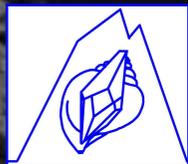


# Magmatisme, volcanisme ... et minéraux associés dans les Pyrénées

Éric LEGENDRE - MFP64



MUSÉE DU MARBRE ET  
MUSÉUM D'HISTOIRE NATURELLE  
DE BAGNERES-DE-BIGORRE

**1<sup>ère</sup> partie – Définitions  
& formation des Pyrénées**

**2<sup>ème</sup> partie – Les magmas carbonifères  
et le volcanisme permien**

**3<sup>ème</sup> partie – Les intrusions d'ophite  
de la base du Jurassique**

**4<sup>ème</sup> partie – Les phénomènes  
magmatiques du Crétacé moyen**



# 1<sup>ère</sup> partie – Définitions & formation des Pyrénées

2<sup>ème</sup> partie – Les magmas carbonifères  
et le volcanisme permien

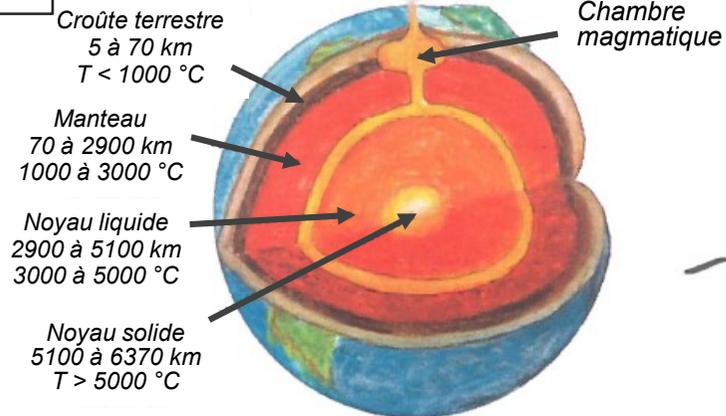
3<sup>ème</sup> partie – Les intrusions d'ophite  
de la base du Jurassique

4<sup>ème</sup> partie – Les phénomènes  
magmatiques du Crétacé moyen



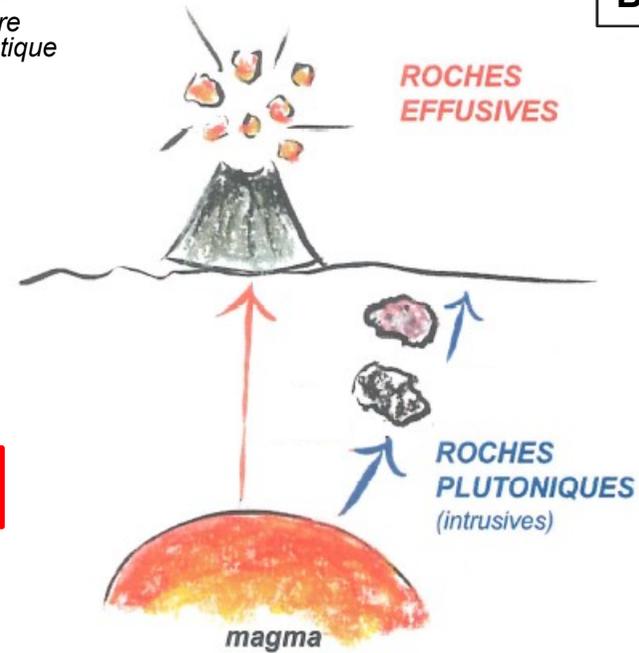
# La structure interne de la Terre et les volcans

**A**

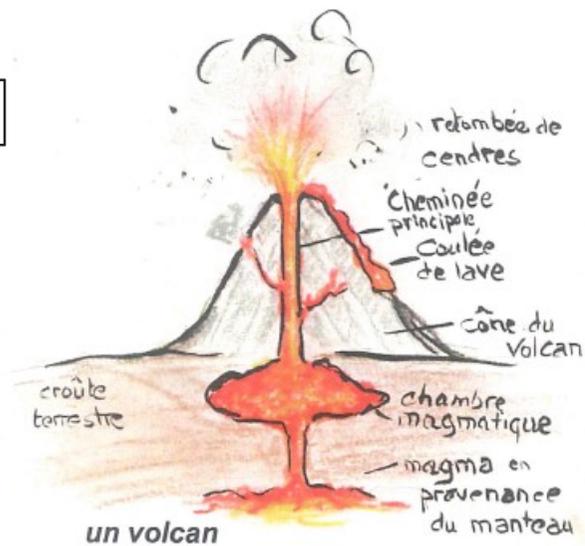


plus on va vers le centre de la Terre  
plus la température augmente

**B**



**C**



**A- Structure de la Terre**  
**B- Roches magmatiques**  
**C- Coupe d'un volcan**

(dessins : Cat Torralba)



# Quelques définitions sur les magmas et les volcans

- **Magmatisme** = phénomènes liés à la formation, à la cristallisation et aux déplacements de **magmas** (roche en fusion sous un état liquide plus ou moins pâteux, à haute température > 600 °C)
- Les roches magmatiques résultent de la solidification de magmas qui se sont refroidis en remontant
- **Volcanisme** = ensemble des manifestations volcaniques et des phénomènes reliés

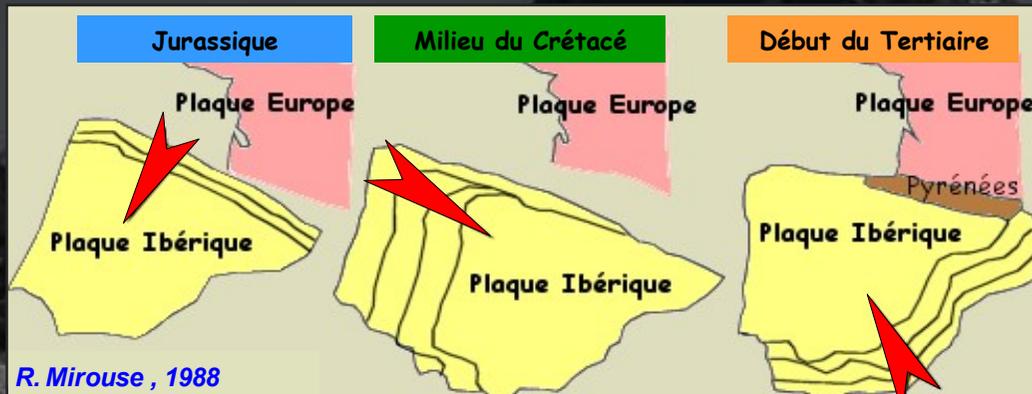


## ➤ 2 cas selon la vitesse de remontée du magma :

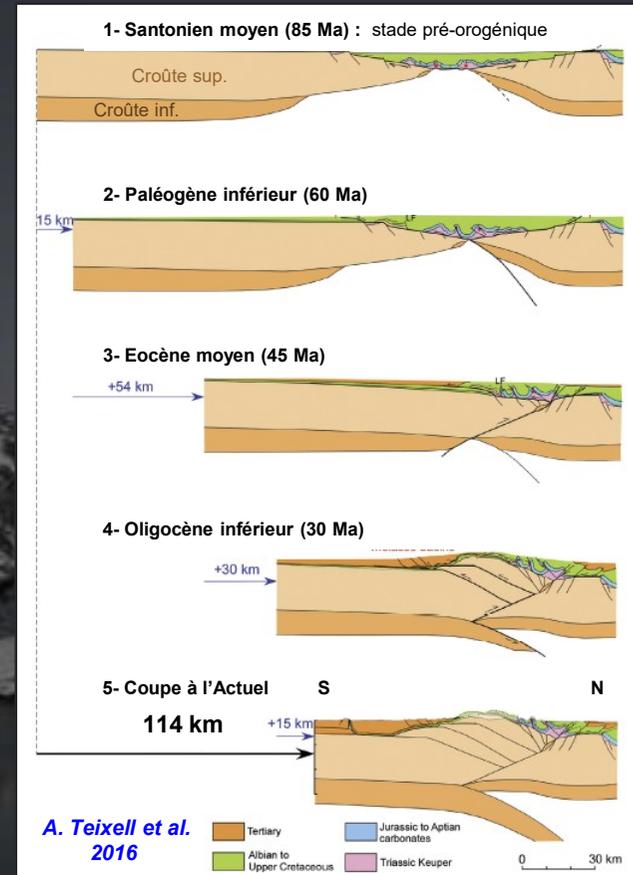
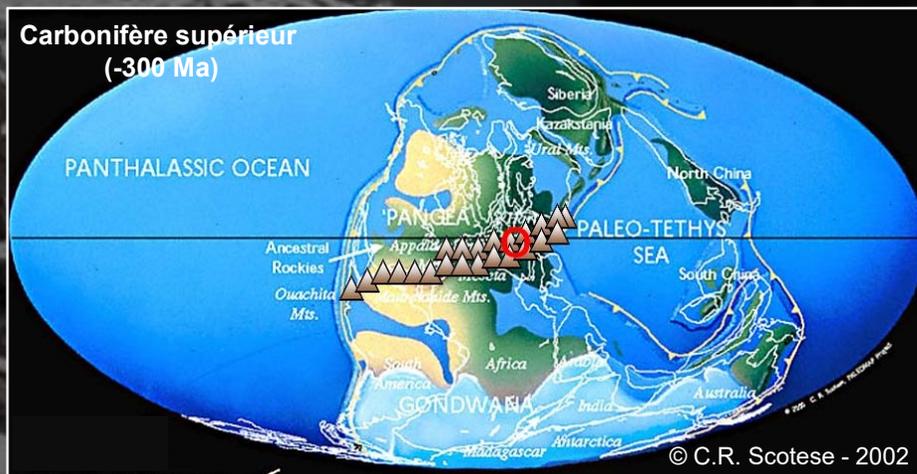
- **Remontée rapide à travers la croûte terrestre** : arrivée en surface sous forme de lave (roche émise en fusion à T de 700 à 1200 °C) → **éruption ou coulée volcanique** puis solidification rapide → **roches magmatiques** appelées **extrusives, effusives ou volcaniques**
- **Remontée du magma vers la surface de la Terre et refroidissement très lents** : cristallisation lente avant d'atteindre la surface & dégagement par érosion → **roches magmatiques intrusives ou plutoniques**
  - Autre mode de distinction des magmas = composition chimique/minéralogique
  - **Magma basaltique** basique pauvre en SiO<sub>2</sub> - composition chimique voisine de celle des basaltes formé vers 40 km de profondeur ou plus sous les continents, mais vers 10 km sous les océans **faible viscosité**
  - **Magma granitique** acide riche en SiO<sub>2</sub> - composition chimique voisine de celle des granites formé vers 20 à 30 km de profondeur sous les continents - **forte viscosité**

# Formation des Pyrénées

une **orogénèse Pyrénéenne ou Alpine** (de la fin du Crétacé au Miocène, -75 à -15 Ma) avec mise en place des Pyrénées « récentes » suite à la convergence puis à la collision de 2 plaques continentales : les plaques Ibérique et Européenne



une **histoire Secondaire marine** (-250 à -75 Ma) dominée par l'ouverture de l'Océan Atlantique central (début du cycle Alpin)



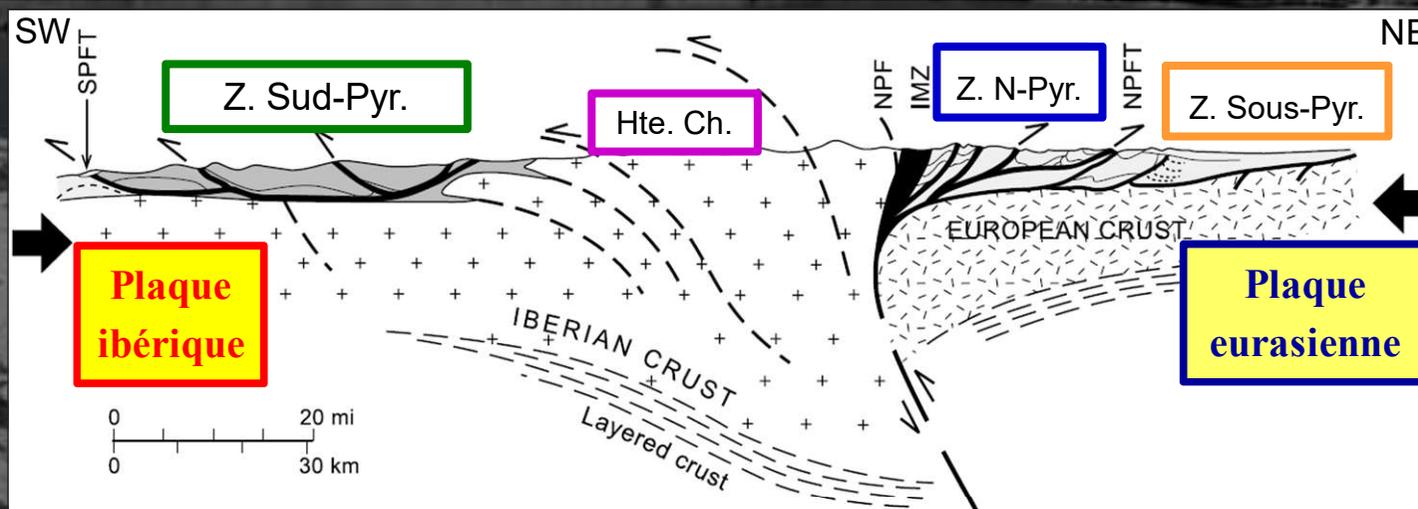
3 grandes phases d'édification :

une **orogénèse Hercynienne** (Dévonien à Permien, ~ de -400 à -250 Ma) avec mise en place des Pyrénées « hercyniennes » érodées dès le Permien

# Unités structurales des Pyrénées

*Du Nord au Sud, les Pyrénées se divisent en quatre grandes unités structurales (d'après J.J. Biteau & J. Canérot) :*

- **la Zone Sous-Pyrénéenne ou avant-pays plissé nord** formée des deux sous-bassins d'Arzacq et du Comminges. Bordée au sud par le Front de Chevauchement Nord-Pyrénéen (NPFT).
- **la Zone Nord-Pyrénéenne** caractérisée par la présence de chevauchements et de plis à vergence nord. Bordée au sud par la Faille Nord-Pyrénéenne (NPF) qui la sépare de la haute chaîne. Intensément déformée, mais aussi métamorphisée (IMZ) et injectée de lherzolites (roches d'origine très profonde → témoins du manteau supérieur mis en place à l'état solide dans la croûte terrestre).
- **la Haute Chaîne comprend les plus hauts sommets**. Porte à l'affleurement des formations paléozoïques plissées pendant l'orogénèse hercynienne et reprises lors de la compression pyrénéo-alpine, ainsi que des séries permienes et néocrétacées en discordance.
- **la Zone Sud-Pyrénéenne** présente une couverture sédimentaire réduite, formée de Mésozoïque dans le bassin central de Graus-Tremp et de Paléogène dans le bassin de Jaca. Porte des nappes à vergence sud (Gavarnie ...). Bordée au sud par le Chevauchement Frontal Sud-Pyrénéen (SPFT).

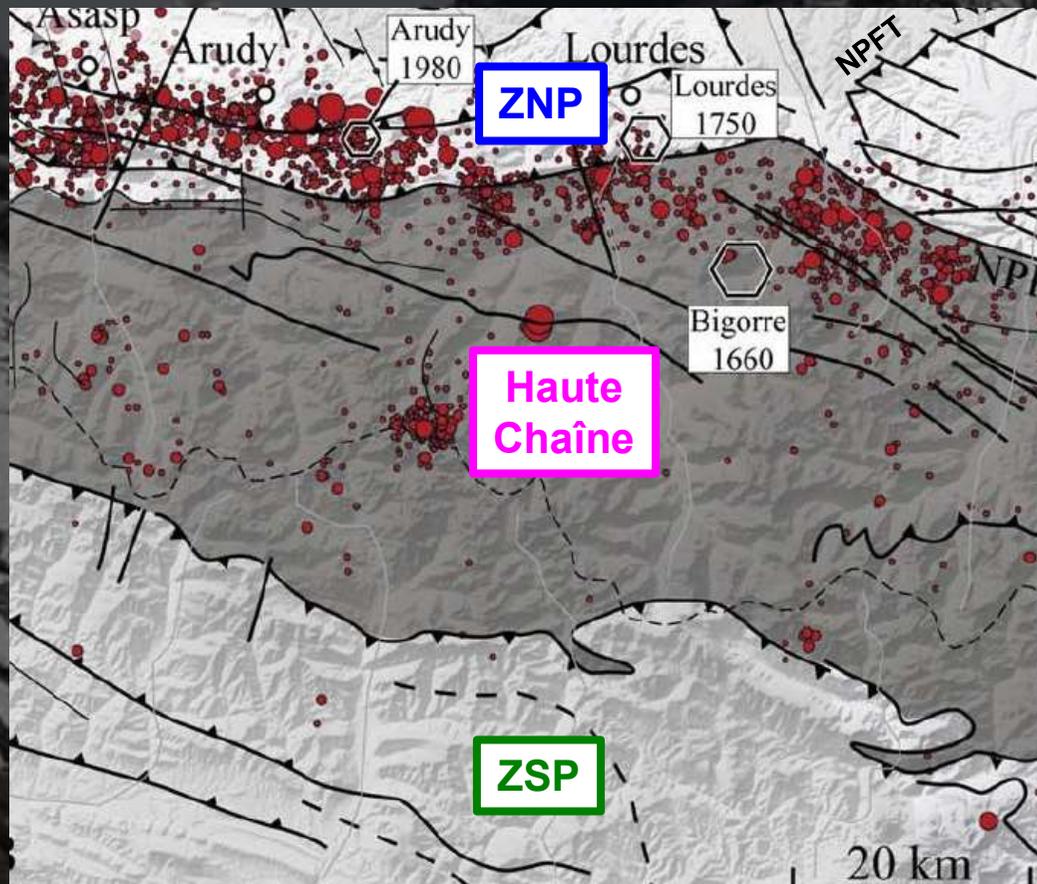


# Activité sismique permanente dans les Pyrénées

résultant de la convergence (compression) entre les plaques ibérique et européenne avec une vitesse de déplacement annuel mmétrique → événements d'amplitude modérée

Nombreux séismes lors des quatre derniers siècles (au moins !) : Arrette (13 août 1967 - magnitude comprise entre 5,3 et 5,7 sur l'échelle de Richter) et Arudy (29 février 1980 - magnitude 5,2 à 5,5)

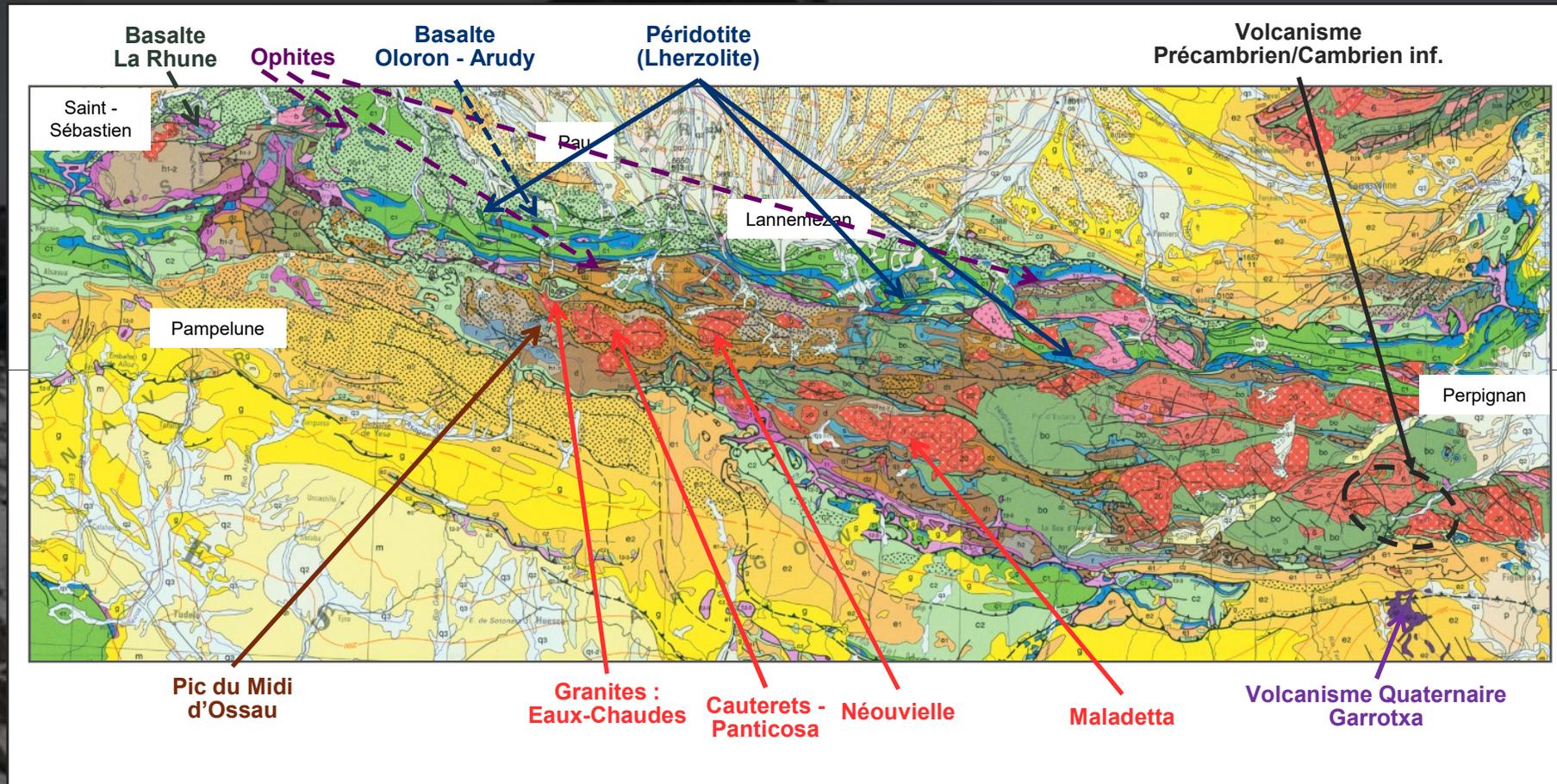
Le + important séisme « historique » fut celui de Bagnères-de-Bigorre (21 juin 1660 - magnitude *estimée* à 6)



Carte de la sismicité dans les Pyrénées occidentales (P. Lacan et al. - 2012)

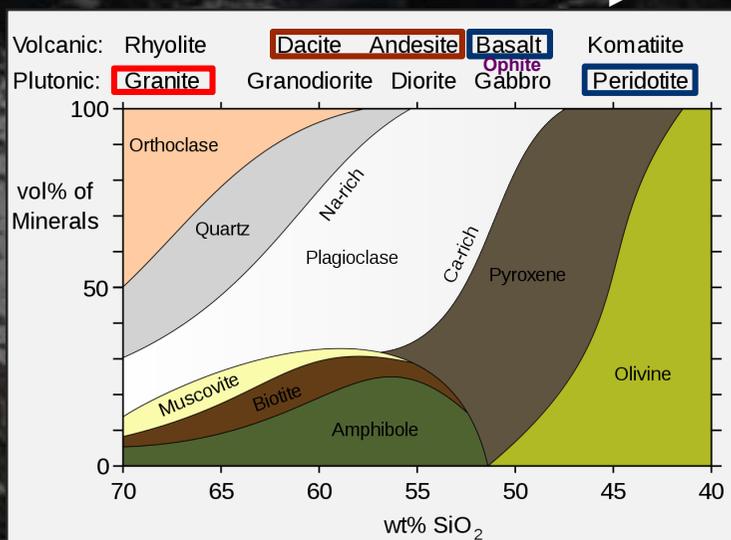
Les ronds rouges représentent des mesures et les hexagones des séismes « historiques »

# Sites magmatiques des Pyrénées (modifié d'après Carte Géologique de la France au 1/1000000 – BRGM 1996)



# Répartition dans le Temps des grands évènements magmatiques des Pyrénées Centrales et Occidentales

## Composition des magmas

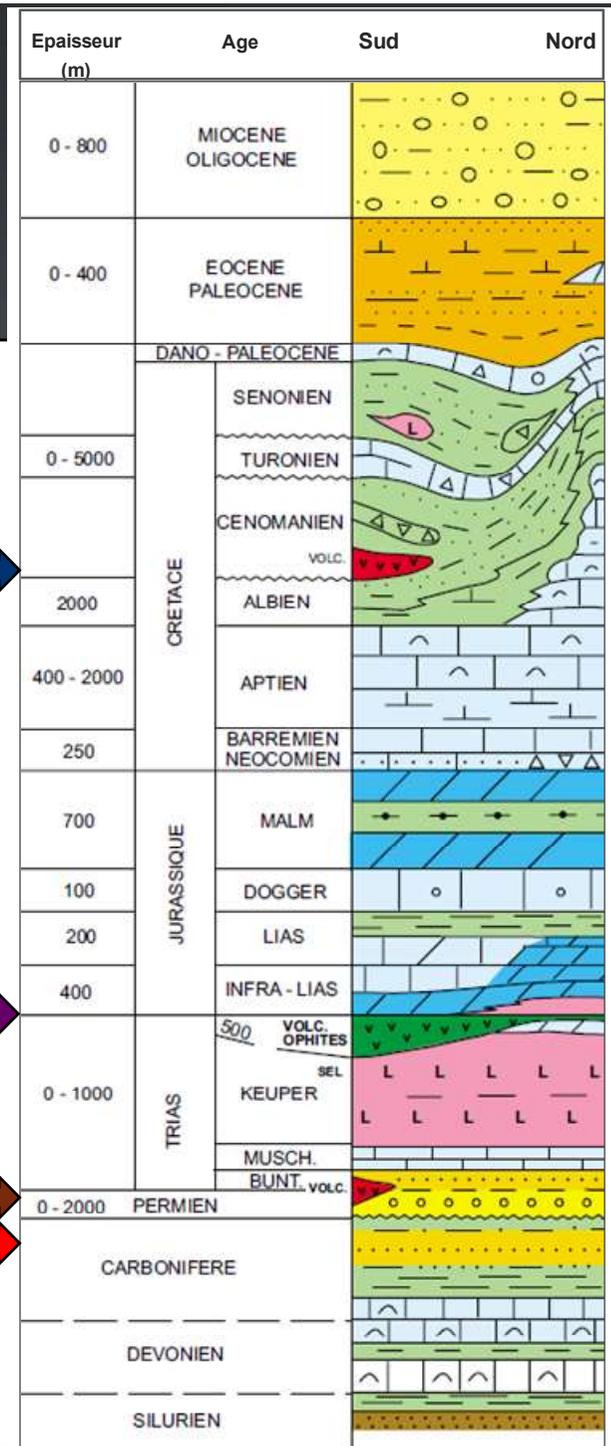


Classification des roches magmatiques (Wikipédia)

**Péridotite**  
**Basaltes (Oloron/Arudy)**  
**Teschénite (Buzy)**

**Ophites**

**Dacite/Andésite (Ossau/Anayet)**  
**Granites hercyniens**

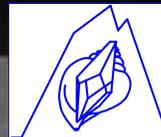


1<sup>ère</sup> partie – Définitions  
& formation des Pyrénées

2<sup>ème</sup> partie – Les magmas carbonifères  
et le volcanisme permien

3<sup>ème</sup> partie – Les intrusions d'ophite  
de la base du Jurassique

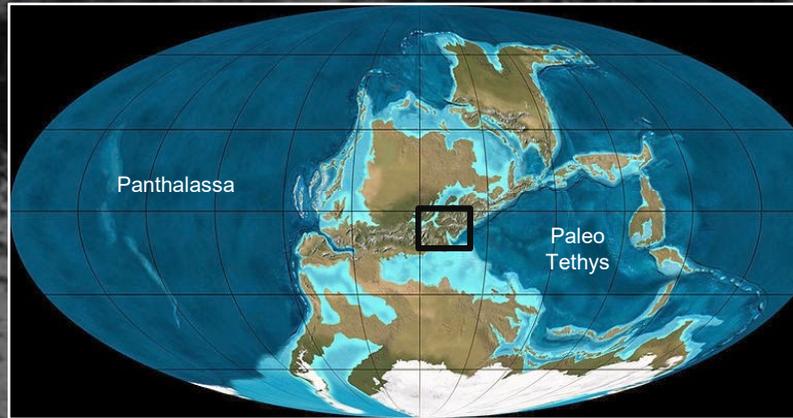
4<sup>ème</sup> partie – Les phénomènes  
magmatiques du Crétacé moyen



# Chaîne hercynienne

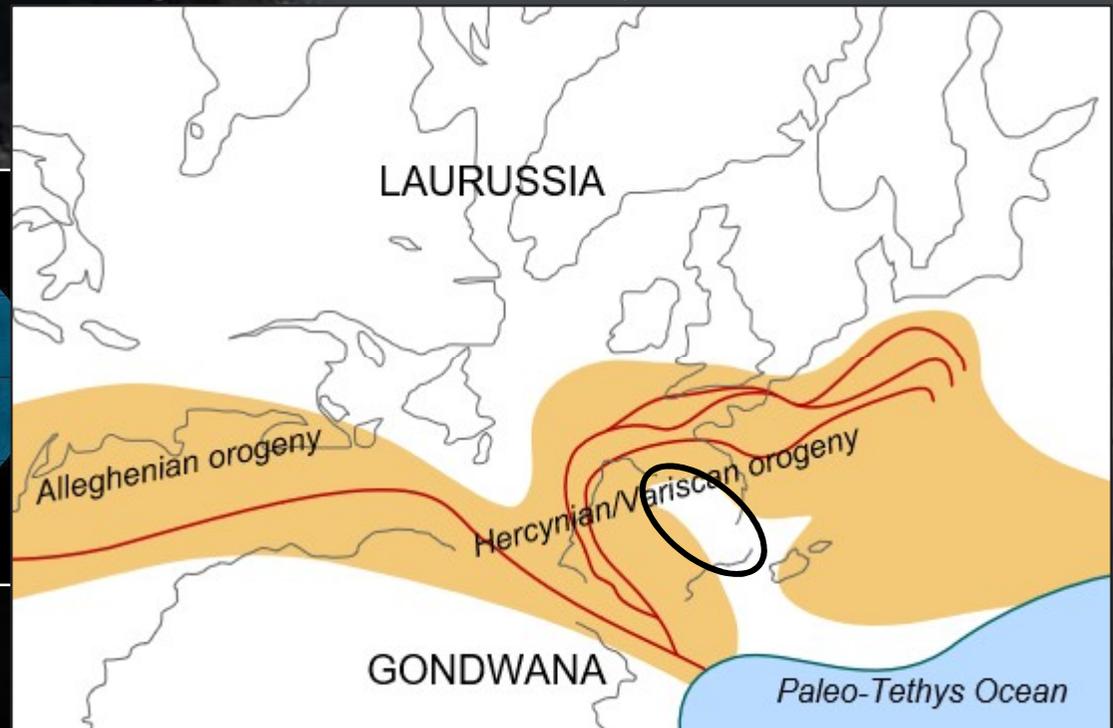
L'**orogénèse Hercynienne** (ou Varisque) est l'évènement géologique (Dévonien à Permien) conduisant à la formation à la fin du Paléozoïque d'une chaîne de montagnes ayant un relief aussi important que la chaîne Himalayenne actuelle

La collision entre la **Laurussia** (au Nord) et le **Gondwana** (au Sud) a créé le supercontinent **Pangée** (qui commencera à se fragmenter vers -220/-200Ma)



Reconstitution de la Pangée  
au Carbonifère supérieur (-300 Ma)

© Ron Blakey, NAU Geology



**Position de la chaîne hercynienne au milieu du Carbonifère**

Les lignes de cotes actuelles sont reportées comme référence

Les lignes rouges sont des sutures = cicatrice correspondant

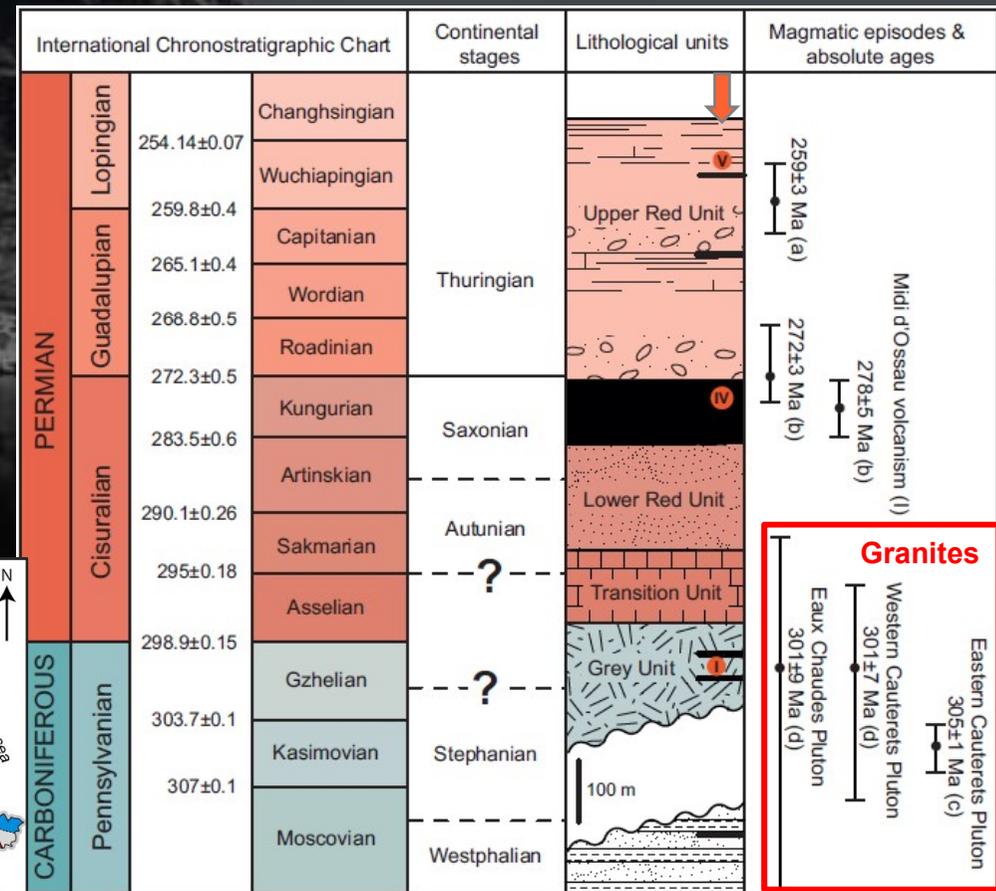
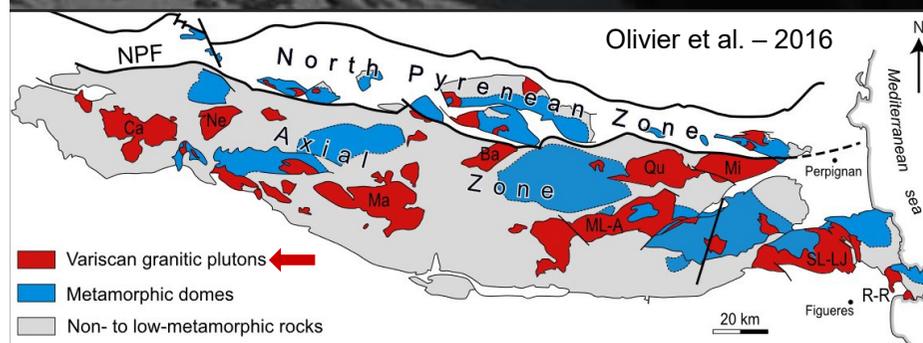
à des domaines (océaniques) disparus

(d'après P. Matte – 2001)



# L'orogénèse Hercynienne s'accompagne d'épisodes magmatiques

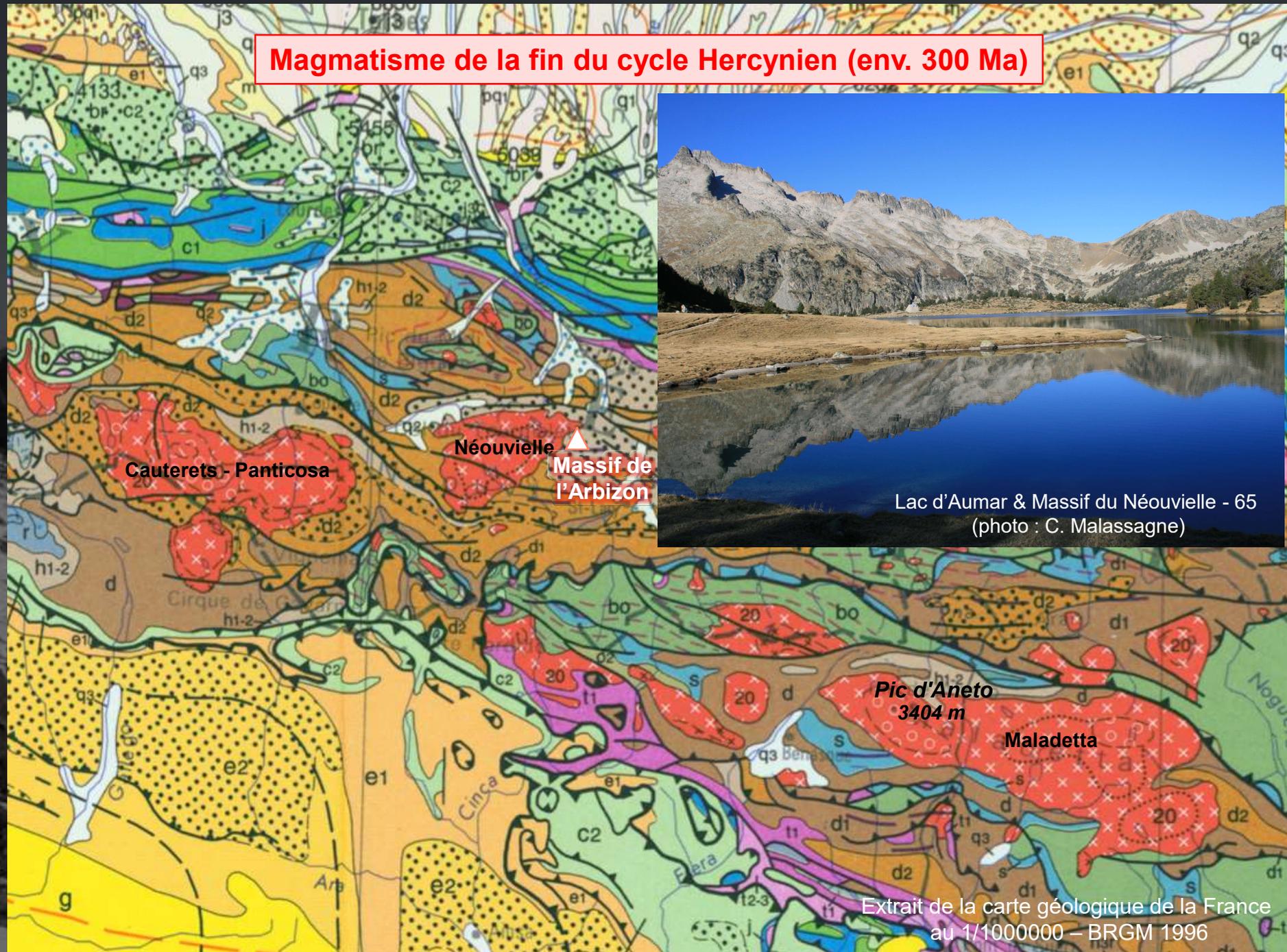
1. **Magmatisme de la fin du cycle Hercynien** avec formation de massifs de granites jalonnant l'axe de la haute chaîne primaire : d'Ouest en Est on a les plutons des Eaux-Chaudes, de Cauterets-Panticosa, du Néouvielle et de la Maladetta ... **Leur mise en place date de la fin du Carbonifère (300 Ma) par fusion crustale partielle en contexte de compression**
2. Ultime manifestation tardi-hercynienne de magmatisme **le volcanisme Stéphano-Permien** (280-260 Ma) → mise en place du volcan du Pic du Midi d'Ossau et de son « jumeau » espagnol le Pic d'Anayet ainsi que qq coulées basaltiques à La Rhune



Charte stratigraphique au Carbonifère et au Permien – Rodriguez-Mendez et al. – 2016

Reque : 5 épisodes volcaniques dans l'Est des Pyrénées mais seuls les épisodes 1, 4 et 5 sont connus dans les Pyrénées Centrales et Occidentales

**Magmatisme de la fin du cycle Hercynien (env. 300 Ma)**



Cauterets - Panticosa

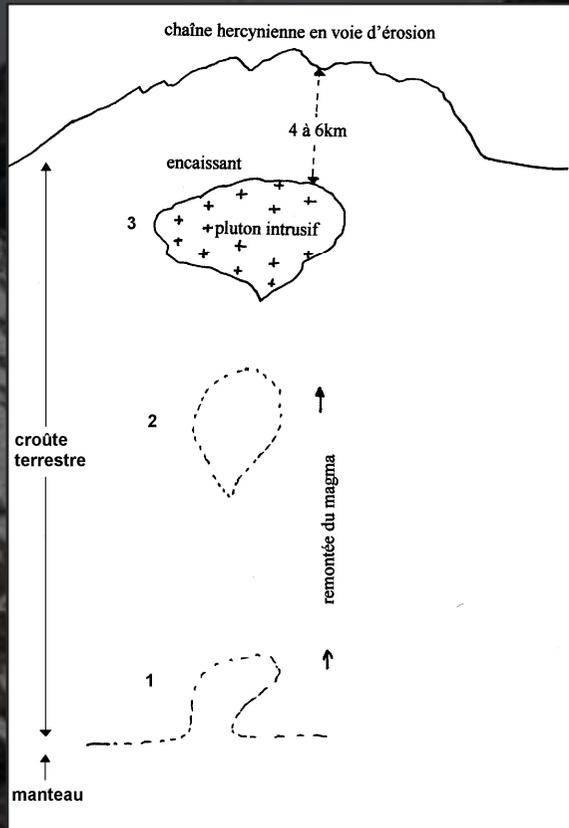
Néouvielle  
▲  
Massif de l'Arbizon

Lac d'Aumar & Massif du Néouvielle - 65  
(photo : C. Malassagne)

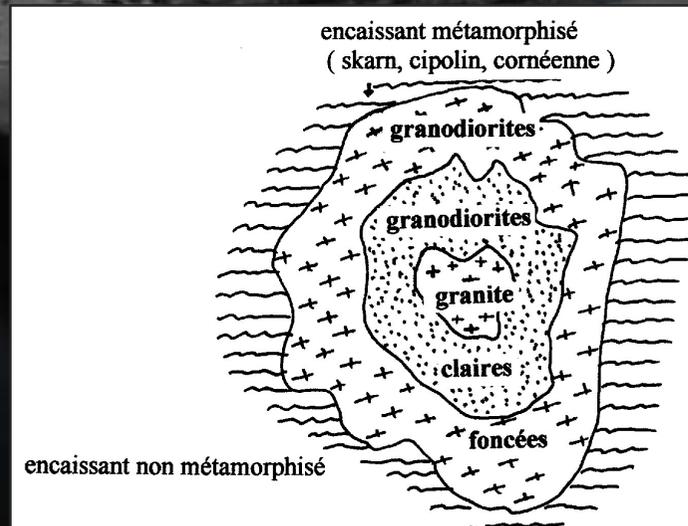
Pic d'Aneto  
3404 m

Maladetta

Extrait de la carte géologique de la France  
au 1/1000000 - BRGM 1996



Différentes étapes de la formation du granite  
R. et D. Cussey - 2004



Distribution schématique des granitoïdes et métamorphisme de contact  
R. et D. Cussey - 2004

Marbre/skarn à grenats du Massif de l'Arbizon - 65  
(photo Q. Legendre)



# Volcanisme Permien (environ 260-280 Ma)

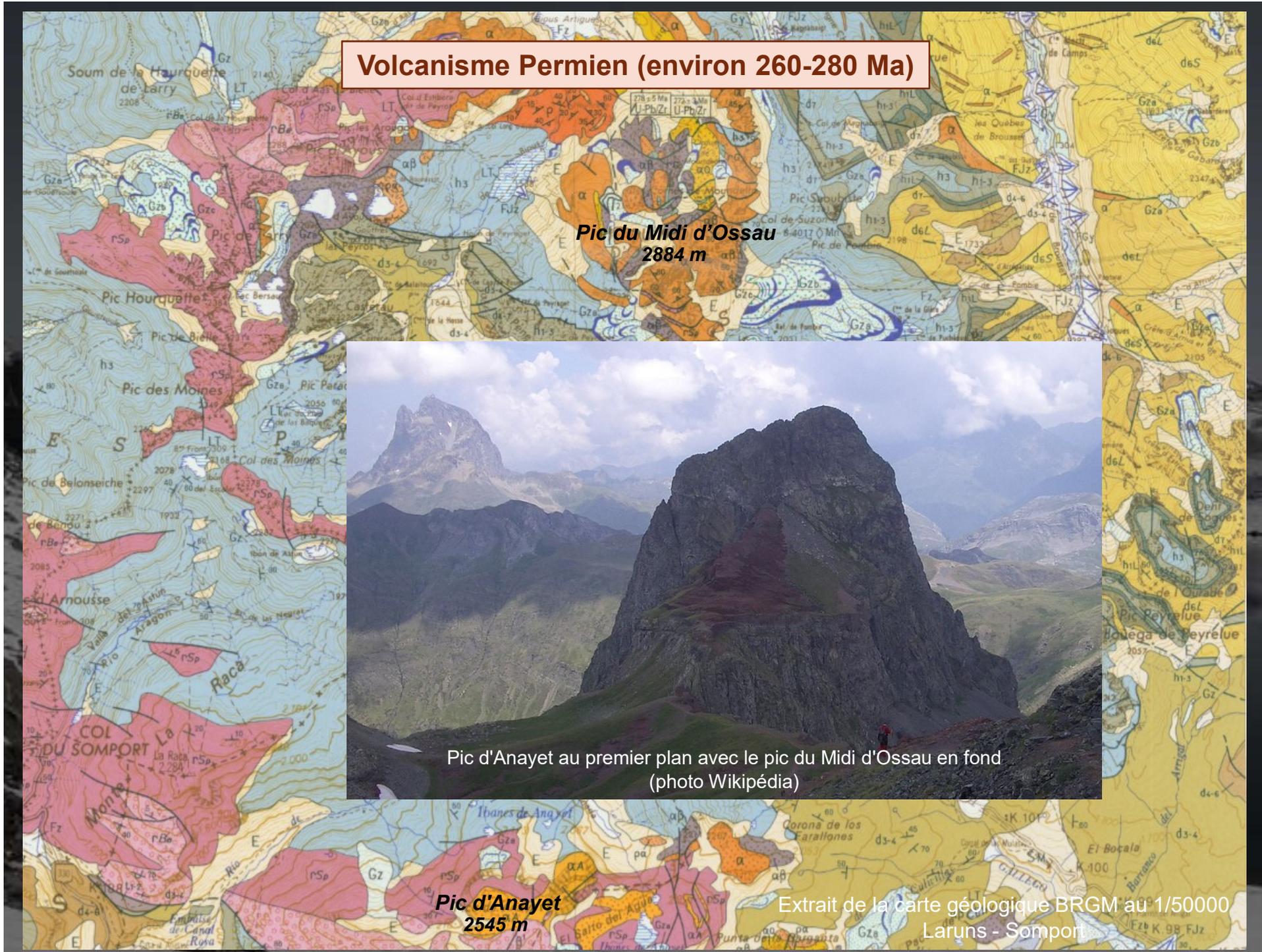
**Pic du Midi d'Ossau**  
2884 m

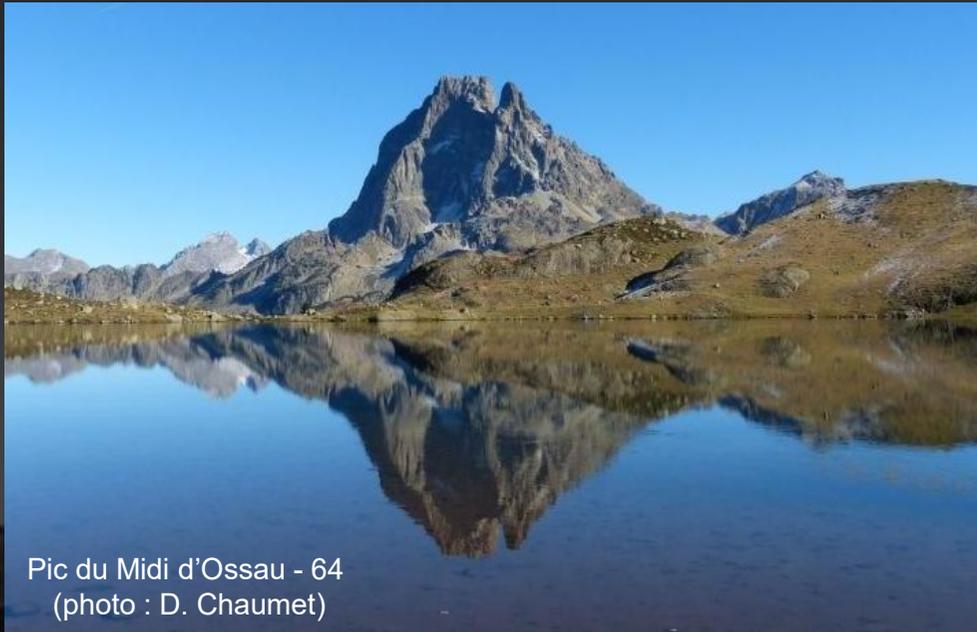


Pic d'Anayet au premier plan avec le pic du Midi d'Ossau en fond  
(photo Wikipédia)

**Pic d'Anayet**  
2545 m

Extrait de la carte géologique BRGM au 1/50000  
Laruns - Somport





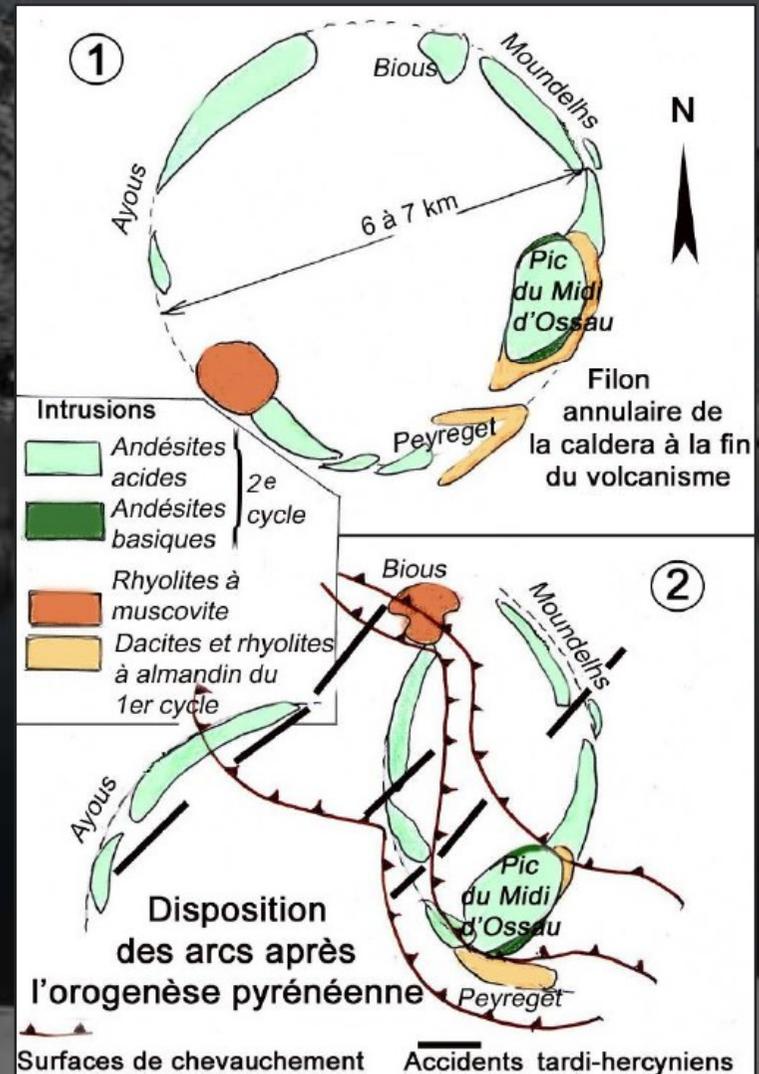
Pic du Midi d'Ossau - 64  
(photo : D. Chaumet)

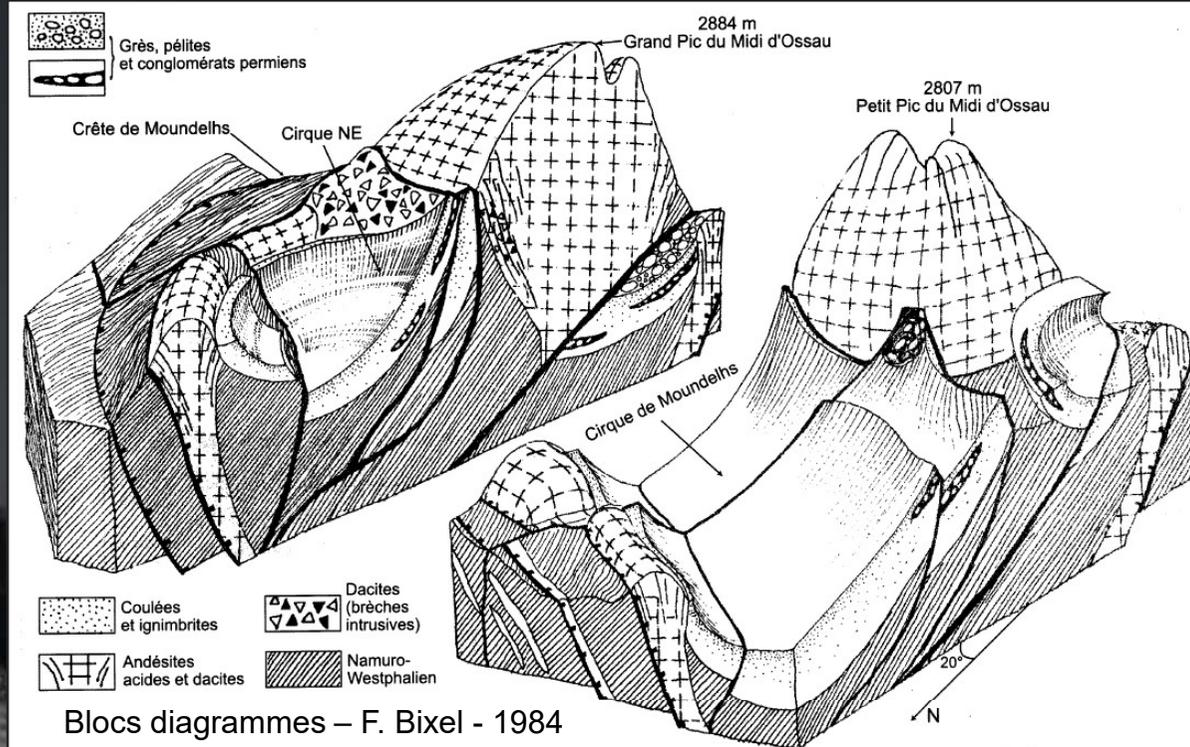
- D'abord : formation par anatexie du magma
- Puis ... influence alcaline et calco-alcaline
- Puis ... influence alcaline prédominante

Evolution de la composition  
des magmas  
(volcanisme orogénique acide  
... à laves + basiques)

→ Passage progressif  
de la fin du cycle Hercynien au  
début du cycle atlantique Alpin  
F. Bixel - 1988

- 1- Reconstitution de la caldera d'origine, ceinturée par le filon annulaire (*ring dyke*)
- 2- Carte géologique actuelle du complexe volcanique de l'Ossau avec les arcs du filon annulaire disloqué
  - Accidents de la fin de l'Hercynien = failles NE/SW
  - Surfaces de chevauchement orientées NW/SE créées par l'orogénèse pyrénéenne
 (D. Rossier - 2009 - à partir des schémas de F. Bixel)





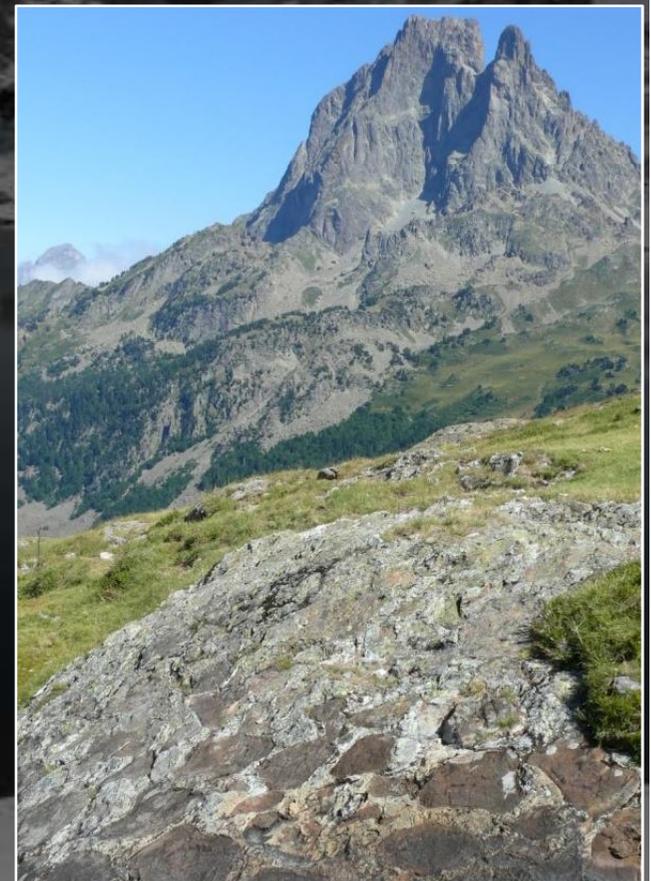
**Dacite, Andésite = roches volcaniques issues de magmas acides riches en gaz  
→ volcanisme explosif**

- Caldera = cratère de contour +/- circulaire produit par effondrement de la partie centrale des volcans (la chambre magmatique ayant été en partie vidée par les éruptions) ou par de gigantesques explosions
- Présence d'ignimbrites = accumulation de débris de laves acides soudés à chaud provenant d'éruptions explosives

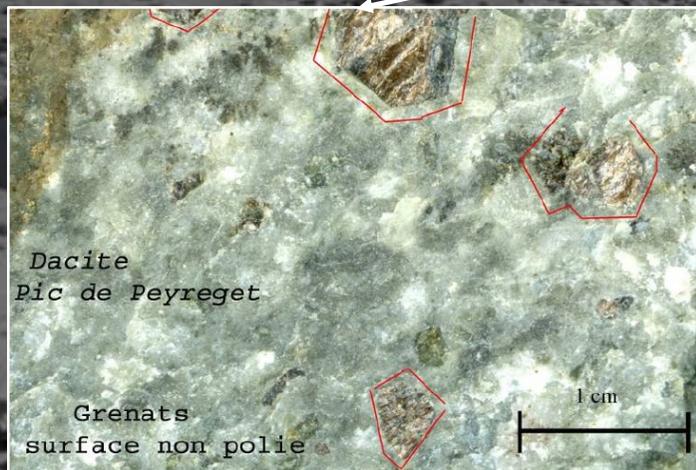
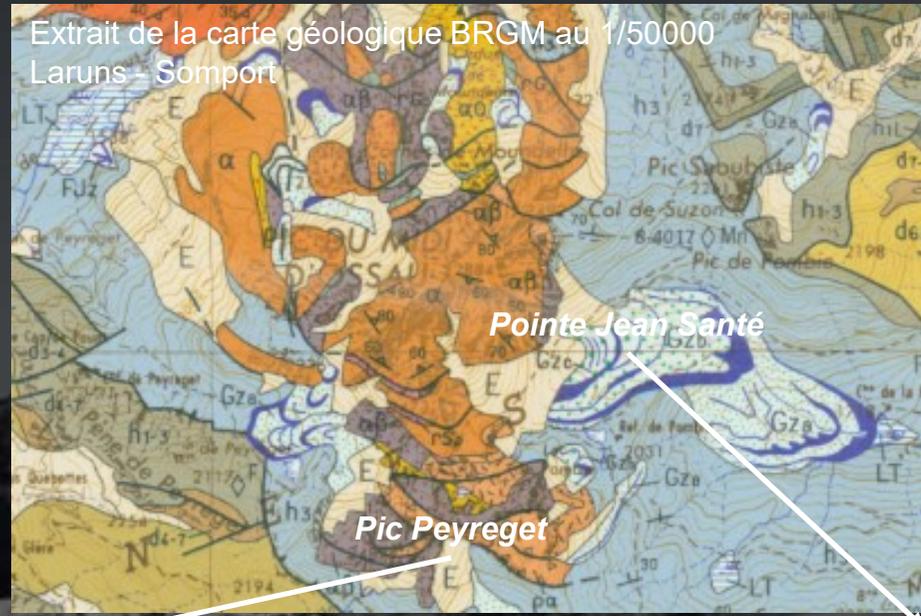


Andésite "porphyrique" de l'Ossau  
photo D. Rossier - SAGA - 2009

Débit prismatique d'une coulée d'andésite de l'Ossau (figures de refroidissement)  
photo GéoVal



# Des grenats almandins dans le Massif de l'Ossau



photos D. Rossier - SAGA - 2009

**Grenats : « classiques » dans les roches métamorphiques mais beaucoup moins fréquents dans les roches volcaniques !**

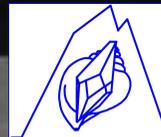
Hypothèse (F. Bixel - 1984) : forte teneur en Al des dacites d'Ossau mais faible teneur en alcalins (Na, K)  
→ pas possible d'intégrer Al dans les feldspaths  
→ incorporation d'Al sous forme de grenat almandin  
**l'origine de ces grenats est donc purement magmatique**

1<sup>ère</sup> partie – Définitions  
& formation des Pyrénées

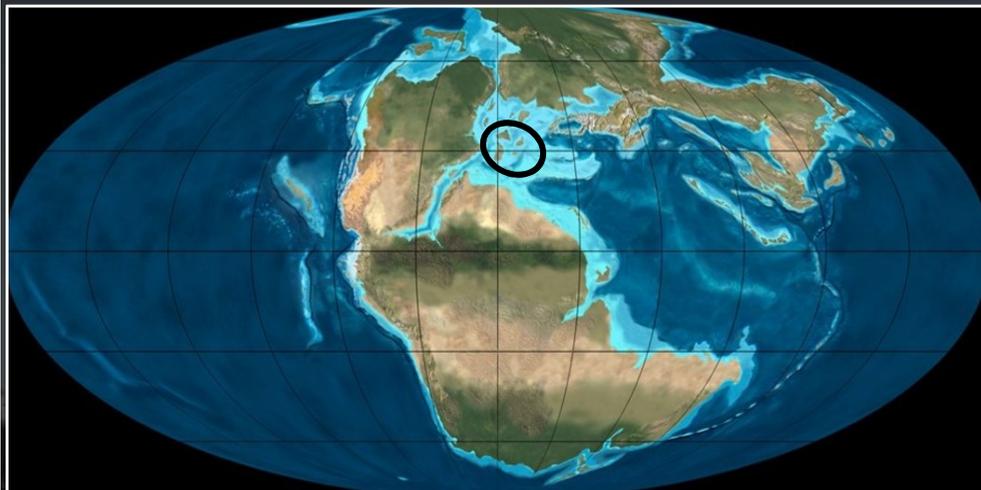
2<sup>ème</sup> partie – Les magmas carbonifères  
et le volcanisme permien

3<sup>ème</sup> partie – Les intrusions d'ophite  
de la base du Jurassique

4<sup>ème</sup> partie – Les phénomènes  
magmatiques du Crétacé moyen



# Le contexte il y a 200 Ma



Fragmentation de la Pangée  
au Jurassique inférieur (-200 Ma)

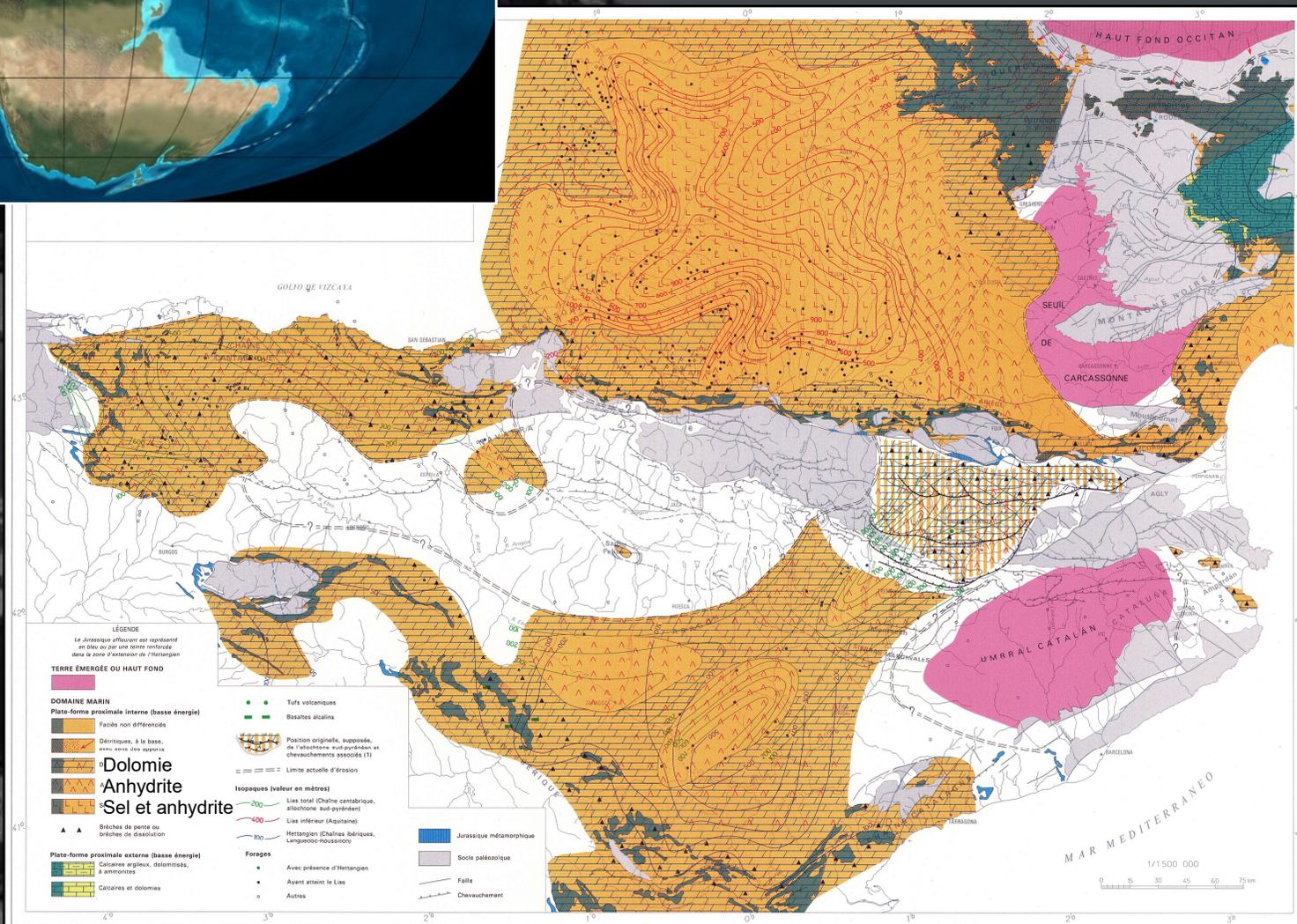
© Ron Blakey, NAU Geology

## Hettangien (-200 Ma)

Synthèse géologique et géophysique des Pyrénées  
AGSO & BRGM – 2018

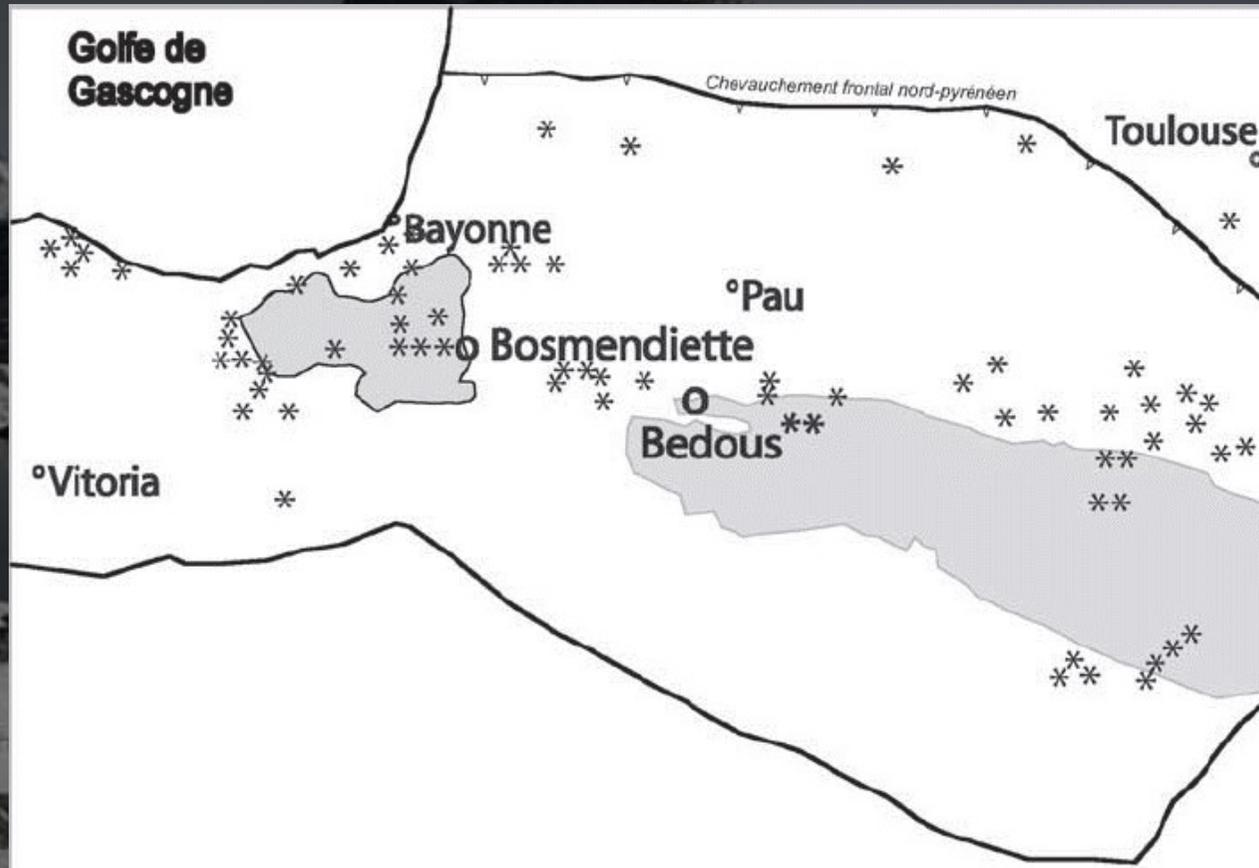
→ individualisation de grands bassins hérités du Trias

→ tectonique en blocs basculés en relation avec un début de rifting



# Extension du domaine d'affleurement des ophites dans les Pyrénées – P. Rossi et al . – 2003

astérisques : principaux gisements d'ophites (à l'affleurement ou en sondages)  
zone grisée : socle paléozoïque



- Ophite (du grec "ophis" = serpent, grâce à sa ressemblance avec la peau de ces reptiles) : famille de la dolérite contenant des cristaux de plagioclases et pyroxènes
- Roches sont souvent altérées → belle teinte verte due aux minéraux d'altération (épidote ...)

# Mise en place des ophites –

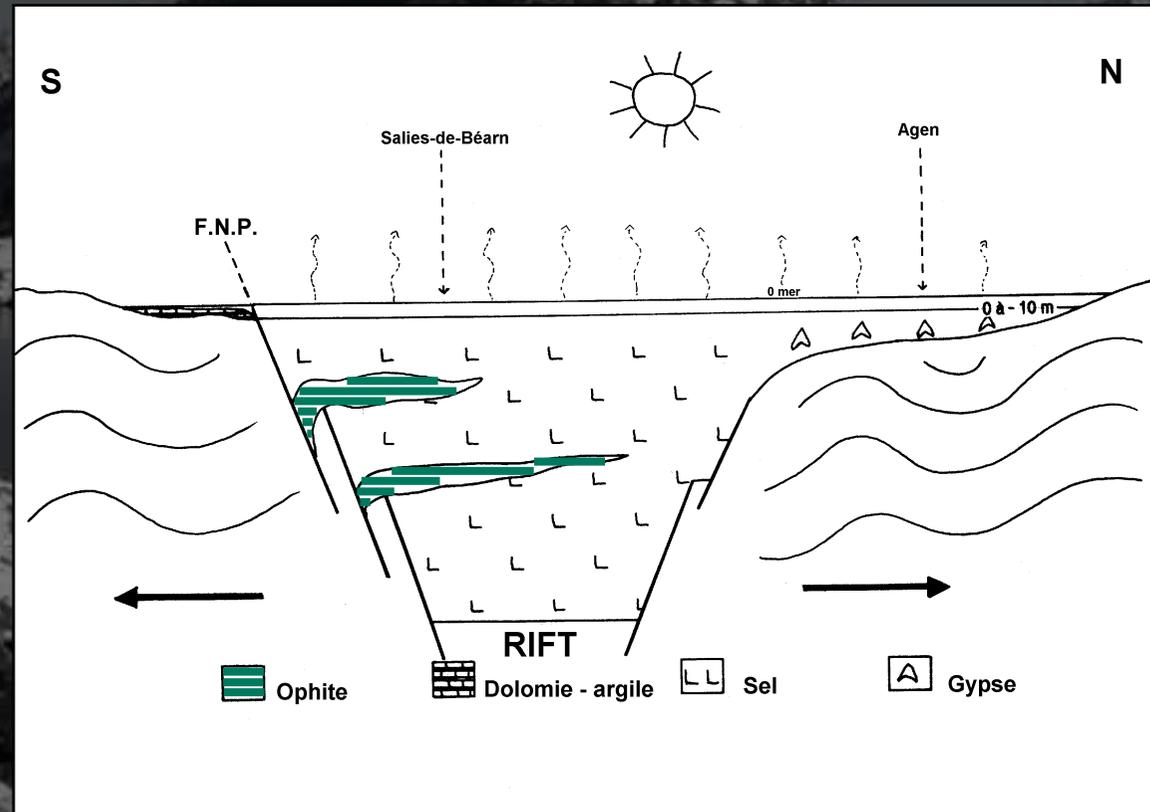
Activité magmatique liée à la dislocation de la Pangée

→ Distension de la croûte terrestre

→ Début d'ouverture de l'Océan Atlantique central

→ Bassins d'effondrement au Trias supérieur (-220 Ma) à remplissage de sel

→ Intrusions d'ophite (souvent associées au sel triasique) vers -200 Ma



Intrusions d'ophite sous forme de filons et de sills (filons-couches)  
dans les roches évaporitiques du Trias supérieur sans arriver jusqu'à la surface

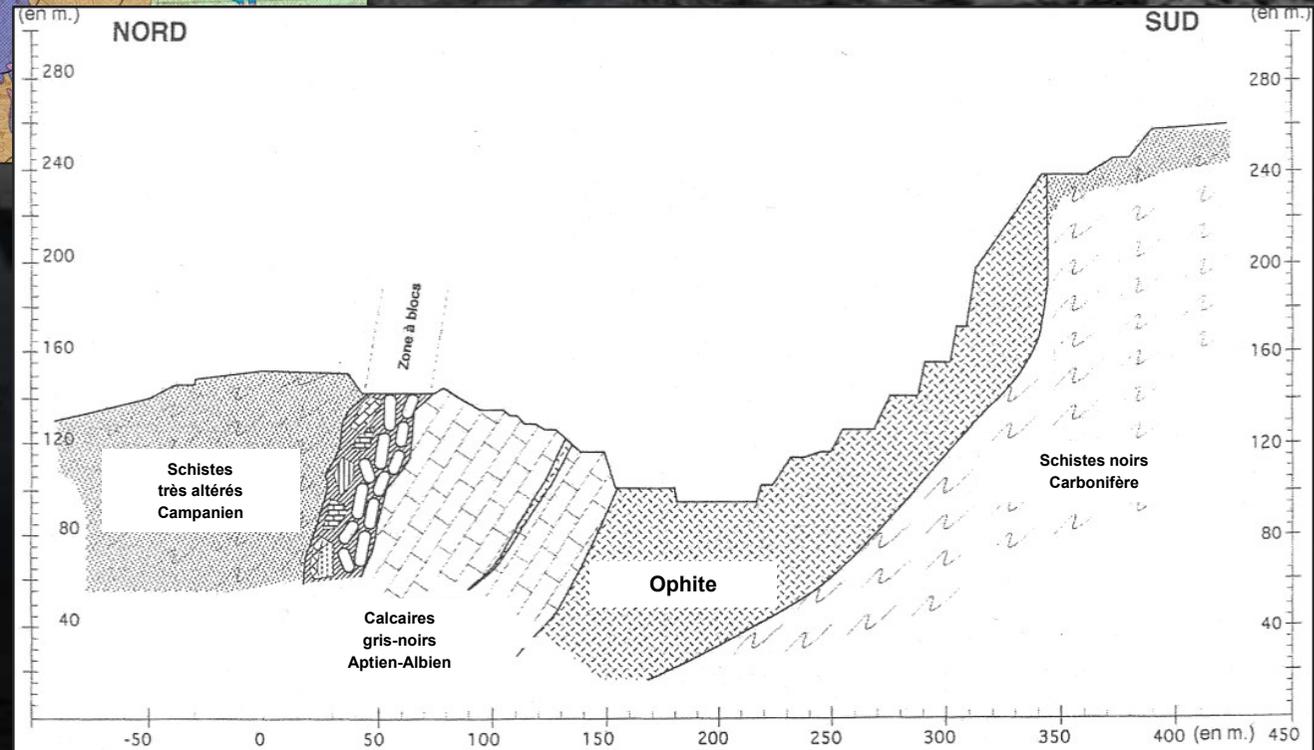
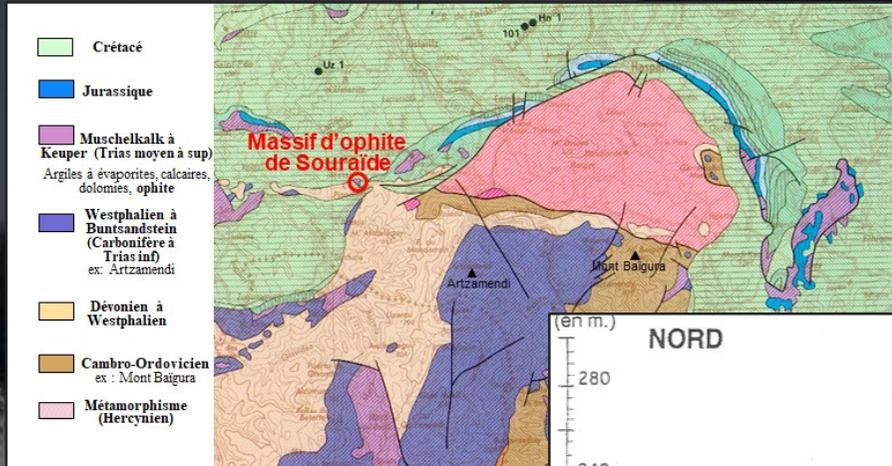
R. et D. Cussey - 2004

# Une roche recherchée

Nombreuses carrières d'ophite dans les Pyrénées

- excellent granulat (compact et résistance mécanique élevée)
- blocs pour enrochement

photo : G. Bonneteaud



Coupe géologique de la carrière de Souraïde (B. Bouquet - 2007)



Haches polies en ophite (fabrication récente !)  
photo Archéoshop

Front de mer à Anglet (64) avec  
enrochement d'ophite en épi  
photo Wikipédia



# Minéraux associés à l'altération de l'ophite



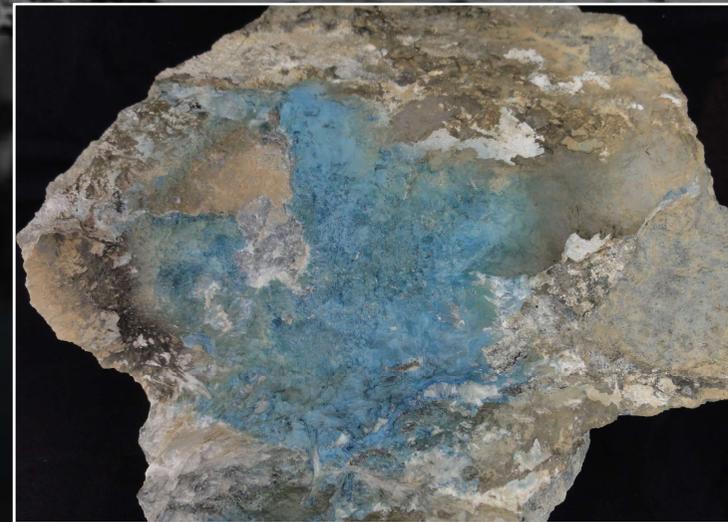
Epidote de Souraïde – 64

(photo : Q. Legendre)

Aérinite de Saint-Pandelon – 40

(photo : Q. Legendre)

- L'aérinite se forme par altération hydrothermale à températures relativement basses de roches magmatiques basiques
- *Au Moyen Âge l'aérinite a servi de pigment bleu (→ ciel, divinité) pour les fresques des églises*

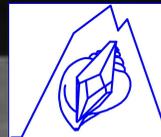


1<sup>ère</sup> partie – Définitions  
& formation des Pyrénées

2<sup>ème</sup> partie – Les magmas carbonifères  
et le volcanisme permien

3<sup>ème</sup> partie – Les intrusions d'ophite  
de la base du Jurassique

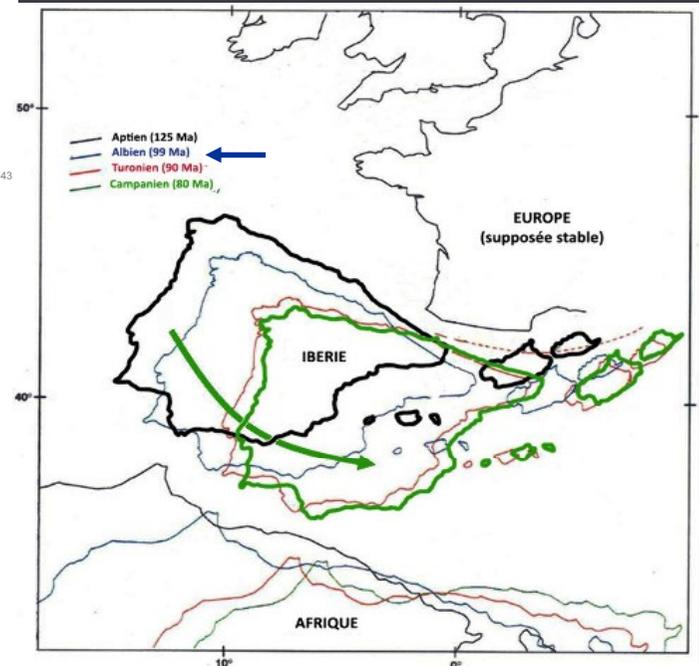
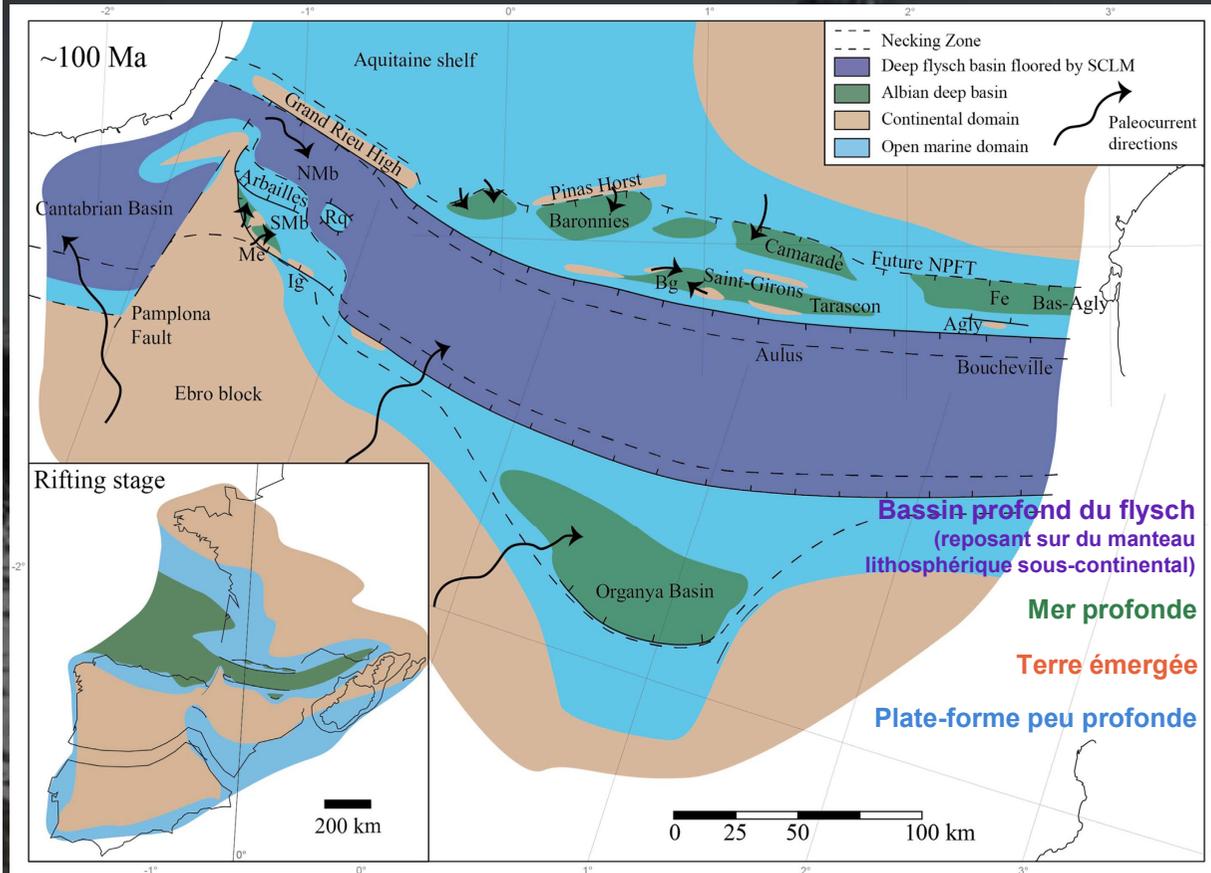
4<sup>ème</sup> partie – Les phénomènes  
magmatiques du Crétacé moyen



# Phénomènes magmatiques au Crétacé moyen

L'Aquitaine Sud il y a 100 millions d'années :

Carte paléogéographique à la limite Albien-Cénomanien ~100 Ma (A. Vacherat et al. - 2017)



Reconstitution du déplacement de l'Ibérie par rapport à l'Europe (supposée stable) entre l'Aptien et le Campanien

- A cette époque, la région a la forme d'un sillon de mer profonde, bordé par deux plate-formes rattachées respectivement aux plaques Europe (Nord) et Ibérie (Sud) :

le jeu sénestre des plaques Europe et Ibérie permet l'extension d'un bras de l'Océan Atlantique Nord qui commence à être comblé par des avalanches sous-marines venant des zones de plate-formes (flysch)

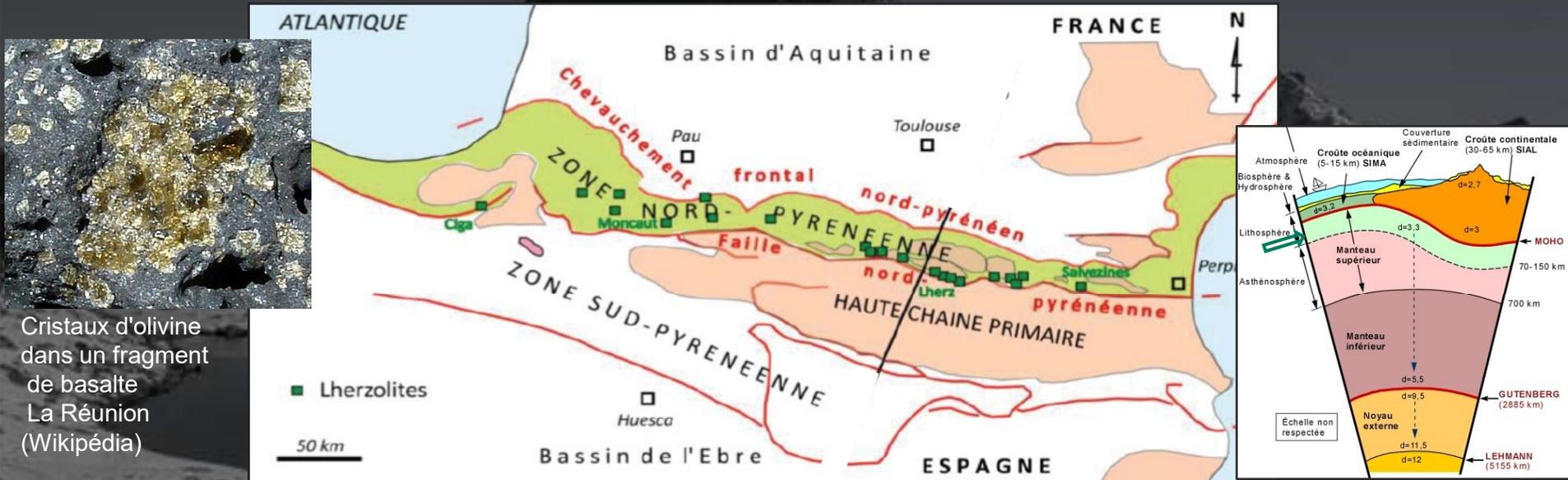
- Au Crétacé moyen-supérieur (entre -110 et -85 Ma) la croûte continentale est amincie et faillée permettant l'exhumation du manteau supérieur ainsi qu'à des laves en fusion de s'épandre en milieu sous-marin

# La lherzolite

La lherzolite est une roche magmatique issue de la partie lithosphérique du manteau supérieur à une profondeur de 60 à 70 km, donc sous la croûte terrestre

C'est une roche **ultra-basique** de la famille des **péridotites** (roches très riches en Fe et en Mg) avec olivine dominante

Une roche de telle profondeur est rarement observable à l'affleurement, car sa remontée en surface nécessite un enchaînement de phénomènes géologiques complexes



Cristaux d'olivine dans un fragment de basalte La Réunion (Wikipédia)

Localisation des massifs de lherzolite sur le versant Nord des Pyrénées (E.-J. Debroas – 2011)



Lherzolite serpentinisée  
Moncaut - 64  
(photo : G. Bonnetaud)

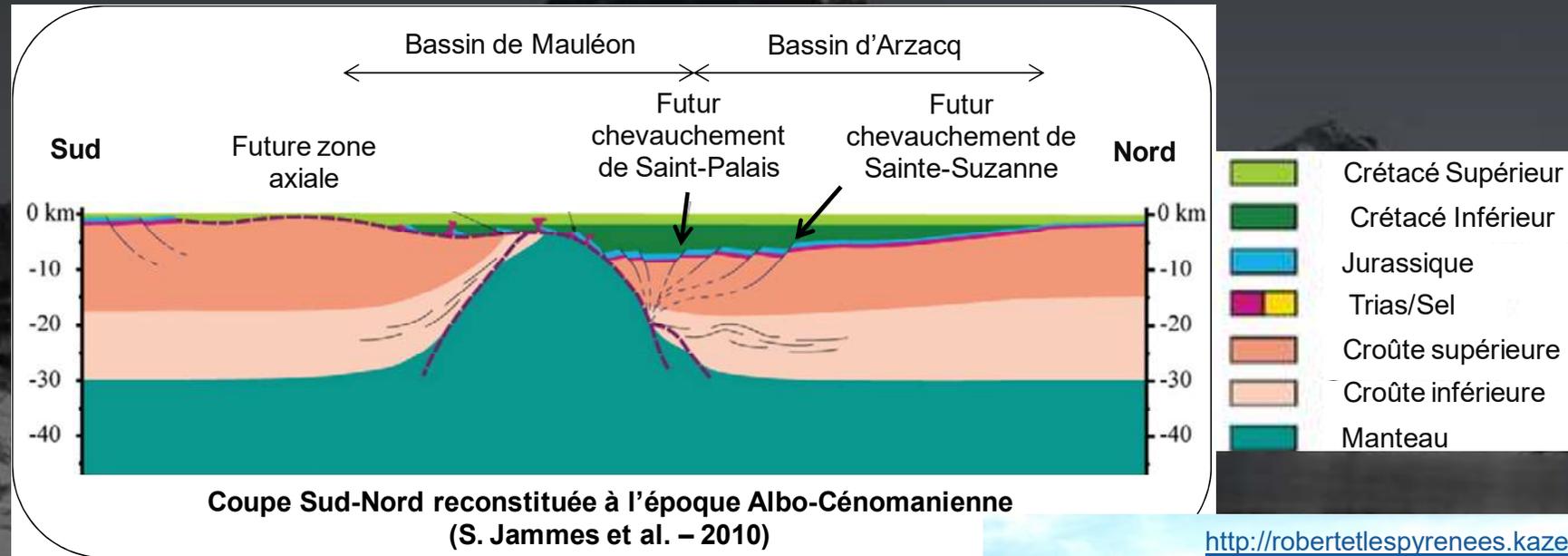


Bloc d'opicalcite = lherzolite serpentinisée + filons de dolomite/magnésite  
Col d'Urdach - 64  
(photo : R. Batté)

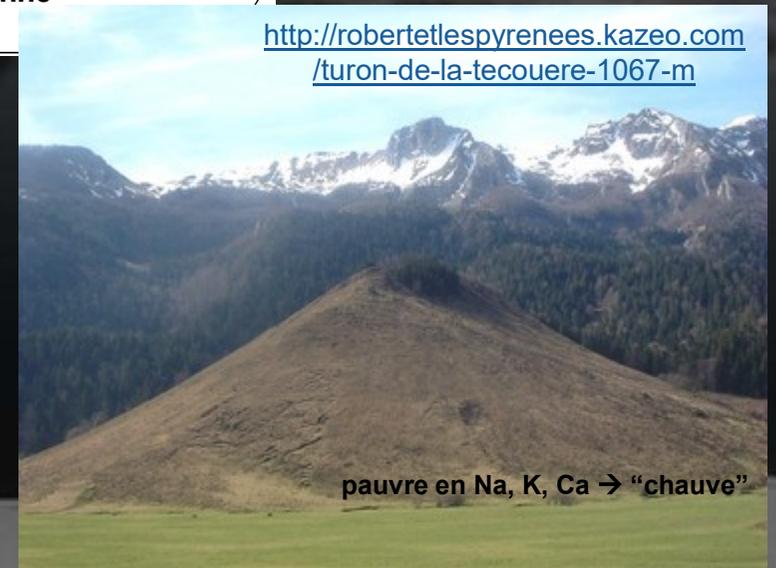
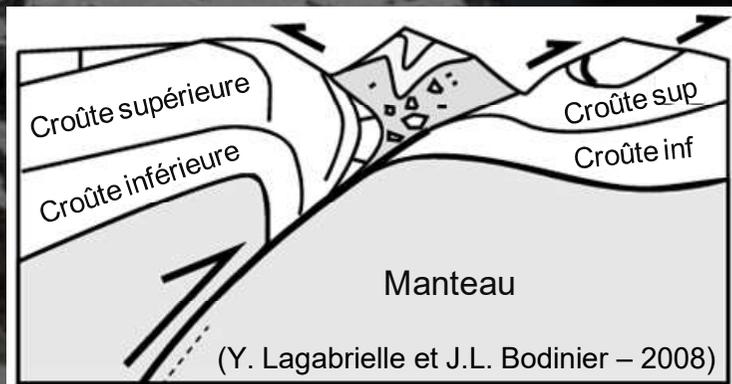


Les trois principaux stades de mise en place de la lherzolite correspondent à des évènements géologiques en lien avec le mouvement des plaques :

- 1- Etirement et amincissement/disparition de la croûte continentale
- 2- Remontée et dénudation du manteau supérieur mis au contact des sédiments du fond du bassin  
 Évènement daté de -108 à -103 Ma (Albien) pour la lherzolite du Col d'Urdach  
 → origine d'autres évènements magmatiques (volcanisme sous-marin, intrusions)



- 3- Soulèvement et affleurement dus à la tectonique pyrénéenne (fin Crétacé à début Tertiaire)



# La serpentinisation ... créatrice de Vie ?

1- **Serpentinisation** : Transformation en serpentine de minéraux ferromagnésiens (en particulier olivine) dans les péridotites transformées en serpentinite



2- **Synthèses Sabatier/Fischer-Tropsch** :  
 $4 \text{H}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$  (réaction catalysée par la magnétite)  
Cette réaction se produit au niveau des systèmes hydrothermaux océaniques

3- Les systèmes hydrothermaux :

- sont également le lieu d'une **synthèse de formaldéhyde ( $\text{CH}_2\text{O}$ )** par oxydation de méthane ou de  $\text{CO}_2$  .... Le formaldéhyde est un précurseur de la synthèse prébiotique d'acides aminés = « briques » des protéines et de la synthèse de bases azotées  $\rightarrow$  ARN, ADN
- contiennent de l'ammoniaque ( $\text{NH}_3$ ) ainsi que du cyanure d'hydrogène ( $\text{HCN}$ )  
 $\rightarrow$  synthèse d'oligomères azotés (**réaction de Strecker**)  
 $\rightarrow$  hydrolyse de ces oligomères conduit à la formation de nouvelles molécules azotées utiles au vivant (bases azotées, acides aminés)

La serpentinisation favorise la synthèse de composés organiques par réactions de type Sabatier/Fischer-Tropsch

Les systèmes hydrothermaux sont également le lieu d'une synthèse de précurseurs d'acides aminés et de la synthèse de bases azotées

La structure en feuillets des minéraux issus de la serpentinisation ainsi que leur capacité à adsorber des nucléotides favorisent ces réactions et leur confinement/protection

**$\rightarrow$  environnement favorable à l'émergence de la vie sur Terre**

# La serpentinisation ... créatrice de sel

Hypothèse traditionnelle : les dépôts salifères résultent de l'évaporation de faibles tranches d'eau marine ou lacustre → dépôt d'évaaporites



1- La serpentinisation consomme de grandes quantités d'eau pure

→ concentration des sels de l'eau de mer dans la saumure résiduelle

2- La précipitation de serpentine provoque une augmentation de volume de 40 %

→ forte pression de cristallisation qui expulse la saumure

3- Formation de déshydratites

Sources: E. Gaucher et al. – 2018, V. Scribano et al. – 2018

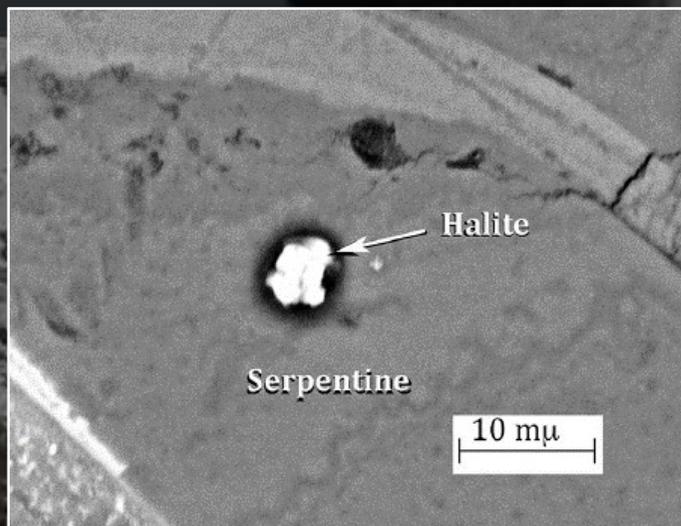


Image MEB montrant une inclusion de saumure avec agrégat de cristaux d'halite cubique dans une serpentine (Sicile)

V. Scribano et al. – 2018

# Roches effusives et intrusives

On trouve près d'Ogeu un exemple de volcanisme sous-marin avec des coulées de laves en tubes et en coussins

En se solidifiant, elles donnent des **basaltes** qui sont des **roches effusives basiques**  
(avec refroidissement très rapide au contact de l'air ou de l'eau)

**roche basique** = sous-saturée  
en silice avec une teneur entre  
45 % et 52 % de  $\text{SiO}_2$

Les formes résultent de la nature sous-marine des épanchements :  
la lave (700 à 1200 °C) entre en contact avec de l'eau de mer (à environ 5 °C)

« *Pillow lavas* » récents  
Hawaï (Wikipédia)

Les premiers *pillow lavas* ont été  
directement observés par lors de  
l'opération franco- américaine FAMOUS  
(1973-74)  
sur l'axe de la dorsale médio-atlantique

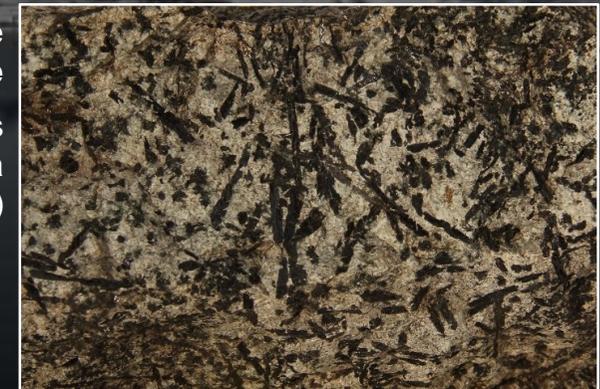


Basaltes en tubes  
et en coussins  
(photo : E. Legendre)



A qq km (Buzy) on trouve un filon de roche  
très particulière : la **teschénite**

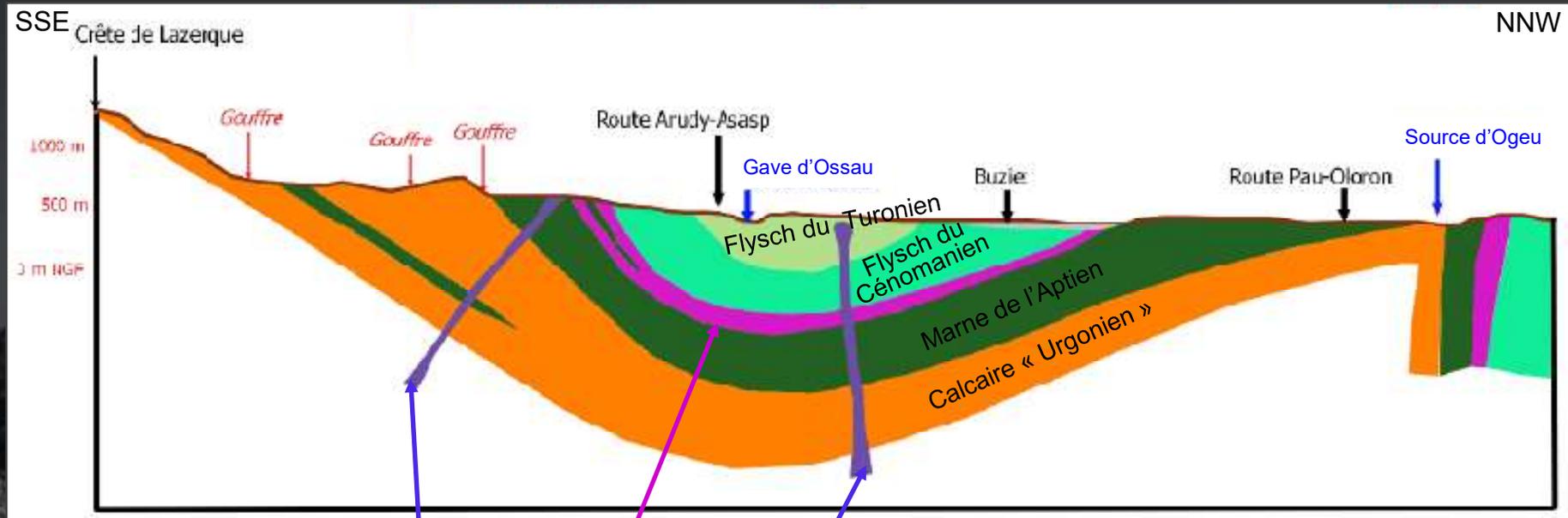
Comme les basaltes c'est une roche basique mais  
**intrusive** (produite par refroidissement lent du magma  
en profondeur) (photo : G. Bonnetaud)



Flysch métamorphisé en **cornéenne**  
(photo : M.Do. Legendre)

- Ce sont 2 manifestations des évènements magmatiques qui ont affecté la région il y a environ 100 Ma
  - Ces évènements sont à mettre sur le compte de l'amincissement de la croûte continentale
- remontée du manteau supérieur → transit de magmas alcalins par failles à travers le flysch (sédiments)  
avec d'abord des roches **effusives** (coulées de basalte) datées Albien supérieur/Cénomaniens inférieur  
puis des roches **intrusives** (filons de teschenite)

# Coupe géologique SSE-NNW à l'Ouest d'Arudy



Coulées volcaniques

Teschénite

La proximité des filons de teschénite et des coulées de basalte montre la relation étroite entre roches effusives et intrusives même si l'affleurement de Buzy témoigne que les filons peuvent être plus tardifs (Turonien)

- L'activité magmatique commence dans les Pyrénées centrales et occidentales vers -105 Ma se développe entre -95/-90 Ma et se termine vers -85 Ma
- Les données géochimiques suggèrent que, malgré la grande diversité des produits émis sur près de 20 Ma, ce magmatisme proviendrait d'une source homogène

# Pillow-lavas du Bager d'Arudy



Coulée volcanique (lave en coussins)  
(photo : R. Batté)

Méga pillow-lava à prismes de refroidissement orientés vers le coeur de la structure

- Sous ce pillow-lava on observe les prismes d'un autre épisode volcanique

(photo : G. Bonneteaud)



# Minéraux associés aux phénomènes magmatiques du Crétacé moyen dans les Pyrénées occidentales



« Saphir des Pyrénées »

Corindon du massif de Iherzolite d'Urdach/Les Pernes – 64  
contenu dans un filon de pegmatites issu de la fusion  
commençante du manteau lors de sa remontée  
vers la surface entre -108 et -103 Ma

(photo : A. Legendre)

Teschénite de Buzy – 64  
avec - baguettes de barkévicite  
(amphibole brune)  
- analcime

(photo : A. Legendre)



# Minéraux associés aux phénomènes magmatiques du Crétacé moyen dans les Pyrénées ... et au-delà (1/3)

Conséquence possible de la phase d'amincissement de la croûte continentale à l'Albien (qui a permis la remontée du manteau supérieur et la formation des Iherzolites) :

→ circulations de fluides hydrothermaux à grande échelle

→ à l'origine des minéralisations de

- Talc de Luzenac
- Fluorites de l'Albigeois
- Pyrites de la Rioja



# Événement d'importance régionale au niveau des Pyrénées (2/3)

N° échantillon	Localisation	1/50000	Type de roche	Système	Age K/Ar	Age 40Ar/39Ar
<b>Corbières</b>						
FI-9-3	Fitou	1079	ne-syéénite	A + P	90,0 ± 4,5	
ROQ-6	Roquefort	1078	monchiquite	M	89,0 ± 3	
FRA-84	Fraissé	1078	gabbro alc.	A	93,0 ± 3	
				A		89,5 ± 0,5
FA-75	Mas Farine	1078	sannaïte	A	95,5 ± 3,5	
Inconnu	Mas Farine	1078	sannaïte	A		95 ± 2,3
<b>Pyrénées centrales</b>						
ERET	Lherz	1086	gabbro picrit.	A	109 ± 4	
				M	107 ± 4	
ARG-2	Argein	1073	cortlandïte	A + M	104 ± 4	
				A	101 ± 3	
SN-904	St Sernin	1074	gabbro			101 ± 1
A101-5	Aurignac	sondage	gabbro alc.	M	111 ± 4	
A43-B	Aurignac	sondage	gabbro alc.	M	113 ± 4	
A101-4003	Aurignac	sondage	lamprophyre	A		110 ± 4
<b>Pyrénées occidentales</b>						
PO-703	Pouzac	1053	ne-monzonite	M	91,5 ± 3	
				A	89,0 ± 3	
				M		96 ± 1
LA-73	Arrodet	1053	sod-syéénite	S + F	91,5 ± 3,5	
AD-77	Adé (Lourdes)	1052	picrite	M + A	96 ± 4	
BLU-721	Rebenacq	1051	teschéénite	A	96 ± 4	
				A	93	
BUZ-1	Buzy	1051	teschéénite	A	93 ± 4	
HAB-69	Arudy	1051	picrite	M	108 ± 4	
AY-2	Arudy	1051	teschéénite	A	94 ± 4	
				A		92 ± 2
MIX-691	Mixe	1002	teschéénite	A	99 ± 4	
BAD-2067	Bardos	sondage	gabbro alc	A	113 ± 4	
				A	118 ± 5	
				A		115 ± 4
<b>Pays basque espagnol</b>						
ELIZ-1	Elizondo	91/26-6	gabbro alc.	A	86,5 ± 3,5	
4049	Vergara	88/23-6	teschéénite	A	83,5 ± 3	
				A		84-85
ANZ-6952	Anzuola	88/23-6	gabbro alc.	A	87,5 ± 3	
				A		86 ± 2
AXP-705	Axpe	87/22-6	teschéénite	A	104 ± 4	
				M	113 ± 4	
				A		106
EIB-1A	Eibar	63/23-5	cumulat	A	88,5 ± 3	
				A		86

Source AGSO - 2016

## Autre exemple : le volcanisme sous-marin du synclinal de Bilbao

Coulées échelonnée entre l'Albien supérieur (environ -100 Ma) et le Santonien inférieur (environ -85 Ma)

T. Juteau – 2014



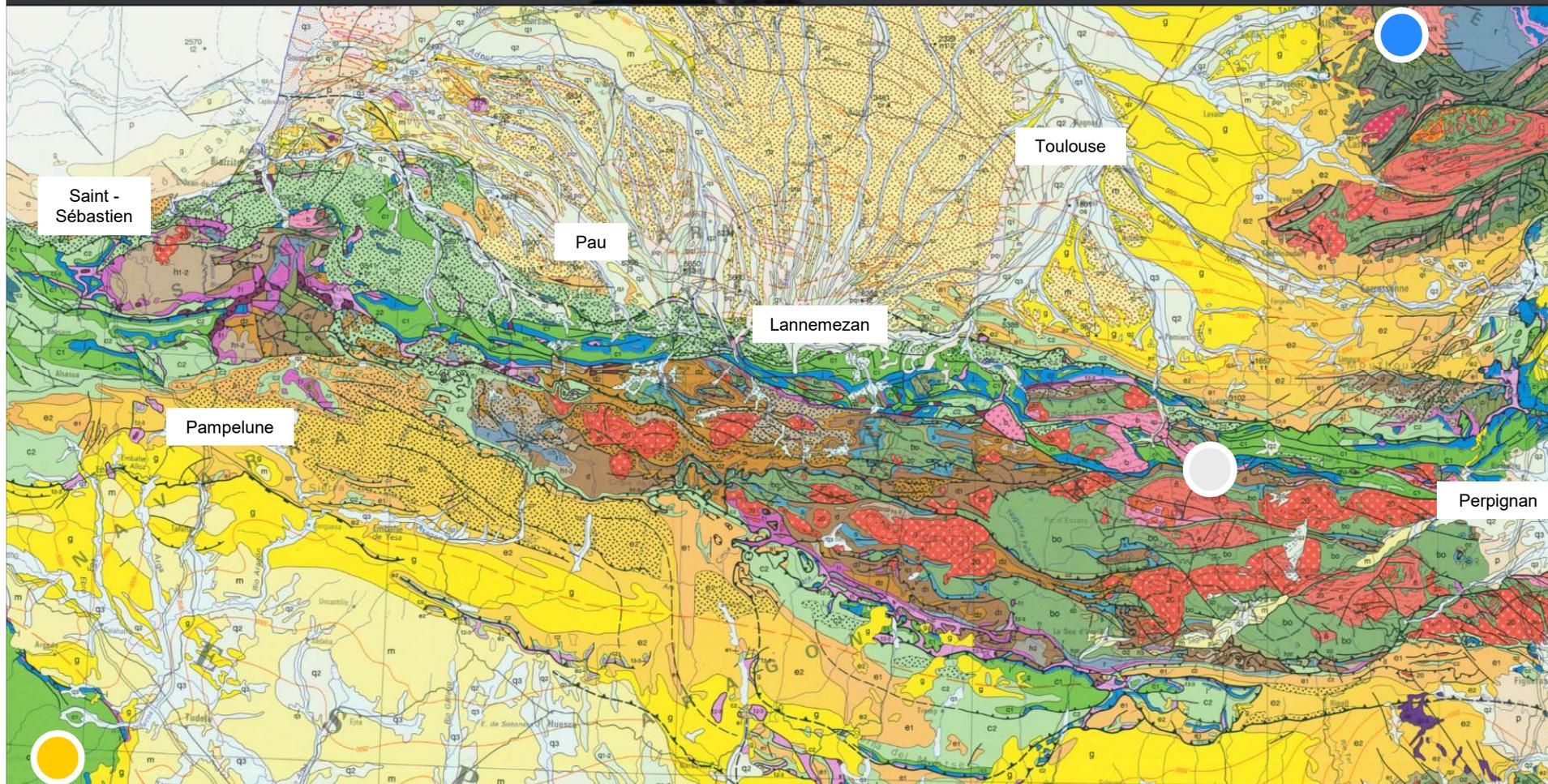
Tubes de pillow lavas enchevêtrés (route de Soraluze)



Tube de lave évidé au cœur entre des pillow lavas  
 • très grande vésicularité du basalte → anciennes bulles de gaz remplies de calcite secondaire d'origine hydrothermale (Meñakoz)

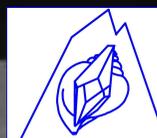
# Minéraux associés aux phénomènes magmatiques du Crétacé moyen dans les Pyrénées ... et au-delà (3/3)

Fluorites de l'Albigeois



Pyrites de la Rioja

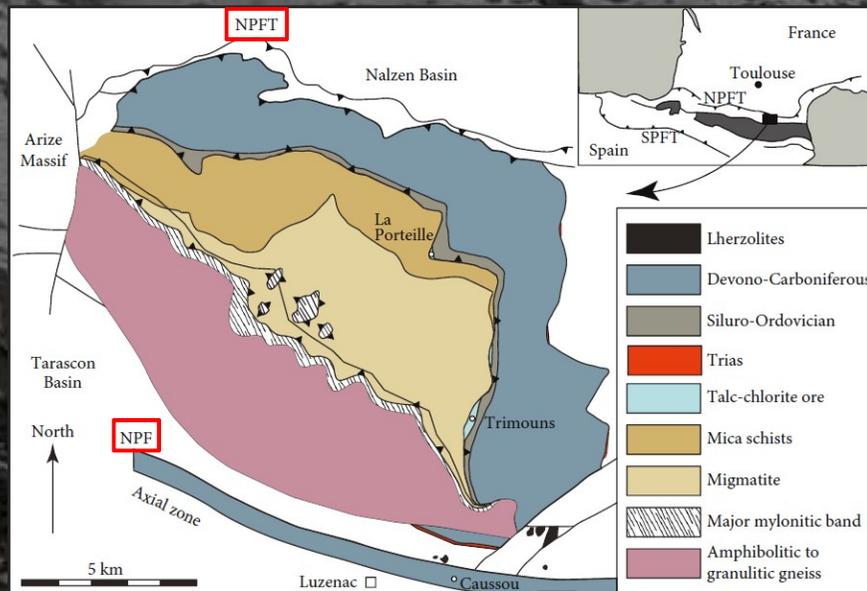
Talc de Luzenac



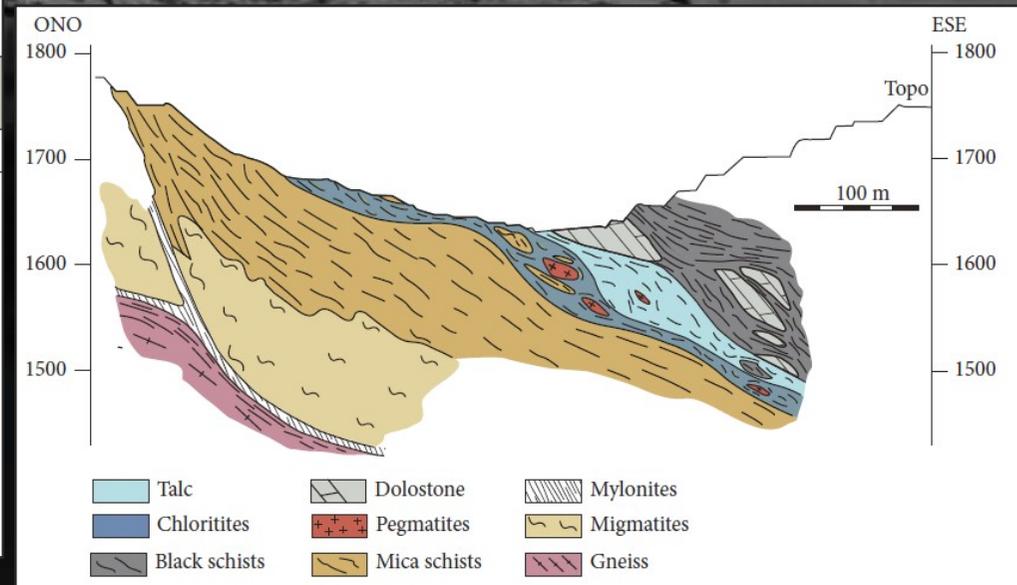
# Le talc de Luzenac (Ariège) 1/3

Le dépôt géant de talc-chlorite de Trimouns est le plus grand dépôt de talc au monde (400 000 tonnes de talc produites par an ~ 10 % de la production mondiale)

Il est situé sur une zone de failles qui représente un des principaux drains à l'échelle des Pyrénées



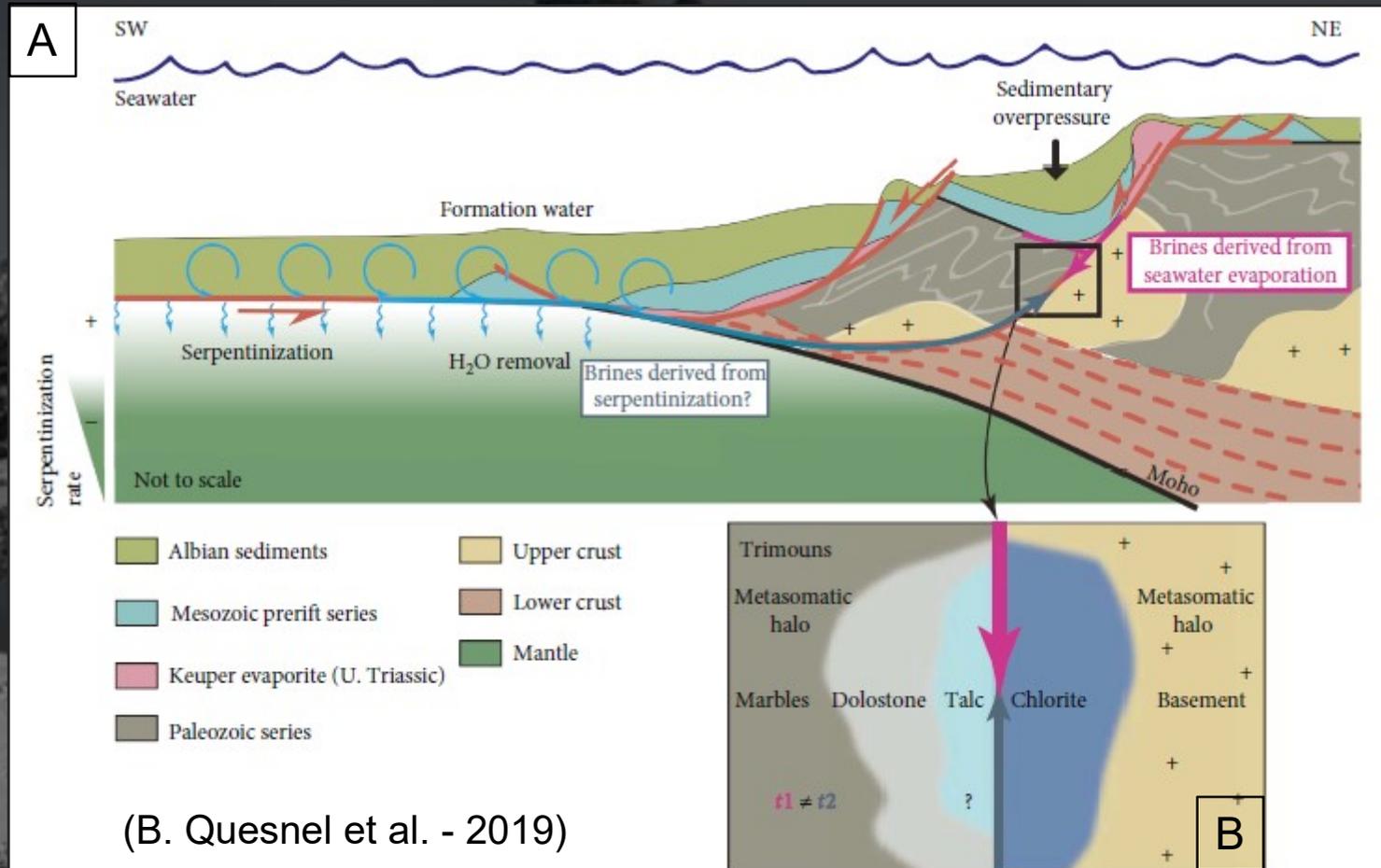
Carte géologique du massif de Saint-Barthélémy (B. Quesnel et al. – 2019)



Coupe géologique synthétique (B. Quesnel et al. – 2019)

# Le talc de Luzenac (Ariège) 2/3

On attribue à l'Albien l'âge de la minéralisation en talc de Luzenac d'origine hydrothermale (P. Boulvais et al. – 2006, B. Quesnel et al. - 2019)



(B. Quesnel et al. - 2019)

**A- Modèle représentant la circulation de 2 sources de saumures (t1 - évaporites du Trias & t2 - déshydratites issues de la serpentinisation) au Crétacé moyen-supérieur**  
**Ces 2 circulations ont pu être temporairement déconnectées (t1 ≠ t2)**

**B- Interactions des saumures avec la roche pour former du talc**  
 (marbres → dolostones → talc ; pegmatite + micaschistes → chlorite ± talc)

# Quelques minéraux de Luzenac (Ariège) 3/3



Dolomite  
(photo Wikipédia)

*L'homme préhistorique a utilisé du talc dans les peintures pariétales de la grotte de Niaux (15 – 20 km à l'Ouest de Trimouns)*



Talc  
(photo Wikipédia)



Allanite



Bastnaesite

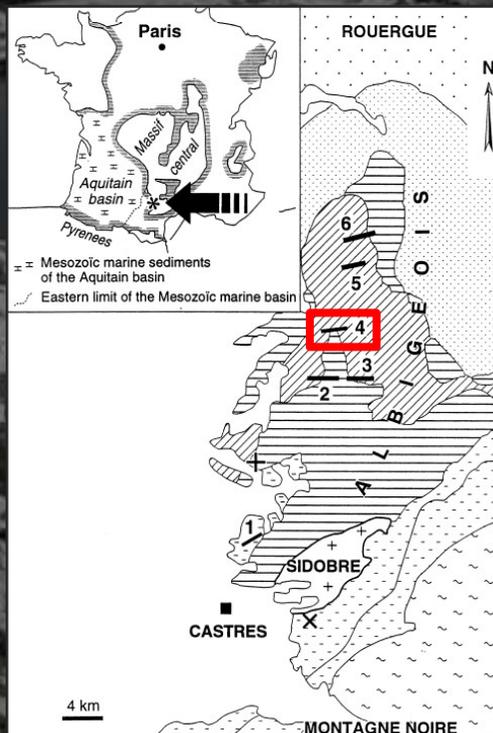
photos : [www.mindat.org](http://www.mindat.org)

# La paragenèse de la mine du Burc (Tarn) 1/2

- Minéralisation (en F principalement, mais aussi en Cu) de type gîte filonien de socle encaissée dans des schistes Cambro-Ordoviciens (autour de 500 Ma)
- Filon d'orientation Est-Ouest
- Premiers travaux datant des Romains et mine exploitée pour le Cuivre au Moyen-Age
- Mine moderne du Burc de 1954 en 2006 (production de 1,4 million de tonnes de minerai, à environ 40 % de  $\text{CaF}_2$ )



Photo D. Sassier



Carte géologique simplifiée et principaux filons de fluorite de l'Albigeois (M. Munoz et al. - 1999)



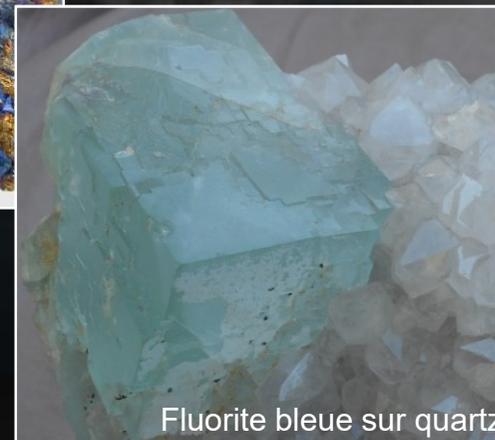
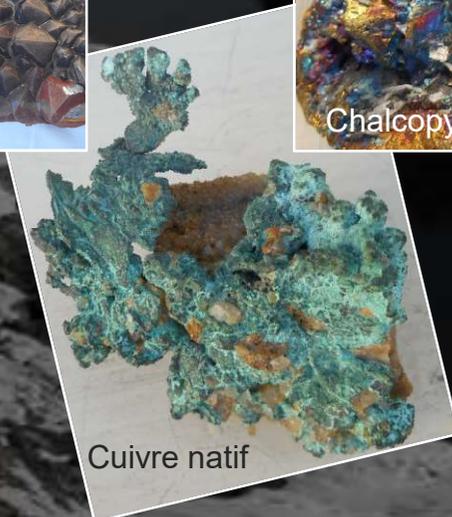
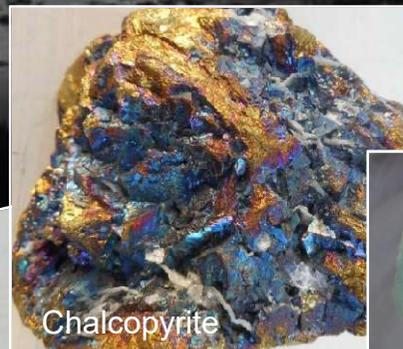
+ Peyrebrune                      X St SALVY

(A) Tertiaire (B) Cambrien Moyen-Supérieur (C) Ordovicien  
 (D) Formations du Nord Albigeois (E) Cambrien Inf.-Moyen  
 (F) Zone axiale de la Montagne Noire (G) Granite du Sidobre  
 (H) Formations du Rouergue

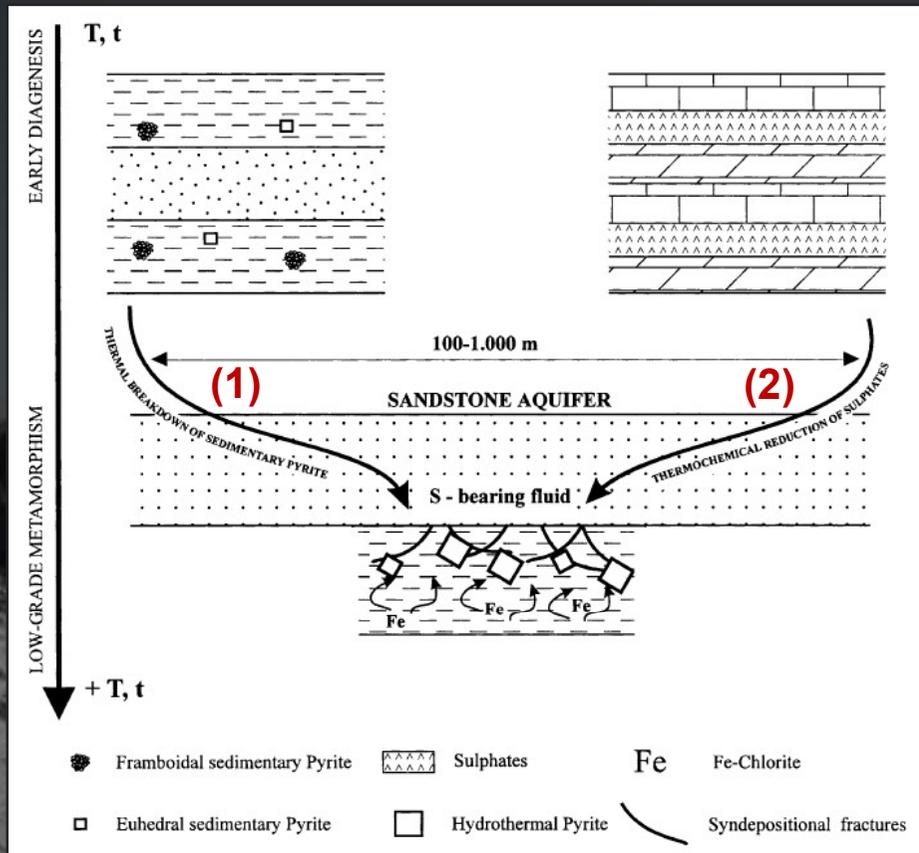
1 : Berlan 2 : Montroc 3 : Le Moulinal

**4 : Le Burc** 5 : Embournegade 6 : Trébas

- Selon E. Deloule (étude des inclusions fluides – IPG Paris – 1982) : fluorite déposée suite au refroidissement de saumures hydrothermales entre 300 et 180 °C
- M. Munoz et al. (U. Toulouse – 1999) distinguent plusieurs stades de dépôt de minéraux :
  - 1- Silice (important)
  - 2- Sulfures (mineur) dont chalcoppyrite et pyrite
  - 3- Fluorite bleue
  - 4- Stades tardifs : fluorite jaune, fluorite violette, quartz (localement associé à de la sidérite, tétraédrite, chalcoppyrite et arsénopyrite)
- Les premières hypothèses sur la formation du gisement supposaient une mise en place de la fluorite autour de 300 Ma (épisode « tardi-Hercynien »)
- Des datations radio-isotopiques (couple Sm-Nd) effectuées par l'U. Toulouse sur des échantillons de Montroc (M. Munoz et al. - 2005) ont permis de proposer un âge Albien (110 Ma)



# Les pyrites de Navajún (Rioja) 1/2



Selon J. Alonso-Azcarate (1999) un **fluide hydrothermal** env. 350-370 °C se serait chargé en Soufre issu

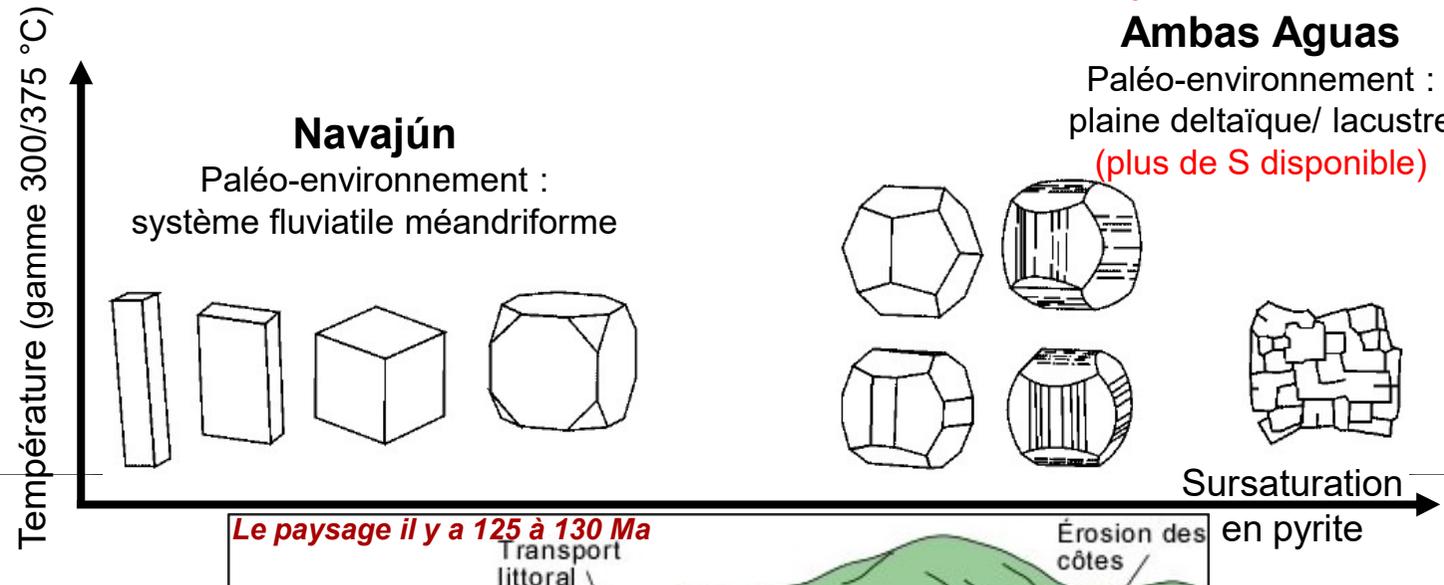
- 1- de la décomposition thermique de pyrite déjà présente et disséminée dans les sédiments
- 2- de la réduction thermique de sulfates (gypse). Il aurait circulé dans d'anciens chenaux gréseux.

A la base de ces drains, le fluide hydrothermal aurait alors fracturé des niveaux argileux (contenant de la chlorite) permettant au soufre en solution de réagir avec du fer présent dans les chlorites pour former les cristaux de pyrite.

Cette phase de **métamorphisme hydrothermal** daterait du Crétacé moyen (-106 à -86 Ma) et aurait permis la mise en place des pyrites de Navajún et d'Ambas Aguas.

# Les pyrites de Navajún (Rioja) 2/2

Selon J. Alonso-Azcarate (2001) les différences de formes des pyrites entre Navajún et Ambas Aguas seraient liées aux variations de faciès sédimentaires et à leur capacité à libérer des ions sulfates dans le fluide hydrothermal → sursaturation



*Le paysage il y a 125 à 130 Ma*



photos : Q. Legendre



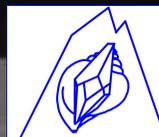
# En conclusion :

## 3 grandes phases de magmatisme/volcanisme dans les Pyrénées Centrales et Occidentales

Types de magmas	Age (Ma)	Cycle orogénique	Contexte tectonique	Milieu
<b>Granites</b>	<b>300</b>	fin orogénèse	Mise en place	Continental
<b>Volcanisme acide explosif (dacite/andésite)</b>	<b>260-280</b>	Hercynienne	de la Pangée	
<b>Ophites</b>	<b>200</b>	Cycle Alpin	Début dislocation de la Pangée <i>(début ouverture Atlantique Nord)</i>	Marin
<b>Lherzolite Basaltes sous-marins/teschénite</b>	<b>110-85</b>	Cycle Alpin	Période d'expansion marine avec amincissement de la croûte <i>(début océanisation Atlantique Nord)</i> <b>Importantes circulations hydrothermales</b>	Marin

cycle orogénique = Succession des évènements qui voient se former puis se détruire une chaîne de montagne (typiquement en 3 grandes phases : 1. sédimentation 2. orogénèse 3. pénéplanation)  
Def. Dictionnaire de Géologie

**Pas d'évènement magmatique lors de l'orogénèse Pyrénéenne (mais autres phases de circulations hydrothermales)**



**Merci de votre attention !**

Merci de votre attention !

