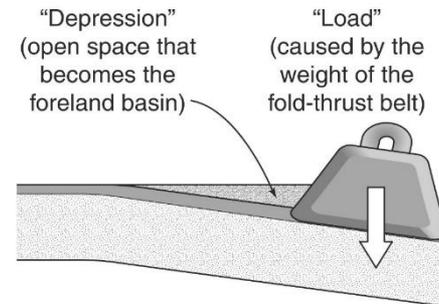
Extension et subsidence pendant une bonne partie du Mésozoïque + reprise flexurale de la partie sud du Crétacé sup au Miocène.

Le bassin enregistre depuis le Trias les mouvements relatifs des plaques Ibérie et Eurasie et son évolution est fortement contrôlée par les structures héritées de l'histoire hercynienne.



(Syn-orogénique : Campanien – Miocène moyen)

(Angrand et al., 2018)



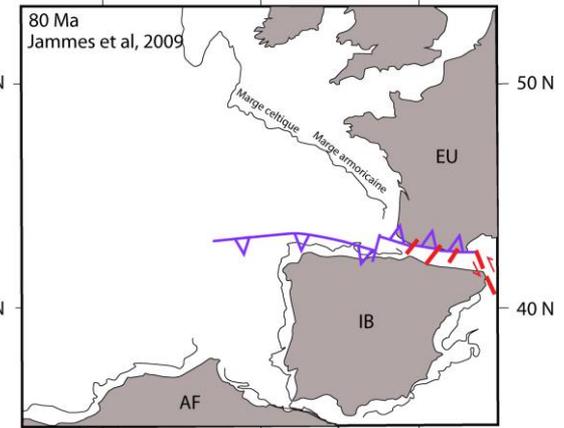
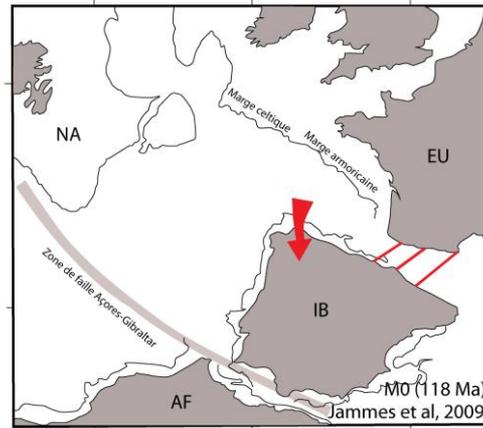
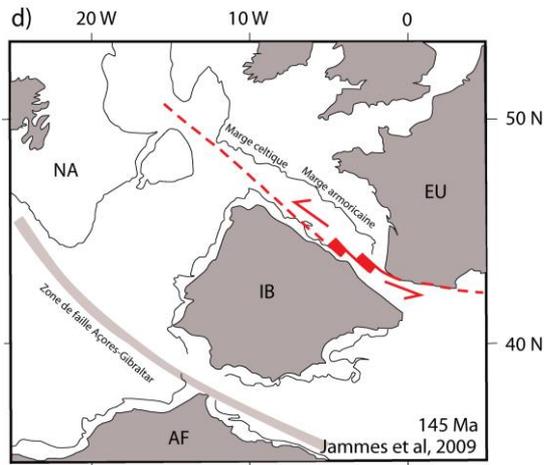
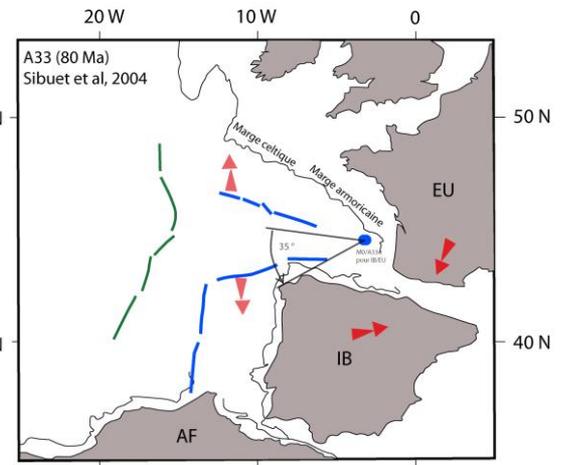
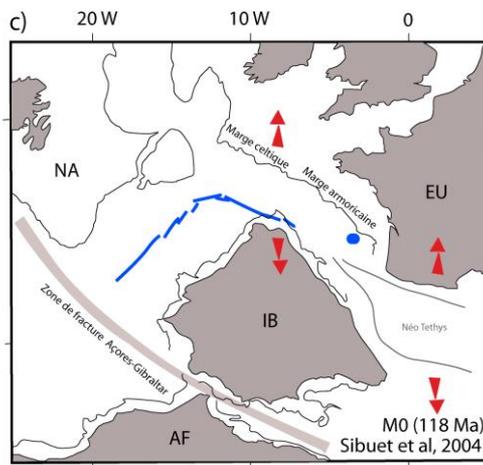
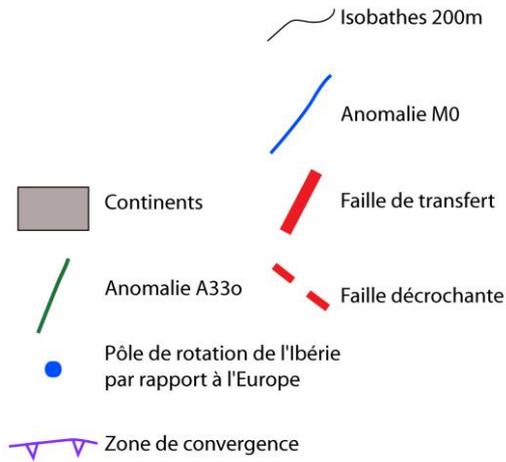
subsidence flexurale

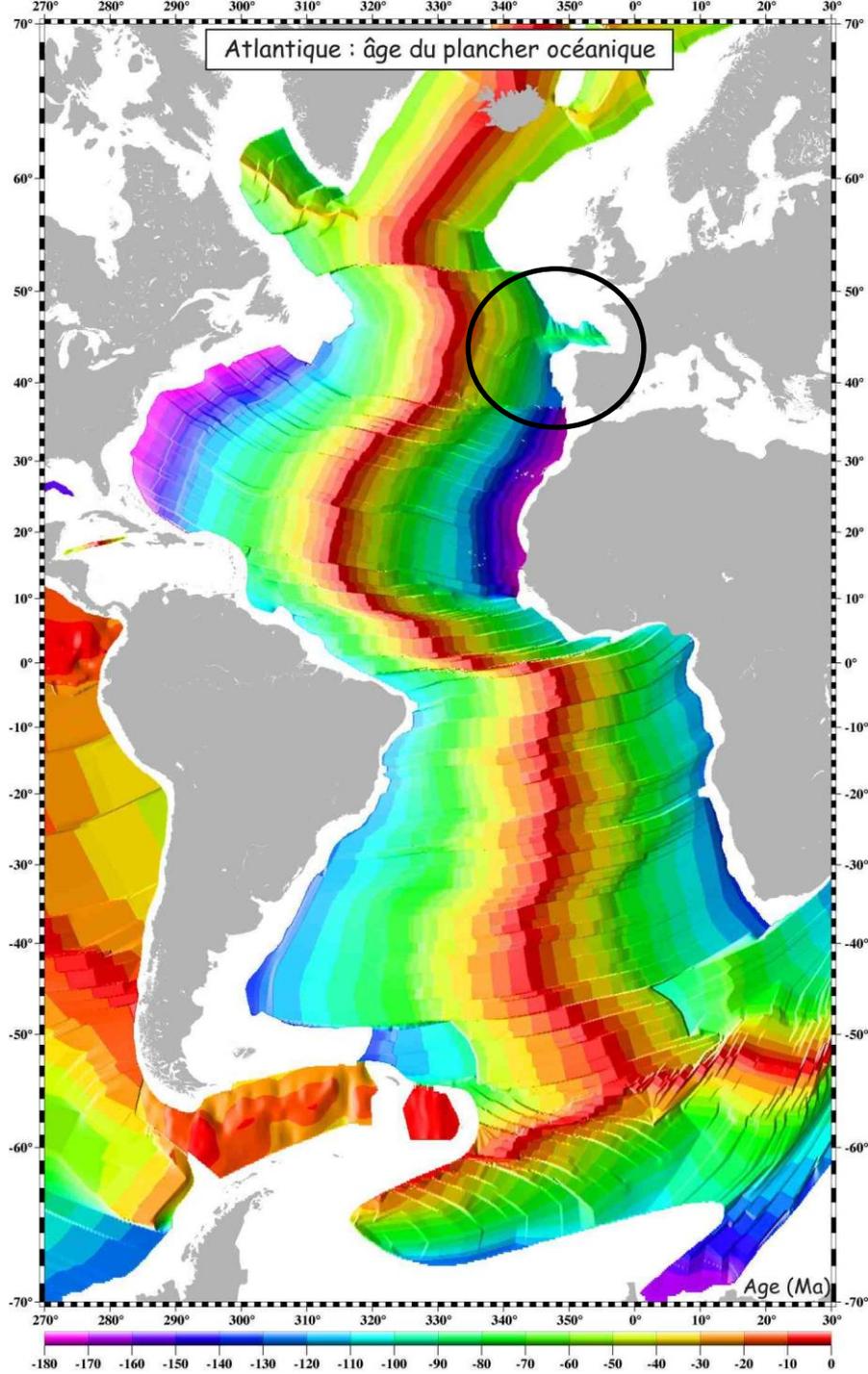
+

subsidence thermique post-rift

I. Les marges mésozoïques atlantiques

Histoire, lien avec l'ouverture de l'Atlantique
et du golfe de Gascogne
et avec le domaine pyrénéen



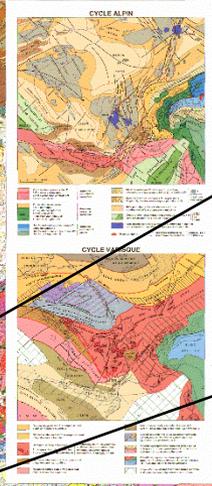
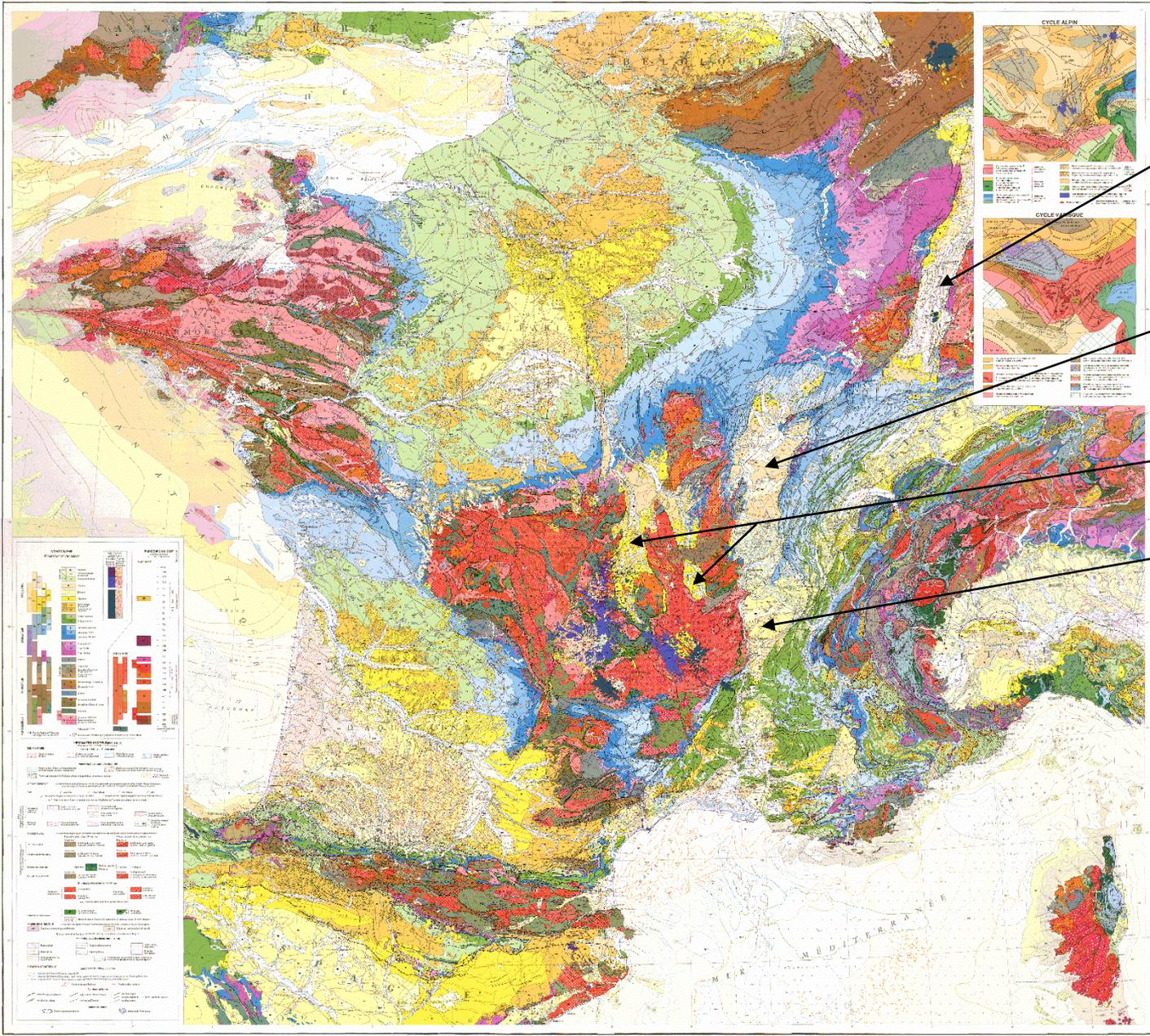


II. Les fossés oligocènes du rift ouest-européen

CARTE GÉOLOGIQUE DE LA FRANCE

à l'échelle du millionième
D'édifice

À l'échelle de 1:1 000 000, la carte géologique de la France est divisée en feuilles de 100 km de côté. Cette carte est la somme de toutes les feuilles de la série géologique de la France.



Fossé du Rhin

Fossé de la Bresse

Fossés des Limagnes

Bassin de Valence

+

Fossé d'Alès et
fossés languedociens
bassins de Manosque,
d'Aix et
de Marseille

ANNEXE I - LES UNITÉS GÉOLOGIQUES DE LA FRANCE

ANNEXE II - LES UNITÉS GÉOLOGIQUES DE LA FRANCE

ANNEXE III - LES UNITÉS GÉOLOGIQUES DE LA FRANCE

ANNEXE IV - LES UNITÉS GÉOLOGIQUES DE LA FRANCE

ANNEXE V - LES UNITÉS GÉOLOGIQUES DE LA FRANCE

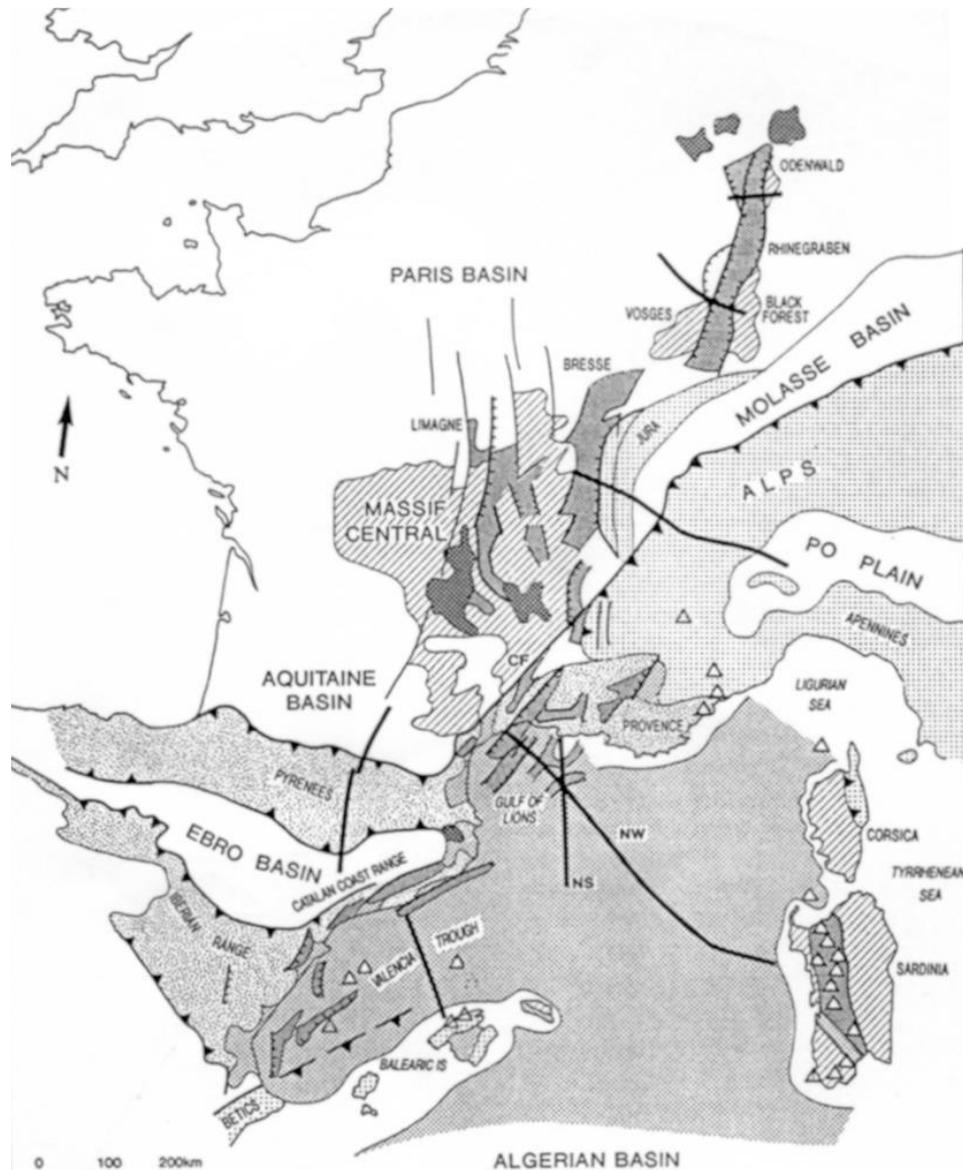
ANNEXE VI - LES UNITÉS GÉOLOGIQUES DE LA FRANCE

ANNEXE VII - LES UNITÉS GÉOLOGIQUES DE LA FRANCE

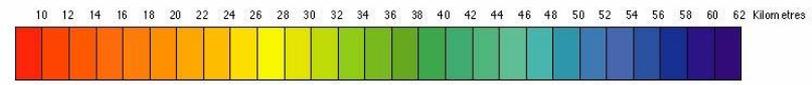
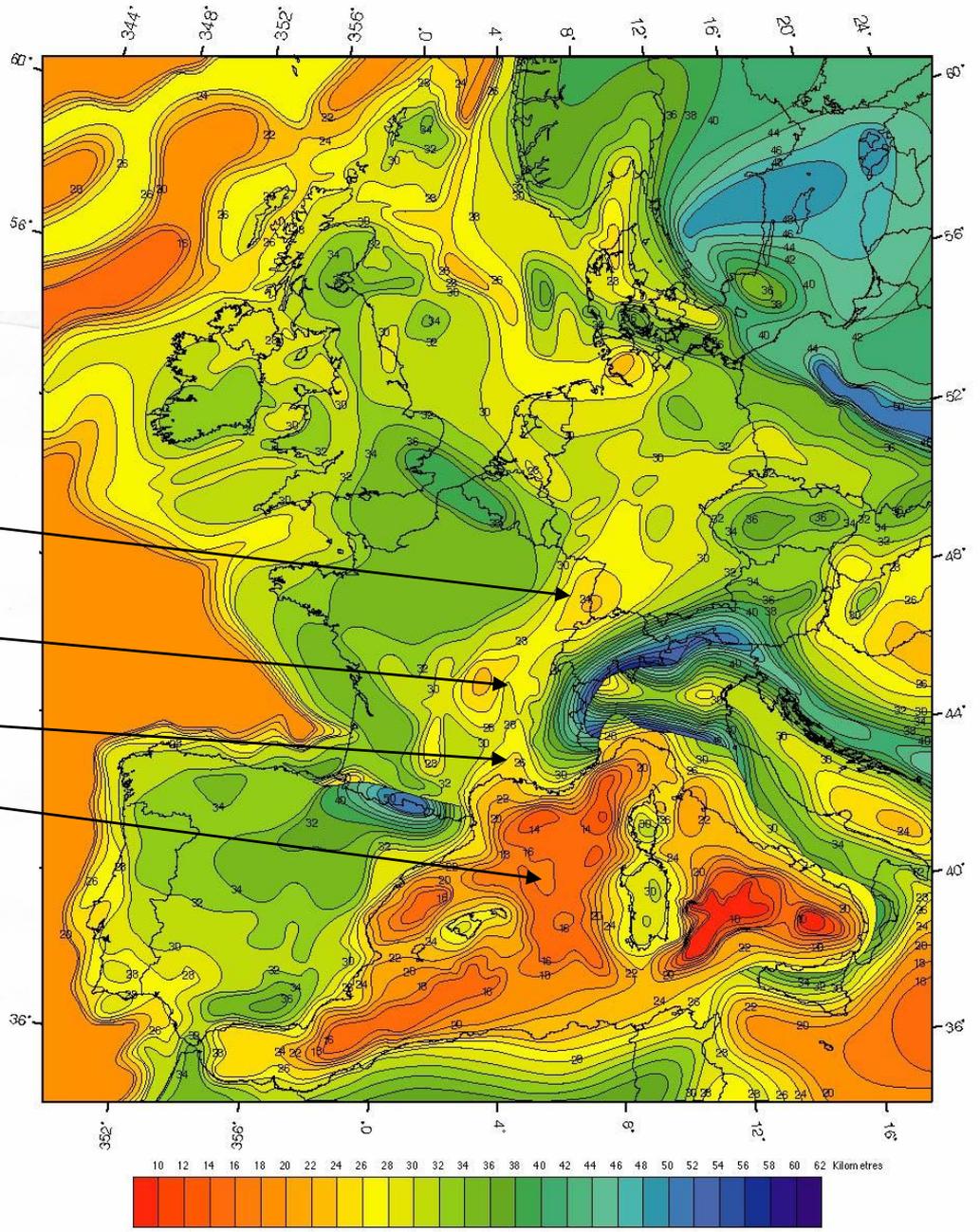
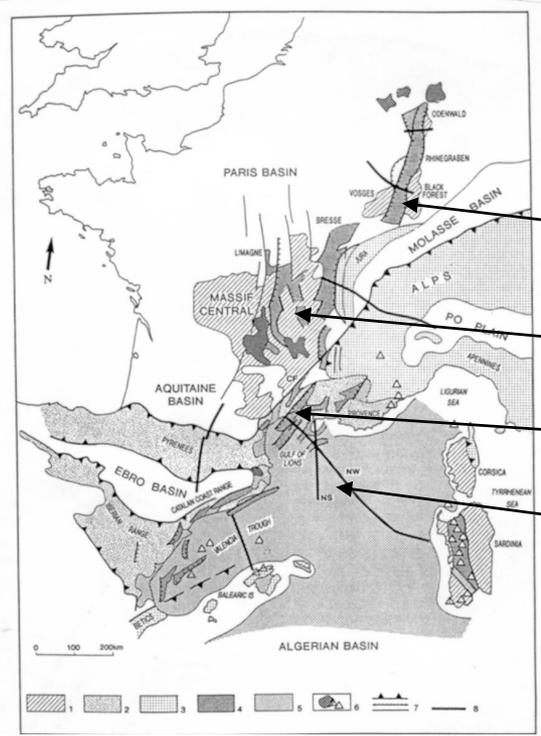
ANNEXE VIII - LES UNITÉS GÉOLOGIQUES DE LA FRANCE

ANNEXE IX - LES UNITÉS GÉOLOGIQUES DE LA FRANCE

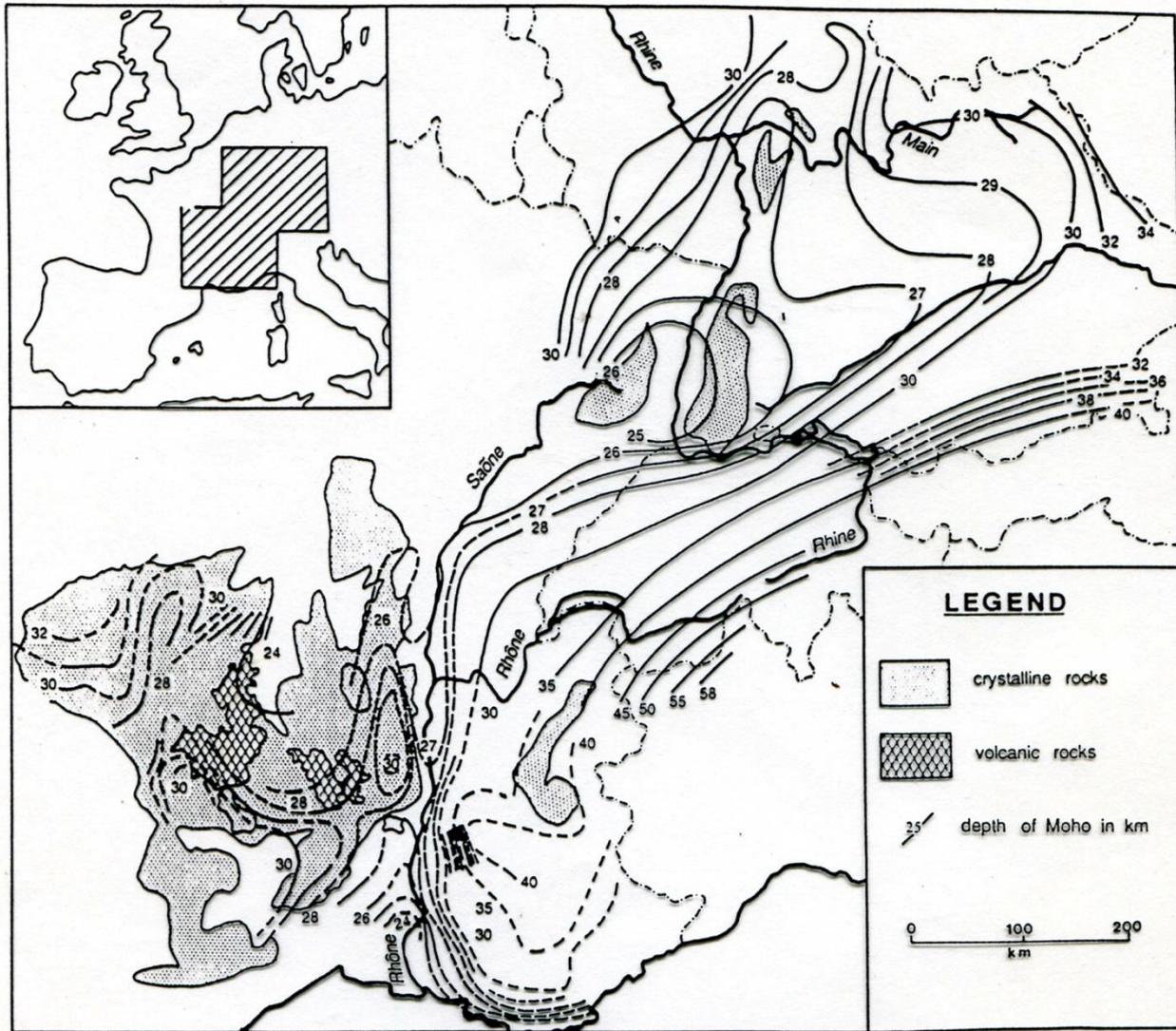
ANNEXE X - LES UNITÉS GÉOLOGIQUES DE LA FRANCE



Profondeur du Moho



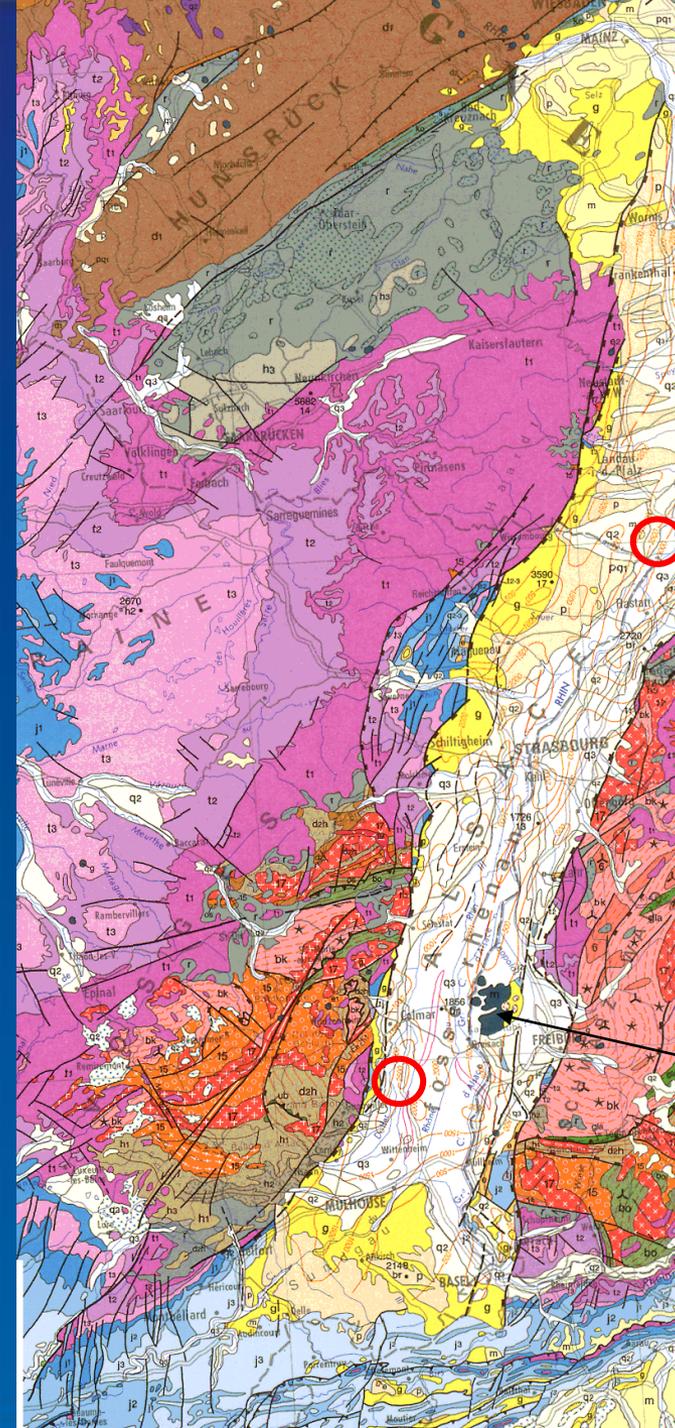
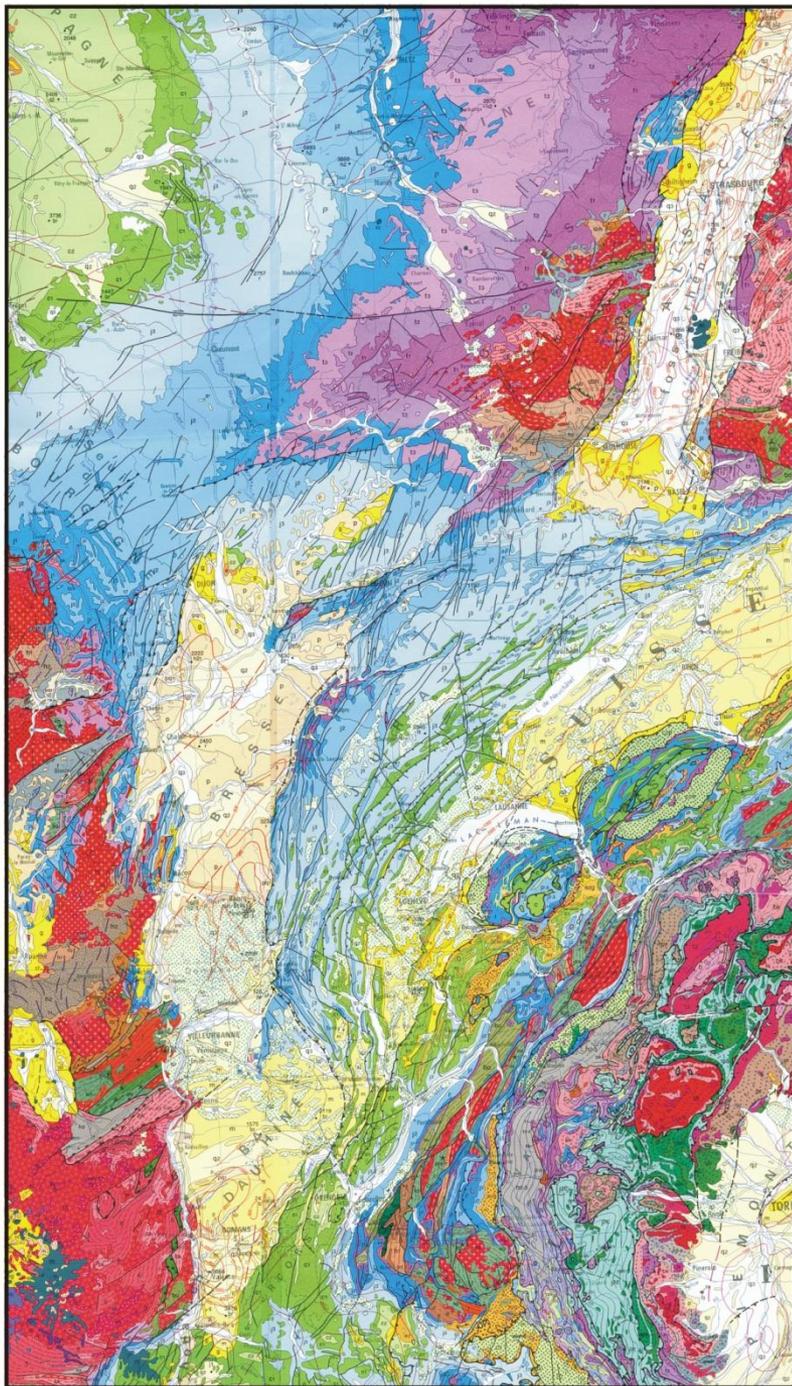
Projection: Lambert Azimuthal Equal Area, Centre: 04° 00' 48" 00", Region : W/E/N/S = 350°/28°/62°/34°, Ellipsoid: wgs-84



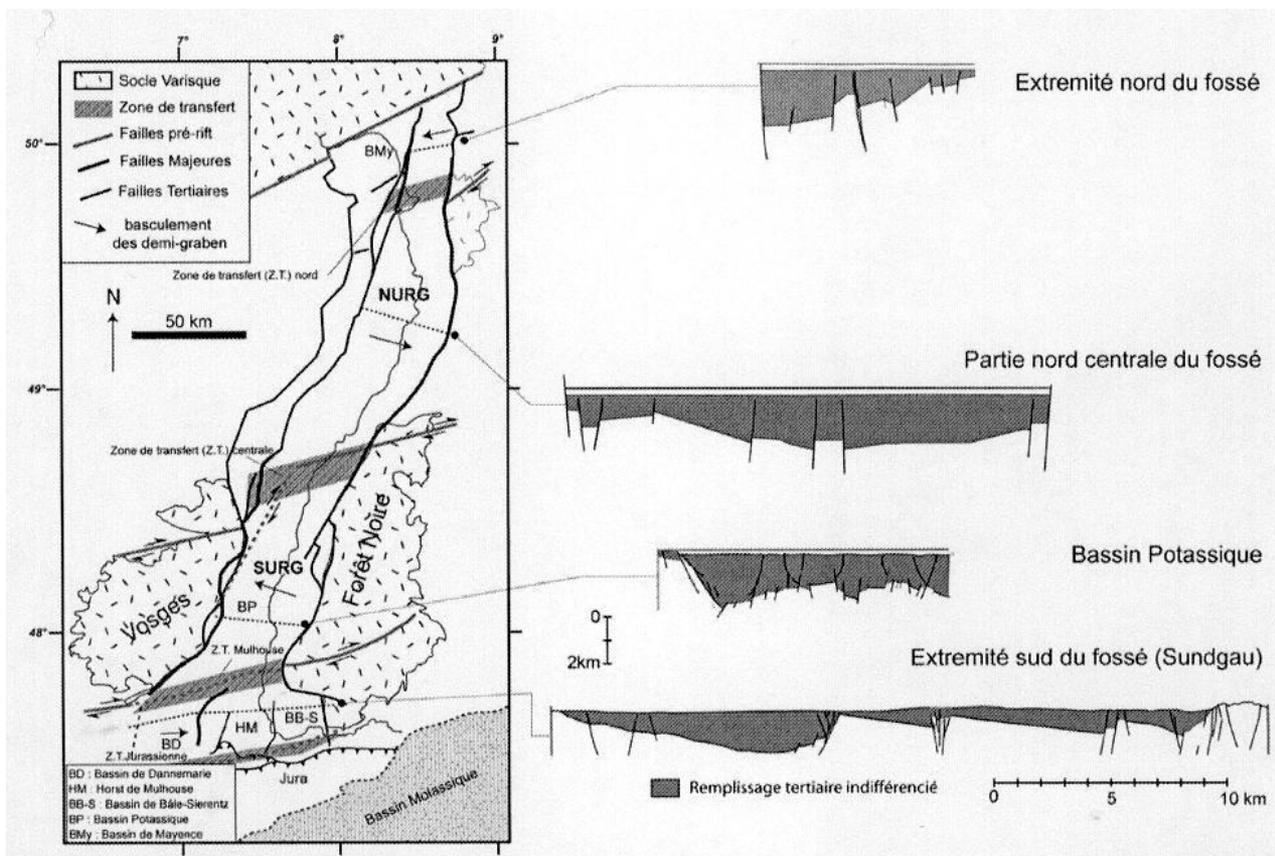
Contour map of the depth to the crust-mantle boundary (Moho) along the European Cenozoic rift system (ECRS) through southeastern France and western Germany. Compiled from Edel et al. (1975), Egloff (1979), Hirn (1976), Zeis (1988) and Zeis et al. (1990).

II. Les fossés oligocènes du Rift Ouest-européen

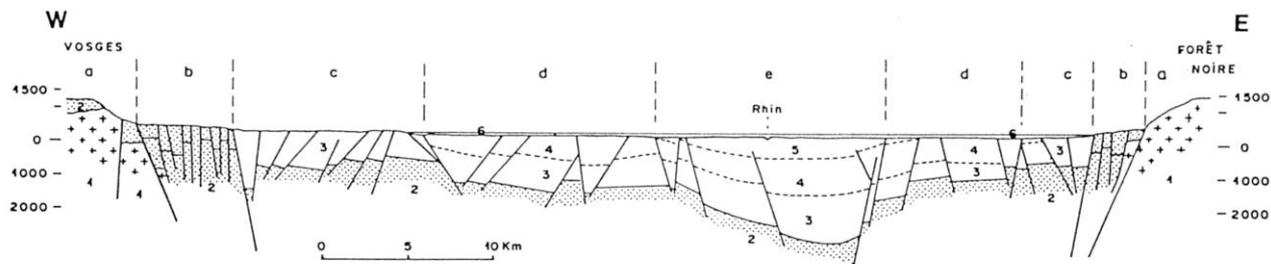
Le fossé rhénan



Volcan du
Kaiserstuhl



(Roussé, 2006)

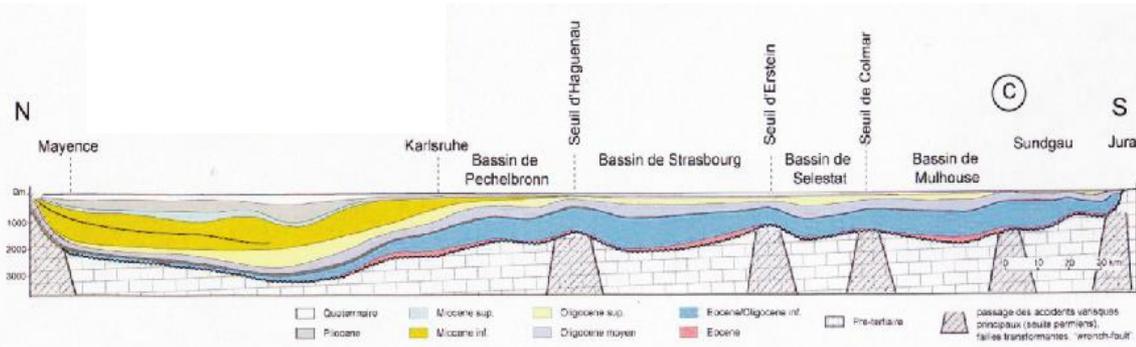
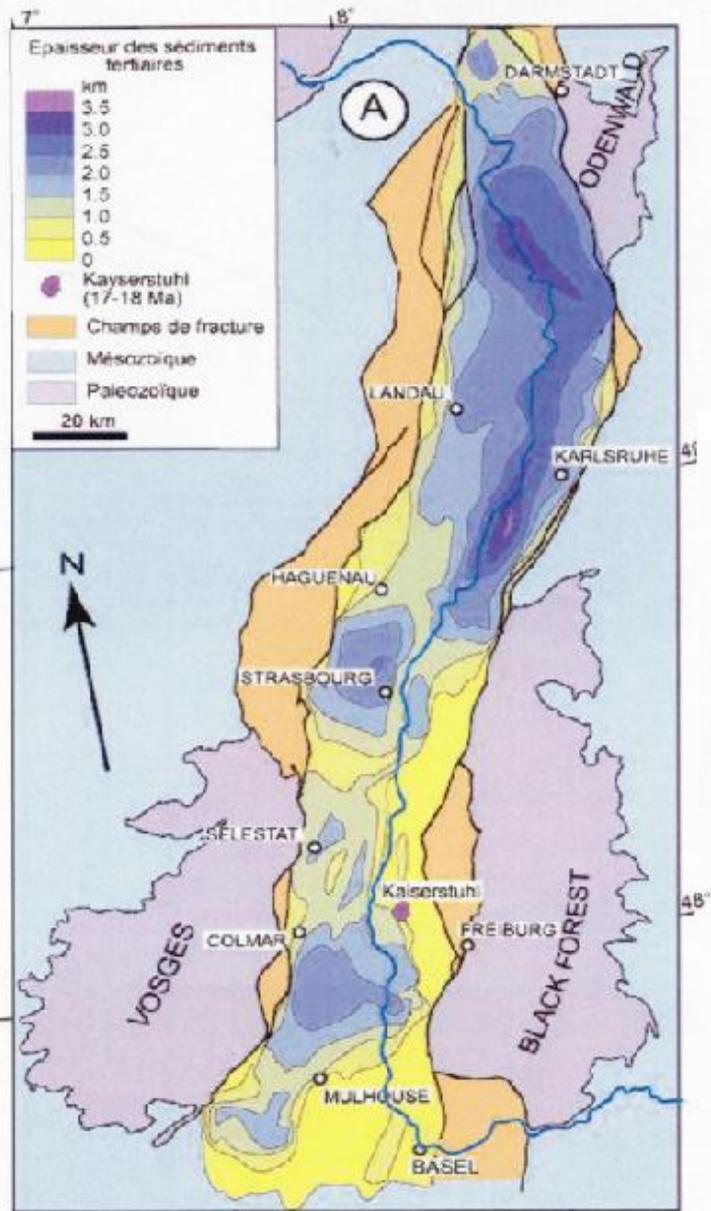


— Unités structurales et sédimentaires du fossé rhénan (Sittler, 1976).

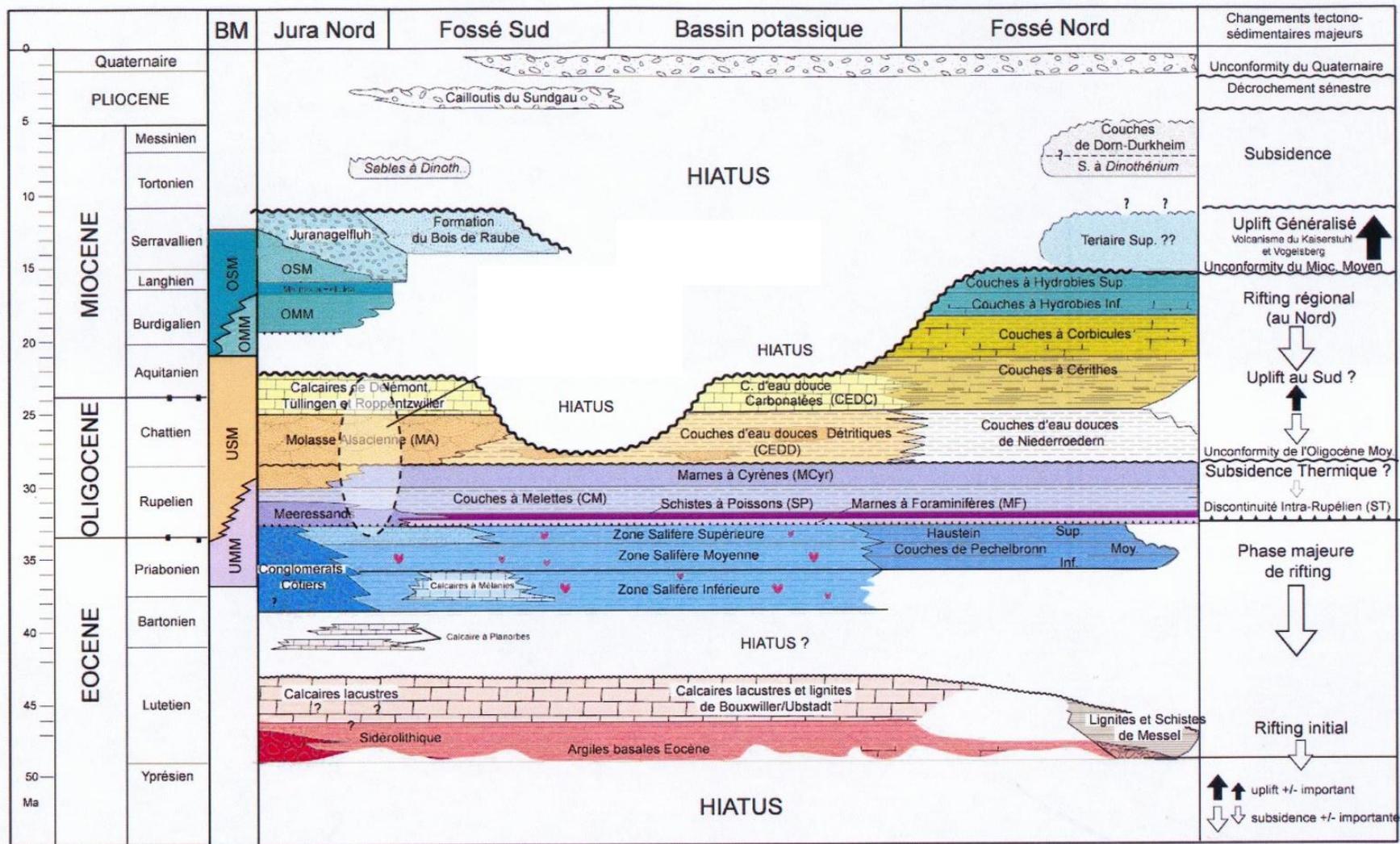
1 : Socle; 2 : Mésozoïque; 3 : Oligocène inférieur; 4 : Oligocène moyen; 5 : Oligocène supérieur; 6 : Plio-Quaternaire.

a : Zones de bordure du fossé : massifs anciens; b : Zones des champs de fractures; c-d : Zones de fossés; e : Zone centrale.

Coupe géologique transversale du fossé rhénan et subdivisions du rift, en accord avec les aspects tectoniques et les affleurements de l'Oligocène : zones marginale, moyenne et centrale du fossé.



(Roussé, 2006)



(Roussé, 2006)

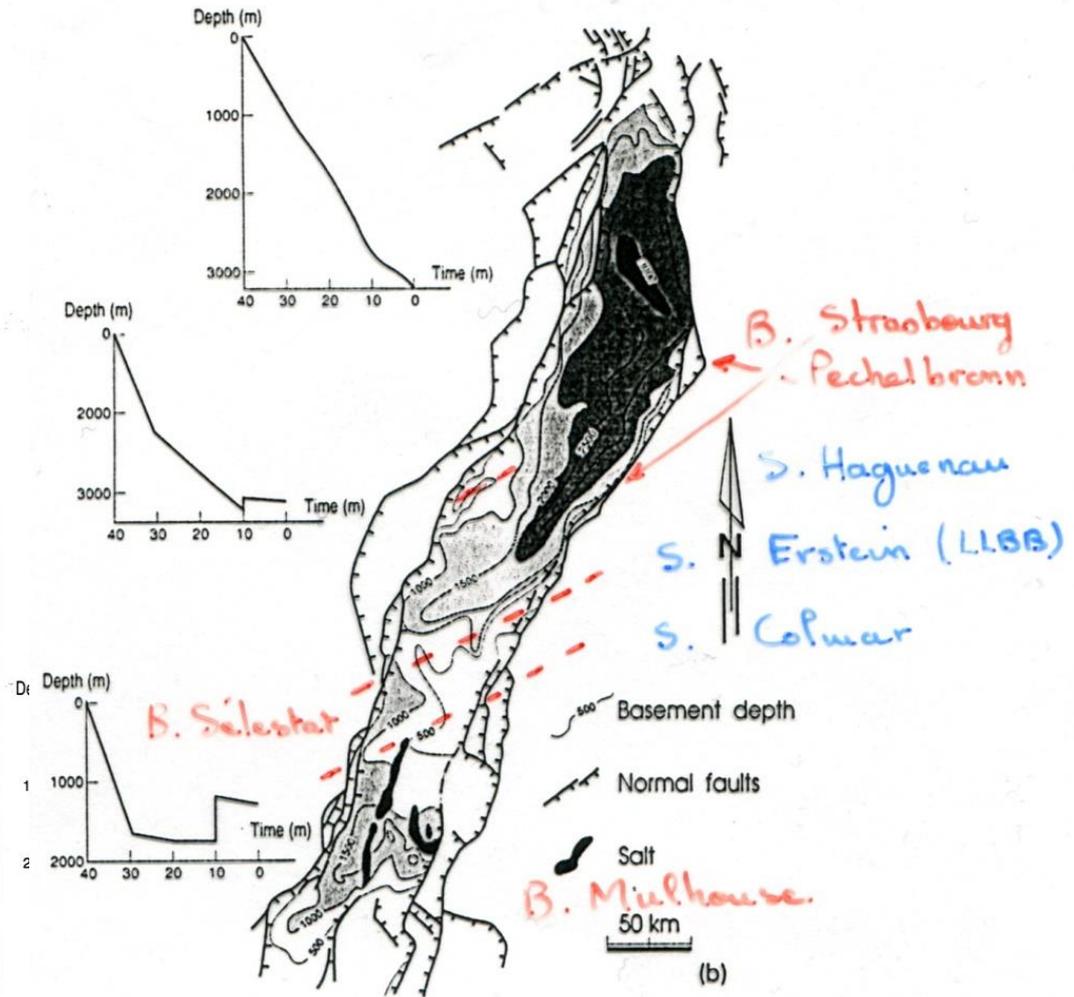
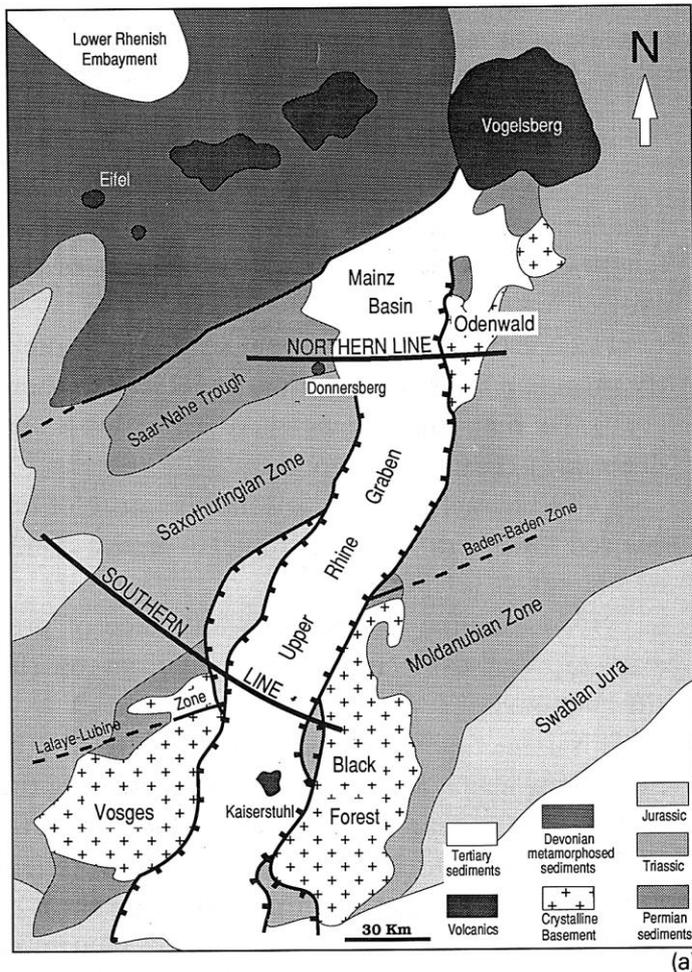
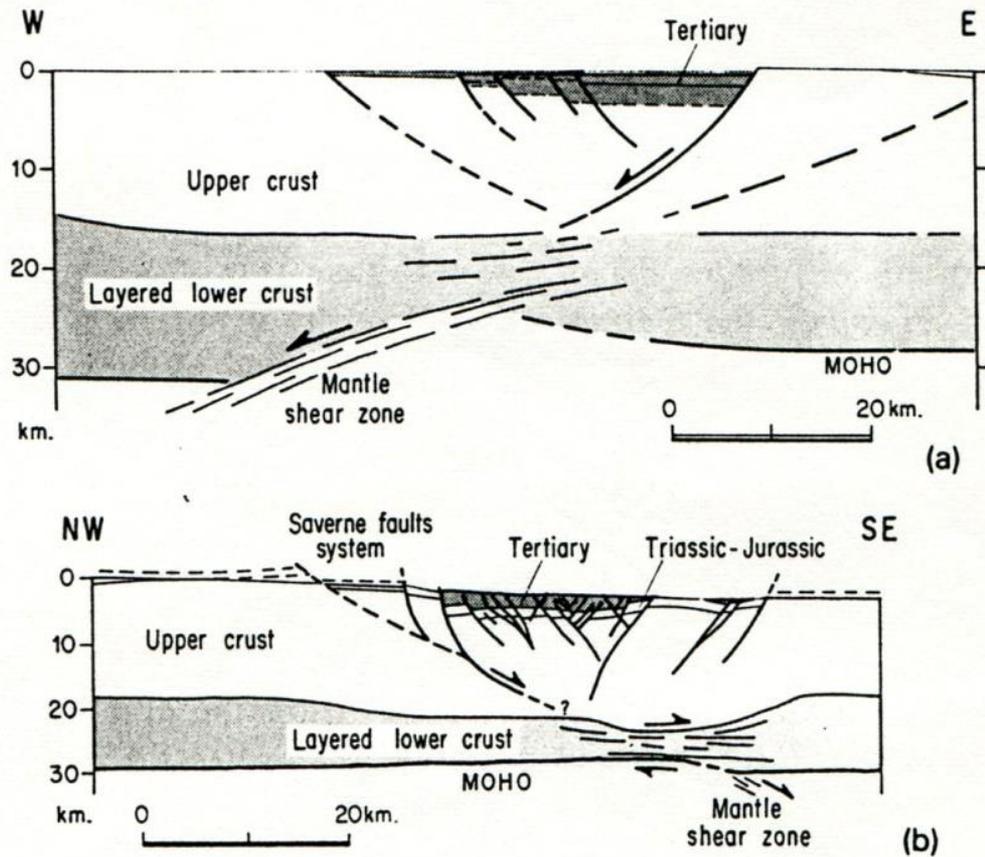
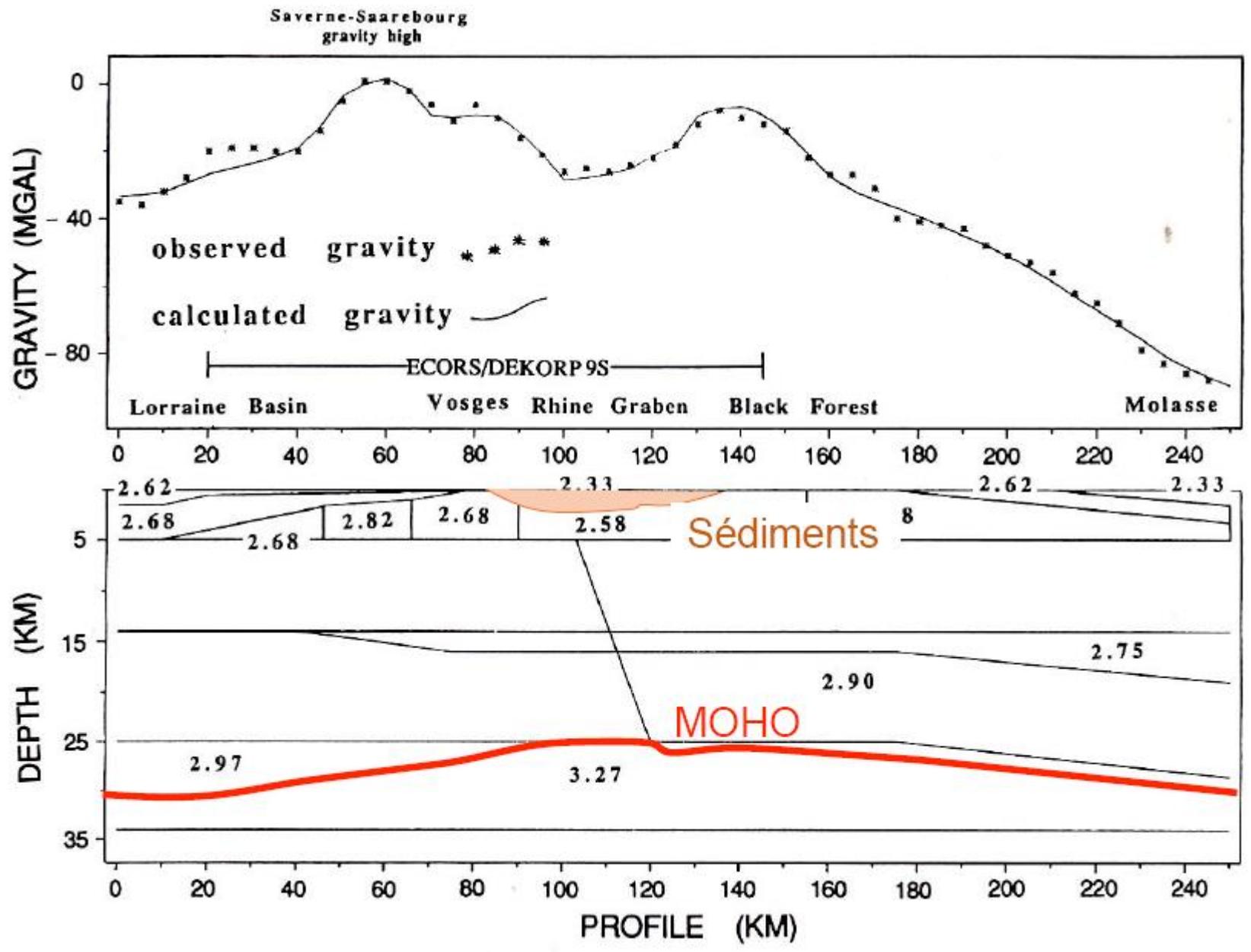
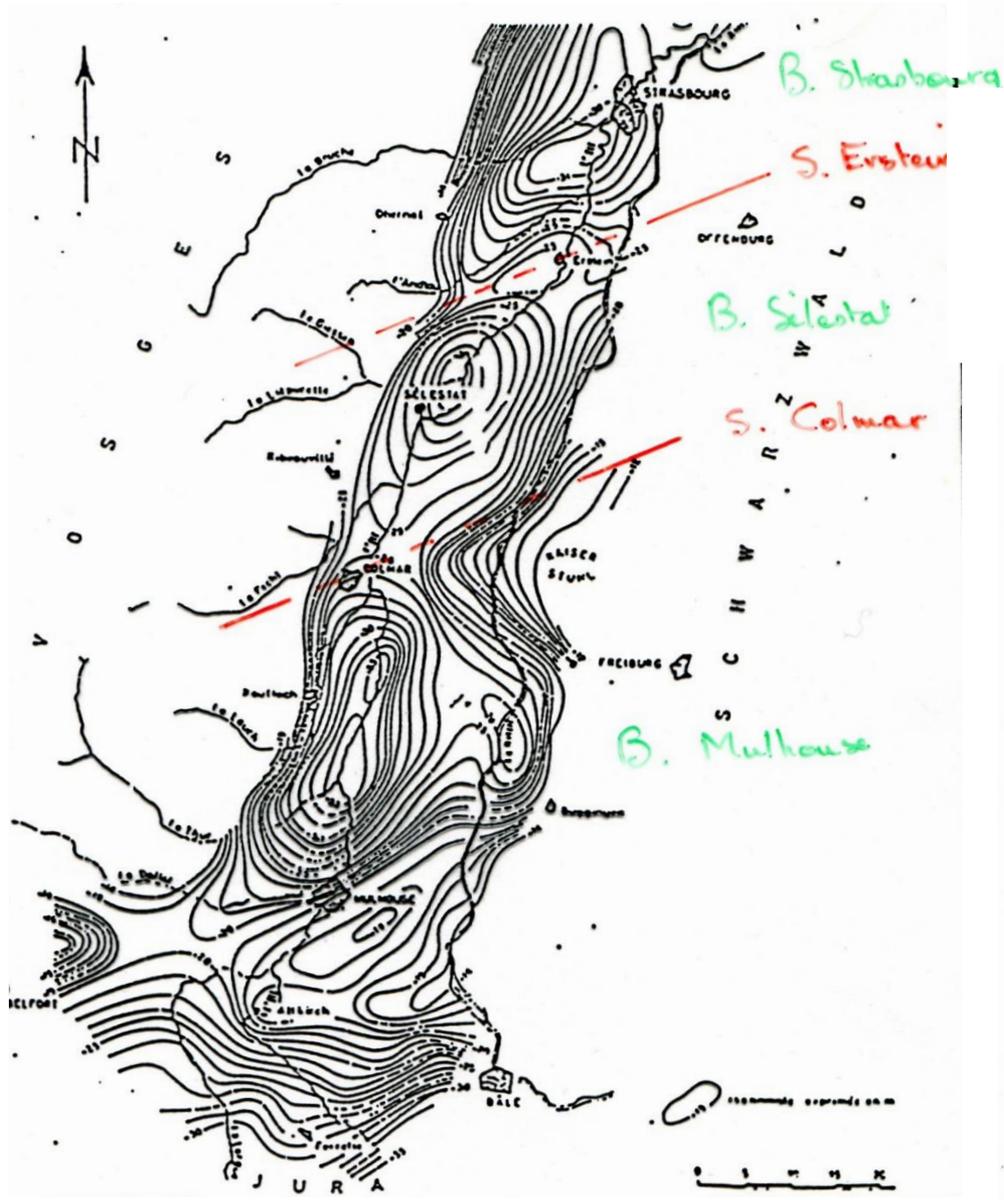


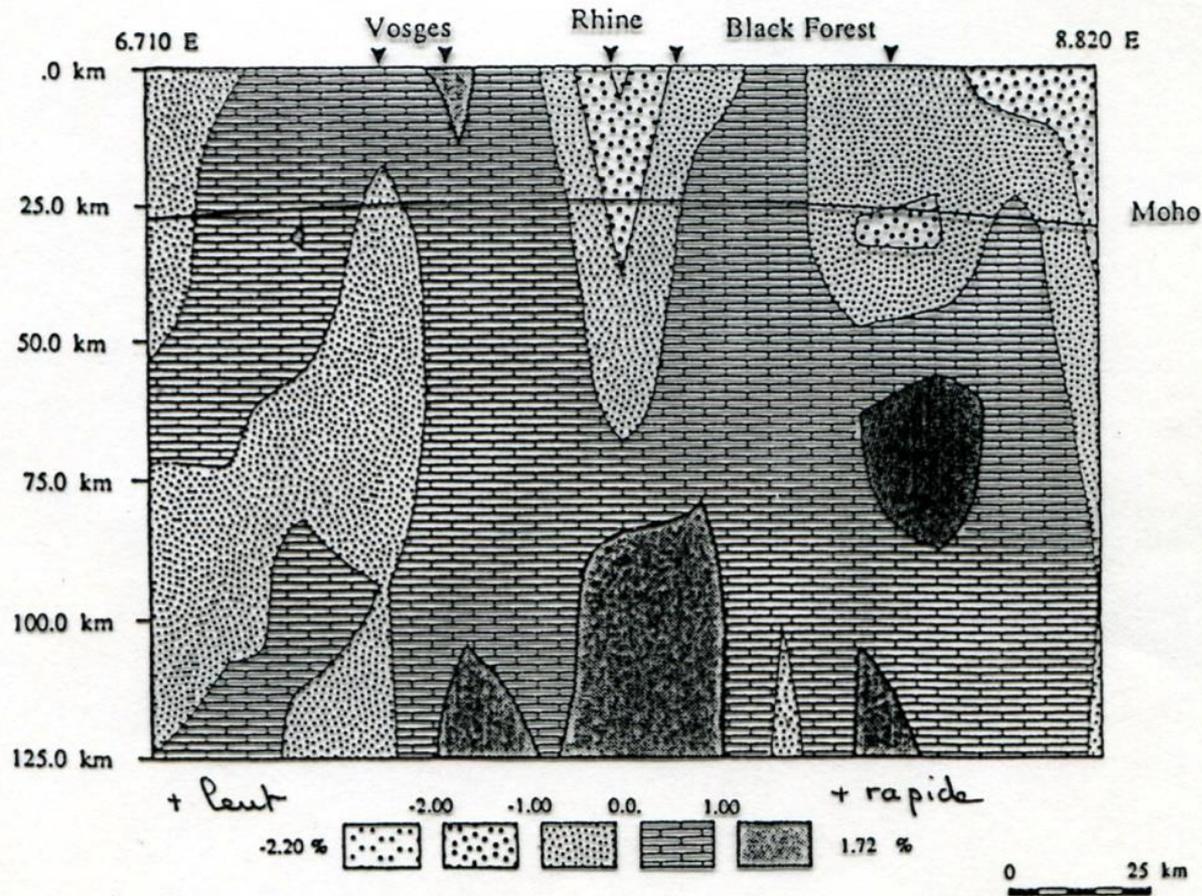
Fig. 1. (a) Simplified tectonic map of the Rhine Graben giving location of the ECORS-DEKORP lines. (b) Fault pattern and isopach map of Tertiary sedimentary fill of the Rhine Graben (after Doebel and Olbrecht, 1974) and Cenozoic subsidence curves (after Villemin et al., 1986).



. Interpretative cross-sections of the Rhine Graben, (a) northern line (modified after Wenzel et al., 1991) and (b) southern line (modified after Brun et al., 1991).







Gravity model along the ECORS / DEKORP-S line.

(Résultats de l'inversion des données de tomographie sismique)

Histoire pre-remplissage

Dans l'URG, seuls sont préservés des dépôts allant du Trias au Jurassique supérieur; les sédiments datés du Crétacé ont été soit érodés soit jamais déposés.

Le hiatus J sup/Eocène est attribué une surrection dès la fin du Jurassique qui pourrait être une compensation de l'extension active à cette époque en Mer du Nord et sur la marge de l'Atlantique. Au Crétacé terminal, une activité volcanique sporadique se produit sur l'ensemble du bouclier rhénan.

Ce maintien en érosion, lié à un soulèvement, pourrait soit se rapporter à un panache mantellique à l'aplomb de la zone, soit au « flambage lithosphérique » (plissement à grande longueur d'onde -plus de 200km pour quelques centaines de m d'amplitude-) de direction globalement E/W, lié à la collision des plaques africaine et européenne

Cette érosion va conduire à l'altération plus ou moins marquée du substratum, dont les produits se retrouvent dans la Formation du Sidérolithique (remplissages alluviaux et karstiques peu épais et discontinus).

Remplissage sédimentaire

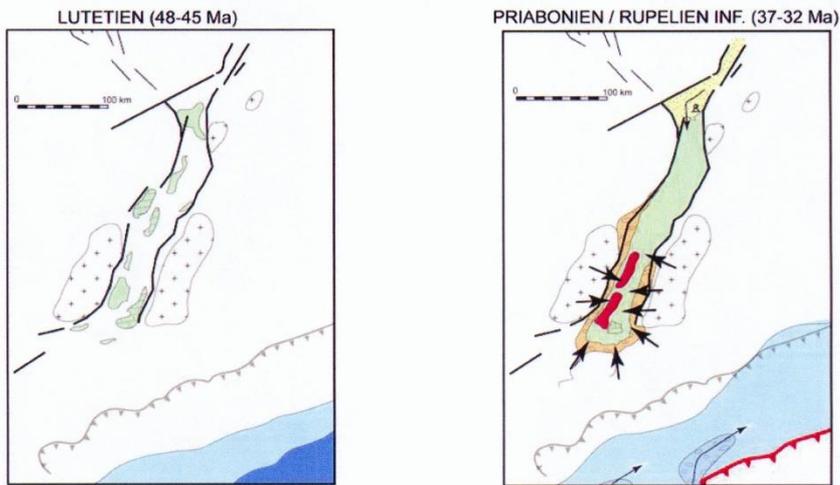
La sédimentation dans l'URG débute à l'Eocène moyen (Lutétien). La distribution et l'épaisseur du remplissage cénozoïque du graben est intimement liée à l'évolution tectonique et la migration des dépocentres au cours du temps.

A l'Eocène, une première phase volcanique syn-rift se développe au nord du graben, dans la région du Vogelsberg.

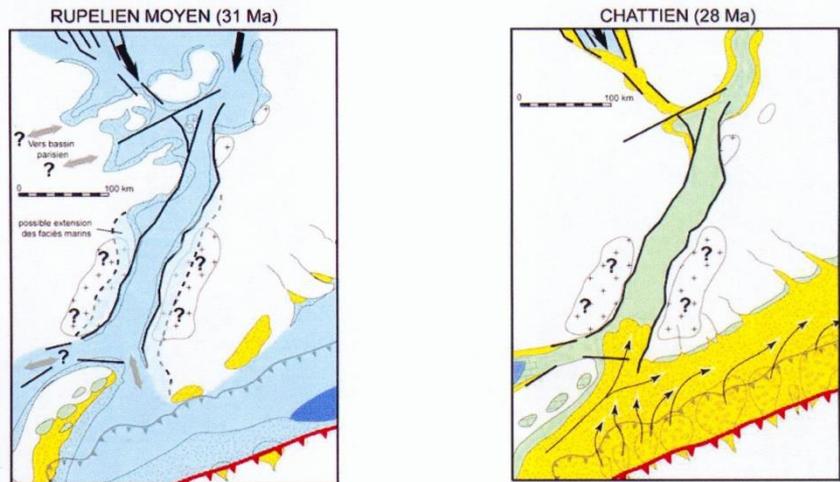
Dans le NURG, l'épaisseur sédimentaire cénozoïque atteint un maximum de plus de 3300 m, comprenant plus de 2000 mètres de sédiments appartenant au Miocène.

Dans le SURG, l'épaisseur du remplissage sédimentaire dépasse 2500 mètres. Là, les dépôts sont exclusivement d'âge Eocène-Oligocène, les dépôts plus récents faisant généralement défaut consécutivement à la surrection du Miocène. Cette surrection, qui atteint plus de 1500 mètres, s'accompagne d'érosion, de non dépôt, et de volcanisme conduisant à l'édification du volcan du Kaiserstuhl.

Pendant le quaternaire, la sédimentation est active dans l'ensemble du fossé.



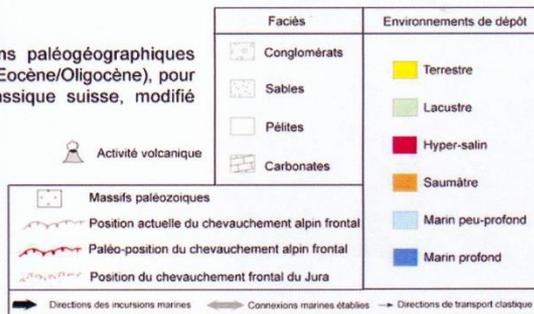
Après les dépôts « syn-rift » continentaux de l'Eocène et de l'Oligocène inférieur (conglomérats de bordures et séries lacustres et salifères dans le bassin), la transgression marine du Rupélien à l'Oligocène moyen (-31Ma) représente la première invasion marine dans le sud du fossé rhénan (Série Grise). L'inondation maximale du bassin semble être atteinte dès le milieu de la formation des Schistes à Poissons (-30,5Ma). Toutes les analyses suggèrent l'existence d'un bassin relativement profond, au-delà de la centaine de m.



Dès le début de la partie sup. de la Série Grise se dessine une alimentation détritifique issue de la zone jurassienne et alpine (appareil deltaïque progradant vers le Nord depuis la zone jurassienne). Cette dynamique provoque une continentalisation progressive du bassin marin, qui devient définitive lors du dépôt des Couches d'eau douce au Chattien 28,5Ma).

Pendant tout l'épisode marin (Rupélien terminal), l'absence de faciès de bordures sur les massifs anciens (Vosges et Forêt-Noire), la présence de dépôts relativement profonds (Série Grise) atteignant les zones d'anciennes bordures, ainsi que l'existence de paléocourants clairement dirigés vers les Vosges, suggèrent que les reliefs étaient, sinon absents, très atténués, et réduits à un paysage d'îlots au milieu d'un bras de mer plus ou moins large, bien plus étendu que les contours actuels du fossé.

Figure 2-14 : A à D, reconstitutions paléogéographiques simplifiées de la période Paléogène (Eocène/Oligocène), pour le fossé rhénan et le Bassin Molassique suisse, modifié d'après Berger et al., 2005b.



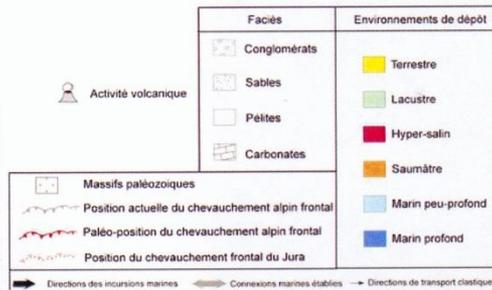
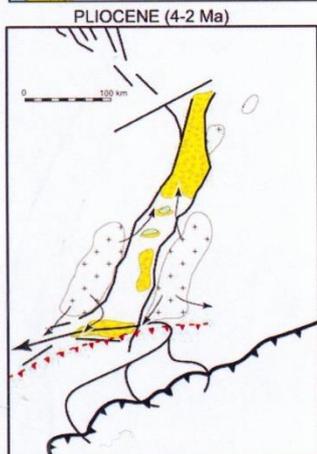
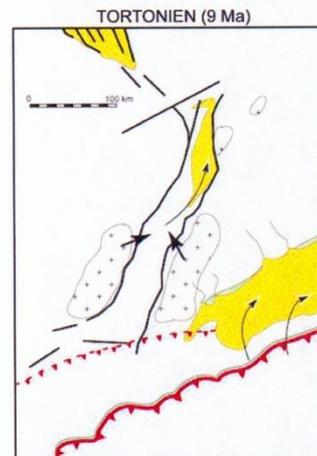
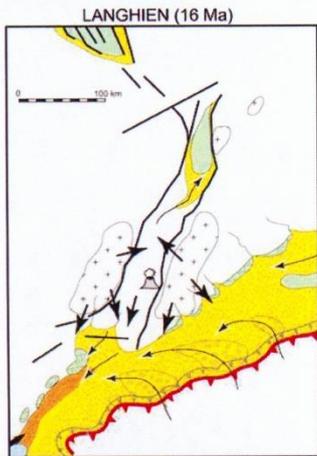
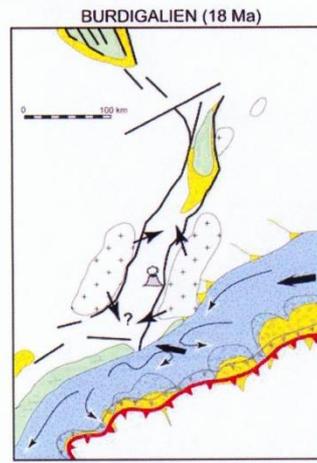
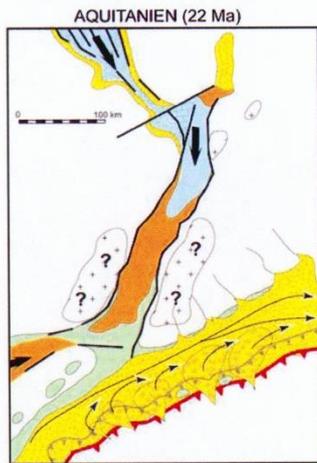


Figure 2-14 (suite) : E à I, reconstitutions paléogéographiques simplifiées de la période Néogène (Miocène/Pliocène), pour le fossé rhénan et le Bassin Molassique suisse, modifié d'après Berger et al., 2005b.

Les derniers dépôts rattachés au Chattien et à la base de l'Aquitaniens sont successivement fluviaux puis lacustres.

Depuis le Pliocène terminal, l'URG est affecté par un régime de déformation en décrochement et transtension senestre, mis en évidence par des zones sismo-tectoniquement actives. Un uplift différentiel des épaules du graben, principalement durant le Quaternaire, par ailleurs plus fort dans le sud de la région que dans le nord, serait responsable de l'actuelle morphologie du graben.

Eocène inférieur et moyen : subsidence tectonique le long d'une zone décrochante NNE-SSW. Ces déformations vont permettre à l'Eocène moyen, le développement d'un chapelet de lacs et dépressions qui esquissent la position du futur fossé.

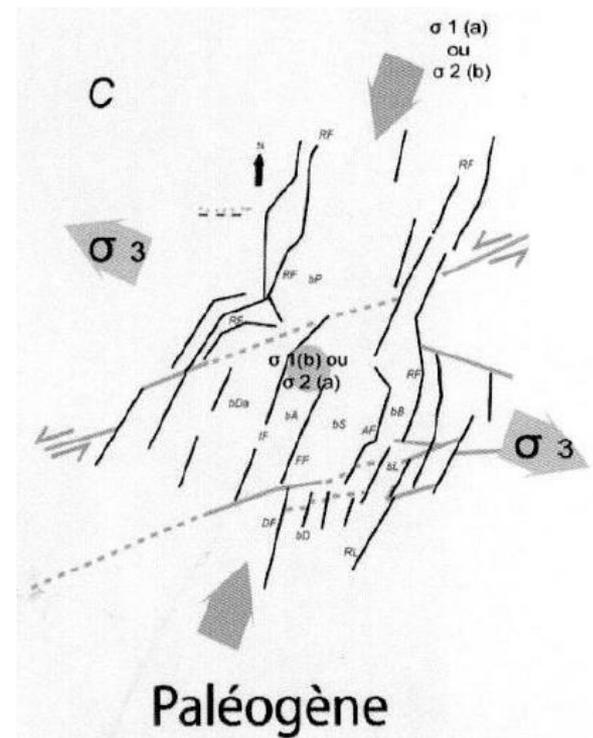
Eocène terminal et Oligocène inférieur : première phase majeure de subsidence associée à une extension WNW-ESE

Le rifting débute préférentiellement dans le sud du bassin et se propage vers le nord, à la fin de l'Eocène. La subsidence s'accroît encore de l'Eocène terminal à l'Oligocène, en association à une intense fracturation et au développement de blocs basculés. La subsidence est alors différentielle entre les épaules en surrection et un bassin en subsidence.

Oligocène moyen : subsidence thermique impliquant de façon similaire épaules et graben.

Oligocène supérieur (Chattien) : nouvelle phase de subsidence différentielle entre bordures et bassin, mais aussi entre le nord très subsident et le sud relativement stable. C'est à ce moment que s'ouvre le LRG au NW.

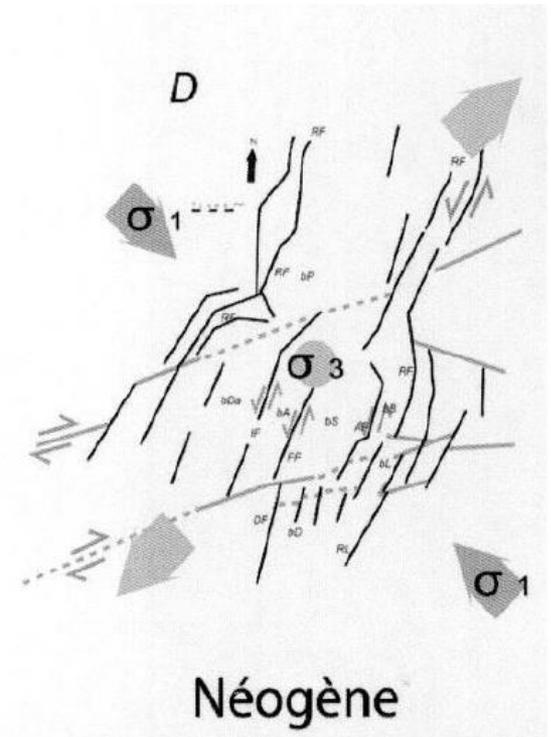
Ainsi une subsidence importante, plus ou moins continue est enregistrée de l'Eocène moyen au Miocène inférieur (Aquitainien).



Dès le Miocène moyen, la partie sud du graben, est soulevée, et soumise partiellement à l'érosion.

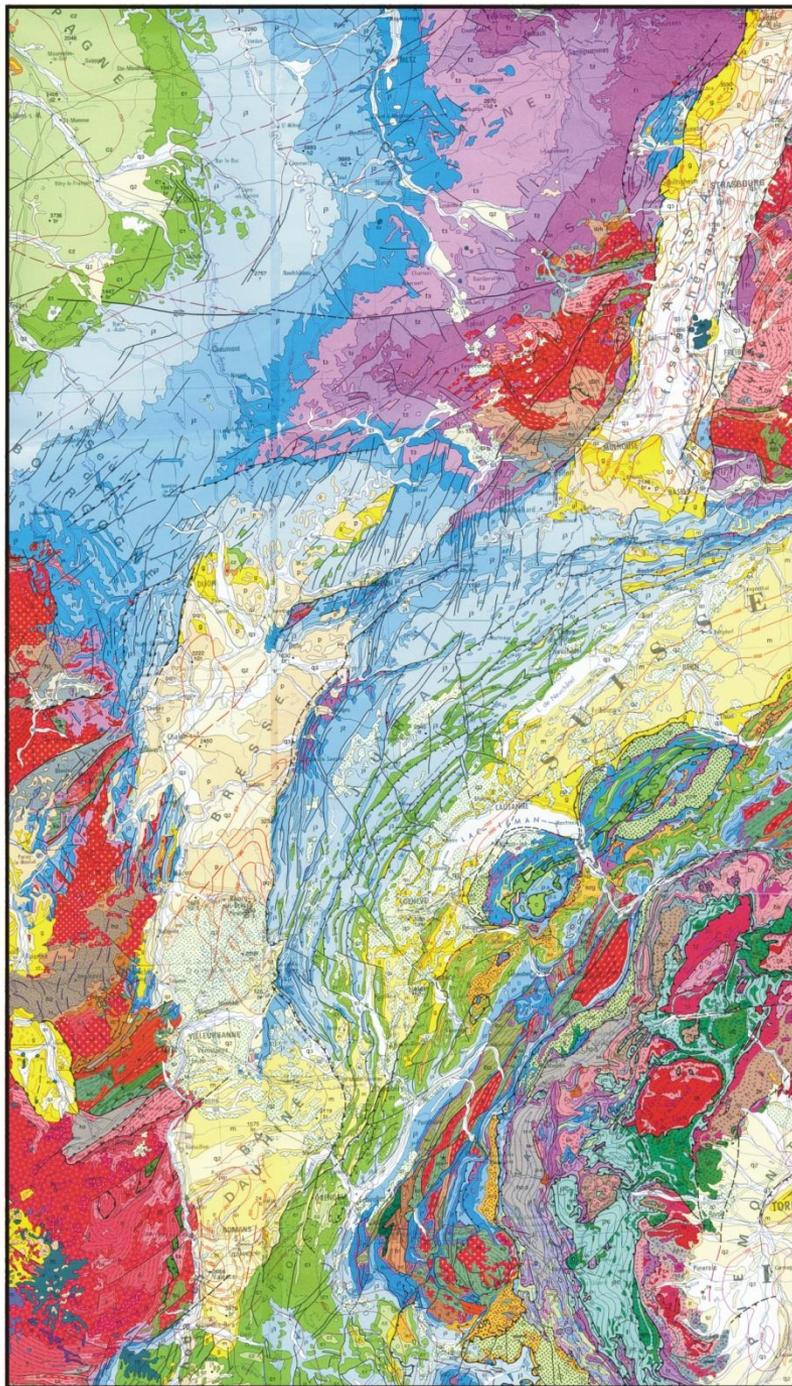
Depuis la fin de l'Aquitaniens et/ou du début du Burdigalien, la région sud (SURG, bassin et épaules comprises) est soumise à un uplift généralisé et à une érosion consécutive (au sud du Kaiserstuhl). Le volcanisme Burdigalien du Kaiserstuhl (16 Ma) et la sédimentation fluvio-lacustre associée et conservée entre les épanchements volcaniques témoignent de cette surrection généralisée. Les sédiments fluviatiles contenant des remaniement de la série sommitale de l'Oligocène attestent de l'érosion et du déblaiement précoces des bordures actuelles du fossé.

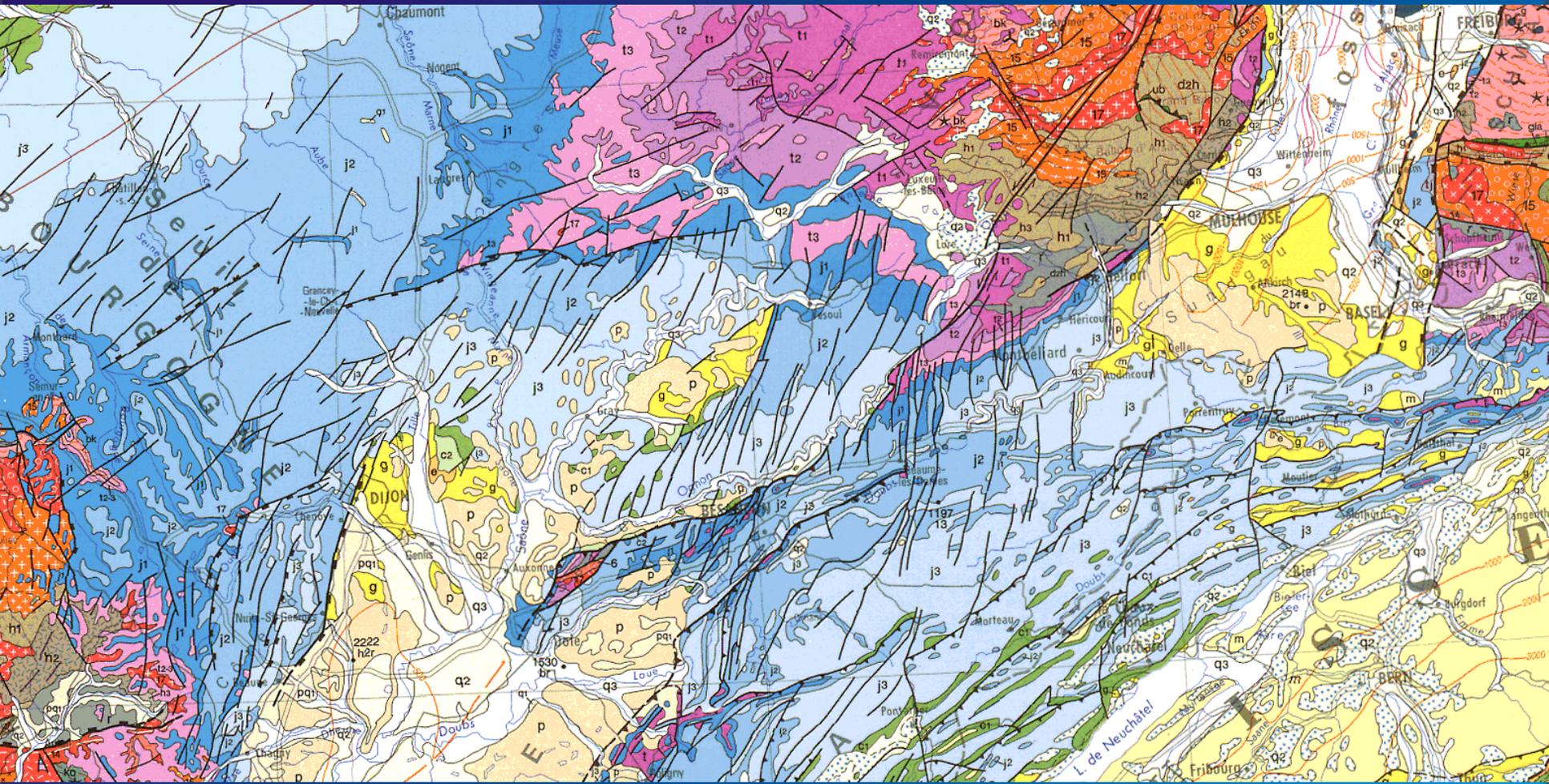
Dès le début du Miocène supérieur et de façon continue jusqu'au Quaternaire, l'ensemble du graben est soumis à un décrochement senestre. A la fin du Miocène, un régime compressif avec des directions NW-SE s'établit.

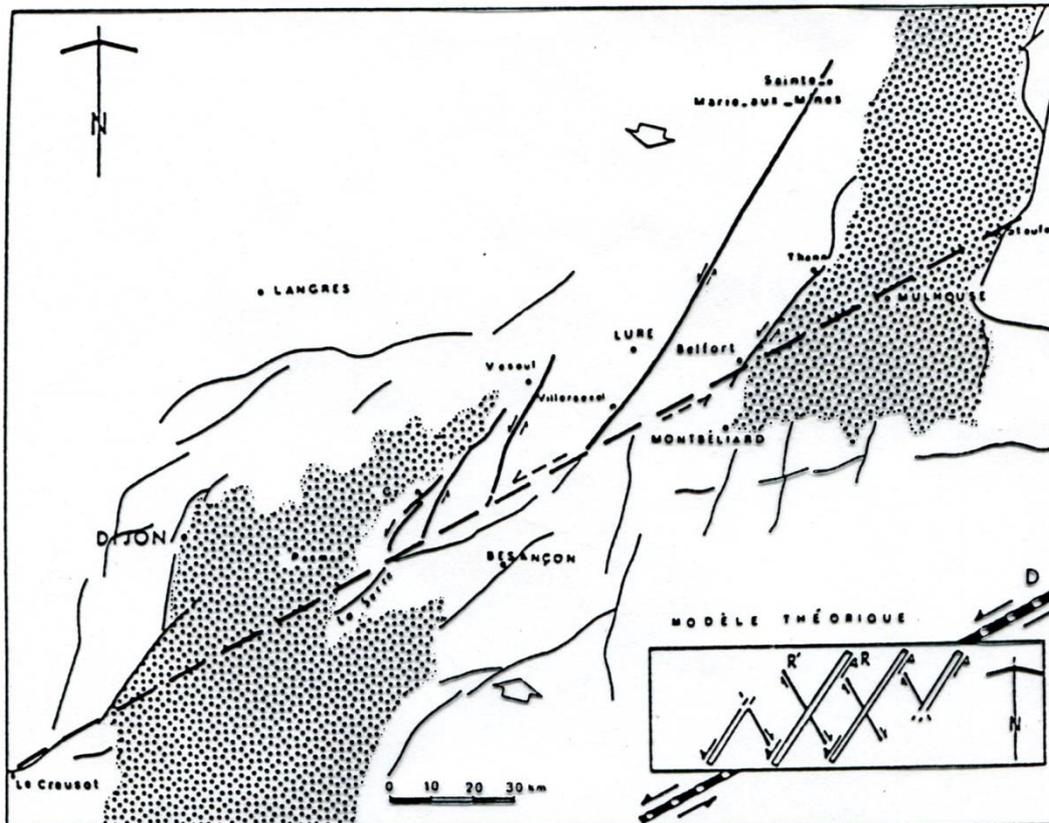


II. Les fossés oligocènes du Rift Ouest-européen

La Zone Transformante Rhin-Saône

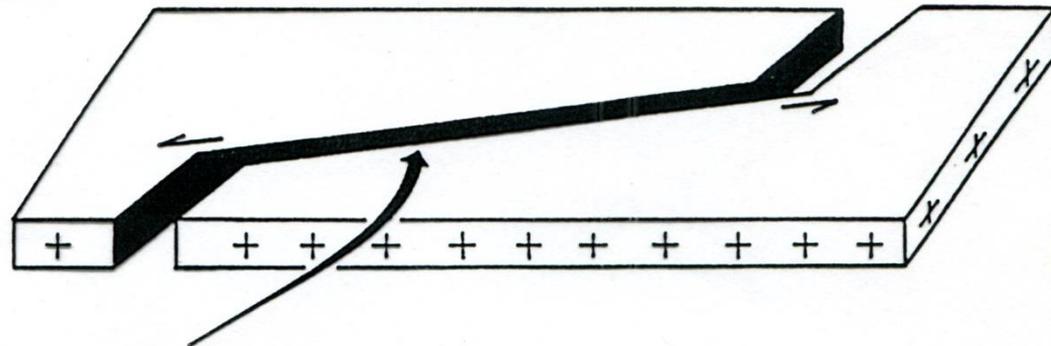




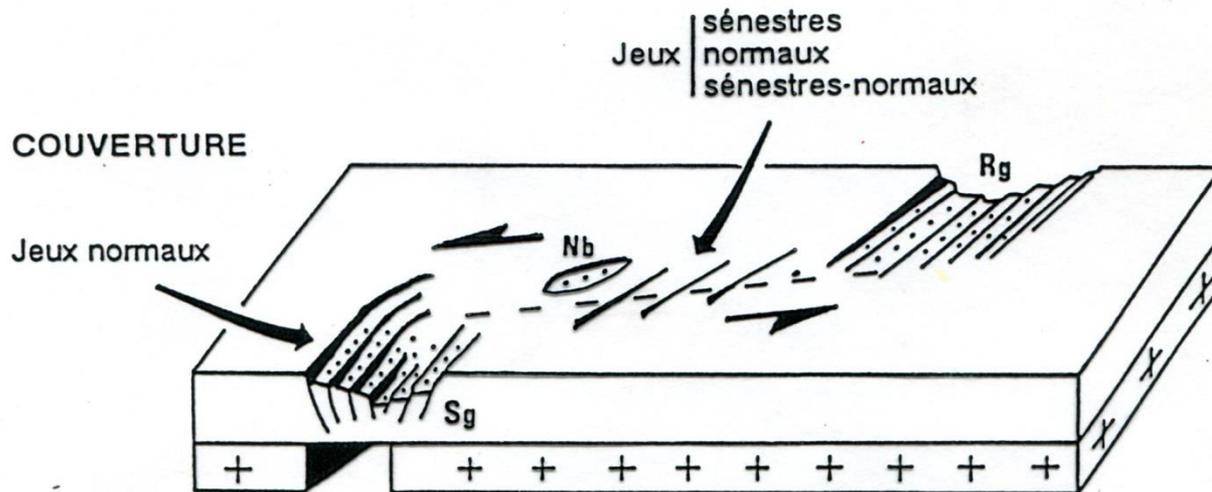


Interprétation de la fracturation dans les plateaux de Haute-Saône en termes de fractures de Riedel associées au mouvement décrochant pur sénestre d'une faille de socle connectant les fossés de la Bresse et du Rhin, dans un régime de compression N-S à N020°. D'après Bergerat (1977).

SOCLE



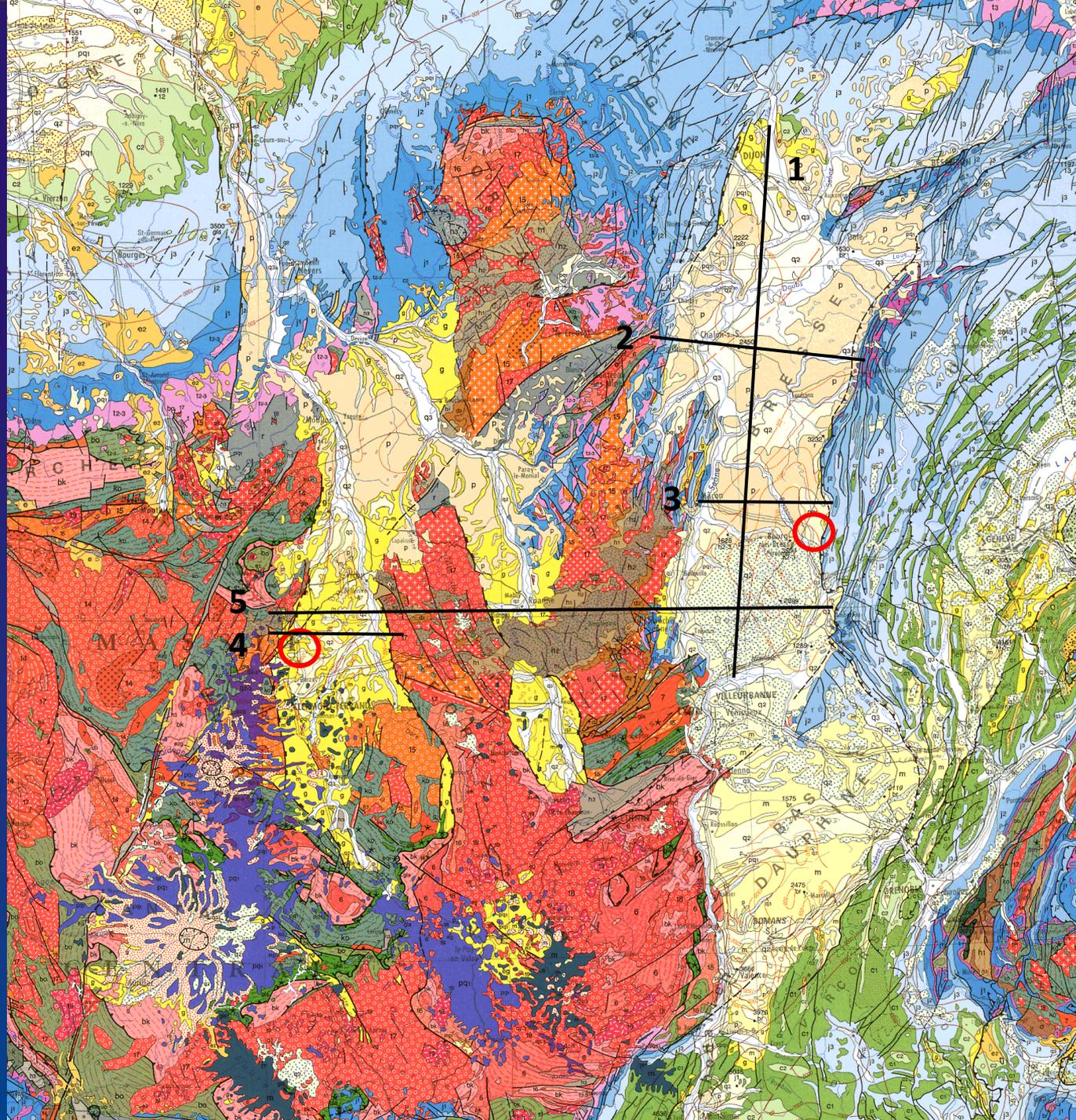
Réactivation en décrochements sénestres-normaux
d'un système de discontinuités tardi-hercyniennes



Modèle de Zone Transformante Rhin-Saône en extension et structures associées dans le socle et la couverture. Rg : graben du Rhin; Sg : araben de la Saône; Nb : bassin de Noidans.

II. Les fossés oligocènes du Rift Ouest-européen

Le système Bresse -Limagnes



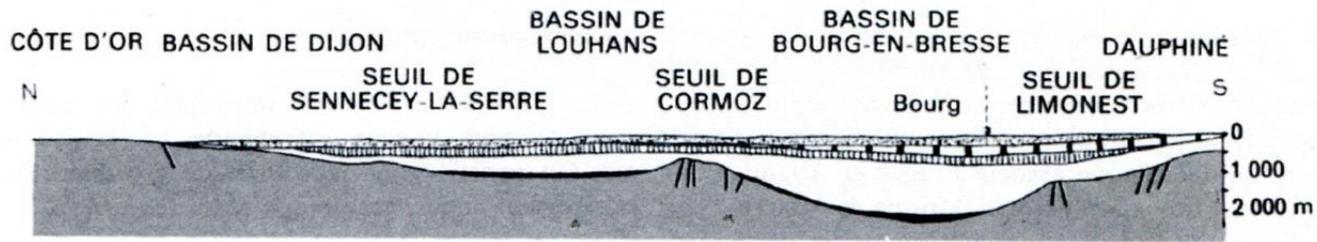
1

2

3

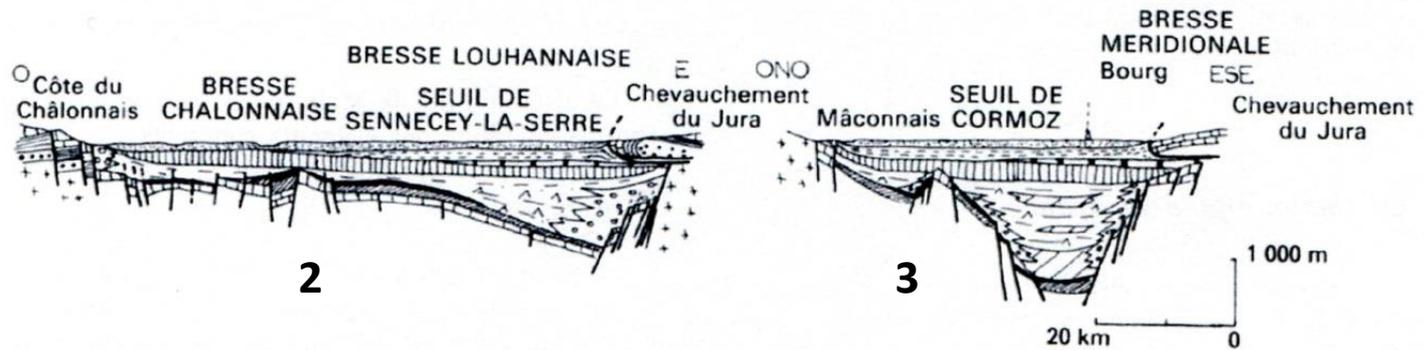
5

4



1

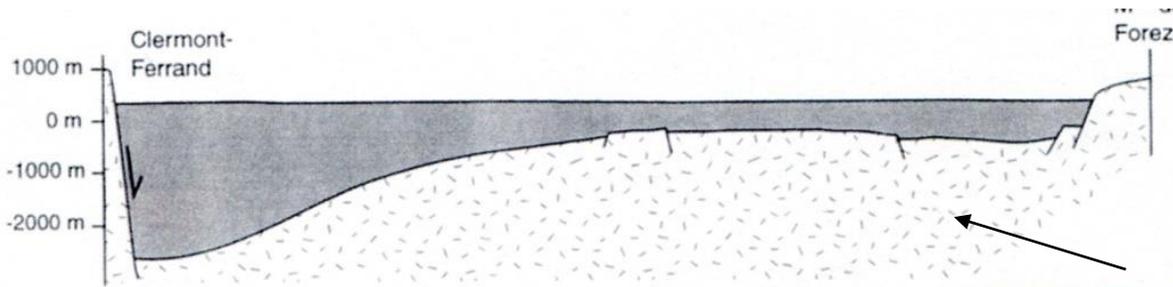
0 20 km



-  Substratum prétertiaire
-  Socle
-  Trias
-  Lias
-  Jurassique moyen et supérieur
-  Crétacé inférieur et supérieur

-  Eocène
-  a - Conglomérats et faciès détritiques des bordures
-  b - sel gemme
-  c - marnes et argiles
-  d - anhydrite et gypse
- Indifférencié
- Oligocène
-  Marin lacustre } Miocène
-  Pontien lacustre
-  Pliocène fluvio-lacustre

Coupes schématiques N-S et E-O du Fossé bressan (d'après *Géologie des pays européens*, 26^e CGI, 1980).

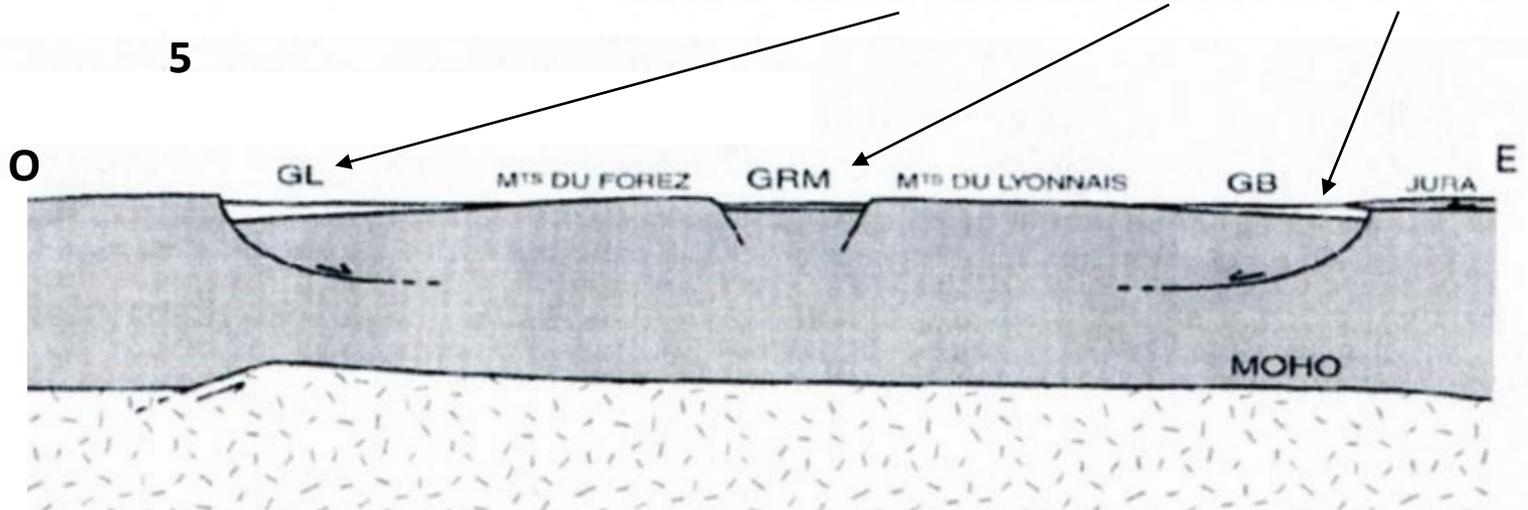


4

(Michon et Merle, 2001)

	Limagne	Montbrison	Bresse
	Incursions marines	Fluvio-lacustre	Fluvio-lacustre
Oligocène sup.	Calcaires à Helix ramondi Marnes blanches à Cypris > 1000 m	Détritiques fins et grossiers + calcaires lacustres 300 m	Détritiques fins et grossiers < 100 m
	Incursions marines	Fluvio-lacustre	Incursions marines
Oligocène inf. et moy.	Marno-calcaires à Potamidés lamarcki et Cypris Calcaires à Striatelles < 2000 m	Détritique (sables, argiles et conglomérats) 200 m	Dépôts lagunaires à évaporites Formations marines à smectites > 1200 m
Epaisseur totale maximum	3000 m	500 m	1300 m

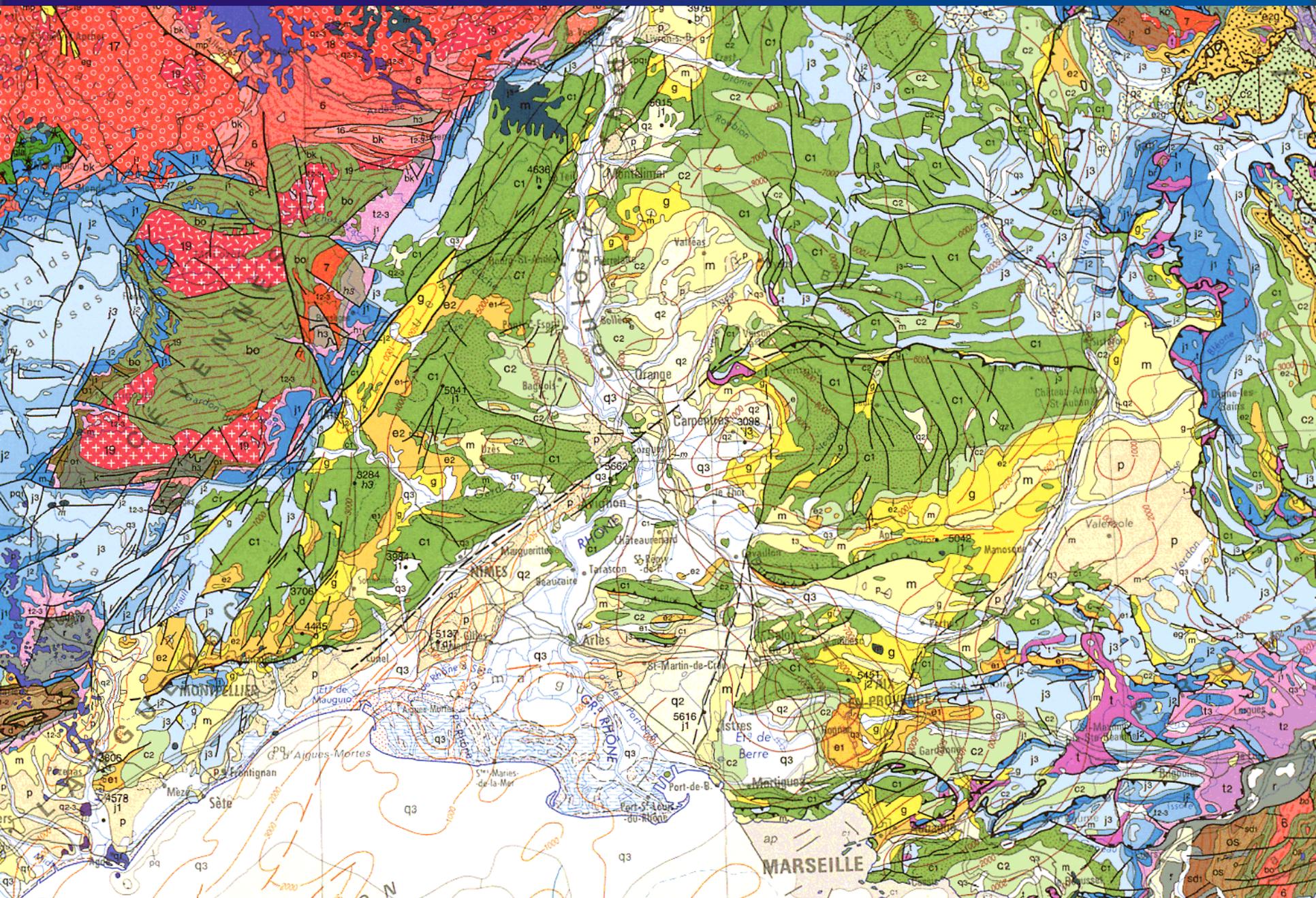
5



50 km

II. Les fossés oligocènes du Rift Ouest-européen

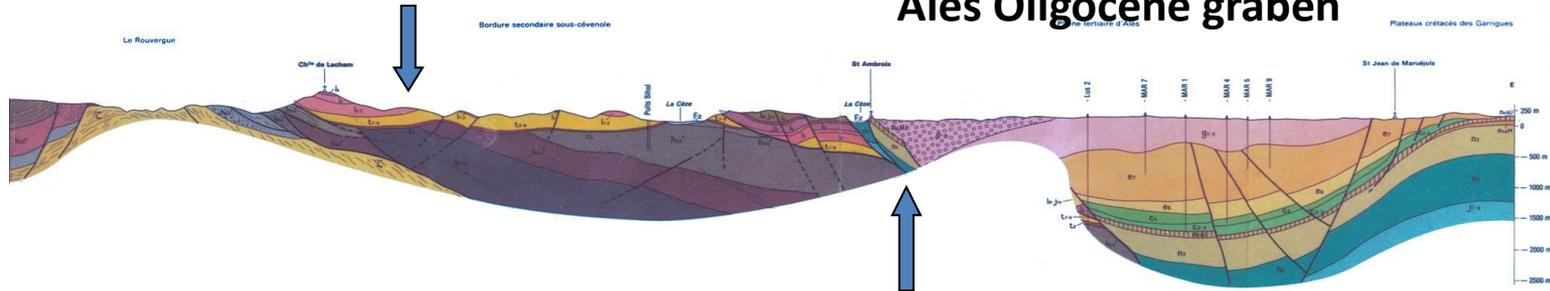
Le fossé d'Alès, les fossés languedociens
et les bassins provençaux



Ales Basin (Oligocene versus Jurassic rifting)

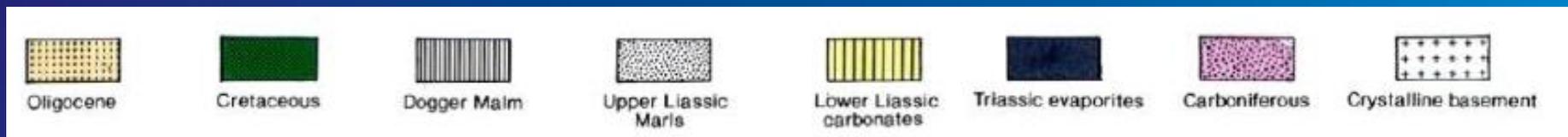
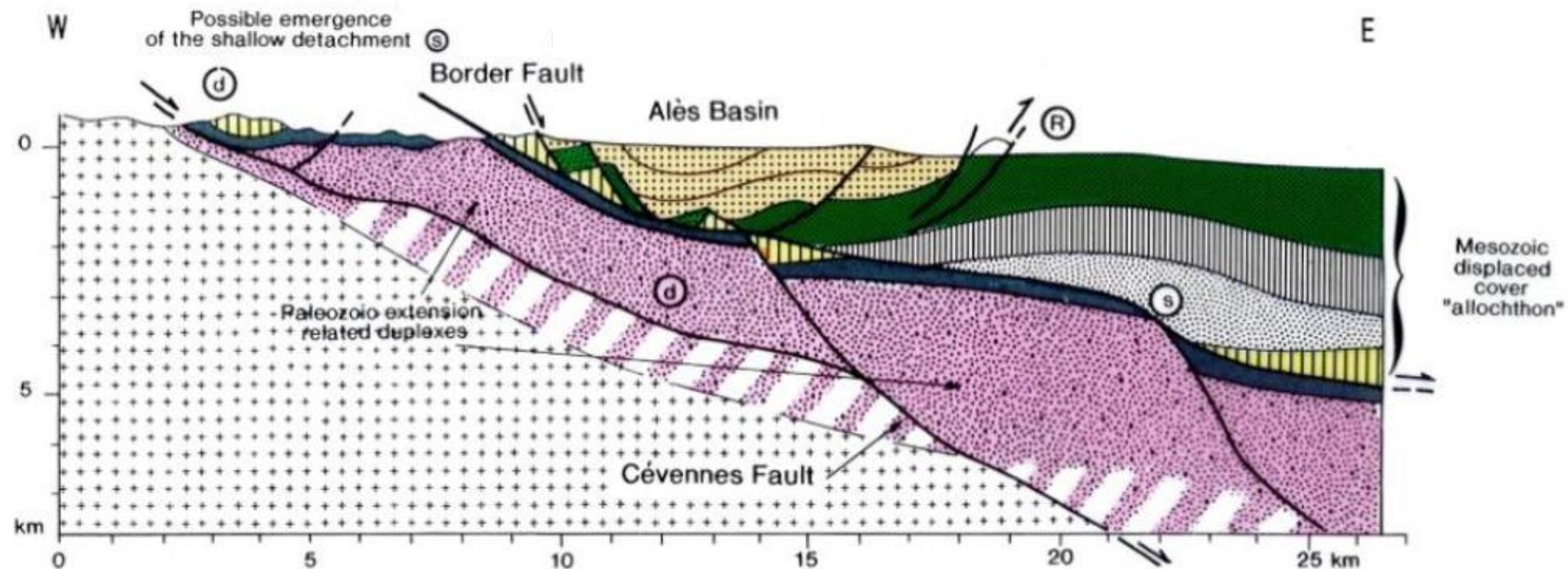


Younger over older contacts



**Intra-Paleozoic
and intra-Triassic decollement levels**

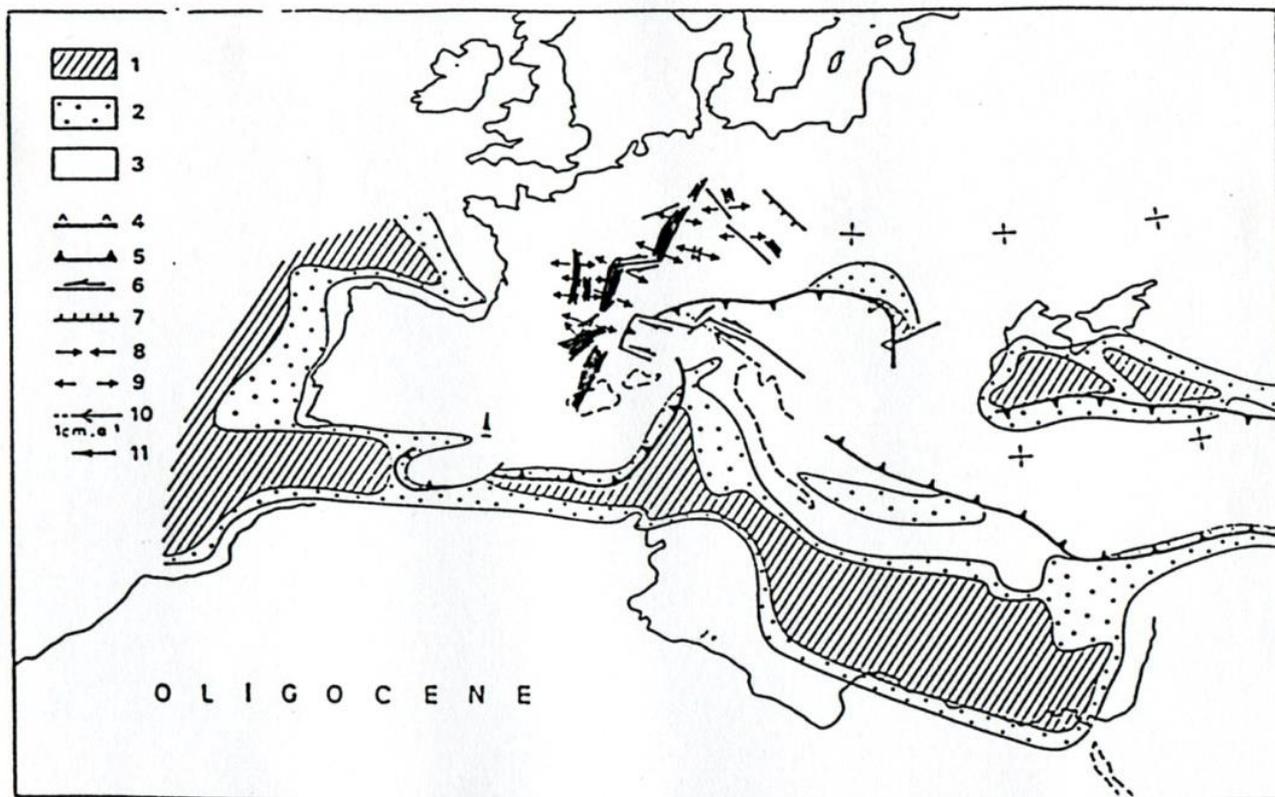
Cévennes fault



(Roure et al.)

II. Les fossés oligocènes du Rift Ouest-européen

Genèse des fossés :
rôle de l'héritage structural
et lien avec le magmatisme
oligo-néogène péri-alpin ?



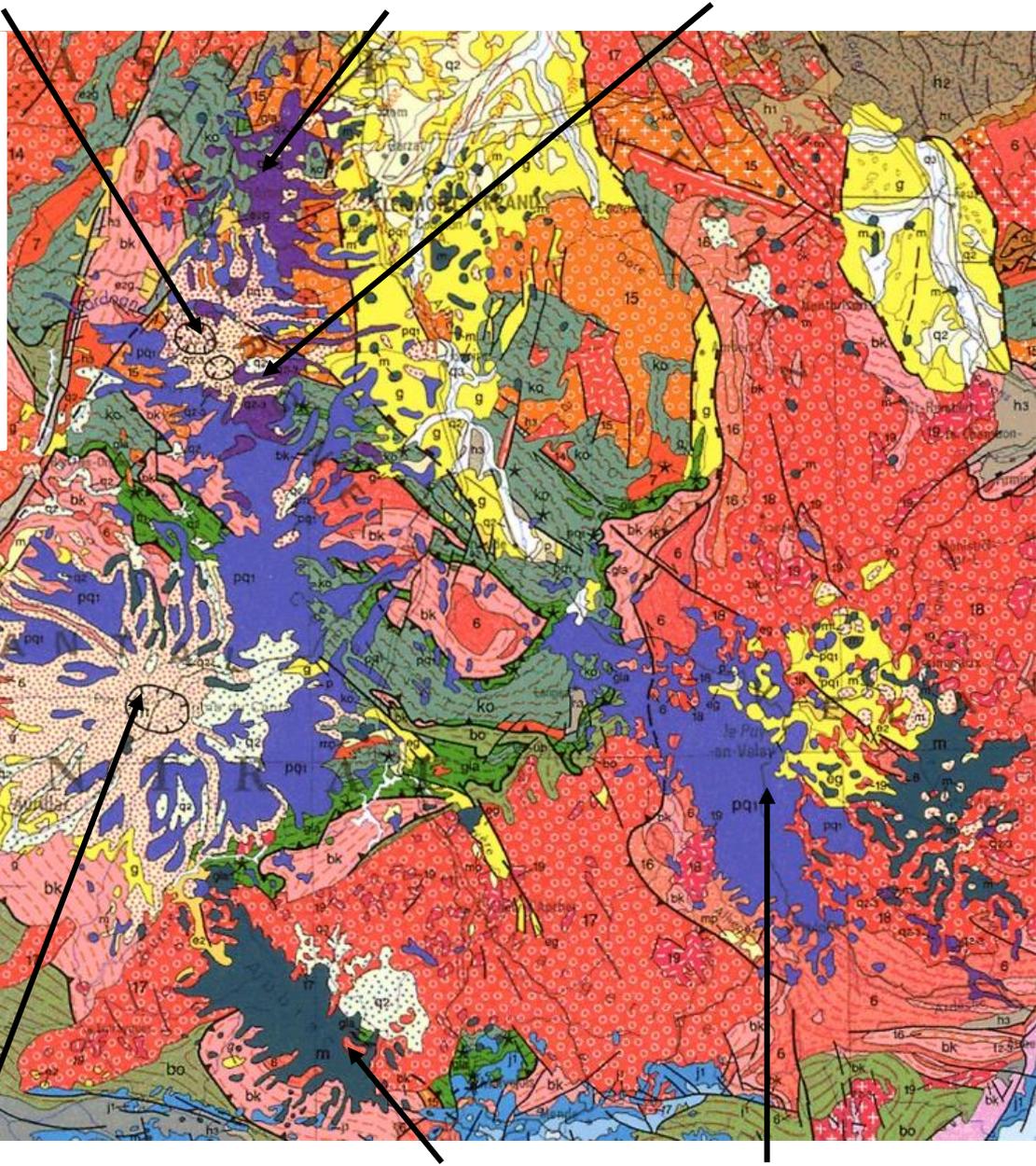
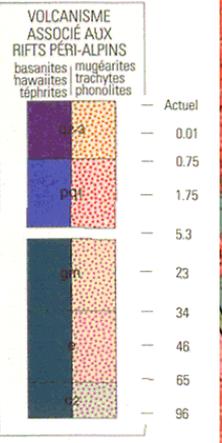
reconstitution des contraintes oligocènes et de l'évolution géodynamique de la plate-forme Européenne.

1) croûte océanique, 2) croûte continentale amincie, 3) croûte continentale, 4) subduction, 5) front de chevauchement, 6) coulissement senestre, 7) failles normales, 8) direction des contraintes maximales, 9) extension, 10) extension 1cm.a^{-1} , 11) direction d'extension

Mont Dore

Chaîne des Puys

Cézallier



Puy de Dôme
Chaîne des Puys



Mont Dore

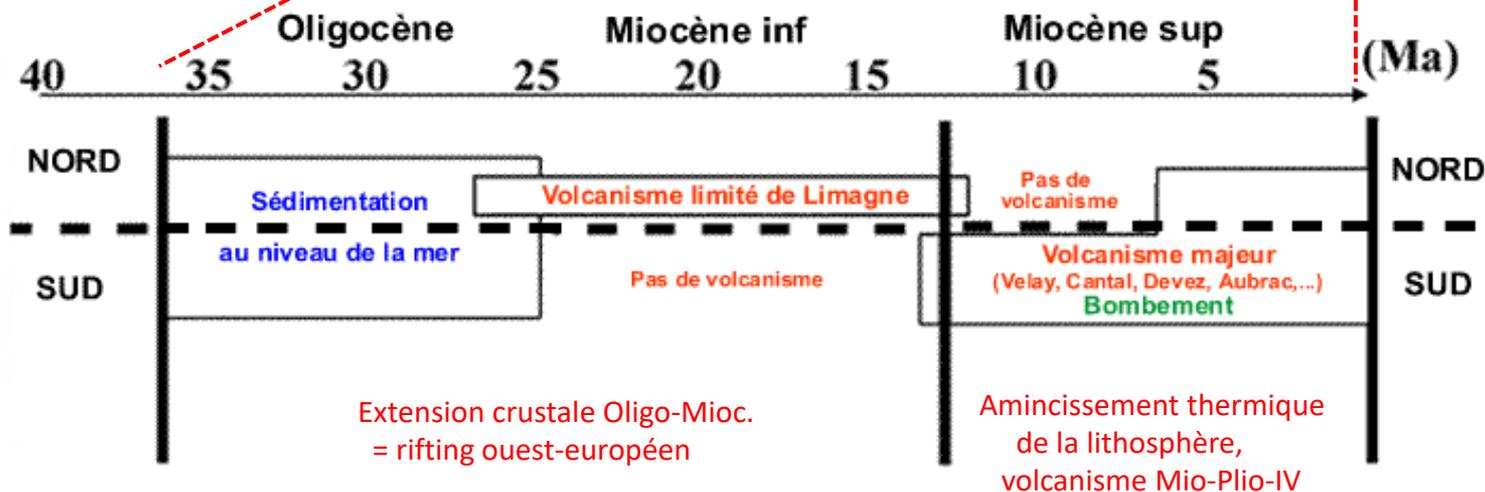
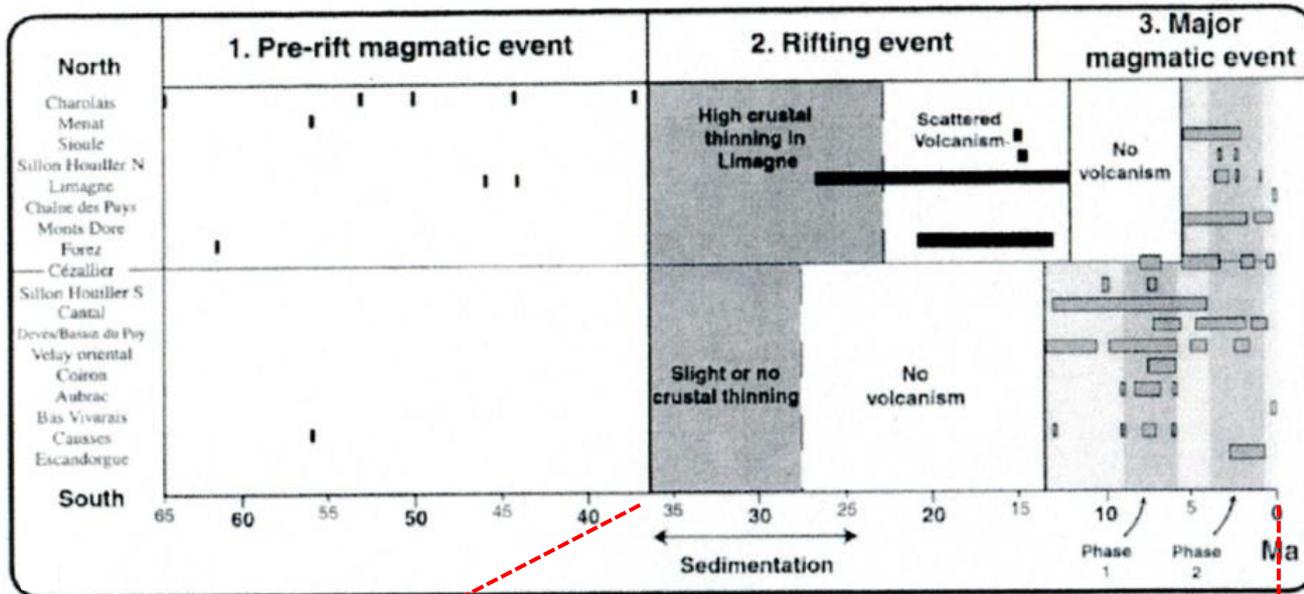


Puy Mary, Cantal

Cantal

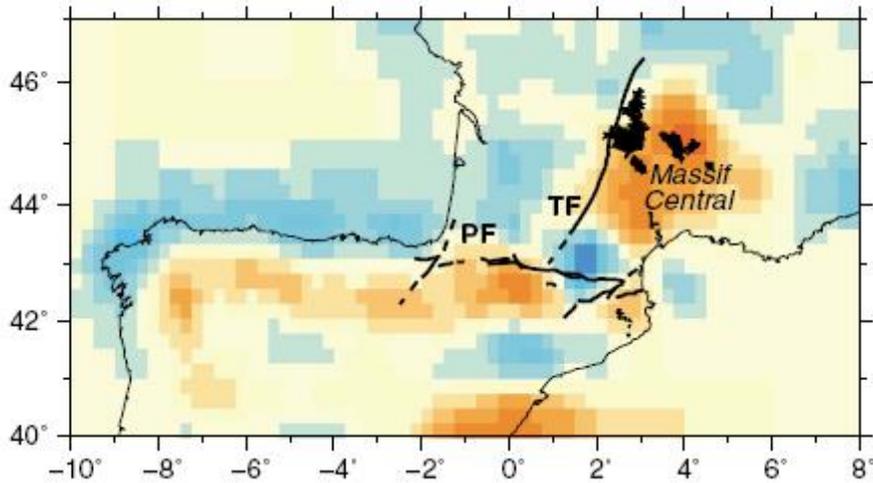
Aubrac

Velay

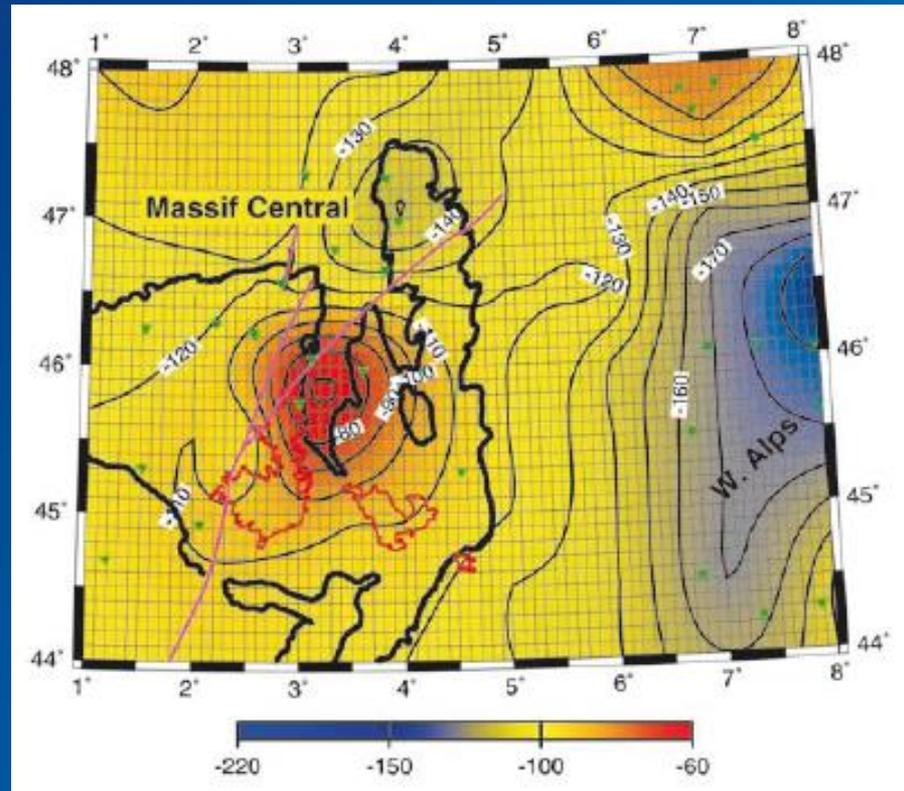


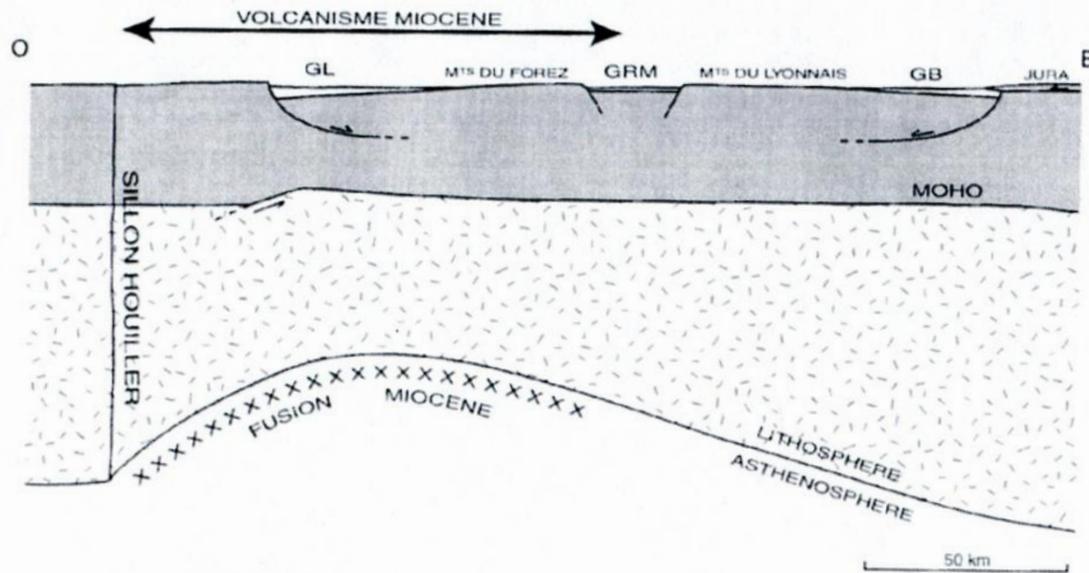
(Michon et Merle, 2001)

Mise en évidence par la géophysique d'une anomalie thermique et d'une remontée de la limite lithosphère-asthénosphère sous les provinces volcaniques du Massif Central



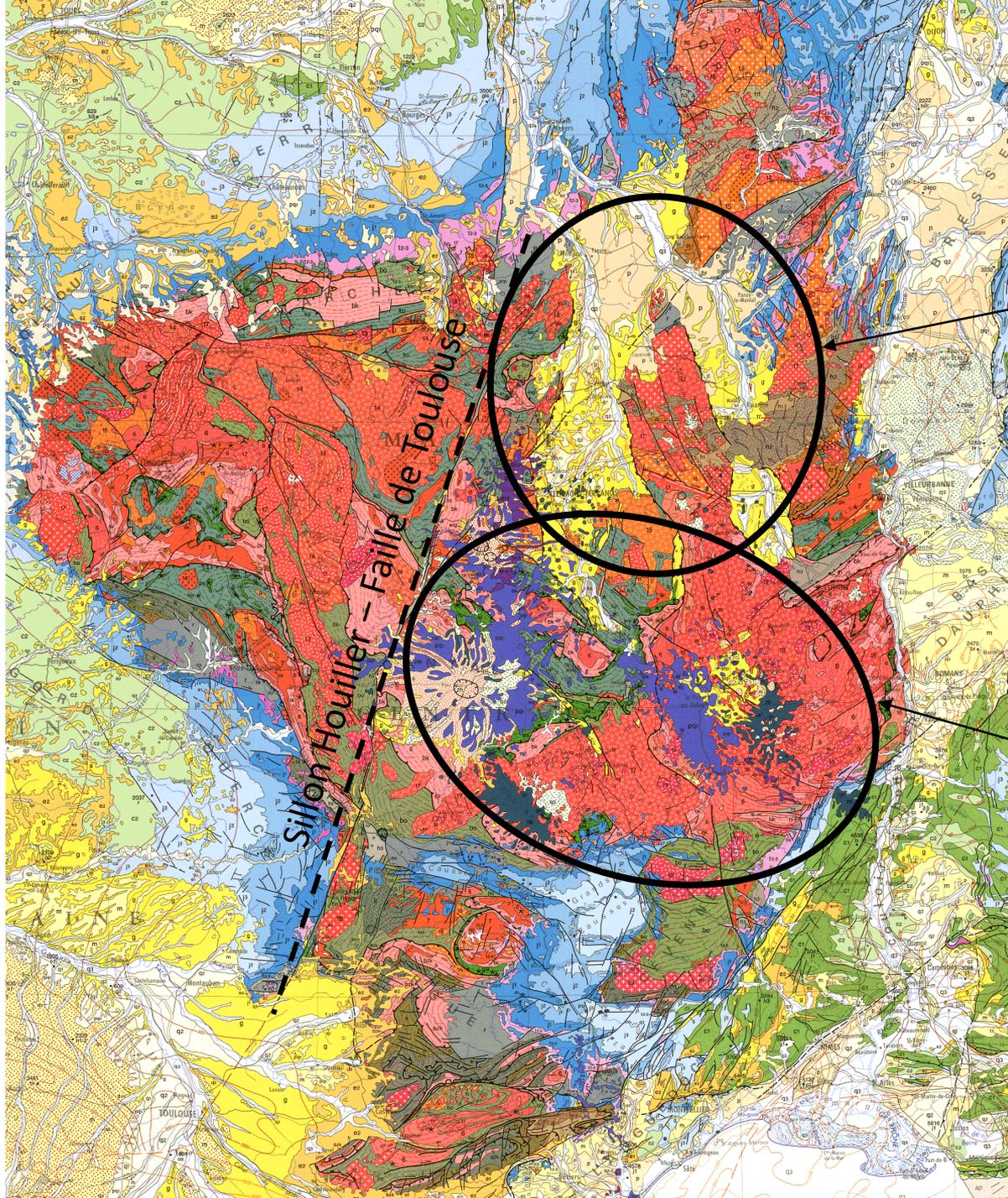
Map of P velocity anomalies between 125 and 150 km depth. The volcanic regions are the black shaded domains. The main faults in the Pyrenees are drawn with thin black solid lines while the Pamplona (PF) and Toulouse (TF) faults are drawn with thick black dashed lines.





La coupe lithosphérique actuelle de la transversale nord du rift du Massif central résulte d'une extension crustale avec formation de fossés d'effondrement à l'Oligocène suivie d'un amincissement du manteau lithosphérique par érosion thermo-mécanique au Miocène. Même échelle verticale et horizontale.

(Michon et Merle, 2001)



Amincissement crustal
(Oligocène >>)
sans volcanisme

Amincissement
lithosphérique
et volcanisme
(Miocène-Pliocène >>)
sans amincissement
crustal

(Babuska et al., 2002)

Principe de la mesure: biréfringence des ondes S

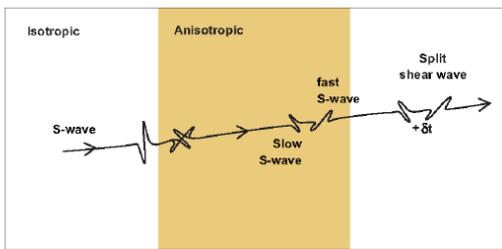


Fig. 1. Shear-wave splitting occurs for a shear wave traveling through an anisotropic medium (shaded). When incident shear wave arrives at an anisotropic medium, it splits into two shear waves of perpendicular polarization, along seismic fast and slow directions, respectively. Traveling through anisotropic medium, the two waves accumulate a delay time δt . Shear-wave splitting techniques invert for δt and the fast polarization direction ϕ .

- la polarisation de l'onde rapide donne la direction de vitesse rapide (interprétée comme direction d'écoulement ou d'étirement max)
- le décalage en temps Δt entre les 2 ondes rapide et lente donne l'amplitude de l'anisotropie (interprétée comme indice de l'amplitude de la déformation)

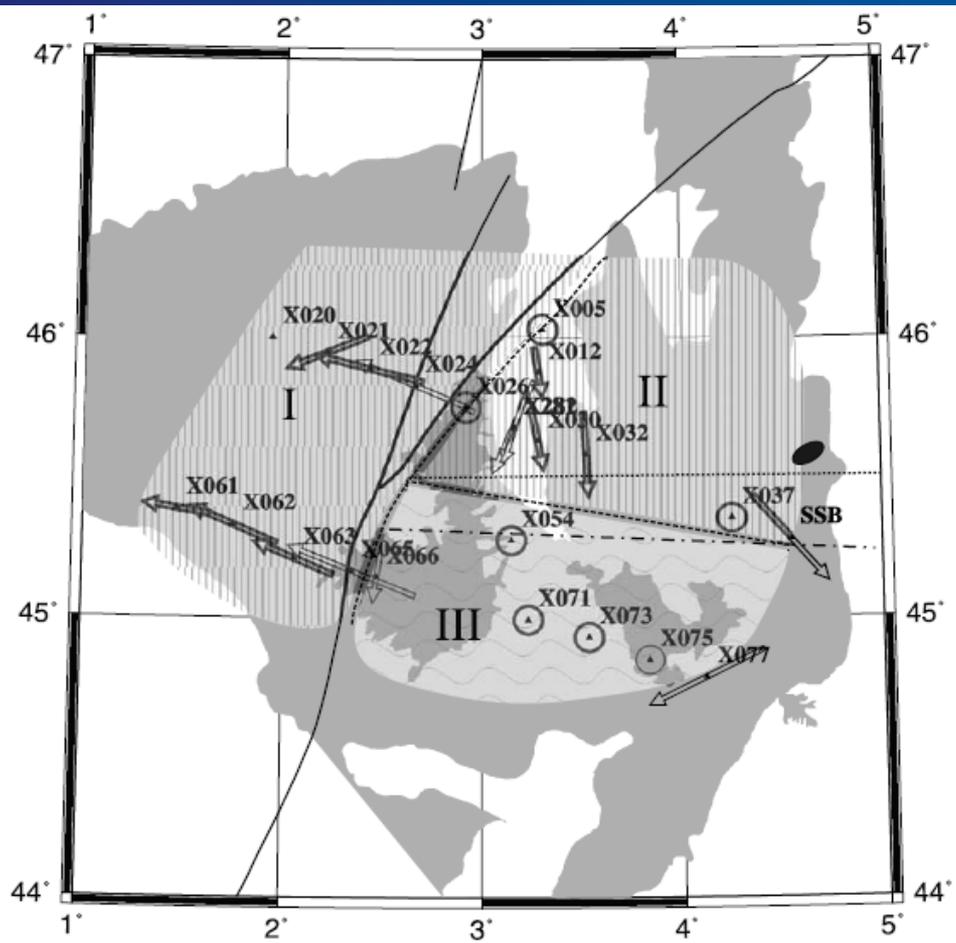
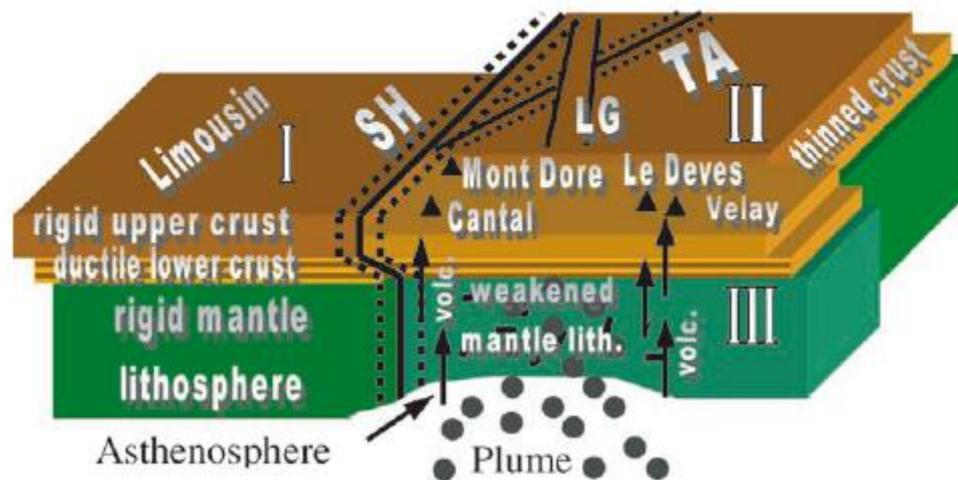


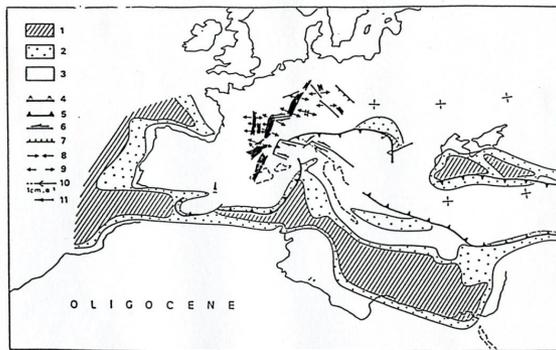
Figure 9. Schematic map of three domains defined by different characteristics of seismic anisotropy. The dashed curve along the faults locates the eastern boundary of the mantle lithosphere of the Limousin type (domain I). We interpret this suture as a subcrustal equivalent of the Sillon Houiller (SH) and the Tauve-Aigueperse (TA) faults (see Figure 1) determined from the change of the SKS splitting (arrows) and the “null” splitting at stations X026 and X005 (circles). The E-W oriented dashed line denotes the boundary between domains II and III: the northern block with N-S oriented fast split shear waves (arrows) and the southern block with the null splitting (circles). Both domains differ also in the lithosphere thickness (see Figures 2 and 3). The dotted and dot-dashed lines refer to boundaries defined by *Lenoir et al.* [2000] and *Merle and Michon* [2001], respectively (see section 4 for explanation). The solid ellipse indicates the area of a granulitic/ultramafic association in the Monts du Lyonnais interpreted by *Gardien et al.* [1990] as remnants of a Paleozoic subduction zone.



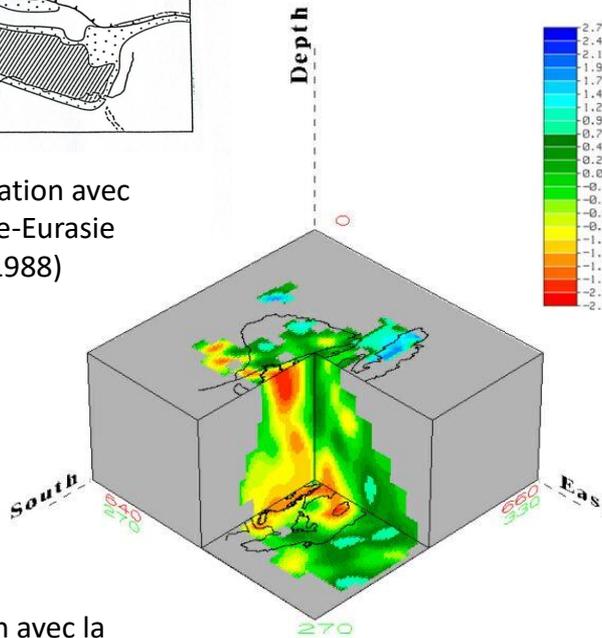
Schematic 3-D sketch of the Massif Central (MC) showing three lithosphere domains determined from seismic anisotropy. The suture between domains I and III, marked at the surface by the Sillon Houiller fault (SH), and its continuation to the north between domains I and II, marked at the surface by the Tauve-Aigueperse fault (TA), cuts the entire lithosphere, but its crustal and mantle parts are shifted. The thick and rigid mantle lithosphere of domain II was apt to rift during the Cenozoic extension. On the other hand, a large part of the mantle lithosphere of domain III, which is less rigid above a mantle plume, thinned during the extension and its original fabric weakened. The reactivated (Variscan) mantle suture and peripheral parts of the weakened mantle lithosphere acted as a predisposition for creating open fractures channeling magma to feed the major volcanic centers.

Pas de lien direct (spatial/temporel) évident entre rifting (oligocène >>) et volcanisme alcalin (Mio-Pliocène >>)

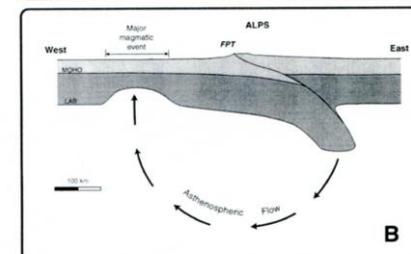
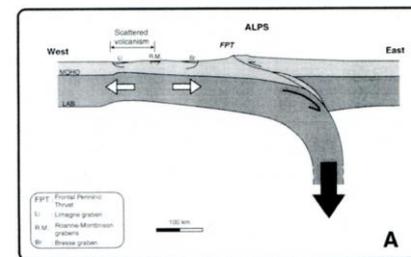
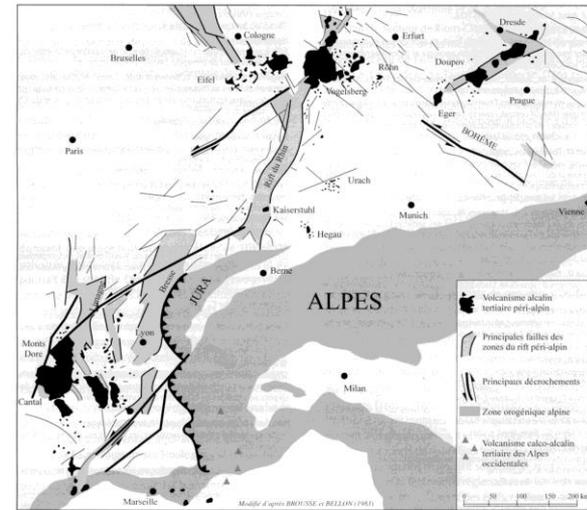
Plusieurs scénarios pour expliquer l'un ou l'autre ou les deux phénomènes ont été proposés, mais aucun ne fait consensus.



Rifting oligocène en relation avec la convergence Afrique-Eurasie (Le Pichon et al., 1988)



Volcanisme en relation avec la présence d'un « petit » panache mantellique sous le Massif Central (D'après Larroque et Virieux)

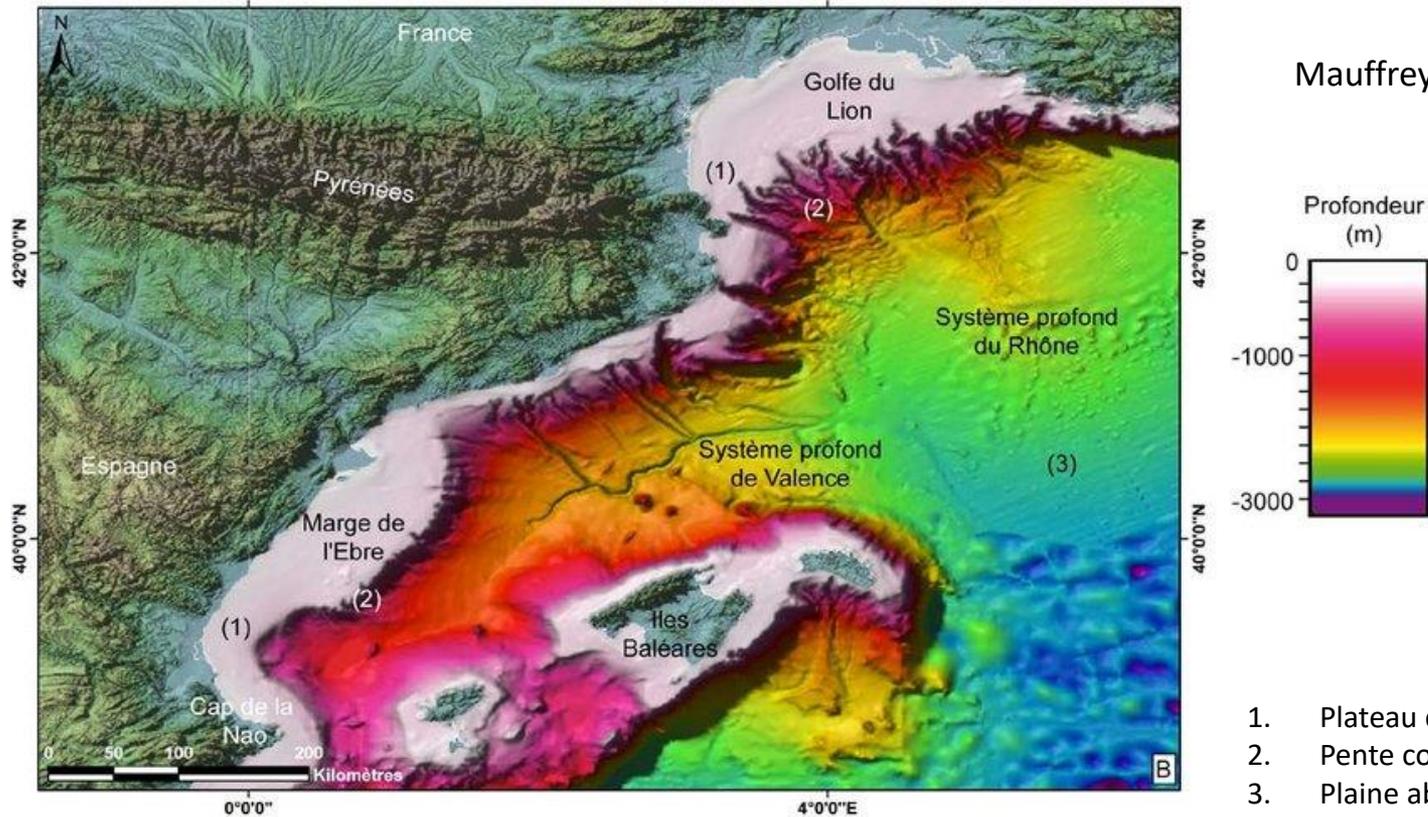
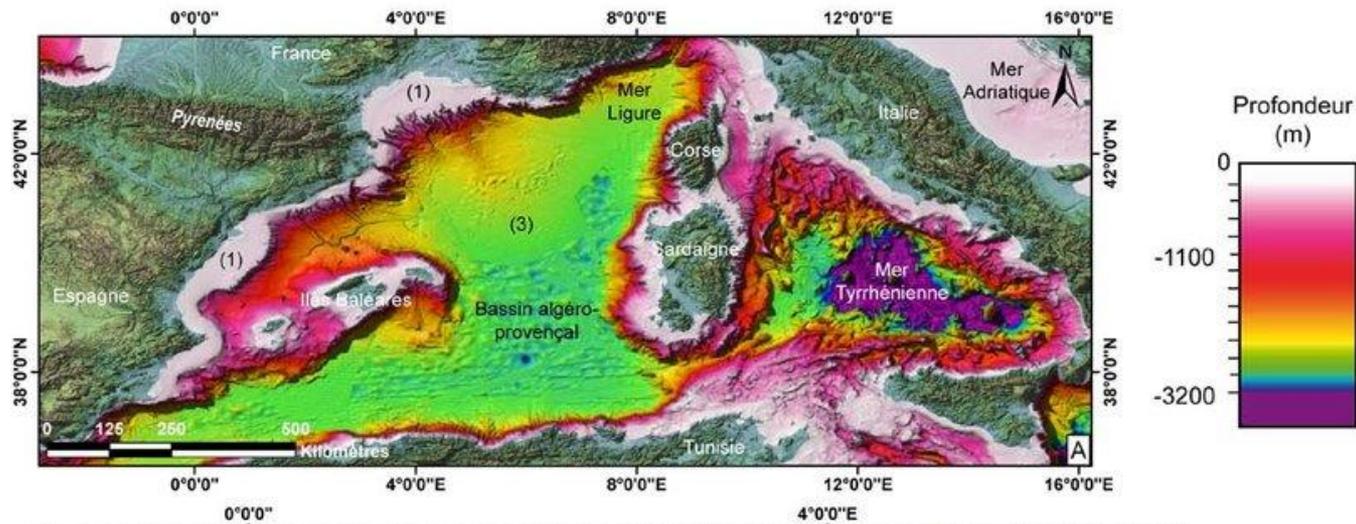


Rifting et volcanisme en relation avec la formation des Alpes (Michon et Merle, 2001)

III. La marge oligo-miocène algéro-provençale :
lien avec l'histoire de la
Méditerranée occidentale

III. La marge oligo-miocène algéro-provençale : lien avec l'histoire de la Méditerranée occidentale

Morphologie et structure de la marge



Mauffrey, thèse, 2015

1. Plateau continental
2. Pente continentale – talus
3. Plaine abyssale

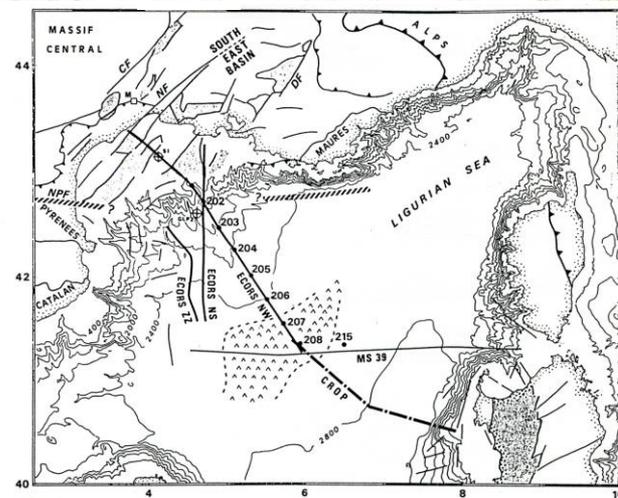
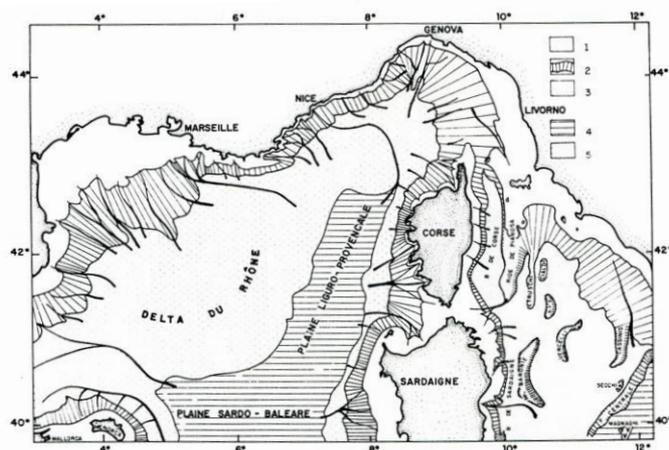
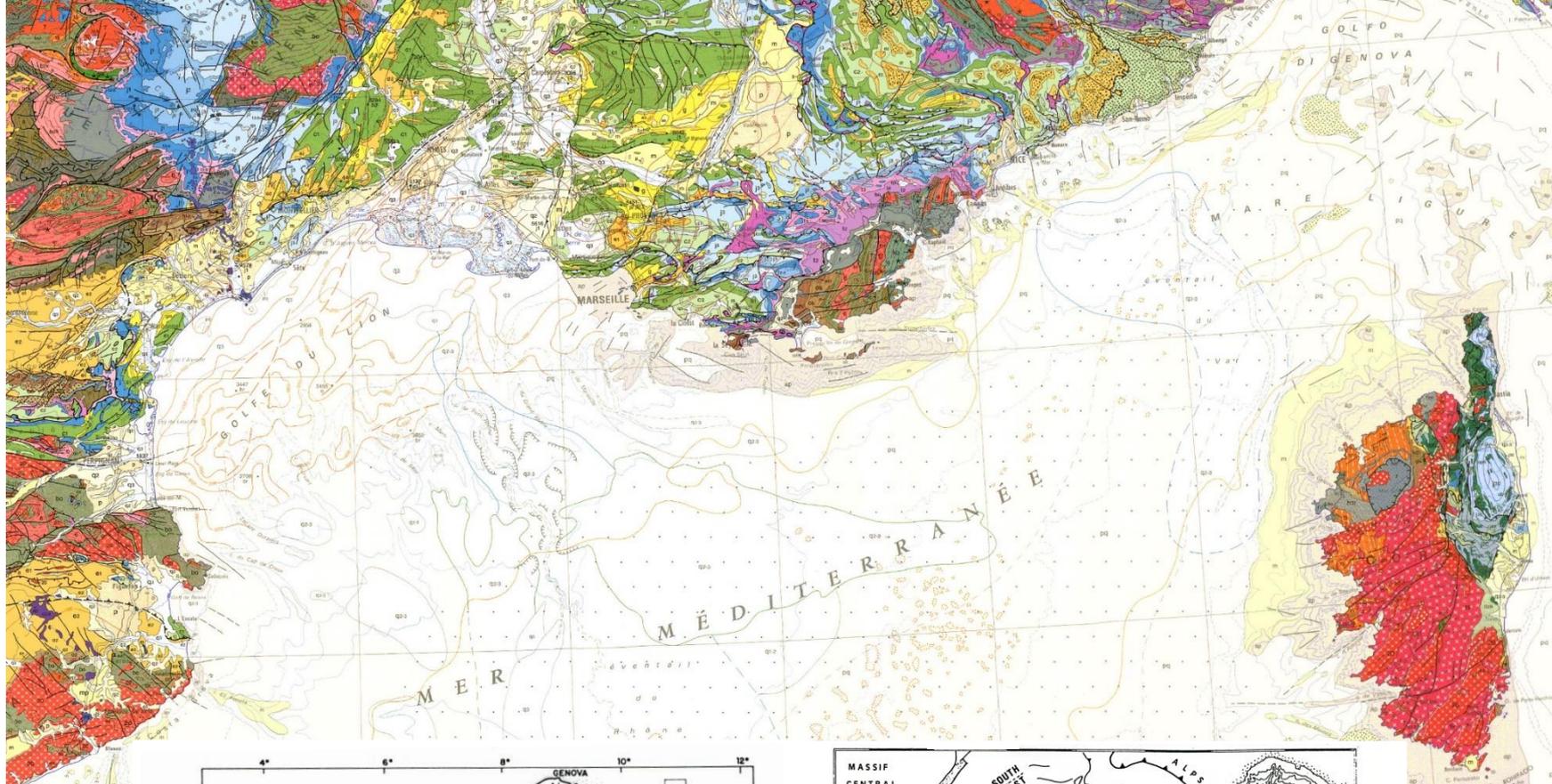
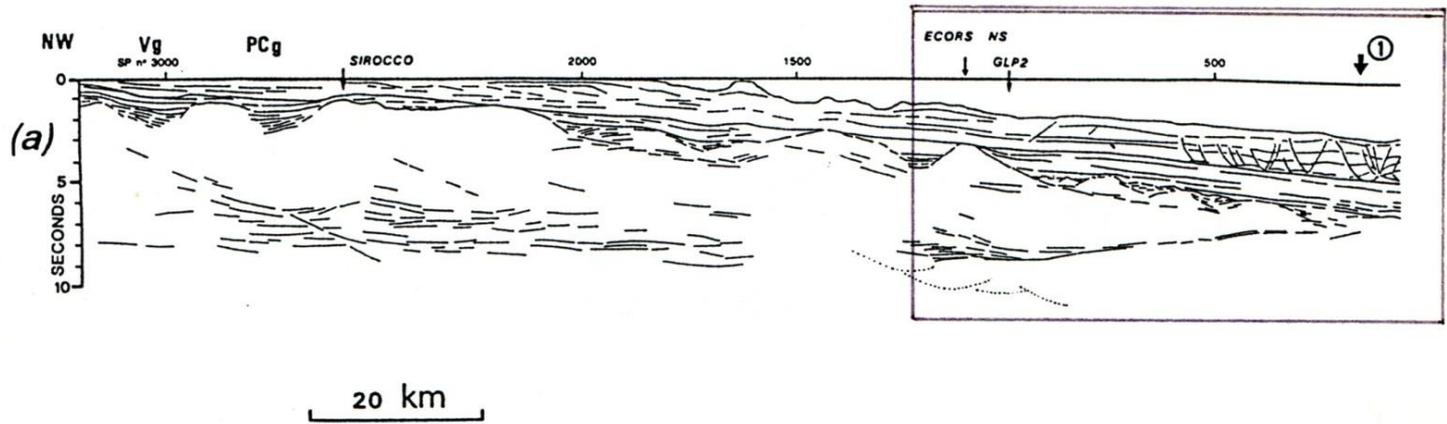
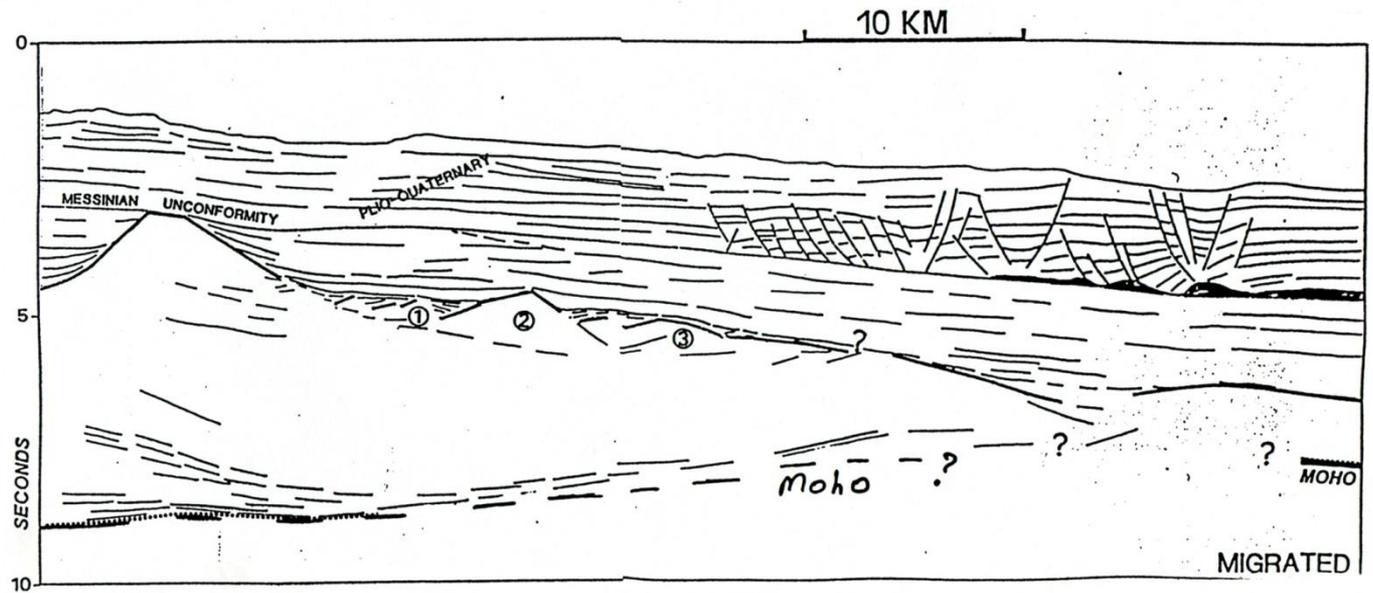


Schéma morpho-structural du bassin nord-occidental de la Méditerranée et de la partie septentrionale de la mer Tyrrhénienne. 1 : plate-forme continentale ; 2 : pente continentale ; 3 : glacis ou deltas sous-marins profonds ; 4 : plaine bathyale ; 5 : bassins sédimentaires de la marge nord-tyrrhénienne (d'après REHAULT, 1981).

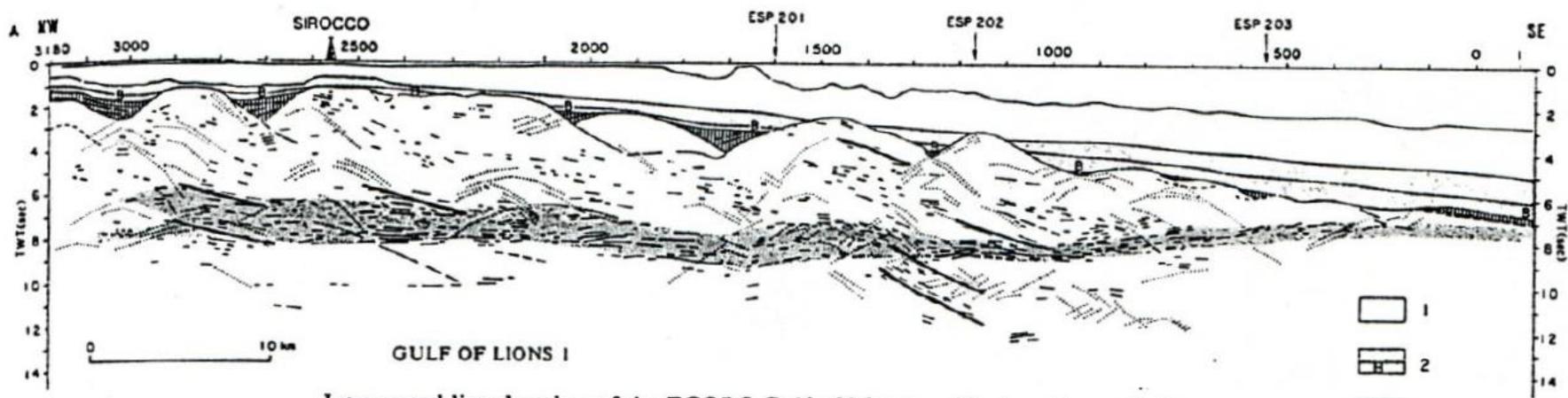
ECORS-CROP IN WESTERN MEDITERRANEAN



Interpreted line-drawings of the NW-SE ECORS-CROP transect (see Figure 1 for location). Circled numbers on top refer to the domains defined in the text. Approximate positions of ESP's center point and crossing with other seismic lines are indicated on top of each drawing. No vertical exaggeration for velocity of 5 km/s.
 2a. migrated portion of line ECORS NW; Vg and PCg are the Vistrenque and Petite Camargue grabens

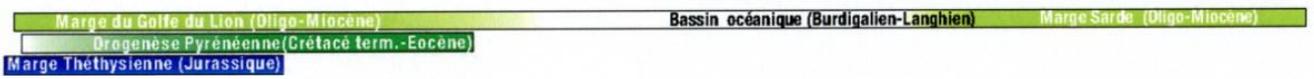
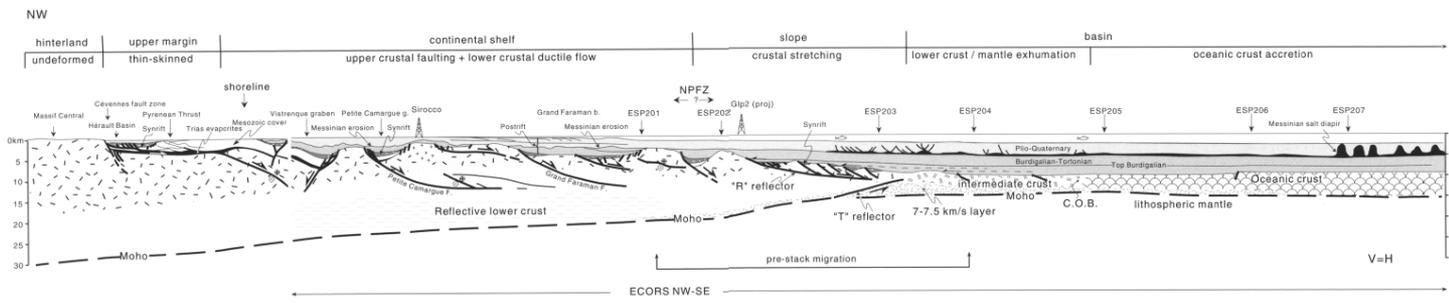


(De Voogt et al., 1993)

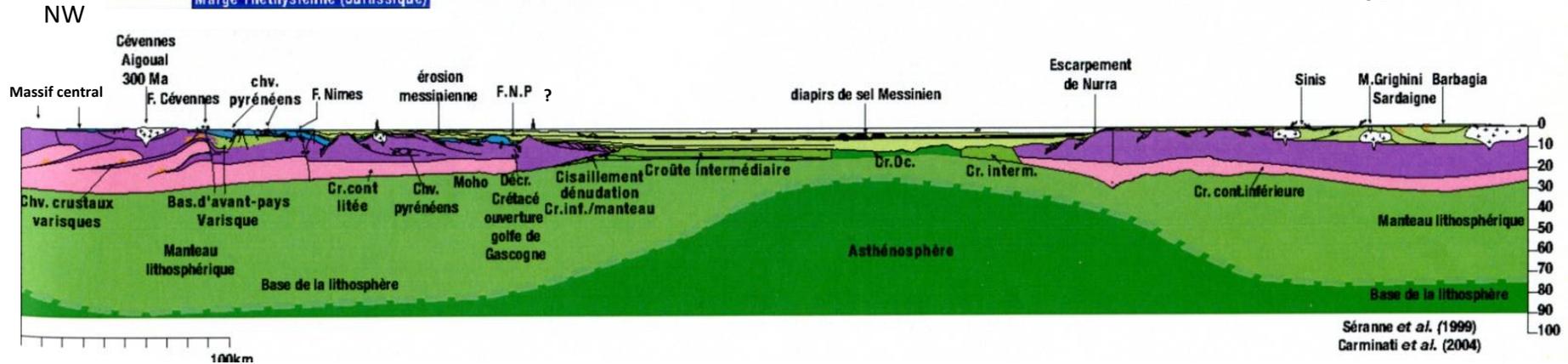


Interpreted line drawing of the ECORS Gulf of Lions profile (unmigrated). See location in Fig. 1. Dotted line = diffraction; 1 = late Miocene-Recent; 2 = Miocene (B = Burdigalian); 3 = Oligocene-Aquitainian; 4 = layered lower crust; 5 = main dipping reflections interpreted as Pyrenean-Provençal thrusts; 6 = borehole.

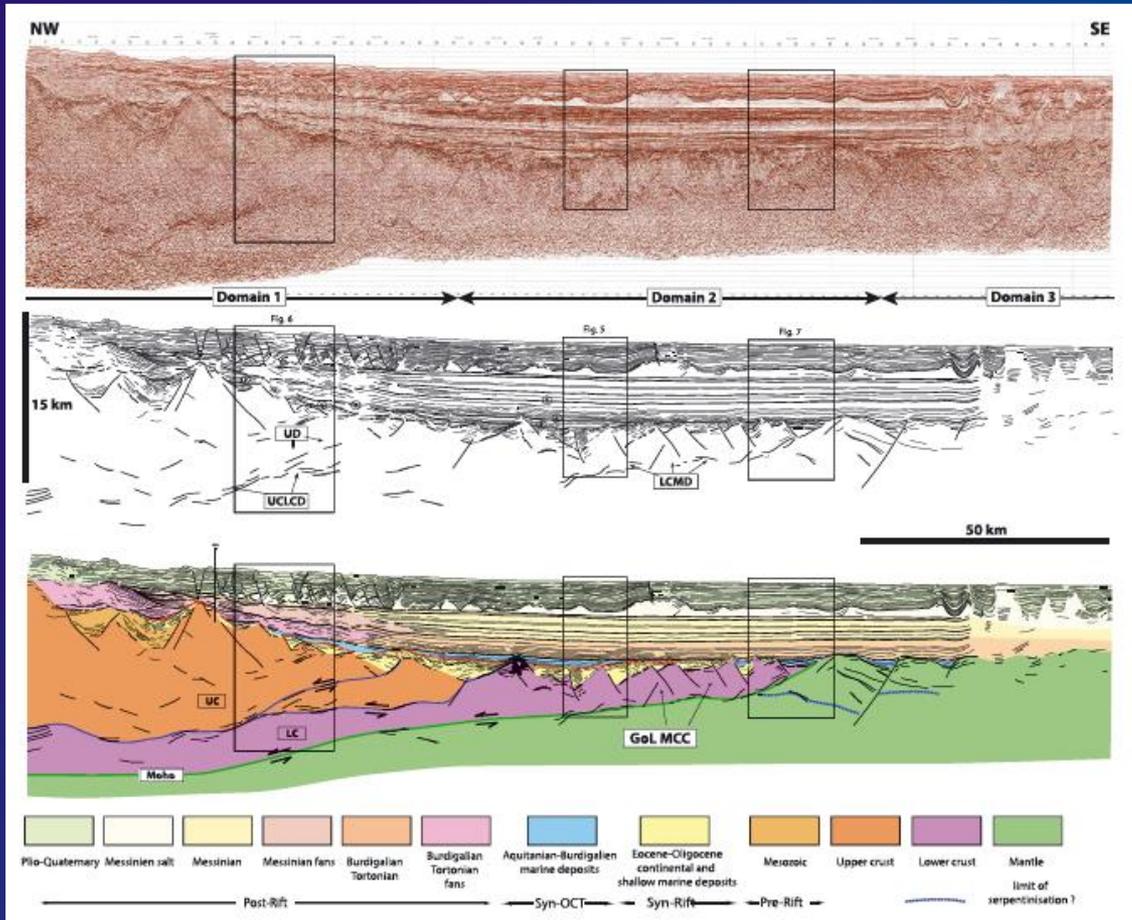
Bois et al., 1993



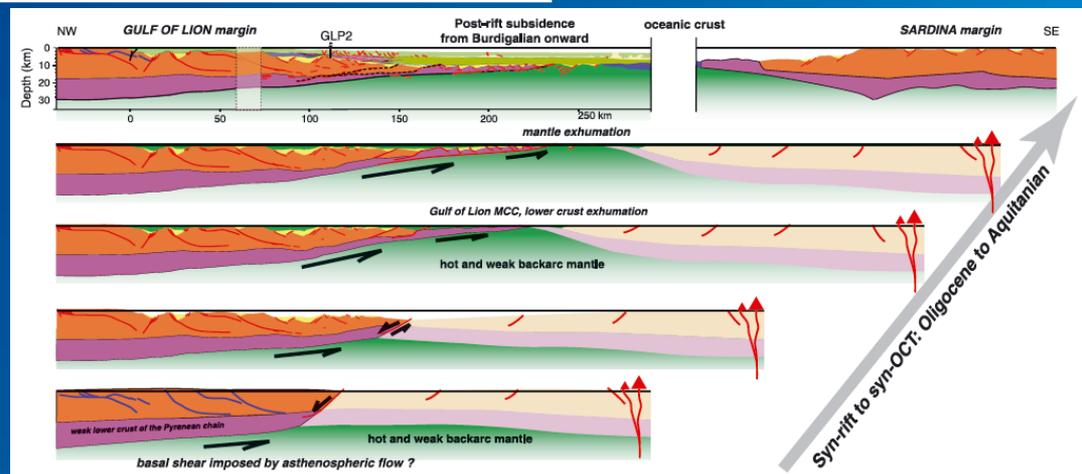
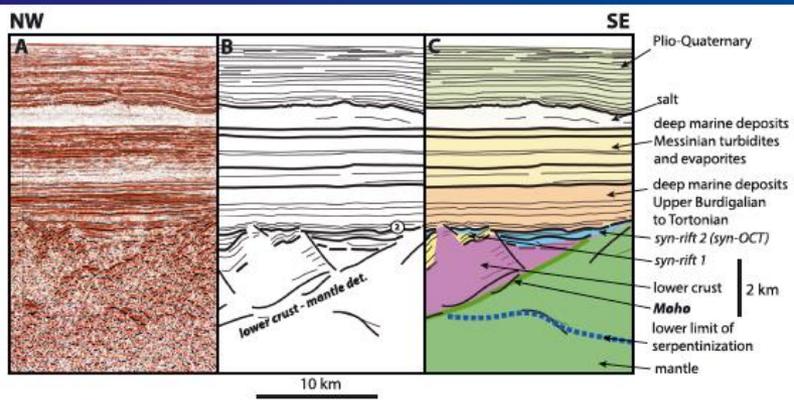
SE

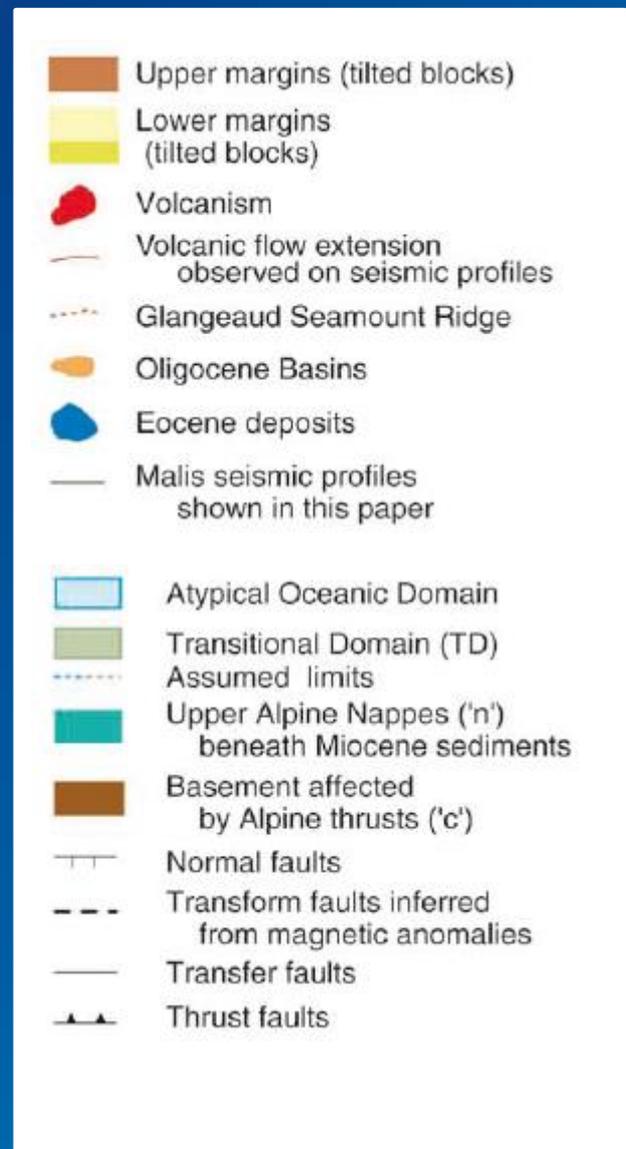
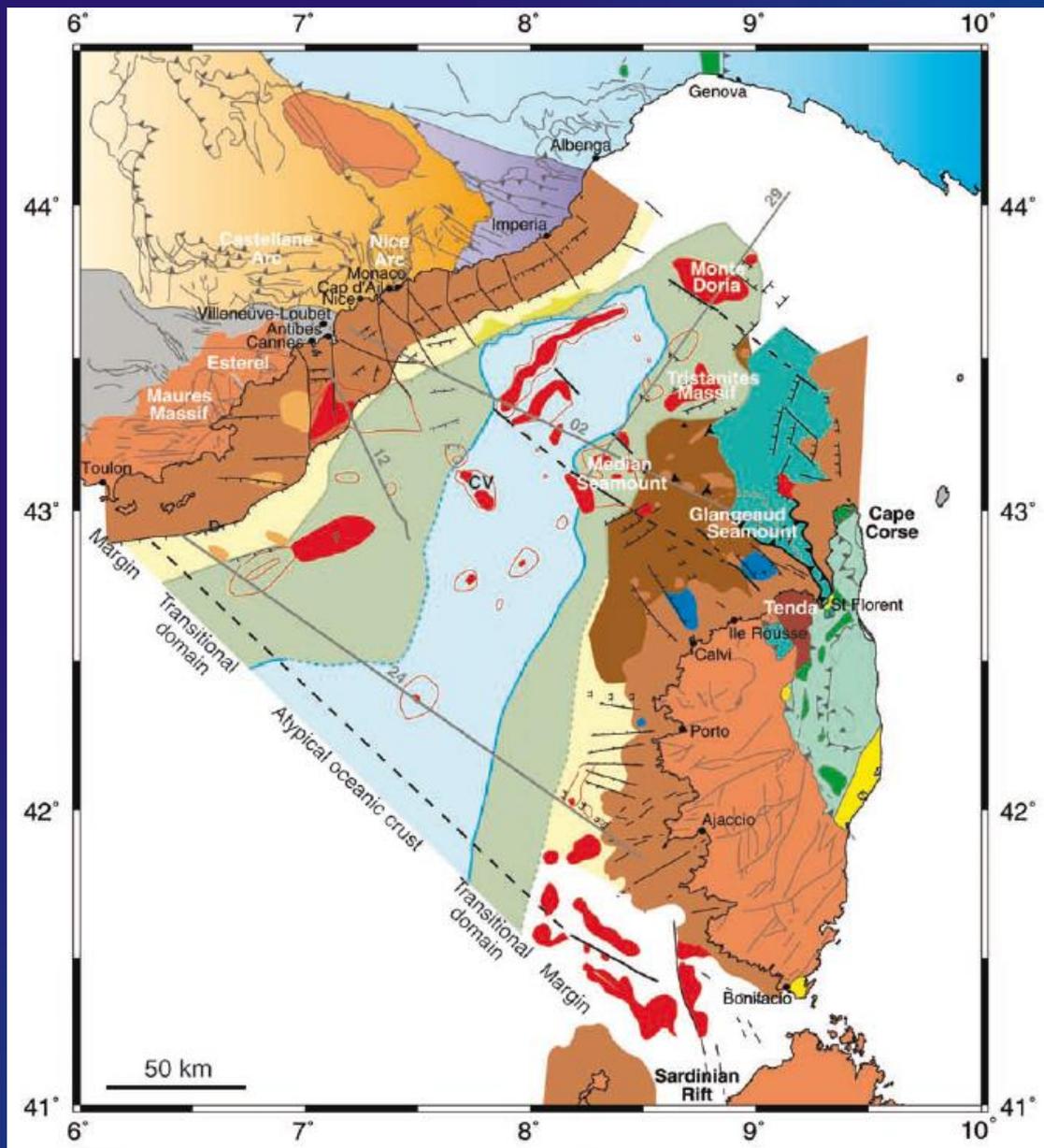


Séranne et al. (1999)
Carminati et al. (2004)

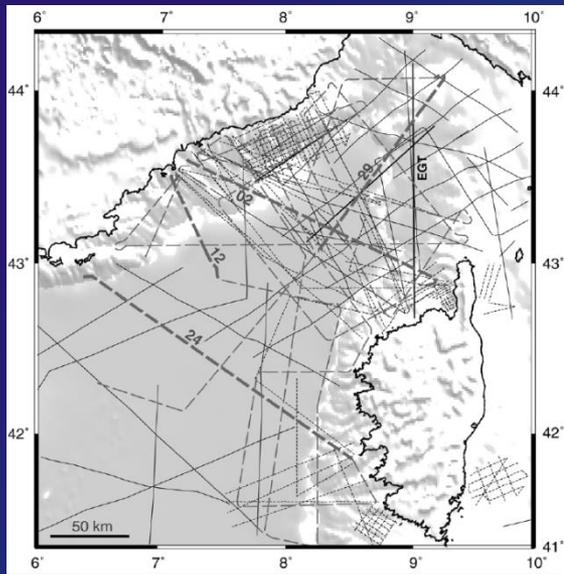
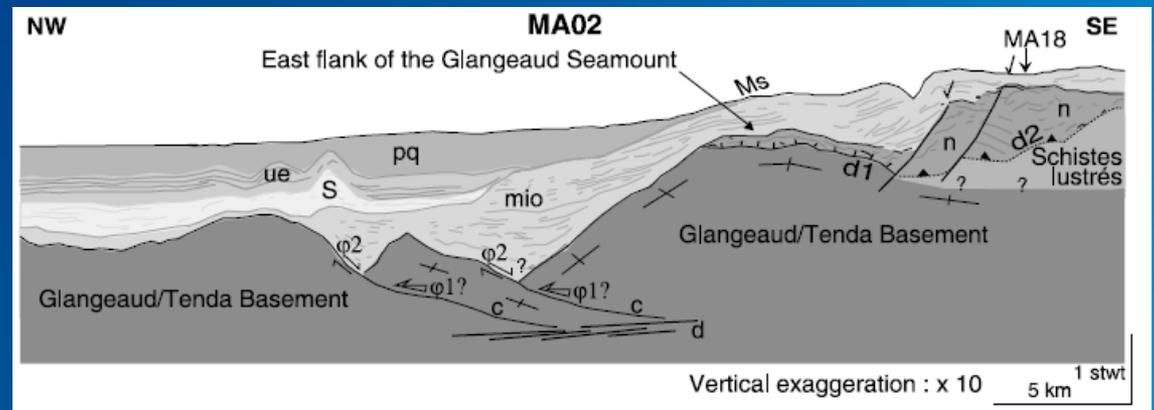
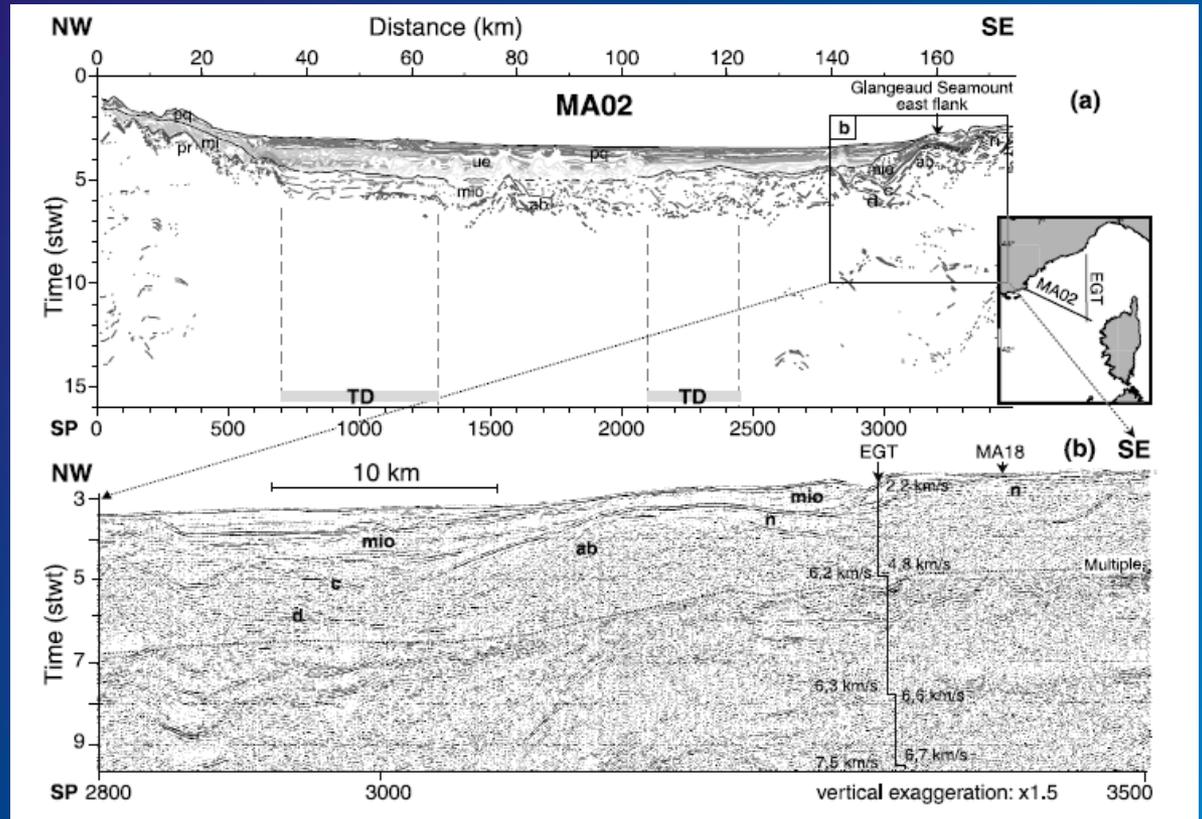


(Jolivet et al.)





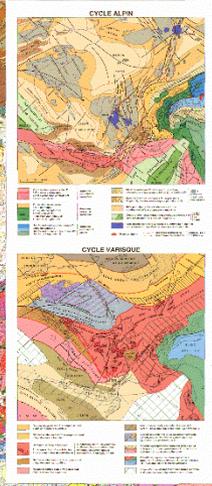
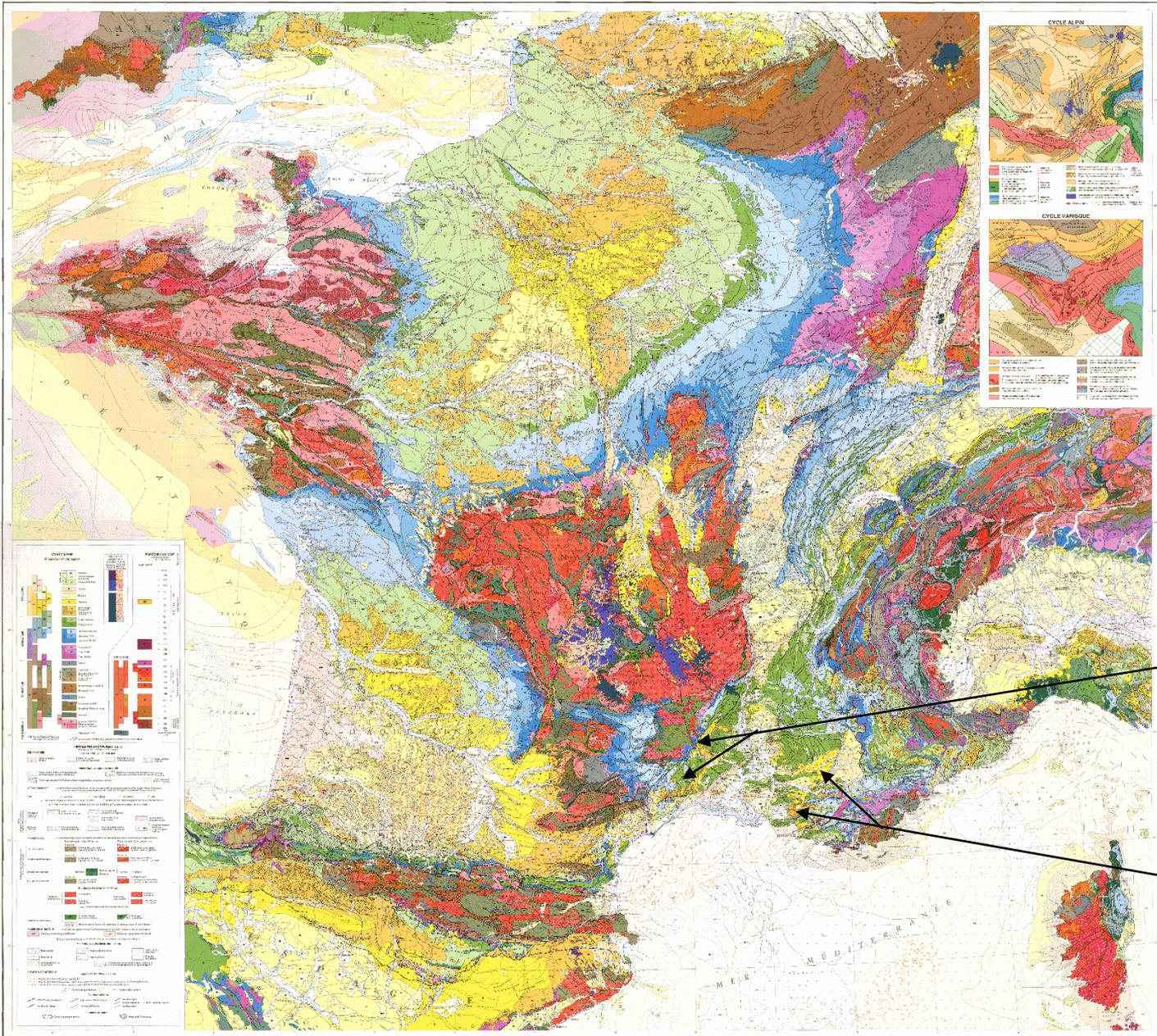
(Rollet et al., 2002)



CARTE GÉOLOGIQUE DE LA FRANCE

à l'échelle du millionième
D'édifice

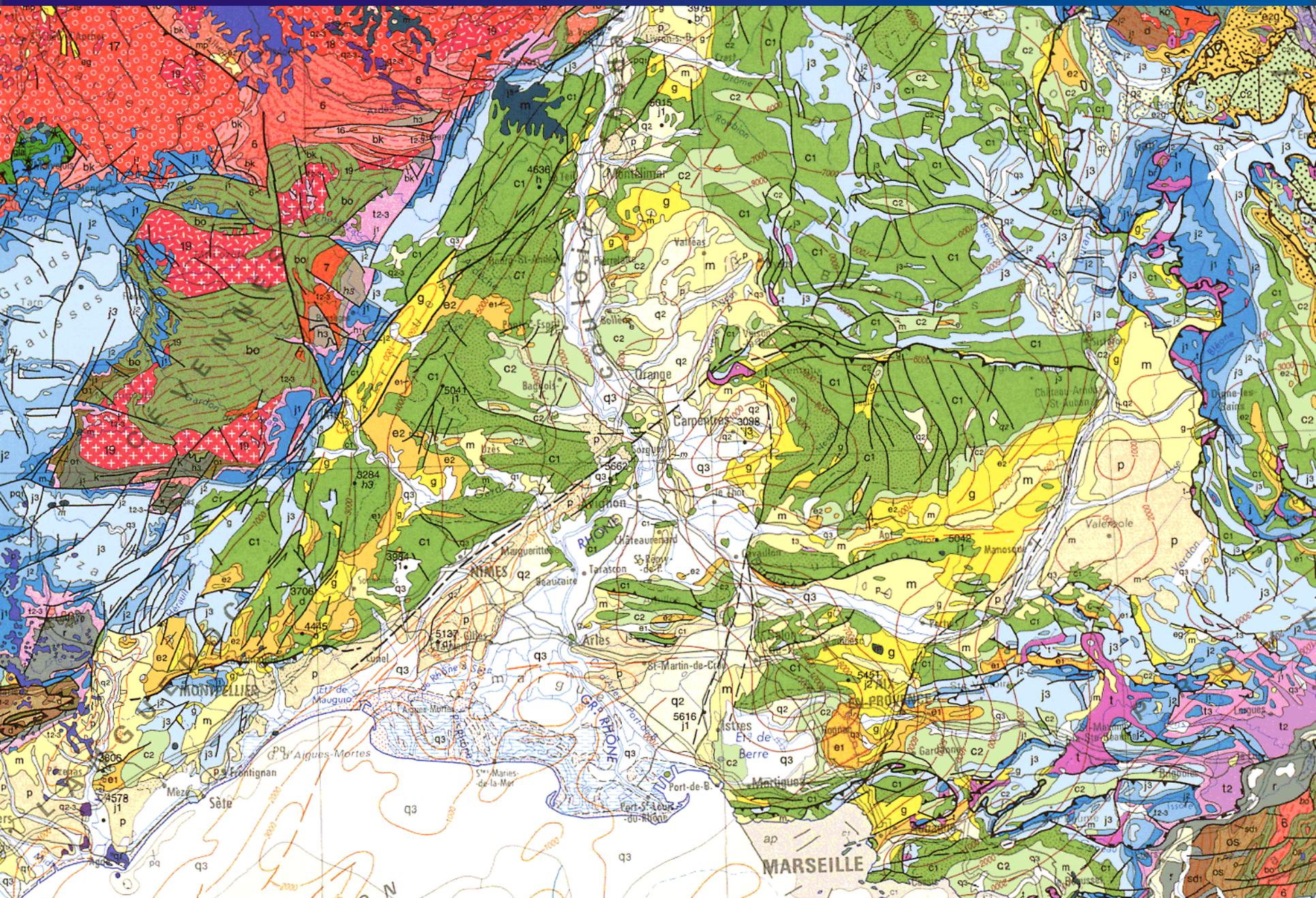
Le 1/500 000 est la carte géologique de France à l'échelle du millionième. Elle est publiée par le BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières) et le BRG (Bureau de Recherches Géologiques et Minières). Elle est la base de toutes les cartes géologiques de la France à l'échelle du millionième. Elle est publiée en 10 volumes, couvrant toute la France métropolitaine. Elle est la base de toutes les cartes géologiques de la France à l'échelle du millionième.

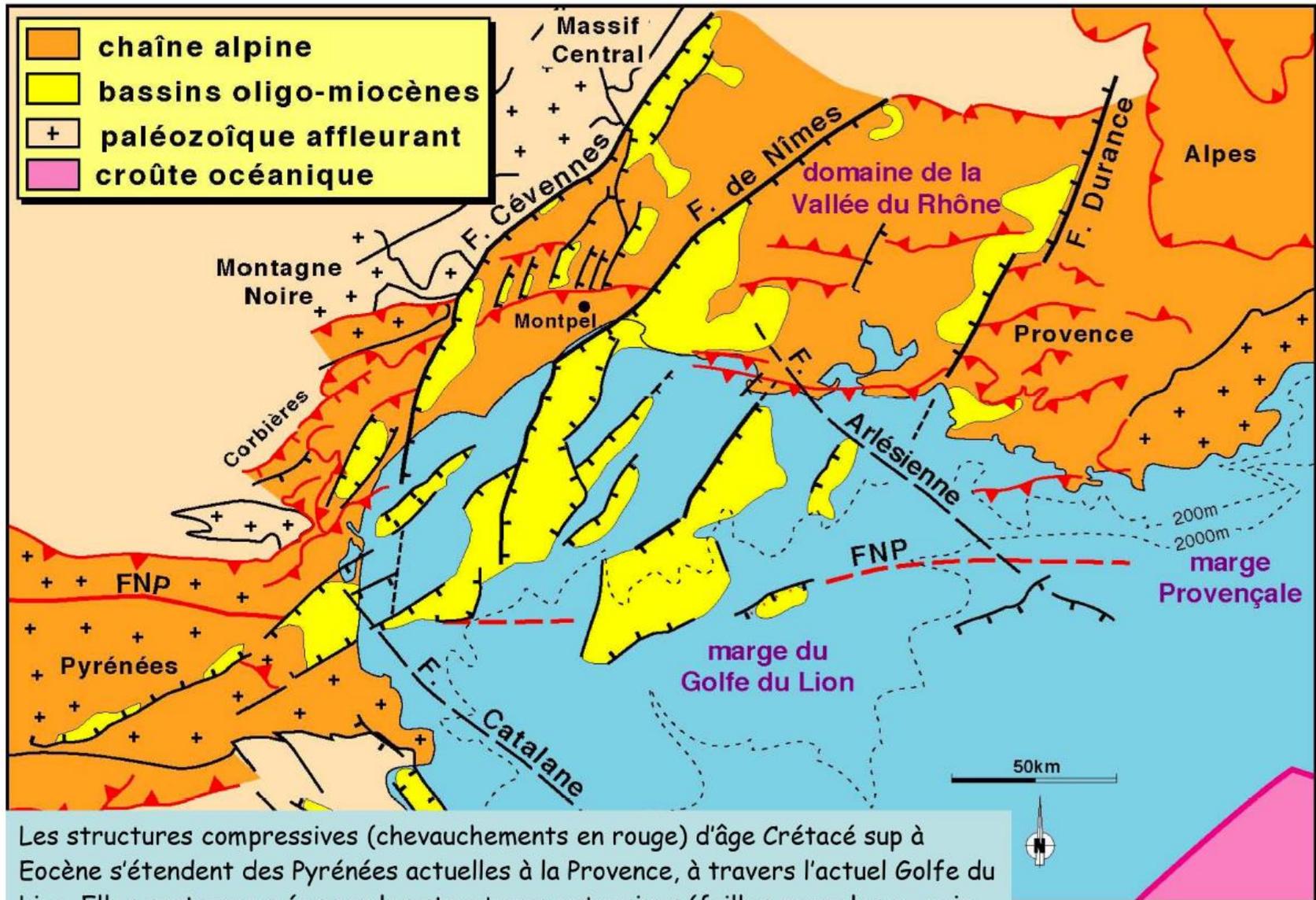


Fossé d'Alès et fossés languedociens

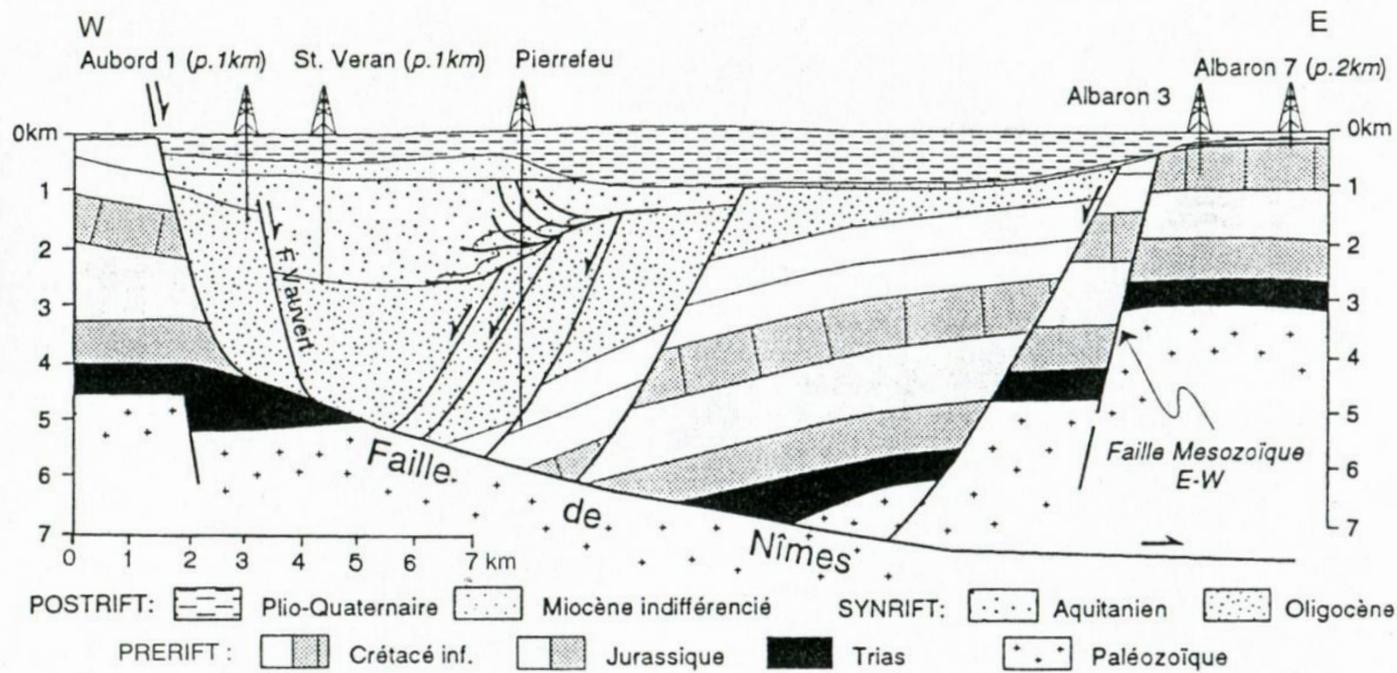
Bassins de Manosque, d'Aix et de Marseille

BRGM - Bureau de Recherches Géologiques et Minières
BRG - Bureau de Recherches Géologiques et Minières
BRGM - Bureau de Recherches Géologiques et Minières
BRG - Bureau de Recherches Géologiques et Minières
BRGM - Bureau de Recherches Géologiques et Minières
BRG - Bureau de Recherches Géologiques et Minières
BRGM - Bureau de Recherches Géologiques et Minières
BRG - Bureau de Recherches Géologiques et Minières

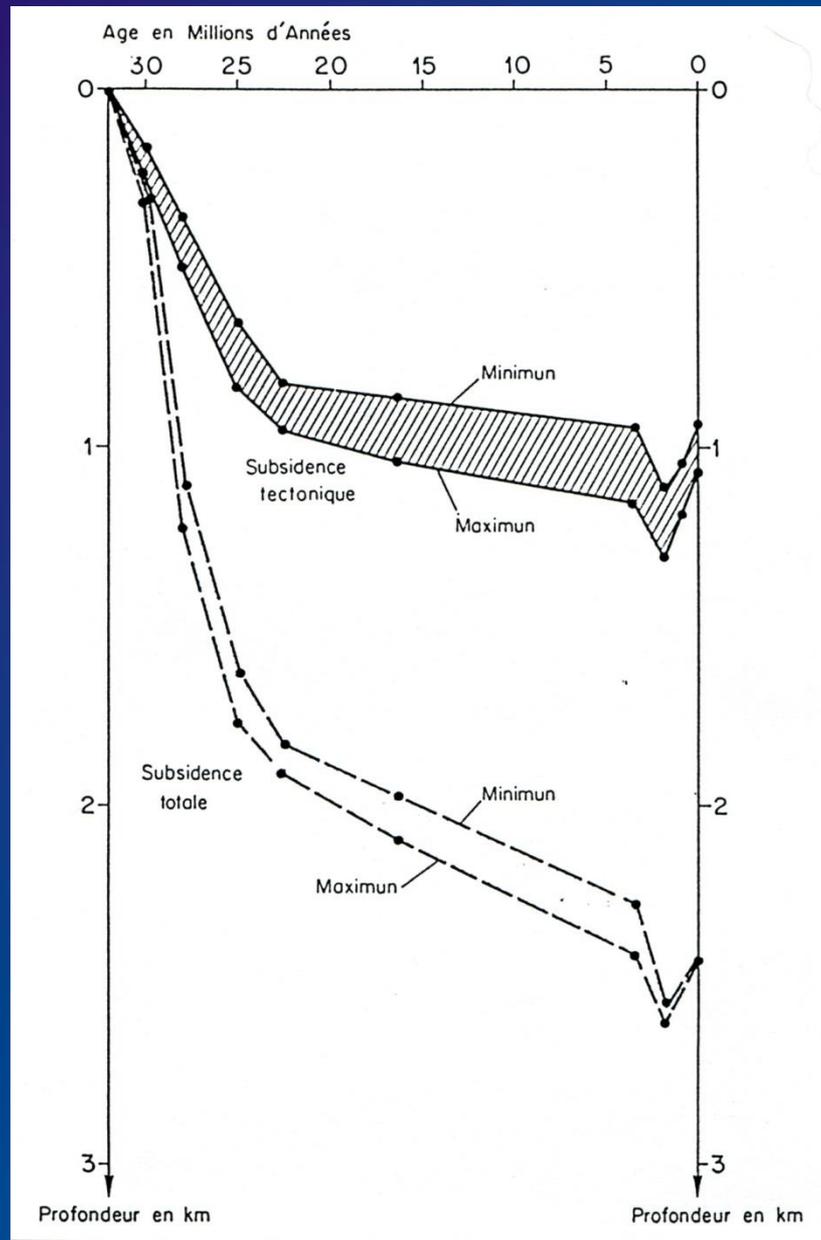




Les structures compressives (chevauchements en rouge) d'âge Crétacé sup à Eocène s'étendent des Pyrénées actuelles à la Provence, à travers l'actuel Golfe du Lion. Elles sont recoupées par les structures extensives (failles normales en noir et bassins syn-rift en jaune) du rifting Oligocène.



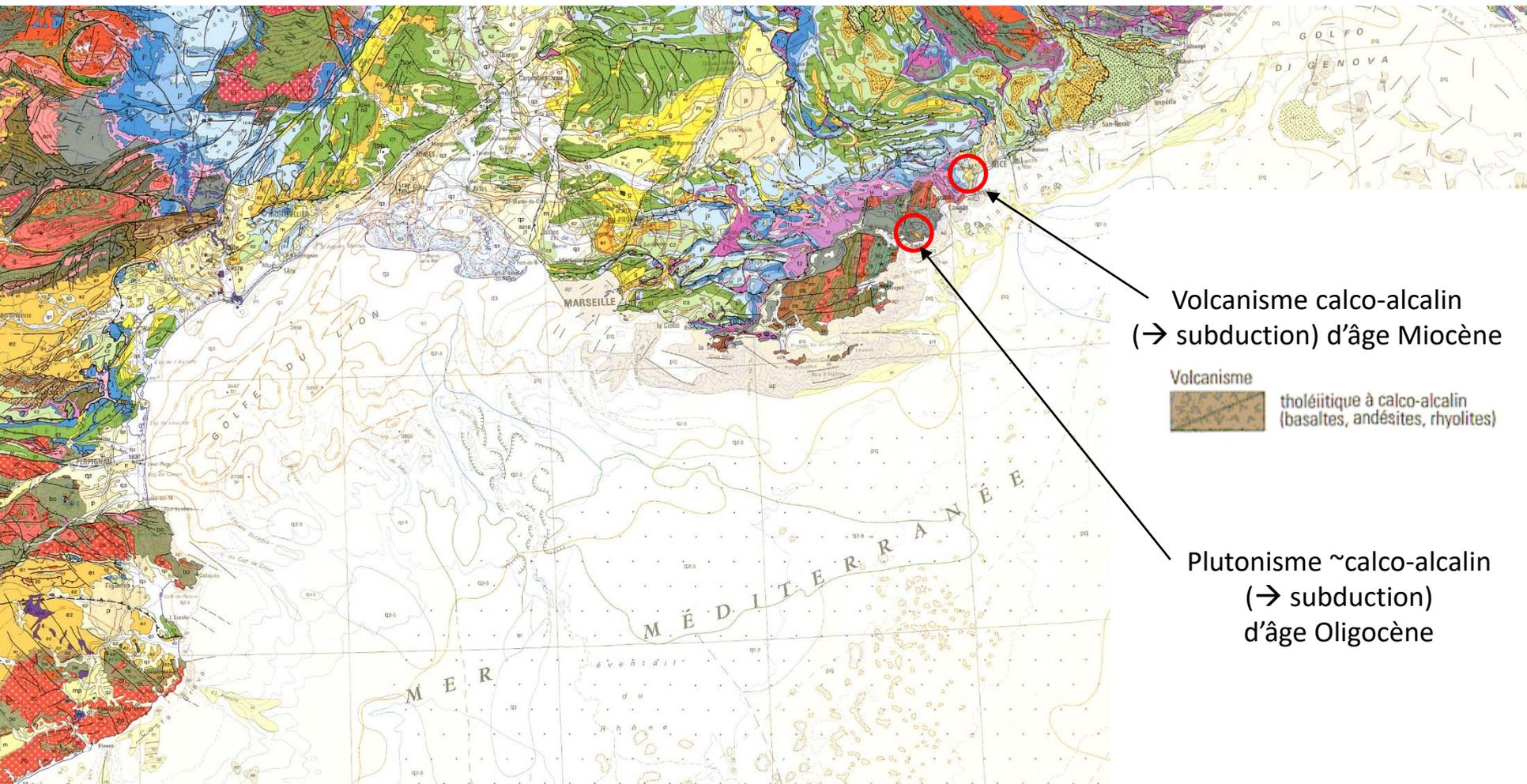
Coupe du fossé de Pierrefeu né à l'Oligocène. Trois forages proches ont été projetés sur le plan de coupe (p. km). D'après Valette et Benedicto, 1995.



(Boillot et al.)

III. La marge oligo-miocène algéro-provençale :
lien avec l'histoire de la
Méditerranée occidentale

Genèse et histoire de la marge



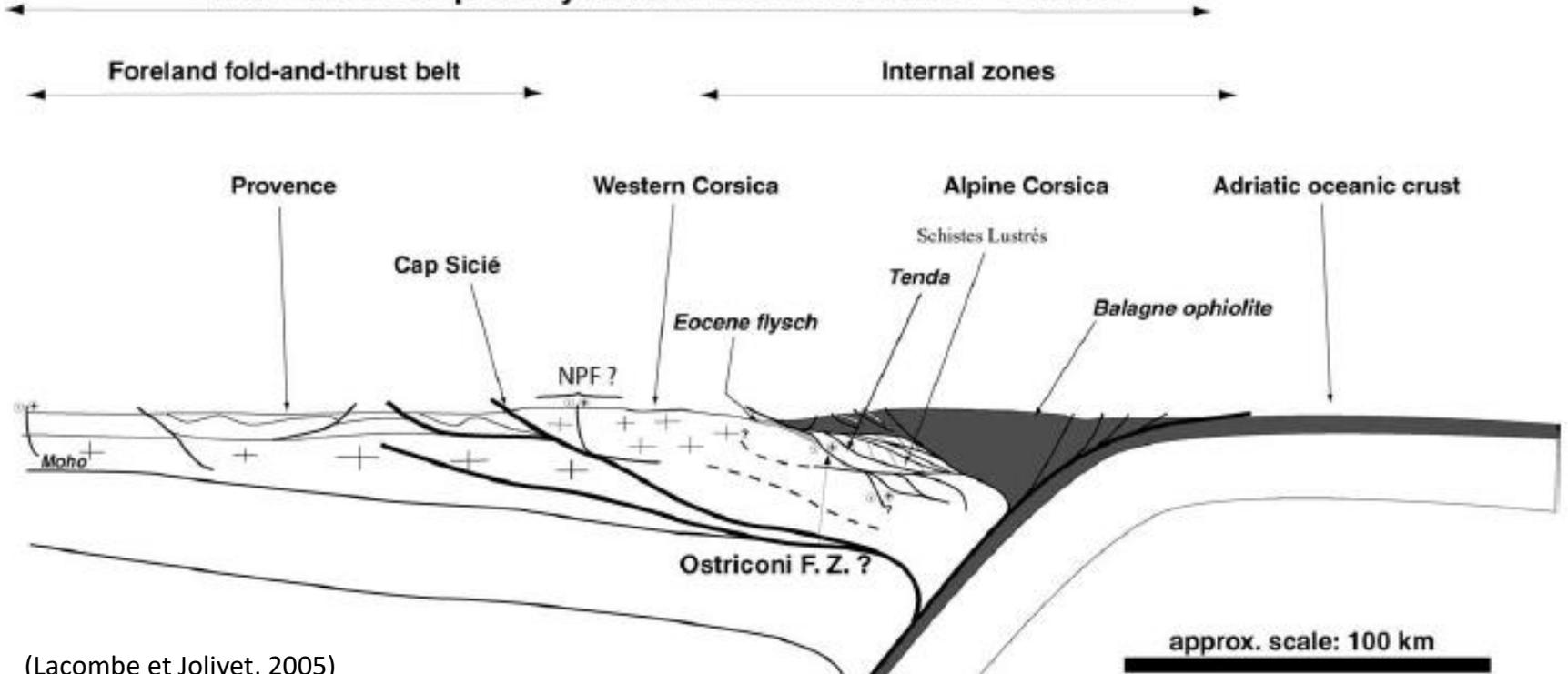
Volcanisme calco-alcalin
(→ subduction) d'âge Miocène

Volcanisme
tholéiitique à calco-alcalin
(basaltes, andésites, rhyolites)

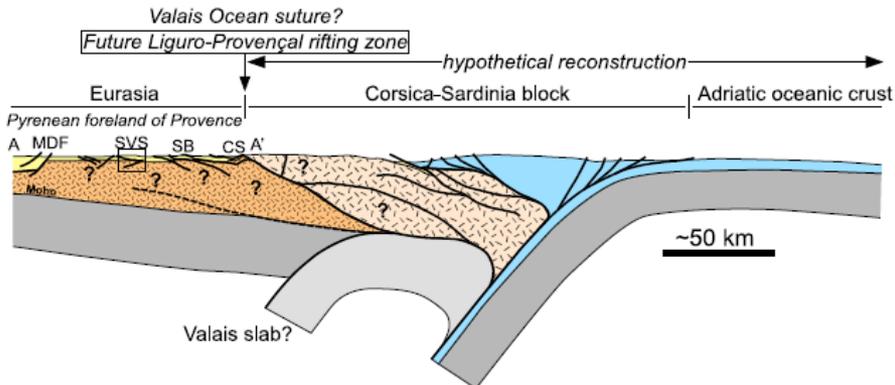
Plutonisme ~calco-alcalin
(→ subduction)
d'âge Oligocène

Rifting Oligocène sup-Miocène inf., océanisation Miocène inf.- moyen

Late Eocene Alpine-Pyrenean belt of Provence - Corsica

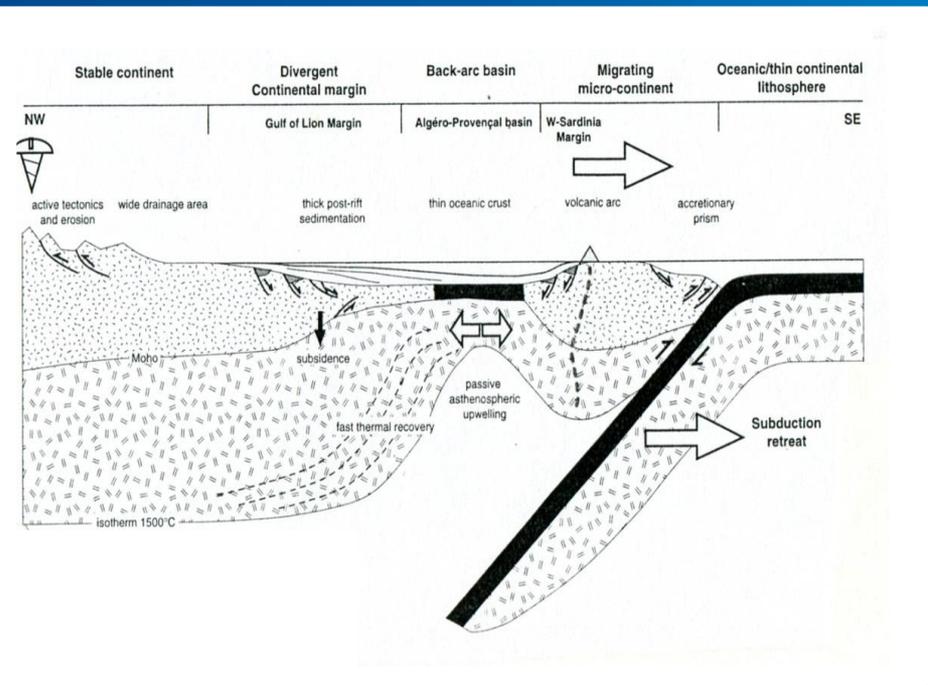
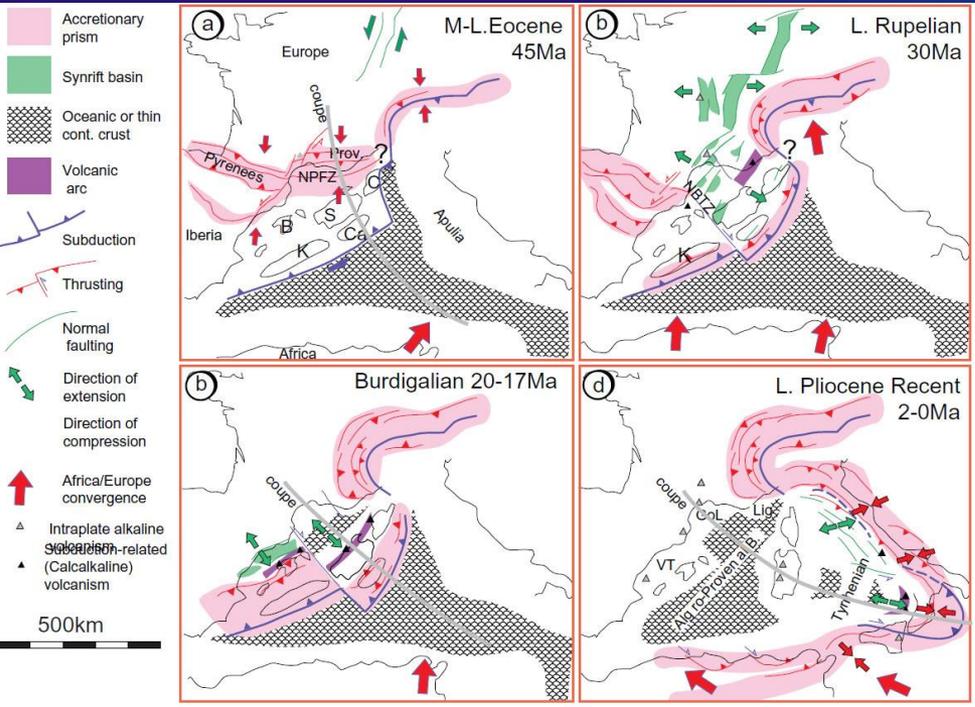


(Lacombe et Jolivet, 2005)

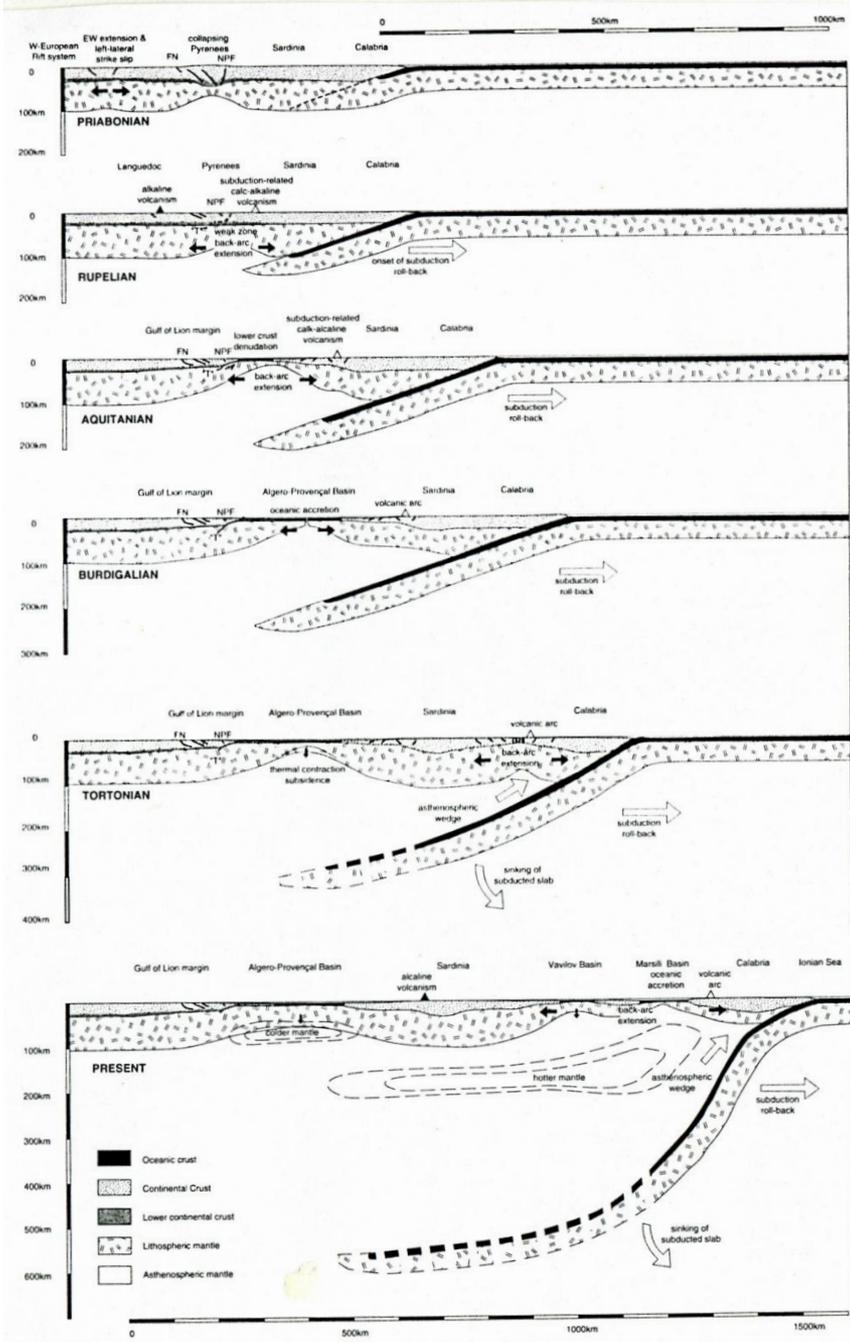


(Espurt et al., 2012)

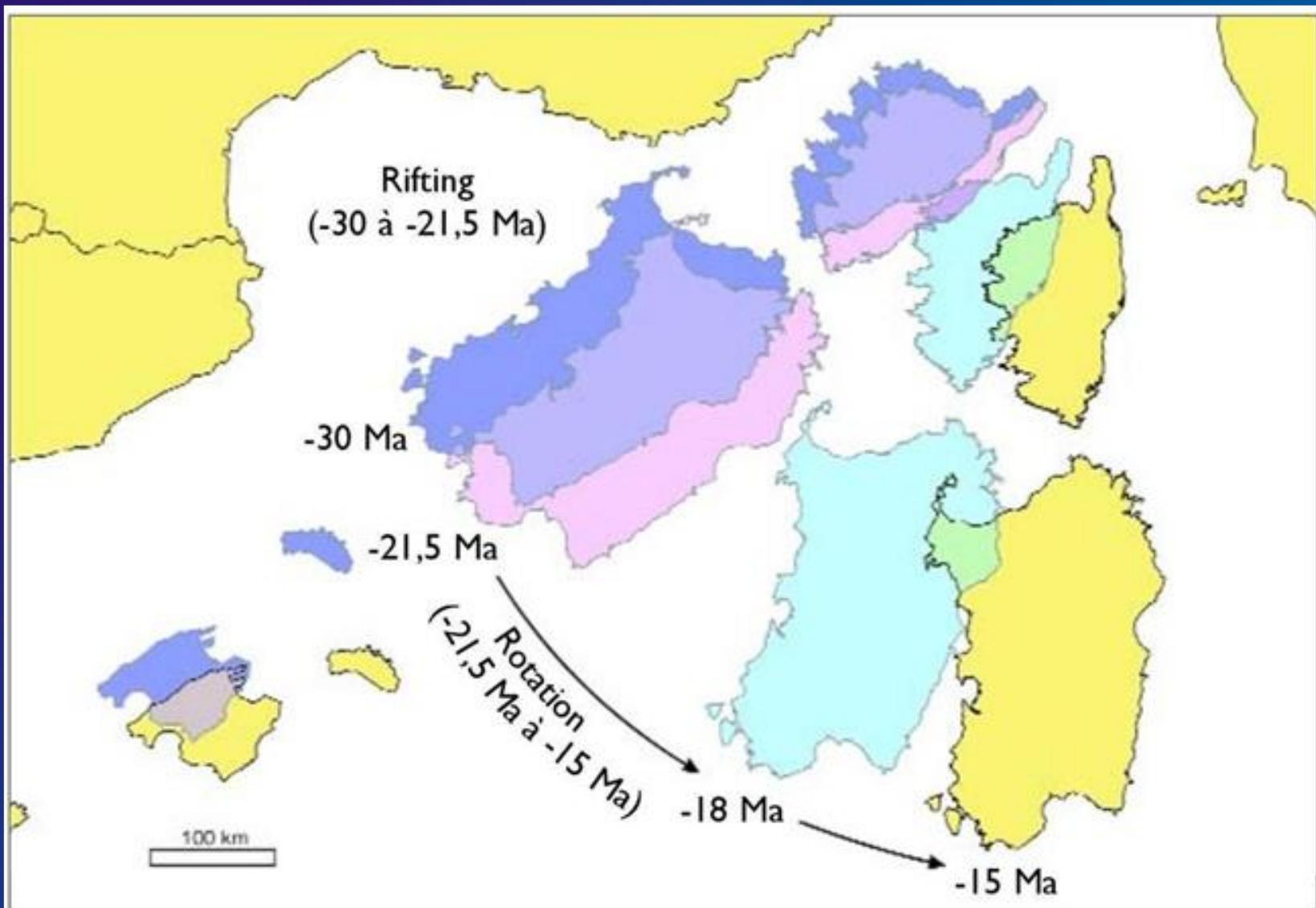
Modèle d'ouverture du bassin océanique algéro-provençal et de la marge passive du Golfe du lion à l'Oligocène-Miocène



(Seranne, 1995)

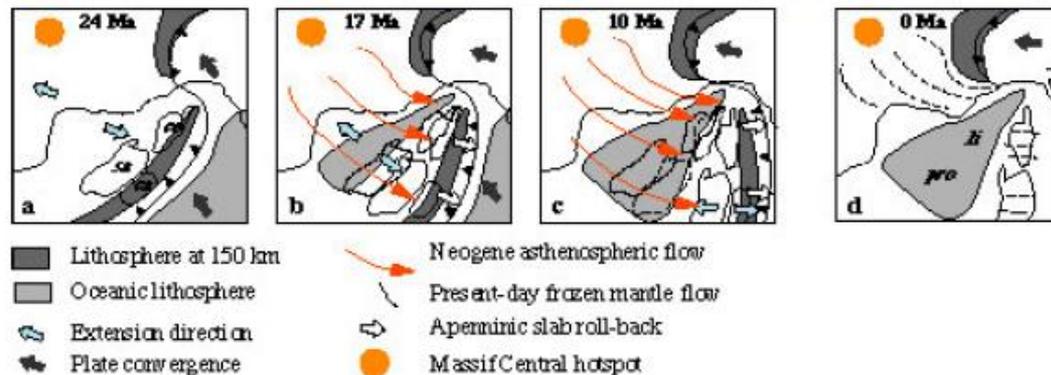
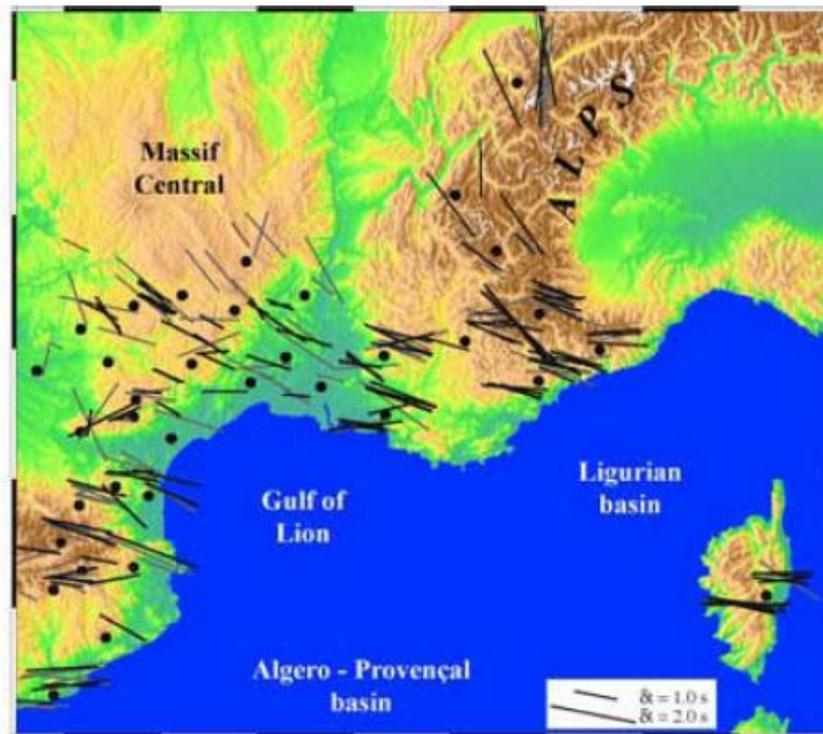


(Seranne, 1995)

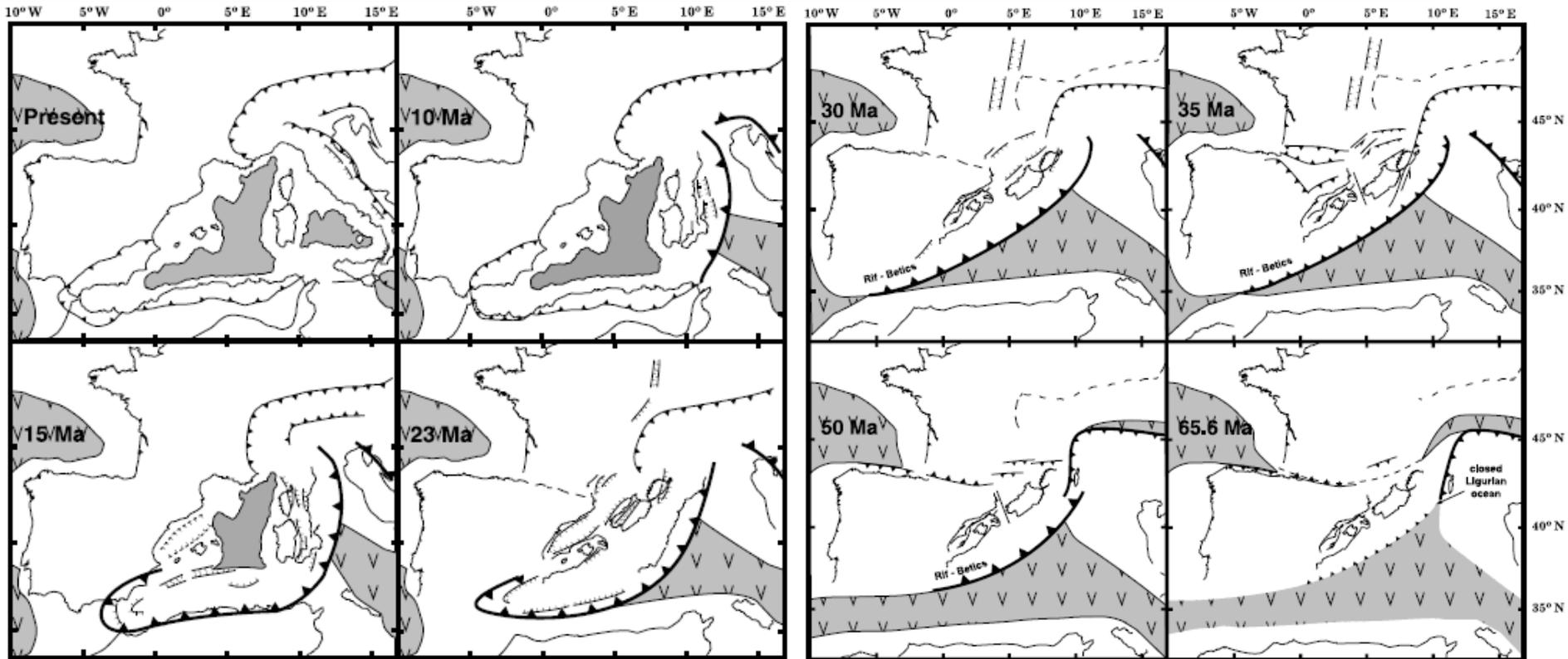


Rotation du bloc corso-sarde, d'après Gattacceca et al., 2007.

(Barruol et Granet, 2002)

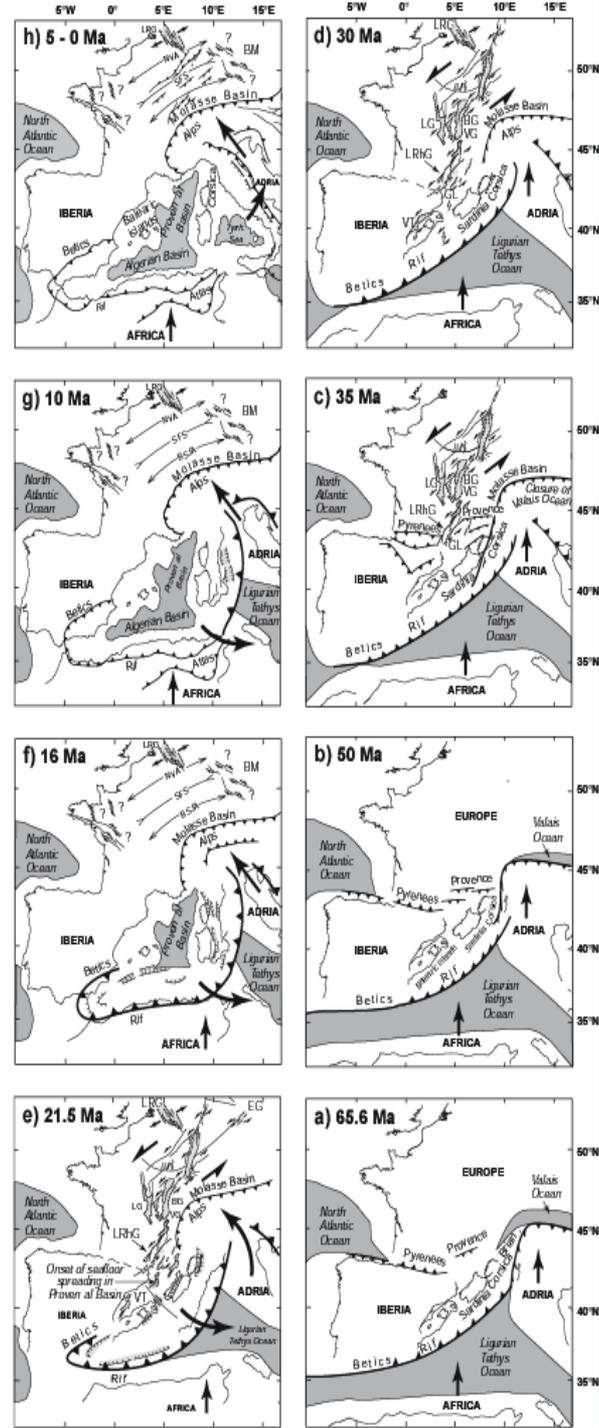


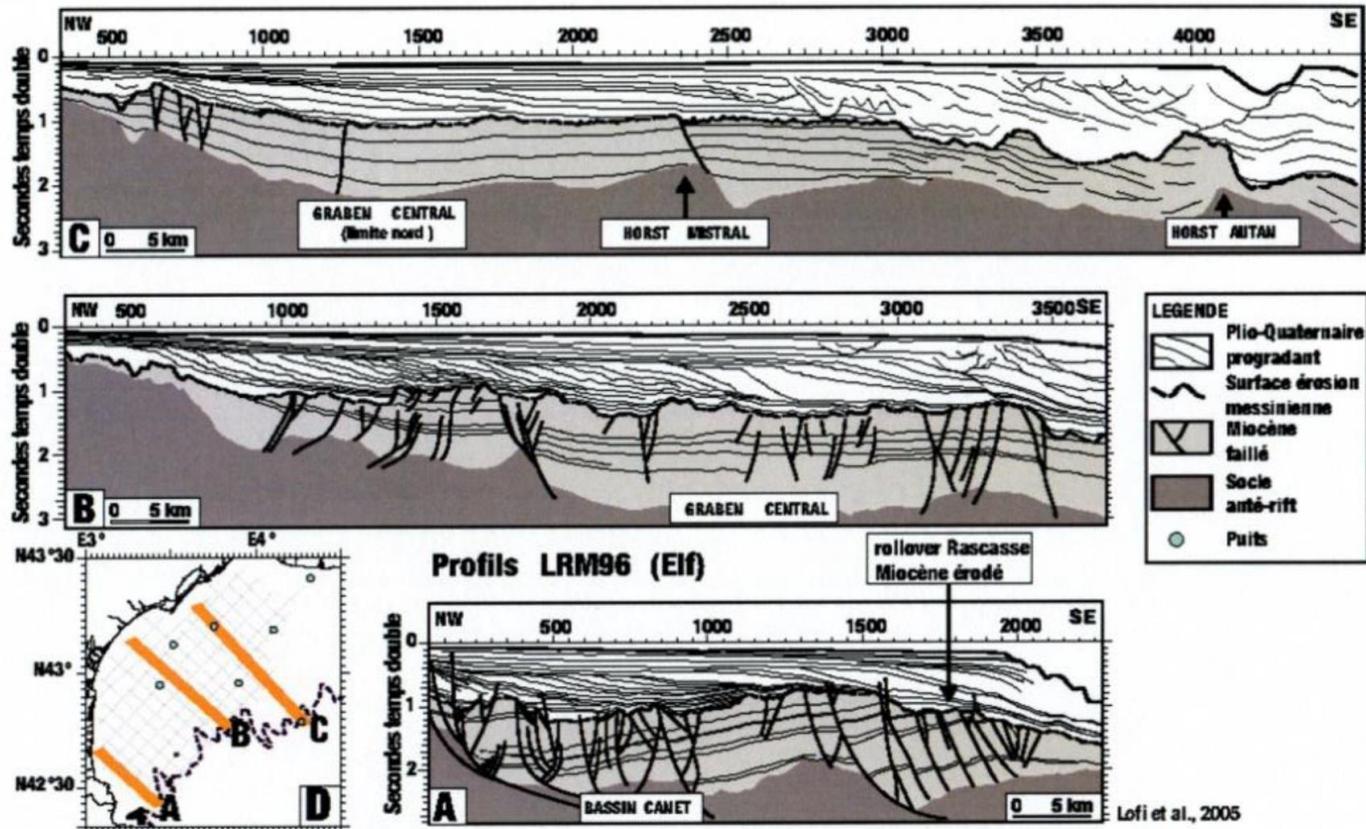
l'anisotropie du manteau soit liée au fluage asthénosphérique Tertiaire généré par la rotation du bloc Corso-Sarde et les ouvertures des bassins océaniques de la Méditerranée occidentale induites par le retrait vers le SE du slab Téthysien, fluage probablement facilité par la présence du point chaud sous le Massif Central. Les rotations apparentes des directions de fluage sous les Alpes externes suggèrent que la racine lithosphérique des Alpes ait pu défléchir et canaliser ce flux mantellique.



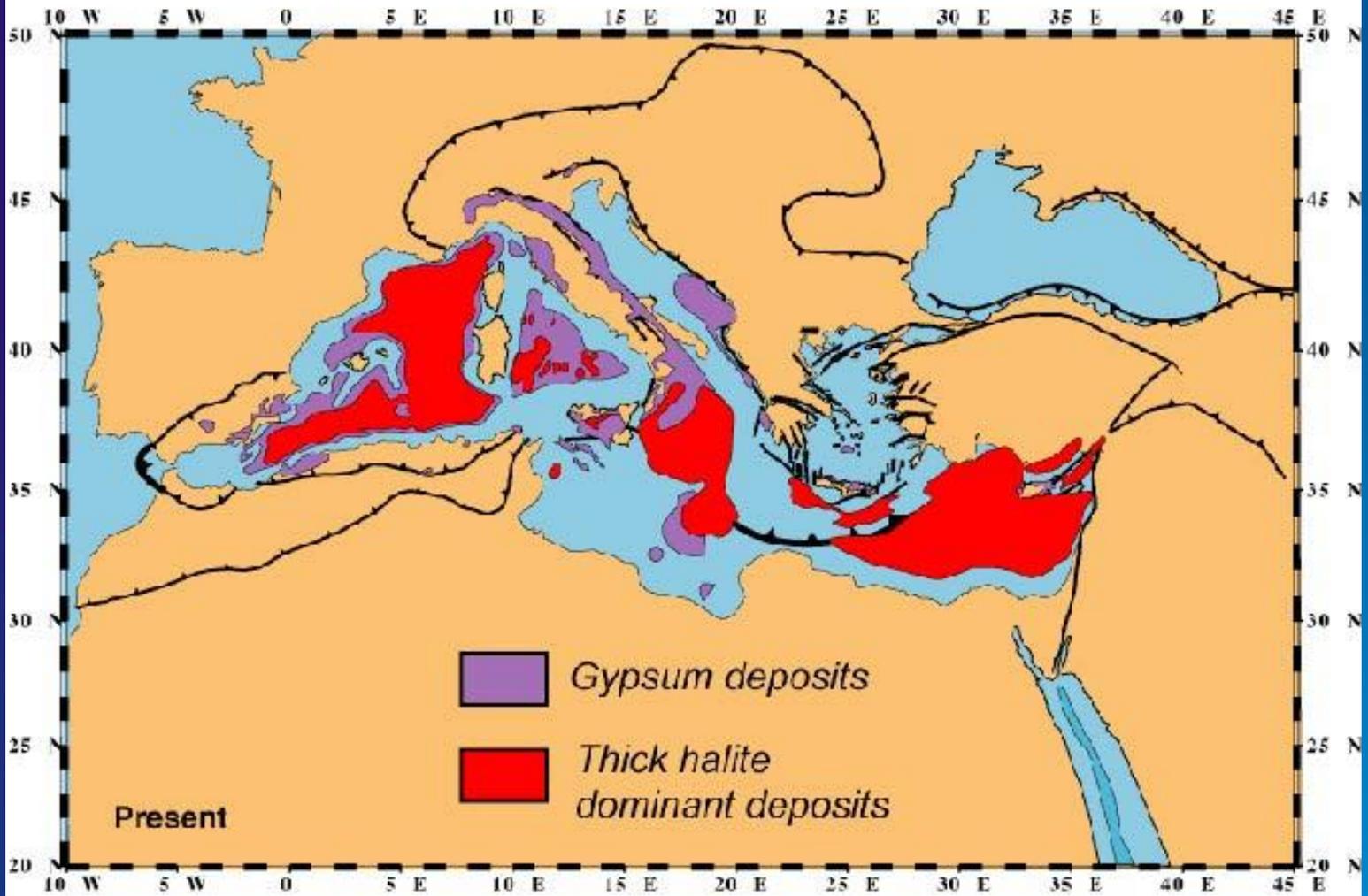
(Lacombe et Jolivet, 2005)

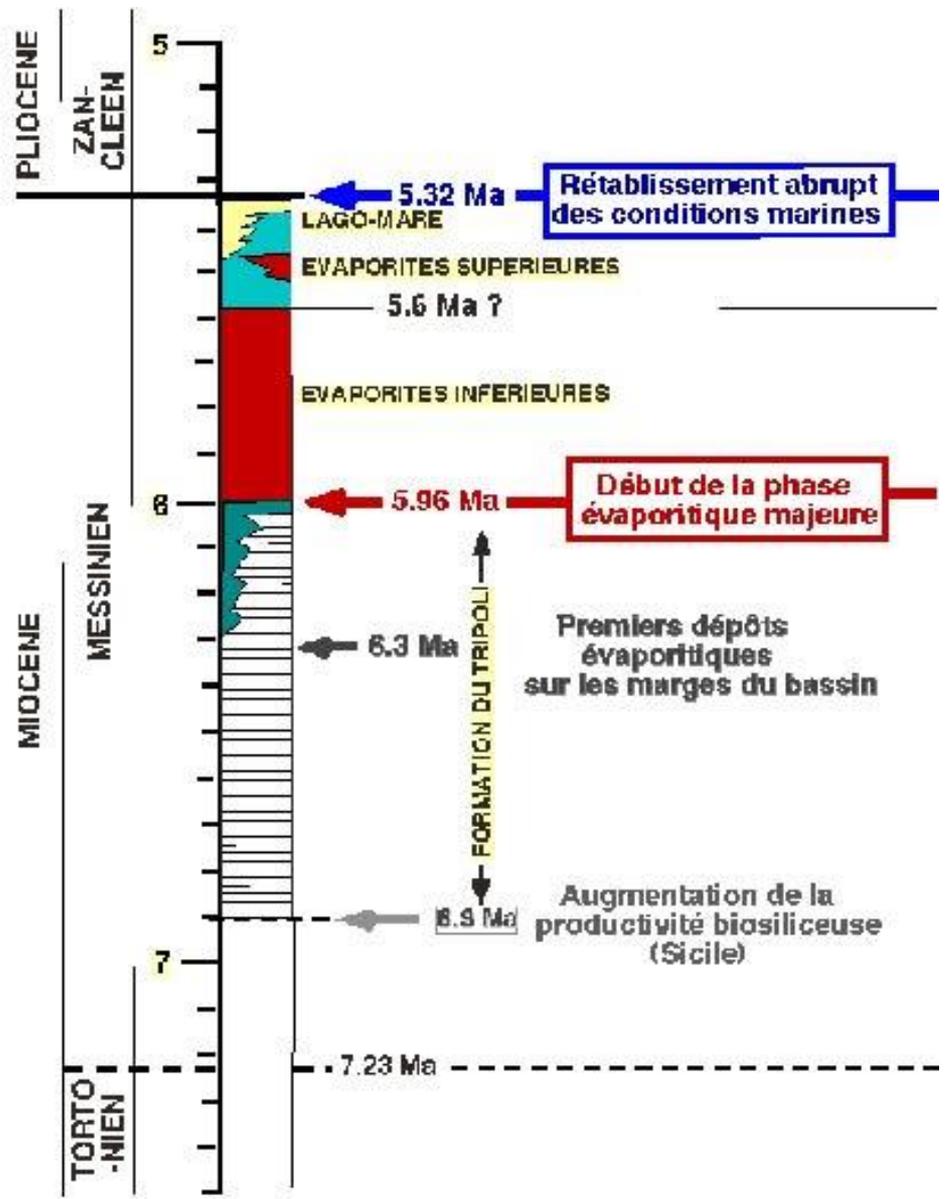
Structural maps showing the evolution of the Alpine orogen and of its foreland during the Cenozoic. Geodynamic evolution of Mediterranean region after Lacombe and Jolivet (2005); location and geometry of faults in foreland after Dézes et al. (2004). Development of Jura thin-skinned fold-and-thrust belt (from 11 Ma onwards) not shown for clarity of drawing. NVA Normandy-Vogelsberg Anticline, BSJA Burgundy-Swabian Jura Anticline, BG Bresse Grabens, BM Bohemian Massif, EG Eger Graben, GL Gulf of Lion, LG Limagne Graben, LRG Lower Rhine Graben, LRhG Lower Rhone Grabens, SFS Sologne-Franconian Basin Syncline, VT Valencia Trough





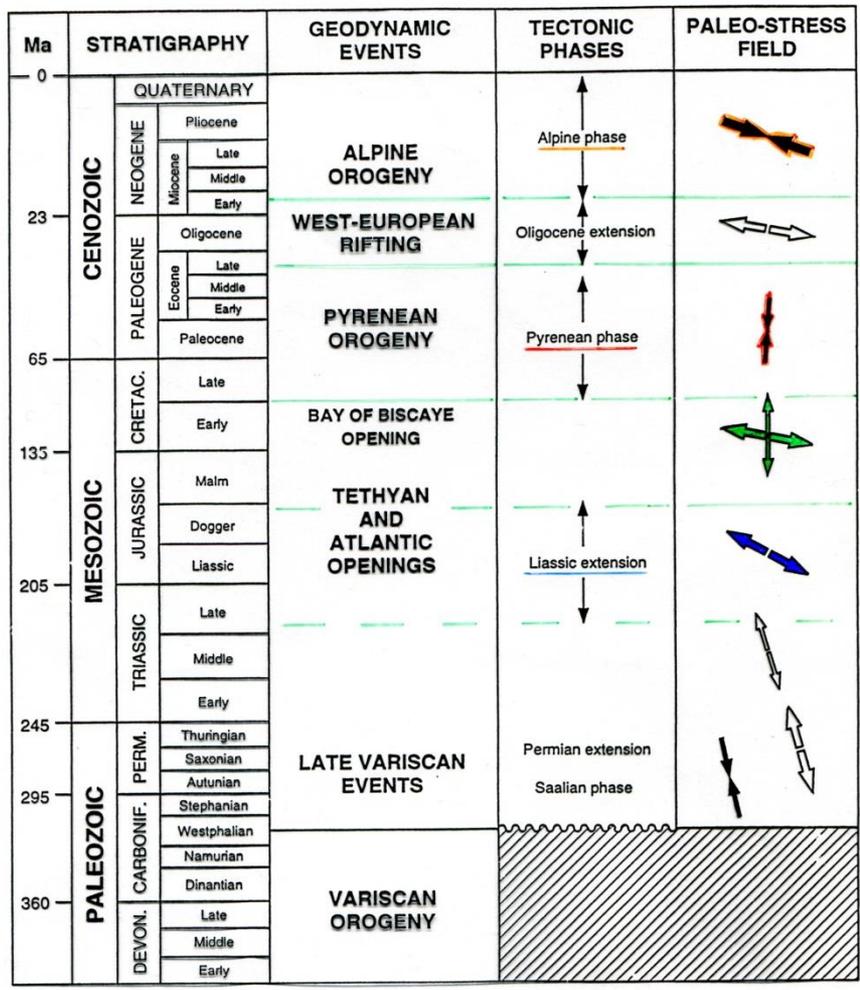
Trois coupes synthétiques dans la marge du golfe du Lion selon trois transects parallèles A, B, C montrant le style variable des structures tectoniques accommodant l'extension (failles listriques, grands panneaux de socle basculés).





Bilan sur les épisodes extensifs méso-cénozoïques en France :

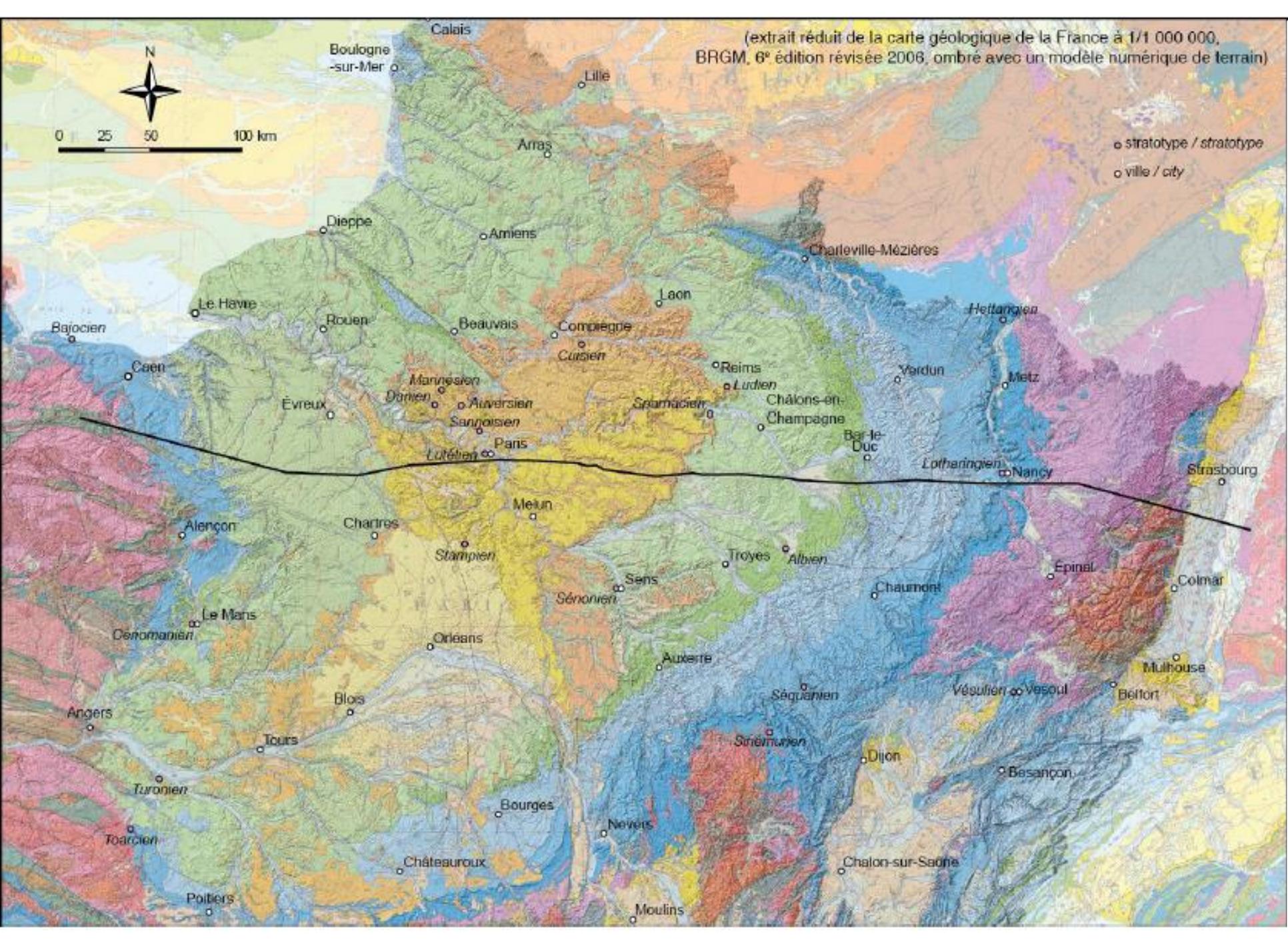
- *Extension jurassique inf, conduisant à l'ouverture du bassin liguro-piémontais dans le domaine alpin**
- *Extension crétacée conduisant à l'ouverture du Golfe de Gascogne et à l'hyper-amincissement de la croûte continentale dans le domaine pyrénéen (et valaisan)**
- *Extension éocène sup-oligocène donnant naissance aux fossés du Rift ouest-européen**
- *Extension oligo-miocène (partiellement contemporaine du, et interférant avec, le rifting ouest-européen) conduisant à l'ouverture de la Méditerranée occidentale**

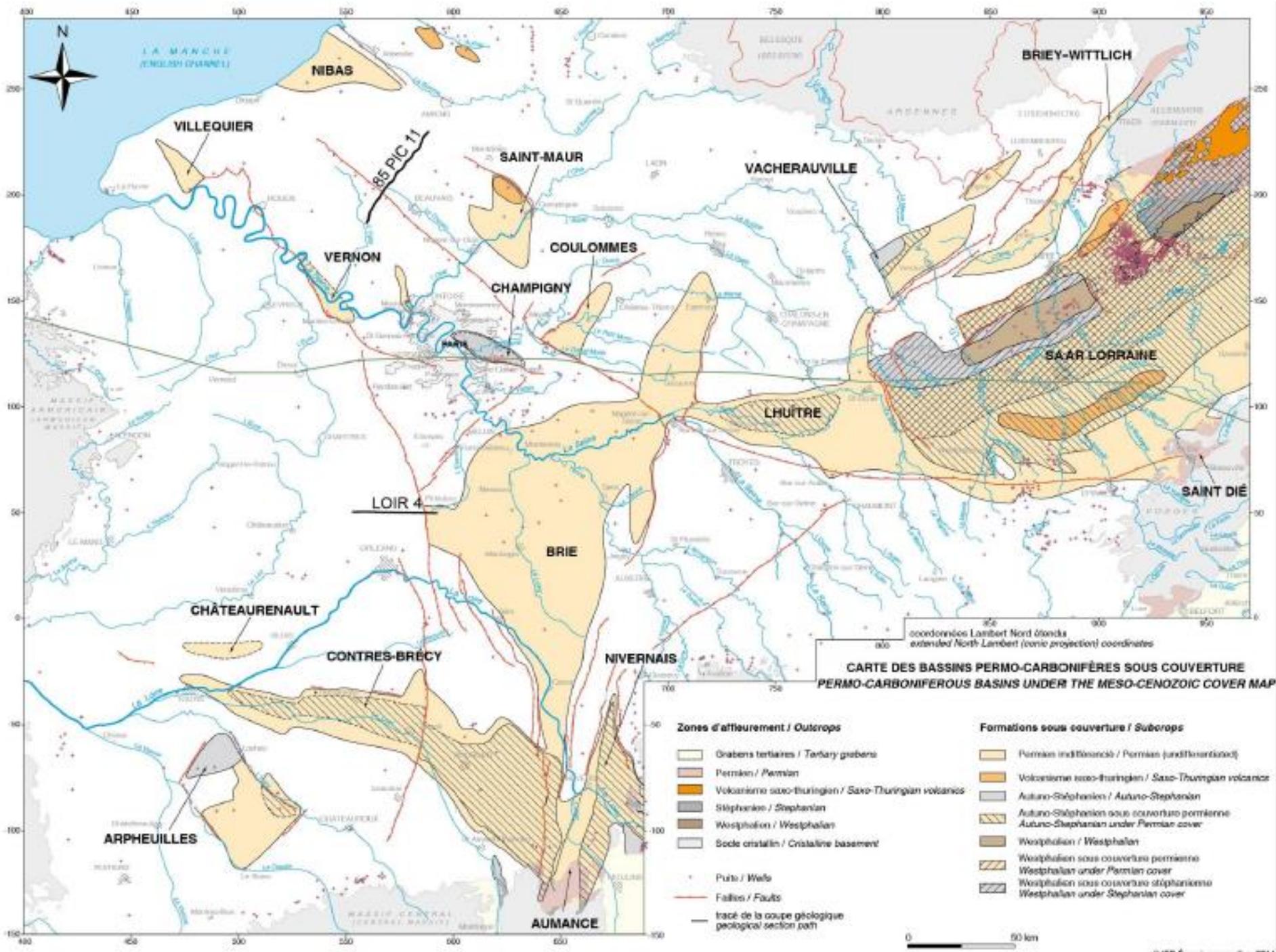


Le Bassin de Paris : un bassin intracratonique
(voir cours François Baudin)

(extrait réduit de la carte géologique de la France à 1/1 000 000, BRGM, 6^e édition révisée 2006, ombré avec un modèle numérique de terrain)

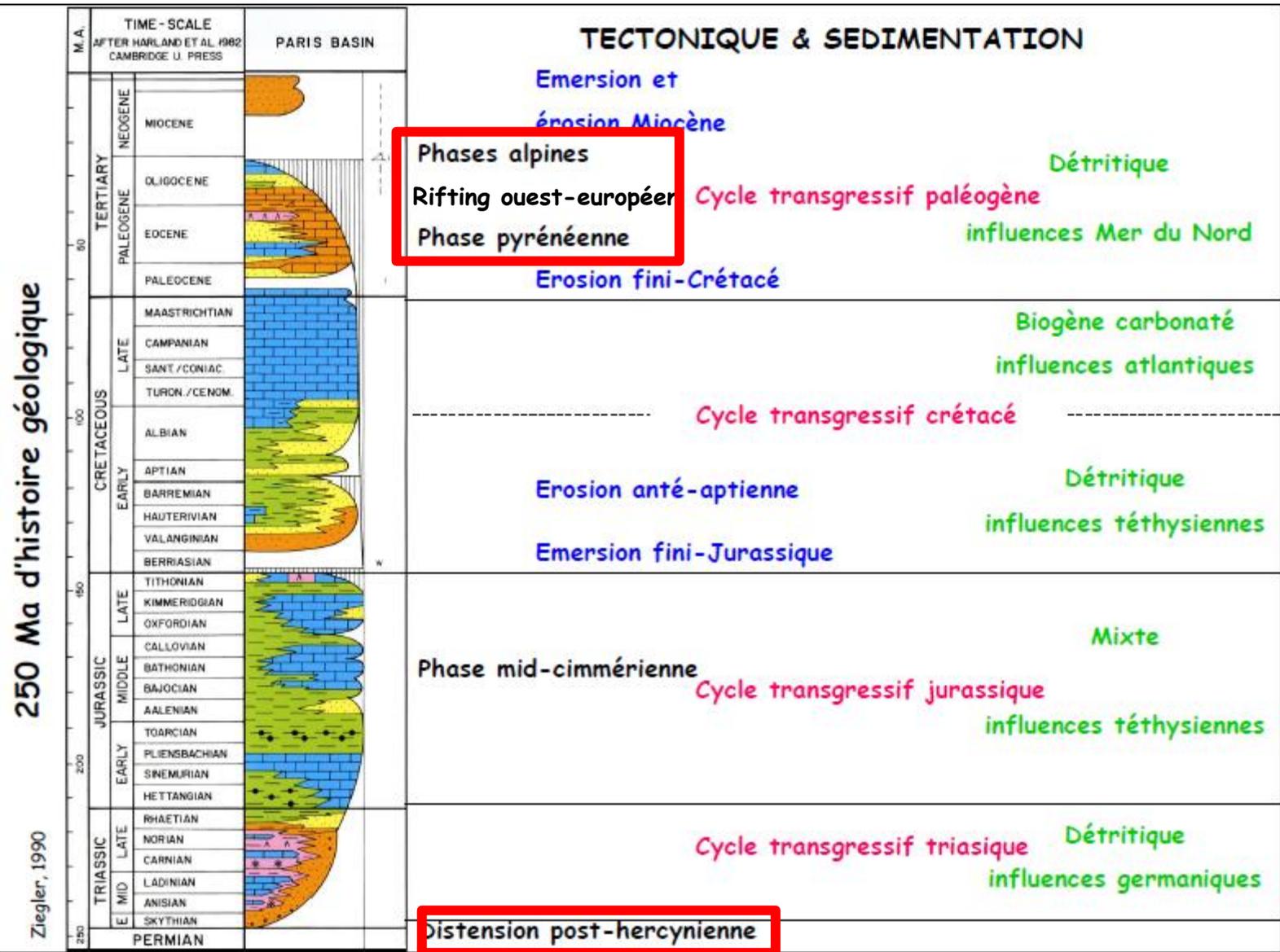
○ stratotype / stratotype
○ ville / city





CARTE DES BASSINS PERMO-CARBONIFÈRES SOUS COUVERTURE
PERMO-CARBONIFEROUS BASINS UNDER THE MESO-CENOZOIC COVER MAP

- | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Zones d'affleurement / Outcrops</p> <ul style="list-style-type: none"> Grabens tertiaires / Tertiary grabens Permien / Permian Volcanisme saxo-thuringien / Saxo-Thuringian volcanics Stéphanien / Stephanian Westphalien / Westphalian Socle cristallin / Crystalline basement Puits / Wells Failles / Faults tracé de la coupe géologique
geological section path | <p>Formations sous couverture / Subcrops</p> <ul style="list-style-type: none"> Permien indifférencié / Permian (undifferentiated) Volcanisme saxo-thuringien / Saxo-Thuringian volcanics Autuno-Stéphanien / Autuno-Stephanian Autuno-Stéphanien sous couverture permienne
Autuno-Stephanian under Permian cover Westphalien / Westphalian Westphalien sous couverture permienne
Westphalian under Permian cover Westphalien sous couverture stéphanienne
Westphalian under Stephanian cover |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|



Une histoire initiée par une extension permienne / amincissement lithosphérique (à la fin du cycle hercynien), suivie d'une longue subsidence thermique méso-cénozoïque entrecoupée par les effets lointains des orogènes pyrénéenne et alpine et de la formation du rift ouest-européen