## LA FRANCE PALEOZOIQUE

#### Olivier LACOMBE









### INTERNATIONAL STRATIGRAPHIC CHART



International Commission on Stratigraphy

Eonothem Eon	Erathem Era	System Period	Series Epoch	Stage Age	Age	GSSP						
			Holocene		0.0117	≽						
		any	Pleistocene	Upper								
		Quaternary		"lonian"	0.126							
				Calabrian	0.781	᠕						
				Gelasian	1.806	٨						
			Pliocene	Piacenzian	2.588	888888						
				Zanclean	3.600	۸						
		m	Miocene	Messinian	5.332	۵						
		Neogene		Tortonian	7.246	_						
	ic	go		Serravallian	11.608	8						
	2 O	Š		Langhian	13.82	-						
	0 U			Burdigalian	15.97							
	Φ			Aquitanian	20.43	٨						
Phanerozoic	O	Paleogene	Oligocene	Chattian	23.03							
0				Rupelian	28.4 ±0.1	_						
0			alle	Priabonian	33.9 ±0.1	-						
e				Bartonian	37.2 ±0.1							
_			Eocene	Lutetian	40.4 ±0.2							
h				Ypresian	48.6 ±0.2	۸						
۵					Ра	Pa	Ра		Thanetian	55.8 ±0.2		
									Paleocene	Selandian	58.7 ±0.2	88888
			Danian		~ 61.1	~						
						65.5 ±0.3	~					
	Mesozoic		S	Campani Santonia						Maastrichtian	70.6 ±0.6	
								-	83.5 ±0.7			
		staceou				85.8 ±0.7						
				Coniacian	~ 88.6							
				Turonian	93.6 ±0.8	<i>&gt;</i>						
			3	Cenomanian	99.6 ±0.9							
			eta	Albian	112.0 ±1.0							
				Aptian	125.0 ±1.0							
			Lower	Barremian	130.0 ±1.5							
			Lower	Hauterivian	~ 133.9							
				Valanginian	140.2 ±3.0							
				Berriasian	145.5 ±4.0							

	International Commission																					
Eonothem	Erathem Era	System Period	Coning	Epoch	Stage	Age Ma	GSSP															
hanerozoic	Mesozoic	urassic	lurassic			Uş	oper	Tithonian Kimmeridgian Oxfordian	145.5 ±4.0 = 150.8 ±4.0 ~ 155.6													
				M	iddle	Callovian  Bathonian  Bajocian  Aalenian	161.2 ±4.0 164.7 ±4.0 167.7 ±3.5 171.6 ±3.0	444														
		7	Lo	ower	Toarcian Pliensbachian Sinemurian Hettangian	175.6 ±2.0 183.0 ±1.5 189.6 ±1.5 196.5 ±1.0	7															
		iassic		oper	Rhaetian Norian Carnian Ladinian	199.6 ±0.6 203.6 ±1.5 216.5 ±2.0 ~ 228.7 237.0 ±2.0	*															
		F	F		ower	Anisian Olenekian Induan Changhsingian	~ 245.9 ~ 249.5 251.0 ±0.4	<i>&gt;</i>														
Δ.	Paleo zoic	Permian	Lop	ingian	Wuchiapingian Capitanian	253.8 ±0.7 260.4 ±0.7	4444															
			ırmian	ırmian	ırmian	ırmian	ırmian	ırmian	rmian	ırmian	ırmian	ırmian	ırmian	ırmian	ırmian	ermian	ırmian	Guad	dalupian	Wordian Roadian	265.8 ±0.7 268.0 ±0.7 270.6 ±0.7	<i>&gt; &gt; &gt;</i>
			uralian	Kungurian Artinskian Sakmarian	275.6 ±0.7 284.4 ±0.7																	
		<u>_</u>		Upper	Asselian Gzhelian	294.6 ±0.8 299.0 ±0.8 303.4 ±0.9	<i>&gt;</i>															
			Kasimovian 307.2 ±1	307.2 ±1.0 311.7 ±1.1																		
			arbon	arbon sis-	Lower Upper Middle	Bashkirian Serpukhovian Visean	318.1 ±1.3 328.3 ±1.6															
		J	sin s	Lower	Tournaisian	345.3 ±2.1 359.2 ±2.5	5															

in Stratigraphy										
Eonothem Eon	Erathem Era	System Period	Series Epoch	Stage	Age Ma	GSSP				
				Famennian	359.2 ±2.5 •	≫				
		Devonian	Upper	Frasnian	374.5 ±2.6					
				Givetian	385.3 ±2.6	~ ~ ~				
			Middle	Eifelian	391.8 ±2.7	>				
		e S		Emsian	397.5 ±2.7	~				
			Lower	Pragian	407.0 ±2.8	۸				
				Lochkovian	411.2 ±2.8	2				
			Pridoli		416.0 ±2.8	<i>&gt;</i>				
				Ludfordian	418.7 ±2.7	۸				
			Ludlow	Gorstian	421.3 ±2.6					
		Silurian		Homerian	422.9 ±2.5 426.2 ±2.4	~ ~ ~				
		Ē	Wenlock	Sheinwoodian						
		ŝ		Telychian	428.2 ±2.3					
O	Paleo zoic		Llandovery	Aeronian	436.0 ±1.9	>				
0		ے		Rhuddanian	439.0 ±1.8					
0 2					443.7 ±1.5					
hanerozoic			Upper	Hirnantian	445.6 ±1.5	<i>&gt;</i>				
				Katian	455.8 ±1.6	<i>&gt;</i>				
			ici	icia		Sandbian	460.9 ±1.6	<i>&gt;</i>		
ā			Middle	Darriwilian	468.1 ±1.6	ᄼ				
				oro	Ord	o		Dapingian	471.8 ±1.6	>
									Lower	Floian
							Tremadocian	488.3 ±1.7	≫	
		Cambrian							Stage 10	~ 492 *
			Furongian	Stage 9	~ 496 °					
				Paibian	~ 499	≽				
			Series 3	Guzhangian		<i>&gt;</i>				
				Drumian	~ 503	<i>&gt;</i>				
				Stage 5	~ 506.5					
		ပိ	Series 2	Stage 4	~ 510 °					
				Stage 3	~ 515 *					
			Terreneuvian	Stage 2	~ 521 *					
				Fortunian	~ 528 *	۸				
				211211211	542.0 ±1.0	<b>0</b>				

This chart was drafted by Gabi Ogg. Intra Cambrian unit ages A.G. Smith, et al. (2004; Cambridge University Press) with \* are informal, and awaiting ratified definitions.

A.G. Smith, et al. (2004; Cambridge University Press) and "The Concise Geologic Time Scale" by J.G. Ogg,

Copyright © 2009 International Commission on Stratigraphy

	Eonothem Eon	Erathem Era	System Period	8 W 542	GSSP	
mbrian	Proterozoic	Neo- proterozoic Meso- proterozoic	Ediacaran Cryogenian Tonian Stenian Ectasian	~635 850 1000 1200	<b>∂</b> @@@ №	
		Calymmian Statherian Paleo- proterozoic Rhyacian Siderian	1600 1800 2050 2300 2500	<u>Მ</u> ᲛᲛᲛᲛᲛᲛᲛ		
reca	Archean	Neoarchean		2800	①	
Р		Mesoarchean Paleoarchean		3200	<b>(</b>	
		Eoarchean		3800	①	
~	Hadean (informal)					

Subdivisions of the global geologic record are formally defined by their lower boundary. Each unit of the Phanerozoic (~542 Ma to Present) and the base of Ediacaran are defined by a basal Global Boundary Stratotype Section and Point (GSSP P), whereas Precambrian units are formally subdivided by absolute age (Global Standard Stratigraphic Age, GSSA). Details of each GSSP are posted on the ICS website (www.stratigraphy.org).

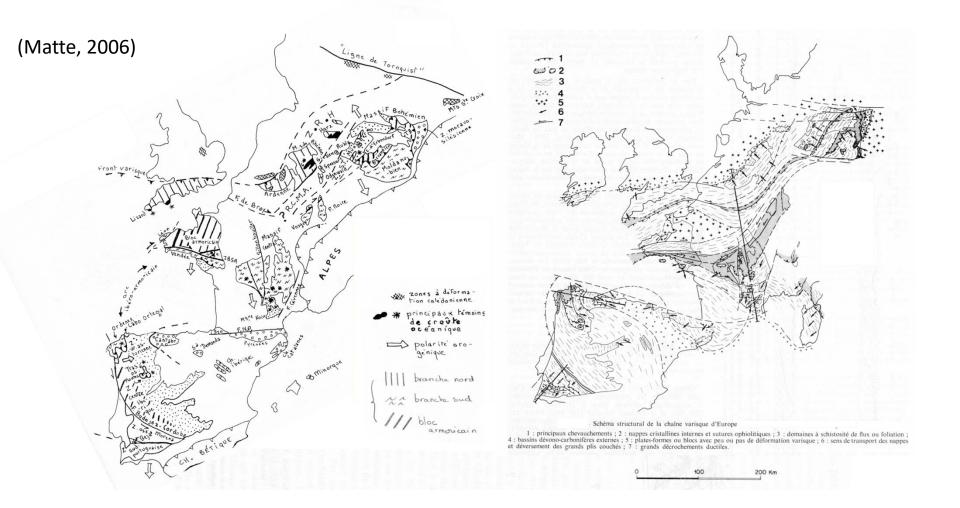
Numerical ages of the unit boundaries in the Phanerozoic are subject to revision. Some stages within the Cambrian will be formally named upon international agreement on their GSSP limits. Most sub-Series boundaries (e.g., Middle and Upper Aptian) are not formally defined.

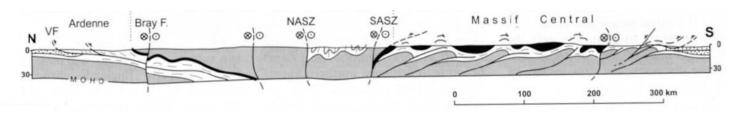
Colors are according to the Commission for the Geological Map of the World (www.cqmw.org).

The listed numerical ages are from 'A Geologic Time Scale 2004', by F.M. Gradstein, J.G. Ogg, A.G. Smith, et al. (2004; Cambridge University Press) and "The Concise Geologic Time Scale" by J.G. Ogg, G. Ogg and F.M. Gradstein (2008).

## I. Présentation du domaine paléozoïque

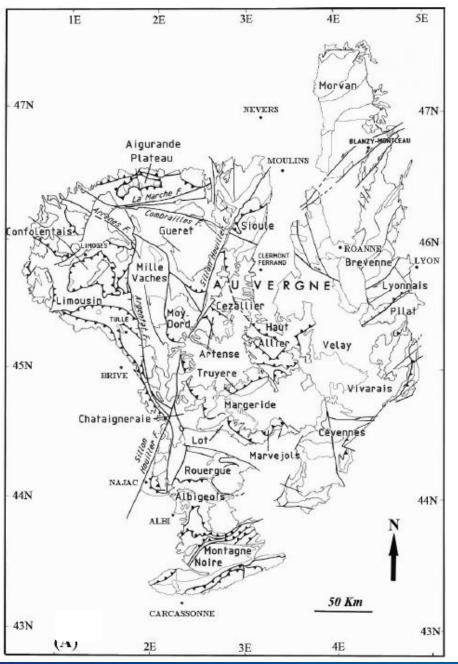
- Le domaine paléozoïque, socle du cycle alpin
- Les massifs paléozoïques en France
- La place de l'Hercynien français en Europe et les grands traits de l'organisation de la chaîne hercynienne





## II. Le domaine paléozoïque méridional : Massif Central, Massif Armoricain, Vosges

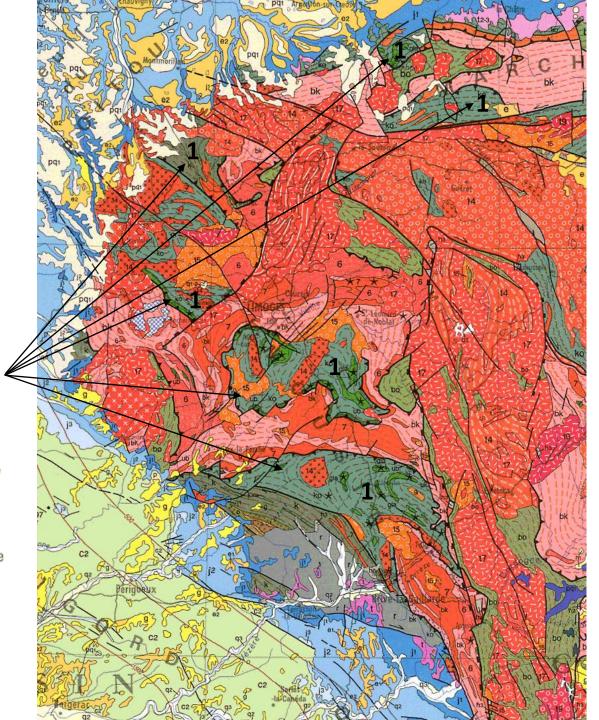
A. Le Massif Central





## Les systèmes de nappes crustales

- 1. L'unité supérieure des gneiss
- 2. L'unité inférieure des gneiss
- 3. L'unité structurale inférieure (unités micaschisteuses ou autochtone relatif)
- 4. Le complexe des nappes paléozoïques de la Montagne Noire



1.
Unité supérieure
des gneiss (ko)
(avec à sa base – gla)
des reliques
d'éclogites)

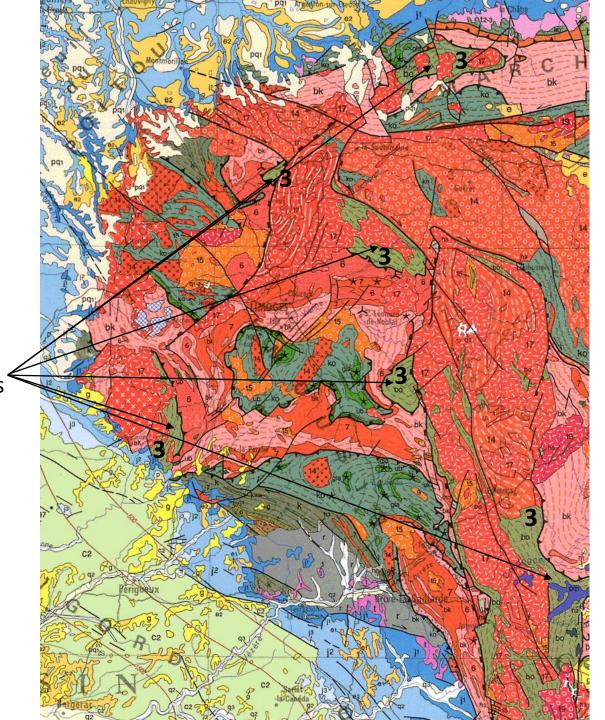
1\*

1 : Relique éo-varisque éclogitique

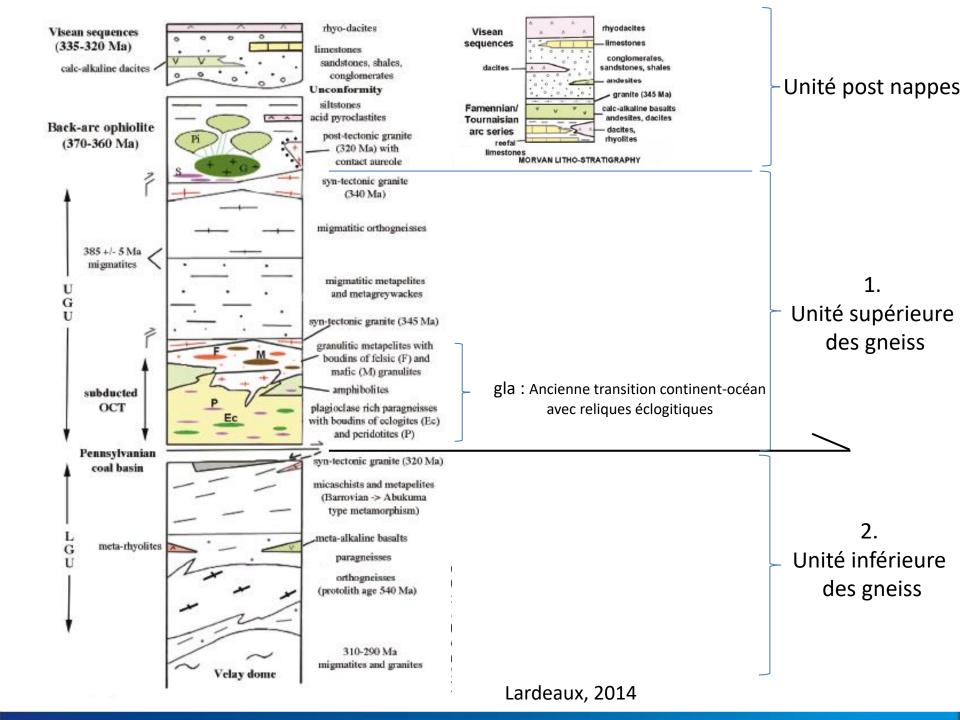
gla

Complexe varisque leptyno-amphibolique

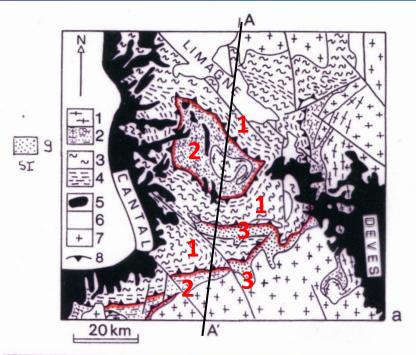
2. Unité inférieure des gneiss (bk)

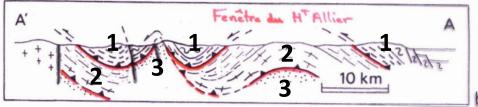


3.
Unités micaschisteuses (bo)





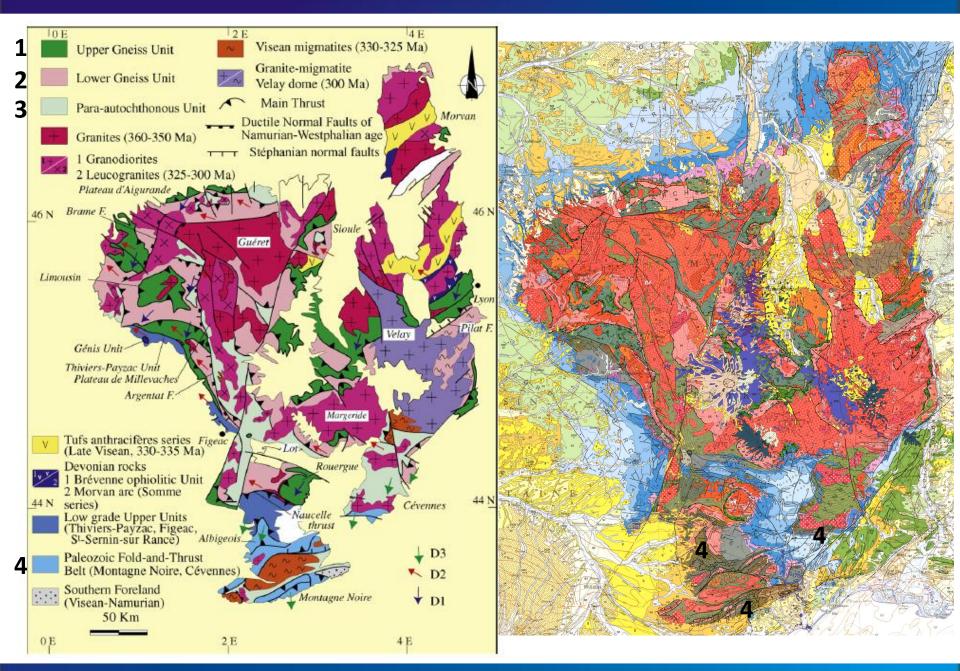




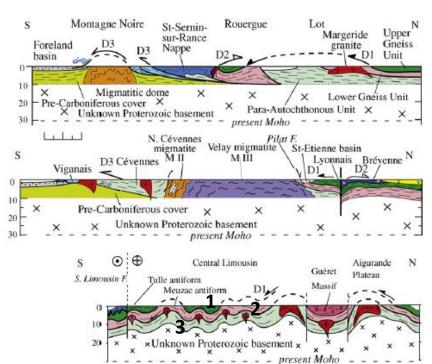
Relations géométriques entre unité allochtone (rétrograde) et unité para-autochtone ou autochtone (prograde) dans le Massif Central français, au sud de Brioude (d'après Burg et Matte, 1978

L'unité allochtone (3 : migmatites; 4 : série « leptyno-amphibolique ») chevauche largement l'unité sous-jacente (1 : orthogneiss; 2 : métapélites à sillimanite), avec une flèche supérieure à 50 km. 5 : roches volcaniques néogènes et quaternaires; 6 : bassins sédimentaires oligocènes; 7 : granitoïdes varisques; 8 : chevauchement.

9: unité structurale inf.



(Faure et al., 2009)



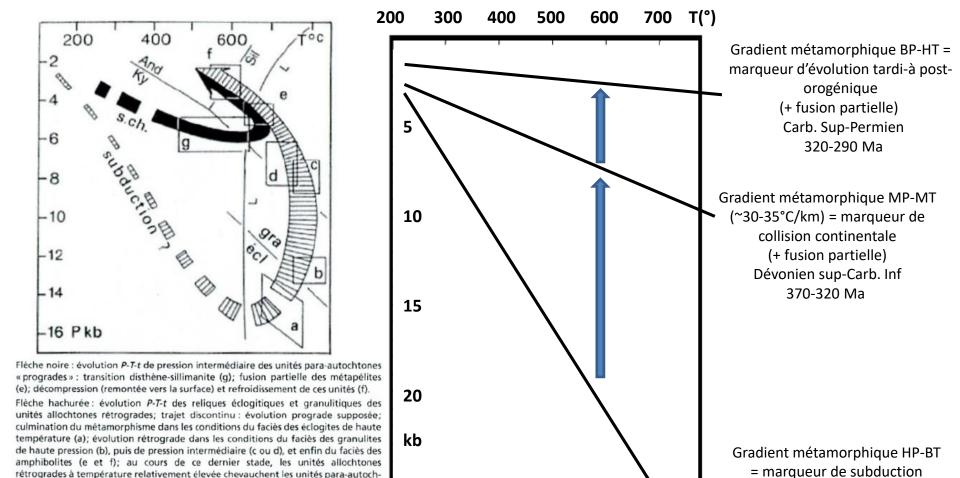
Unité sup. des gneiss 1

Unité inf. des gneiss 2

Unité micaschisteuse 3

(Faure et al., 2009)

# 2. L'évolution métamorphique des unités crustales du MC



Comment expliquer cette évolution avec les hautes températures :

rétrogrades à température relativement élevée chevauchent les unités para-autochtones progrades plus froides; la fusion partielle des métapélites (migmatisation) a

pu intervenir à tous les stades compris entre (a) et (e) si les conditions de PH<sub>2</sub>O sont restées élevées, s. ch.: sous charriage des unités para-autochtones progrades; écl:

éclogites; gra : granulites. Données de Burg et al. (1989) et de Mercier et al. (1991).

- → Subduction océanique/continentale : enfouissement plus rapide que réchauffement → gradient HP-BT (cf Alpes)
- → Ralentissement de la convergence quand la partie amincie de la marge arrive dans la zone de subduction + production de chaleur par la radioactivité de la croûte continentale qui s'épaissit → gradient MP-MT de collision (cf Alpes)

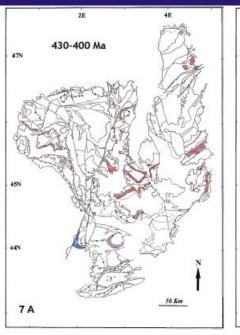
océanique/continentale

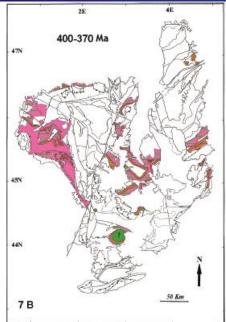
Silurien-Dévonien inf

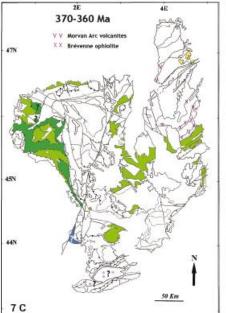
430-390 Ma

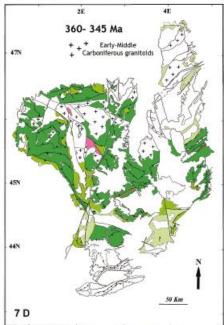
→ Evolution vers la BP-HT par amincissement crustal post-orogénique et remontée du manteau

#### (Lardeaux, 2014)









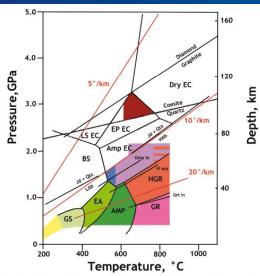
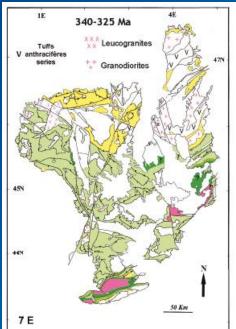
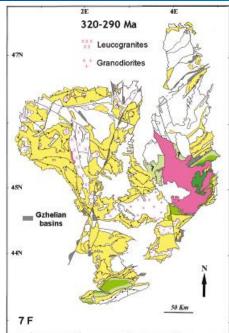
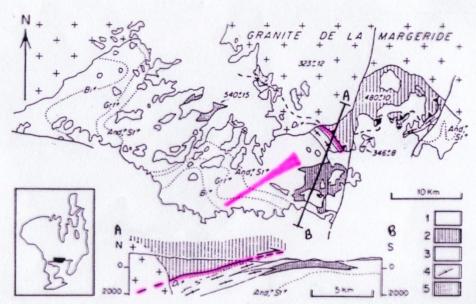


FIG. 9. – Metamorphic facies for the French Massif Central. Facies boundaries after Ernst and Liou [2008].

BS: Blueschist facies; Lws EC: Lawsonite eclogite facies; Ep EC: Epidote eclogite facies; Am EC: Amphibole eclogite facies; dry EC: Anhydrous eclogite facies; EA: Epidote amphibolite facies; AMP: Amphibolite facies; GS: Greenschist facies; HGR: high-pressure granulite facies; GR: Granulite facies. Omphacite (Omp) in after Poli and Schmidt [1995]; plagioclase (Pl) out and garnet (Grt) in after Liu et al. [1996].

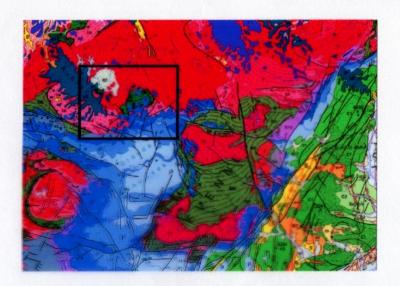


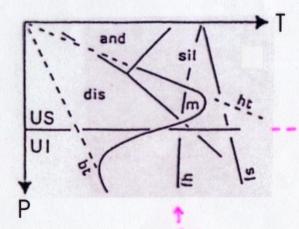




- Carte simplifiée et coupe synthétique de la klippe de Marvejols. Les lignes pointillées représentent les isogrades de Bi = biotite, Grt = grenat, St et And = staurotide et andalousite, Di = disthène du métamorphisme inverse dans les métapélites para-autochtones d'après Burg et al. (1984).

1. Couverture sédimentaire et volcanique post-carbonifère. 2. Série leptyno-amphibolitique. 3. Séries paradérivées para-autochtones. 4. Orthogneiss. 5. Métadiorites.

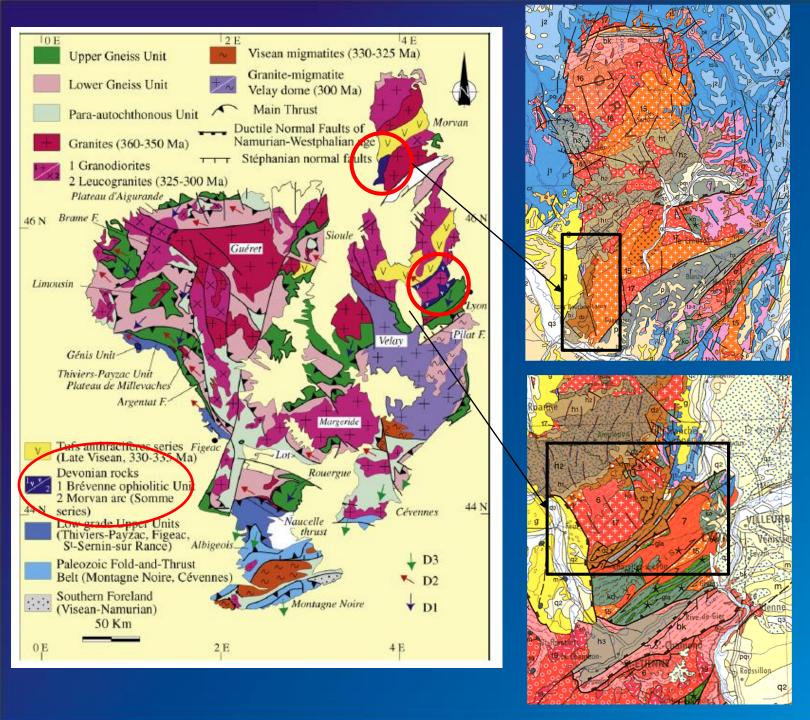




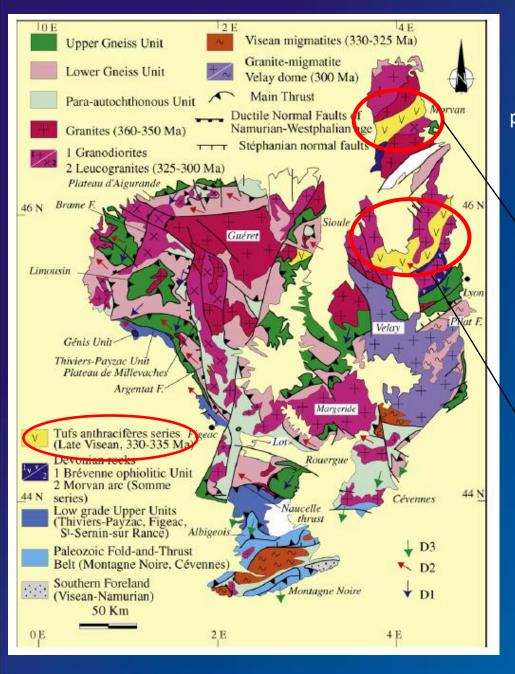
base refroidie

# 3. Les séries sédimentaires et volcaniques du Massif Central

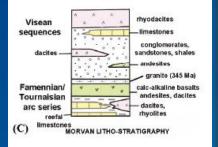
- a. Les séries dévono-carbonifères du Morvan
   b. La série de la Brevenne
- c. Les bassins intracontinentaux viséens d. Les bassins stéphaniens et stéphano-permiens



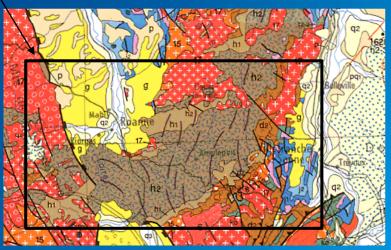
Les séries dévoniennes post-nappes

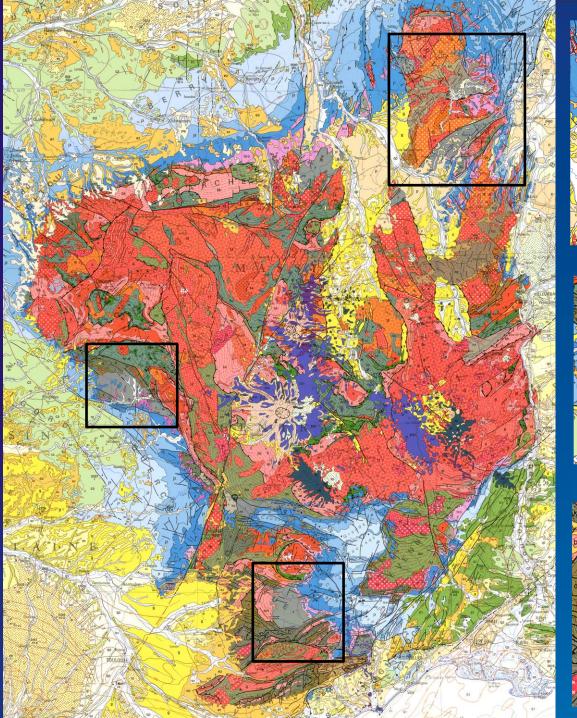


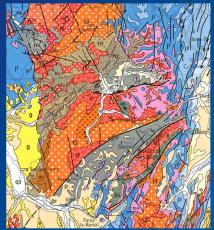
Séries volcaniques et volcano-sédimentaires d'âge carbonifère inf. postérieures à l'édifice de nappes









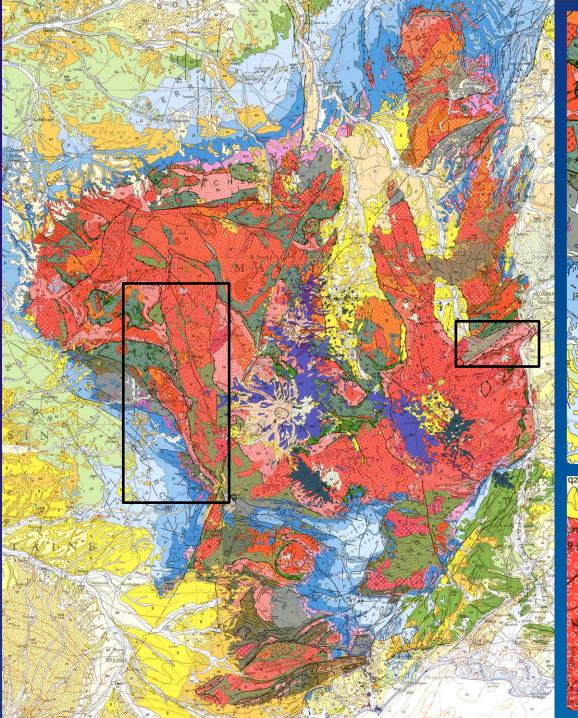


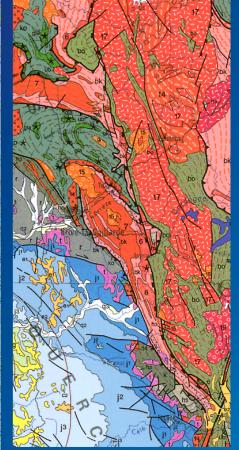




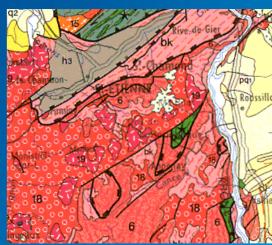
Discordance des bassins carbonifères sup. et permiens sur l'édifice de nappes

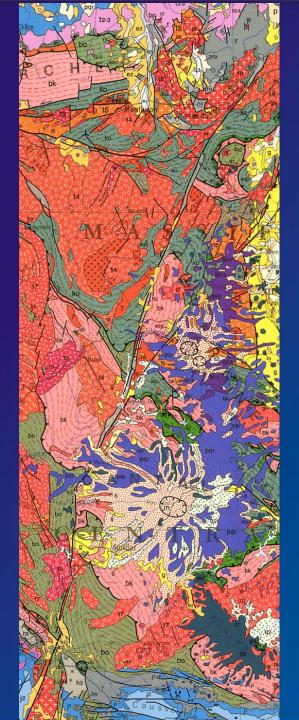
## 4. Les grands accidents





Structures
extensives
(détachements/
failles
normales)
recoupant
l'édifice de
nappes et
associées à
l'amincissement
tardi- à postorogénique

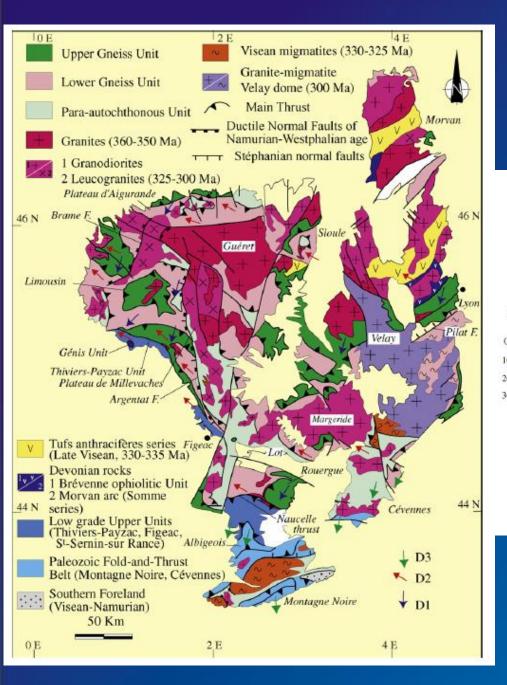


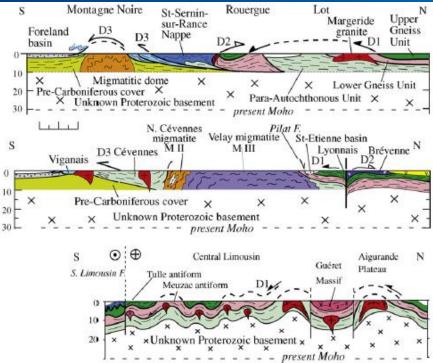




Bassin houiller carbonifère sup. ouvert en décrochement

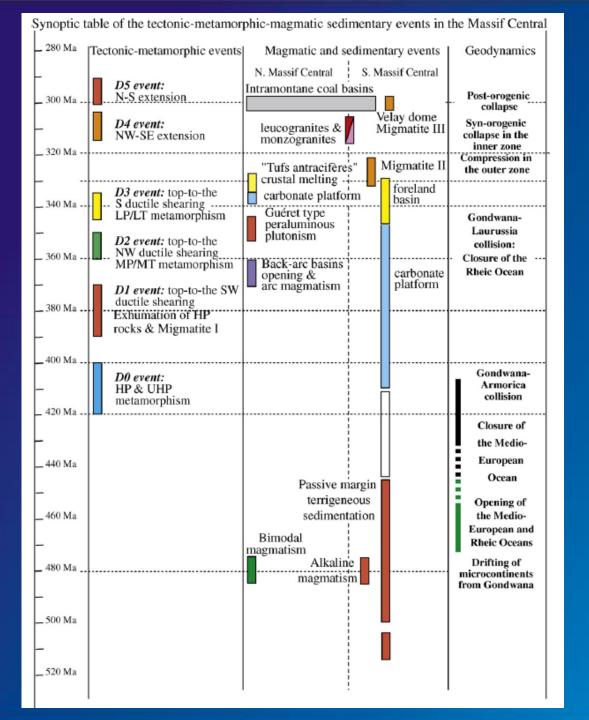
Le Sillon Houiller : structure décrochante majeure (d'échelle lithosphérique) recoupant l'édifice de nappes et associée à l'amincissement post-orogénique

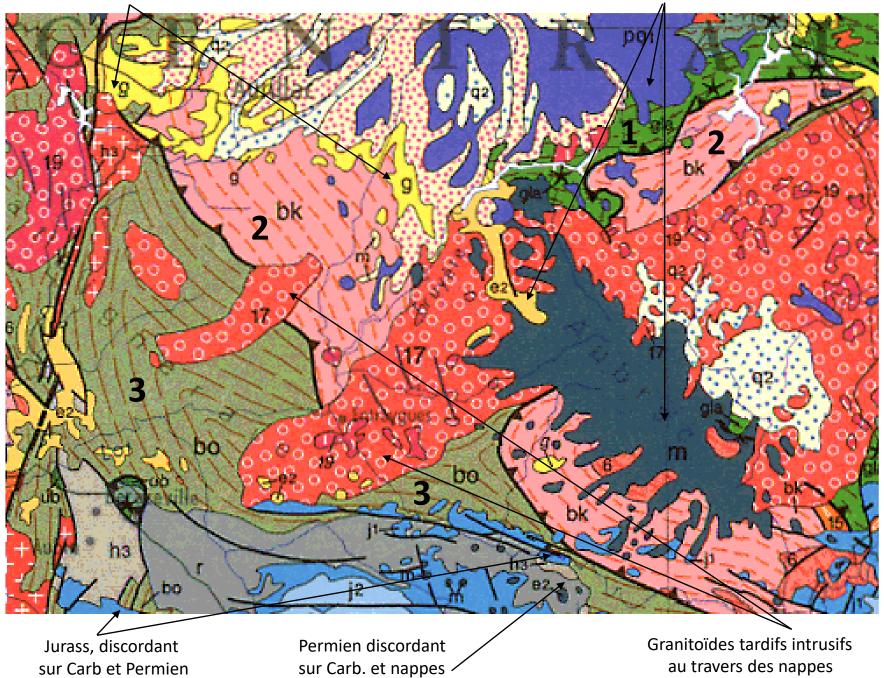




### Bilan/calendrier Massif Central:

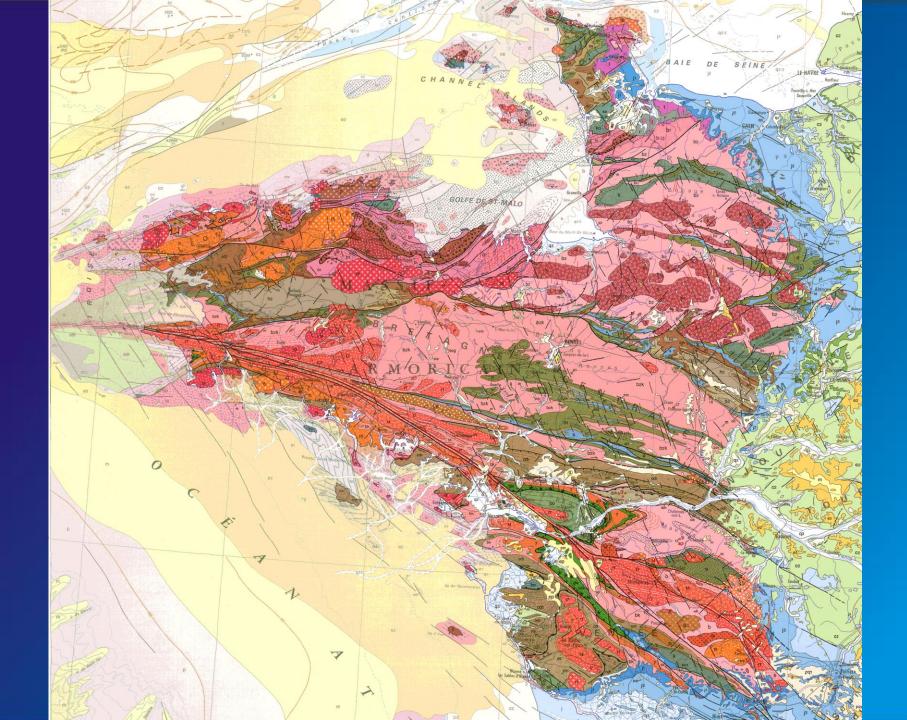
- \* Formations des aires océaniques au Cambro-Ordovicien (pluton dioritique à Qz daté à 540 Ma dans UIG, granite 480 MA; ophiolites du GLA datées à 480-470 Ma)
- \* Résorption des aires océaniques par subduction au Siluro-Dévonien Métam. HP-BT daté à 430-390 Ma; 15-17 kb; Ht Allier : 410 Ma; Brevenne (arrière-arc, 380-350 Ma); Mt du Lyonnais : exhumation de 90 km à 420-400 Ma à 30 km à 380-360 MA
- \* Fusion crustale à H et MP USG/UIG Dévonien moyen-sup 7 kb/700°C datée à 385-375 Ma Scellée par le groupe de la Somme, Dévonien moyen discordant (390-370 Ma)
- \* Edification de la chaîne de montagnes et épaississement crustal au Dévonien sup-Carbonifère inf Métam. MP-MT daté à 370-320 Ma; métamorphisme de l'UIG et SI Amphibolite à Gt (500-600°C/7-10 kb 360-350 Ma recouvert en discordance par Viséen; Métam HT-BP Amph  $\rightarrow$  granulites Carbonifère UIG 7-10 kb, 530-650°C, 360-350 Ma
- \*Démantèlement de la chaîne par érosion/effondrement gravitaire et extension lithosphérique au Carbonifère sup.-Permien
- 325-310 : granites ...Grands décrochements du MC 350-320 MA (330-280 MA : Sillon Houiller) , dômes anatectiques (MN, Velay, Mt Pilat) : (Mt Pilat 330-290 Ma). Métam HT : granulites de Cinf 700-900°C, 3-10 kb 320-290 MA Cordierite, Biot, Sill, FK, Gt

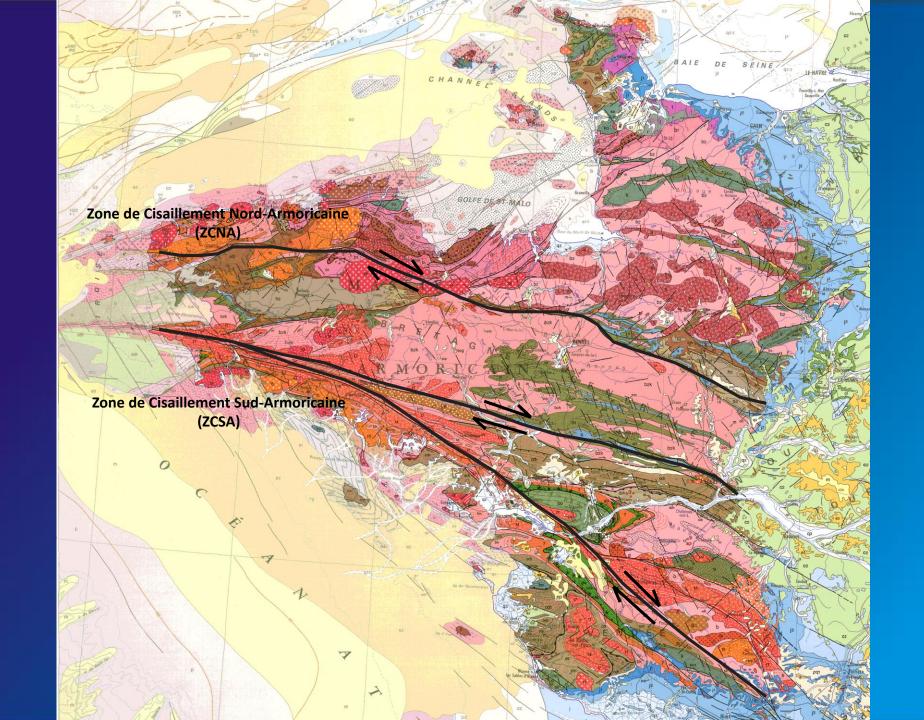




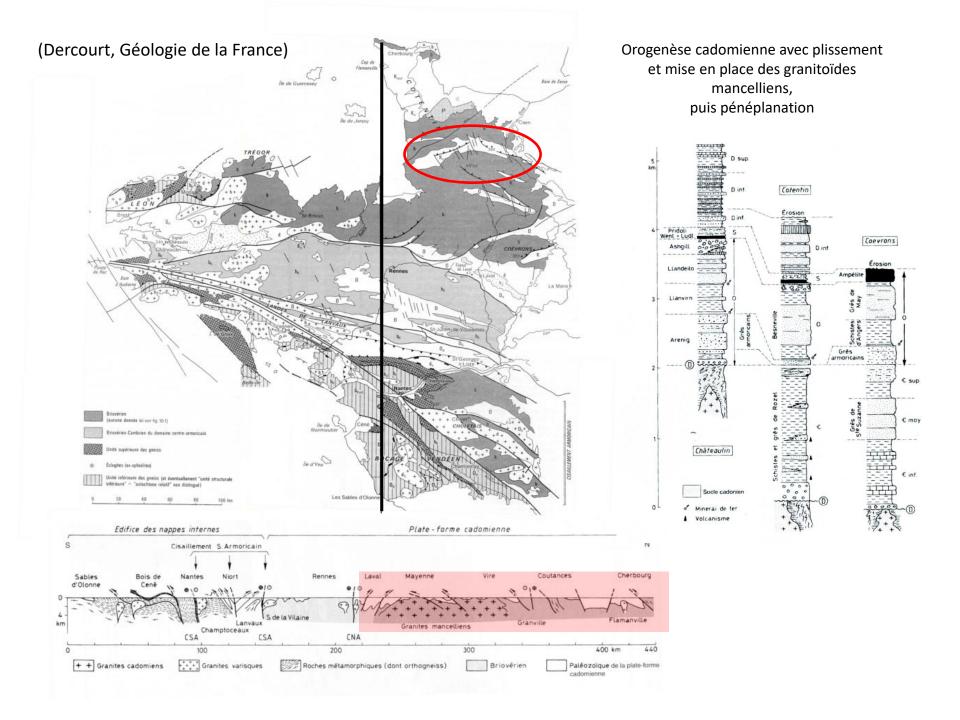
## II. Le domaine paléozoïque méridional : Massif Central, Massif Armoricain, Vosges

B. Le Massif Armoricain



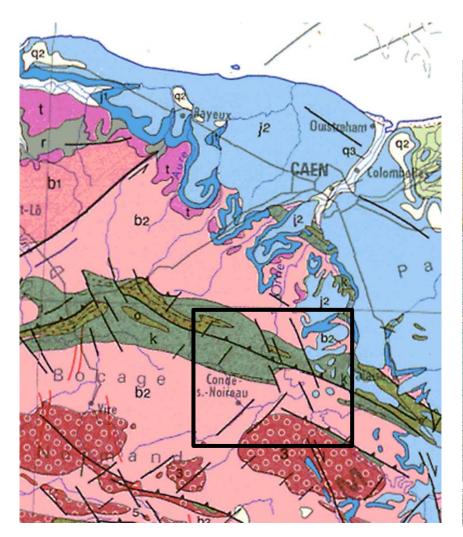


1. Le domaine armoricain septentrional



Extrait de la carte de France, 1/1000000

Extrait de la carte de Condé-sur-Noireau, 1/50000





## Etape 3 = Méso-Cénozoïque

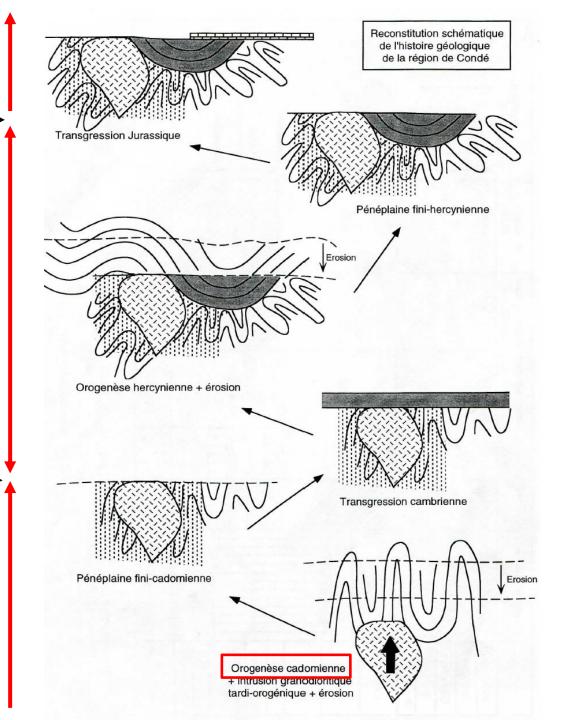
Discordance Mésozoïque/Paléozoïque — Limite Paléozoïque-Mésozoïque

Un essai de reconstitution schématique de l'histoire géologique

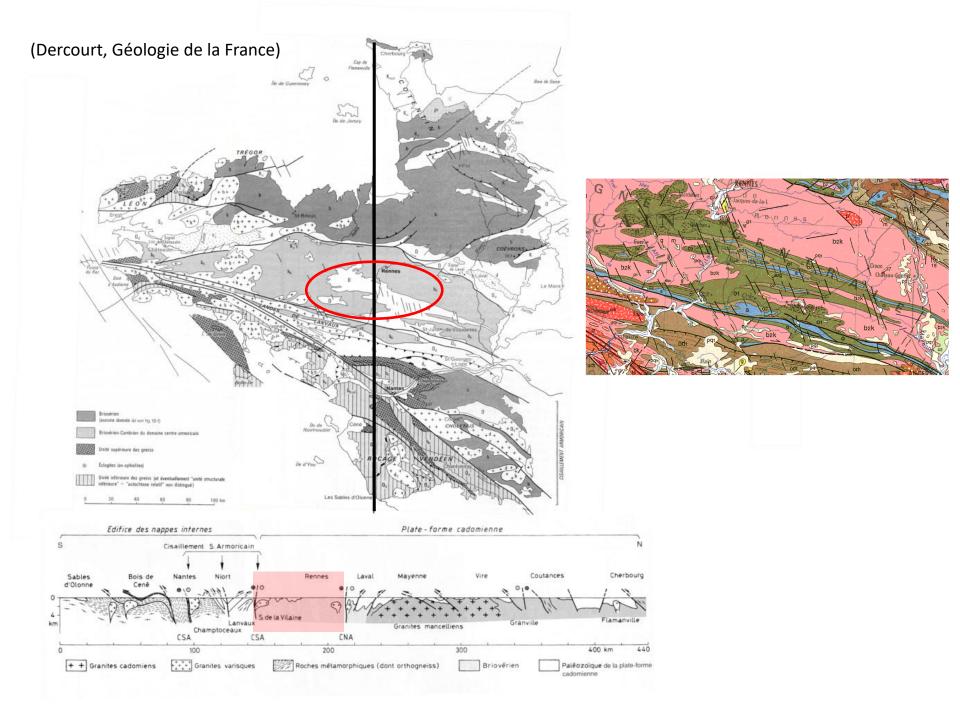
Etape 2 = Paléozoïque

Discordance Cambrien/Précambrien = Limite Précambrien-Paléozoïque

Etape 1 = Précambrien



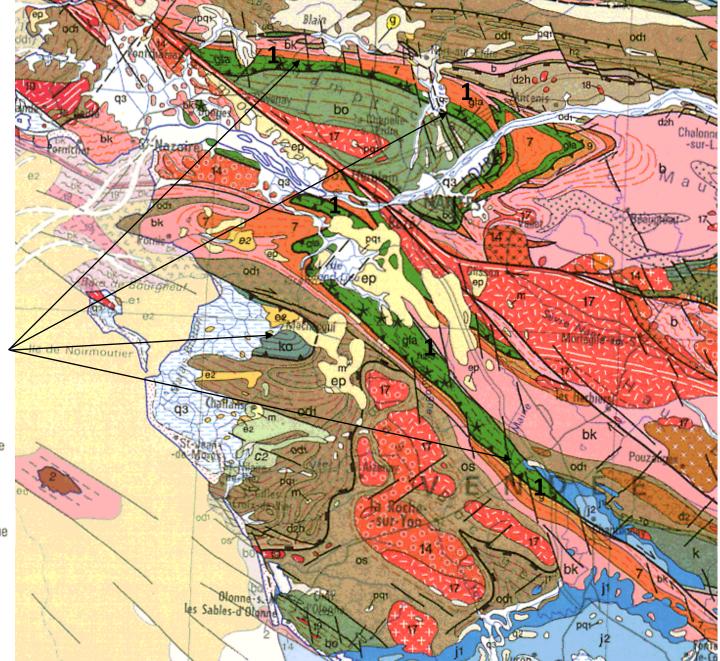
2. Le domaine armoricain central



3. Le domaine armoricain méridional

### Les unités de nappes crustales

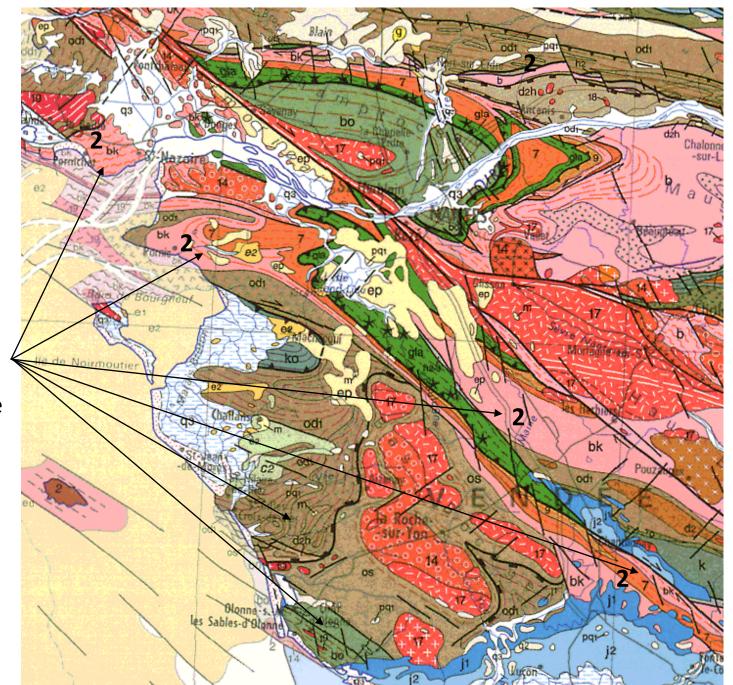
- 1. L'unité supérieure des gneiss
- 2. L'unité inférieure des gneiss
  - (+ unité structurale inférieure)



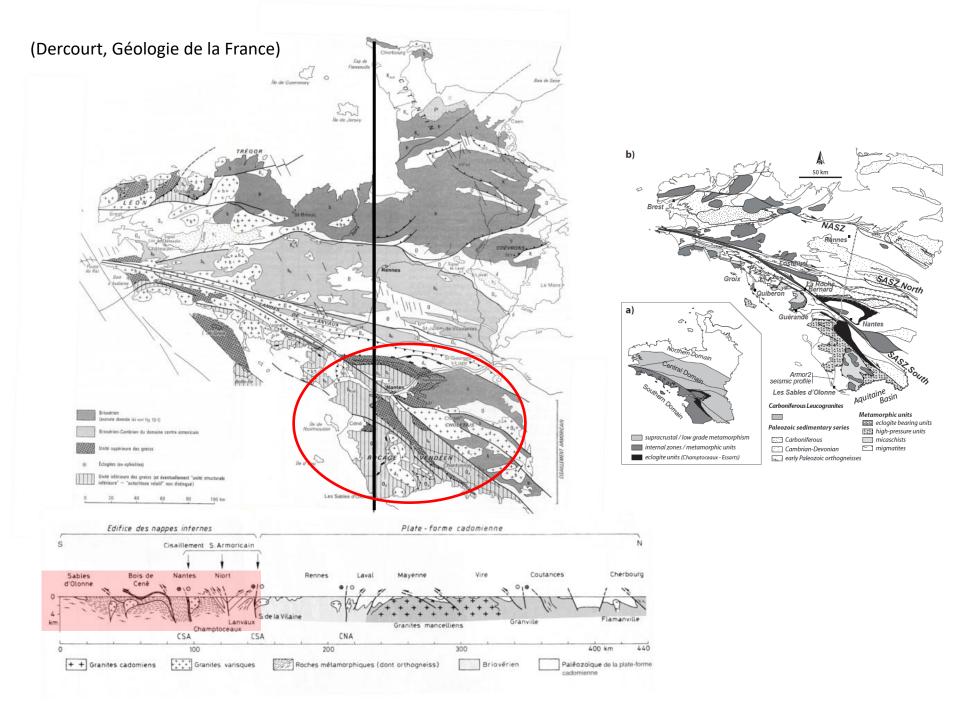
1.
Unité supérieure
des gneiss (ko)
(avec à sa base – gla)
des reliques
d'éclogites)

1 : Relique éo-varisque éclogitique

gla Complexe varisque leptyno-amphibolique



2.
Unité inférieure
des gneiss (bk)
(+ unité structurale
inférieure)



#### Métamorphisme des unités de nappes du Massif Armoricain sud:

métamorphisme MP-MT généralisé (avec fusion partielle) surimposé à métamorphisme HP-BT (gla)



Faciès schiste bleu de basse température





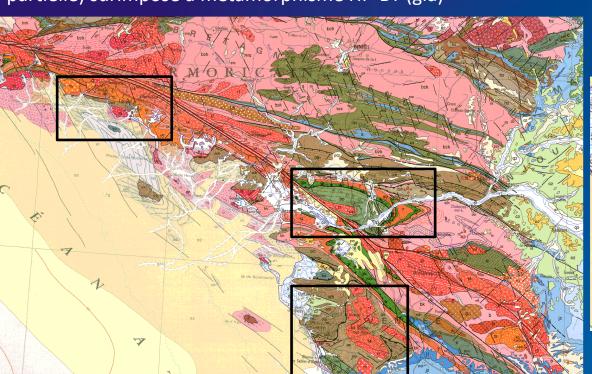
Faciès granulite

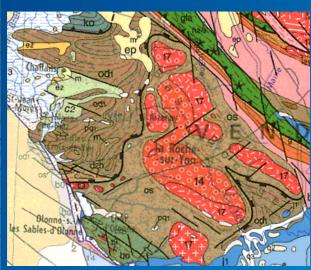


Faciès éclogite (et schiste bleu de haute température

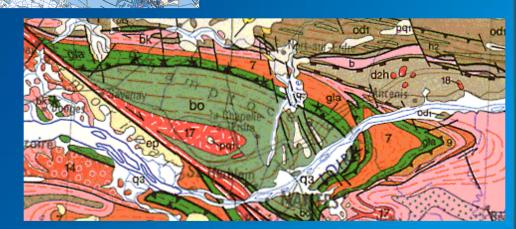


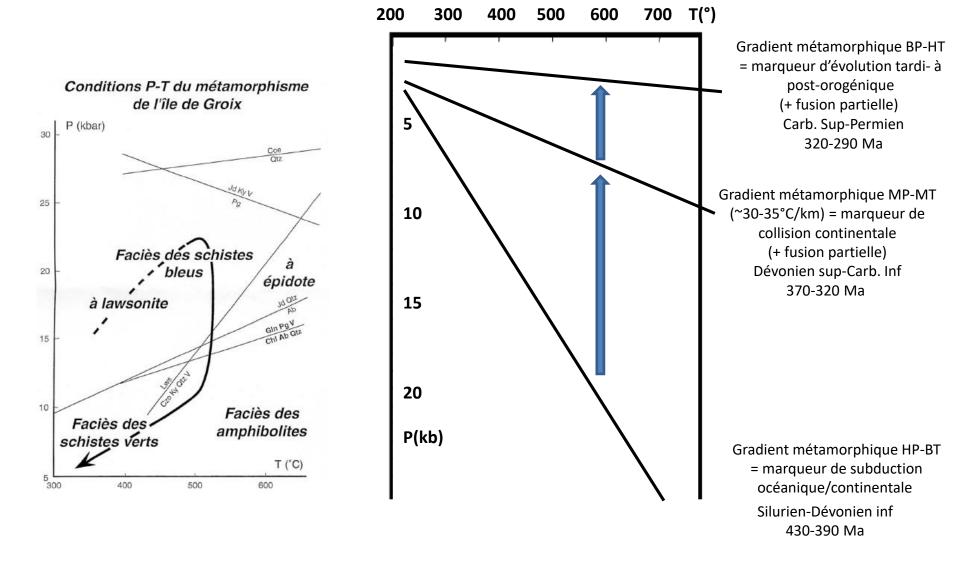






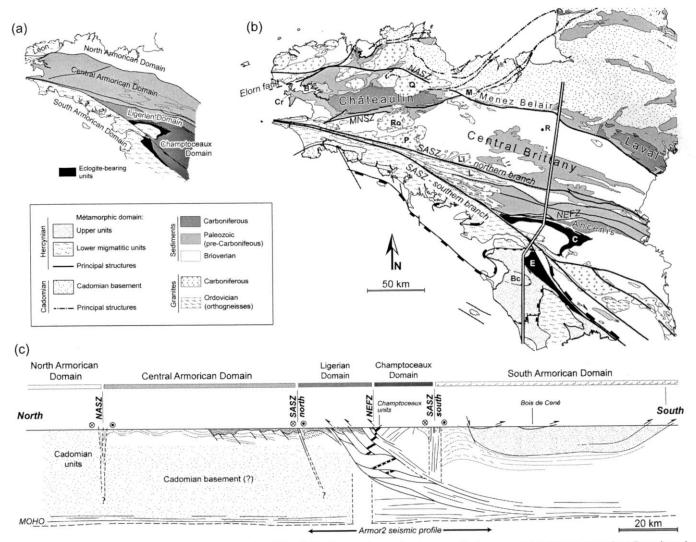




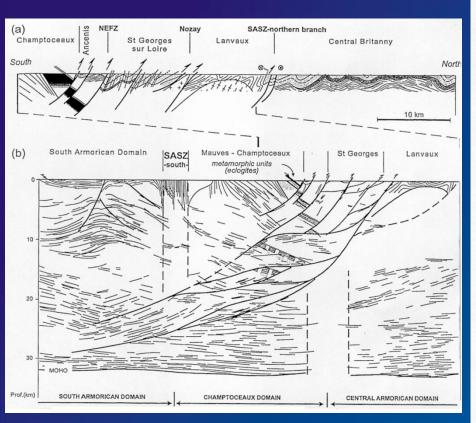


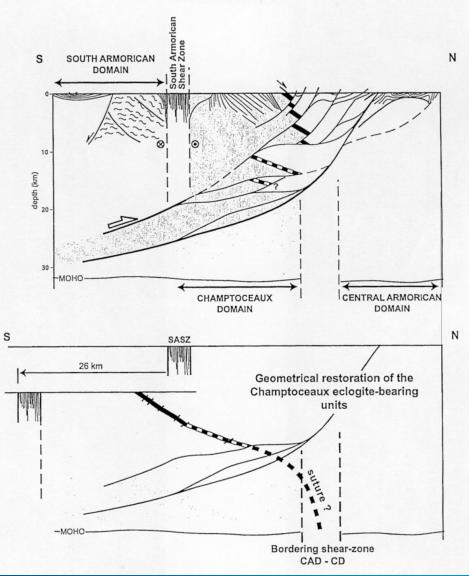
Comment expliquer cette évolution vers les hautes températures :

- → <u>Subduction océanique/continentale</u>: enfouissement plus rapide que réchauffement → <u>gradient HP-BT</u> (cf Alpes)
- → Ralentissement de la convergence quand la partie amincie de la marge arrive dans la zone de subduction + production de chaleur par la radioactivité de la croûte continentale qui s'épaissit → gradient MP-MT de collision (cf Alpes)
- → Evolution vers la <u>BP-HT</u> par amincissement crustal post-orogénique et remontée du manteau

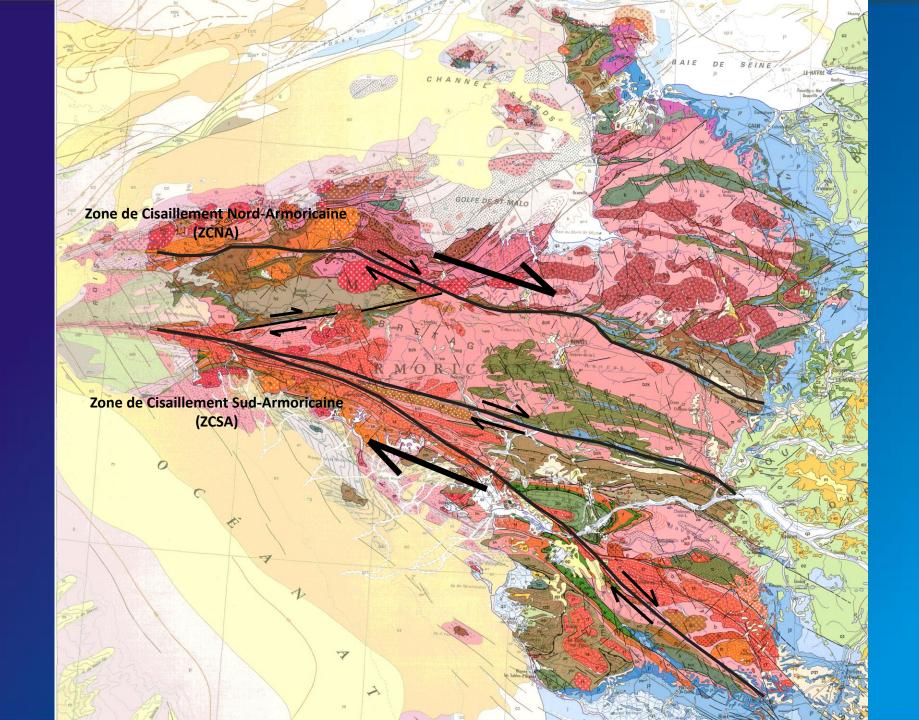


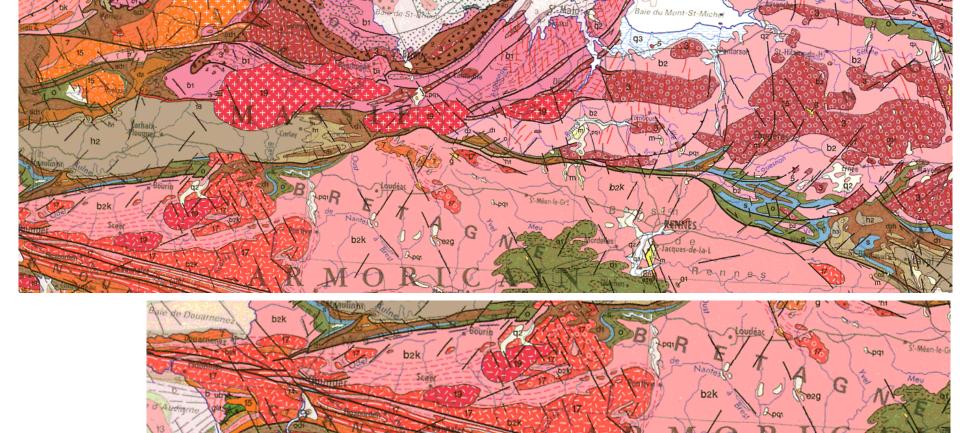
(a) Main different domains forming the Armorican Massif. (b) Structural map showing main features across the Central Armorican Domain and adjacent areas. Modified after [31]. R, Rennes town; B, Brest town; Bc, Bois de Cené; C, Champtoceaux; Cr, Crozon peninsula; E, Essarts; Ro, Rostrenen granite; P, Pontivy granite; Li, Lizio granite; Q, Quintin granite; M, Montcontour granite; L, Lanvaux orthogneiss; SASZ, South Armorican Shear Zone; NASZ, North Armorican Shear Zone; MNSZ, Montagnes Noires Shear Zone; NEFZ, Nort-sur-Erdre Fault Zone. Double line locates cross-section of (c). (c) Crustal-scale geological section across the Armorican Massif; modified after [16] in its central part. Location is shown on (b).

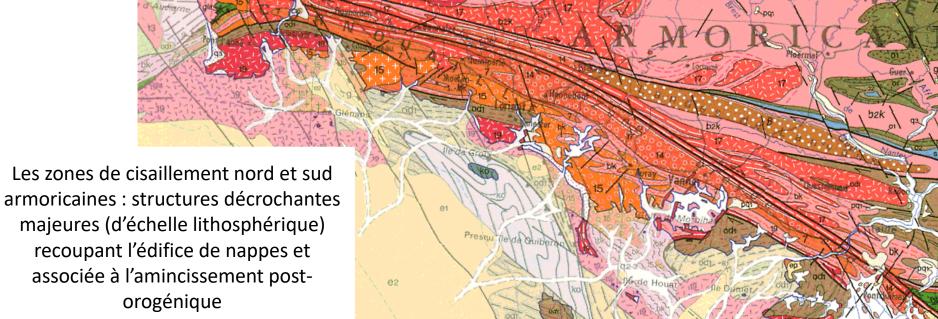


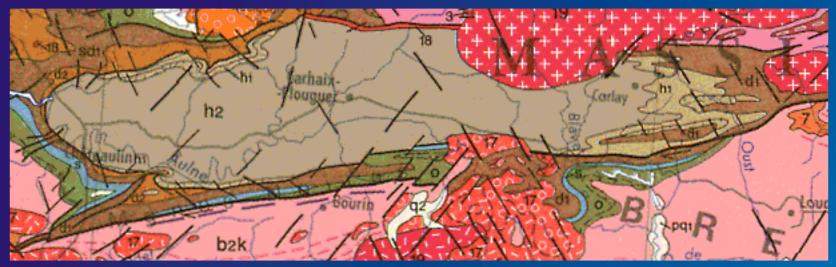


# 4. Les décrochements ZCNA et ZCSA et les bassins associés

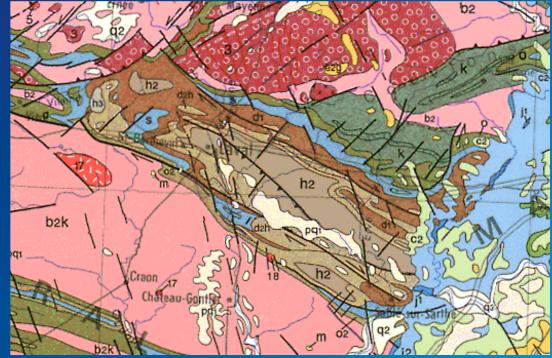


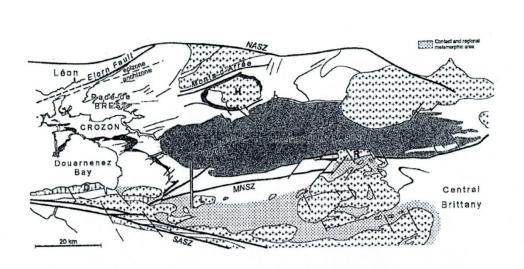


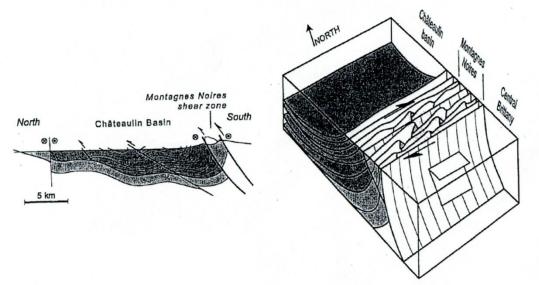




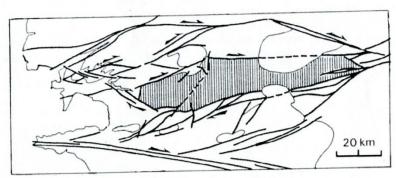
Les bassins carbonifères







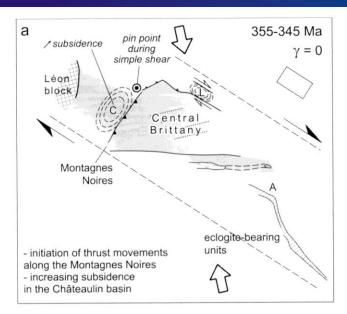


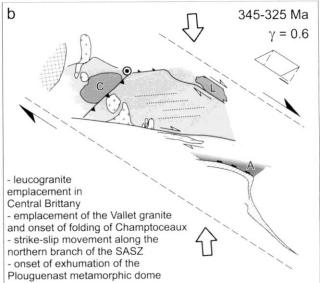


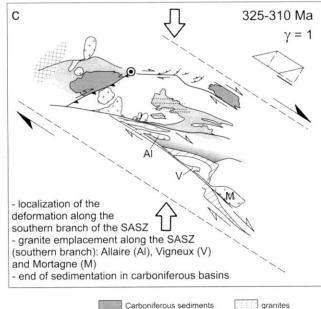
Structures hercyniennes en pull-apart dans le Massif armoricain (bassins dinantiens de Chateaulin, Laval et Ancenis) (d'après Rolet, 1984, simplifié).

(Gumiaux, 2003)

(Debelmas, Mascle, les grandes structures géologiques)

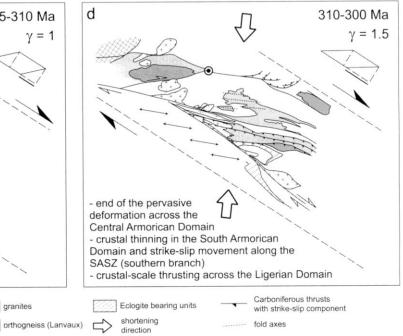






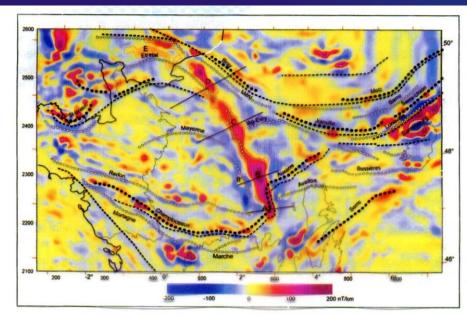
Palaeozoic sediments

(pre-carboniferous)

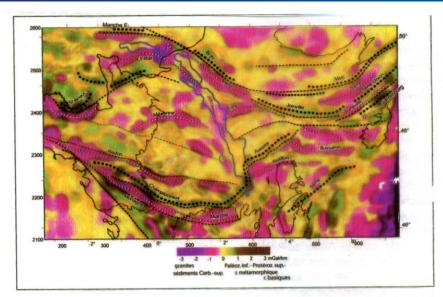


### Bilan/calendrier Massif Armoricain:

- \* Rifting Cambrien-Ordovicien (volcanisme de Normandie, magmatisme Ordovicien inf (granitoide de Lanvaux, volcanites des porphyroides de Vendée, granites intrusifs 460 Ma)
- \* Océan silurien 430-410 Ma
- \* Résorption de l'espace océanique par subduction au Dévonien supérieur 380-360 Ma
- Métamorphisme SB; Groix (HP 18-20 kb, 450-500°c, 400-370 MA (anct basalte et dolérite) et Bois de Céné, et éclogitique (Champtoceaux cc amincie : 16-20 kb, 650-700°, + ancien que 385 Ma, Baie d'Audierne 16-20kb, 700°C, ~380 Ma)
- \* Mise en place des nappes : Carbonifère inf 360-330 MA
- \* Extension E-W, désépaississement Carb sup, granites et ZCSA 320-290 MA



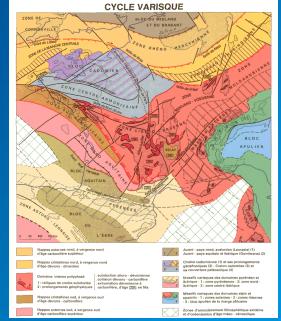
: Carte du gradient vertical des anomalies magnétiques à 3000 m d'altitude réduites au pôle. Axes des anomalies gravimétrique (fig. 2).



: Carte du gradient vertical des anomalies gravimétriques prolongées à 5 km d'altitude. Axes lourds (anomalies positives) en noir, axes légers (anomalies négatives) en blanc, principales discontinuités du socle en tireté. Contours de l'AMBP en bleu.

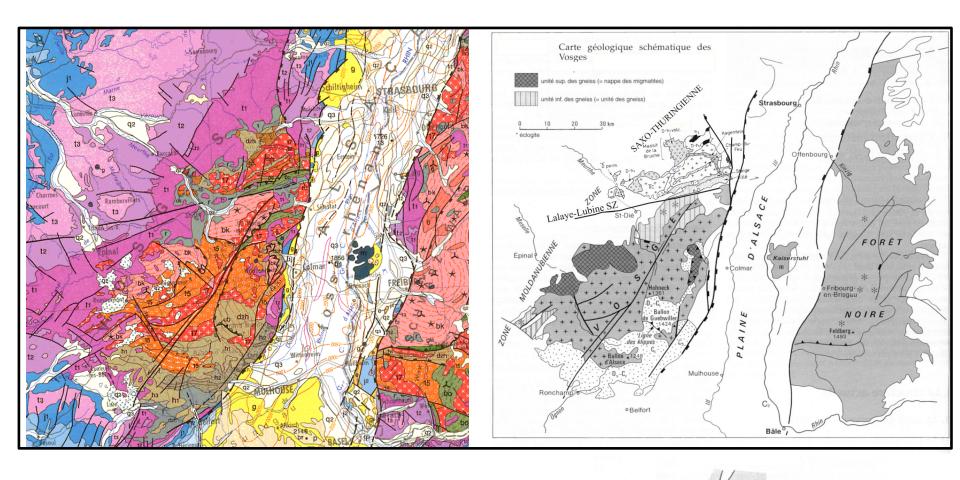


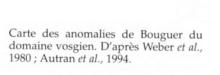
(Géochronique, la France hercynienne)

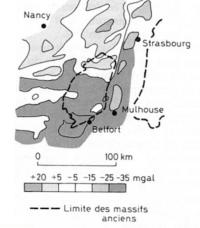


# II. Le domaine paléozoïque méridional : Massif Central, Massif Armoricain, Vosges

C. Les Vosges méridionales

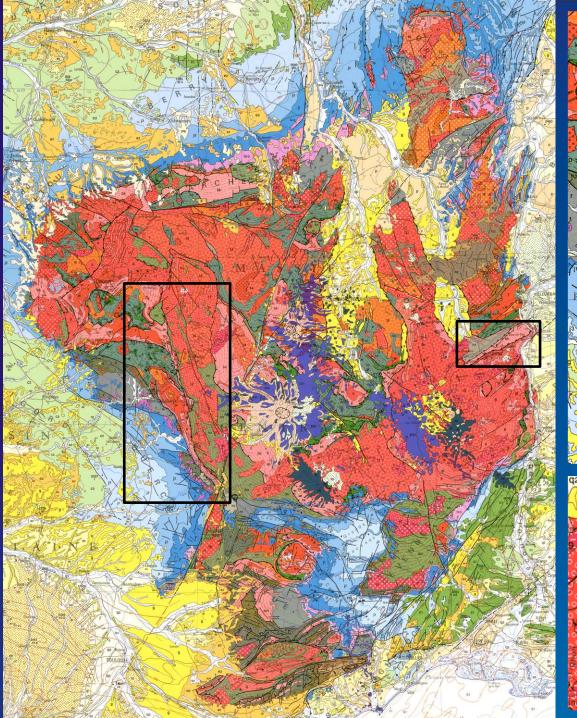






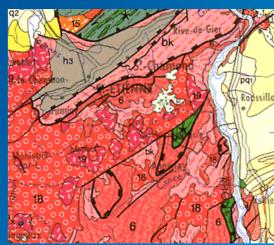
# II. Le domaine paléozoïque méridional : Massif Central, Massif Armoricain, Vosges

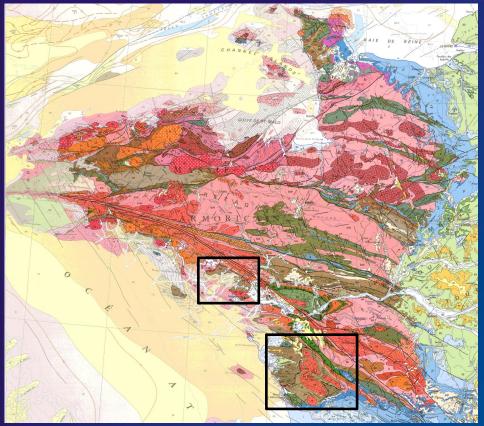
D. L'extension syn- à post-orogénique dans la chaîne hercynienne méridionale



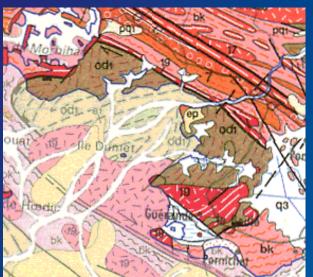


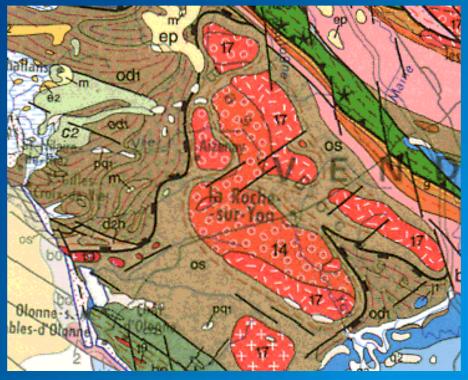
Structures
extensives
(détachements/
failles
normales)
recoupant
l'édifice de
nappes et
associées à
l'amincissement
tardi- à postorogénique

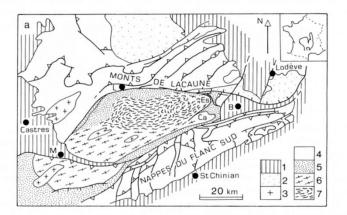


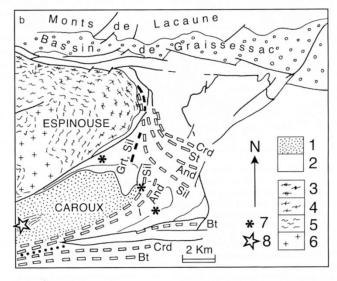


Structures extensives (détachements/failles normales) recoupant l'édifice de nappes et associées à l'amincissement tardi- à postorogénique







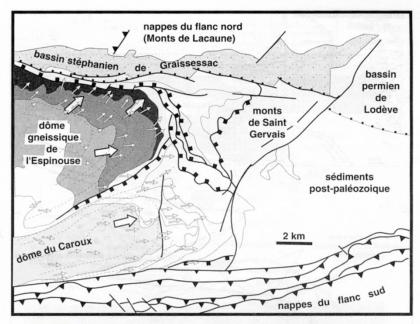


Exemple de dôme migmatitique : le massif de la Montagne Noire (Massif Central français).

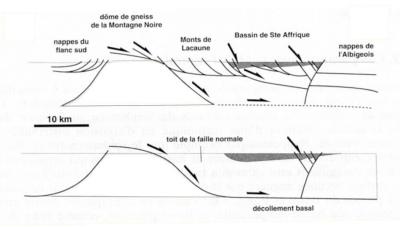
a) Structure de la Montagne Noire. 1: terrains post-hercyniens; 2: bassins stéphano-permiens; 3: granitoïdes varisques; 4: terrains métapélitiques du Paléozoïque inférieur; 5: gneiss métapélitiques; 6: orthogneiss; 7: zone fortement migmatisée. L: Lacaune; M: Mazamet; 8: Bédarieux; Ca: massif du Caroux; Es: dôme de l'Espinouze. D'après Demange, 1985.

b) Répartition des isogrades de métamorphisme dans l'Est de la «zone axiale»; d'après Demange (1985) et van den Driessch et Brun (1992). Moulant le dôme migmatitique, ces isogrades correspondent à un gradient HT-BP

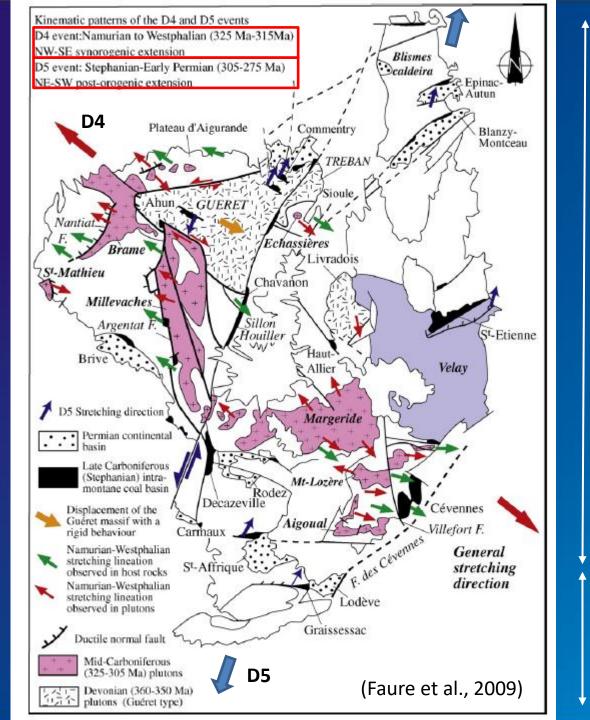
1: orthogneiss du Caroux; 2: Paléozoïque métamorphique. Domaine migmatitique – 3: gneiss « leucocrates »; 4: gneiss migmatitiques (stromatites); 5: migmatites; 6: granite d'anatexie. 7: reliques de disthène dans les assemblages de BP; 8: reliques d'éclogite. Pointillé noir : isograde discontinu de l'apparition de la staurotide.



Carte structurale de l'ouest de la zone axiale de la Montagne Noire montrant les dômes de gneiss du Caroux et de l'Espinouse ainsi que les nappes plus superficielles des monts de Saint-Gervais limitées par des contacts tardifs extensifs qui remontent le dôme de gneiss. Les derniers stades de l'extension conduisent à la formation du bassin houiller de Graissessac limité au sud par des failles à forte composante normale dont la direction est à peu près similaire à celle des linéations d'étirement ductile dans le flanc nord du dôme de l'Espinouse (Brun et Van Den Driessche, 1994).



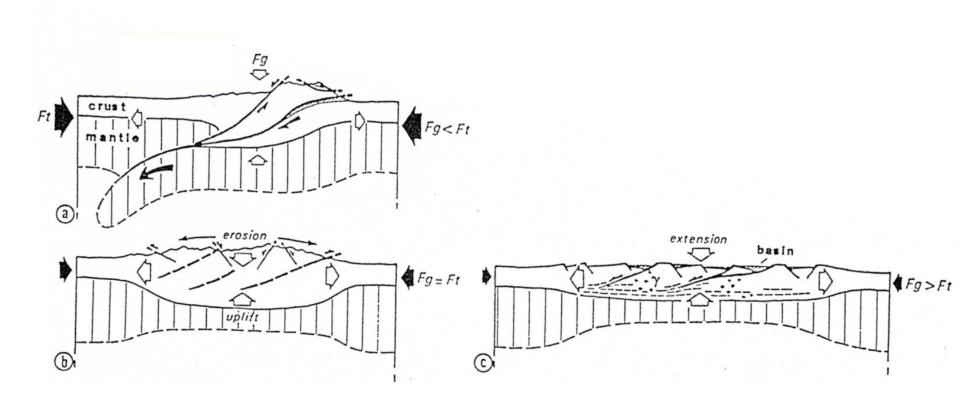
(Jolivet, Nataf, Géodynamique)



Zones internes

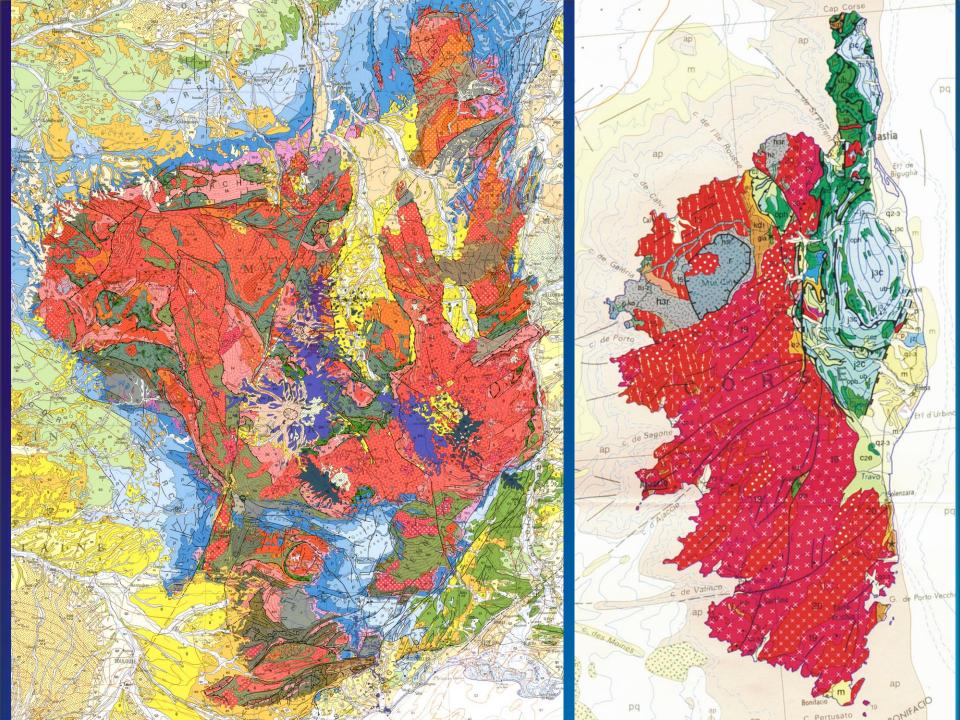
Zones externes

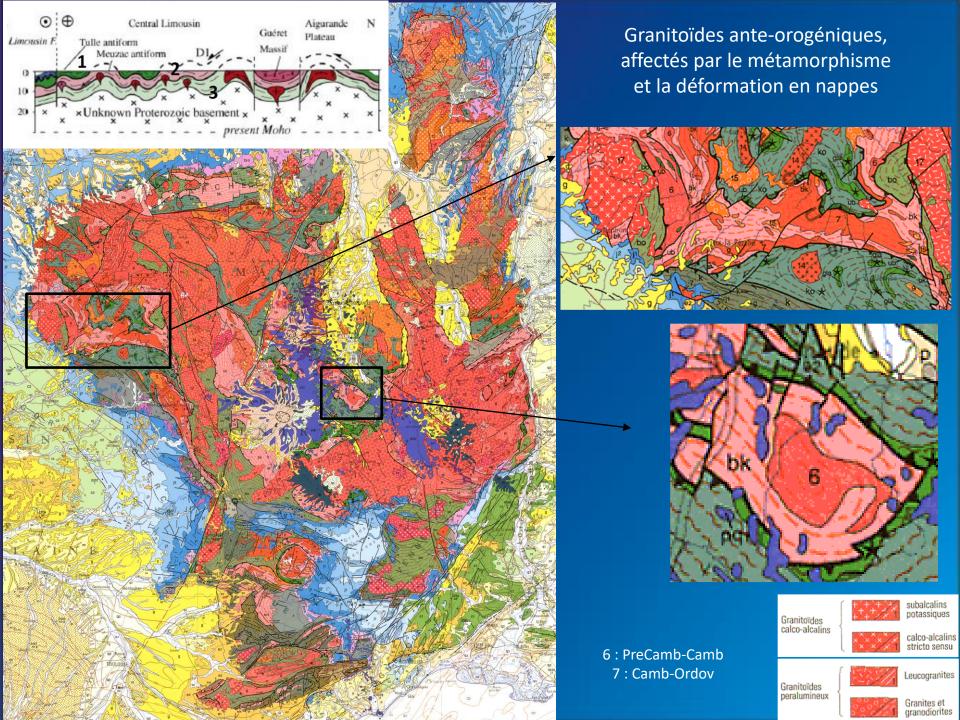
#### Evolution temporelle conceptuelle d'une chaîne de montagnes en fonction des forces gravitaires (Fg) et tectoniques (Ft)



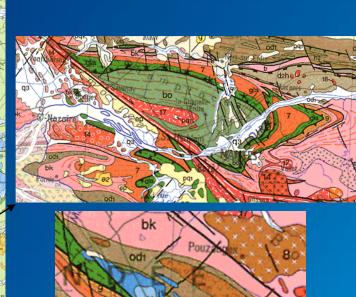
# II. Le domaine paléozoïque méridional : Massif Central, Massif Armoricain, Vosges

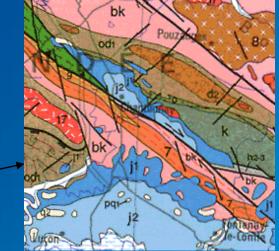
E. Les granitoïdes ante-, syn- et post-orogéniques de la chaîne hercynienne méridionale





#### Granitoïdes ante-orogéniques, affectés par le métamorphisme et la déformation en nappes





Granitoïdes calco-alcalins

6: Precamb-Camb 7 : Camb-Ordov



subalcalins potassiques



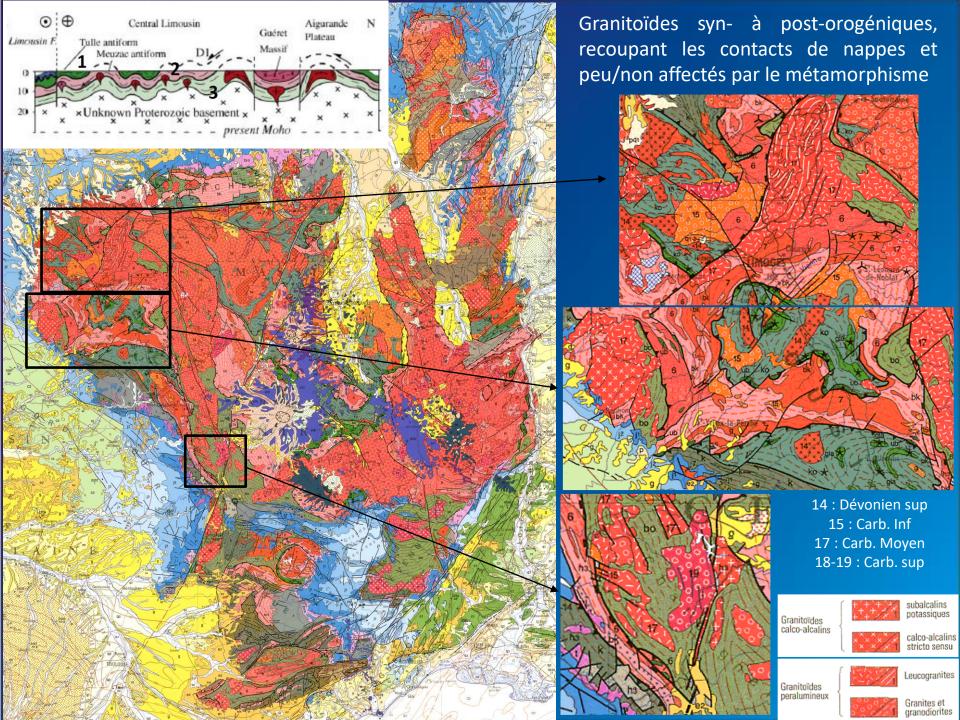
calco-alcalins stricto sensu

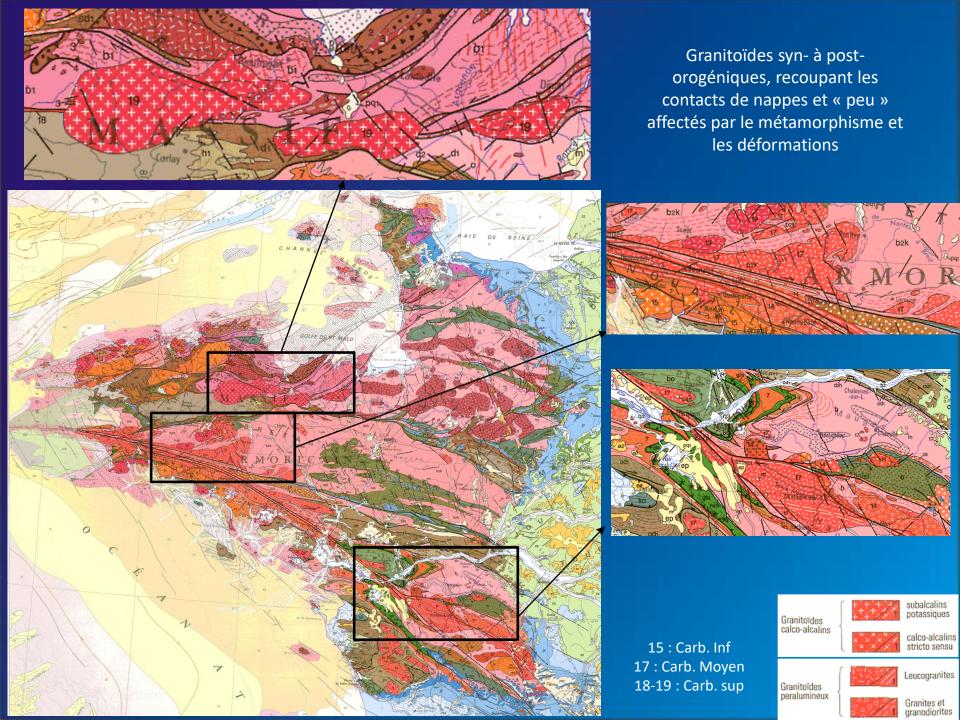






Granitoïdes peralumineux

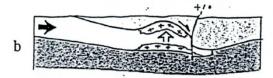




#### CONVERGENCE CONTINENTALE GRANITES OROGENIQUES

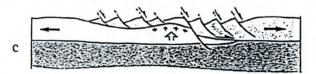


#### GRANITES DE COLLISION SYN-EPAISSISSEMENT



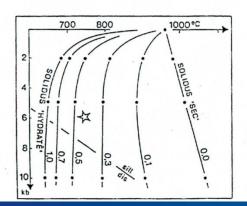
#### GRANITES DE COLLISION POST-EPAISSISSEMENT

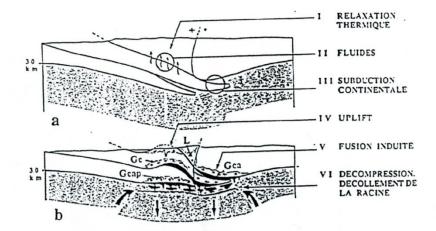
#### DIVERGENCE CONTINENTALE GRANITES POST-OROGENIQUES



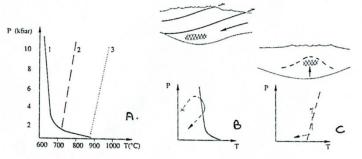
#### GRANITES POST COLLISION

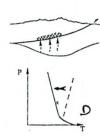
Les granitoïdes dans le cadre de l'évolution d'une chaîne de collision, a: granites de collision syn-épaississement, b: granites de collision post-épaississement, c: granites post-collision (flèches noires: direction de raccourcissement ou d'extension, flèches blanches: uplift).





Granitoïdes hereyniens et collision continentale, a, lithosphère épaissie, b, lithosphère en cours de désépaississement, Facteurs favorisant la fusion: It relaxation thermique de la croûte épaissie; II: présence de fluides; III: subduction continentale et hydratation du manteau; IV: remontée des zones profundes; V: transferts de chaleur d'origine mantellique et fusion induite; VI: décompression adiabatique du manteau sous-continental et décollement éventuel de la racine mantellique. Types de granitoïdes et sources magmatiques: L: leucogranites, Ge: granites à cordiérite, Gea: granitoïdes calco-alcalins, Ocup: granitoïdes calco-alcalins potassiques.





Circonstances de l'anatexie crustale.

A. Solidus (fusion commençante) de différents magmas granitiques (d'après Winkler).

1: Mélange quartz-albite-orthose en présence d'eau; 2: Cranite à biotite sec; 3: Mélange quartz-albite-orthose sec, sans minéraux hydroxylés.

Trajet P-T-t d'une unité tectonique profonde, avec chevauchement crustal et décapage par l'érosion.

C. Dôme thermique.

D. Déshydratation par métamorphisme sous un chevauchement crustal et hydratation de l'unité chevauchante.

#### Magmatisme pré-orogénique :

#### Cambrien inf. -Ordovicien inf.

- plutons tholéiitiques précoces (480-430 Ma), actuellement sous forme d'orthogneiss (méta-granites de l'UIG (MC), Pyrénées, Landes de Lanvaux (MA), Porphyroides de Vendée)
- Roches magmatiques basiques sous forme d'amphibolites (USG), interprétés comme du sous-placage en contexte de rifting
- → Magmatisme bi-modal, extension lithosphérique précédent l'océanisation

#### Magmatisme syn- à tardi-orogénique :

### Dévonien moyen-sup: 400-350 Ma: tectonique de nappes

- Migmatites: fusion crustale post-HP (385-375 Ma)
- Tonalites du Limousin (370 Ma): composition gabbro-dioritique avec signature isotopique mantellique = équivalent plutonique des roches volcaniques du Groupe de la Somme, interprétées soit comme du magmatisme de marge active (subduction de l'océan Rhéique), soit magmatisme intracontinental de collision avec anatexie crustale et manteau chaud.
- -Série de la Brévenne : interprétée comme magmatisme d'arrière-arc

#### Carbonifère inf.: 360-330: évolution intra-continentale

Ascension de magmas basiques provoquant la fusion de la coûte continentale (source crustale à HT) -> mélanges de magmas basiques et de magmas alumineux issus de la fusion des métasédiments

Ex: magmas alumino-potassiques (granite à cordiérite): Guéret, Huelgoat

### Carbonifère moyen (325-315 Ma):

- Magmatisme associé aux grands décrochements ou détachements (source crustale à BT et forte  $PH_2O$ ): Leuco-granites alumineux à 2 micas : Marche, Millevaches, leuco-granites sud-armoricains
- -Fusion de base de croûte continentale avec forte PCO<sub>2</sub> et fusion du manteau : granites métalumineux Mg-K

# Carbonifère sup. (320-290 Ma) : désépaississement crustal, sous-placage de magmas basiques

- Granite sub-alcalin K : Ploumanach
- Granite alumineux à cordiérite : Velay (plus grand dôme migmatitique de France)
- -Granite métalumineux à Biotite: Mt Blanc

#### Magmatisme post-orogénique :

#### Permien inf.

Magmatisme anorogénique alcalin ou hyperalcalin

- Différenciation de basalte alcalin ou tholéiltique, ou fusion anhydre à HT de croûte inférieure : Granite alcalin de Corse

#### Bilan sur le magmatisme:

- -A une même époque, dans une même région, se mettent en place des granitoïdes de nature différentes
- -Il n'existe pas de relation claire entre type de magmatisme et géodynamique, ni de polarité chronologique claire à l'échelle de la chaîne
- -Mise en place fréquemment alternée et imbriquée à l'échelle locale ou régionale des différents types de granitoïdes
- -Origine des granitoïdes par fusion partielle de matériaux-sources différents (avec une contribution mantellique possible pour les granitoïdes calco-alcalins et sub-alcalins) à des niveaux variables (fusion étagée) d'une croûte continentale hétérogène verticalement et épaissie par la collision
- la majorité des magmas produits provient du recyclage de croûte plus ancienne (sédiments, roches magmatiques et socle préexistant) sans néoformation

### Age et nature de la croûte inférieure européenne :

Granulites de croûte inf : cordiérite, biotite, sillimanite, fFeldspath K, grenat : 700-850°C, 3-6 kb jusqu'à 900-1000°C, 10kb, 320-290 Ma

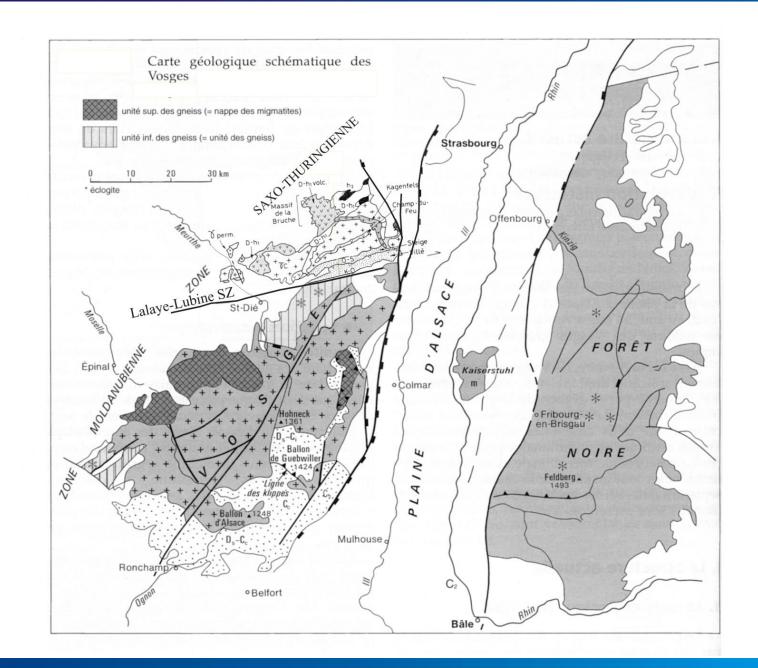
Connue par enclaves dans roches volcaniques néogènes, ou dans la zone d' Ivrée, Corse, Pyrénées

→ Métamorphisme HT-BP (amphibolites → granulites) pendant le désépaississement tardi- à post-orogénique. Augmentation des gradients thermiques : fusion partielle, différenciation crustale, formation d'une croûte inférieure granulitique intrudée par des magmas basiques, fluage → litage

III. Le domaine paléozoïque septentrional : Bassin de Paris, Ardennes, Nord de la France

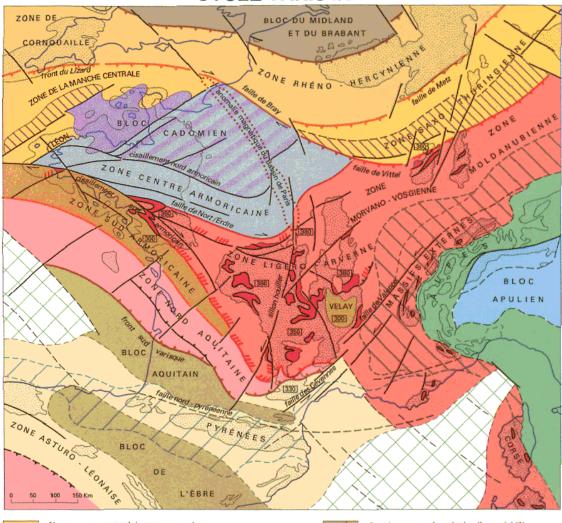
### III. Le domaine paléozoïque septentrional : Bassin de Paris, Ardennes, Nord de la France

A. Les Vosges septentrionales



SAXO-THURINGIEN

#### CYCLE VARISQUE









Domaine interne polyphasé

1 : reliques de croûte subductée 2 : prolongements géophysiques

. subduction siluro - dévonienne . collision dévono - carbonifère . exhumation dévonienne à carbonifère, d'âge [330]: en Ma



Nappes cristallines sud, à vergence sud d'âge dévono - carbonifère



Nappes externes sud, à vergence sud d'âge carbonifère supérieur



Avant - pays nord, avalonien (Laurasia) (1) Avant - pays aquitain et ibérique (Gondwana) (2)



Chaîne cadomienne (1) et ses prolongements géophysiques (2) - Craton cadomien (3) et sa couverture paléozoïque (4)



Massifs varisques des domaines pyrénéen et ibérique - 1 : zone pyrénéenne - 2: zone nord - ibérique - 3 : zone centre ibérique



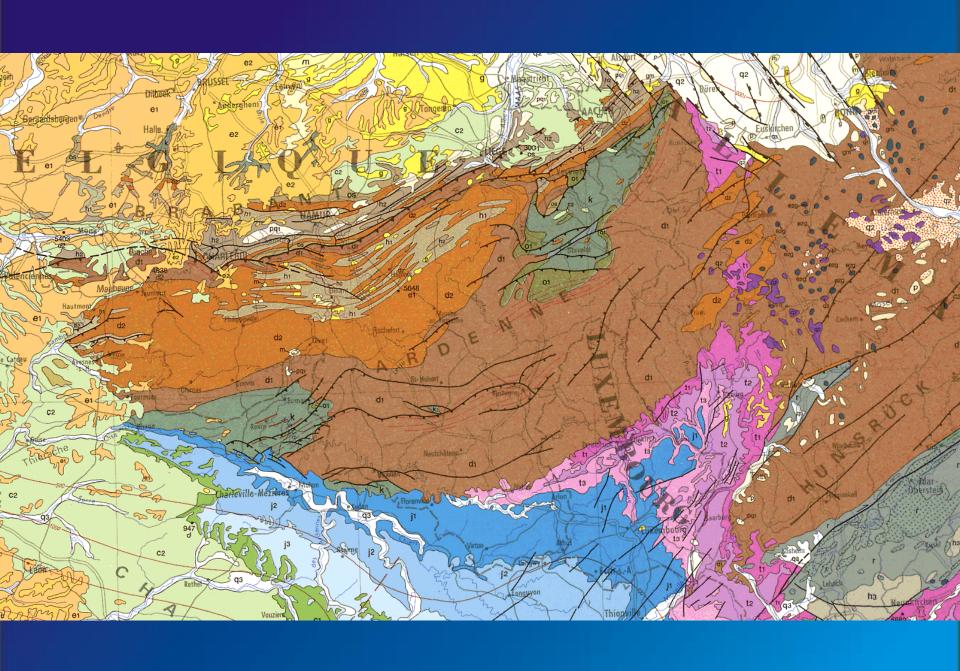
Massifs varisques des domaines alpin et apennin - 1 : zones externes - 2 : zones internes - 3 : bloc apulien de la marge africaine



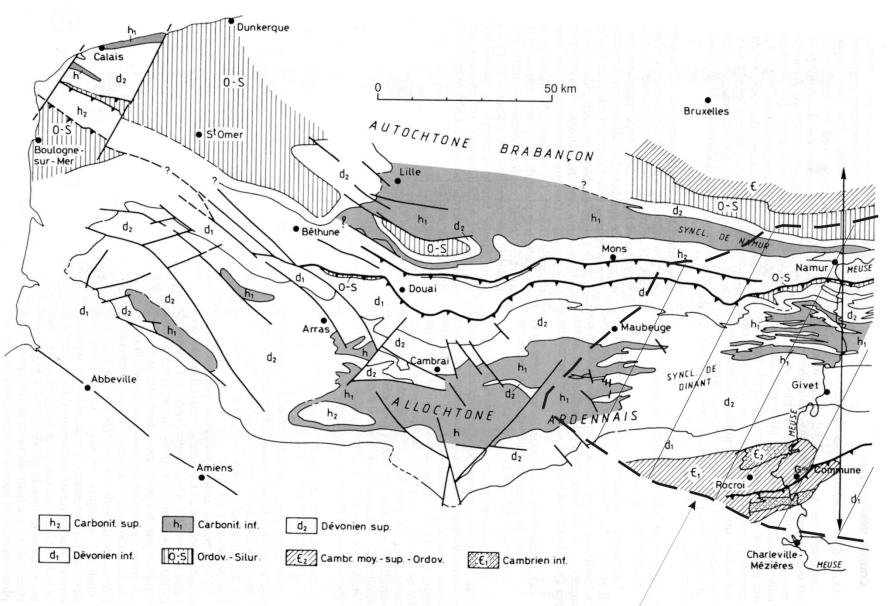
Zones d'amincissement lithosphérique extrême et d'océanisation d'âge méso - cénozoïque

III. Le domaine paléozoïque septentrional : Bassin de Paris, Ardennes, Nord de la France

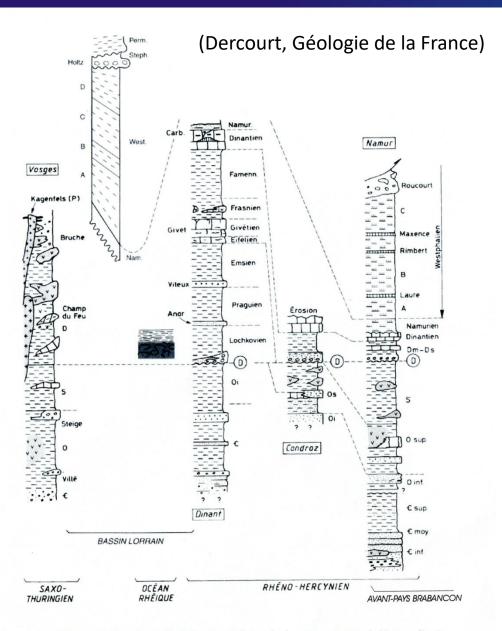
B. Le massif ardennais et le Nord de la France



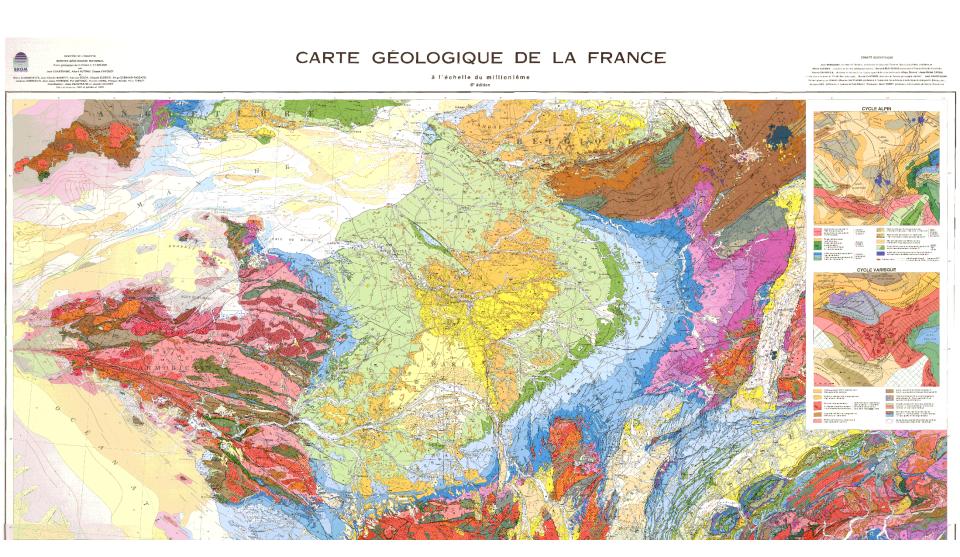
#### (Dercourt, Géologie de la France)



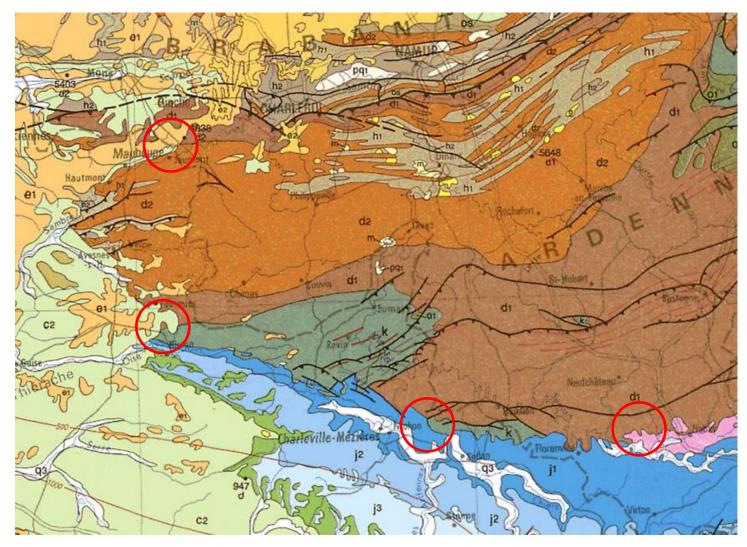
Zone à l'affleurement



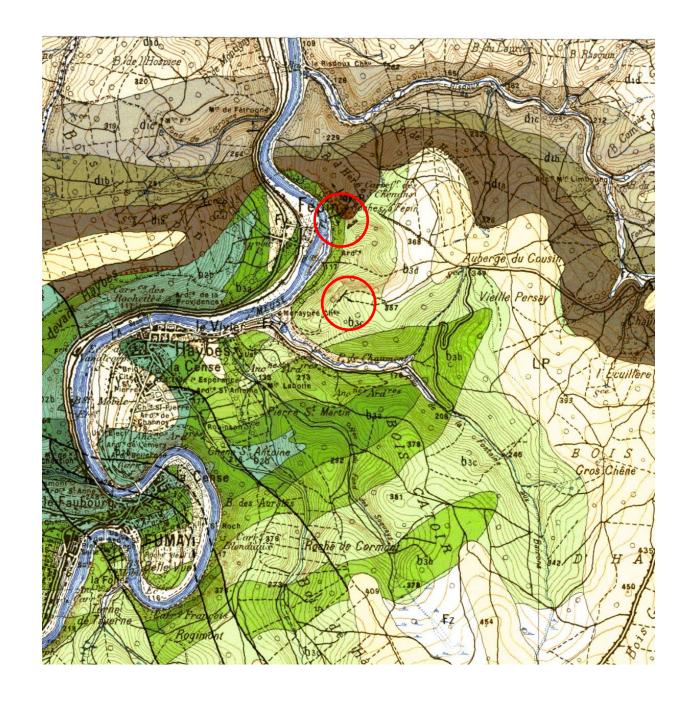
Colonnes stratigraphiques du Paléozoïque inférieur du domaine septentrional : Normer, d'après Chaloupsky, 1989; Lizard d'après Gibbons *et al.*, 1991; bassin lorrain d'après Don les autres colonnes d'après Meilliez *et al.*, 1991.



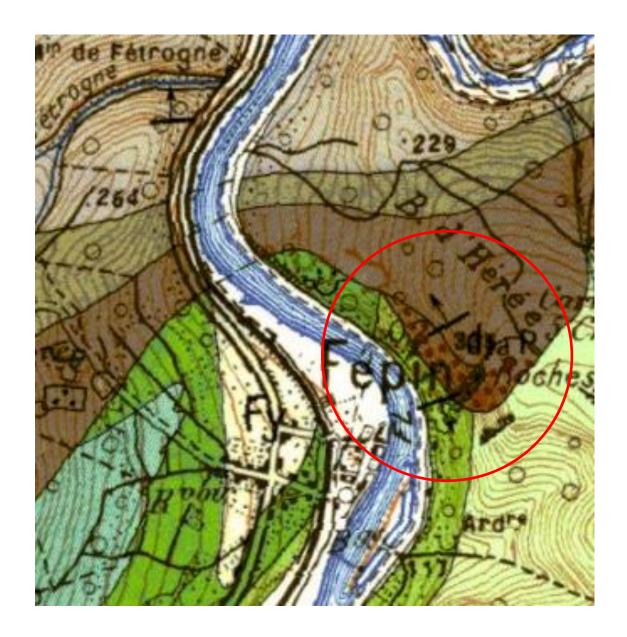
Extrait de la carte de France, 1/1000000

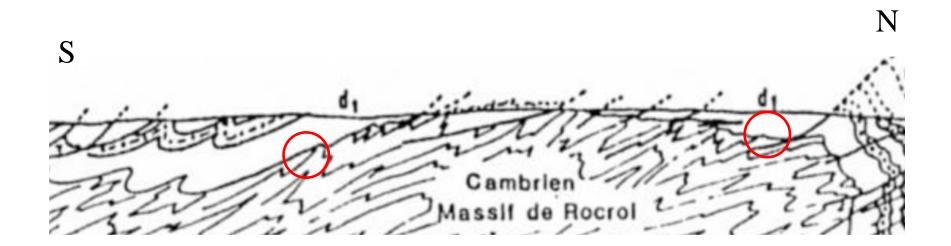


Extraits de la carte de Fumay (Ardennes) 1/50000

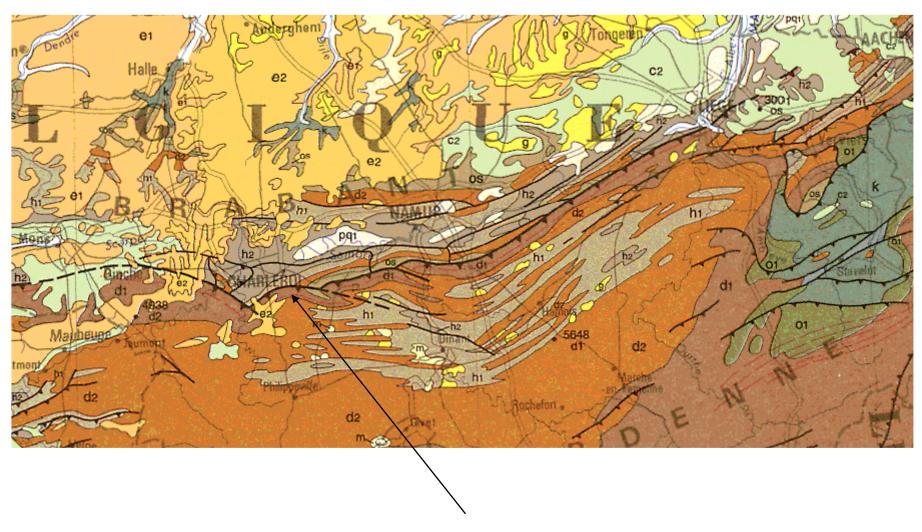


Extraits de la carte de Fumay (Ardennes) 1/50000

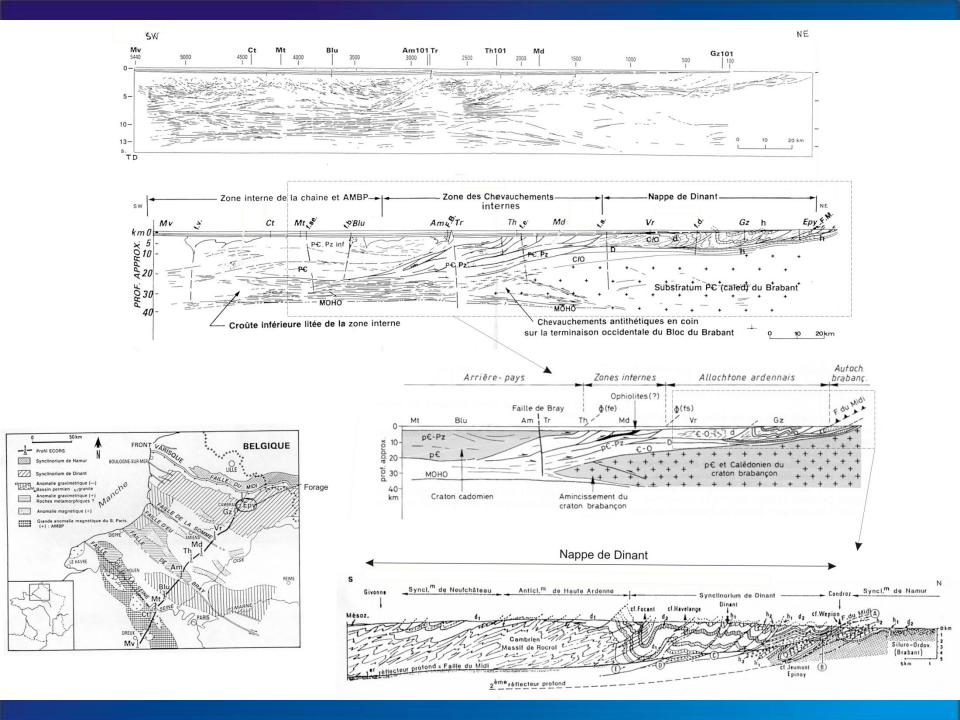


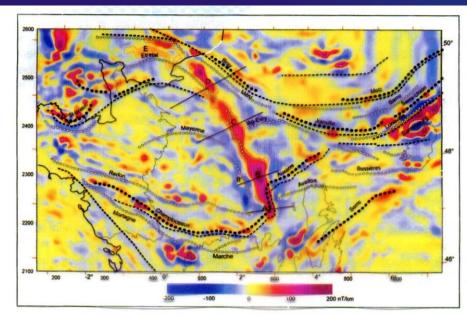


+ lacune de Silurien

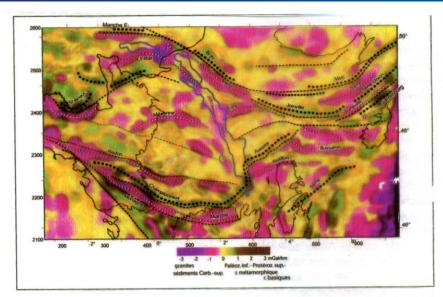


Faille du Midi : chevauchement du synclinorium de Dinant sur le synclinorium de Namur





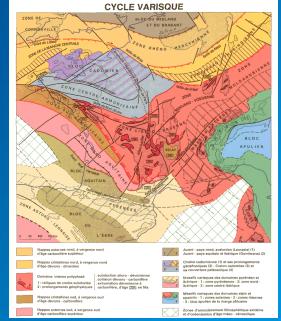
: Carte du gradient vertical des anomalies magnétiques à 3000 m d'altitude réduites au pôle. Axes des anomalies gravimétrique (fig. 2).



: Carte du gradient vertical des anomalies gravimétriques prolongées à 5 km d'altitude. Axes lourds (anomalies positives) en noir, axes légers (anomalies négatives) en blanc, principales discontinuités du socle en tireté. Contours de l'AMBP en bleu.



(Géochronique, la France hercynienne)



#### Bilan/calendrier Chaîne Nord:

- \* Rifting cambrien-crdovicien, Océan rhéique ordovicien
- \* Silurien : Echos lointains de l'orogenèse « calédonienne » , fermeture océan Iapétus
- \* Dévonien inf discordant en Ardenne.
- \*Dévonien : Résorption de l'espace océanique rhéique par subduction vers le sud, volcanisme calco-alcalin au Dévonien sup. -Carb. Inf (Vosges).
- + Obduction ophiolites du Lizard sur Dévonien moyen-sup
- \*Carbonifère moyen : collision des marges continentales, initiation des nappes, épaississement crustal . Léger métamorphisme (SV) Dévon. Sup (Z. internes ST) et Carbonifère moyen (Z. nord RH)
- \*Carbonifère sup : formation des bassins houillers paraliques (flexuraux) : bassin franco-belge et limniques (extensifs intramontagneux) :bassin sarro-lorrain permo-carb. Tectonique extensive + volcanisme + grands décrochements (faille du Pays de Bray, faille de Metz, z. Lalaye-Lubine-Baden-Baden)
- \* Distension post-orogénique Carb. Sup-Permien

### IV. Calendrier et modèles d'évolution de la chaîne hercynienne en France réflexion sur la structure

# IV. Calendrier et modèles d'évolution de la chaîne hercynienne en France réflexion sur la structure

A. L'organisation de la chaîne hercynienne et la signification des principales unités et séries

### Corrélations au sein de la chaîne hercynienne méridionale : une chaîne à vergence sud résultant de la fermeture de l'océan centralien

- a. L'unité supérieure des gneiss, témoin des aires océaniques du Paléozoïque inférieur et des phénomènes de subduction
- b. L'unité inférieure des gneiss et les unités micaschisteuses, témoins de l'évolution d'une marge continentale impliquée dans la collision et l'édification de la chaîne
- c. Les séries "discordantes" et le scellement des événements tectoniques
  - Les séries dévono-carbonifères du Morvan, témoins d'un arc magmatique installé sur un domaine orogénique préexistant
  - La série de la Brevenne, témoin d'un bassin océanique arrière-arc dévonien
    - Les bassins stéphaniens et stéphano-permiens, témoins du démantèlement de la chaîne et de l'extension post-orogénique

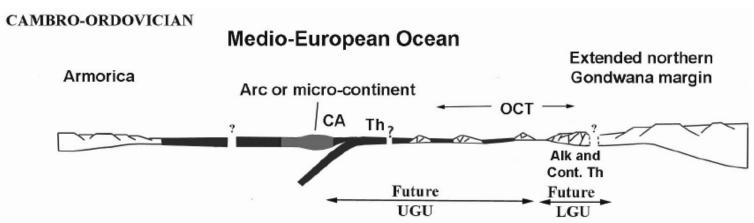


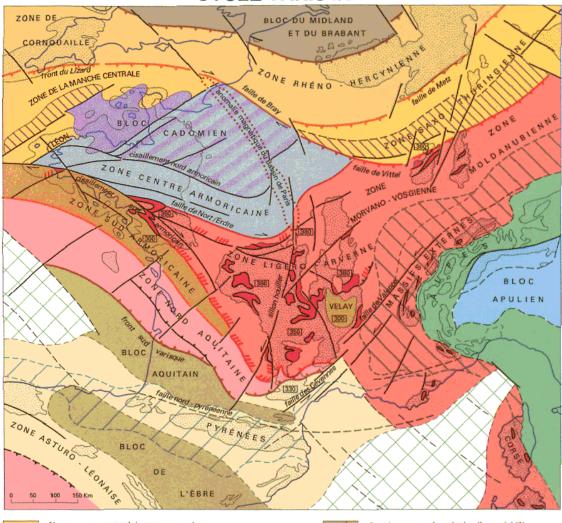
FIG. 6. – Cambro-Ordovician pre-orogenic restoration. Conceptual model based on distinctive rocks associations and geochemistry of metabasites from the different tectono-metamorphic units. CA = calc-alkaline metabasites; Th= tholeiites type metabasites; Cont Th = continental tholeiites type metabasites; Alk = alkaline metabasites; OCT = Ocean continent transition zone. See text for locations of the different rocks associations.

### Corrélations au sein de la chaîne hercynienne septentrionale : une chaîne à vergence nord résultant de la fermeture de l'océan rhéique

a. La zone rhéno-hercynienne, témoin de l'évolution de la marge continentale du craton septentrional impliquée dans la collision et l'édification de la chaîne

b. La zone saxo-thuringienne, marge du craton méridional et témoin des phénomènes de subduction

#### CYCLE VARISQUE









Domaine interne polyphasé

1 : reliques de croûte subductée 2 : prolongements géophysiques

. subduction siluro - dévonienne . collision dévono - carbonifère . exhumation dévonienne à carbonifère, d'âge [330]: en Ma



Nappes cristallines sud, à vergence sud d'âge dévono - carbonifère



Nappes externes sud, à vergence sud d'âge carbonifère supérieur



Avant - pays nord, avalonien (Laurasia) (1) Avant - pays aquitain et ibérique (Gondwana) (2)



Chaîne cadomienne (1) et ses prolongements géophysiques (2) - Craton cadomien (3) et sa couverture paléozoïque (4)



Massifs varisques des domaines pyrénéen et ibérique - 1 : zone pyrénéenne - 2: zone nord - ibérique - 3 : zone centre ibérique



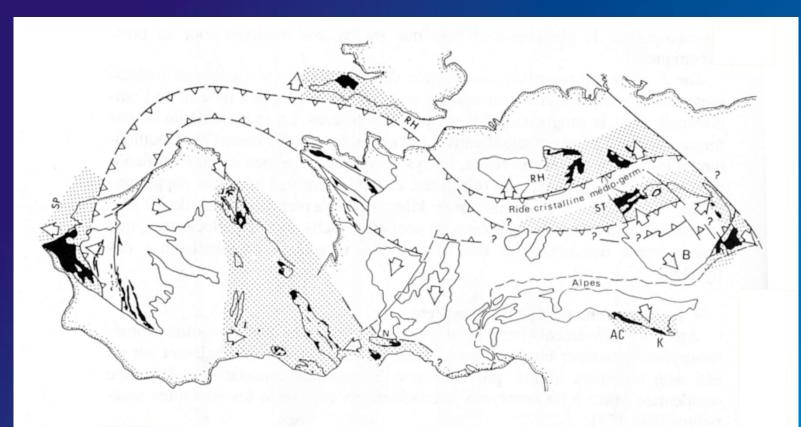
Massifs varisques des domaines alpin et apennin - 1 : zones externes - 2 : zones internes - 3 : bloc apulien de la marge africaine



Zones d'amincissement lithosphérique extrême et d'océanisation d'âge méso - cénozoïque

### IV. Calendrier et modèles d'évolution de la chaîne hercynienne en France réflexion sur la structure

B. Calendrier

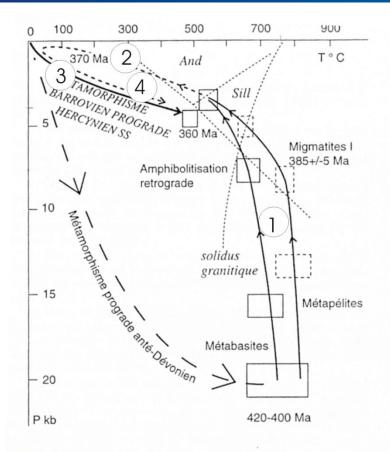


Principales zones d'affleurement des flyschs varisques en Europe occidentale (d'après Franke et Engle, 1986).

RH. zone rhéno-hercynienne, ST. zone saxo-thuringienne, AC. Alpes carniques, B. massif de Bohème, K. Karawanken, N. Montagne noire.

#### TABLEAU RECAPITULATIF DE LA FORMATION DE LA CHAINE HERCYNIENNE EN FRANCE

Evénements	Age	Témoins sur la carte au 1/1 000 000	Interprétation géodynamique
Décrochements tardifs Granites tardifs Extension syn- à	Carbonifère moyen – sup. 335-285 MA	ZBSA, faille de Lalaye – Lubine, sillon houiller du MC etc γ17 à γ20	Serrage final, fusion de la base de la croûte et du sommet du manteau, avec production de magmas granitiques dont la montée est contrôlée
post-orogénique Métam.BP-HT	Carb. sup. Permien 350-250 MA	Détachements	par les décrochements Etalement gravitaire
Nappes hercyniennes Métamorphisme dalradien Migmatisation Métam. MP-MT	Fin Dévonien- Carbonifère inf. 360-335 MA	Chevauchements surtout vers le S, anté γ15 au N, post γ15 au S. Métamorphisme - méso-varisque au N, - néo-varisque au S	Collision entre Baltica et Armorica + Gondwana
Bassins intra ou arrière arc et magmatisme d'arc	Dévonien moyen - sup 375-360 MA	Séries d2h1 du MC et des Vosges, granodiorites γ14 du MC	Subduction vers le S de l'Océan Rhéique sous Armorica+ Gondwana
Migmatisation Evolution rétrograde des Eclogites	Dévonien moy sup 385-380 MA	Une partie de l'anatexie méso - varisque ?	Exhumation des roches de HP syn-subduction puis syn-collision Gondwana-Armorica
Métamorphisme HP-HT et HP-BT	Silurien -Dév. inf 430-380 MA 370-360 MA (Groix) Dévonien sup.	Eclogites des GLA (gisements figurés par *)	Subduction vers le N de l'Océan Centralien sous Armorica



Trajets pression-température-temps des différents ensembles métamorphiques de la chaîne varisque. Les roches éo-varisques de haute pression métamorphisées vers 420-400 Ma, sont exhumées vers 370 Ma (Dévonien supérieur) avant d'être métamorphisées une seconde fois pendant la tectonique dévono-carbonifère ou hercynienne s.s. vers 360-350 Ma selon un gradient barrovien.

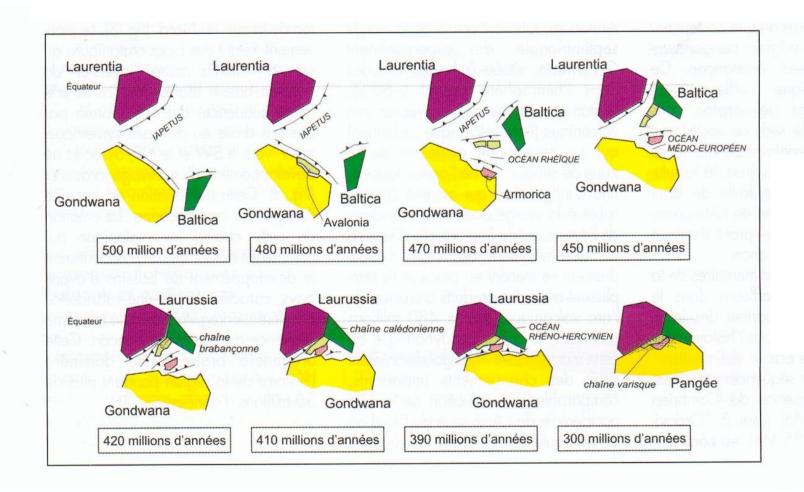
- 1: Exhumation syn-subduction de l'océan centralien des roches de HP;
- 2 : Exhumation syn-collision Gondw.-Armor. des roches de HP;
- 3 : Ré-enfouissement possible syn-collision Balt- G+A des roches de HP;
- 4 : Exhumation syn-collision Balt. -G+A des roches de HP

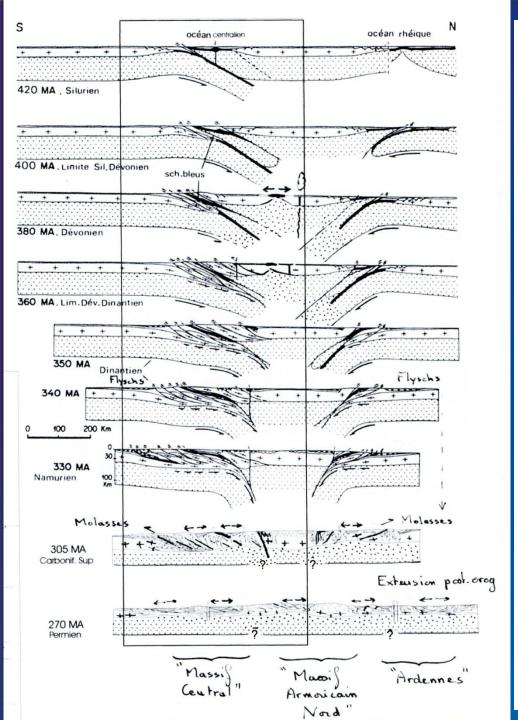
### IV. Calendrier et modèles d'évolution de la chaîne hercynienne en France réflexion sur la structure

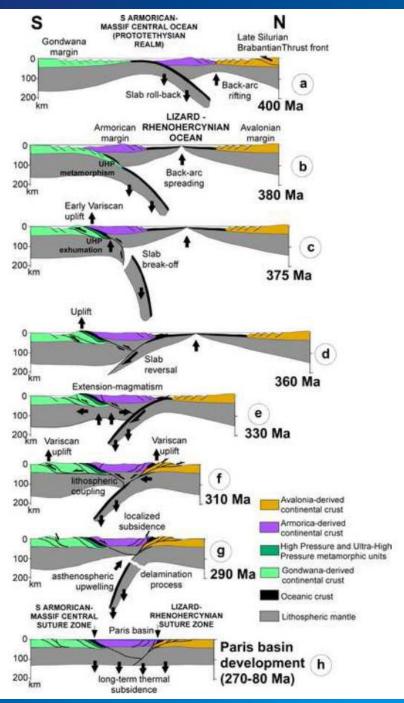
C. Modèles d'évolution et essais de reconstitutions géodynamiques

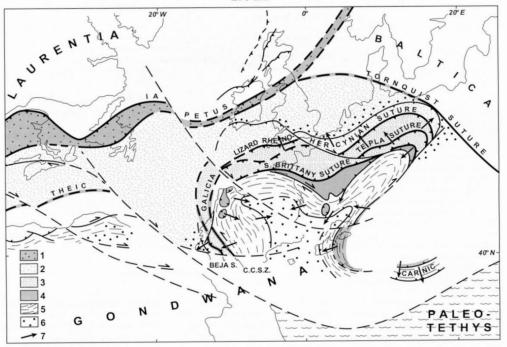
### 3 grandes étapes :

- 1. La fragmentation de la marge Nord du continent Gondwana au Paléozoïque inférieur et les échos de l'orogenèse calédonienne
- 2. La convergence des aires continentales et l'édification de la chaîne varisque au Dévonien et au Carbonifère
  - 3. Le démantèlement syn- à post-orogénique de la chaîne au Carbonifère et au Permien

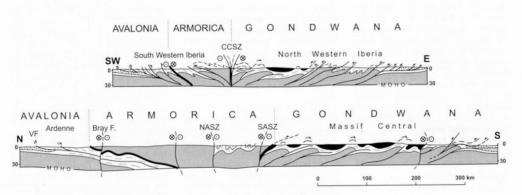






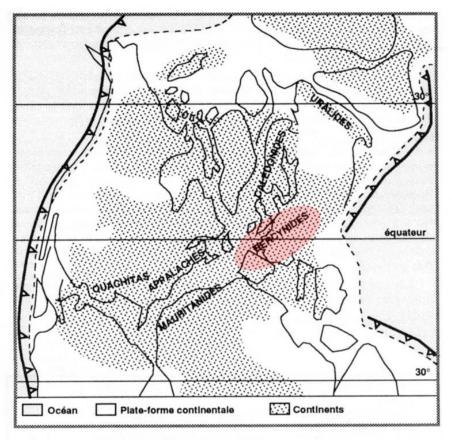


Possible configuration of the Variscan belt of Western Europe and northern Africa in Permian time (at 270 Ma), showing the main sutures and extension of the Avalonia and Armorica continental microplates. 1, lapetus Caledonian suture and Ordovician island arc; 2, Avalonia; 3, Armorica; 4, ophiolitic nappes rooted in the Galicia–Southern Brittany suture; 5, Schistose nappes in the southern Variscides; 6, Carboniferous (Visean to Westphalian) foredeep basins; 7, main vergence of nappes. CCSZ, Combra–Cordoba Shear Zone; Beja S, Beja suture.

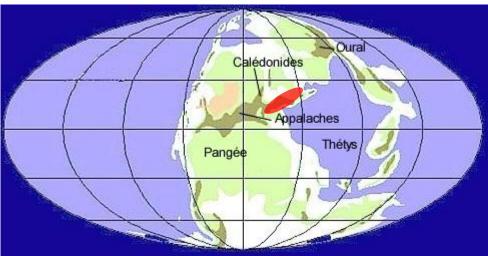


Two ultra-simplified cross-sections at crustal scale through the Variscan belt in Iberian Peninsula and France, without granites, showing the fan-like shape of the belt. Grey, pre-Palaeozoic (essentially Upper Proterozoic) low-grade basement; white, Lower Palaeozoic sediments; black, ophiolitic nappes and sutures; dots, Carboniferous foredeeps; CCSZ, Combra-Cordoba left-lateral Shear Zone; Bray SZ, NASZ and SASZ, Bray, North Armorican and South Armorican dextral Shear Zones; VF, Variscan Front.

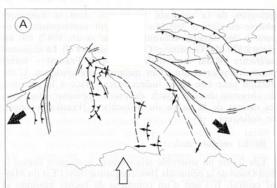
(Matte, 2001)



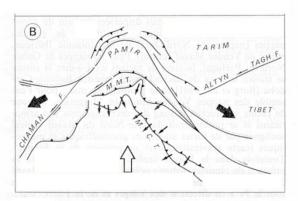
(Elmi et Babin, Histoire de la Terre)



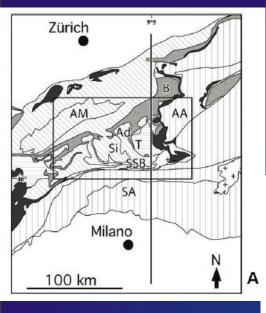
Localisation des chaînes orogéniques du Paléozoïque supérieur périatlantiques sur une reconstitution paléogéographique pour le Permien

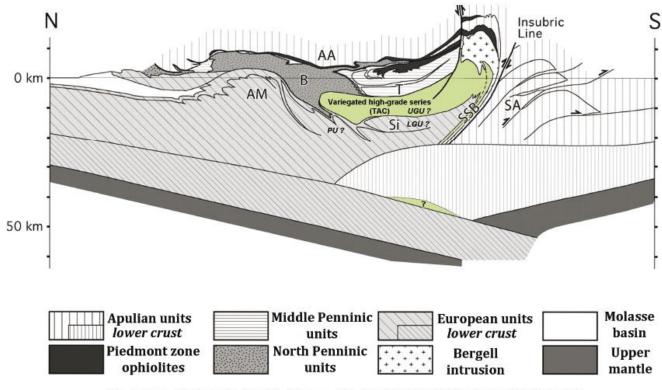


(Debelmas, Mascle, les grandes structures géologiques)



Disposition des décrochements ductiles et chevauchements contemporains. Comparaison entre les virgations ibéro-armoricaine (A) et ouest himalayenne (B) (à la même échelle). Les points indiquent les sutures.

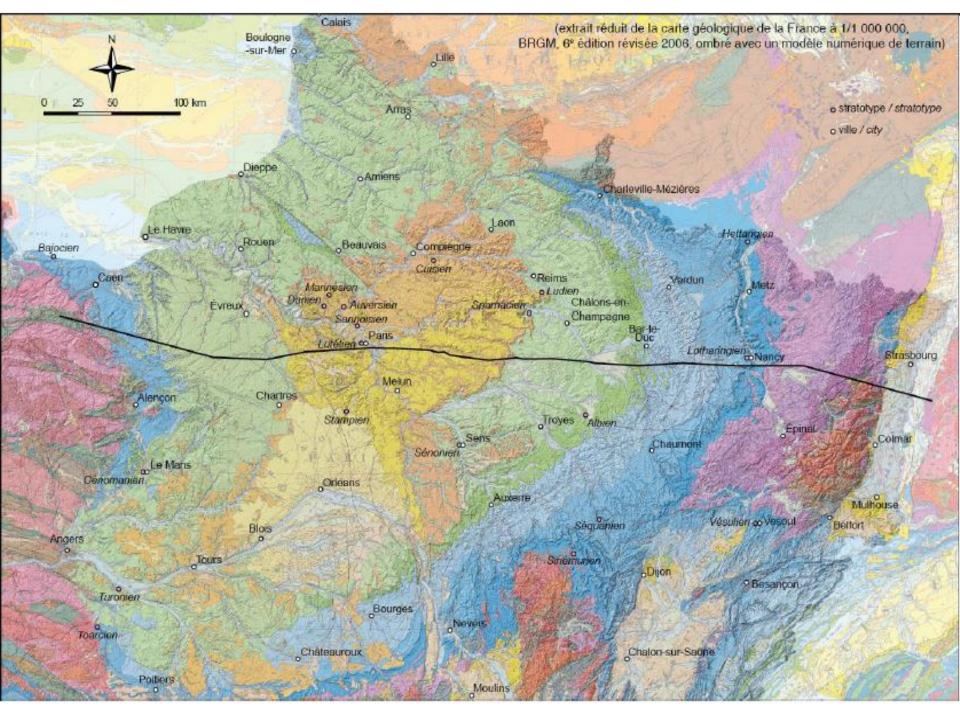


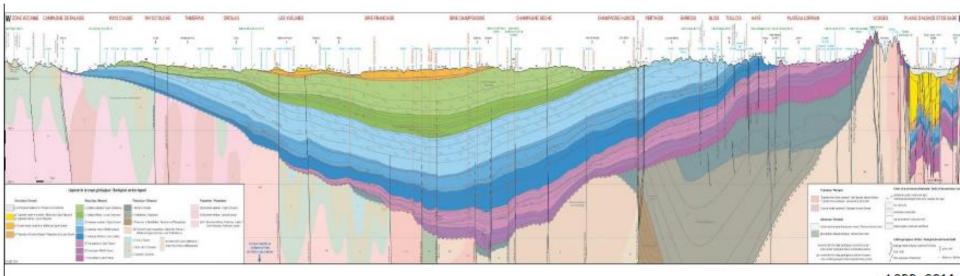


AA: Austro-Alpine; SA: South-Alpine; AM: Aar Massif; B:Bündnerschiefer units; T: Tambo nappe; Si: Simano nappe; SSB: Southern steep belt; TAC: Tectonic accretion channel

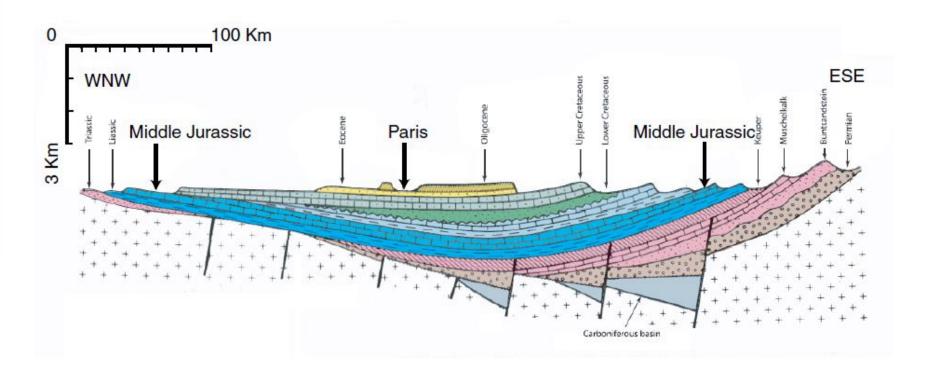
В

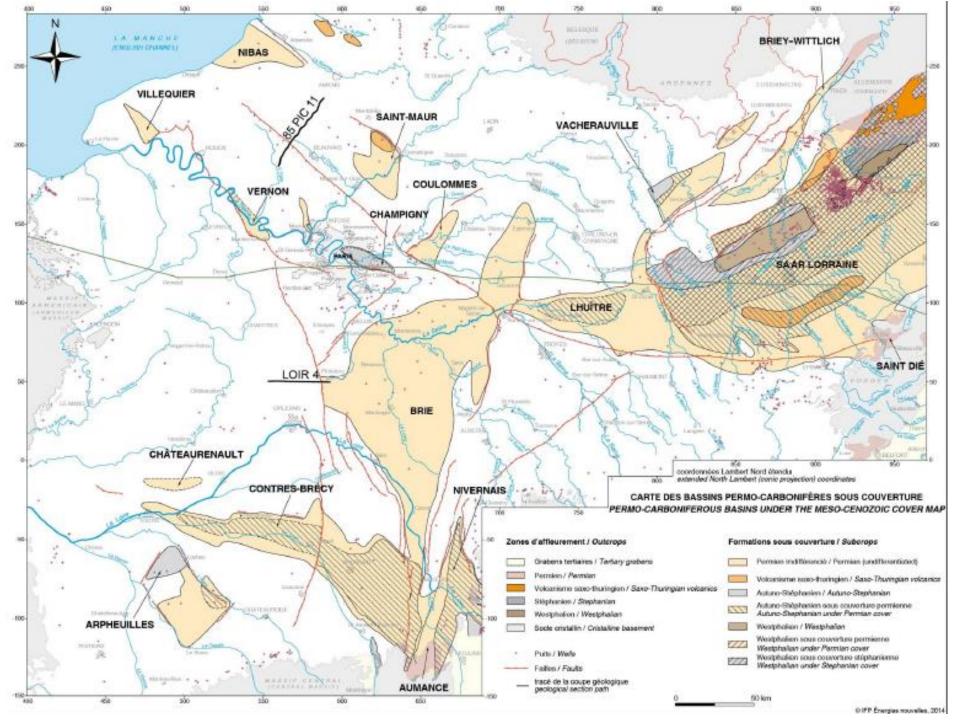
## Le Bassin de Paris : un bassin intracratonique (voir cours François Baudin)

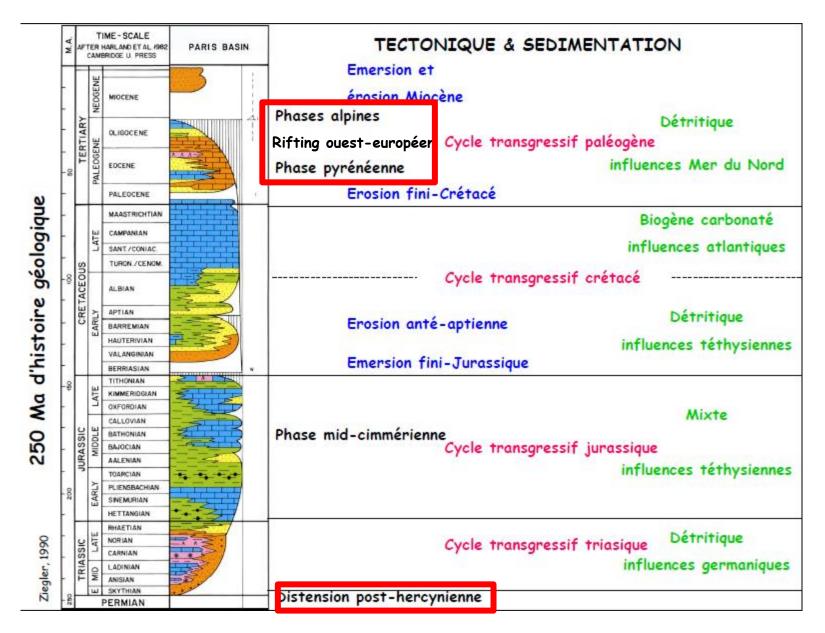




AGBP, 2014







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 orogenèses pyrénéenne et alpine et de la formation du rift ouest-européen