

EPFL



Othmar Müntener
Géopolis 4987



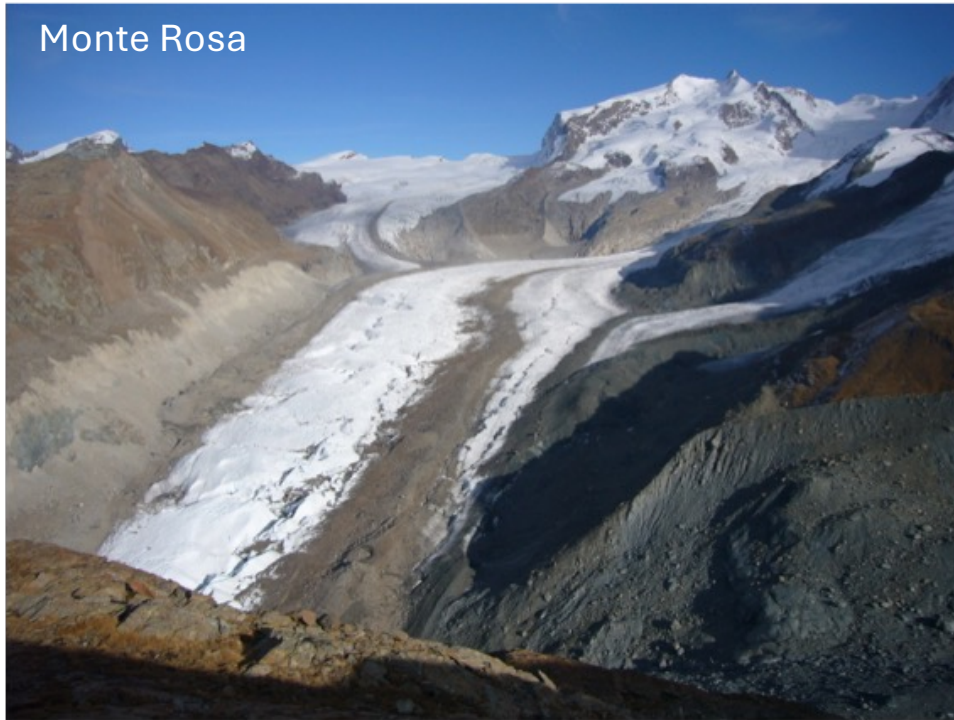
Géologie de la Suisse

Cours Géologie Ba2
Numéro 8

Géologie de la Suisse (Jura, Alpes)



Monte Rosa



Cervin

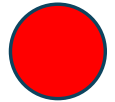


Contenu

- Alpes Suisses: part d'un orogène
- Avant les Alpes: Paléogéographie et evolution spatio-temporelle de la chaine Alpine – les dernier 200 Millions d'années
- Unité tectoniques (domaines) dans les Alpes – dans la Suisse
(Jura, Bassin Molassique, Helvétique, Pennique, Sud-Austroalpin)
- Subduction – Collision - Métamorphisme
- Erosion des Alpes et activité tectonique récents (Tremblements de terres recents)

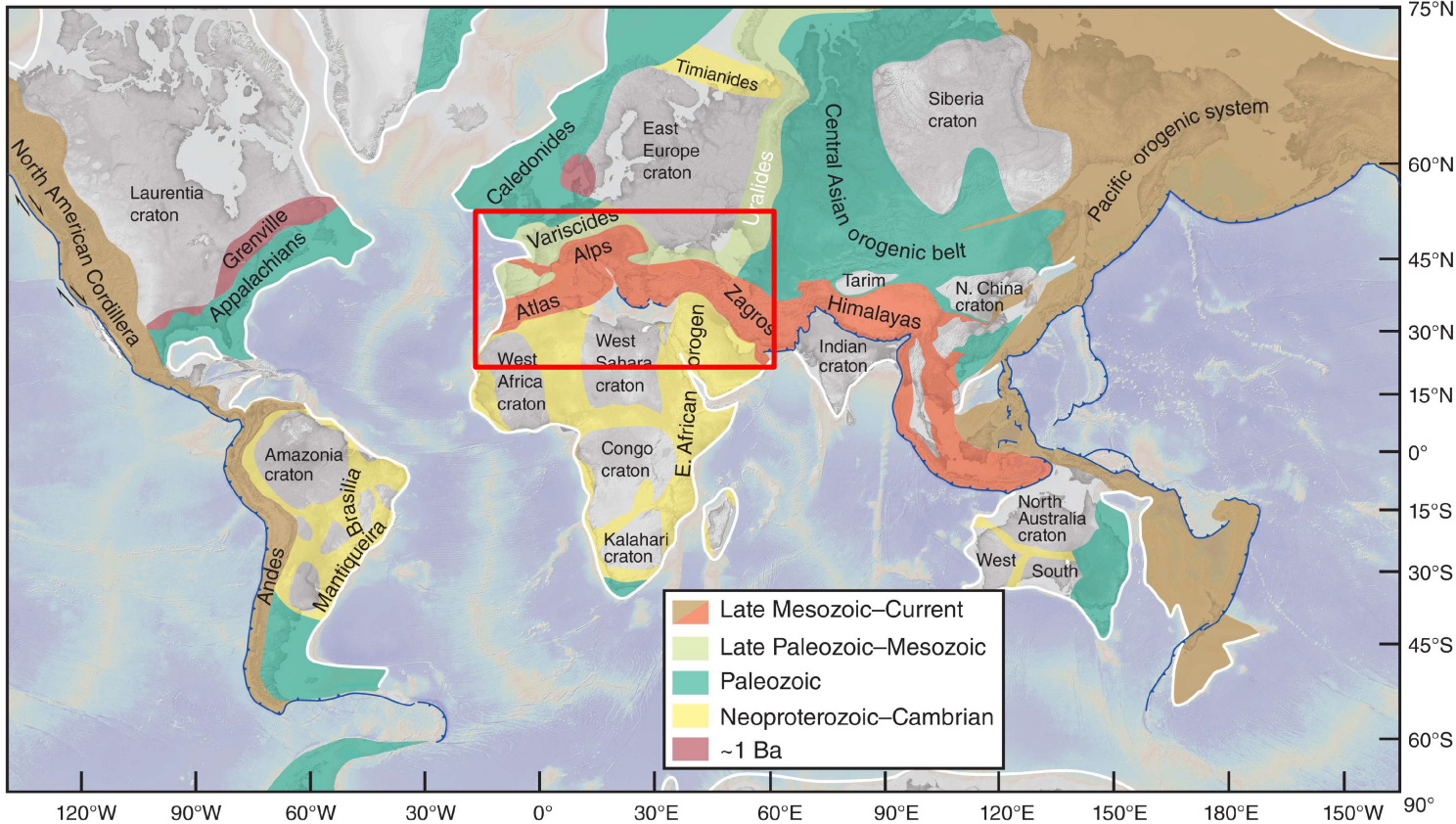
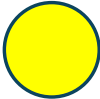


Orogénèse: (Formation des chaînes de montagnes): Caractéristiques générales



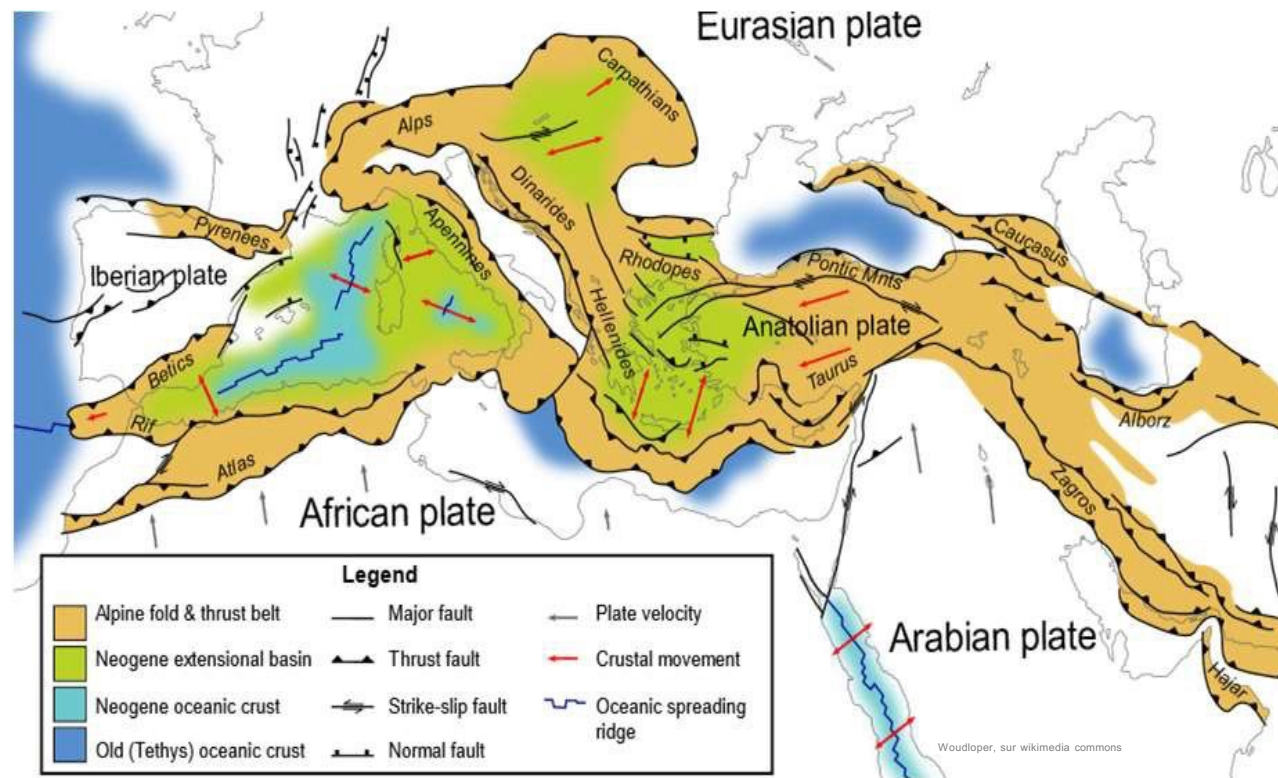
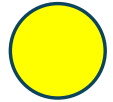
- **Magmatisme précoce** contemporain de la subduction océanique
- Disparition de la croûte océanique, sauf lambeaux (= **ophiolites**)
- **Prisme d'accrétion** (*wedge*) formé des sédiments déposés sur le plancher océanique, **raclés** par la plaque supérieure et accrétés par en dessous (*under-accretion*) et métamorphisés
- **Écaillage et déformation** à large échelle de la croûte continentale et superposition des écailles (*nappes*) le long de grands **plans de chevauchement** (*thrust*), fort épaissement (jusqu'à doublement) de la croûte continentale
- **Érosion** dès les premiers reliefs; les sédiments se déposent en avant du front orogénique, (bassin molassique et plaine du Pô dans les Alpes).

Chaînes de montagnes sont partout avec des âges très différent

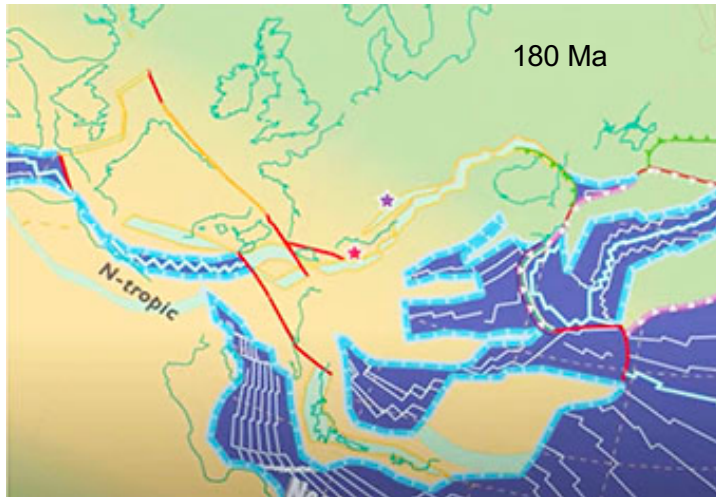


Fossen & Teyssier 2025

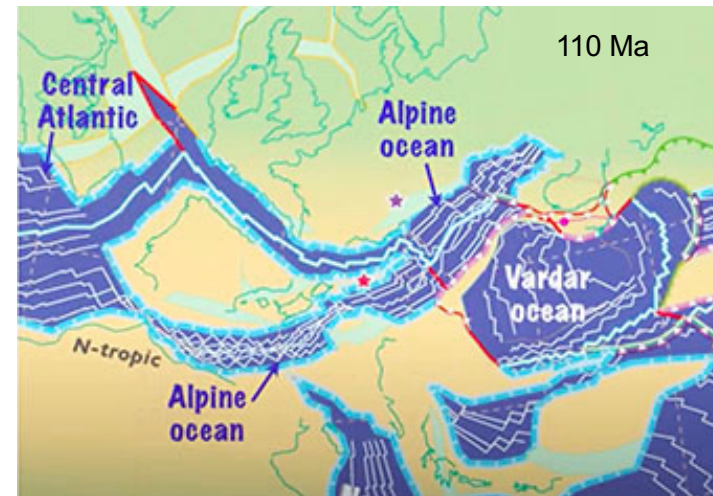
Grandes structures dans la région des Alpes aujourd'hui : Mouvement horizontal des blocs continentaux



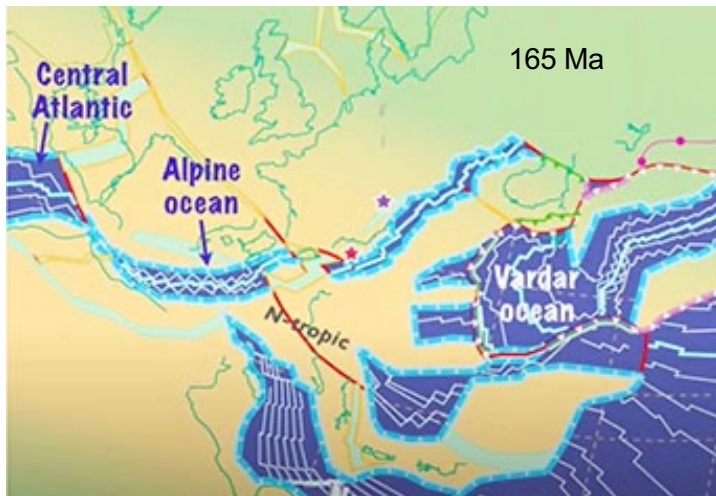
Reconstructions des plaques dans la région des Alpes



1) Separation des plaques Europe et Afrique



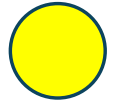
D'après Stampfli et Borel 2002



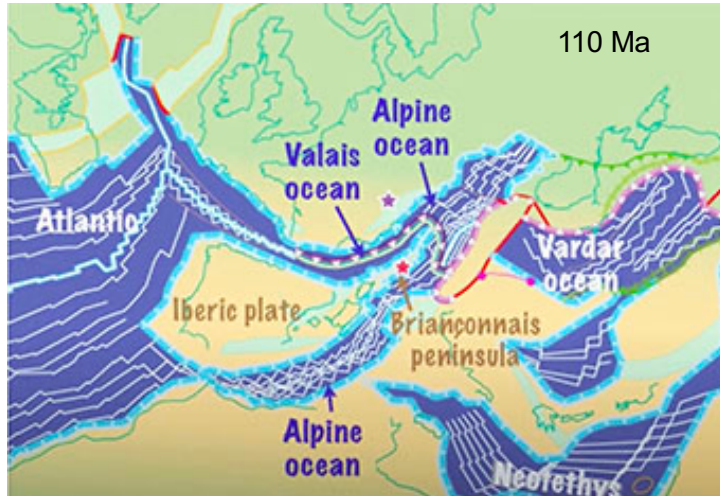
Liée à l'ouverture de l'Atlantique sud entre Afrique et Amérique du sud

- ★ Position du Val d'Hérens bas (Valais)
- ★ Position du Val d'Hérens haute (Valais)

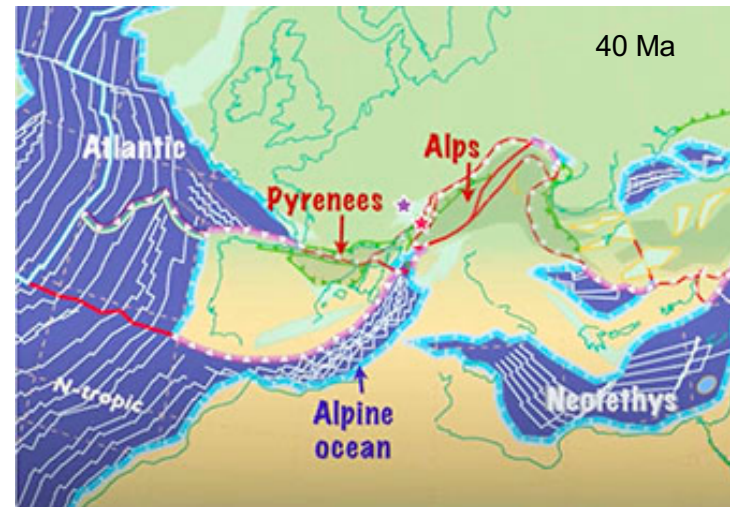
www.youtube.com/watch?v=Bh7-ljKsgUs



Reconstructions des plaques dans la région des Alpes



2) Subduction de l'océan Alpine et collision des plaques Europe et de l'Afrique

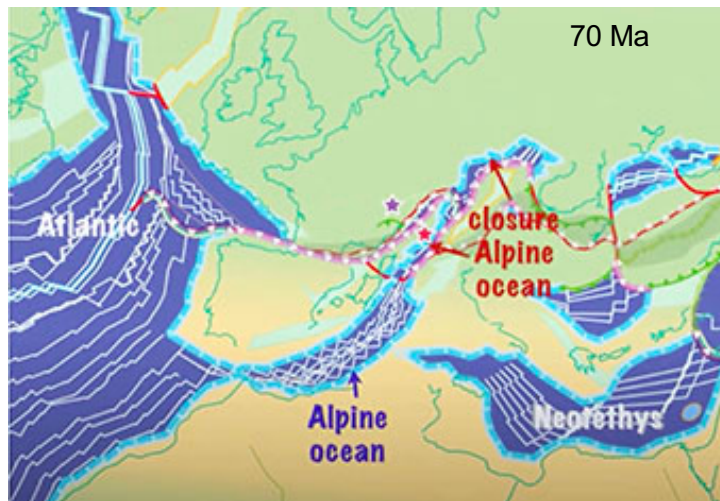


Liée à l'ouverture de l'Atlantique Nord

Complications par des rotations des microplaques

Voir aussi van Hinsbergen et al. 2020, et le video

<https://www.youtube.com/watch?v=n3pfDSFLX3w>



Position du Val d'Hérens bas (Valais)



Position du Val d'Hérens haute (Valais)

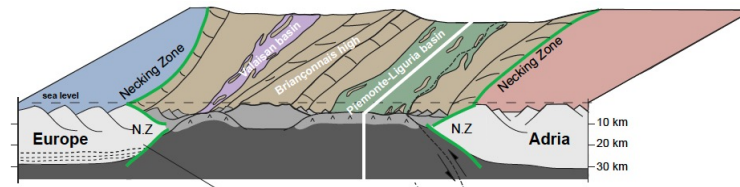
www.youtube.com/watch?v=Bh7-ljKsgUs

Reconstructions des plaques dans la région des Alpes à 165 Ma...



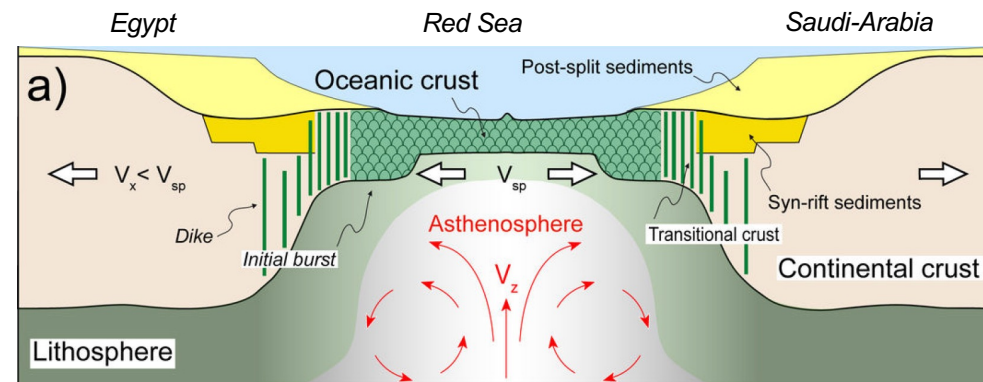
ZOOM – in

Séparation des plaques Europe et Adria



Mohn et al. 2014
Terra Nova

...comparable à la mer Rouge entre Arabie et Afrique aujourd'hui

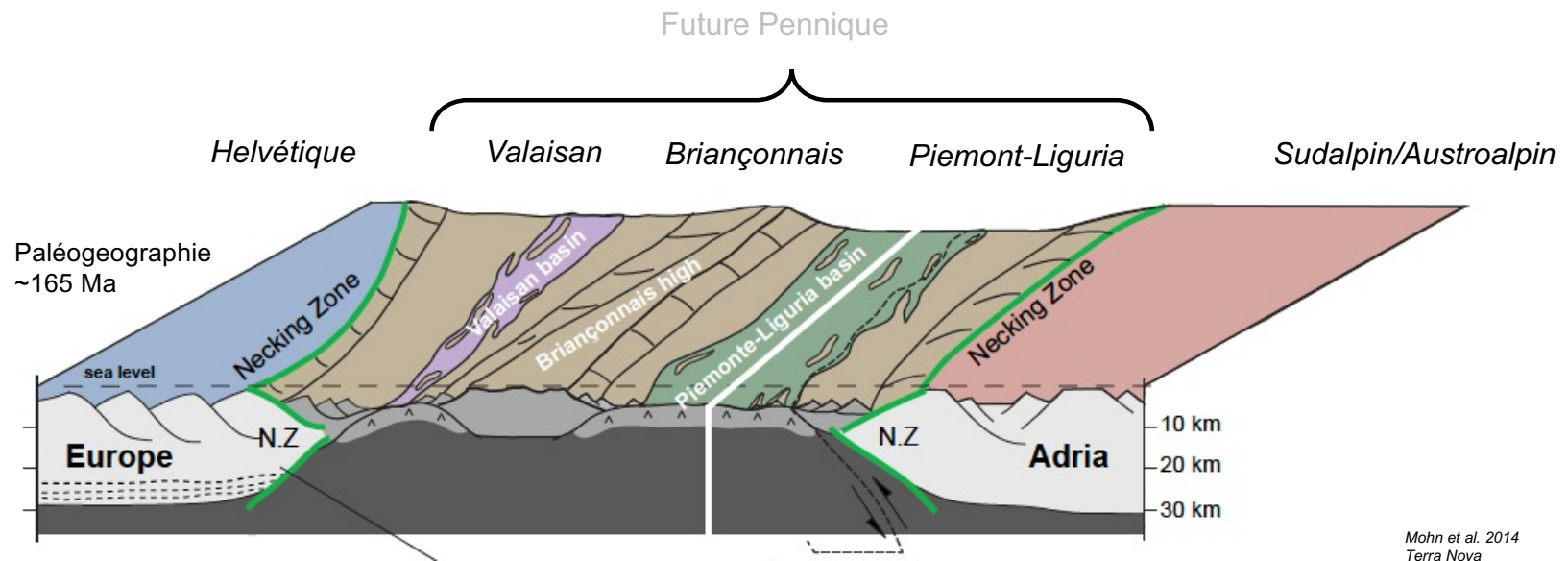


Ligi et al. 2014 Terra Nova

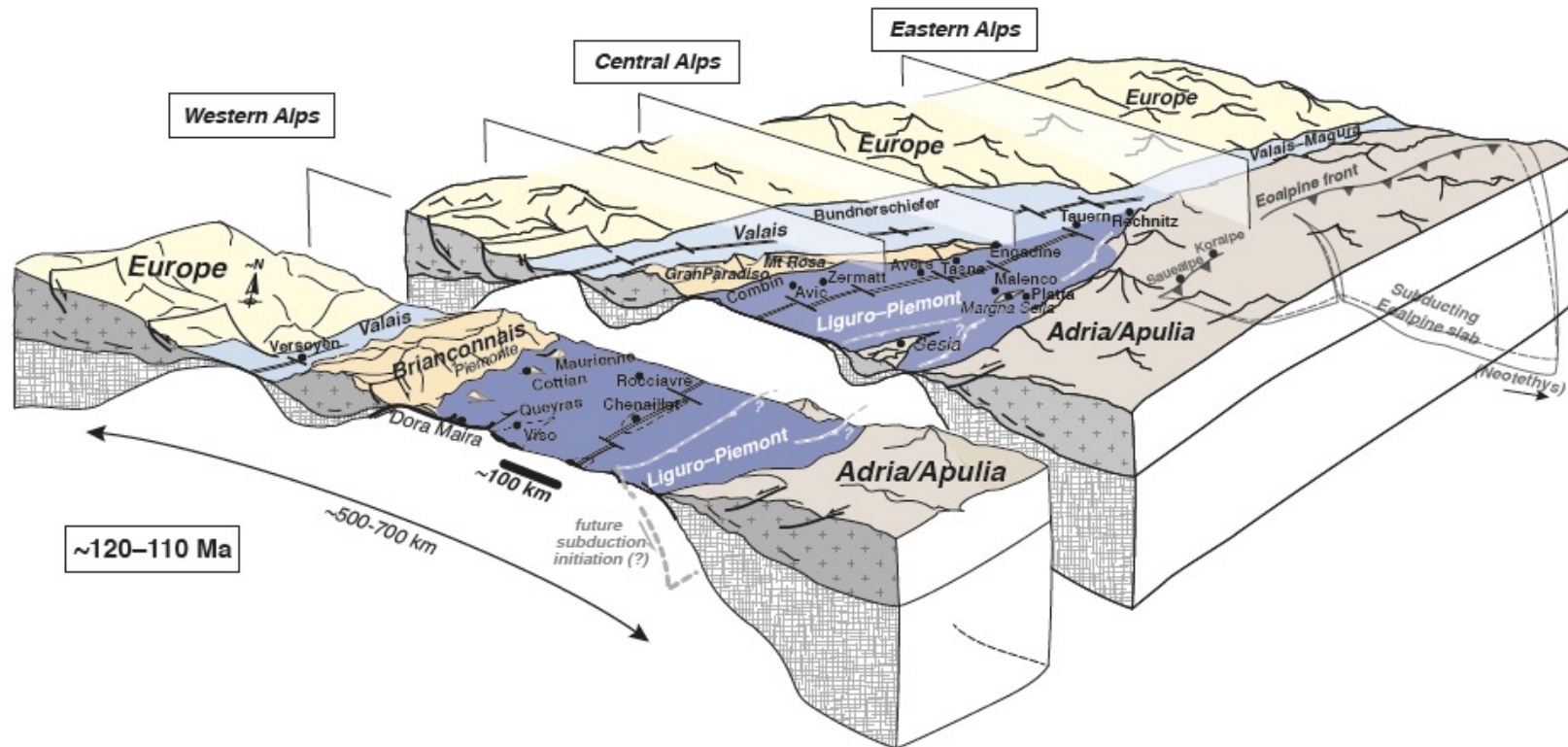
Paléogéographie: coupe de départ (déplié des observations actuelles)

Noms/domaines tectoniques dans les Alpes sont liées à leur paléogéographie

- Helvétique (= marge continentale de l'Europe, Roches: socle + sédiments marins)
- Valaisan (= bassin avec sédiments marins et reliques de la croûte océanique)
- Briançonnais (= bloc continentale séparé de l'Europe)
- Piemont-Liguria (= croûte océanique + couverture sédimentaire)
- Sudalpin / Austroalpin (= marge continentale de l'Adria, Roches: socle + couverture)



Coupes du départ: variabilité latérale avant la subduction

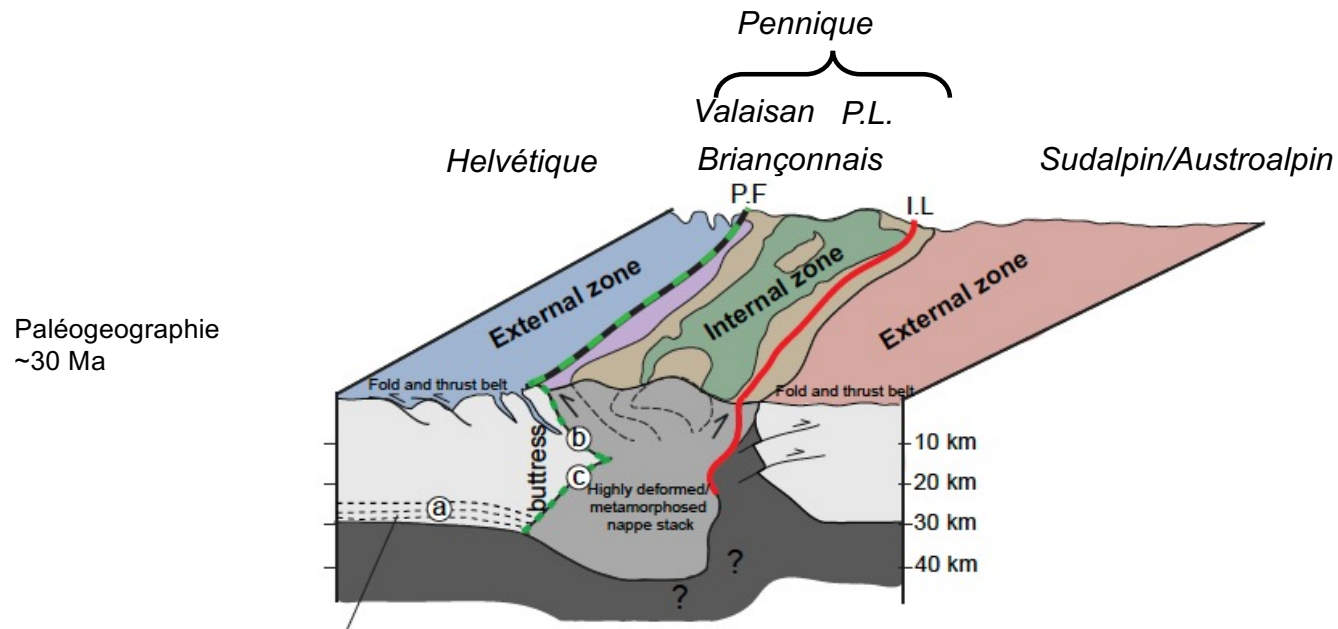


Paléogéographie: après la collision

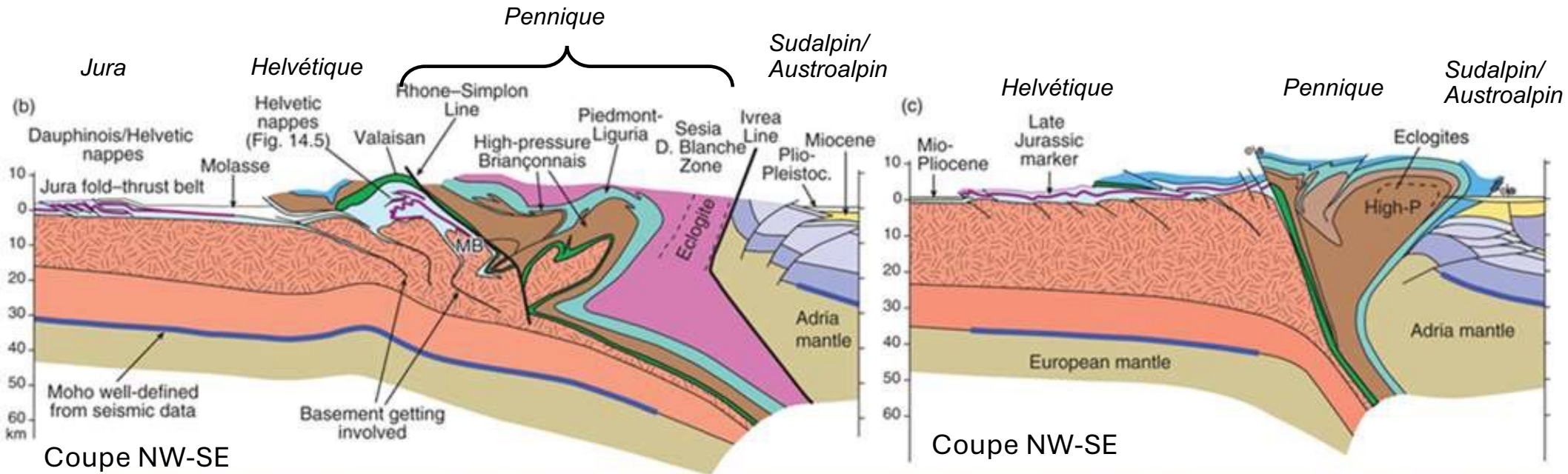
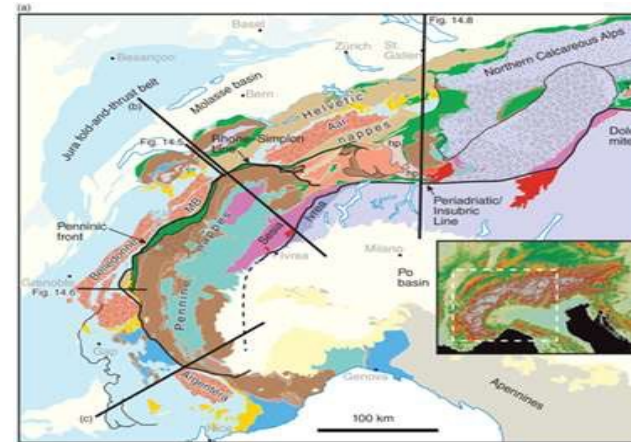
Noms/domaines tectoniques dans les Alpes sont liées à leur paléogéographie

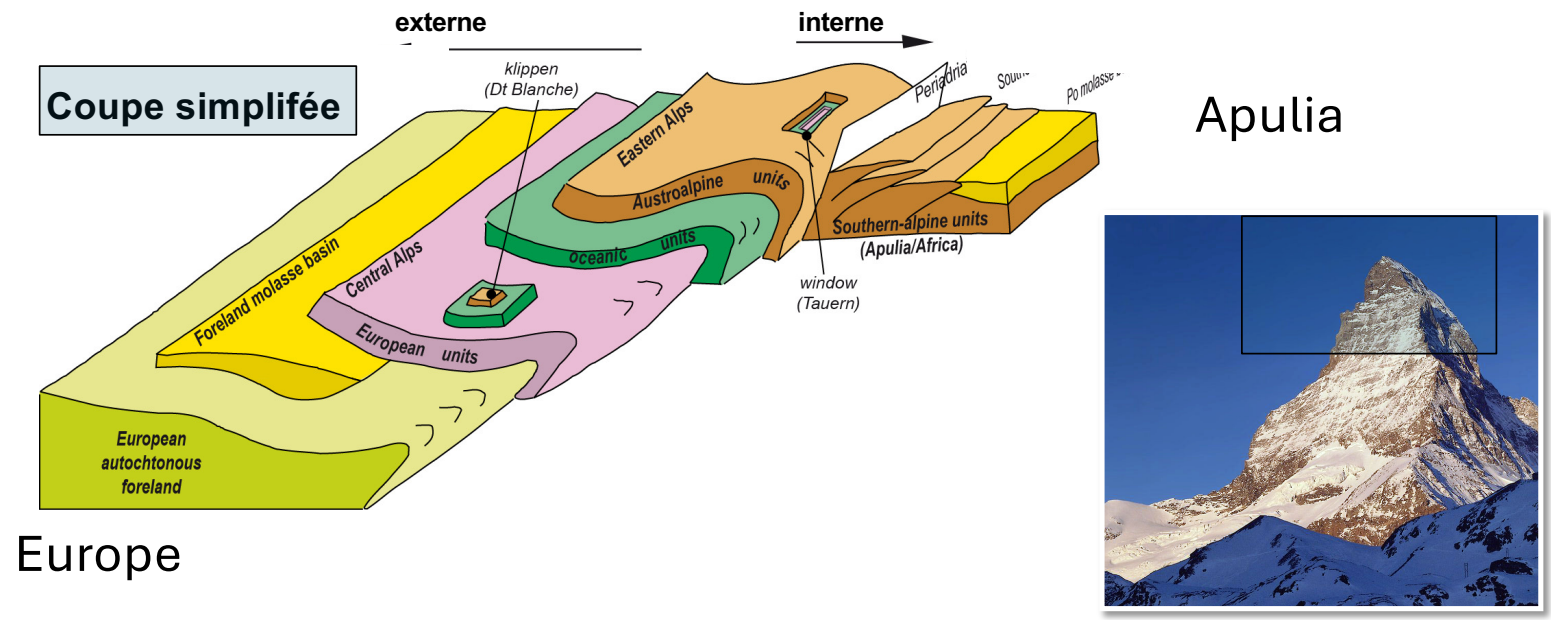
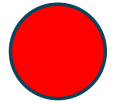
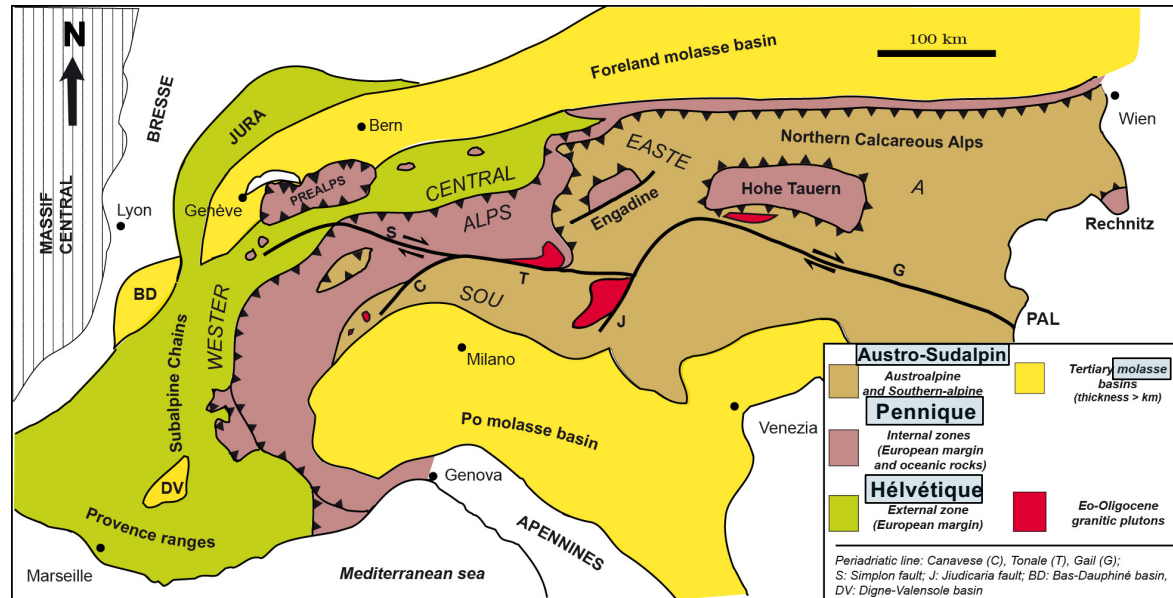
- Helvétique (= marge continentale de l'Europe, Roches: socle + sédiments marins)
- Valaisan (= bassin avec sédiments marins et reliques de la croûte océanique)
- Briançonnais (= bloc continentale séparé de l'Europe)
- Piemont-Liguria (= croûte océanique + couverture sédimentaire)
- Sudalpin / Austroalpin (= marge continentale de l'Adria, Roches: socle + couverture)

Pennique (= reliques des croûtes océaniques + Briançonnais)



Coupes après la subduction/collision: variation le long de la chaîne





Autres termes utiles :

Noms/domaines tectoniques dans les Alpes sont liées à leur paléogéographie

Helvétique (= marge continentale de l'Europe, Roches: socle + sédiments marins)

Valaisan (= bassin avec sédiments marins et reliques de la croûte océanique)

Briançonnais (= bloc continental séparé de l'Europe)

Piemont-Liguria (= croûte océanique + couverture sédimentaire)

Sudalpin / Austroalpin (= marge continentale de l'Adria, Roches: socle + couverture)

Pennique (= reliques des croûtes océaniques + Briançonnais)

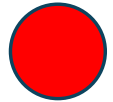
Bassin molasse: (= sédiments issus de l'érosion des Alpes)

Jura: (= Chaîne de montagne fait par des sédiments détachés de leur socle)

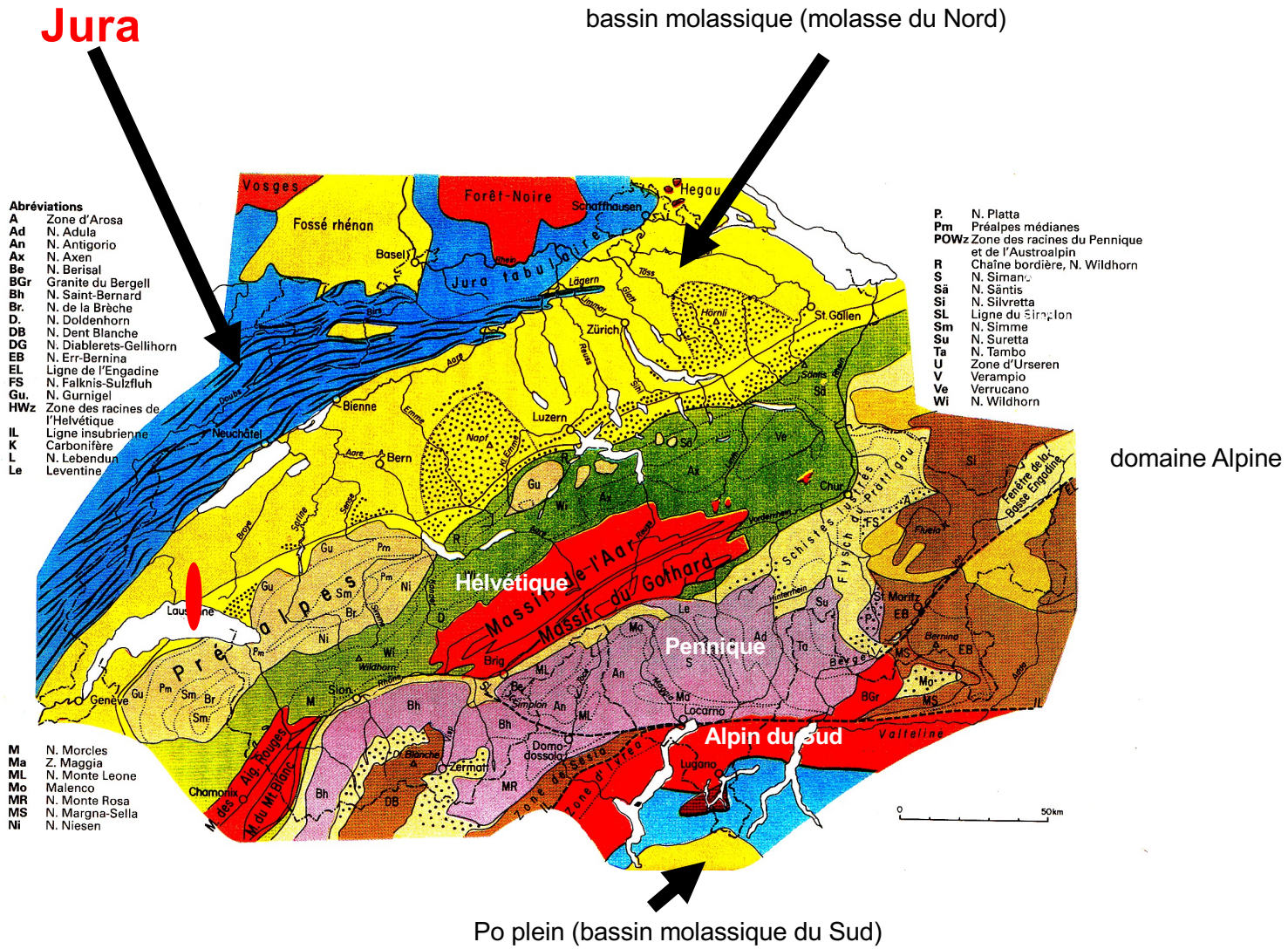
Socles: (roches métamorphique et magmatique)

Couverture (= sédiments couvrant les socles)

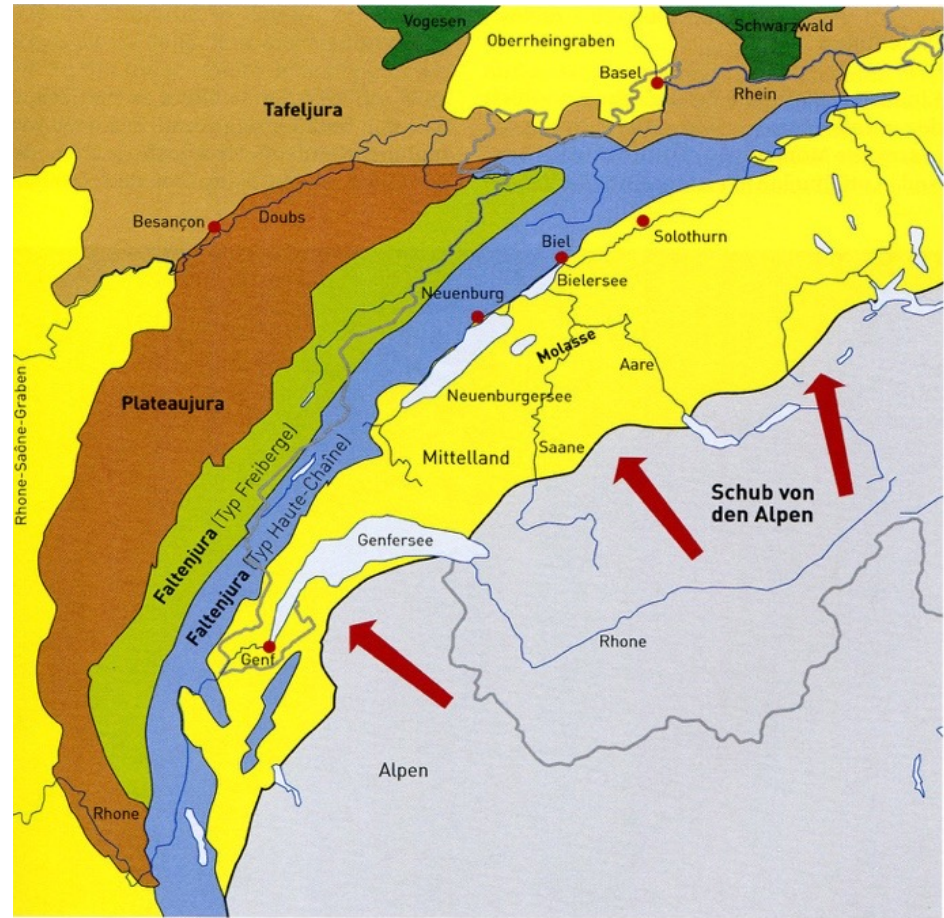
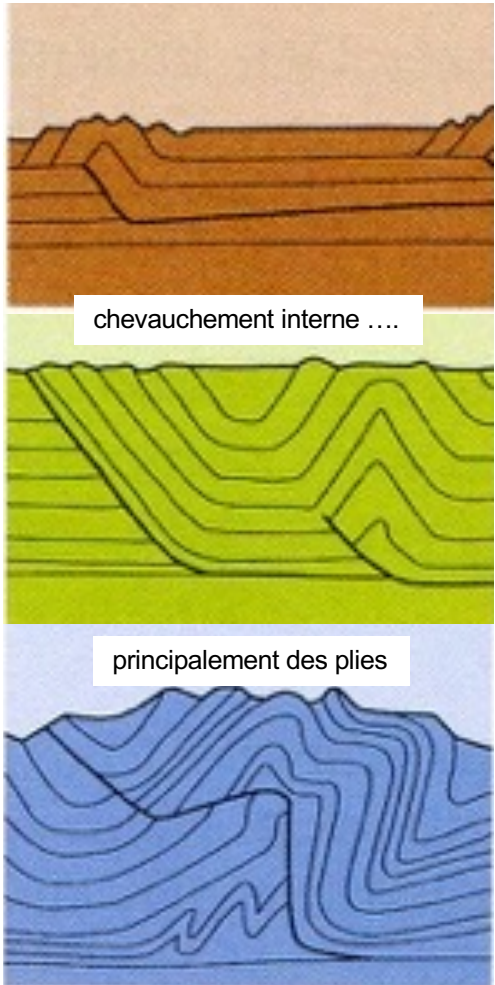
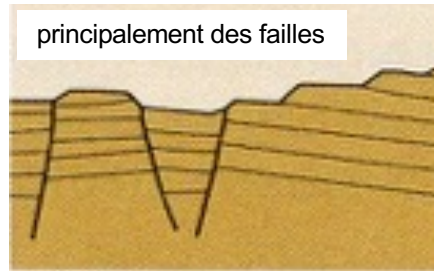
Line Insubrienne (IL) ou ligne péri-adriatique = suture entre Europe et Adria:
sépare partie métamorphique de la partie non (ou faible)-métamorphique



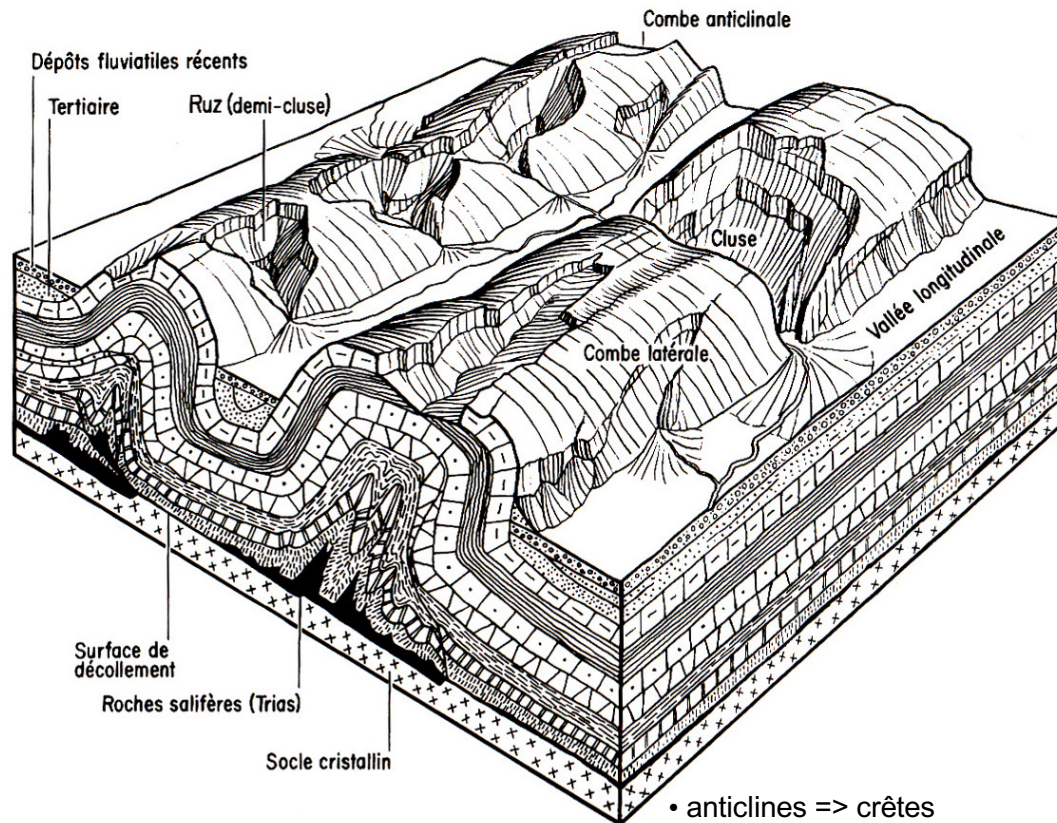
Répartition des unités tectoniques



Le Jura (trois styles différents: plies vs chevauchements)

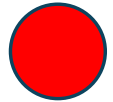


Détails des plis: beaucoup plus complexe !!



- anticlines => crêtes
- syncline => vallées

- Chevauchement basal au Tertiaire
- Conglomérat du **Miocène** est plissé
- => < 5Ma



Eon	Era	Period	Epoch	Million years ago	
Cenozoic	Quaternary	Holocene	Upper	0-0.01	
			Middle	0.8	
		Pleistocene	Lower	2.59	
			Late	3.6	
		Neogene	Pliocene	Early	5.3
				Late	11.2
	Tertiary	Miocene	Early	16.4	
			Middle	23.03	
		Oligocene	Early	28.4	
			Late	33.9	
		Eocene	Early	41.3	
			Middle	49	
		Paleocene	Early	55.8	
			Late	61	
Phanerozoic	Mesozoic	Cretaceous	Late	66.5	
			Early	99	
		Jurassic	Late	145.5	
			Early	169	
		Triassic	Middle	199.6	
			Early	227	
	Paleozoic	Permian	Late	242	
			Early	251	
		Carboniferous	Early	256	
			Middle	299	
		Devonian	Pennsylvanian	323	
			Mississippian	359.2	
		Silurian	Early	370	
			Late	391	
Ordovician	Early	416			
	Late	423			
Cambrian	Early	443.7			
	Late	458			
		470			
		488.3			
		542			

Glissé sur des roches faibles : évaporites (gypse de la **Trias**)

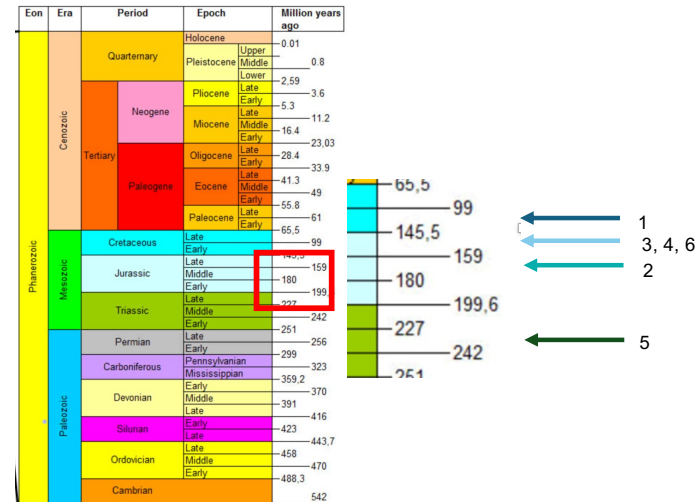
Roches principales (sédiments)



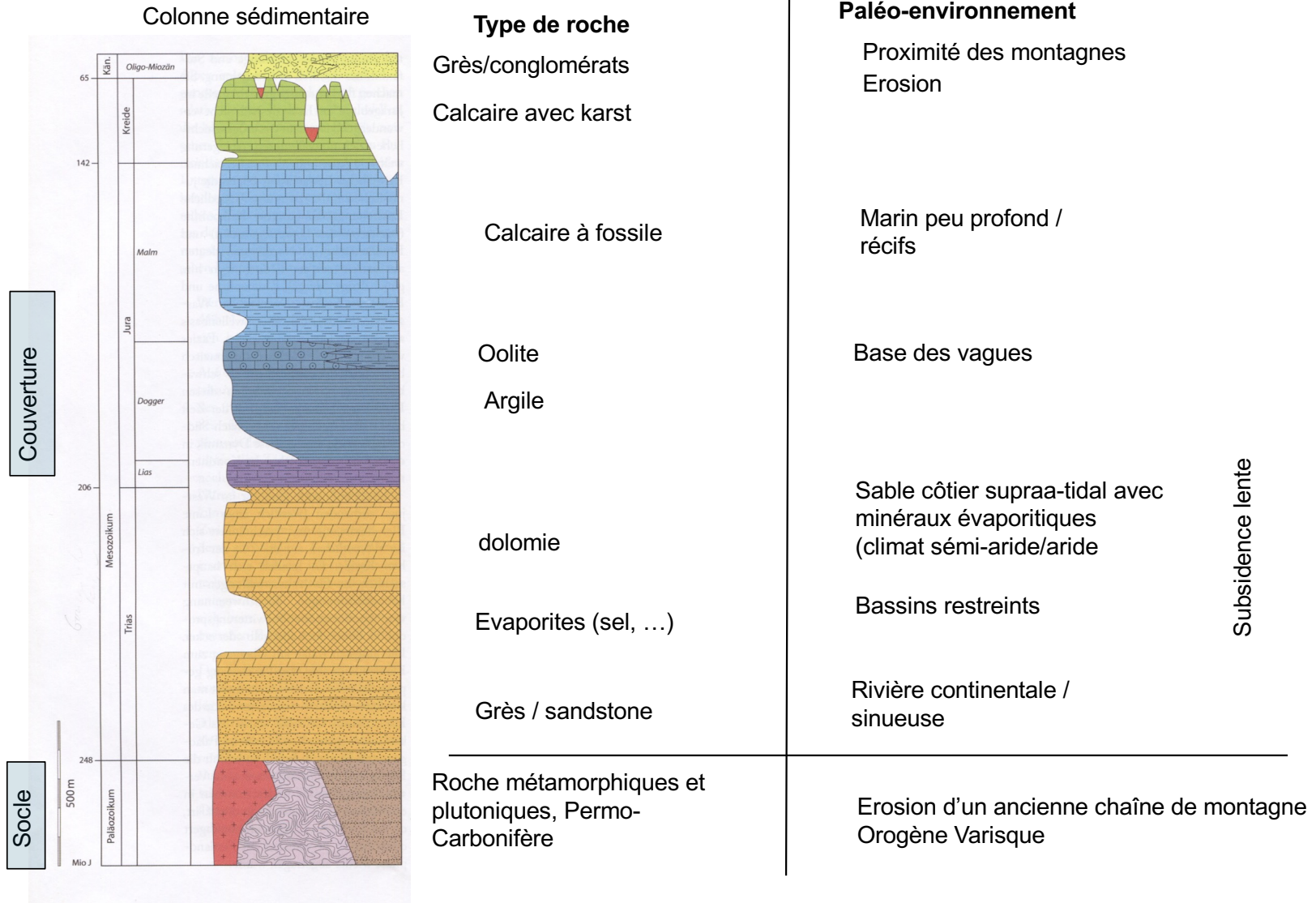
Roches du Jura:

- 1 (en haut, à gauche): Calcaire (Kimméridgien).
 - 2 (en haut, à droite): Oolithe ferrugineuse (Dogger, Herznach).
 - 3 (au milieu, à gauche): Calcaire à coraux (Rauracien).
 - 4 (au milieu, à droite) Calcaire à nérinées (Malm, Soleure).
 - 5 (en bas, à gauche): Carotte de sel (Trias).
 - 6 (en bas, à droite): Calcaire avec des racines de lys de mer.
- La couleur violette est le pigment naturel de ces organismes (Rauracien).

Roches sédimentaires de l'âge Triasique, Jurassique et Tertiaire

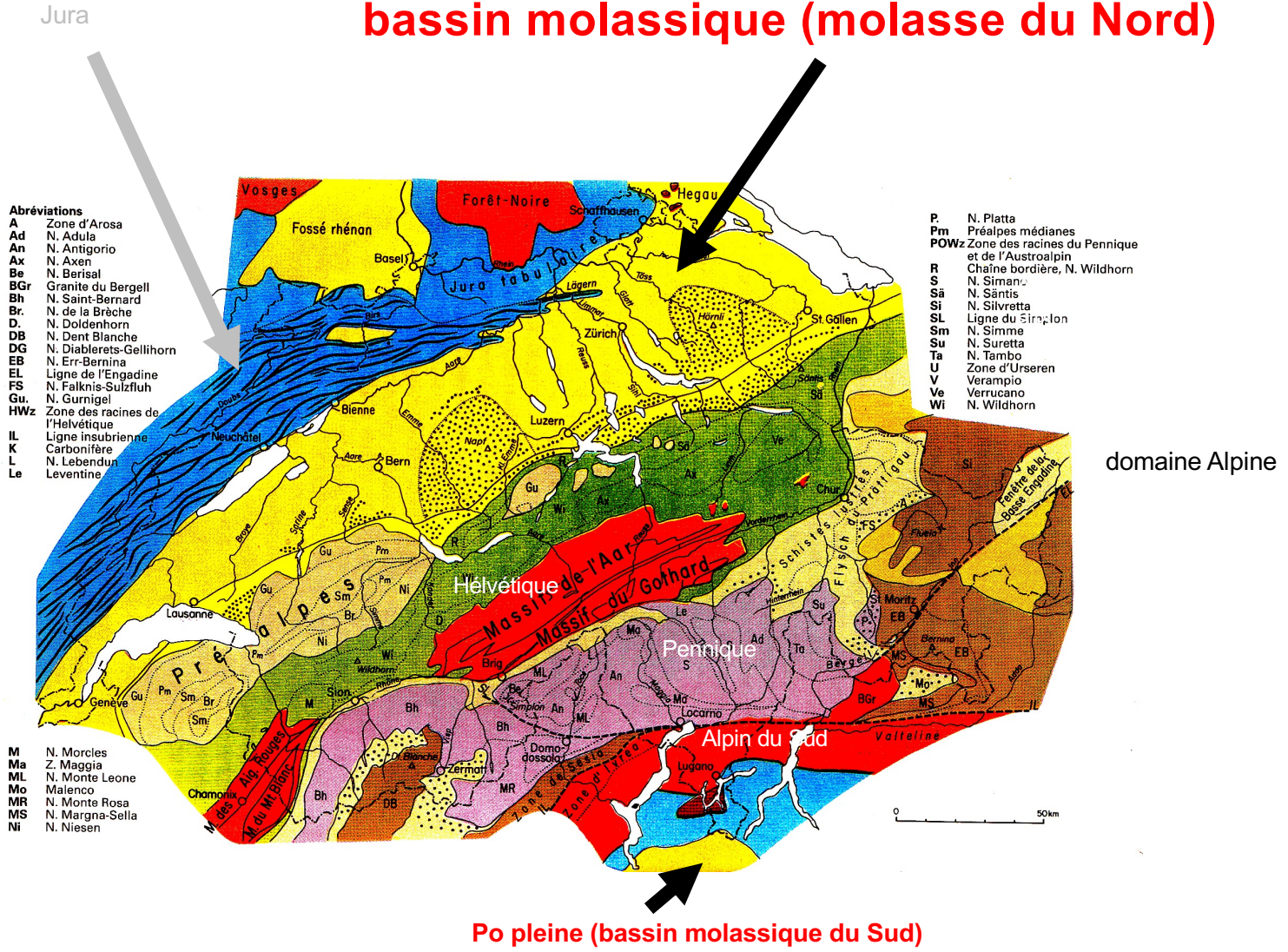
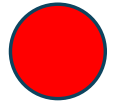


Stratigraphie typique du Jura (+ Hélivétique)



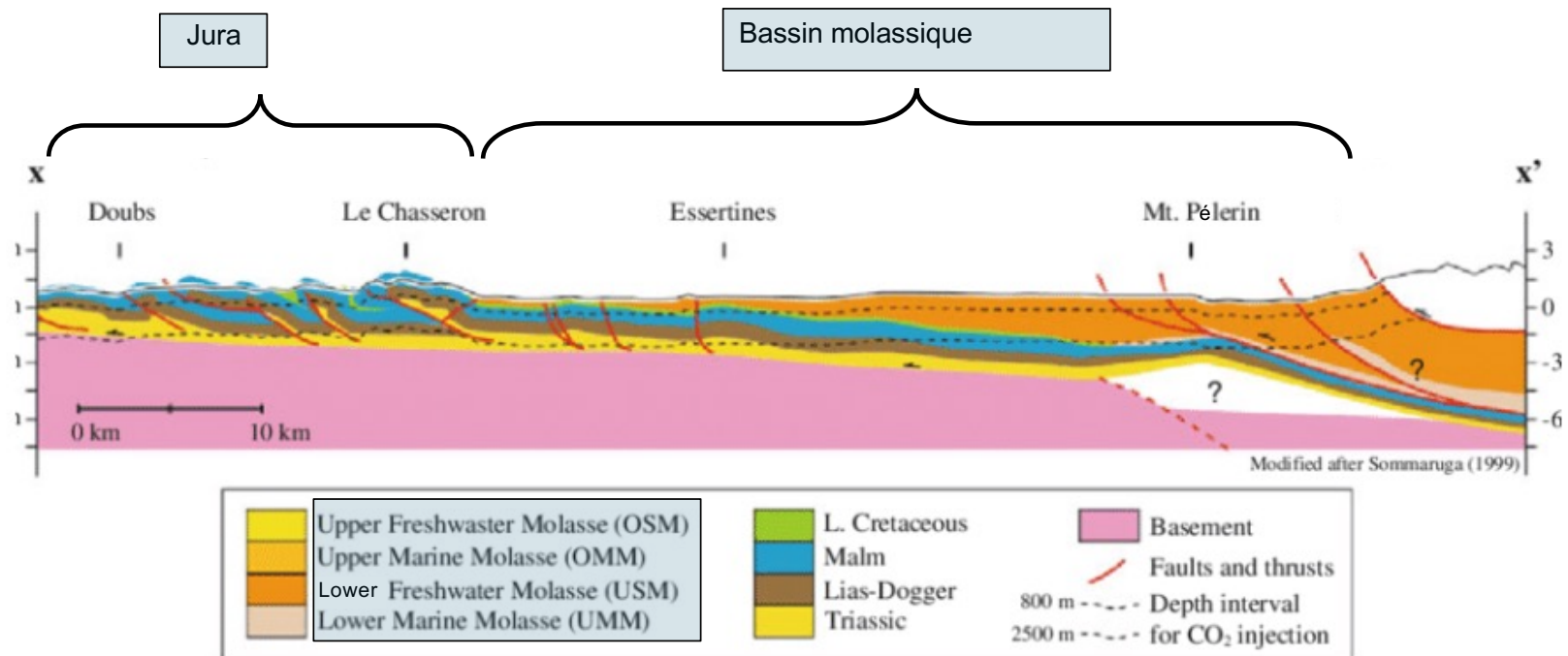
Répartition des unités tectoniques

bassin molassique (molasse du Nord)



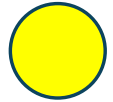
Bassin molassique (molasse du Nord)

Coupe transversale du bassin molassique et du Jura

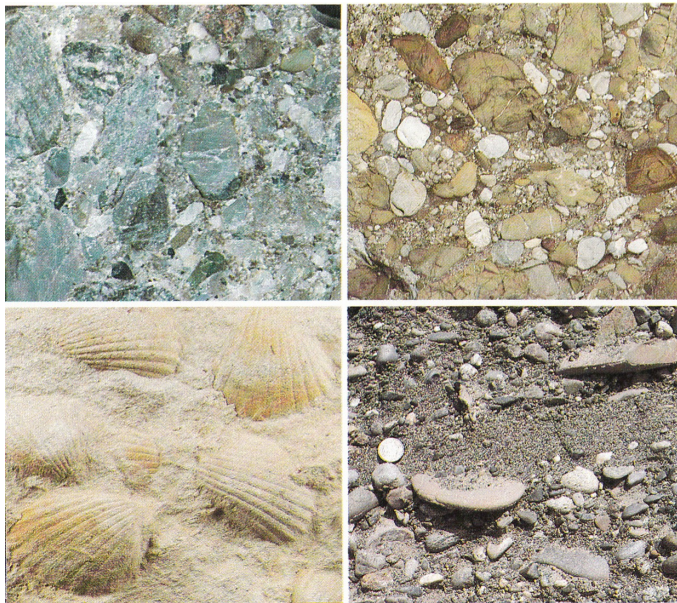


Molasse: produits de l'érosion des Alpes,

Qu'y a-t-il près de la surface ?



conglomérat



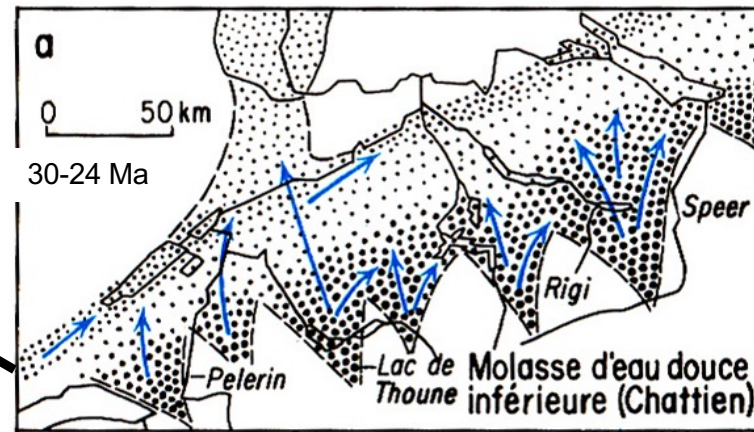
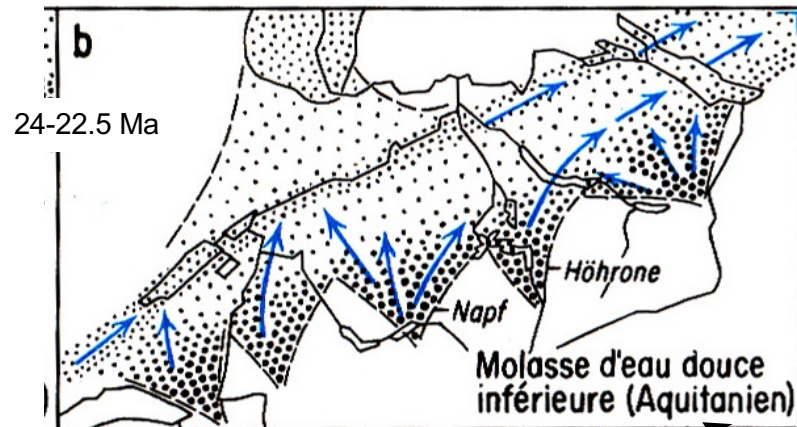
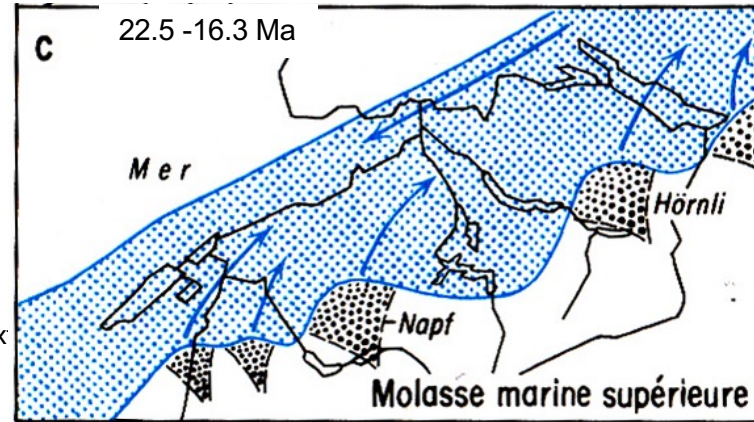
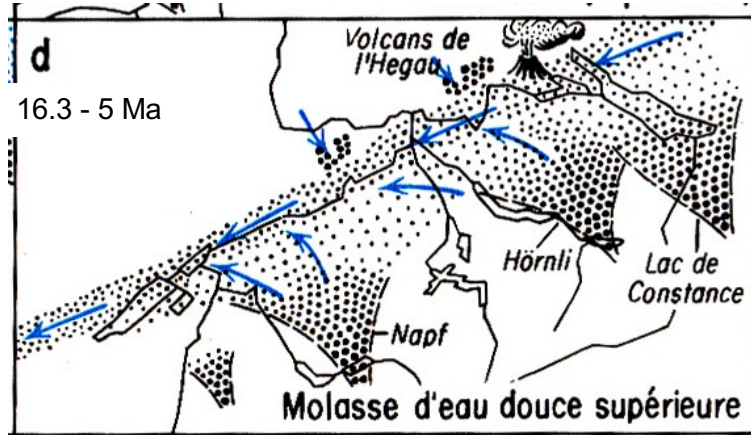
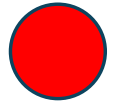
Fossiles:
indicateur du milieu
de formation (lacustre, marin)



Fig. 7
Alternances de grès, de marnes rouges et d'argiles dans la
Molasse d'eau douce inférieure. Carrière de Rapperswil (BE).

grès, marne et schiste

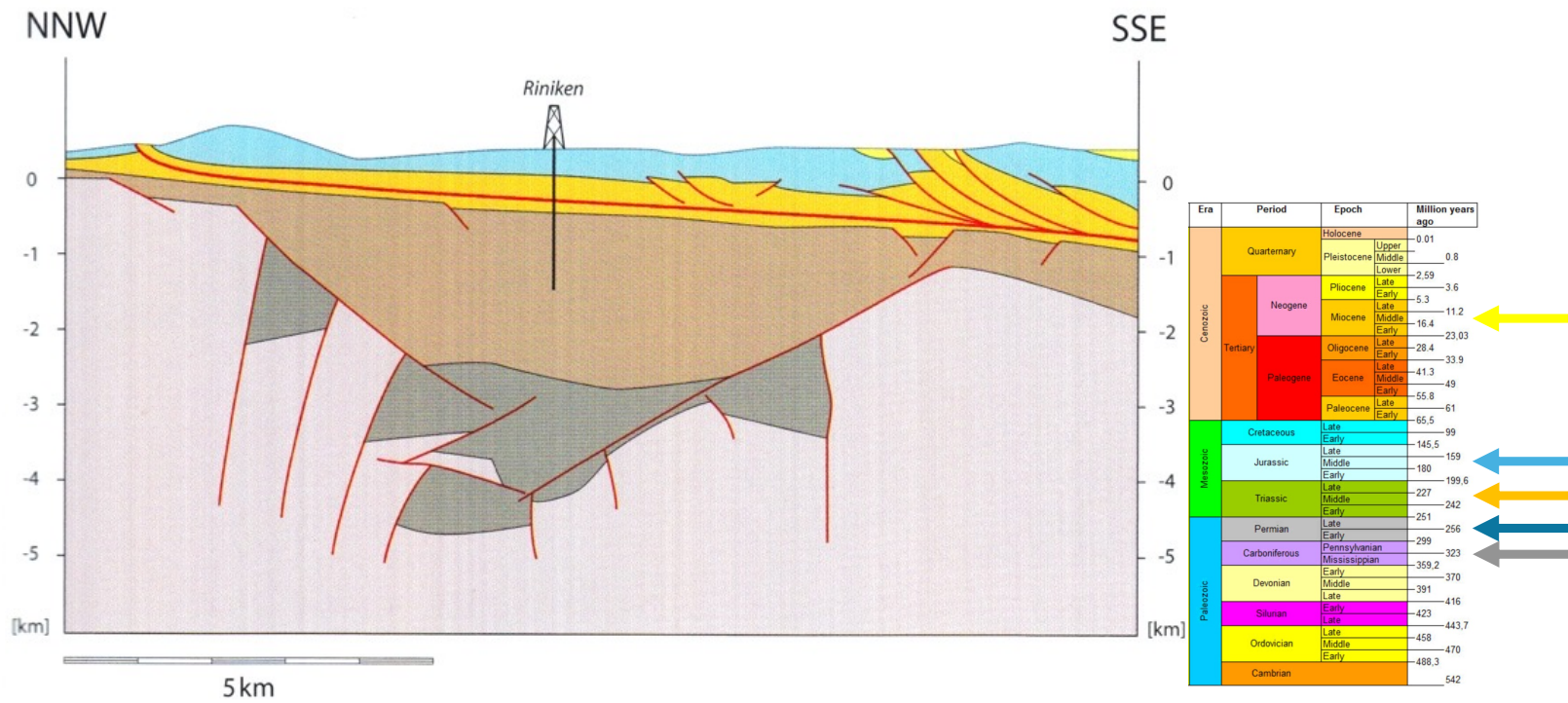
25 millions d'année d'érosion des Alpes et formation des Molasses



Tex



Au-dessous des molasses: des rifts avec du charbon le Carbonifère (résultats de forage)



Sédiments Tertiaire

- Känozoikum

Sédiments Mésozoïque

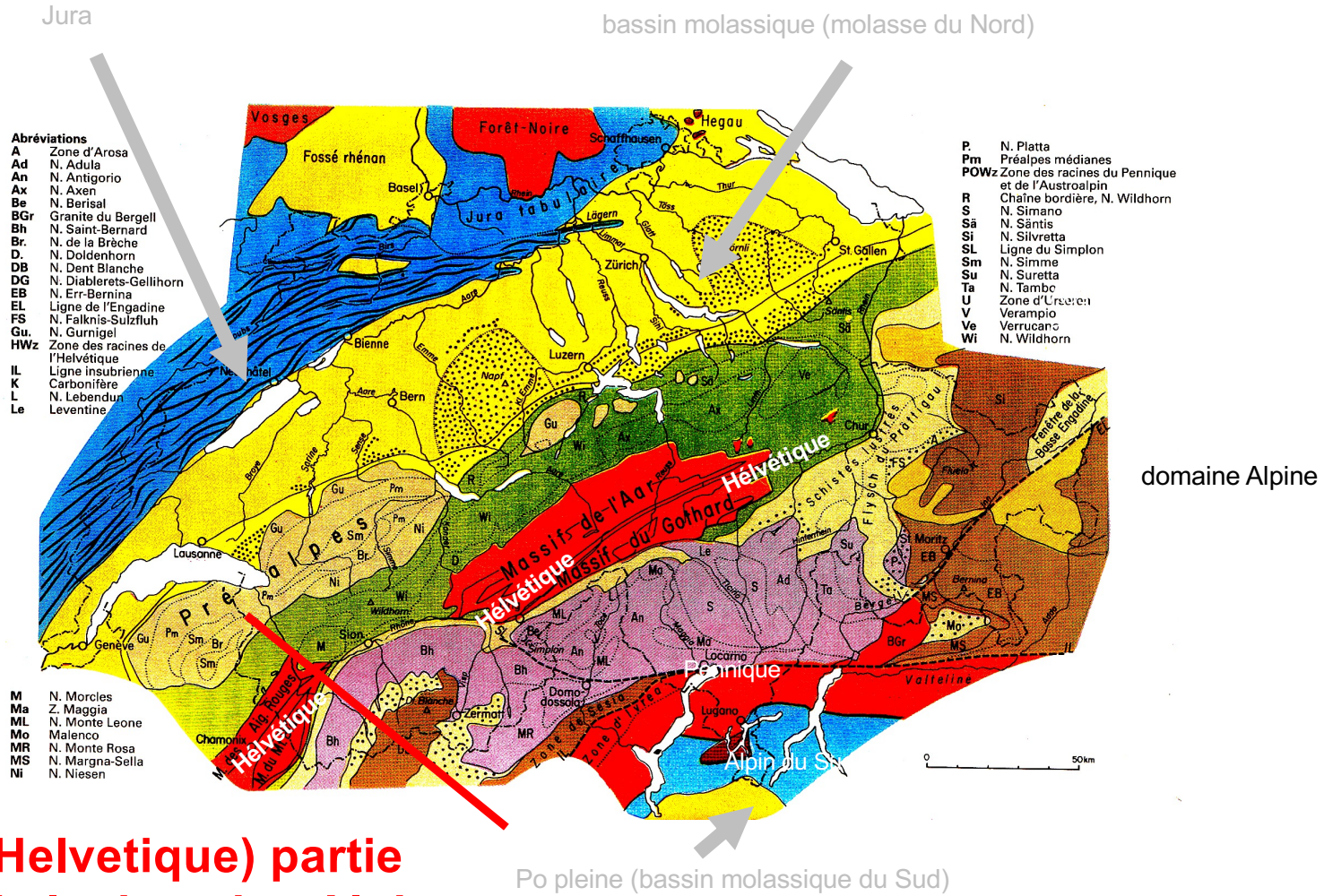
- Jura
- Trias

Sédiments Paléozoïque

- Perm
- Karbon

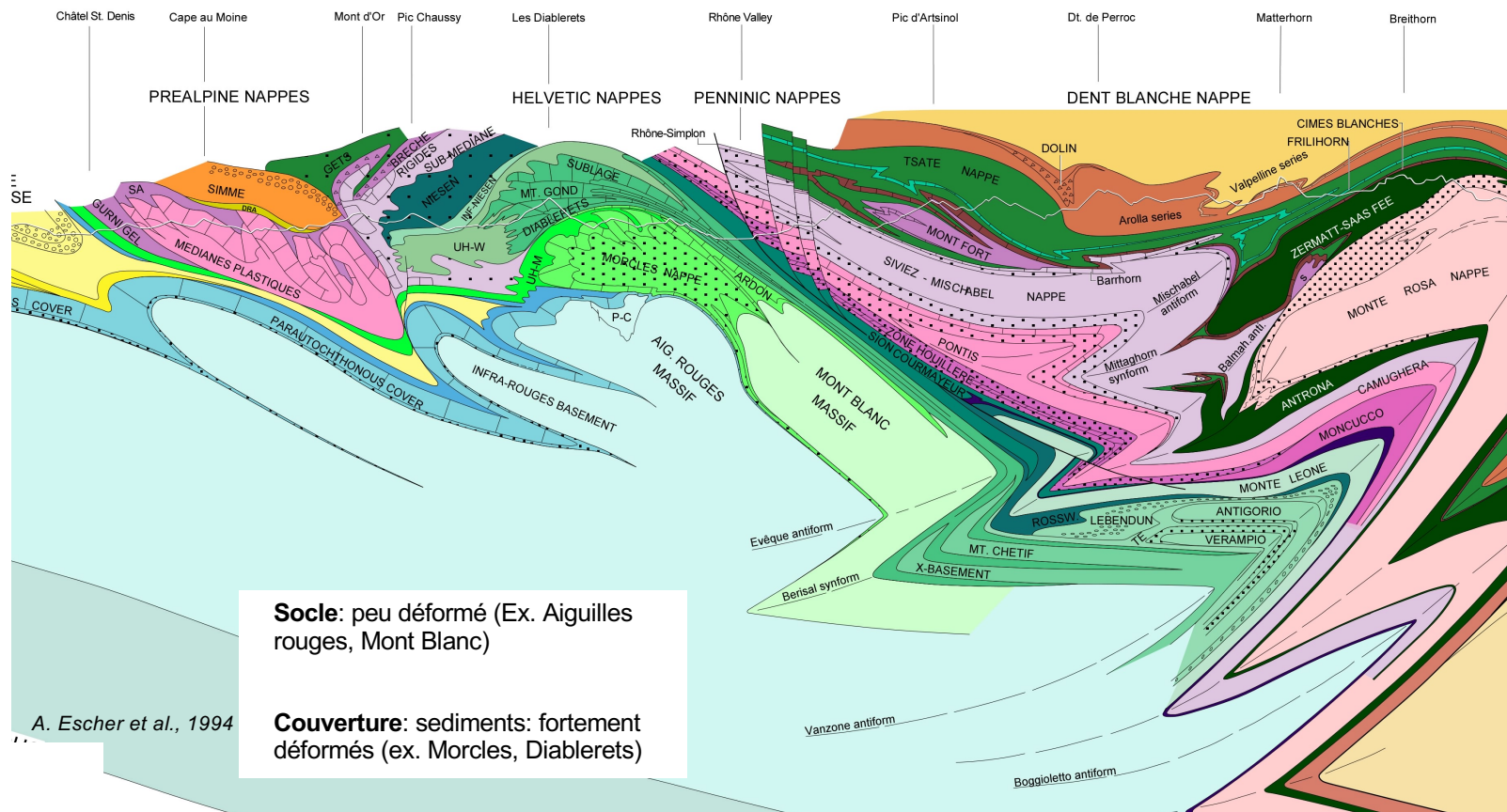
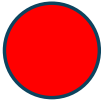
Basement rocks (Variscan and Caledonian) socle

Répartition des unités tectoniques

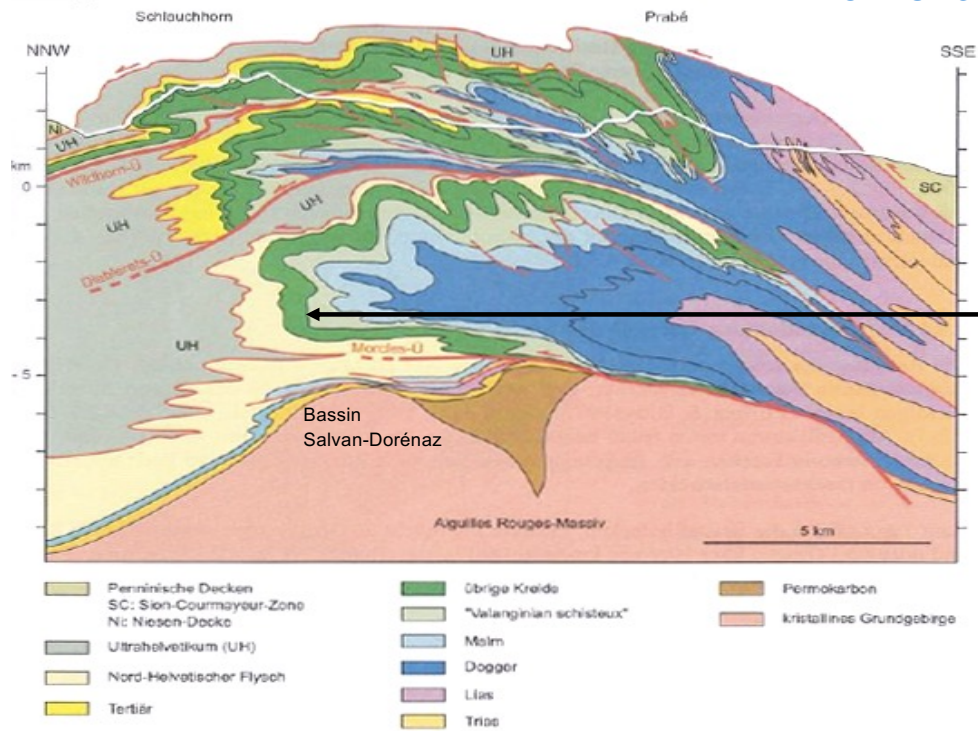


Un coupé géologique à travers des Alpes: tectonique des nappes

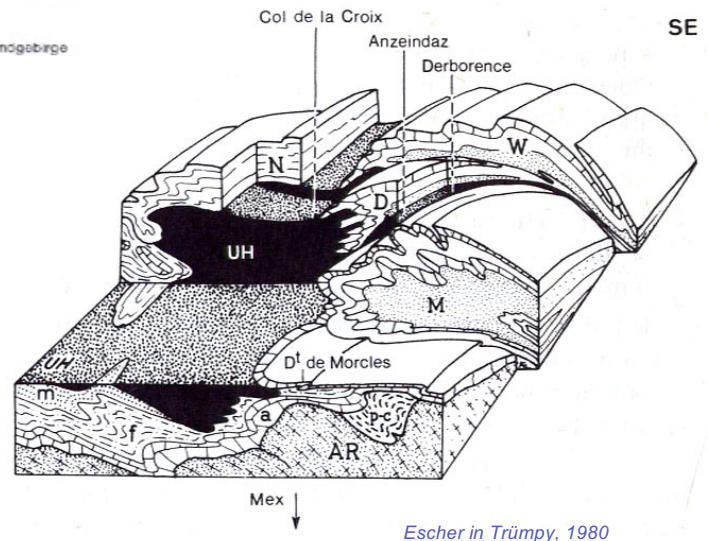
Nappe: Une nappe de charriage est un ensemble de couches géologiques qui, lors d'une orogénèse se sont décollées du socle et déplacées sur de grandes distances



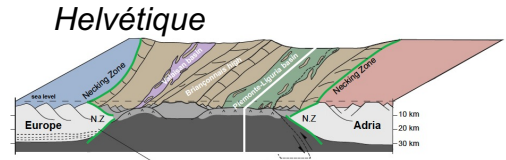
La frontière de l'Europe : l'Helvétique



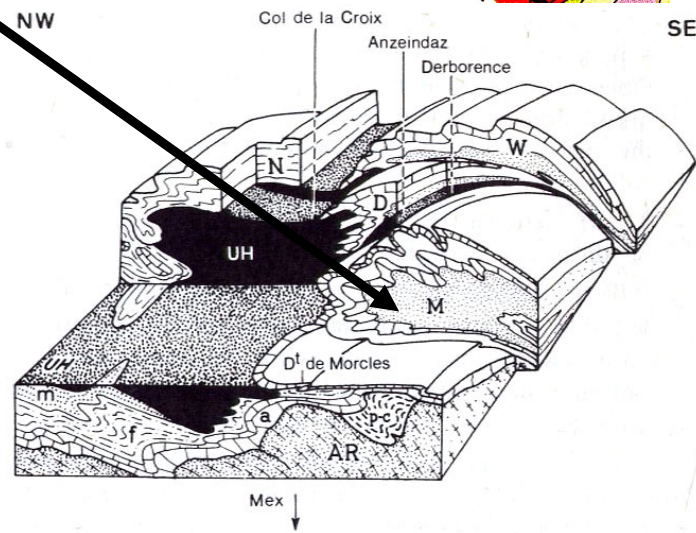
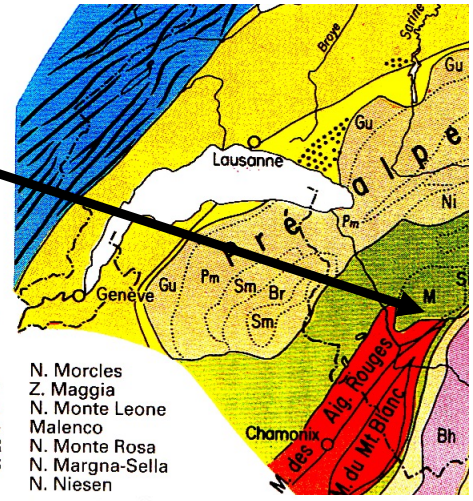
l'Helvétique:
Nappes sédimentaires fortement plissées:
originaire de la plateforme Européen



Escher in Trümpy, 1980

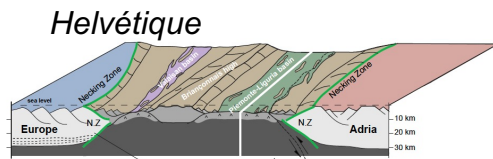


Le pli du Dent de Morcles

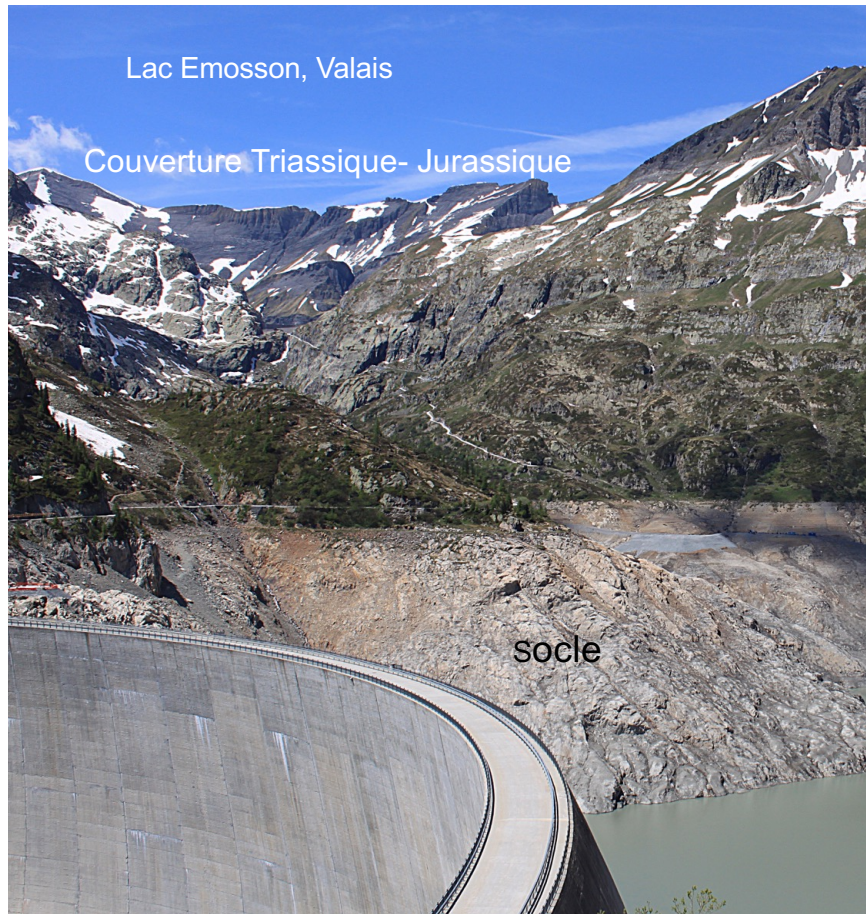
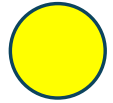


l'Helvétique:

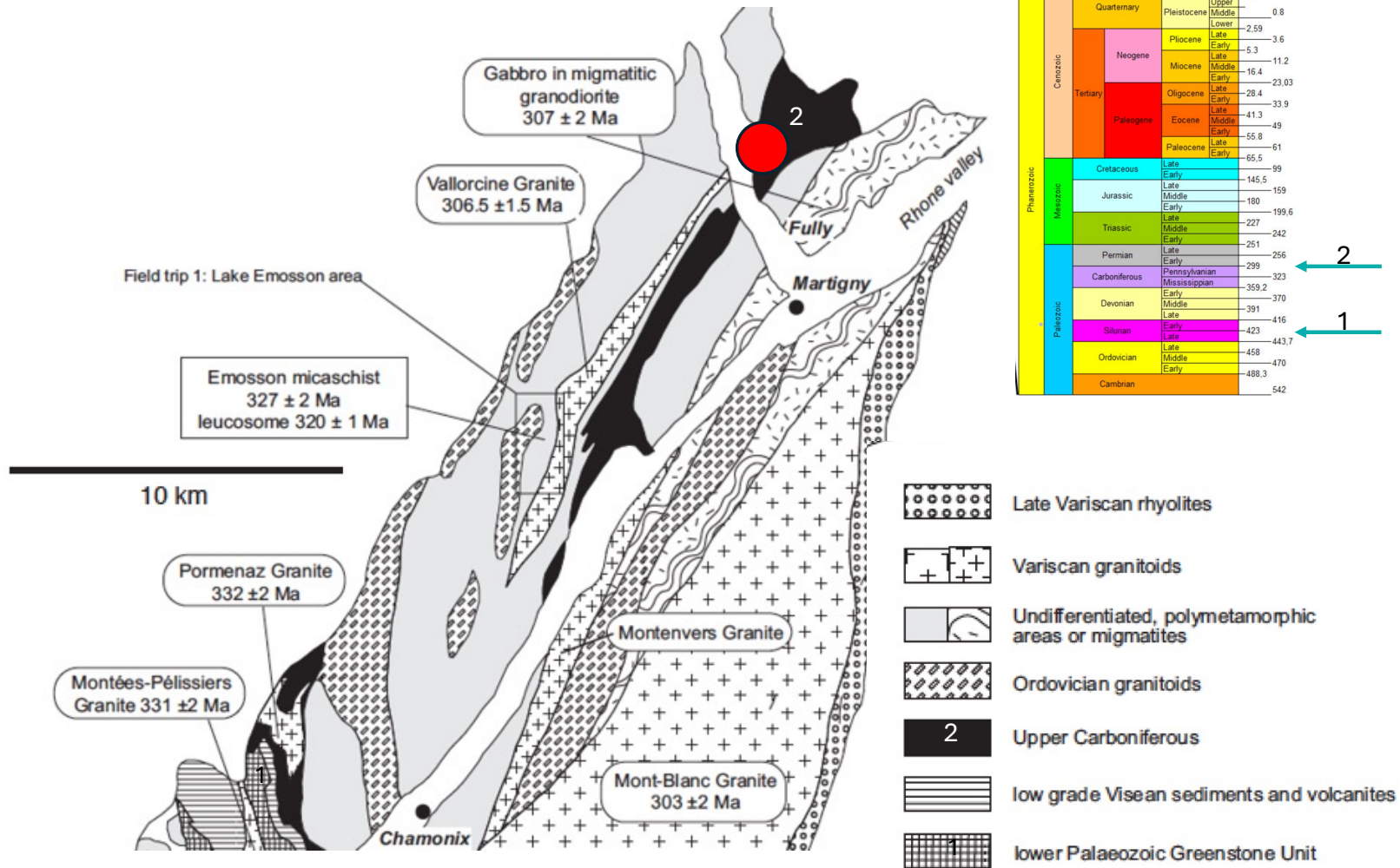
Nappes sédimentaires fortement plissées:
originaire de la plateforme Européen



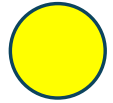
Domaine helvétique : la limite sud du continent européen: (sédimentation similaire au Jura)



Exemple: "Massifs" - Aiguilles Rouges & Mt. Blanc (=socle du Helvetique)



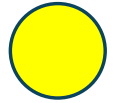
Eon	Era	Period	Epoch	Million years ago	
Cenozoic	Quaternary		Holocene	0.01	
			Pleistocene	Upper	0.8
				Middle	
			Lower	Late	2.59
	Early	5.3			
	Neogene	Pliocene	Late	3.6	
			Early	5.3	
			5.3		
	Miocene	Late	11.2		
			16.4		
			23.03		
	Tertiary	Oligocene	Late	28.4	
			Early	33.9	
			41.3		
Paleogene	Eocene	Late	49		
		Middle	55.8		
		Early	61		
Paleocene	Late	65.5			
		Early	99		
		145.5			
Mesozoic	Cretaceous	Late	159		
		180			
		199.6			
	Jurassic	Late	227		
			251		
	Triassic	Middle	256		
			299		
	Permian	Late	323		
			359.2		
	Paleozoic	Carboniferous	Pennsylvanian	370	
Mississippian			416		
423					
Devonian	Early	443.7			
		458			
		470			
Silurian	Late	488.3			
		542			
Ordovician	Middle				
Cambrian	Early				



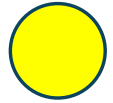
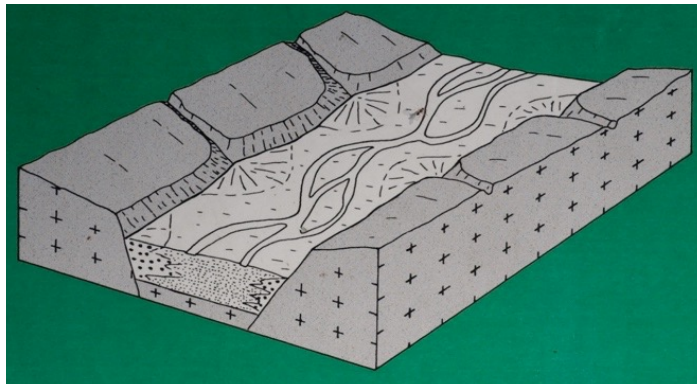
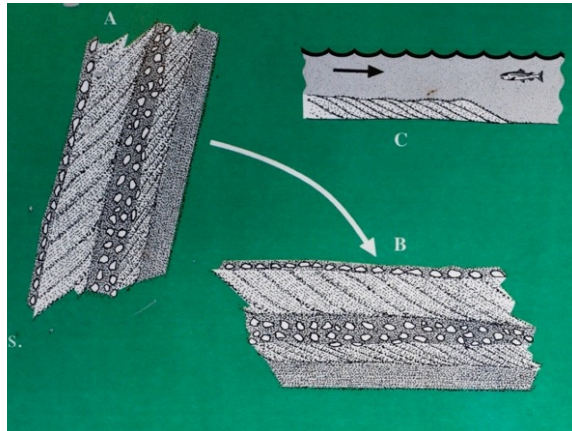
2

1

Dorénaz: le Carbonifère (conglomerats, grès,...

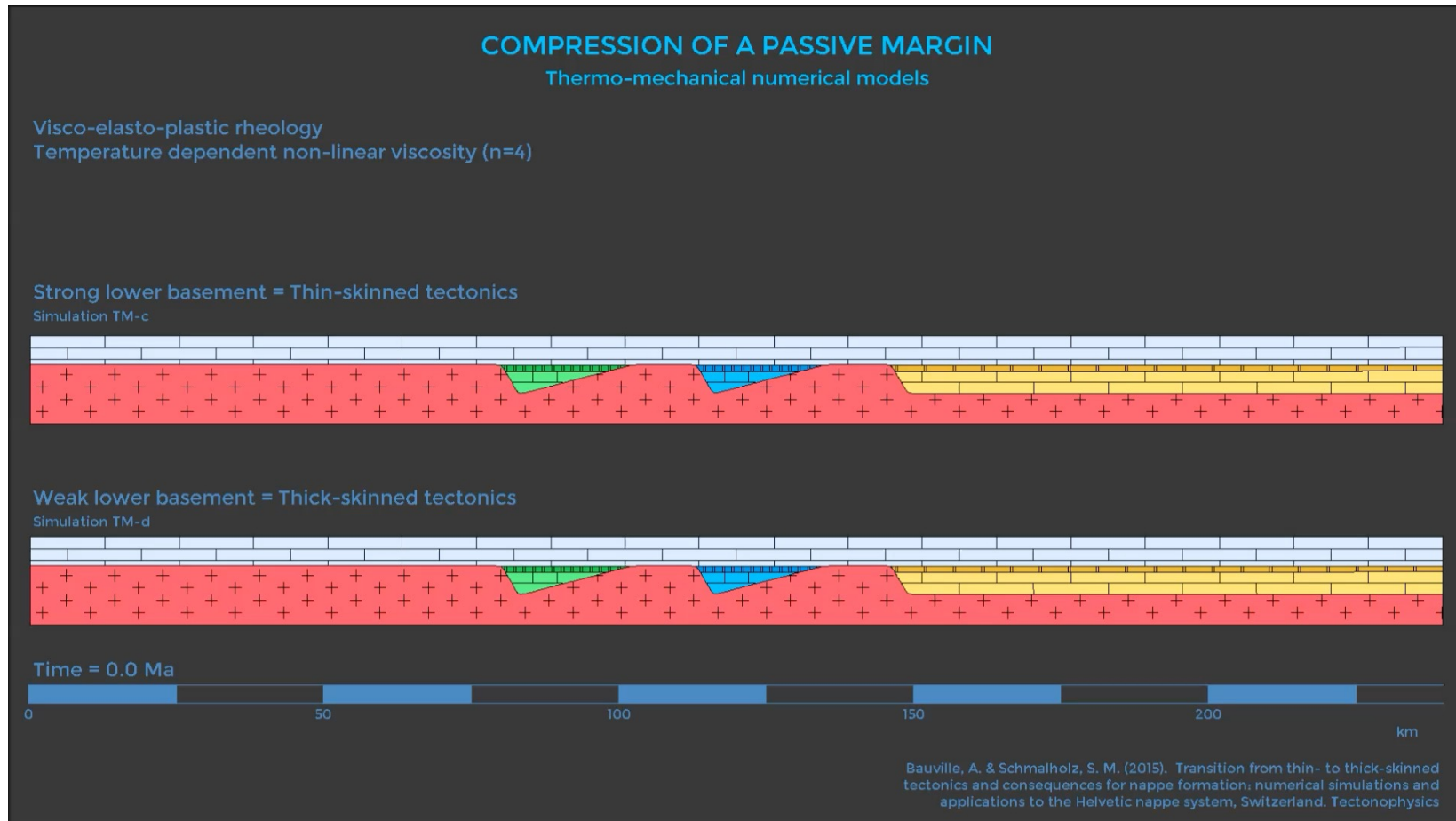
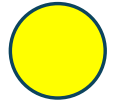


Conglomérats et des couches creusés : Delta, rivières du carbonifère

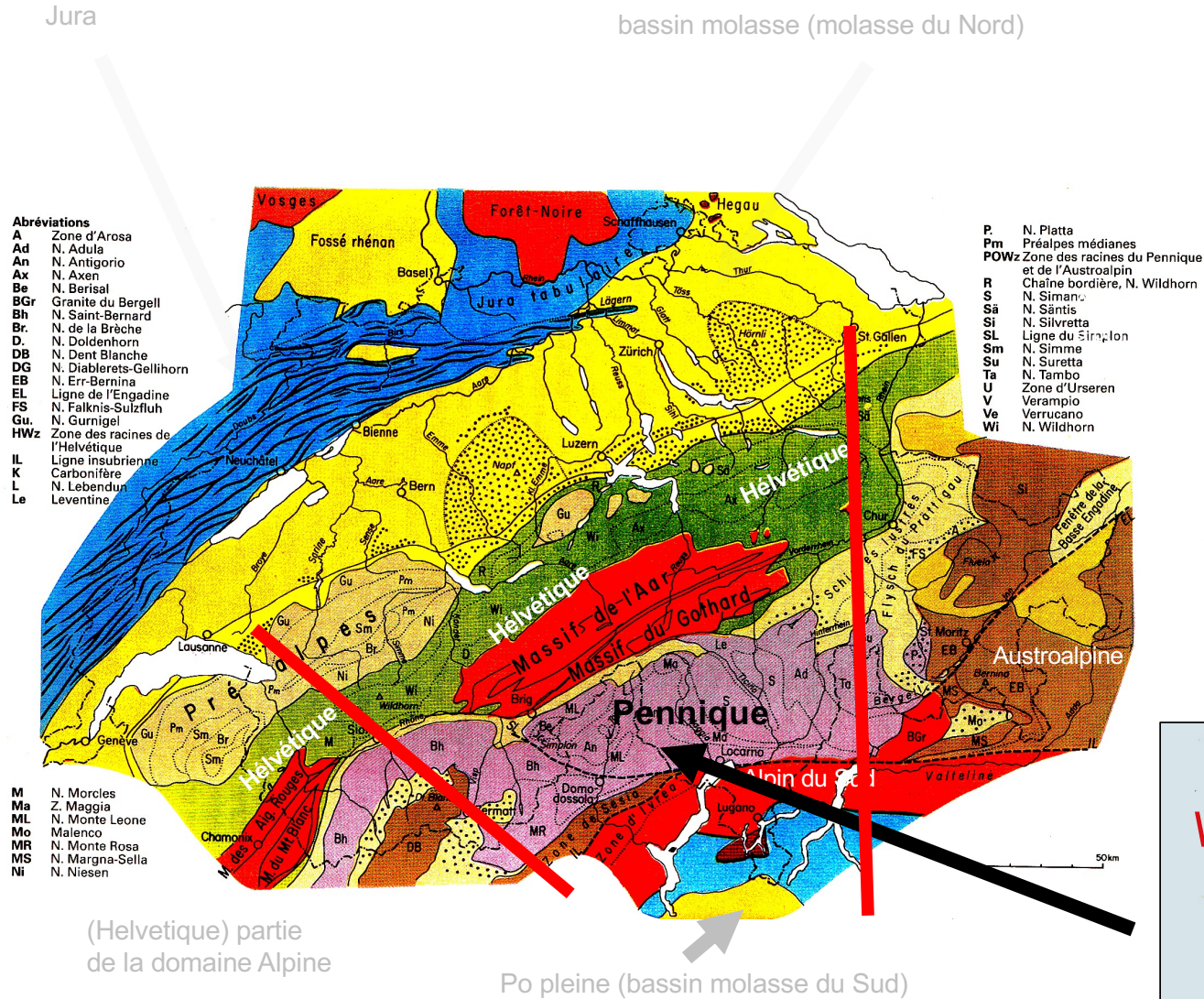


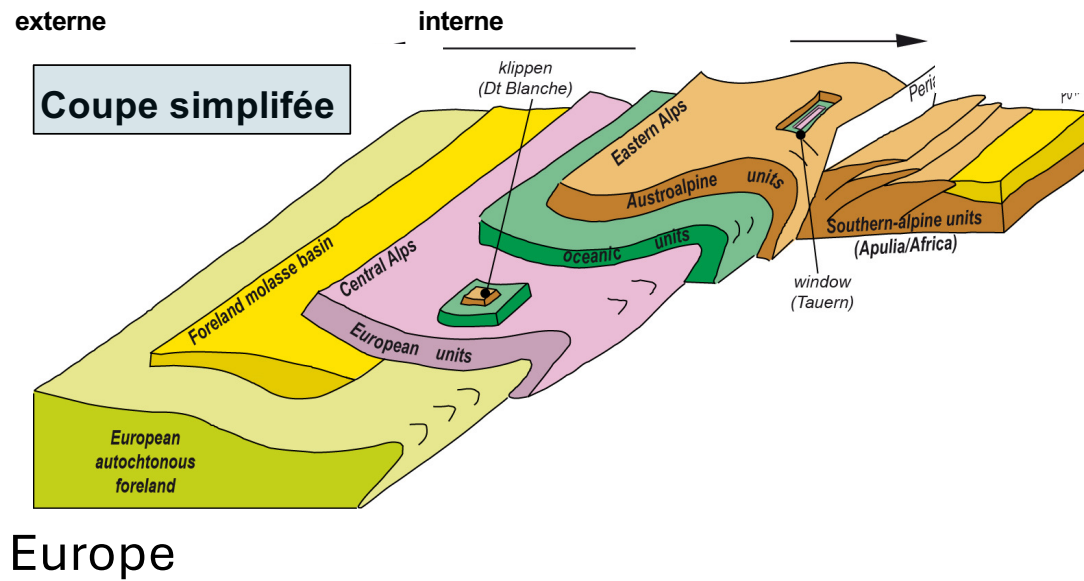
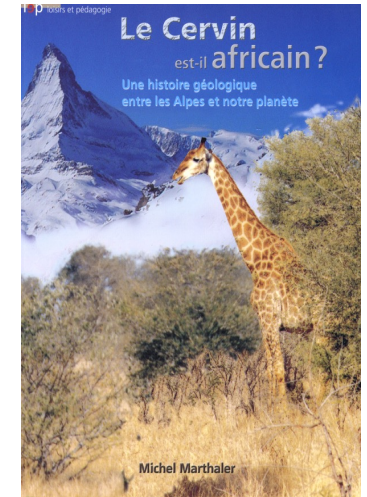
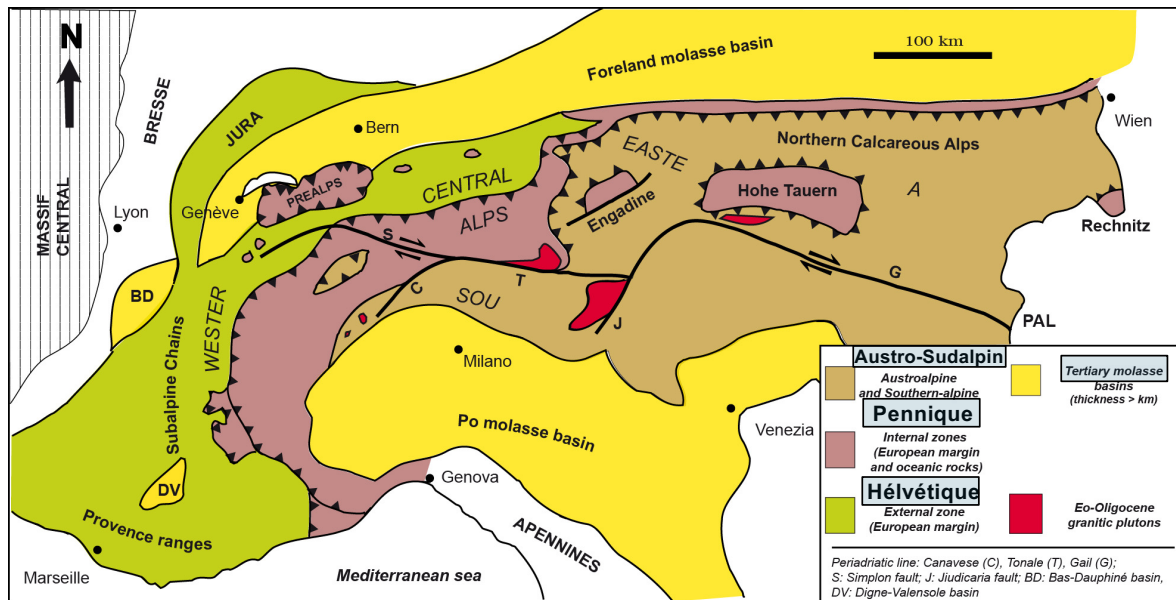
Formation des nappes Helvétique

Simulation numérique (2D) du socle et sédiments (simplifié)

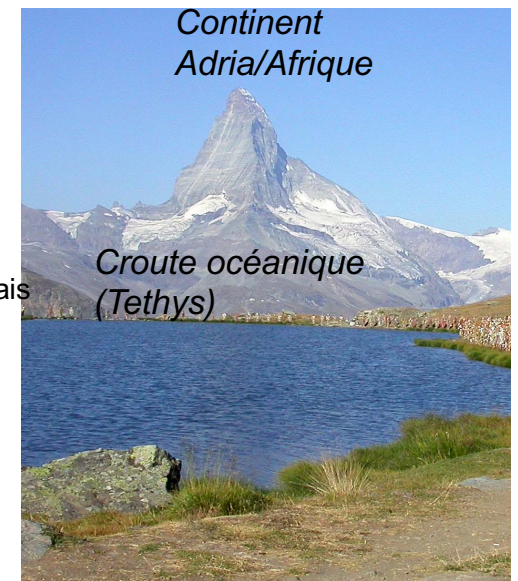


Répartition des unités tectoniques: la domaine Pennique





Afrique

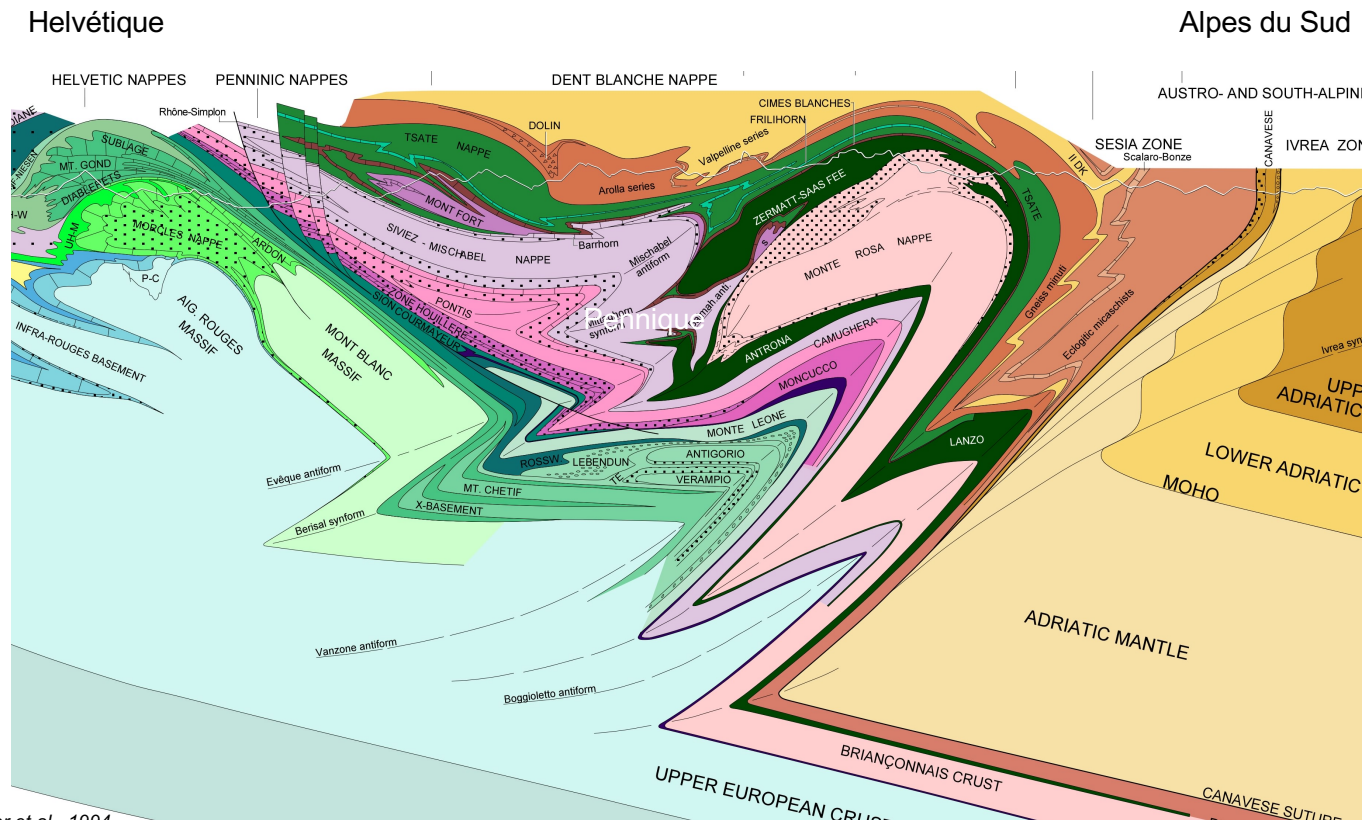


Une coupe géologique Nw-SE à travers des Alpes de l'ouest (Martigny - Lago-Maggiore)



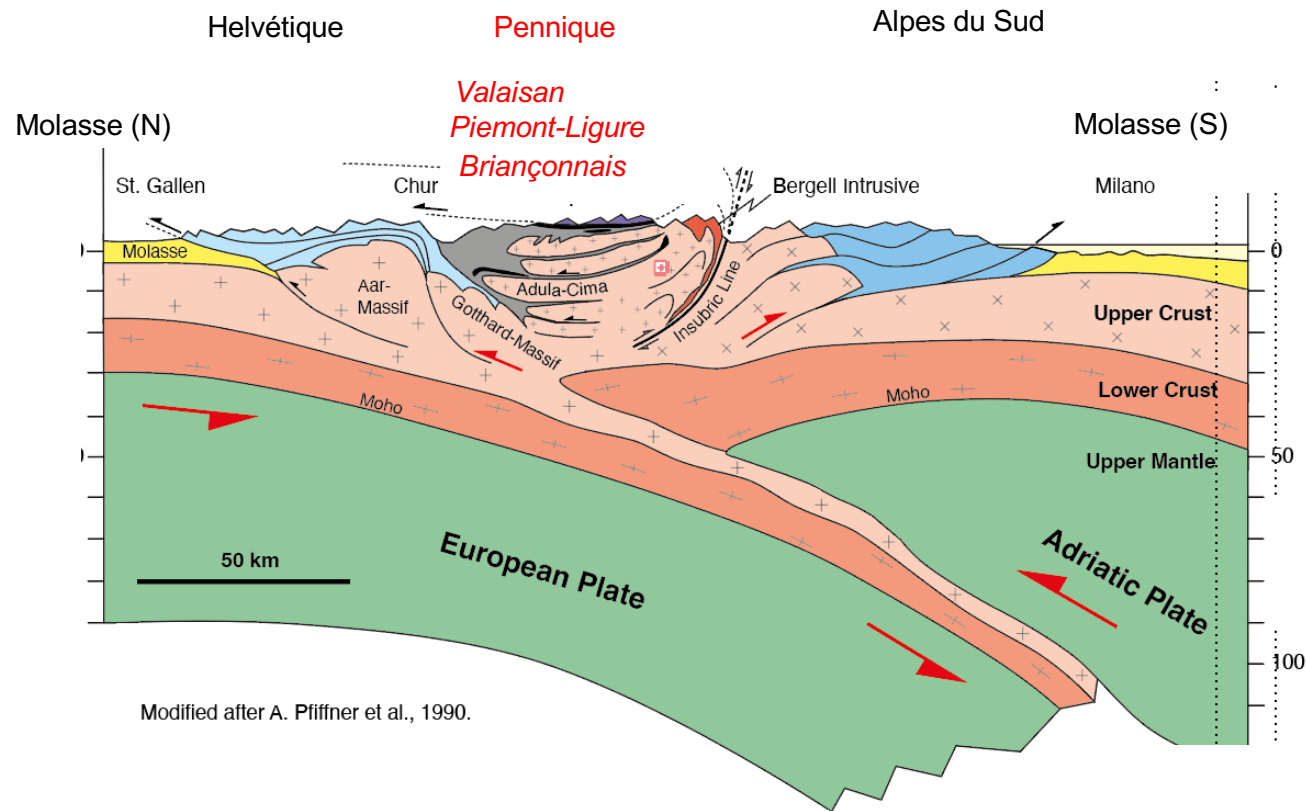
Les unités briançonnaises

Nappe: Une nappe de charriage est un ensemble de couches géologiques qui, lors d'une orogénèse se sont décollées du socle et déplacées sur de grandes distances

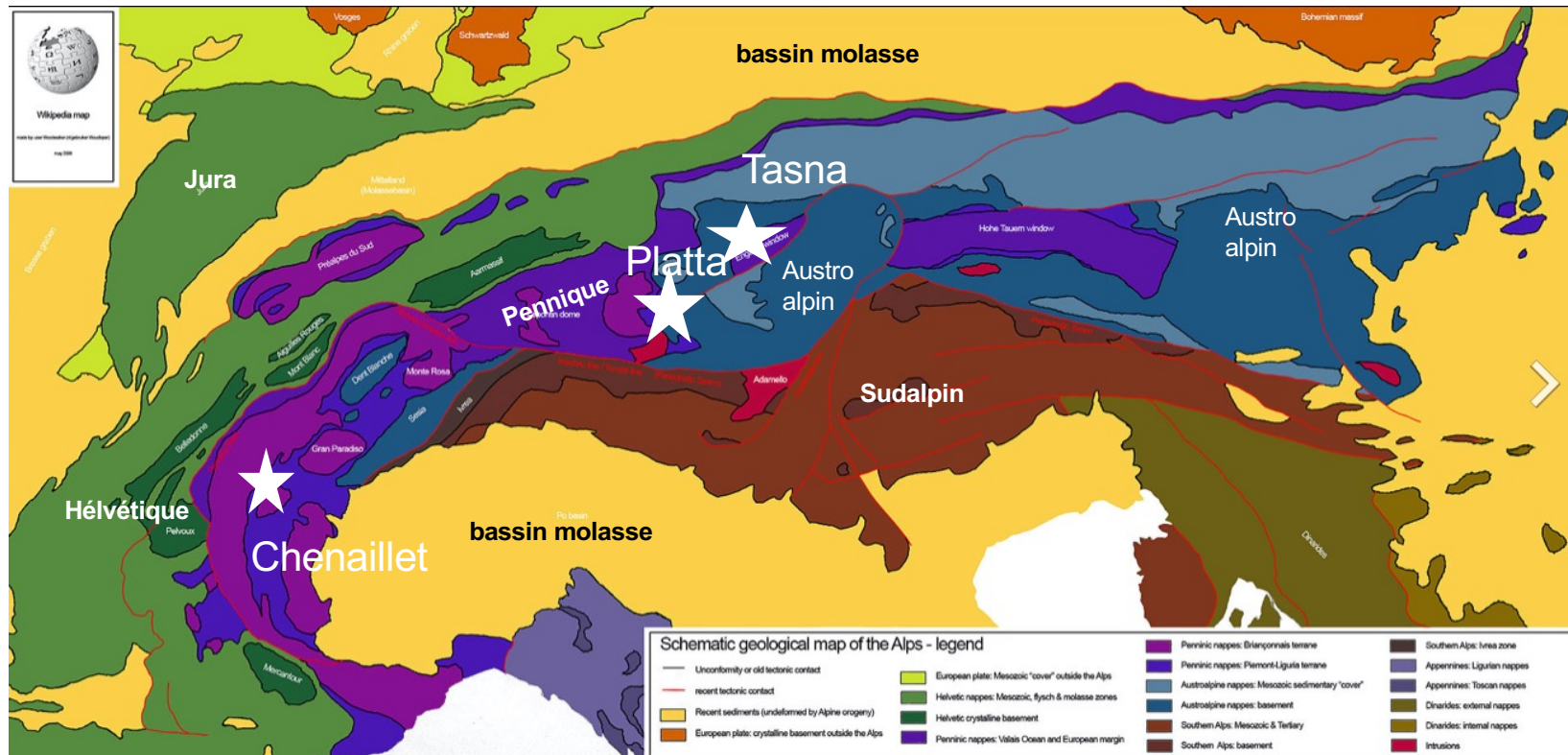


A. Escher et al., 1994

Une coupe géologique à travers des Alpes II (St. Gall - Milano)

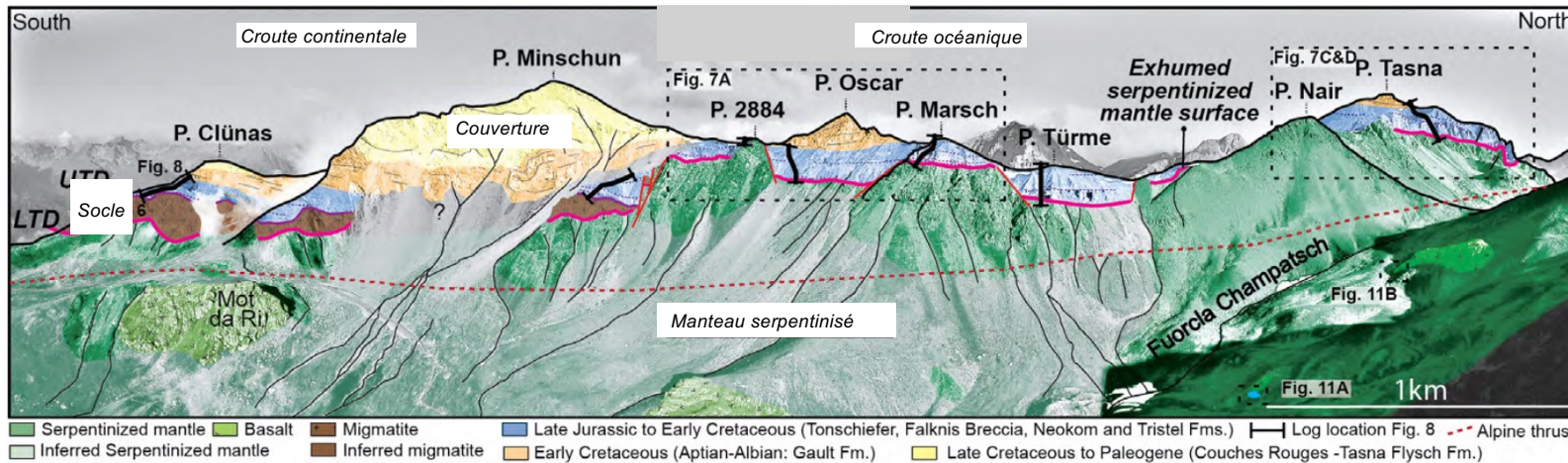


La domaine Pennique des Alpes: 3 exemples de la transition croute continental - océanique

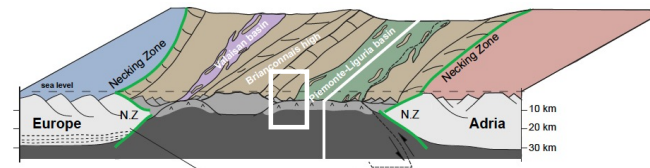


https://en.wikipedia.org/wiki/Molasse_basin#/media/File:Alps_geology_map_en.jpg

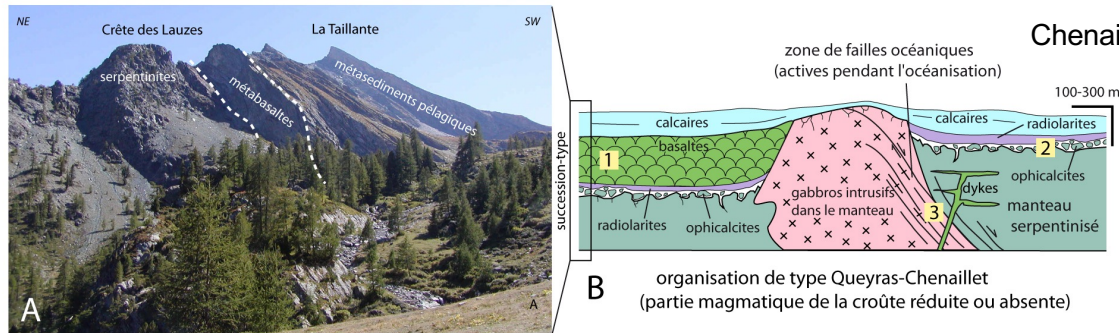
Transition fossile du continent vers l'océan dans les Alpes: I



Certains endroits dans les Alpes sont peu déformé et les affleurements ne sont pas trop 'détruit' par la subduction et collision



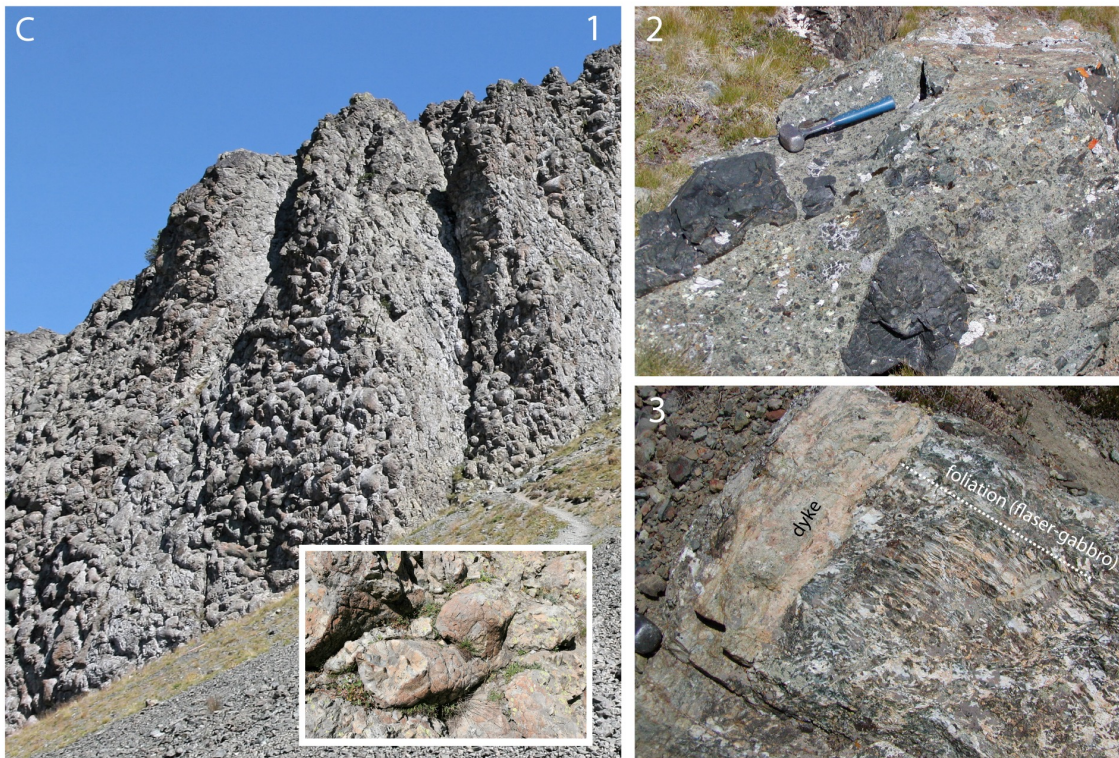
Exemples des roches d'une dorsale fossile dans les Alpes: II



A: Coupe géologique entre serpentinites (roches du manteau), basaltes et couverture sédimentaire

B: Reconstruction géologique avec localisation des photos en C

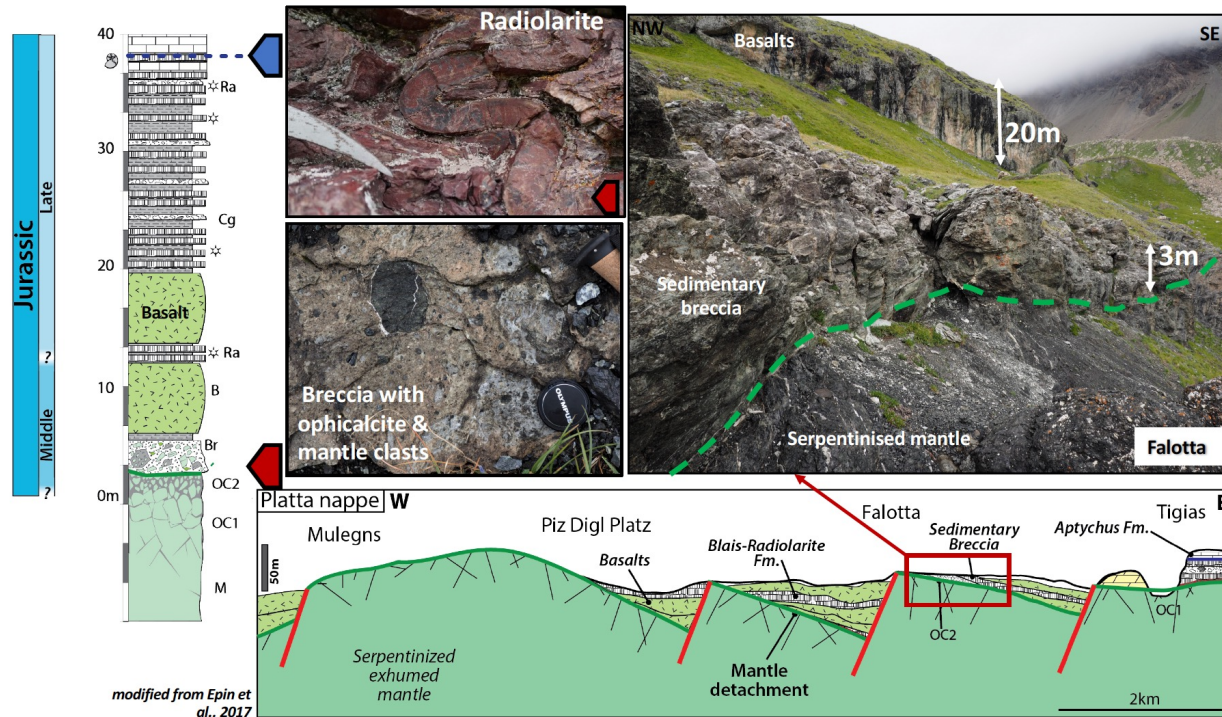
C: Fotos du Terrain (Chenaillet, Montgenèvre: {frontière France-Italy})



(1) 200m des laves à pillow
 (2) Brèches avec des morceau du manteau (serpentinites), sable de serpentine et carbonate
 (3) Filon du gabbro coupant la foliation du gabbro (pyroxene+feldspath)

Exemples des roches d'une dorsale fossile dans les Alpes: III

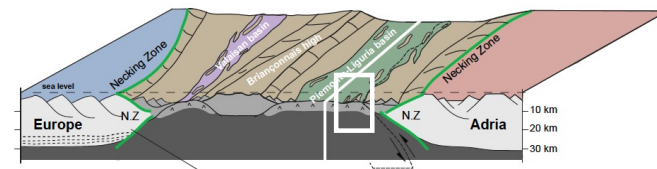
Platta (CH)



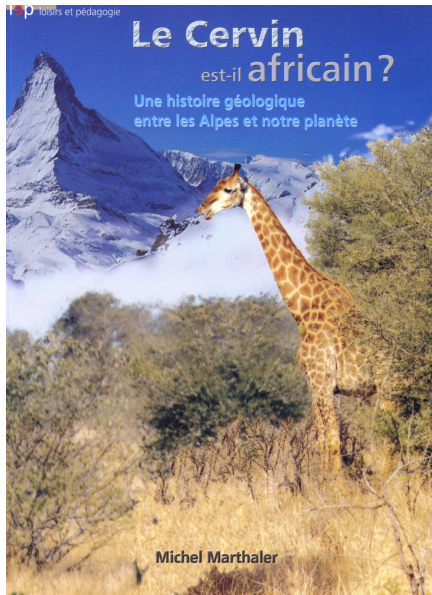
Couverture des sédiments sur la croûte océanique au fond de l'océan Téthys

Breches similaire à Chenaillet, couvert par des sédiments du mer profonde (argille rouges, radiolarites) et des coulée de laves

Age: des sédiments: Jurassique moyen – supérieur (160-150 Ma)



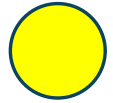
Exemples des roches d'une dorsale fossile dans les Alpes: fortement déformé



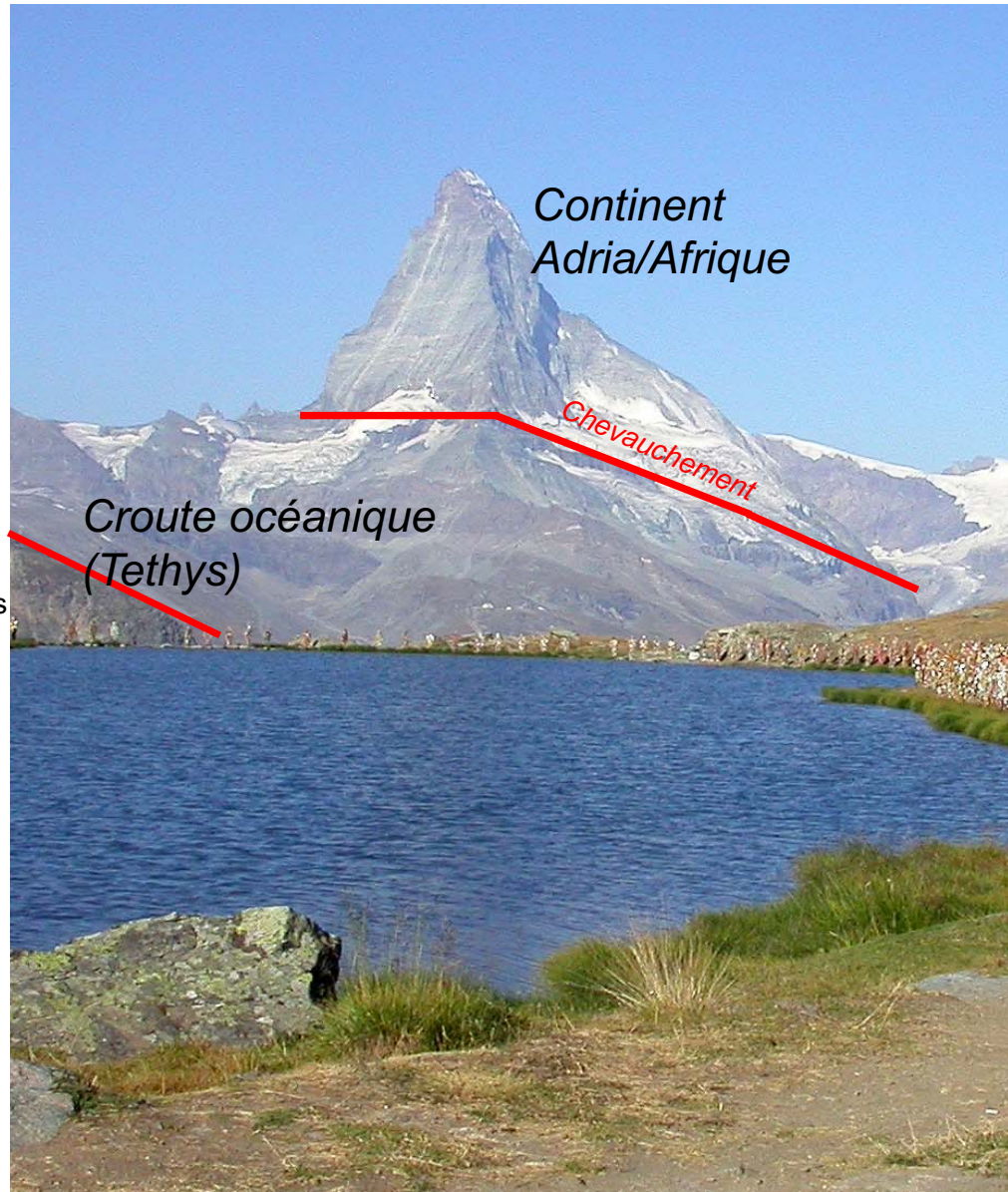
Géologie du Cervin



le sandwich océanique



Briançonnais
(Europe)

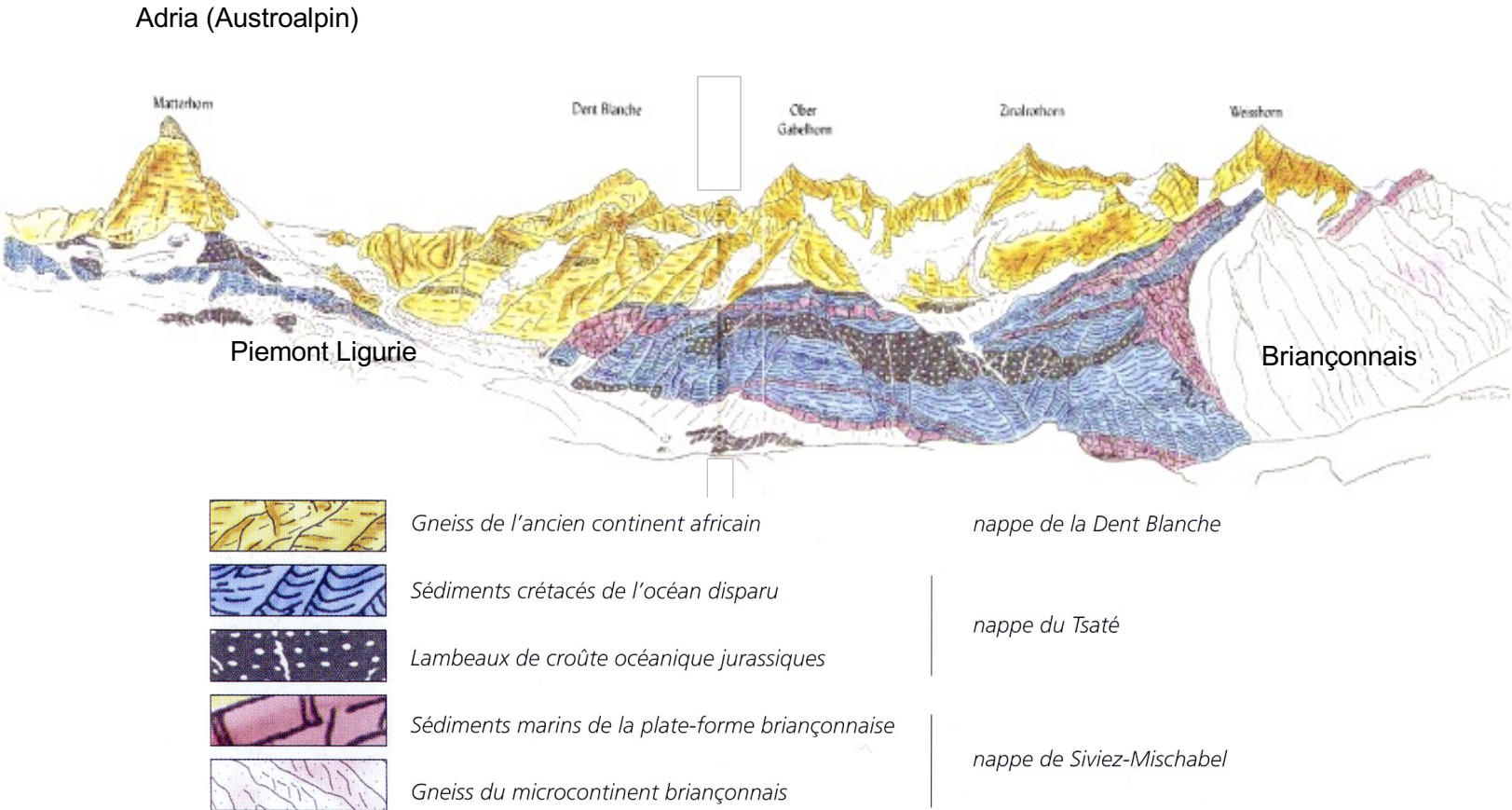
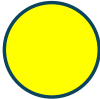


Continent
Adria/Afrique

Chevauchement

Croute océanique
(Tethys)

Panorama de la géologie entre Weisshorn et Cervin



Sartori en Marthaler, 2002

Roches typiques du métamorphisme éclogitique à Zermatt

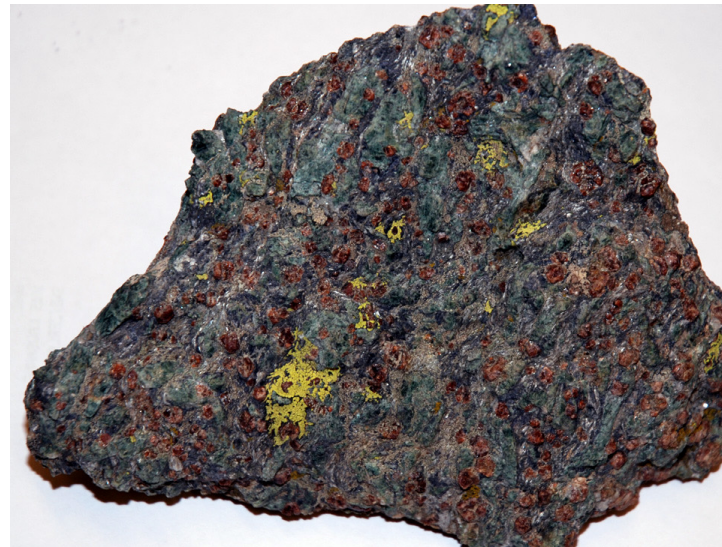
Eclogite Facies Pillow Basalt



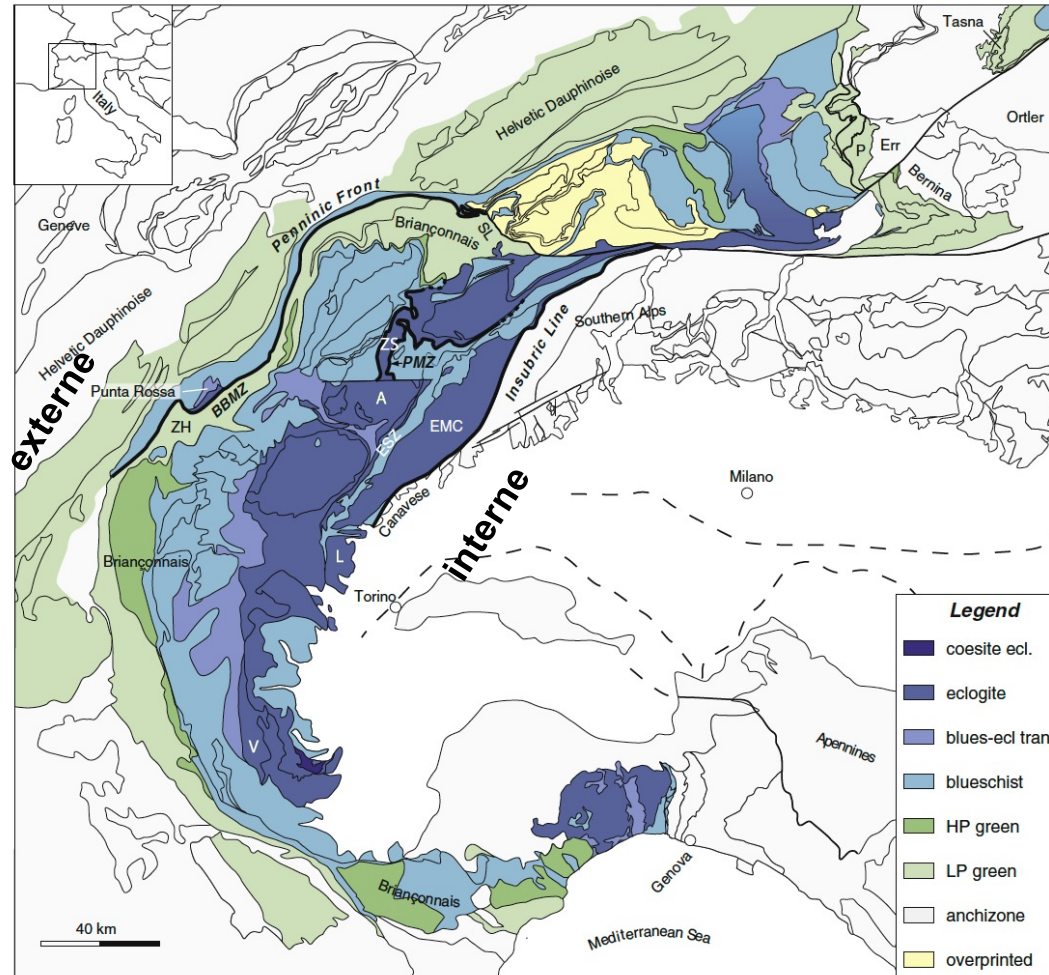
Eclogite facies gabbro



Eclogite facies basalte (minéraux: grénat, pyroxène)



Zonation métamorphique des Alpes de l'Ouest: subduction

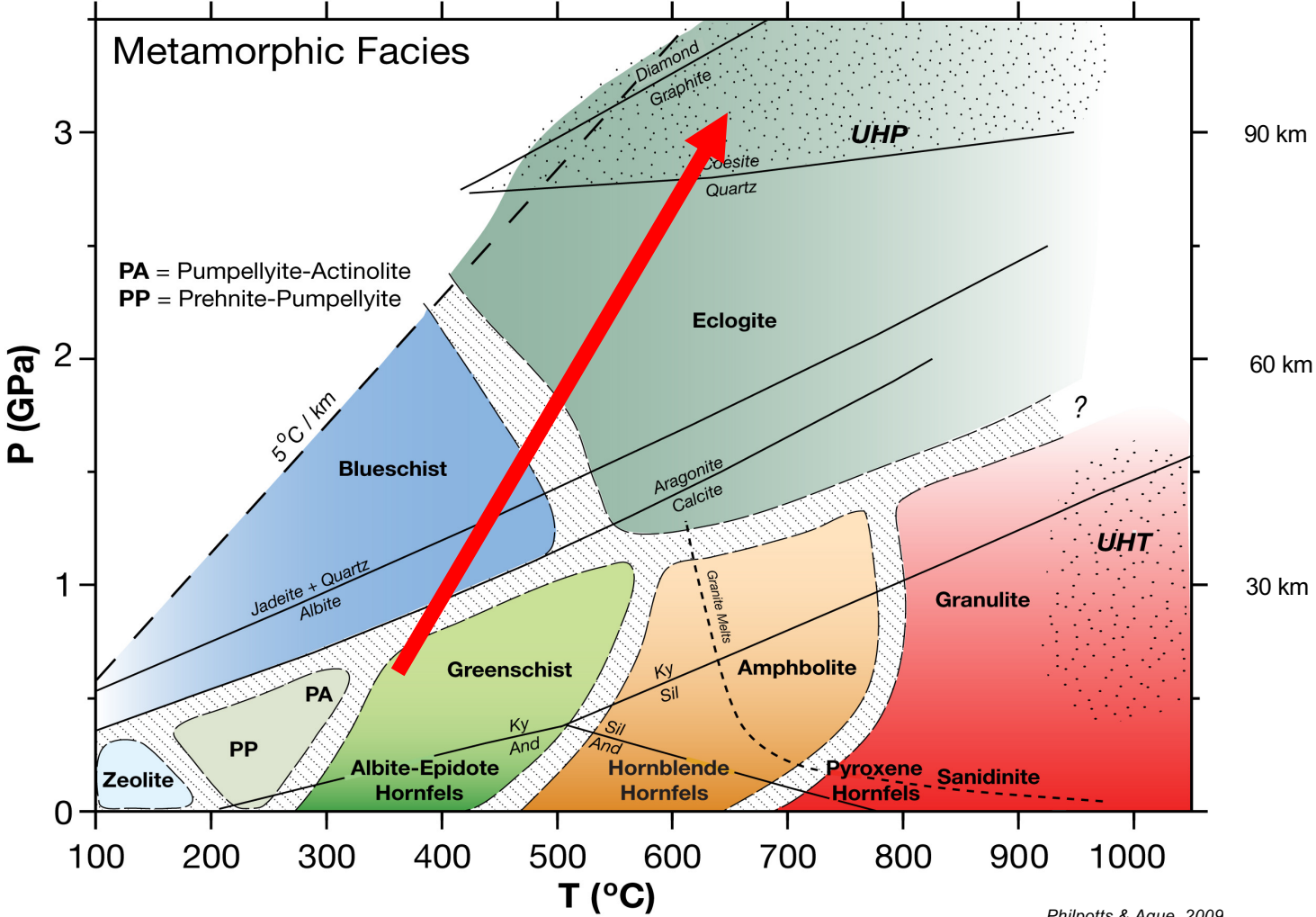


Zonation du métamorphisme de l'externe vers l'interne

- Schiste vert inf.
- Schiste vert sup.
- Schiste bleu
- Eclogite
- Coesite eclogite (UHP)

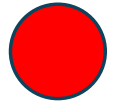
-> Pression et température augmente
 -> Gradient du métamorphisme d'une zone de subduction

Pour rappel: facies métamorphique



Philpotts & Ague, 2009

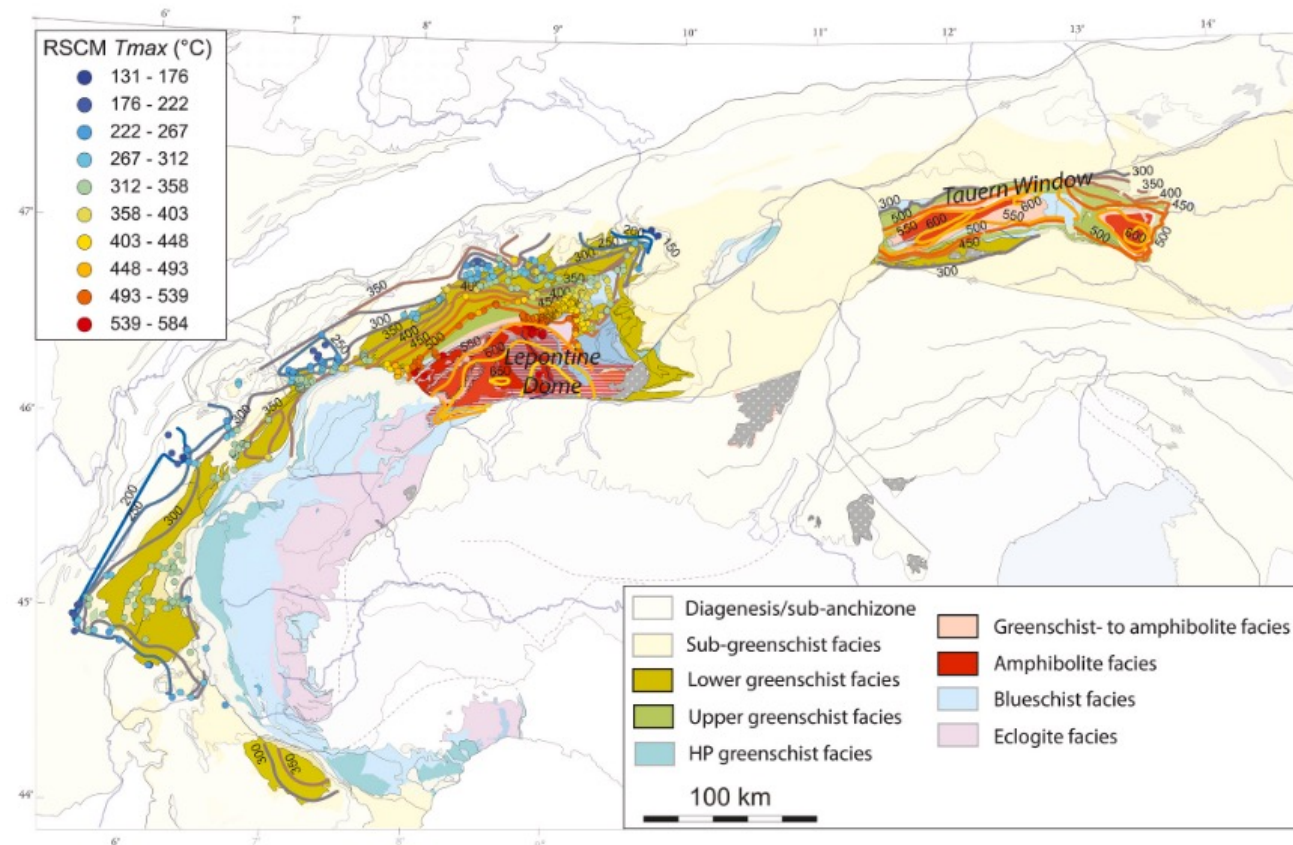
Zonation métamorphique des Alpes centrales: collision, métamorphisme régional



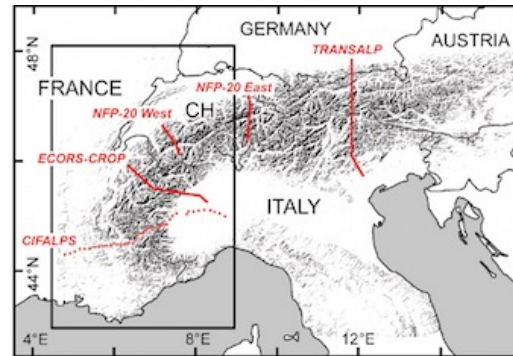
Atteint le faciès amphibolite à 650-700°C et 7-9 kbar dans les Alpes Centrales (Simplon-Tessin)

Pic thermique à ~20 Ma.

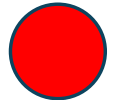
Suivi par exhumation et érosion



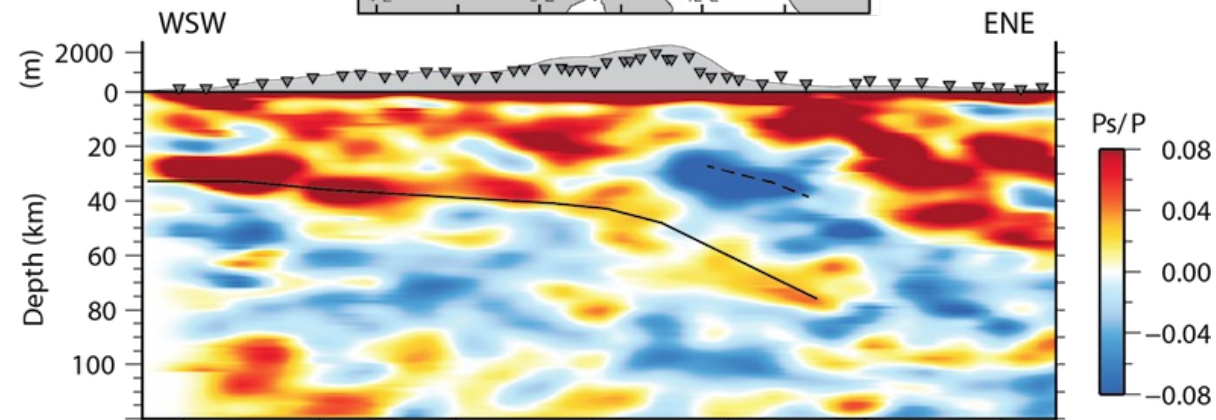
Structure profonde actuelle: Permet d'interpréter la structure profonde des Alpes



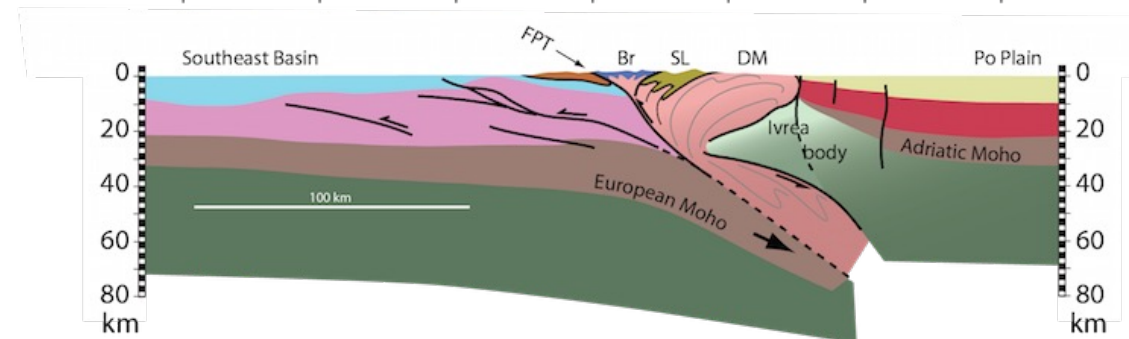
Carte des Alpes



Tomographie
sismique



Interprétation
géologique



Zhao, L., A. Paul, S. Guillot, et al., 2015, *Geology*
First seismic evidence for continental subduction beneath the Western Alps

Tomographie sismique: visualiser les racines profondes des Alpes

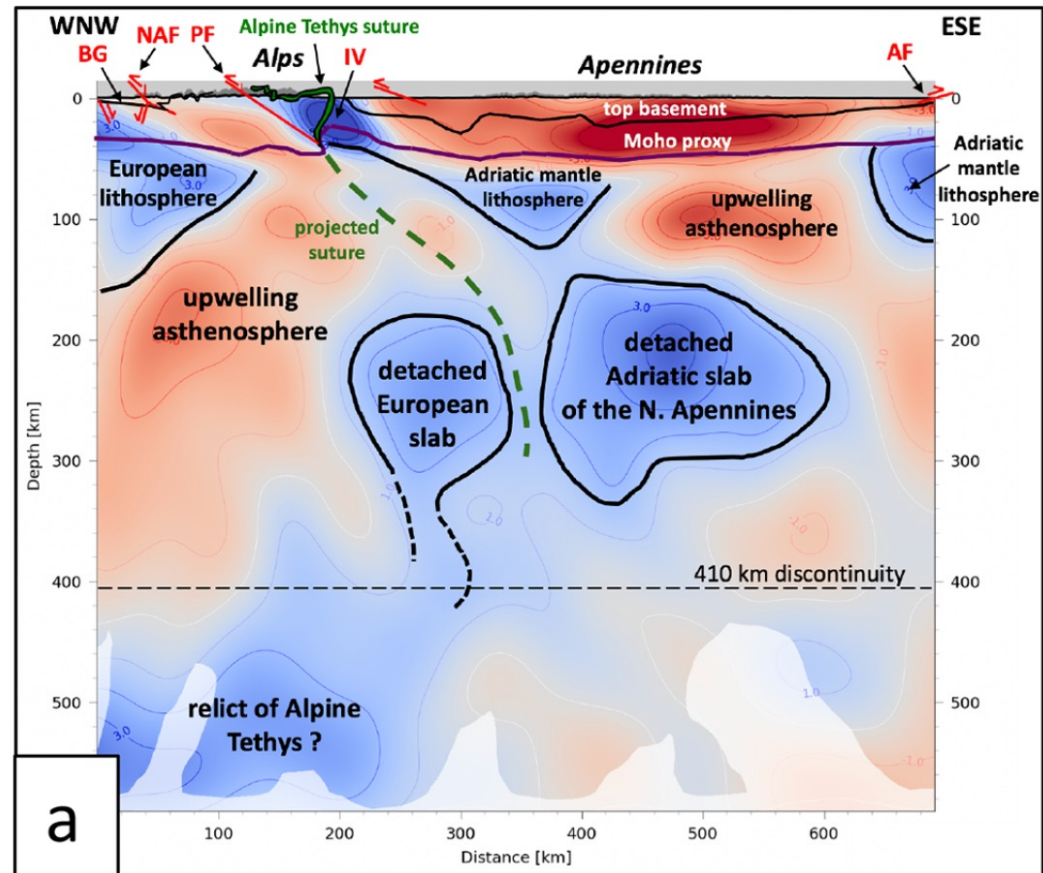
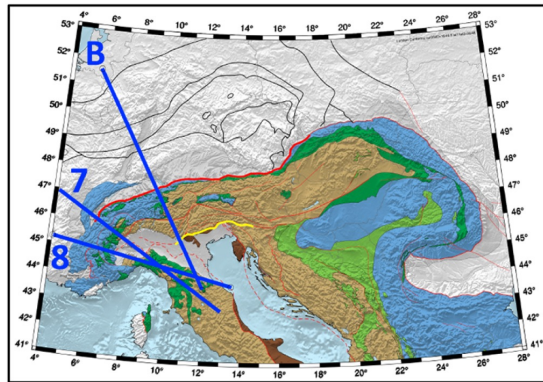
Tomographie sismique:

Données de temps de trajet sismique (p.e. v_p) sont comparées à un modèle terrestre initial.

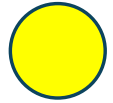
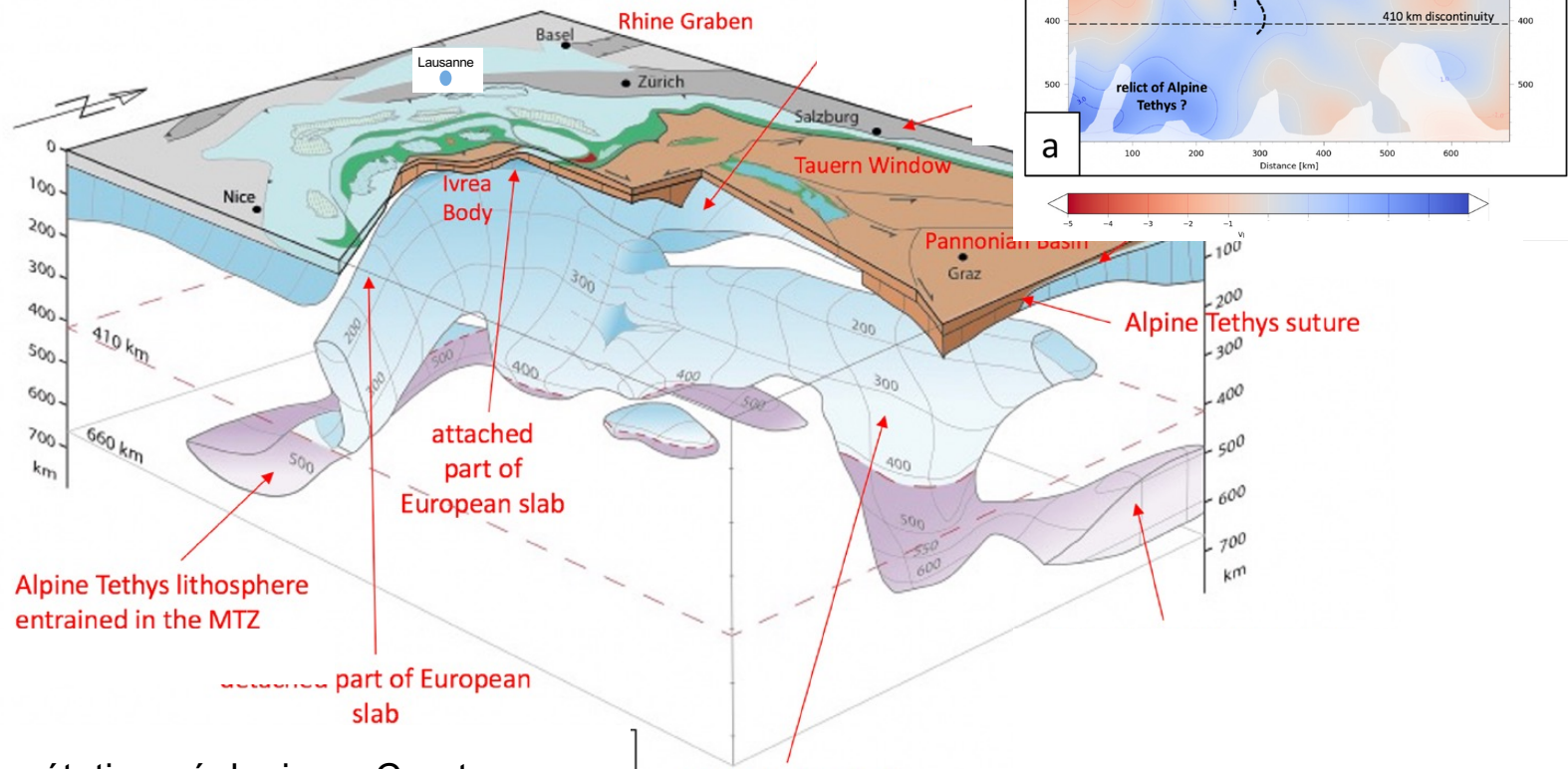
Bleu: vitesse plus rapide que le modèle de référence

Rouge: vitesse plus lente que le modèle de référence

Solutions non-unique: interprétées comme des variations structurelles, thermiques ou de composition

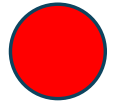


Une vue des racines des Alpes (avec la tomographie sismique)



Interprétation géologique: Croute continentale et océanique subductée et recyclée en profondeur

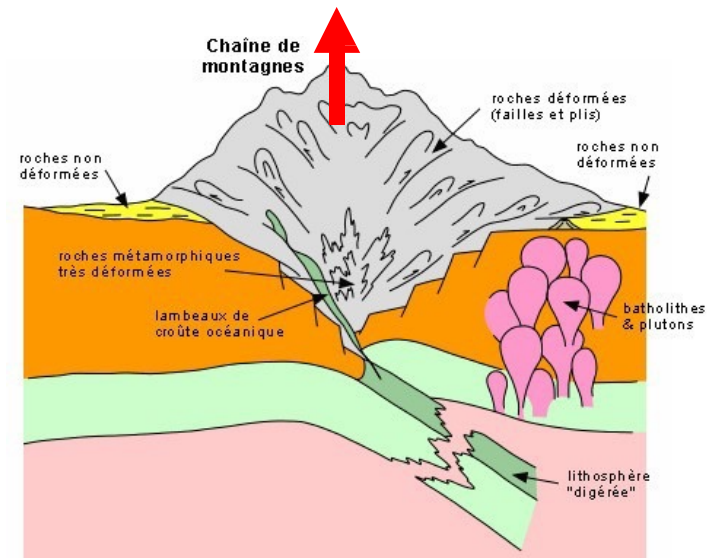
Retour à l'équilibre dans la croûte: Isostasie et érosion



- L'effondrement gravitaire ne peut à lui seul aplanir un relief.
- L'**érosion** (1 mm/an = 1 km/Ma) est l'autre facteur de retour à l'équilibre d'une croûte épaissie. Elle sera active tant que la racine crustale ne sera pas en **équilibre isostatique** avec le manteau.
- Au fur et à mesure du **délestage** de matériaux en surface, la croûte s'allège et monte tel un iceberg fondant en surface. Des lithologies de plus en plus profondes vont ainsi apparaître en surface, c'est le processus d'**exhumation**.
- **Les Molasses sont les témoins de l'érosion**

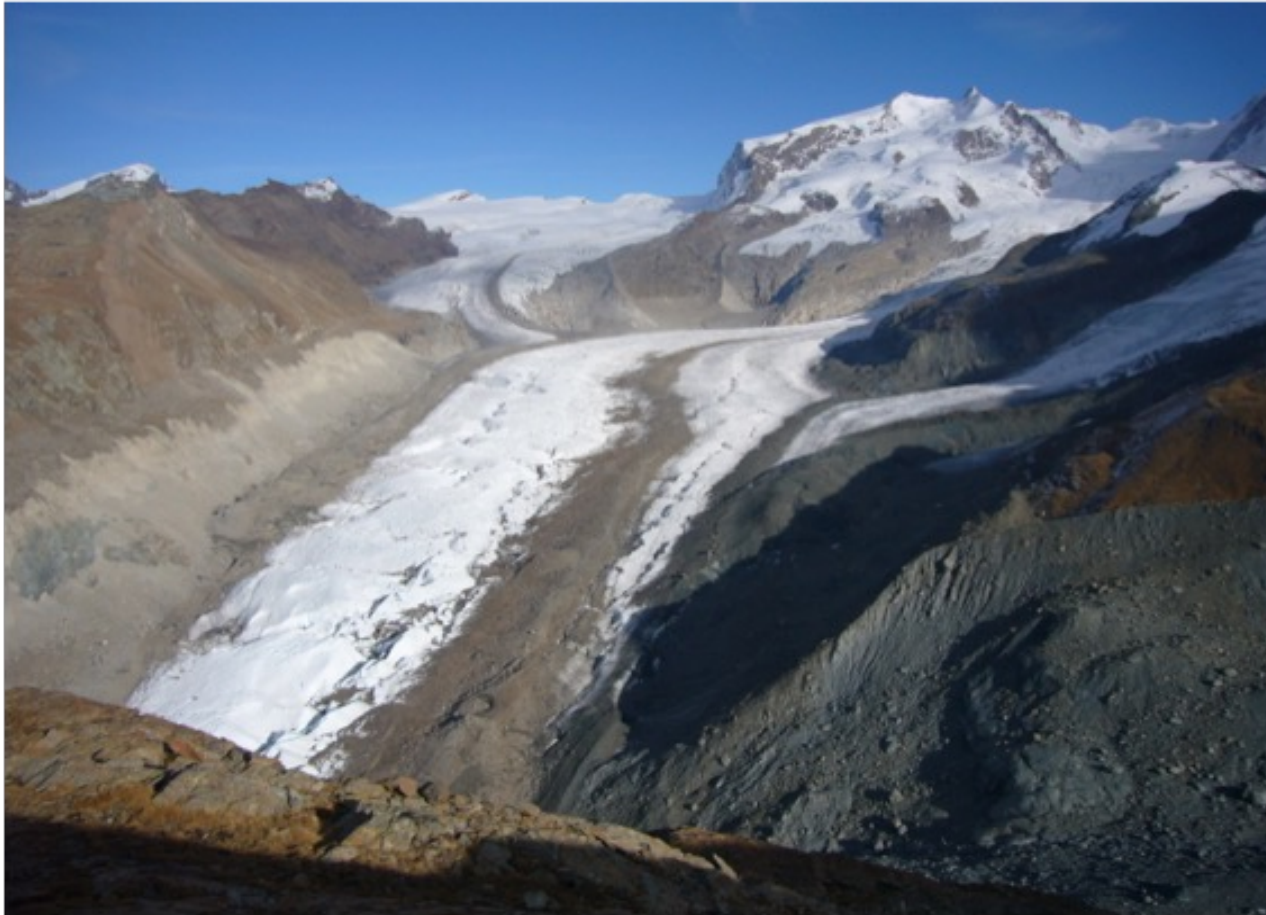


istockphoto.com

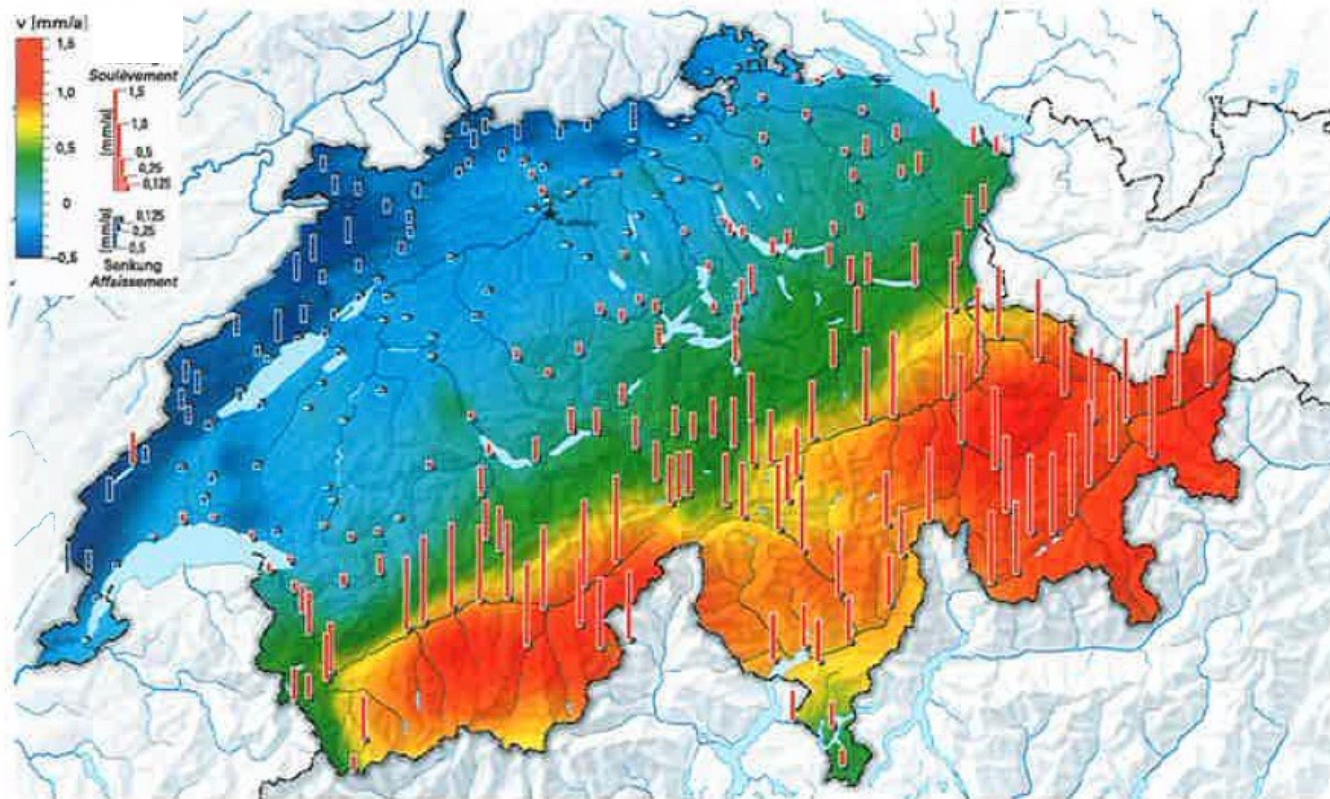
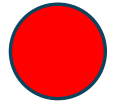


Les Alpes: Géologie actif aujourd'hui ?

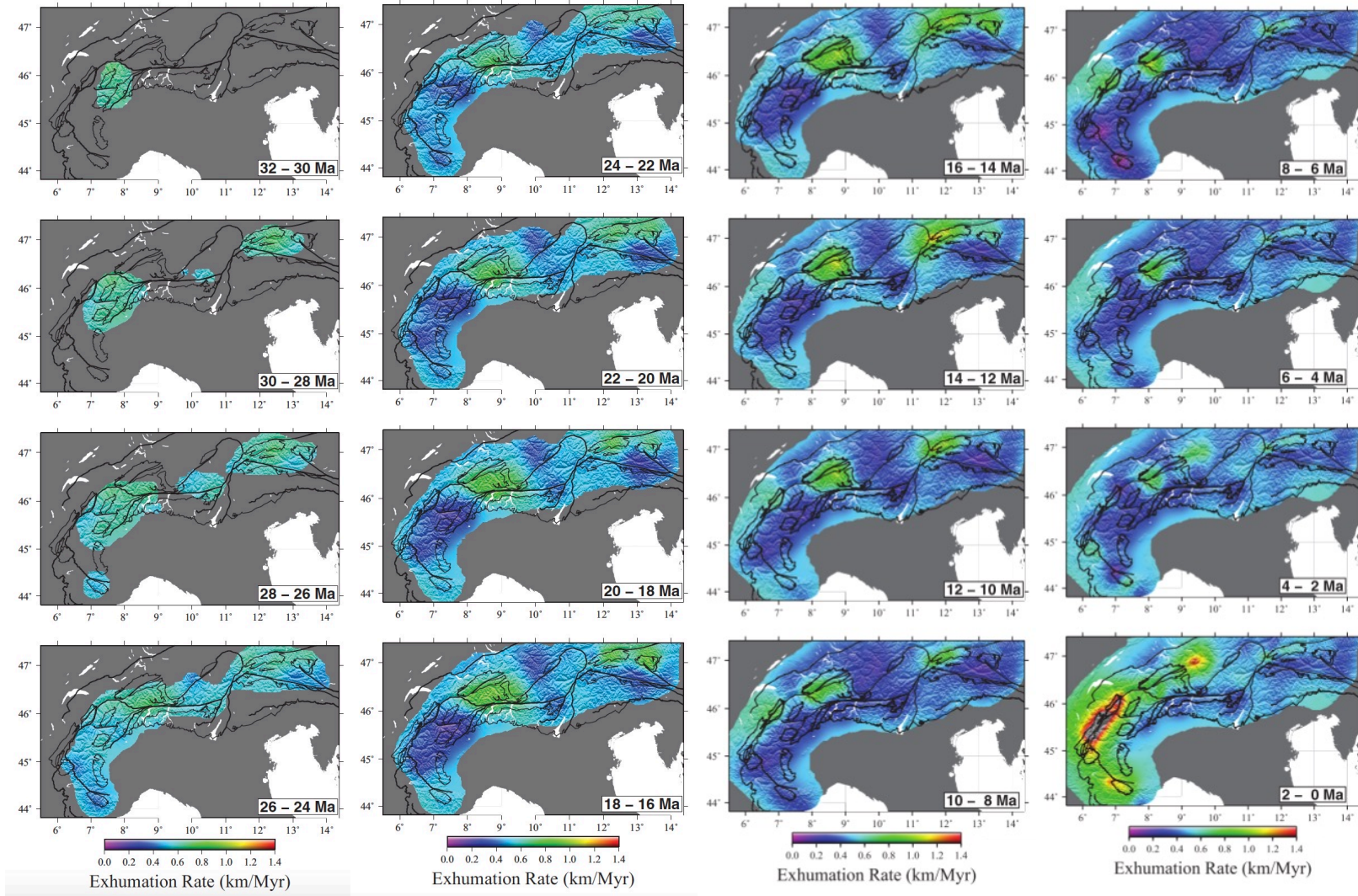
Topographie = f (vitesse d'érosion, soulèvement isostatique, type de roche)



Soulèvement (et affaissement) aujourd'hui



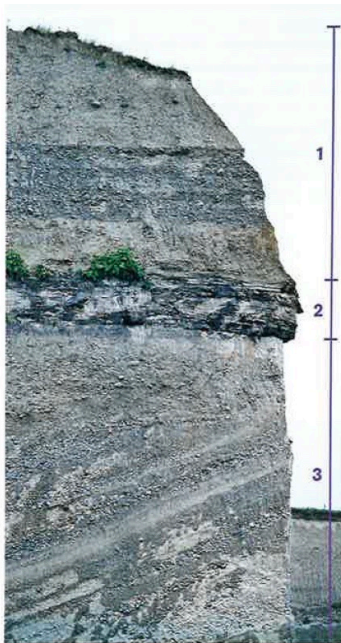
Soulèvement dans les Alpes: dernier 30 millions d'années



Les glaciations: facteurs d'érosion



Coupe d'une gravière (Gossau)



1
Moraine de fond
Dernière glaciation

2
Charbon,
tubières
54-28ka

3
Gravier de fontes
< 54ka



Glissement de terrain: Erosion rapide



Flims (ca. 9500 a)



Gnägi and Labhart, 2015

Brienz (June 2023)



Éboulements importants dans les Alpes suisses



Date	Vol. (km ³)	Morts	Lieu / Note
~ -7500	9		Flims (GR)
1512, -15		~600	Biasca (TI) / lac barré
1584	0.005	328	Corbeyrier (VD) / séismes
1806	0.04	457	Goldau (SZ)
1991	0.03	0	Randa (GR)
2000		13	Gondo (VS)
2023	1.2	0	Brienz (GR)
2025	0.006	1	Blatten (VS)



Ruinaulta (Gorges du Rhin), Flims (GR)

Voir une liste plus complète ici:
<https://www.letemps.ch/suisse/valais/eboulement-a-blatten-la-premiere-pierre-du-futur-village-a-ete-posee#les-eboulements-les-importants-de-l-histoire-en-suisse>

Topographie et Tremblements de terre: Les Alpes 'grandissent' – region de Molasse subside

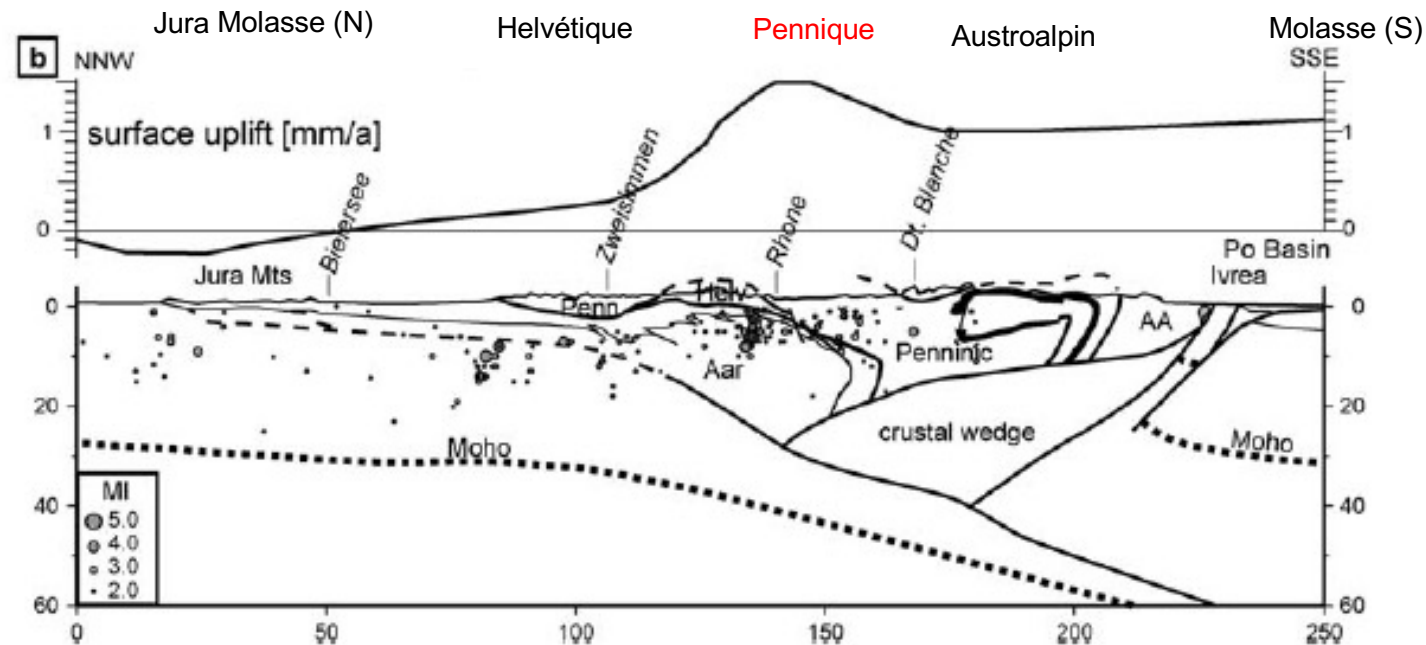
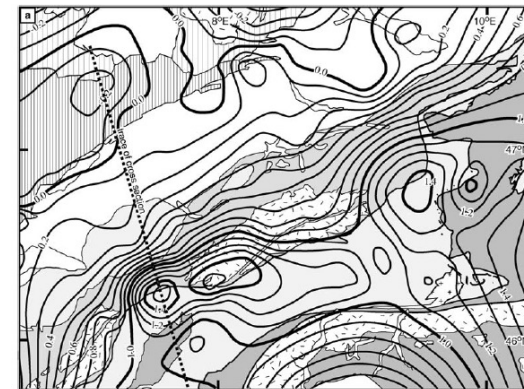


Fig. 2. (a) Surface uplift map of Switzerland. Surface uplift in mm/a, reference point is Aarburg (after Kahle *et al.* 1997). Schlatter *et al.* (2005) report slightly lower maxima. For legend, see Figure 1. (b) Comparison of surface uplift and seismicity along a cross-section. Earthquakes are plotted from a 40 km broad swath shown in Figure 1 onto the profile. (AA, Austro- and Southalpine units; Helv, Helvetic units; thick black lines, oceanic suture.)

Distribution des tremblements de terre en Suisse: témoins d'activité tectonique dans les Alpes

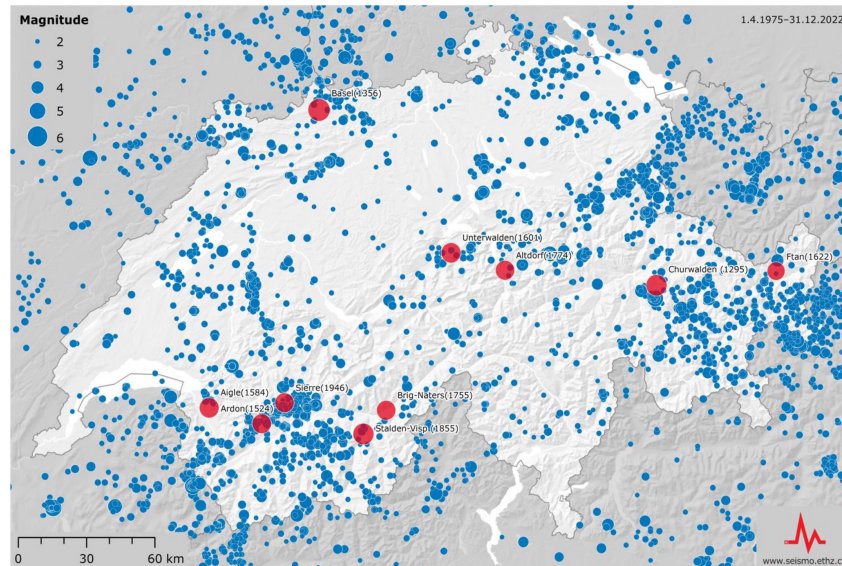
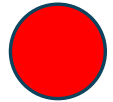


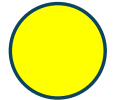
Figure 1.1. Map of the instrumentally recorded earthquakes between 1975 and 2022 (in blue), together with the location of the 10 strongest historical earthquakes (in red).



Darstellung des Erdbebens 1356 in der Basler Chronik von Christian Wursteisen von 1580. Der Formschneider Georg Sickinger zeigt auf seinem Holzschnitt die unter Erdstößen schwankende Stadt und die auf die Felder flüchtende Bevölkerung.

Tremblements de terre: entre 1975 et 2022 (**bleu**), et localisation des 10 tremblements de terre historiques les plus forts (**rouge**)

Histoire récente des tremblements de terre en Valais (11.11.2024)

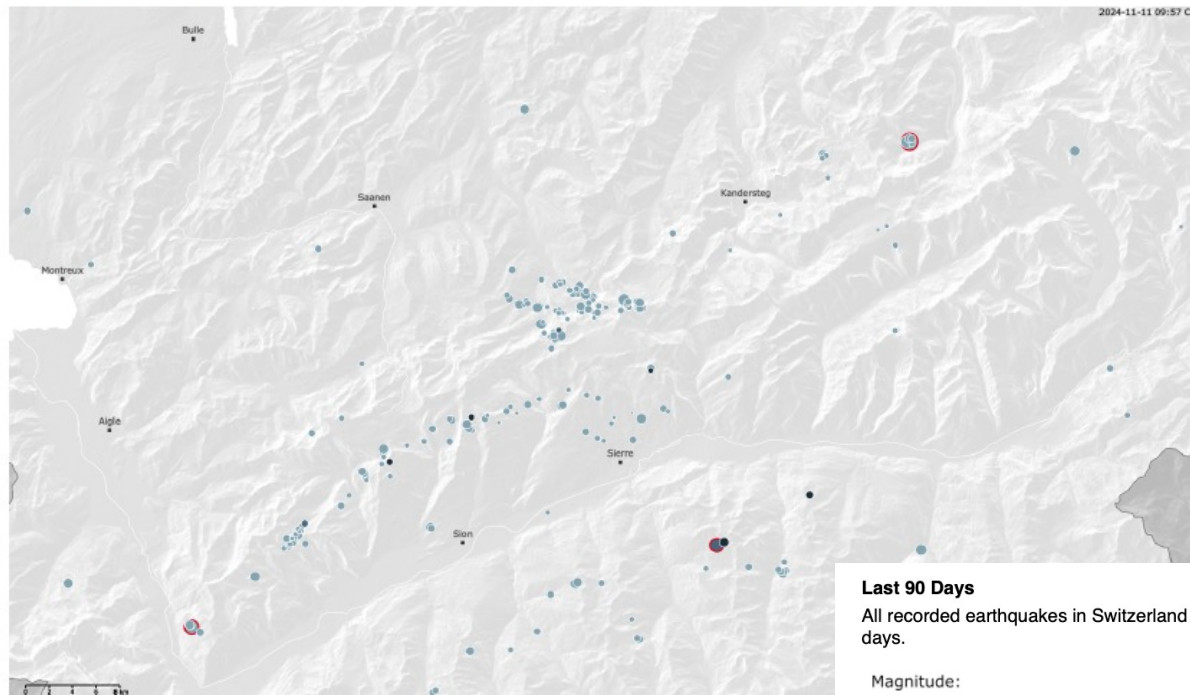


Earthquake Map Switzerland



Schweizerischer Erdbebedienst
Service Sismologique Suisse
Servizio Sismico Svizzero
Swiss Seismological Service

ETH
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zürich



Last 90 Days

All recorded earthquakes in Switzerland and its neighboring countries, of the last 90 days.

Magnitude:



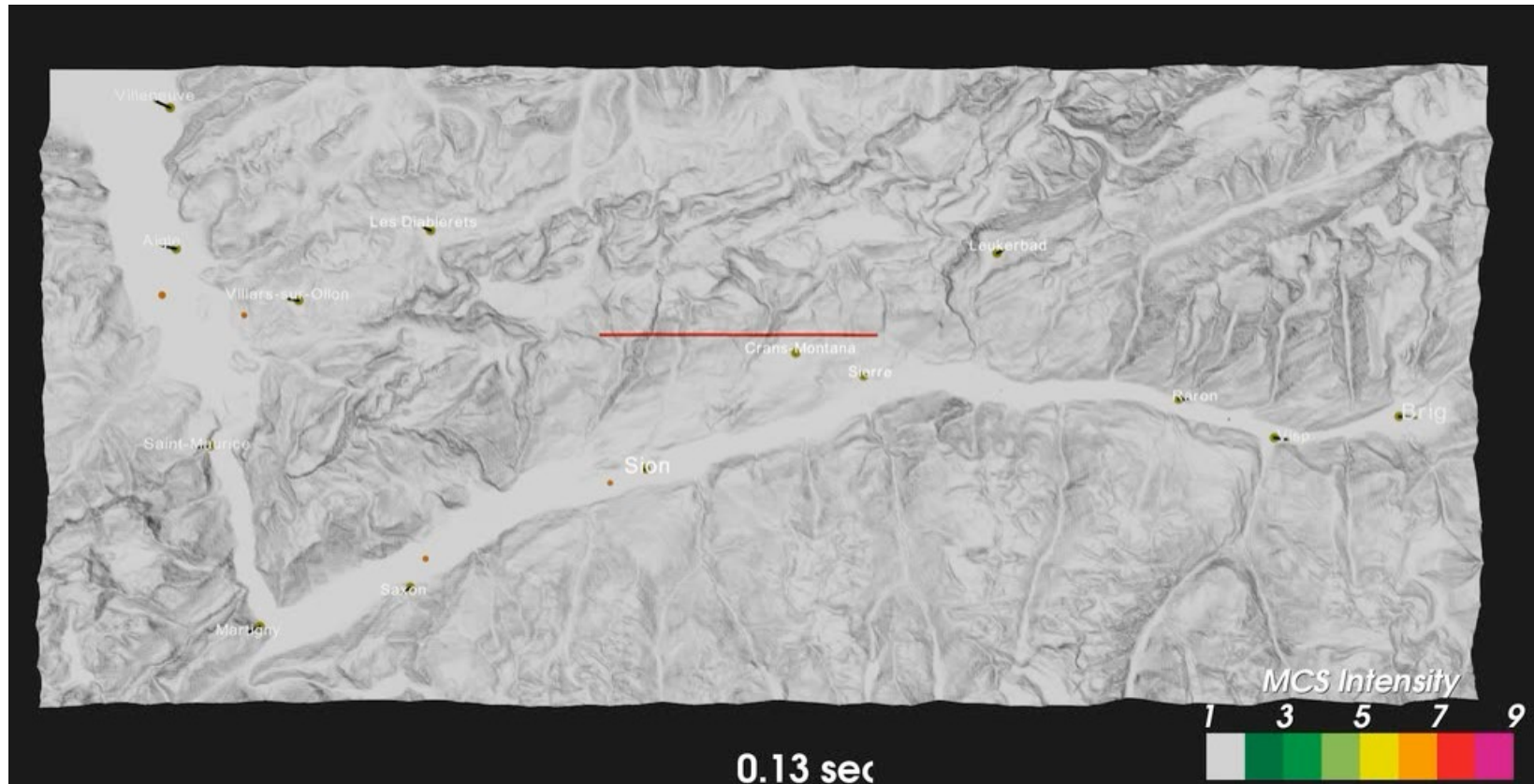
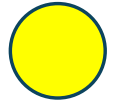
● 24 Hours

● 3 Days

● 90 Days

○ Felt

Le tremblement de terre en Valais 1946: 5.8



Remarques: amplitude et durée des ondes plus long au fonds de la vallée