

Chapitre 9

Géologie de la Suisse II

Alpes Penniques, Sud-/Austroalpine
Subduction et collision
Activité récente



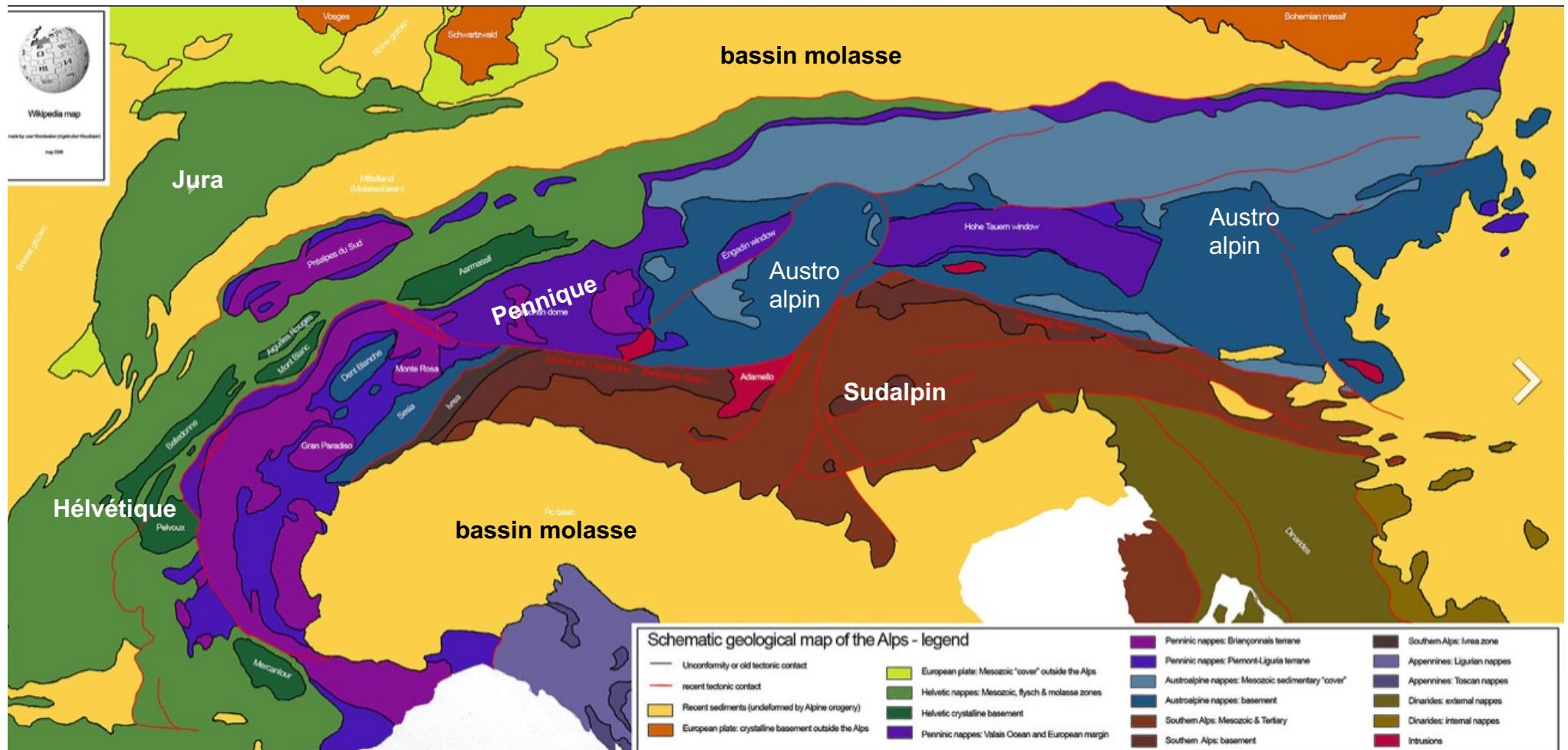
Othmar Müntener
Géopolis 4897



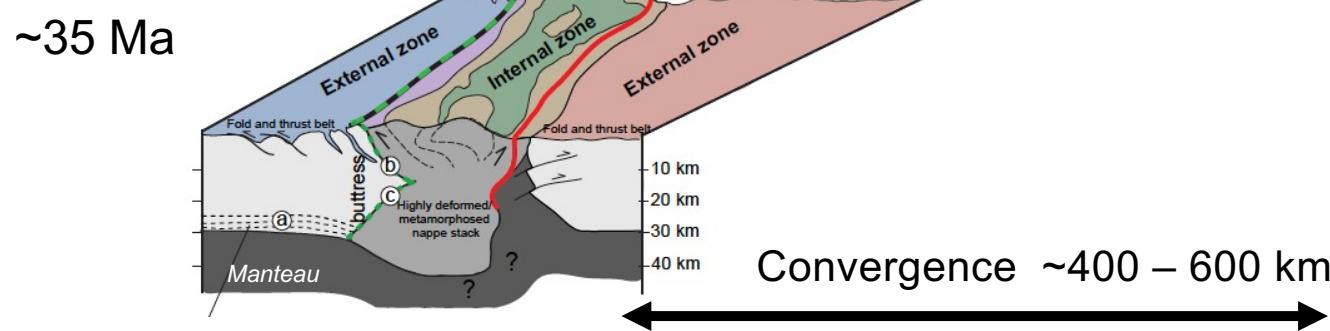
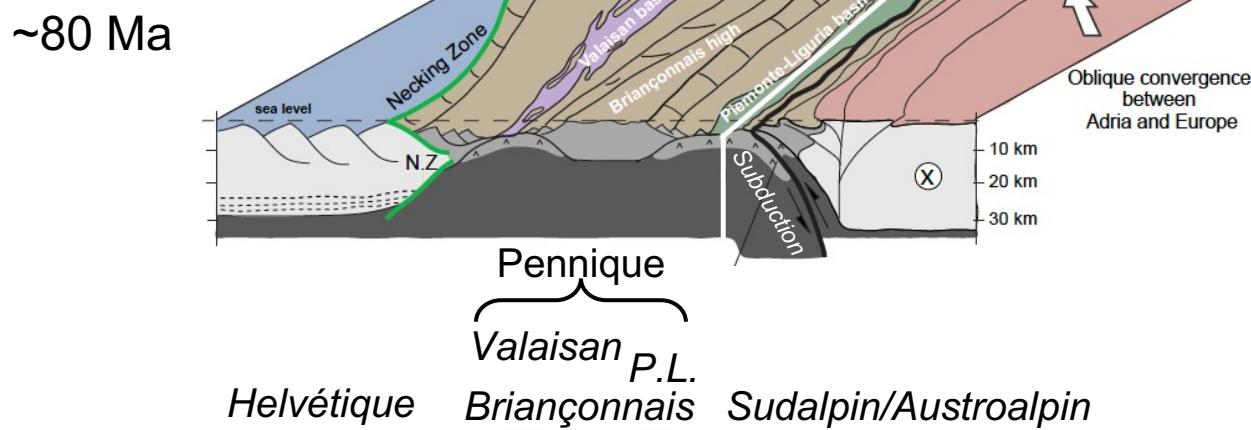
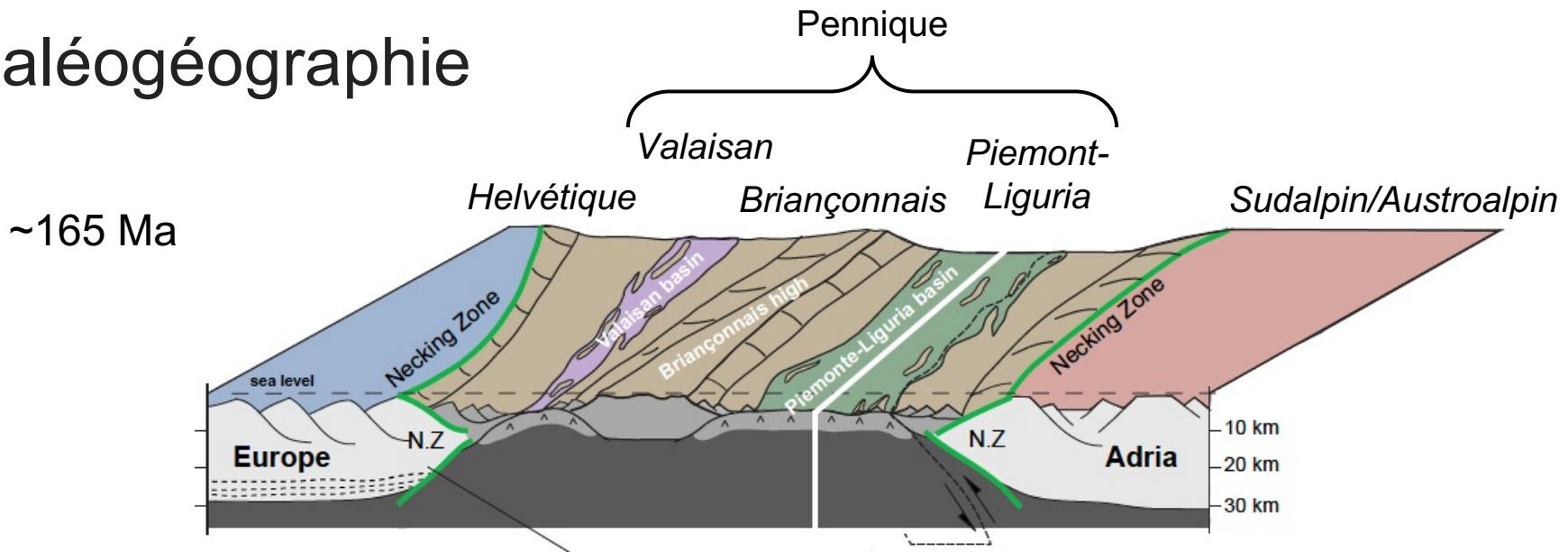
Contenu

- Alpes dans le contexte européen
orogénèses préalpines
- Paléogéographie des continents
- Evolution spatio-temporelle de la chaîne Alpine – premier tour
- Unité tectoniques dans les Alpes – dans la Suisse
(Jura, Bassin Molassique, Helvétique,)
- **Pennique, Sud-Austroalpin**
- **Subduction – Collision – Métamorphisme**
- **Erosion et soulèvement (topographie)**
- **Tremblements de terre récent dans les Alpes et applications pratiques**

Les domaines tectoniques des Alpes et la Géométrie générale: cylindrique



Paléogéographie

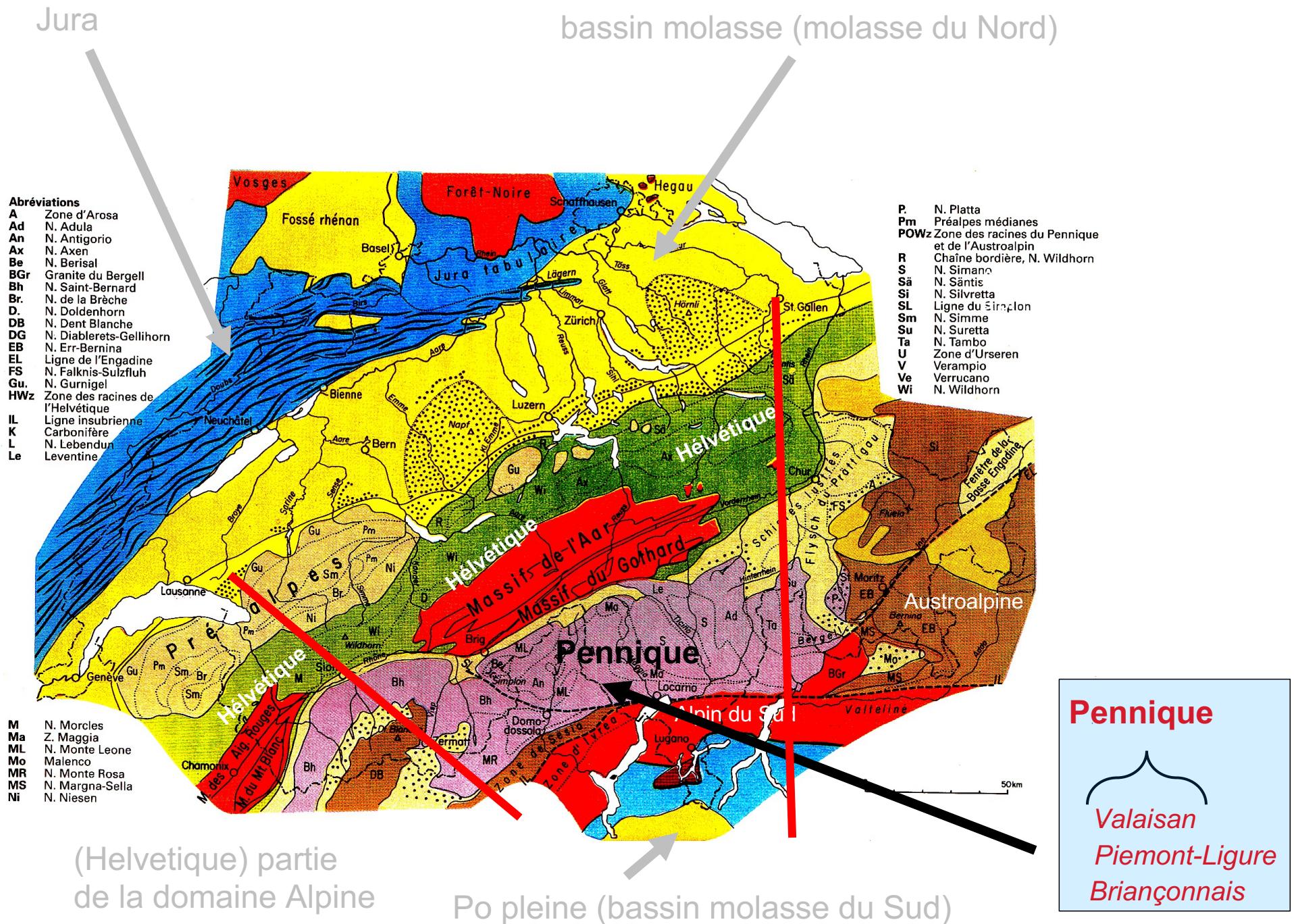


Subduction

Collision

Mohn et al. 2014
Terra Nova

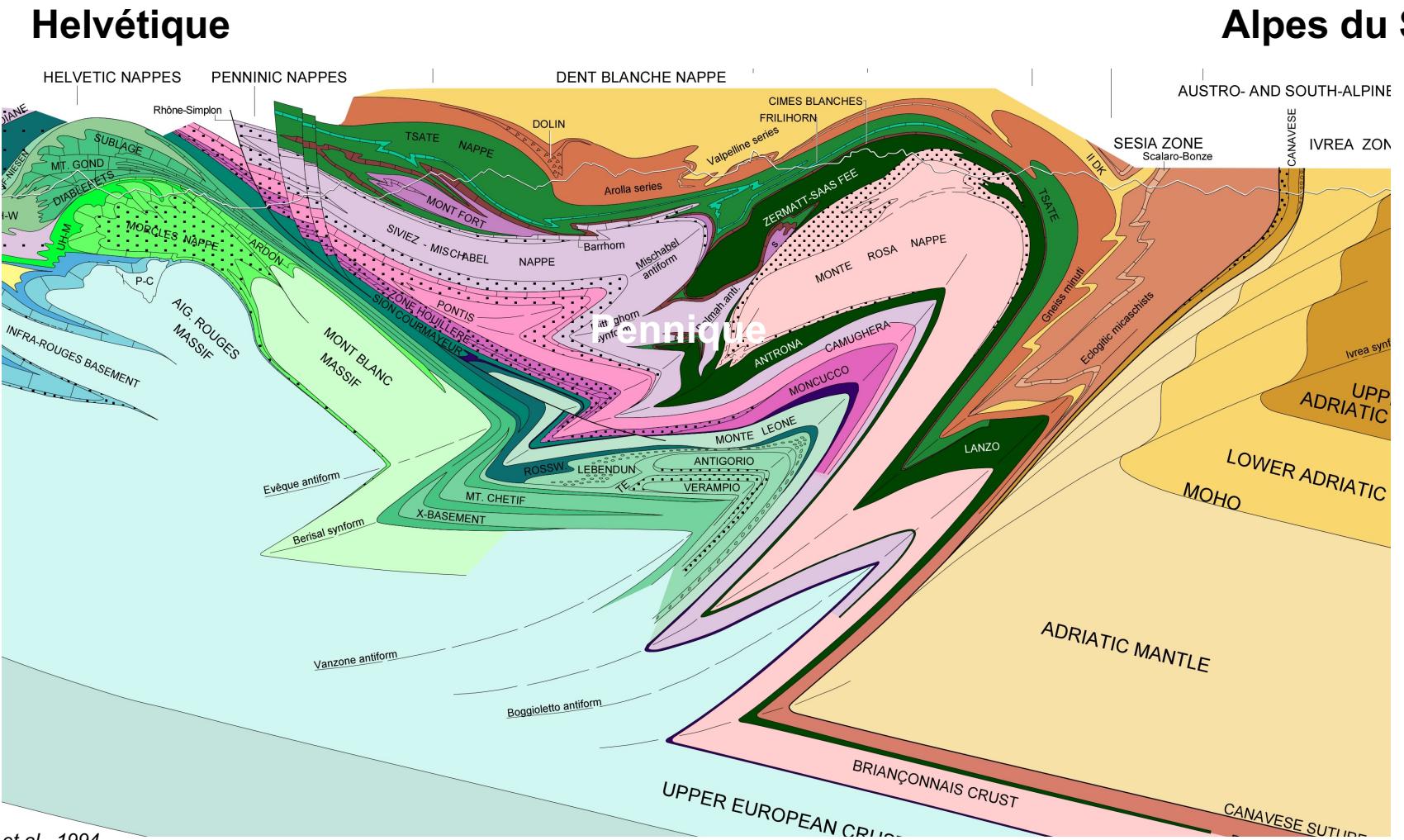
Répartition des unités tectoniques



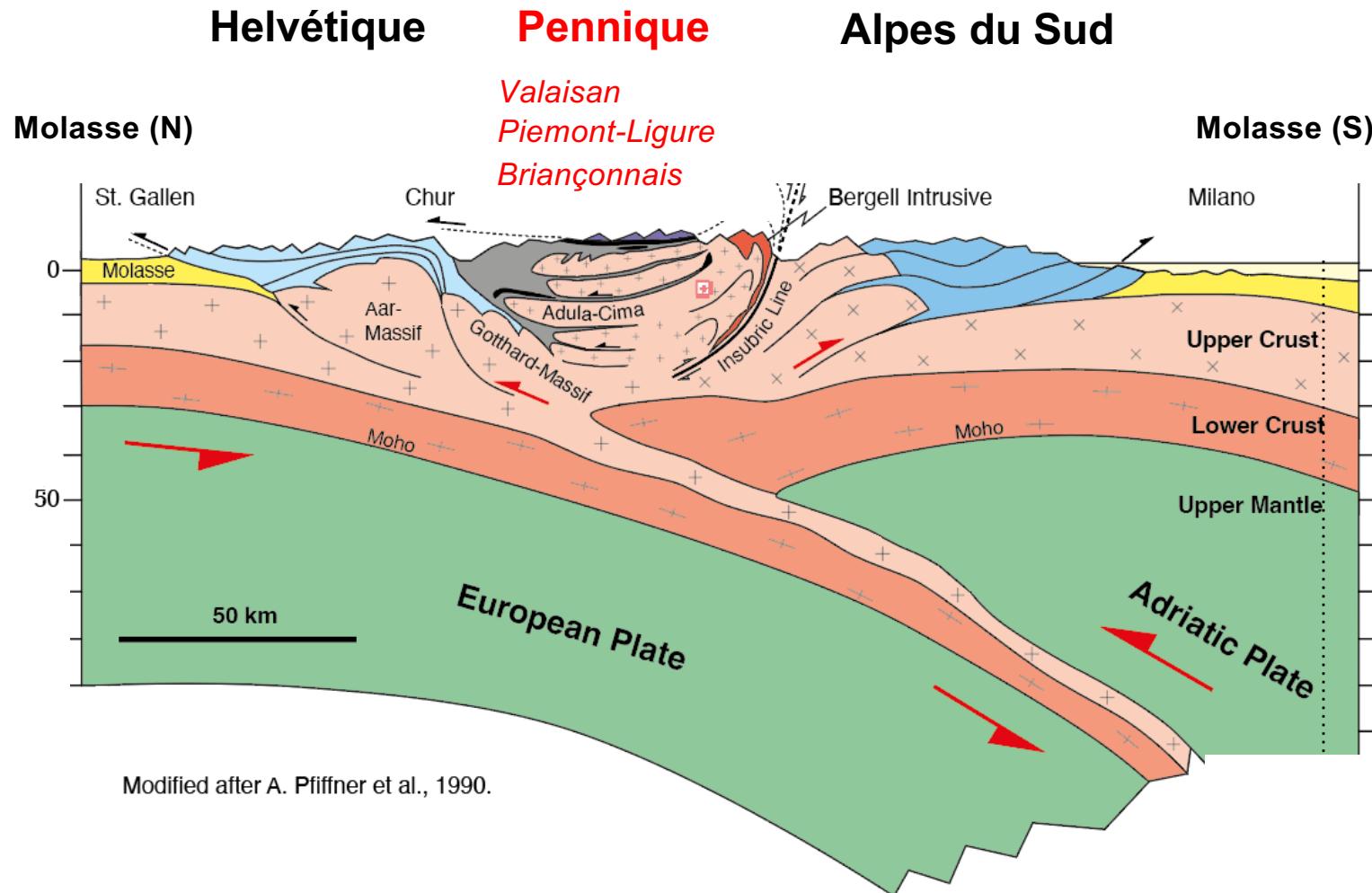
Une coupe géologique à travers des Alpes de l'ouest (Martigny - Lago-Maggiore)

Les unités briançonnaises

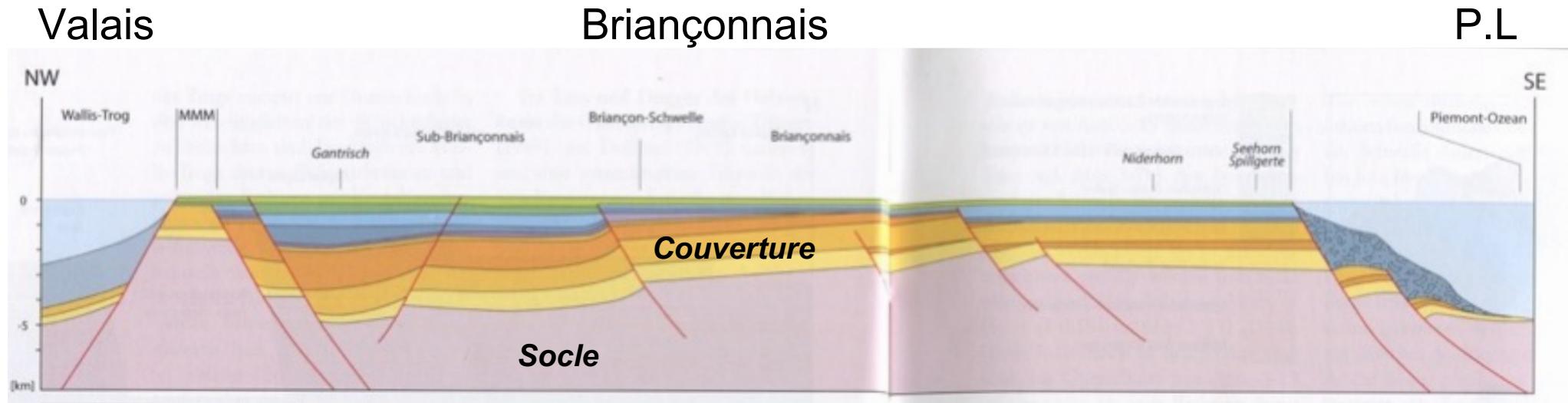
Nappe: Une nappe de charriage est un ensemble de couches géologiques qui, lors d'une orogenèse se sont décollées du socle et déplacées sur de grandes distances



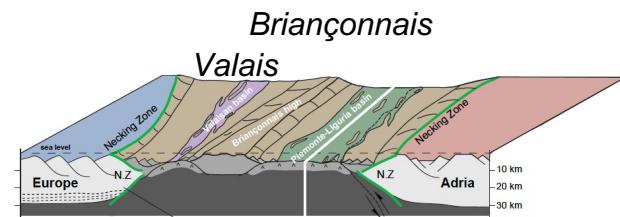
Une coupe géologique à travers des Alpes II (St. Gall - Milano)



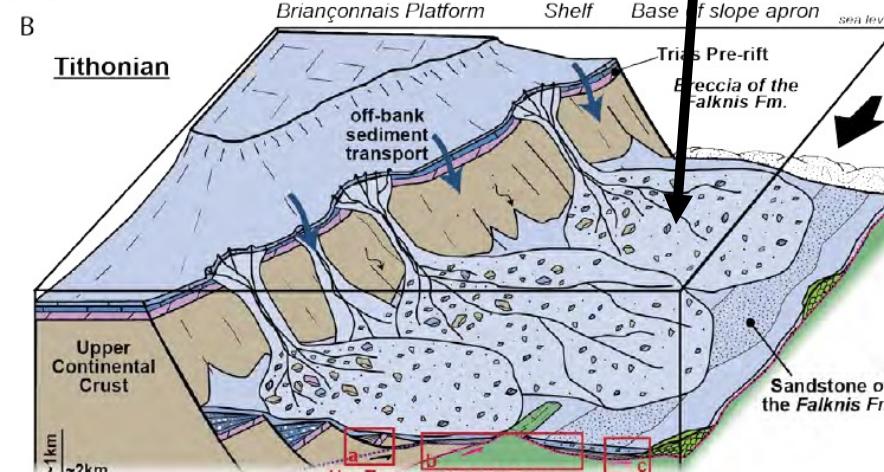
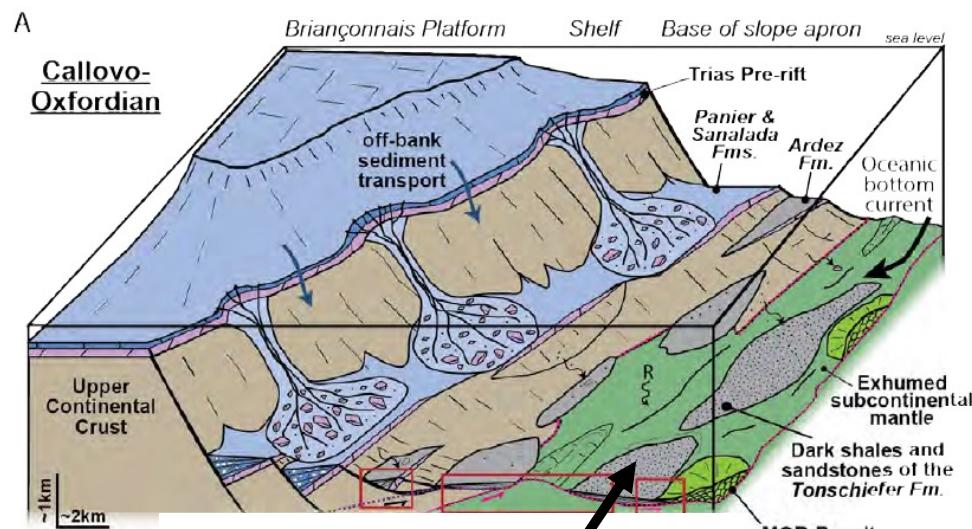
Partie continentale du Pénique: Briançonnais (avant la collision Alpine)



Briançonnais: socle + couverture:
Block continentale (=microplaque ou micro-continent) détaché du continent Européen,
entouré par 2 domaines océanique (Valais,
Piemonte Ligure)



Transition Briançonnais – Valais (~160 Ma)



- transition abrupte d'une croute continentale d'épaisseur 'normale' à 'amincie' (notez le relief !).

- témoigné par des roches (brèches au pied des canyons, argillite loin des canyons)

Brèches supportées par des clastes de la taille de galets à rochers (socle et sédiments)



Eon	Era	Period	Epoch	Million years ago		
Phanerozoic	Cenozoic	Quaternary	Holocene	0.01		
		Pleistocene	Upper Middle Lower	0.8 2.59		
		Pliocene	Early	3.6		
		Miocene	Middle Early	11.2 23.03		
		Oligocene	Early	28.4		
		Eocene	Middle Early	33.9 41.3		
Mesozoic	Tertiary	Paleogene	Middle Early	49 55.8		
		Cretaceous	Upper Middle Early	61 65.5		
		Iauassic	Upper Middle Early	99 145.5 159		
		Triassic	Middle Early	180 227 242		
		Permian	Early	251 256		
		Carboniferous	Pennsylvanian Mississippian	299 323 359.2		
Proterozoic	Paleozoic	Devonian	Early Middle	370 391		
		Silurian	Early Late	416 423		
		Ordovician	Early Middle	458 470		
		Cambrian	Early	488.3		
						542

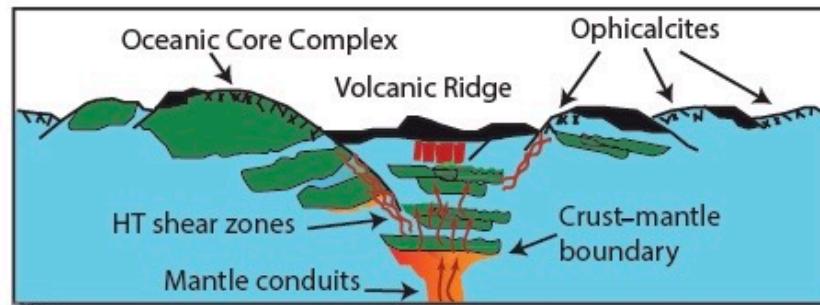
Piemont Ligurie

Croute océanique entre Europe et Afrique ~160 Ma)

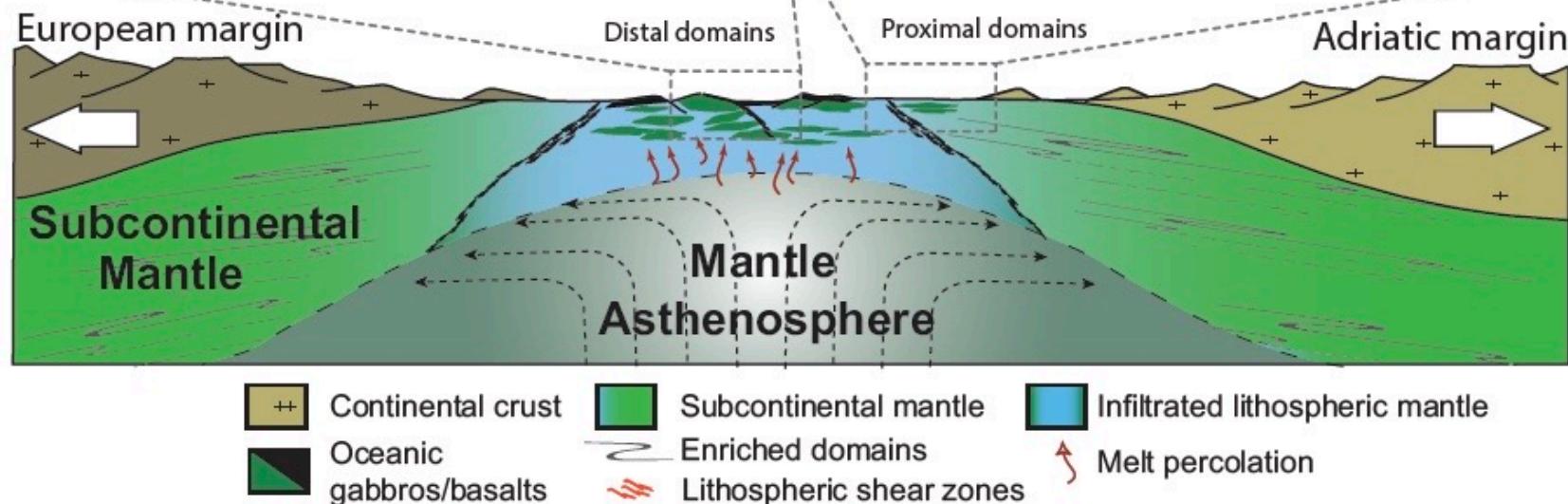
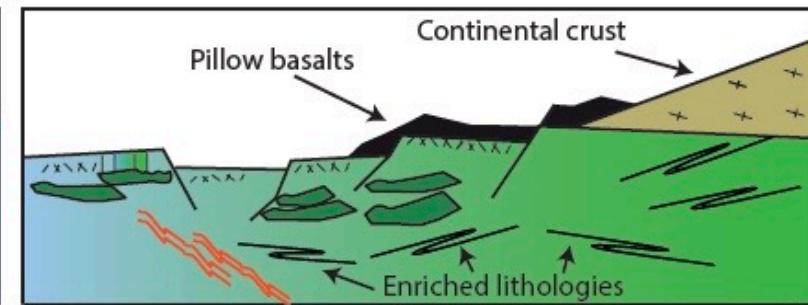
- Serpentines
- gabbros+basalts
- océan à propagation très lente

Certaines dorsales actuelles sont des analogues excellents

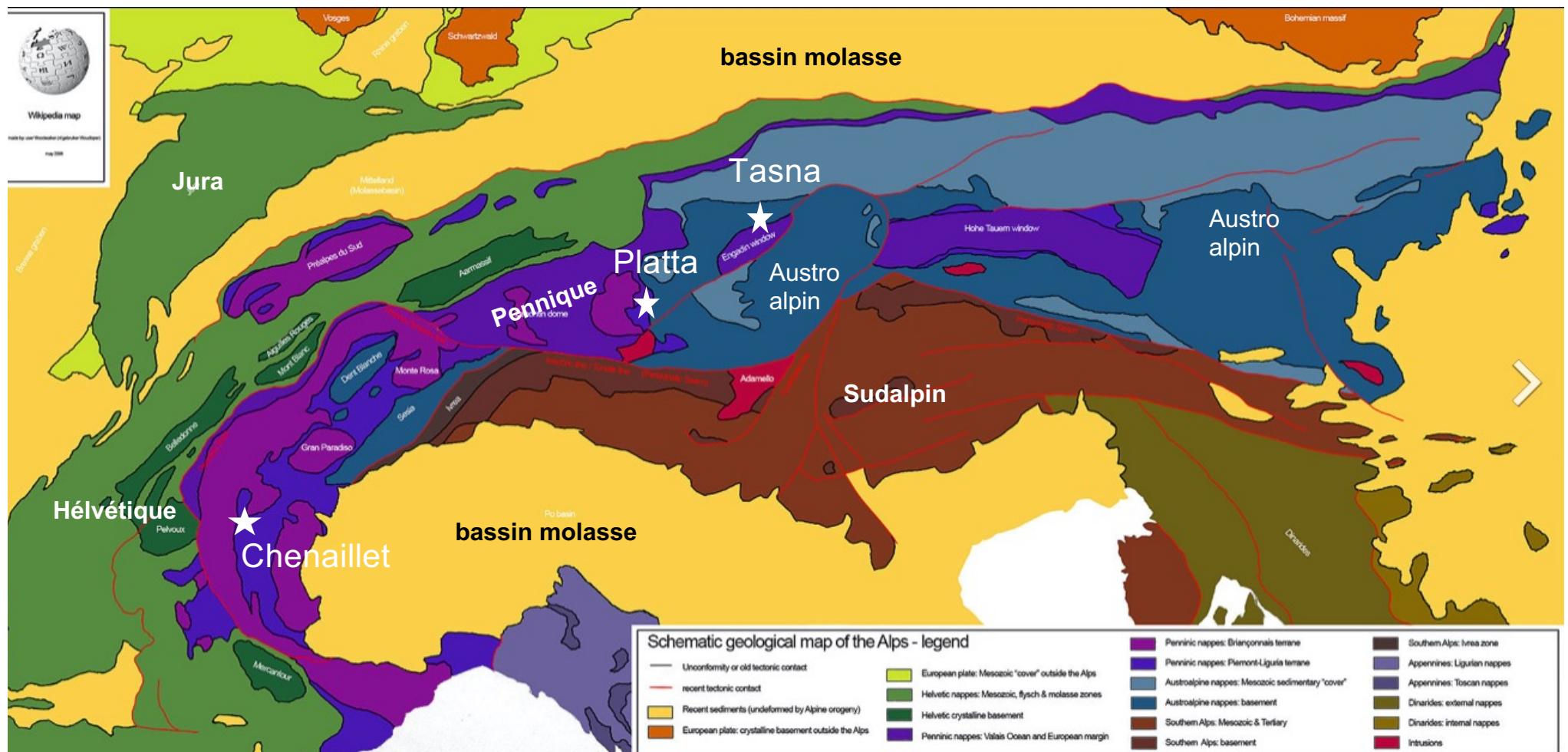
Ride mid-océanique lente



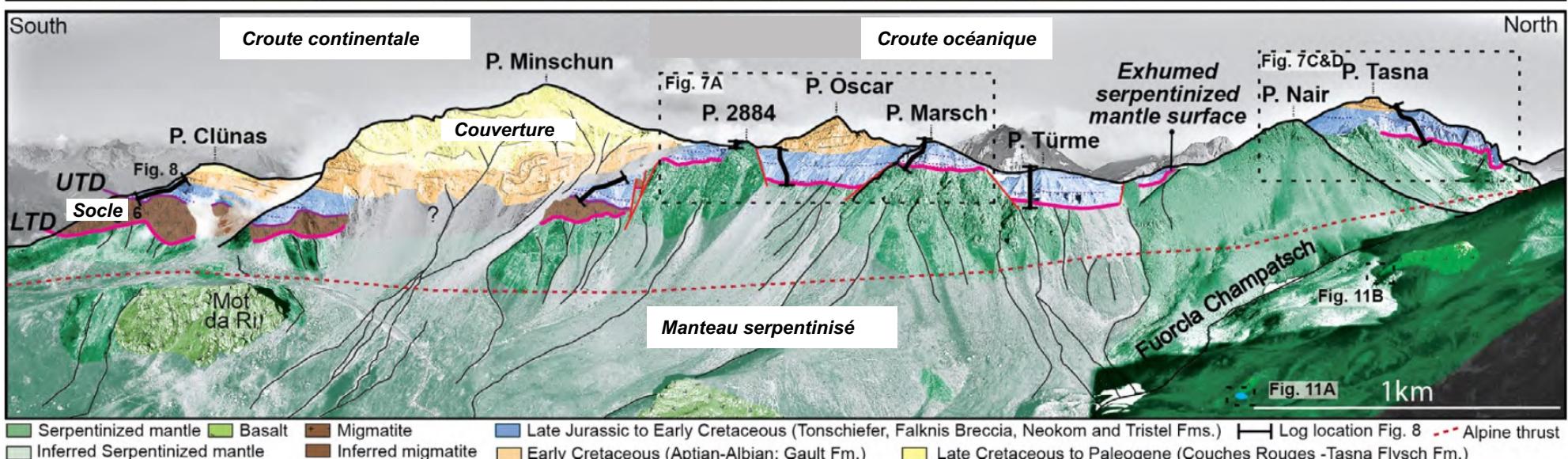
Transition continent-océan



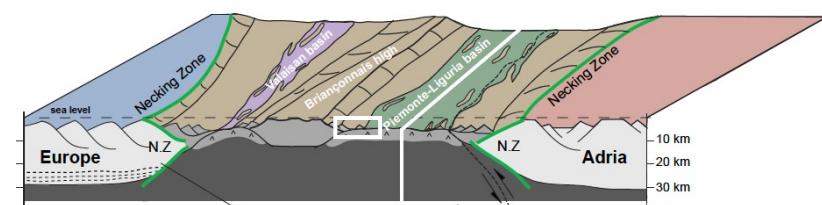
Les domaines tectoniques des Alpes exemples de la transition croute continental - océanique



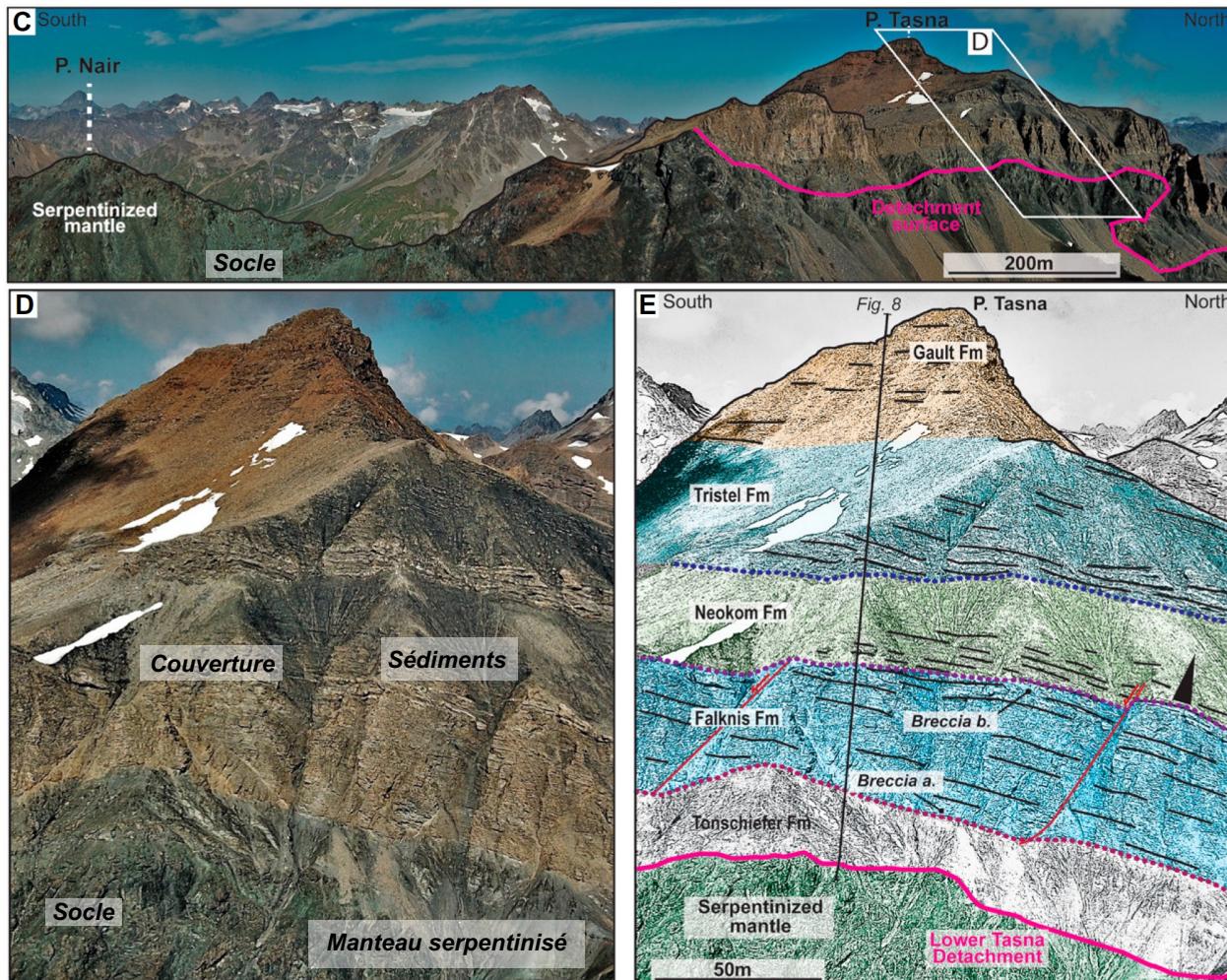
Exemple d'une transition fossile du continent vers l'océan dans les Alpes: I



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

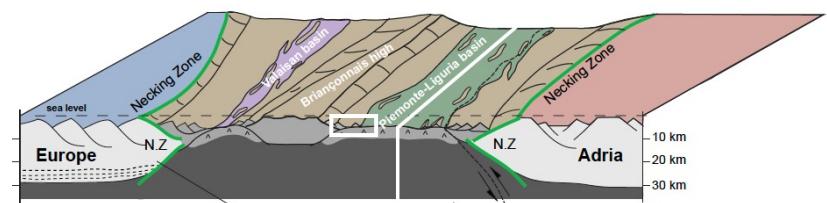


Exemple d'une transition fossile du continent vers l'océan dans les Alpes: II

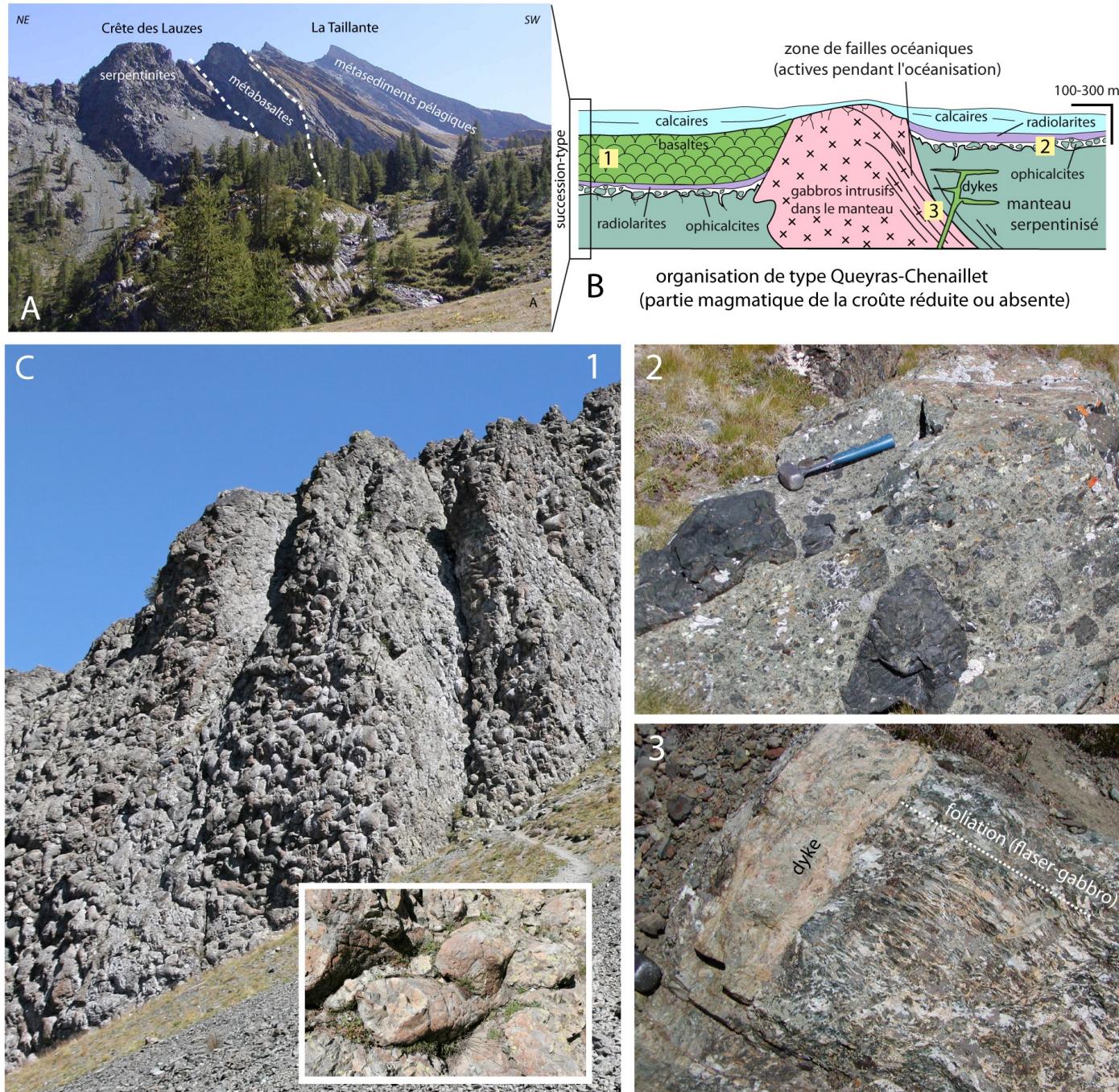


Dépôts des sédiments sur le manteau. Age de exposition au fonds de l'océan déterminé par les premiers sédiments.
(=Jurassique, ~160 to 150 Ma)

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: I



Chenaillet (F)

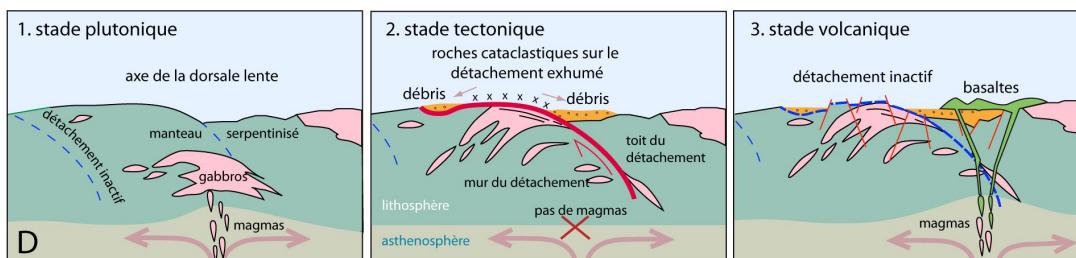
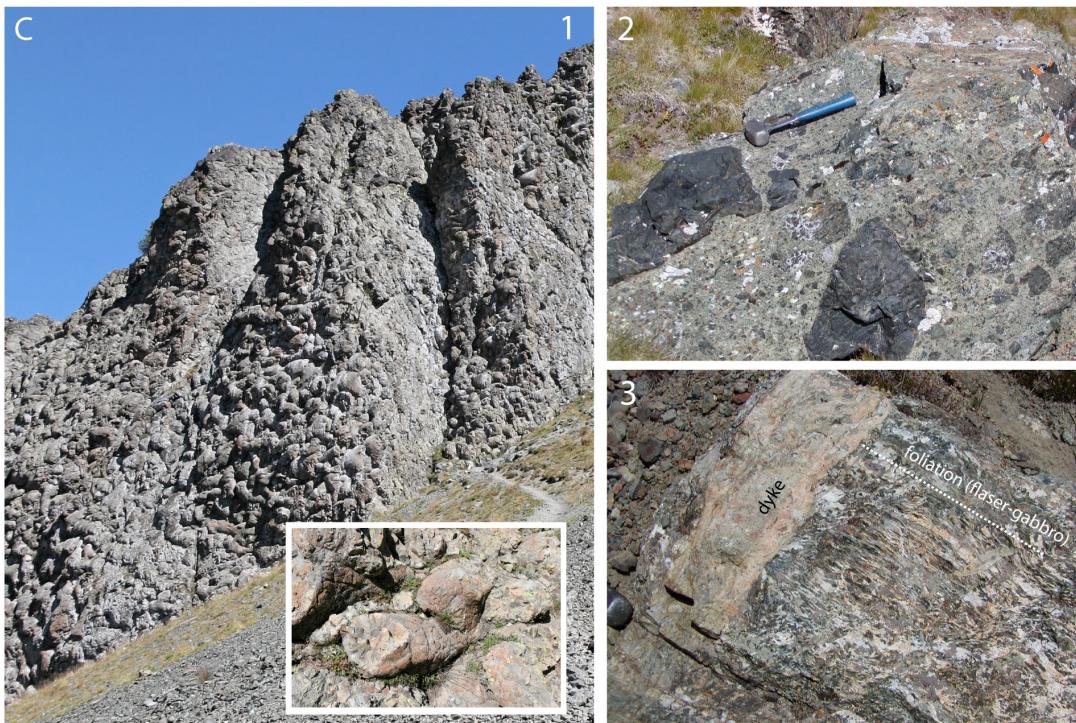
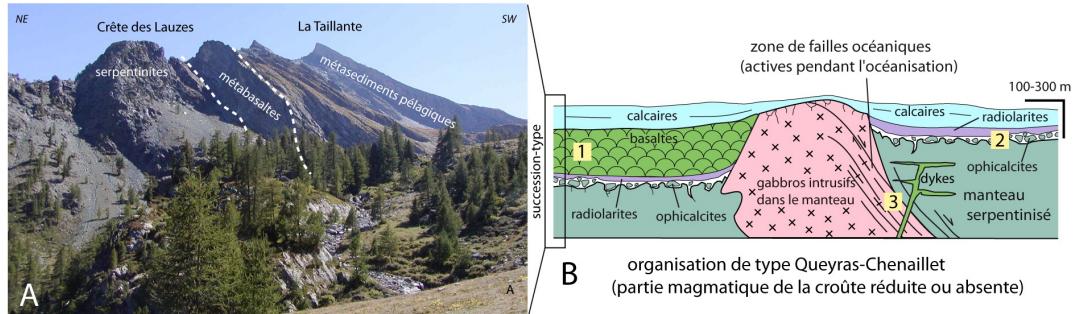
A: Coupe géologique entre serpentinites (roches du manteau), basaltes et couverture sédimentaire

B: Reconstruction géologique avec localisation des fotos 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: II



Chenaillet (F)

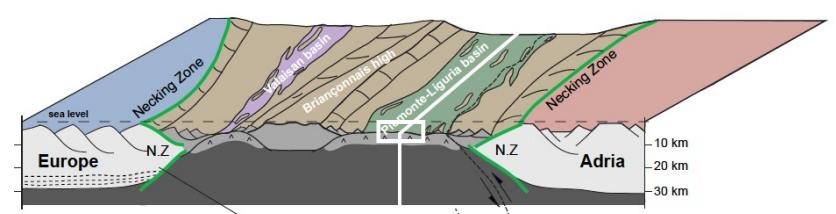
A: Coupe géologique entre serpentinites (roches du manteau), basaltes et couverture sédimentaire

B: Reconstruction géologique avec localisation des fotos en C

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

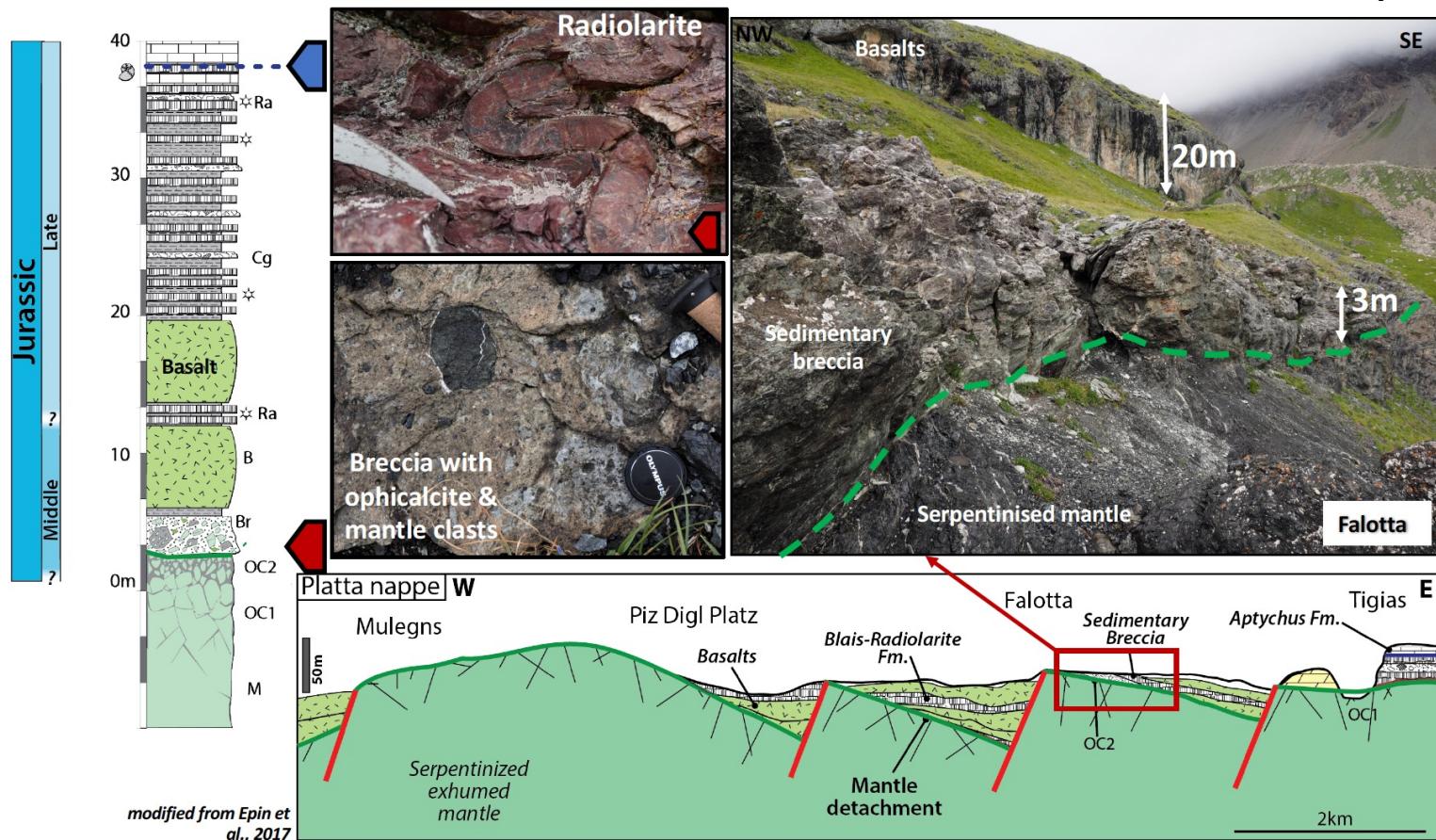
- (1) 200m des laves à pillow
- (2) Brèches avec des morceau du manteau (serpentinites), sable de serpentine et carbonate
- (3) Filon du gabbro coupant la foliation du gabbro (pyroxene+feldspath)

Modèle géologique: emplacement des magmas en profondeur, suivi par une phase de déformation, suivie par l'emplacement des basaltes



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

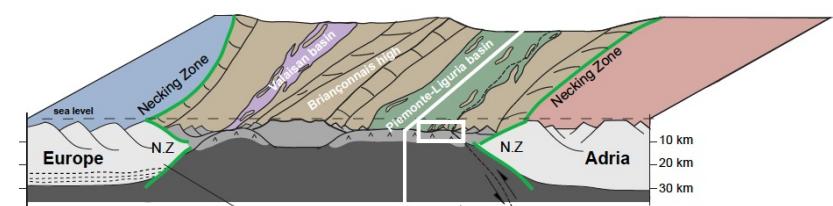
Platta (CH)



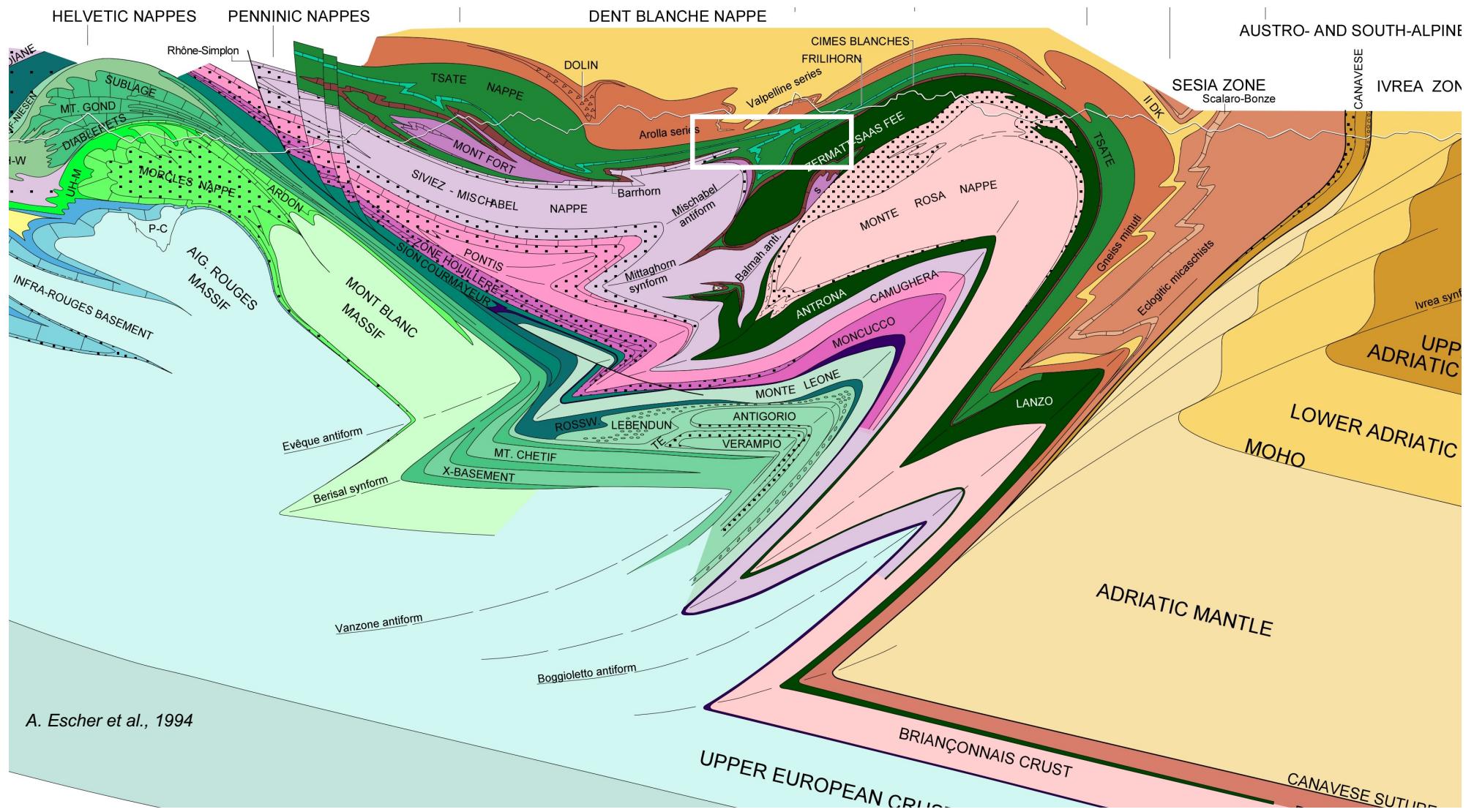
Couverture des sédiments sur la croute océanique au fonds de l'océan Théty

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

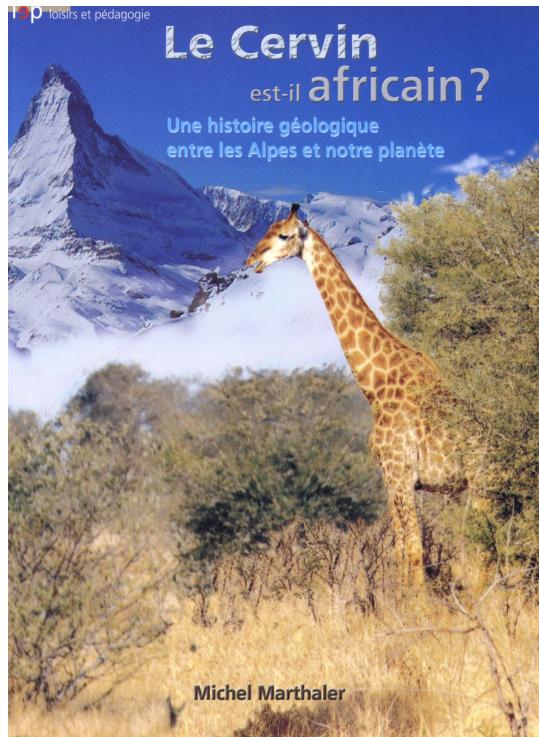
Age: des sédiments: Jurassique moyen – supérieur (160-150 Ma)



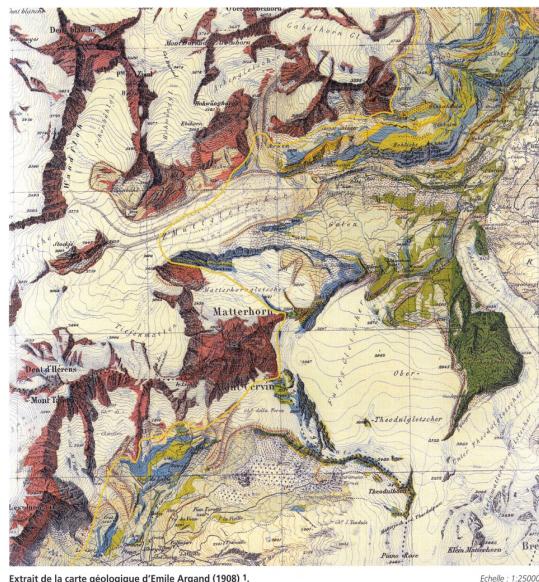
La Téthys alpine et l'Apulie ("Afrique")



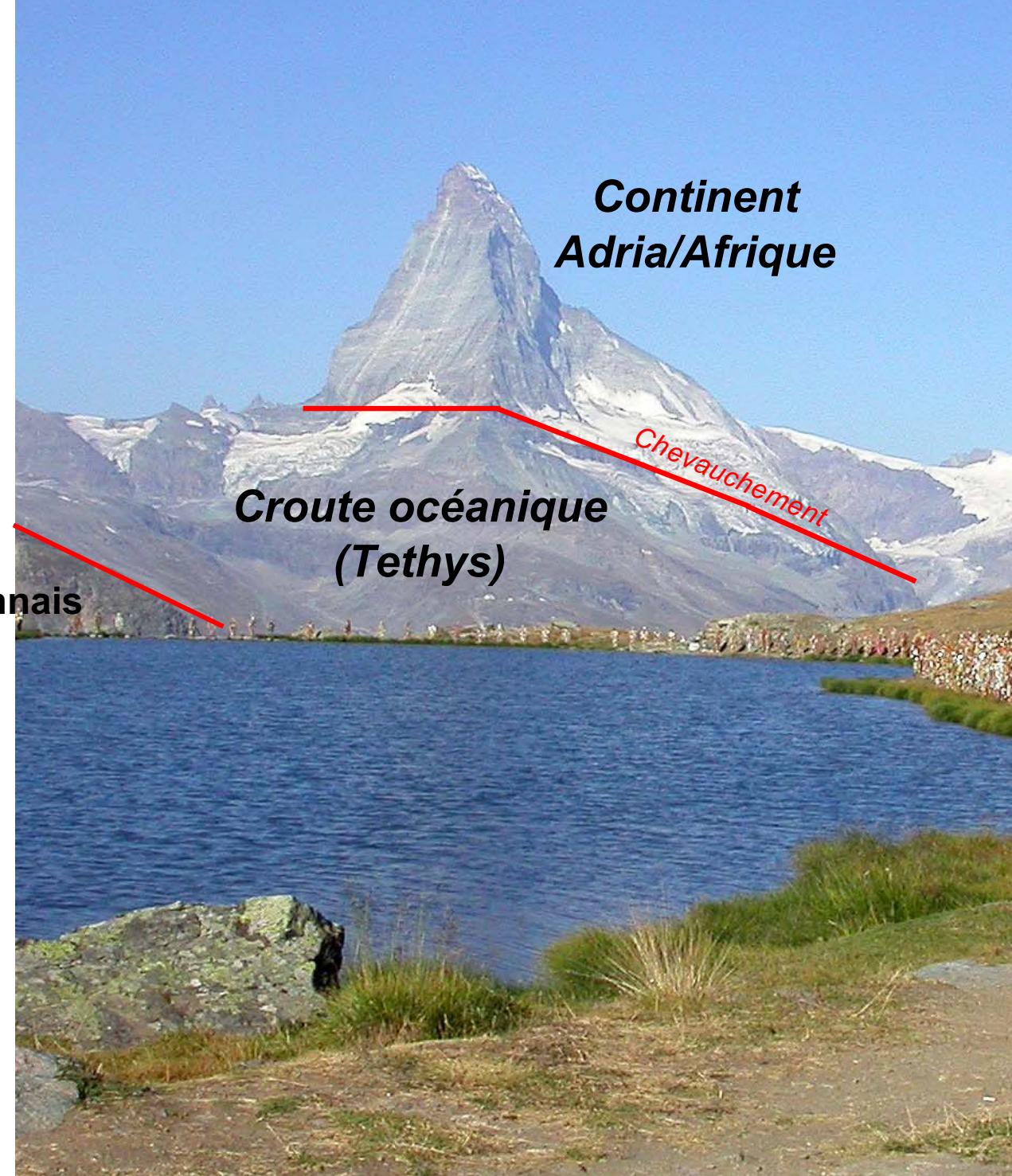
Exemples des roches d'une dorsale fossile dans les Alpes: fortement déformé



Géologie du Cervin

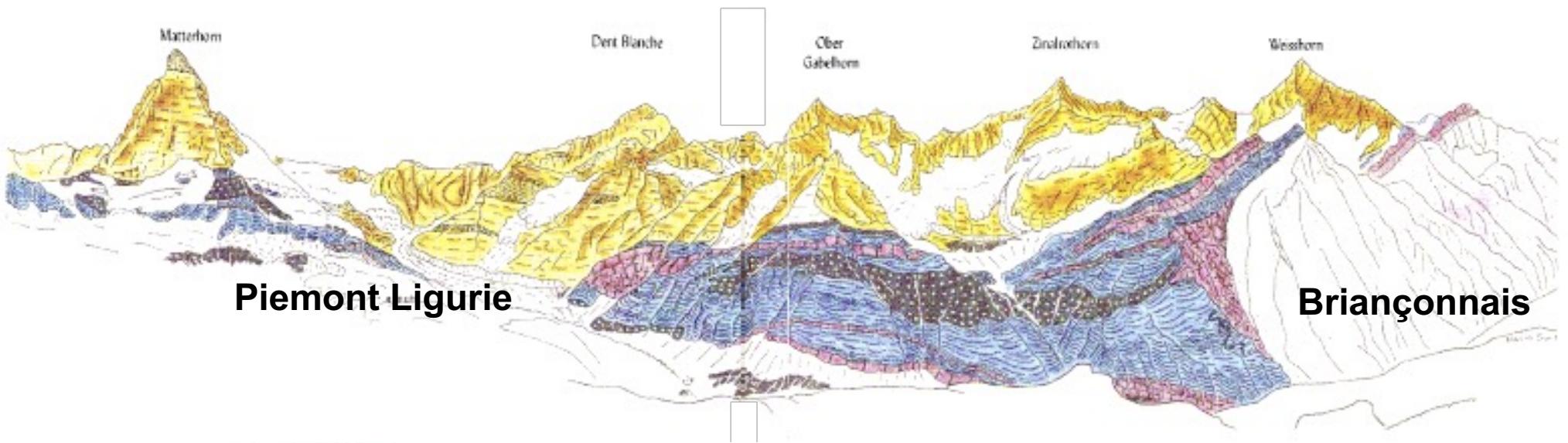


le sandwich océanique



Panorama de la géologie entre Weisshorn et Cervin

Adria (Austroalpin)



Gneiss de l'ancien continent africain



Sédiments crétacés de l'océan disparu



Lambeaux de croûte océanique jurassiques



Sédiments marins de la plate-forme briançonnaise



Gneiss du microcontinent briançonnaise



Ober Gabelhorn

Zinalrothorn

Weisshorn

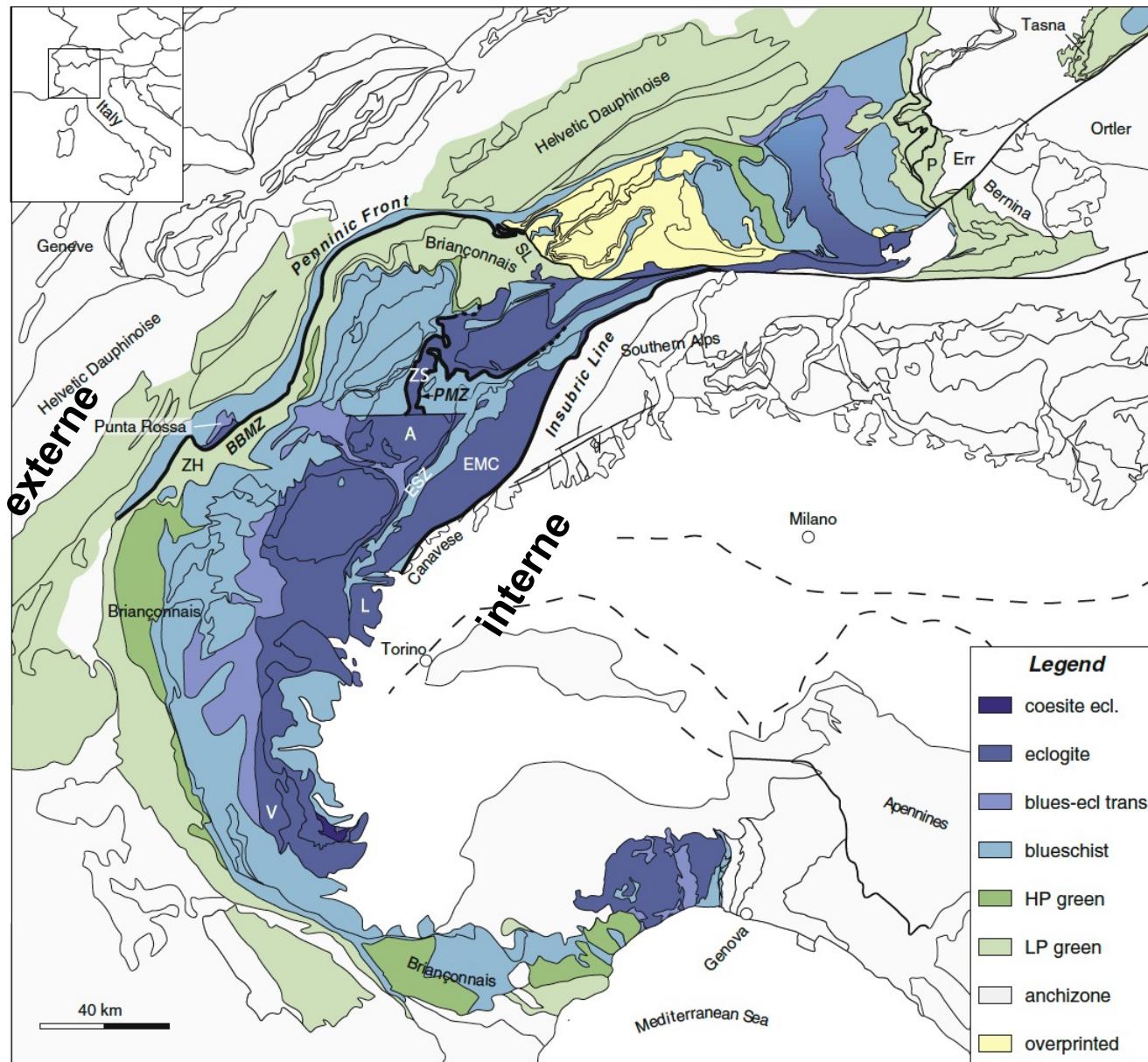


nappe de la Dent Blanche

nappe du Tsaté

nappe de Siviez-Mischabel

Zonation métamorphique des Alpes de l'Ouest

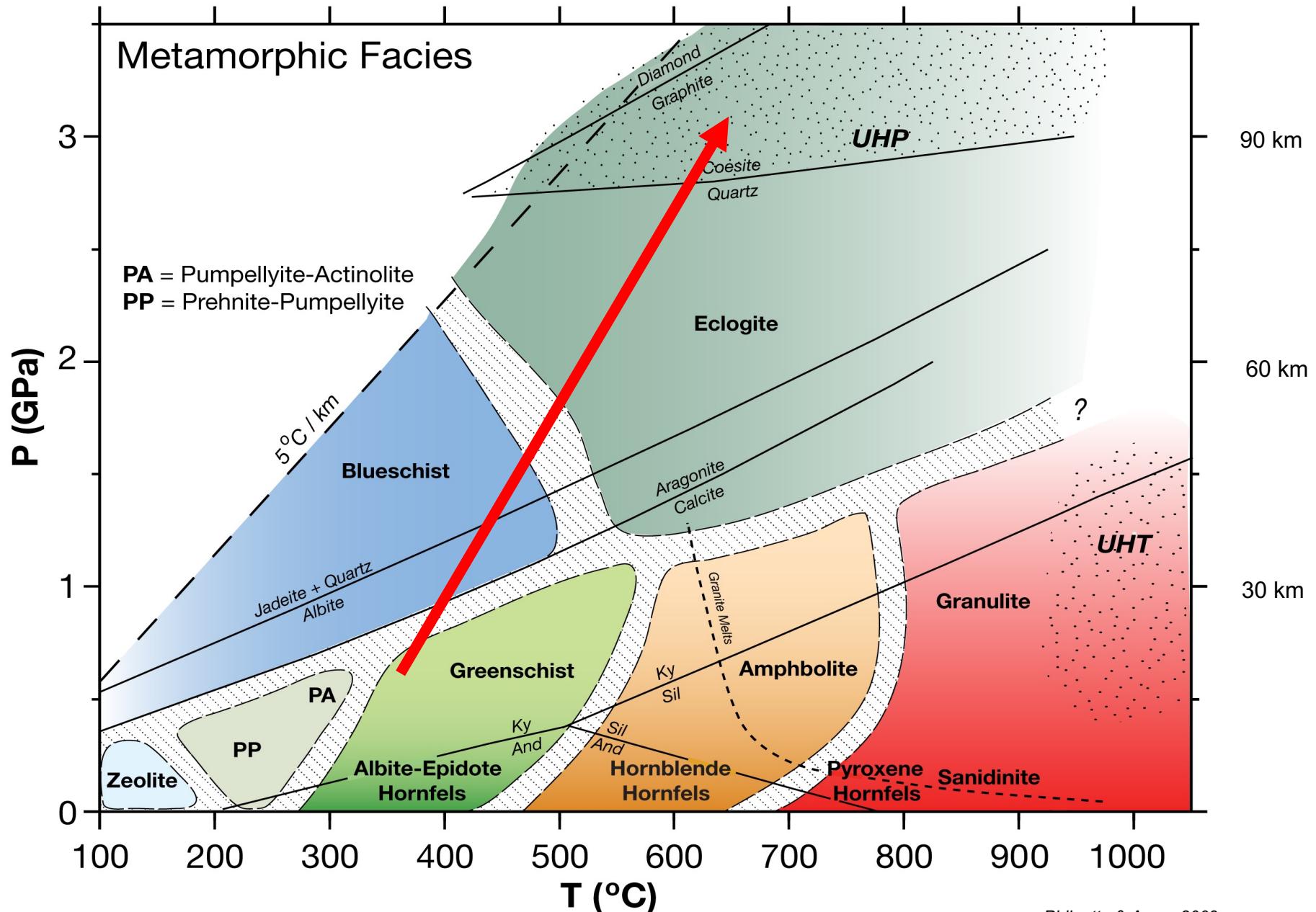


Zonation du métamorphisme de l'externe vers l'interne

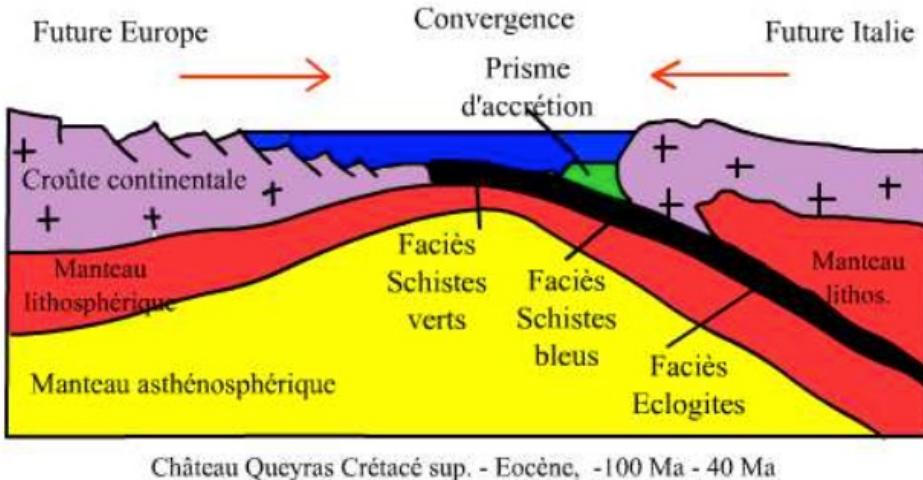
- Schiste vert inf.
- Schiste vert sup.
- Schiste bleu
- Eclogite
- Coesite eclogite (UHP)

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

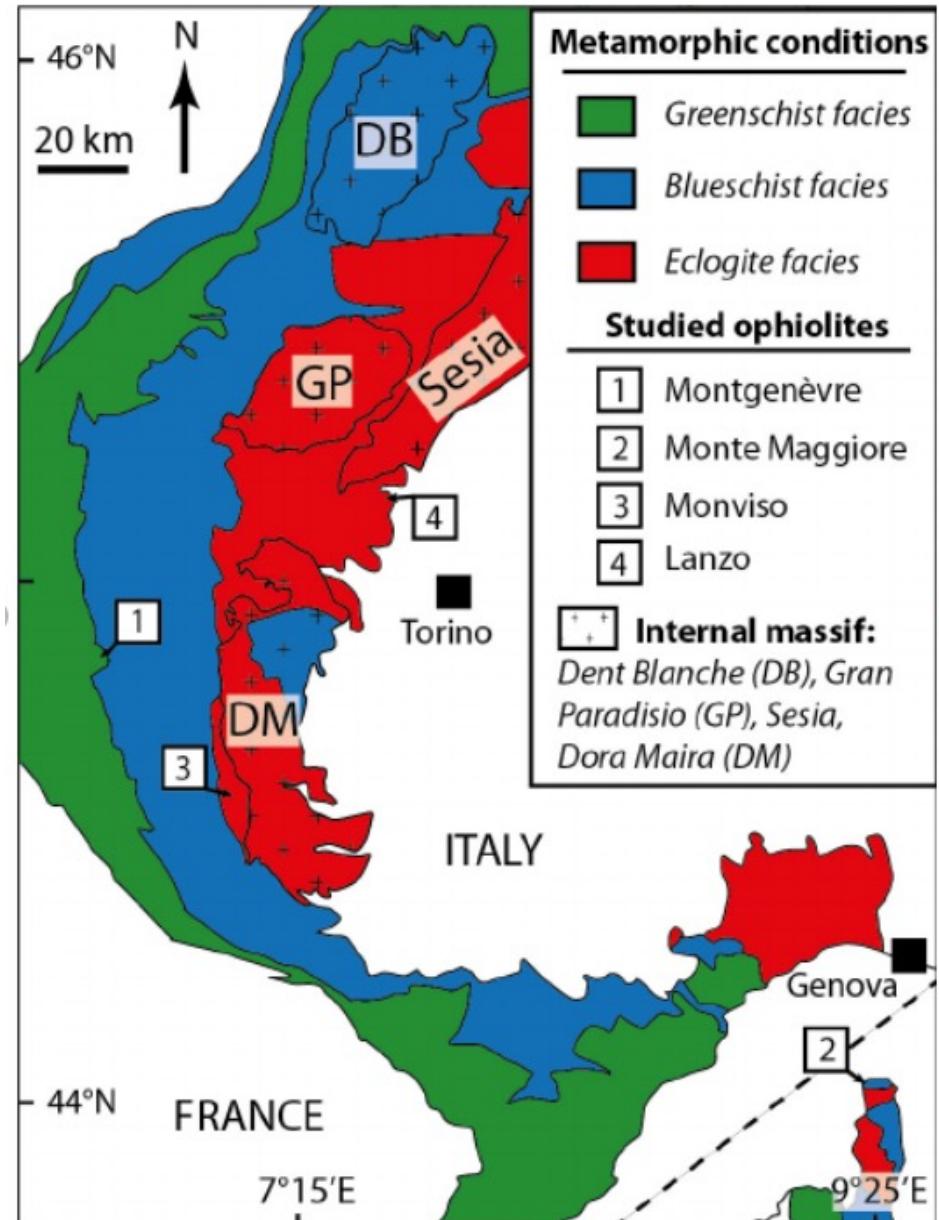
Pour rappel: facies métamorphique



Subduction de l'Europe sous l'Afrique !



Samuel Remerand



Geological map of the Western Alps showing the metamorphic facies and the spatial distribution of studied ophiolites. The numbers indicate the studied ophiolites: 1. The Mont Genèvre ophiolites (Chenaillet and Punta Rascia massifs); 2. Monte Maggiore ophiolite; 3. Mon Viso ophiolite and 4/Lanzo ophiolite.

Roches tipiques du métamorphisme eclogitique à Zermatt

Eclogite Facies Pillow Basalt



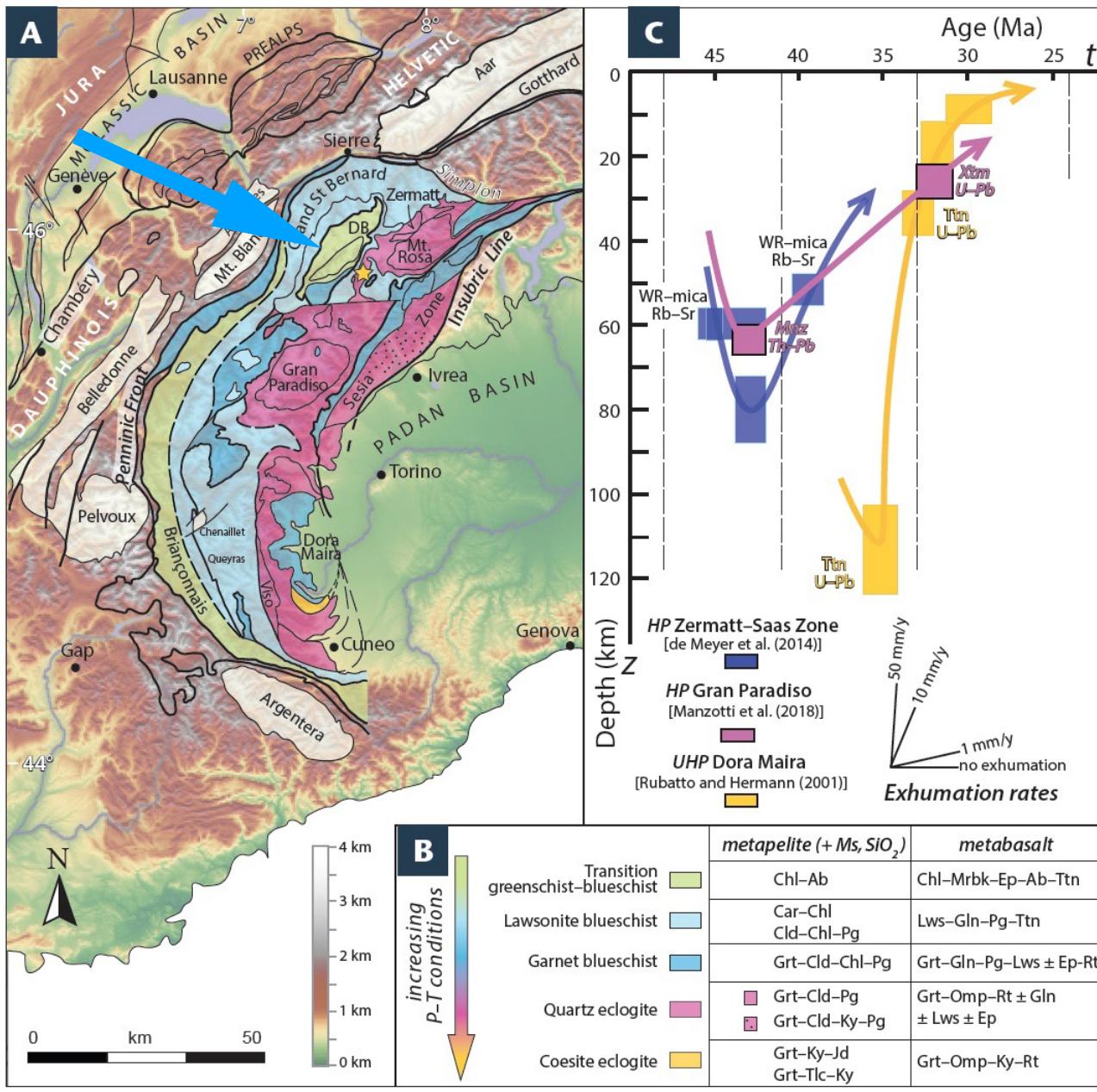
Eclogite facies gabbro



Eclogite facies basalte (minéraux: grénat, pyroxène)



Les chemins pression-température-temps de cette subduction



Différentes nappes enregistrent des chemins p-T-t

radiogenic age dates

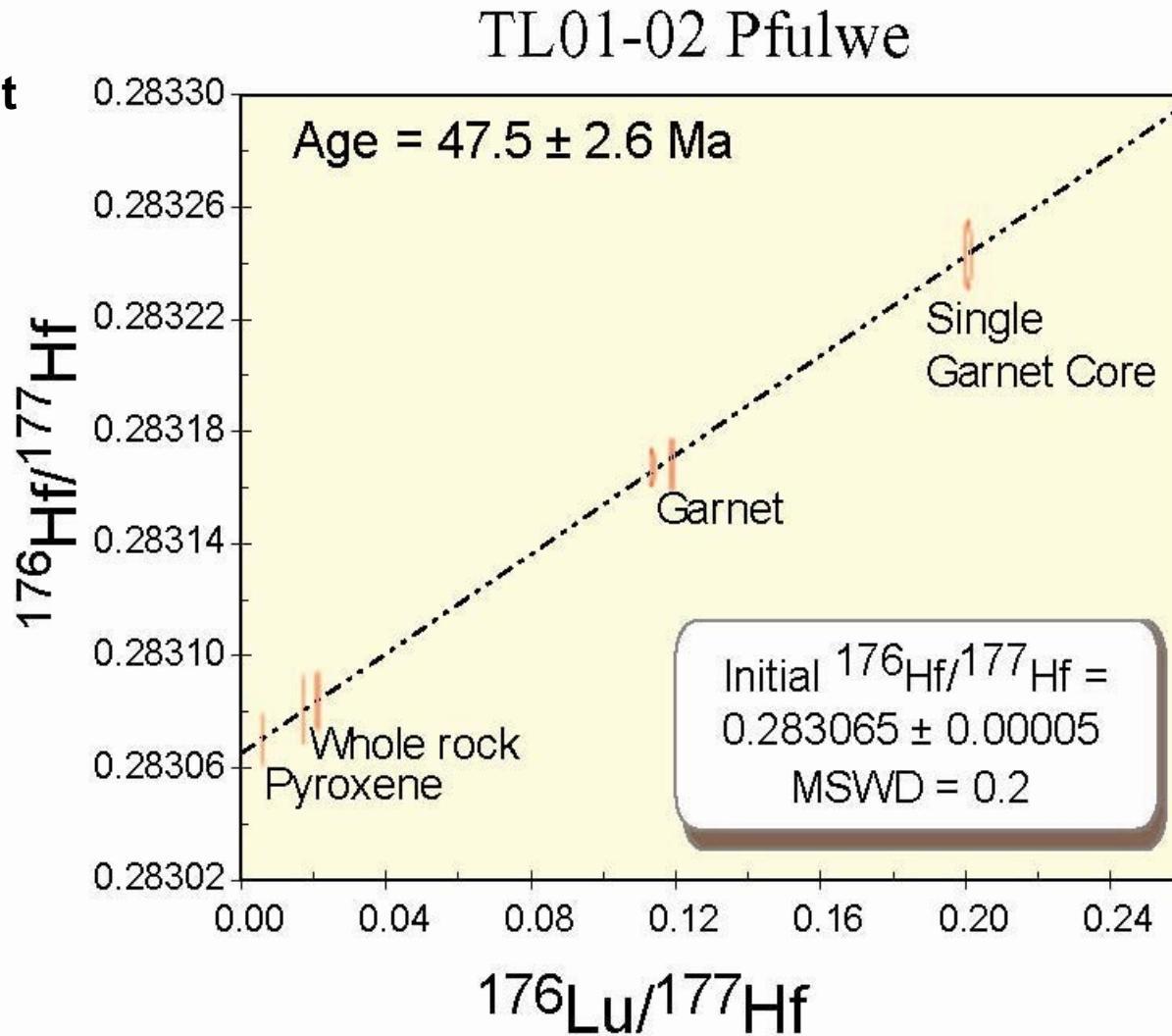
phase petrology => P,T

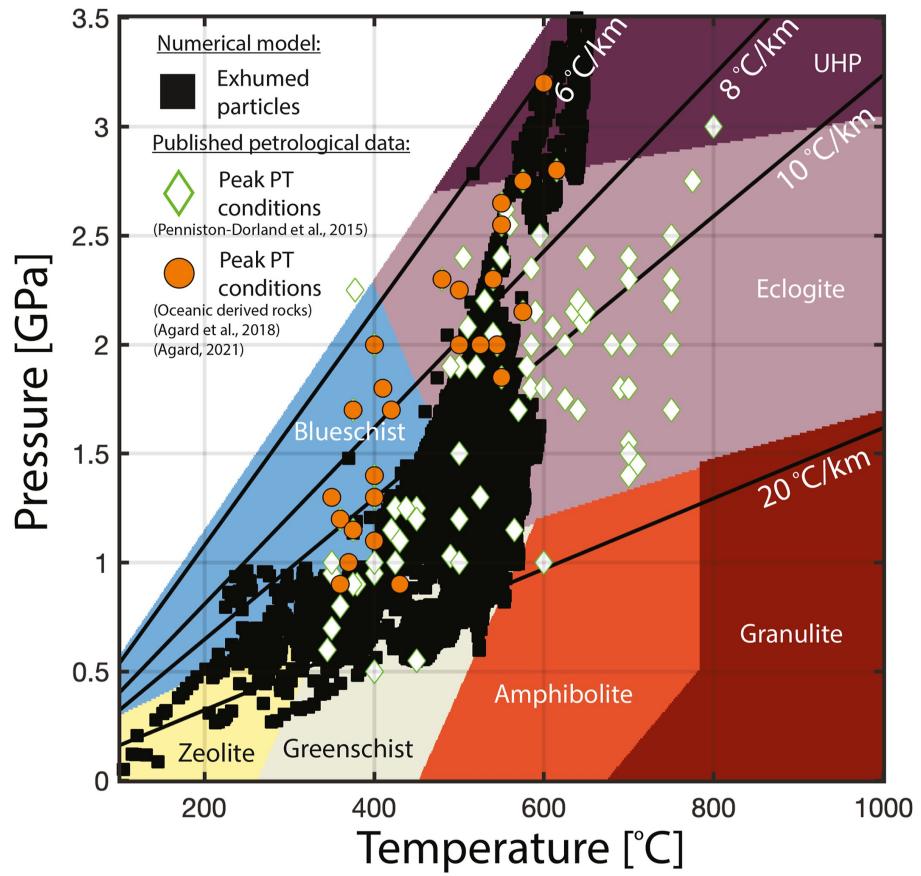
very localised UHP
Lago Cignana, Dora Maira

Hypothèse
 $P_{\text{litho}} = \rho g z$

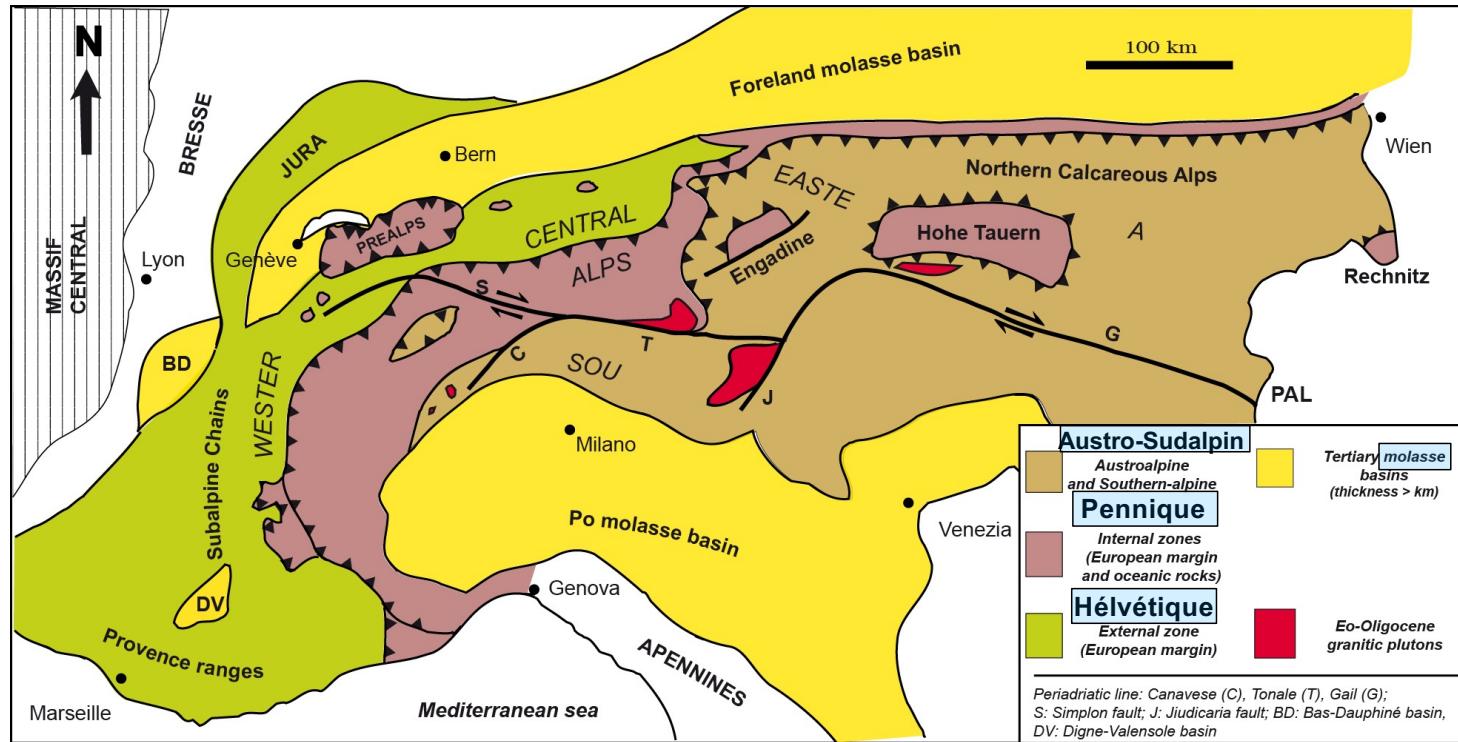
Un exemple pour des éclogites de Saas Zermatt (datation radiogénique)

Datation des minéraux et
calcul d'un isochrone

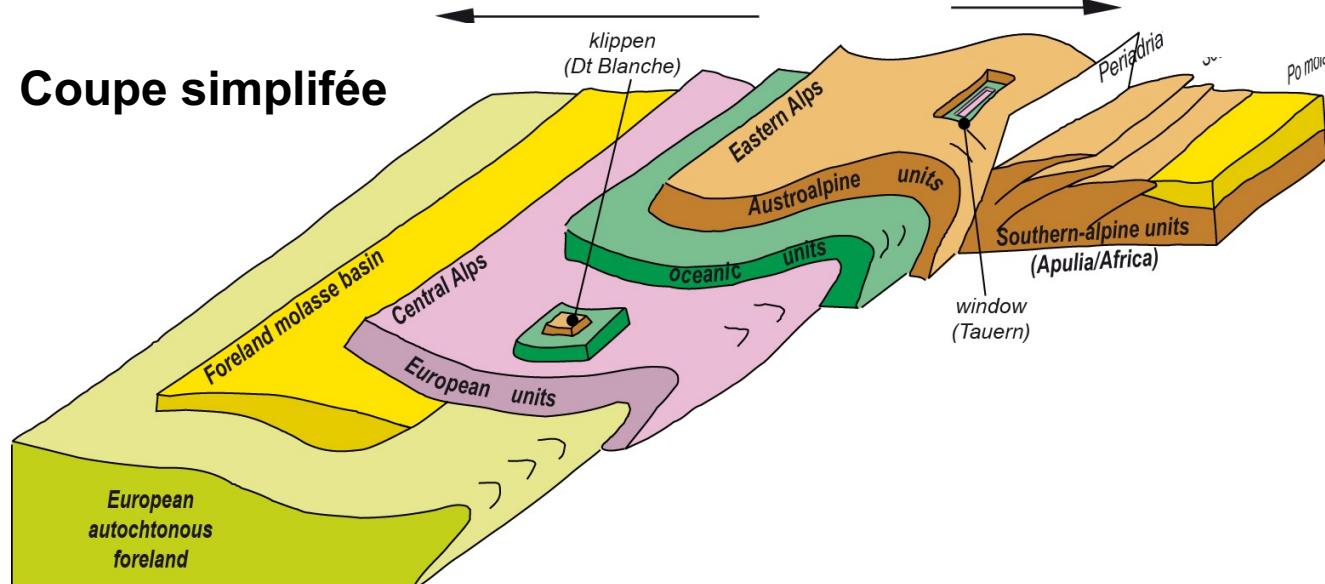




Vaughan Hammon et al., 2022.
Gcubed 23 (8)



Coupe simplifiée

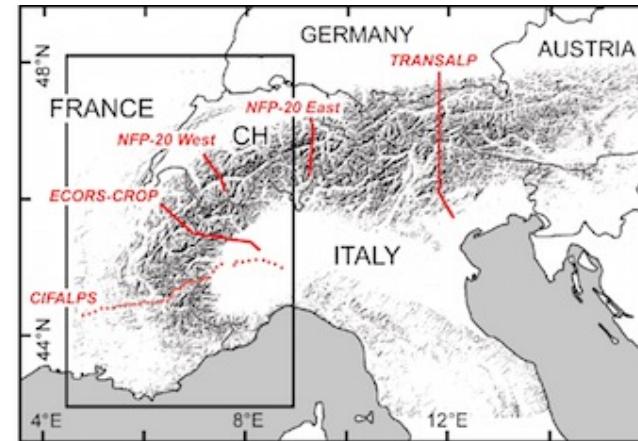


Europe

Apulia

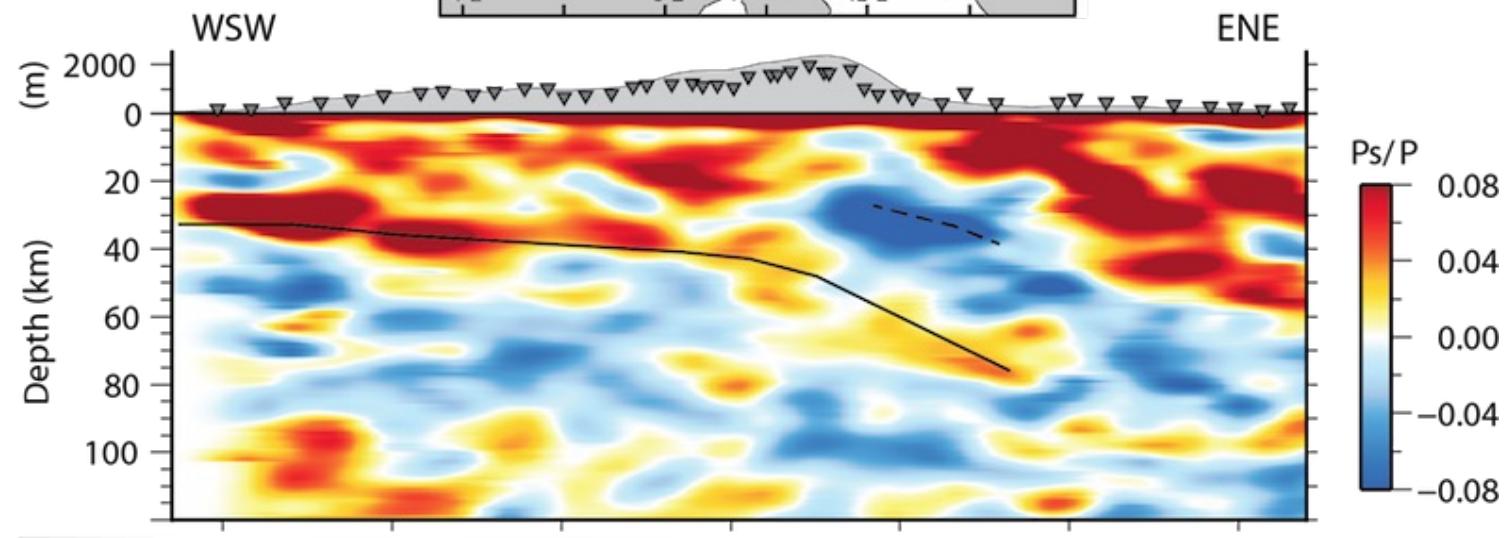


Tomographie sismique
Permet d'interpréter la
structure profonde des Alpes

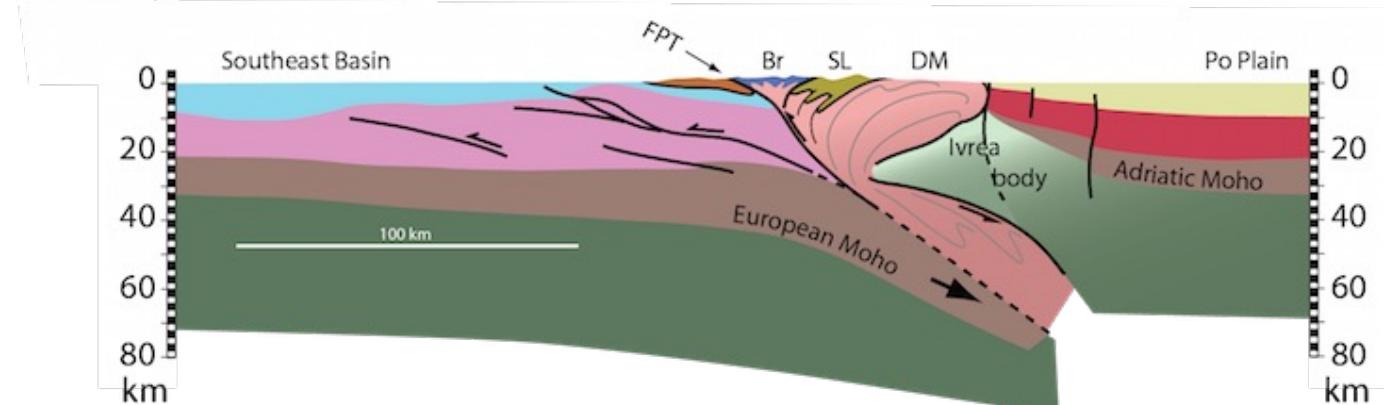


Carte des Alpes

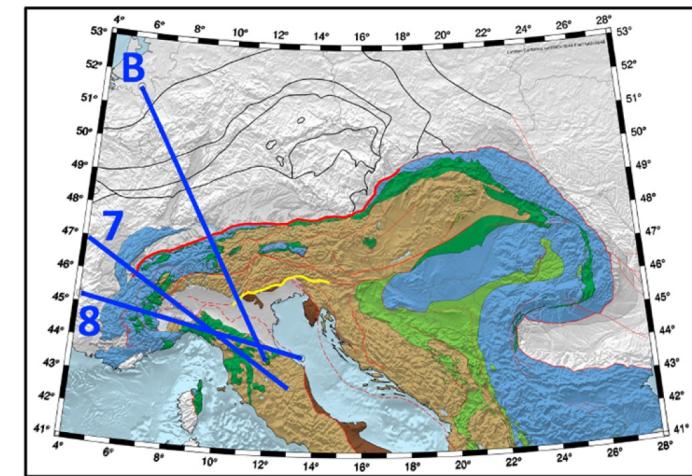
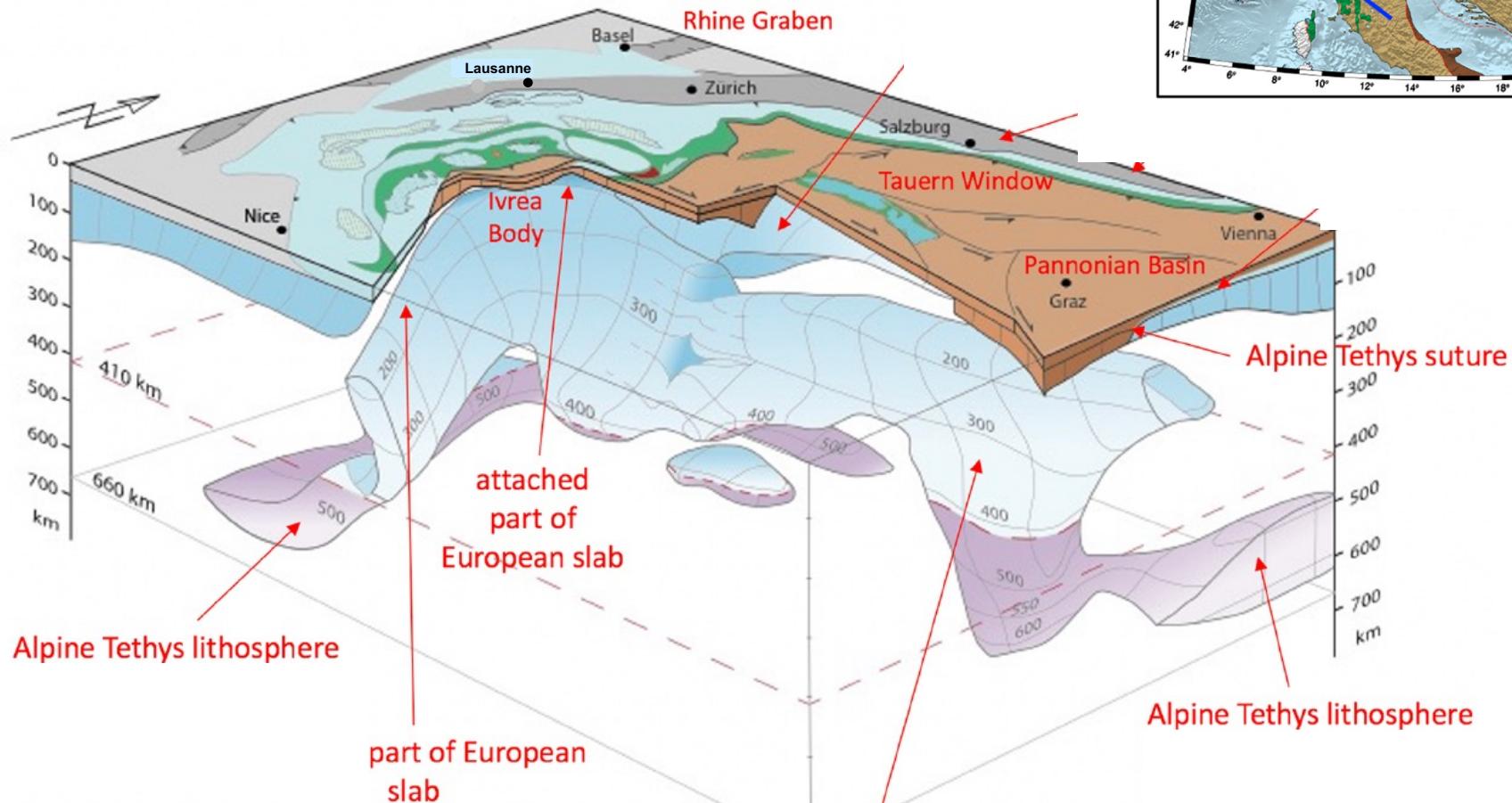
Tomographie
sismique



Interprétation
géologique



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



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

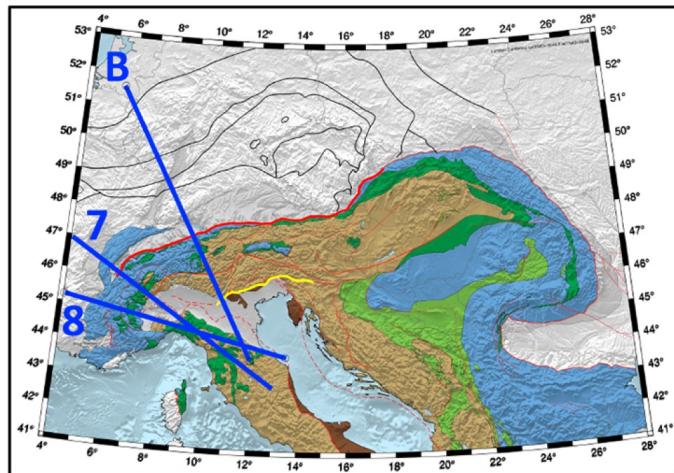
Handy et al. 2021 Solid Earth

Tomographie sismique:

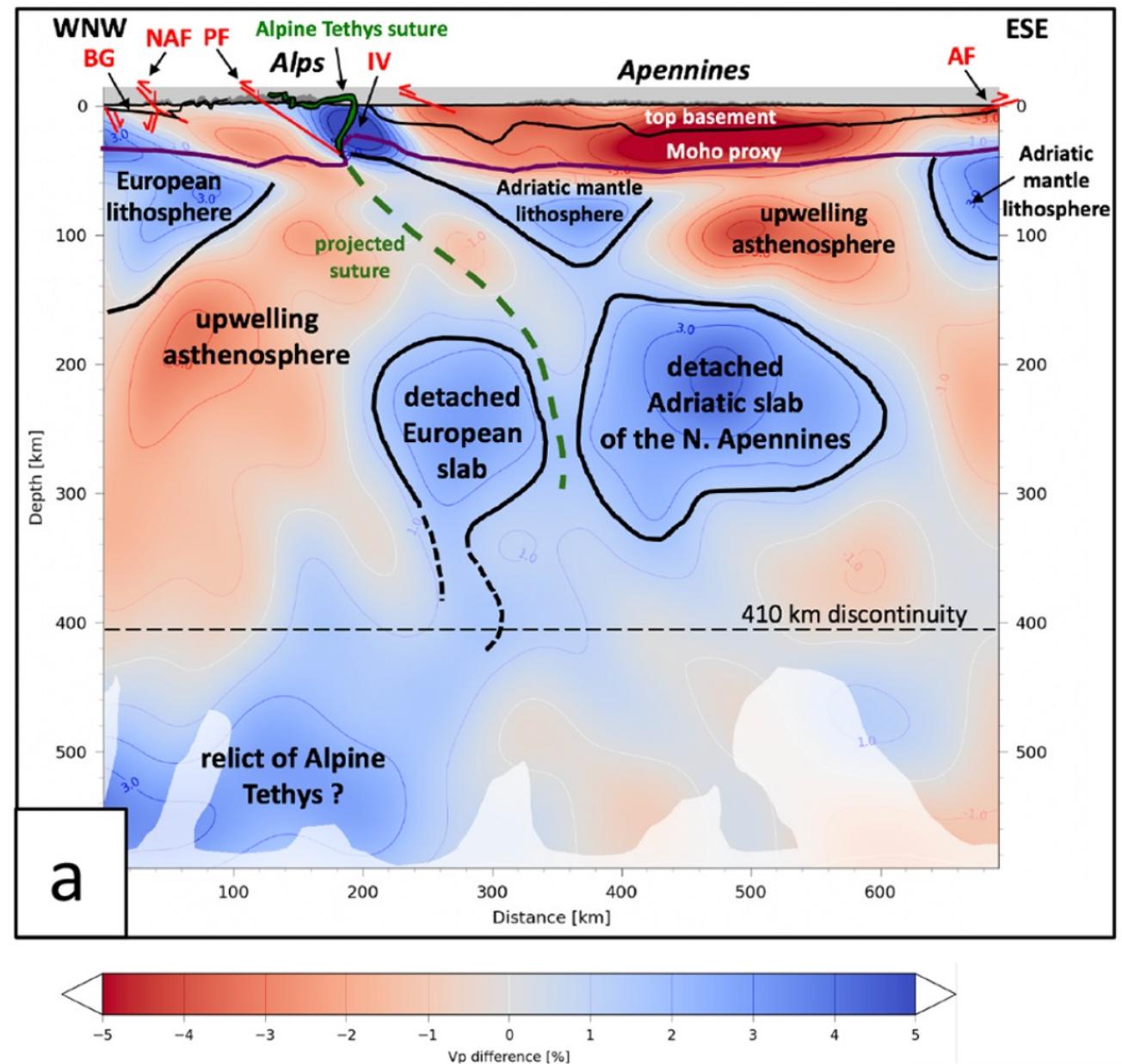
Données de temps de trajet sismique (p.e. v_p) sont comparées à un modèle terrestre initial.

Bleu: vitesse plus rapide que le modèle de référence
Rouge: vitesse plus lente que le modèle de référence

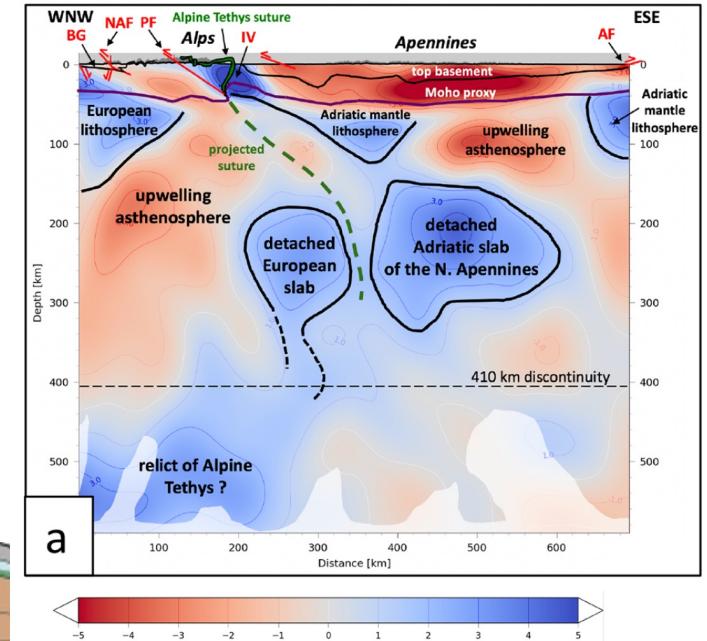
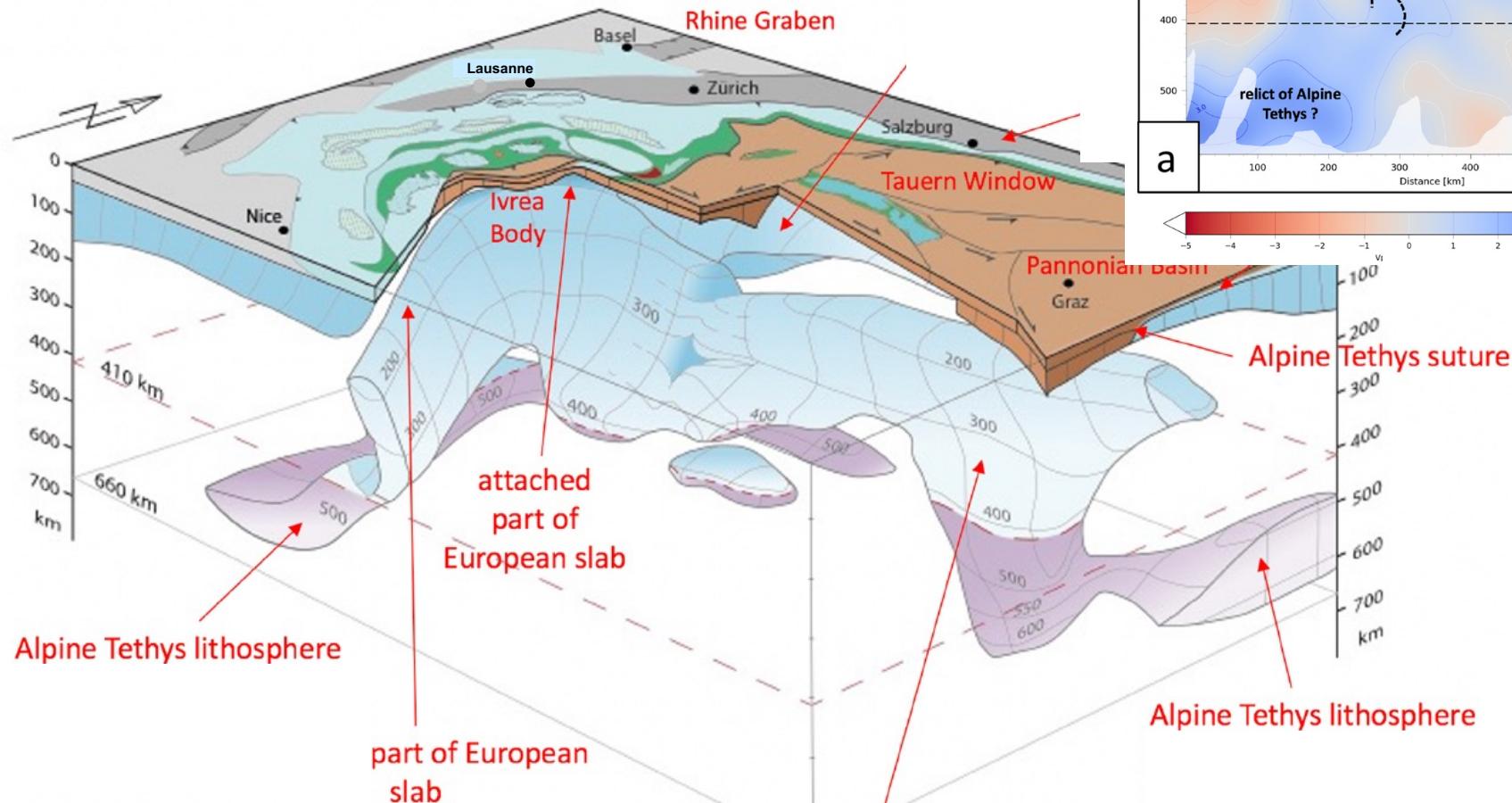
Solutions non-unique:
 interprétées comme des variations structurelles,
 thermiques ou de composition



Coupe - W. Alps - N. Apennines



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

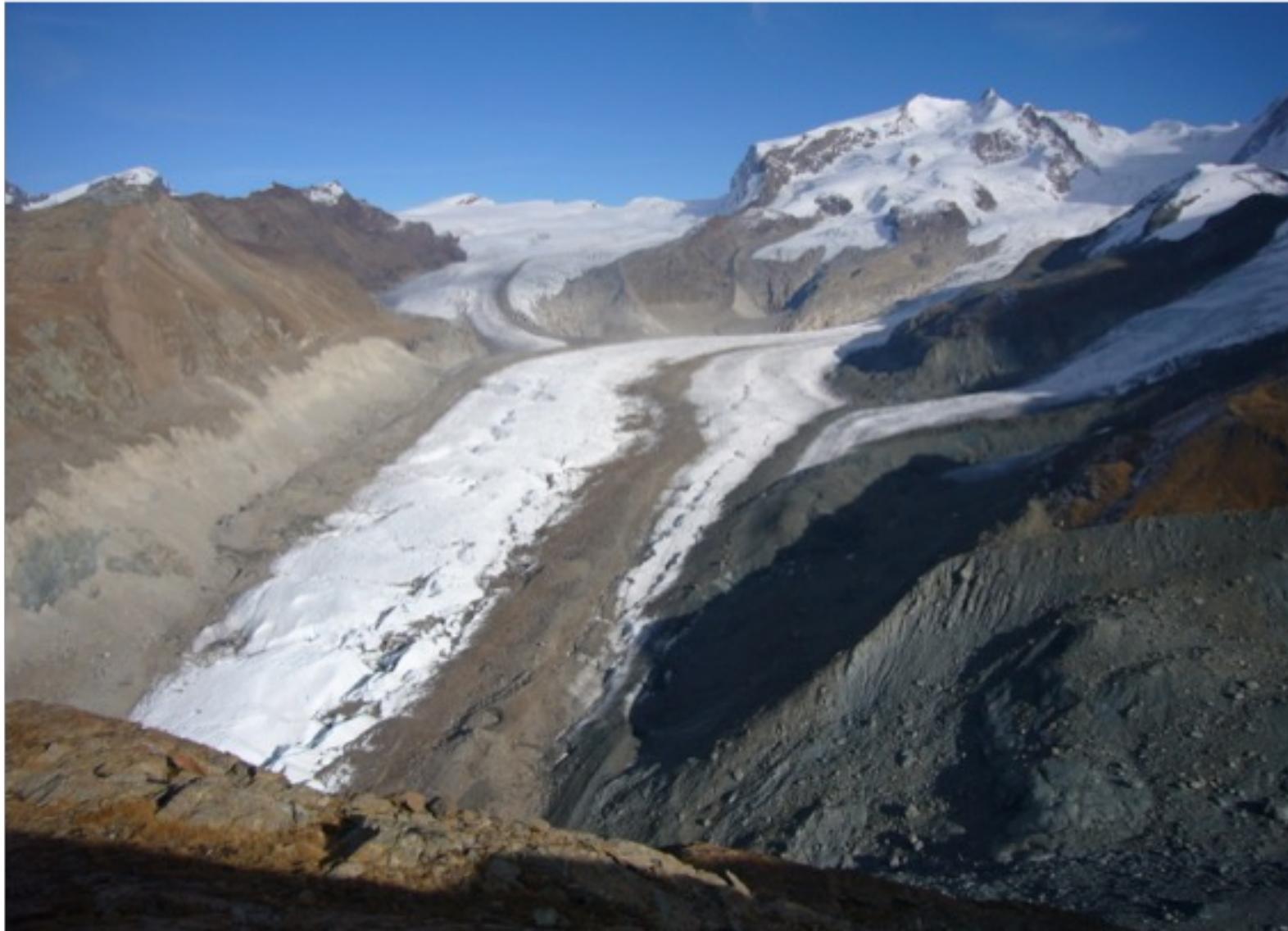


Interprétation géologique: Croute continentale et océanique subductée et recyclée en profondeur

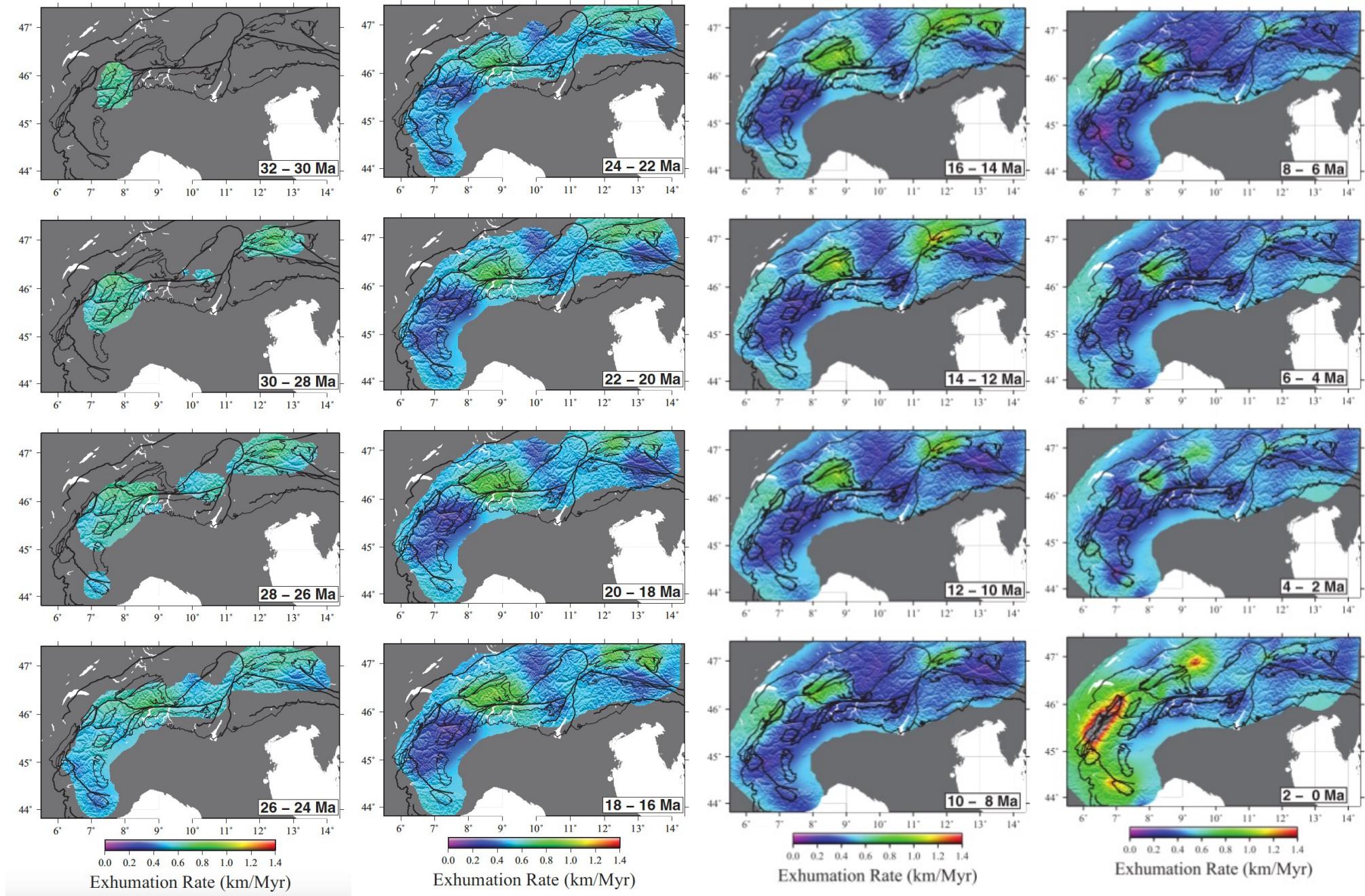
Handy et al. 2021 Solid Earth

Les Alpes: Géologie actif ?

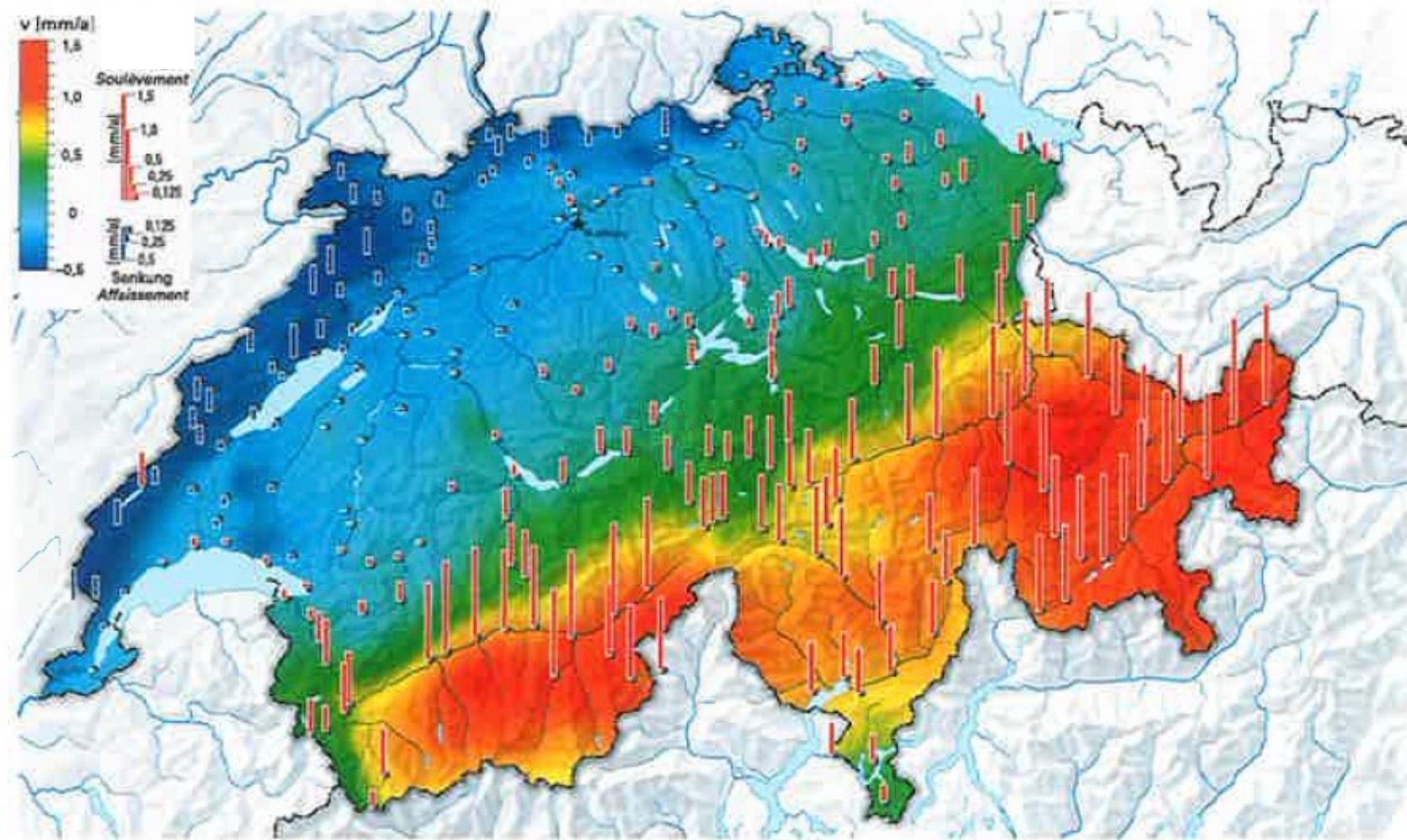
Topographie = f (vitesse d'érosion, soulèvement, type de roche)



Soulèvement dans les Alpes: dernier 30 millions d'années

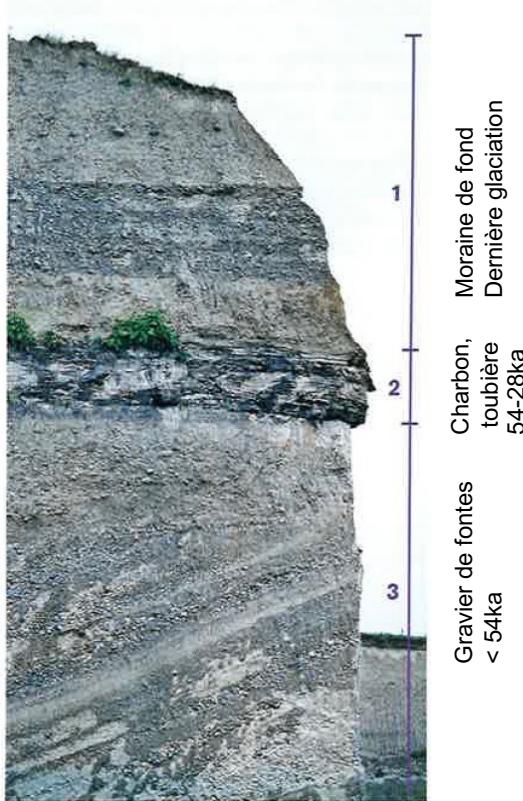


Soulèvement (et affaissement) aujourd'hui



Les glaciations: facteurs d'érosion

Coupe d'une gravière (Gossau)



Gnägi and Labhart, 2015

Et aujourd'hui? Tremblements de terre en Suisse, sismicité, danger (aléat), risque



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

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

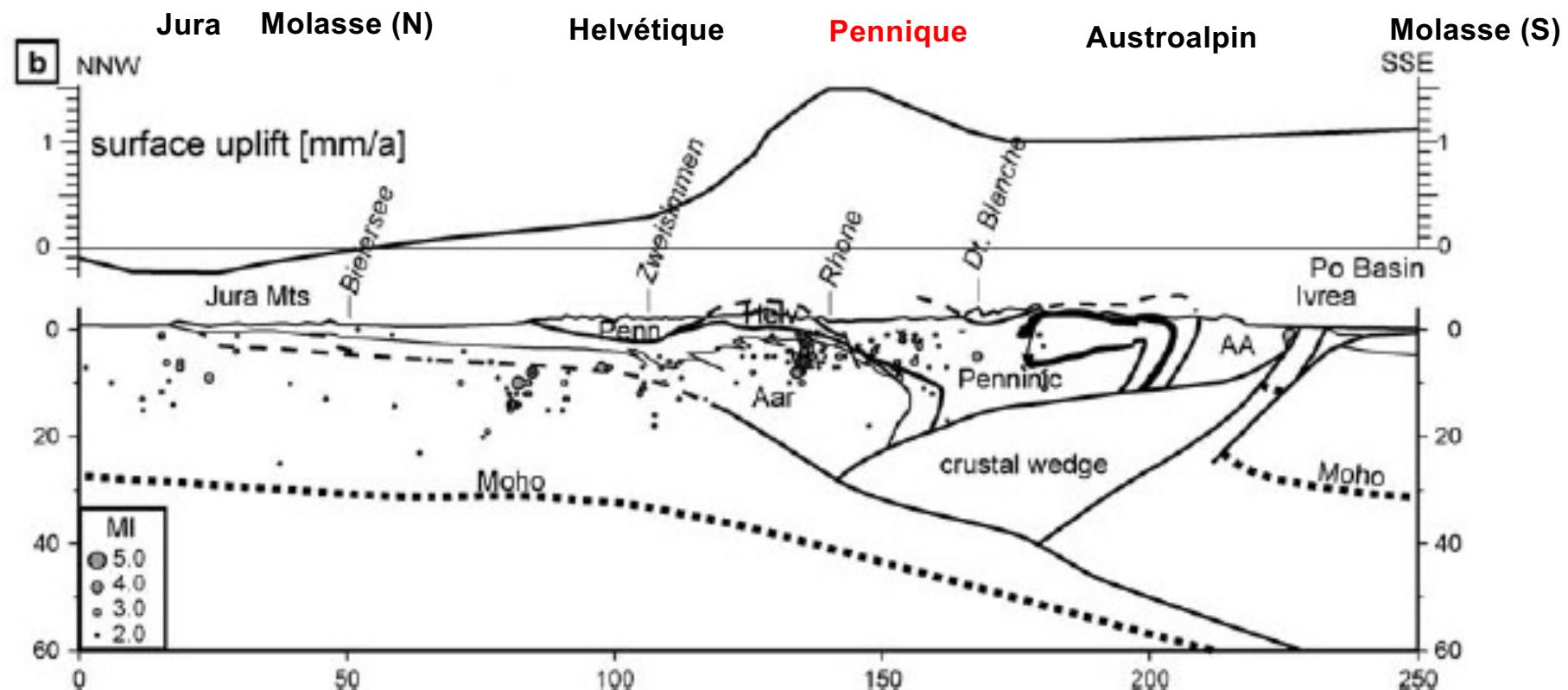
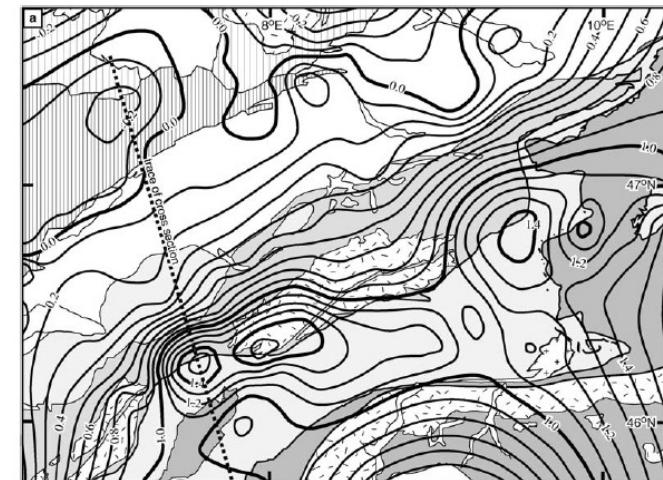


Fig. 2. (a) Surface uplift map of Switzerland. Surface uplift in mm/a, reference point is Aarburg (after Kahle *et al.* 1997). Schlatter *et al.* (2005) report slightly lower maxima. For legend, see Figure 1. (b) Comparison of surface uplift and seismicity along a cross-section. Earthquakes are plotted 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.)

Magnitude des tremblements de terre

- 1979: definition of a standard magnitude scale: **moment magnitude**, M_W
- **energy = seismic moment** $M_0 = \mu \cdot A \cdot D$ [J, or N·m]
 A : rupture area [m^2]; D : average slip [m]; μ : shear modulus [Pa], e.g. crust: 32 GPa
- $M_W = 2/3 (\log_{10} M_0 - 9.1)$ (–16.1 if M_0 is in dyn·cm)
- This is a **logarithmic scale** with a multiplier, which means that
 - +1 in $M = 10^{1.5} = \underline{\hspace{2cm}}$ times more energy
 - +2 in $M = 10^3 = \underline{\hspace{2cm}}$ times more energy

Histoire récente des tremblements de terre en CH (11.11.2024)

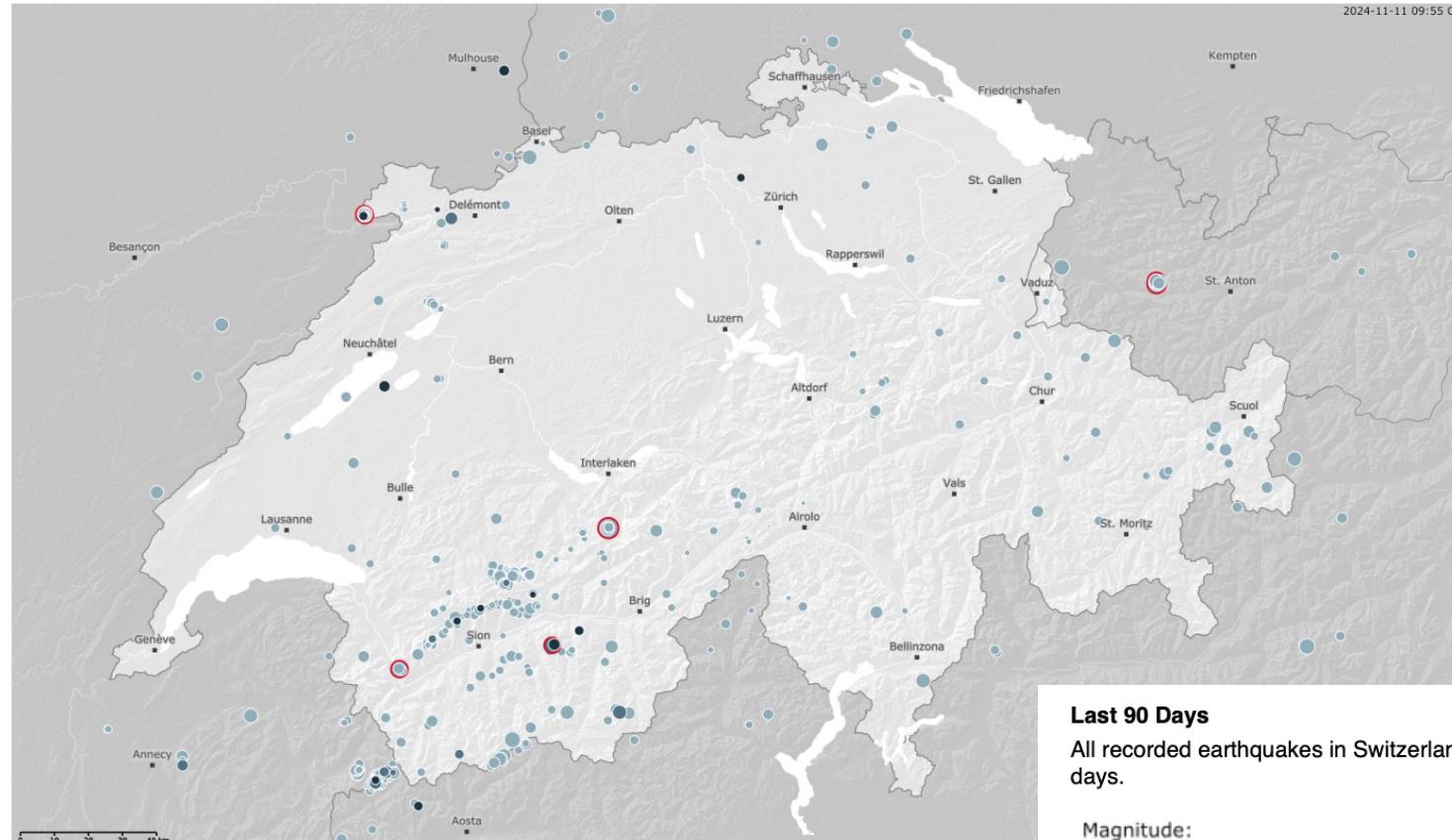
Earthquake Map Switzerland



Schweizerischer Erdbebendienst
Service Sismologique Suisse
Servizio Sismico Svizzero
Swiss Seismological Service



Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich



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

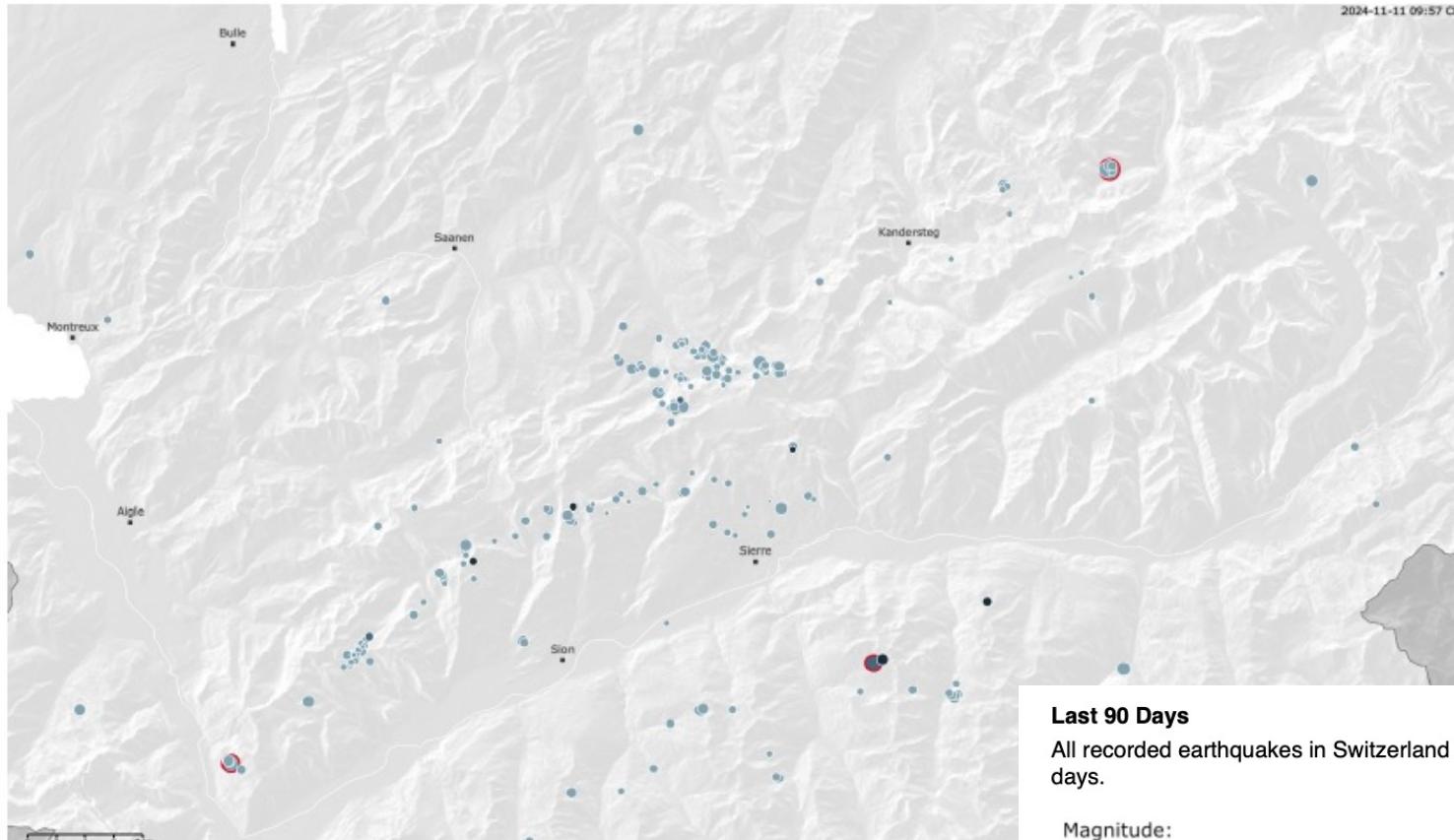
Histoire récente des tremblements de terre en Valais (11.11.2024)

Earthquake Map Switzerland

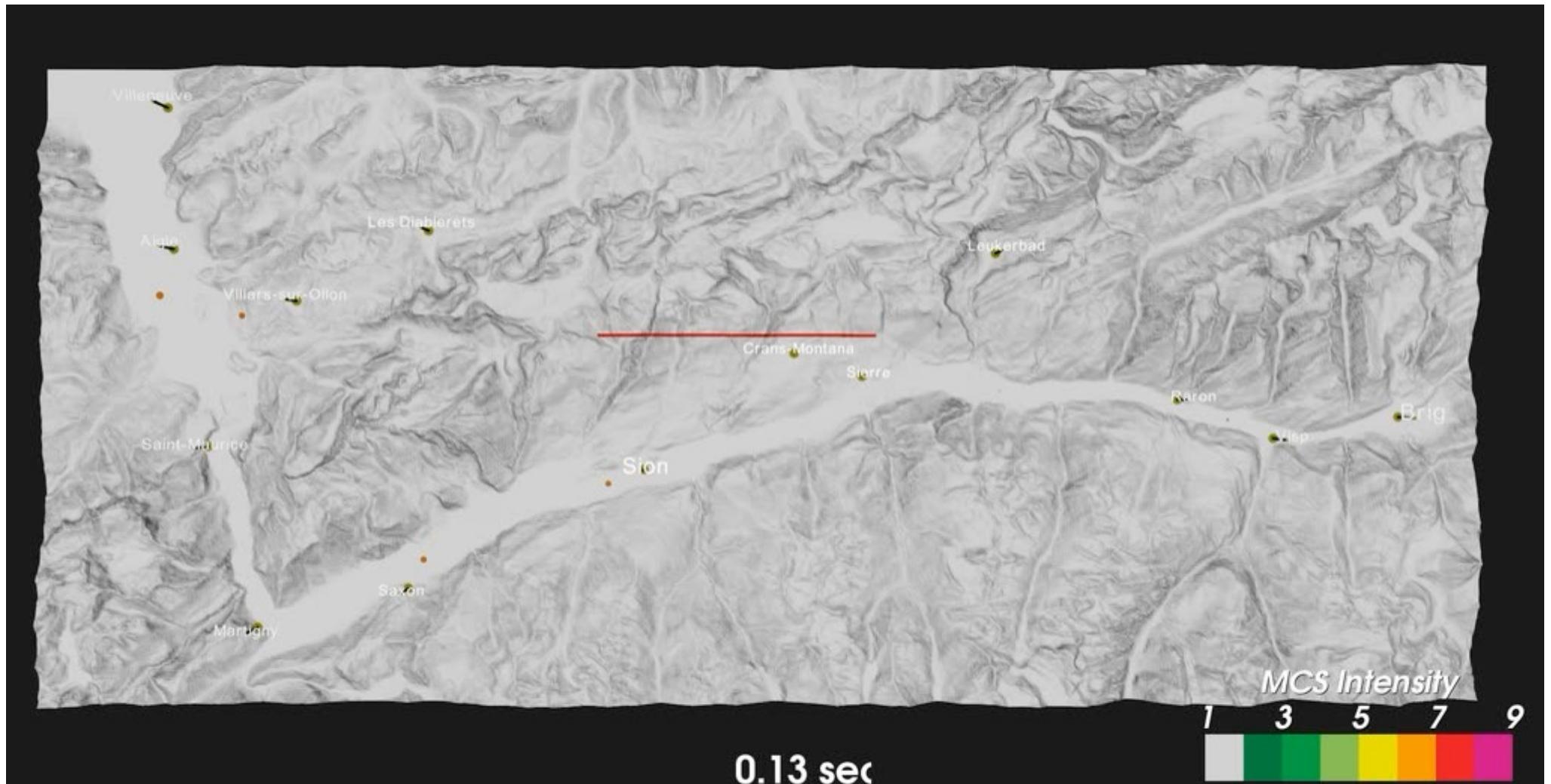


Schweizerischer Erdbebendienst
Service Sismologique Suisse
Servizio Sismico Svizzero
Swiss Seismological Service

ETH
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zürich



Le tremblement de terre en Valais 1946: 5.8



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

Distribution des tremblements de terre en Suisse

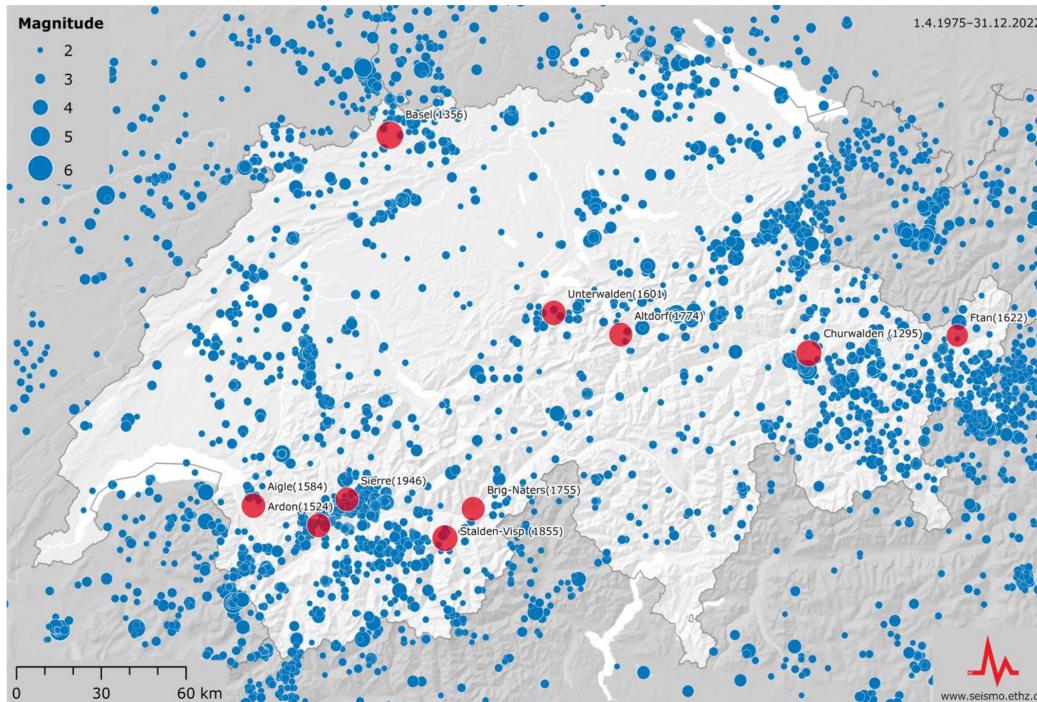


Figure 1.1. Map of the instrumentally recorded earthquakes between 1975 and 1922 (in blue), together with the location of the 10 strongest historical earthquakes (in red).

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

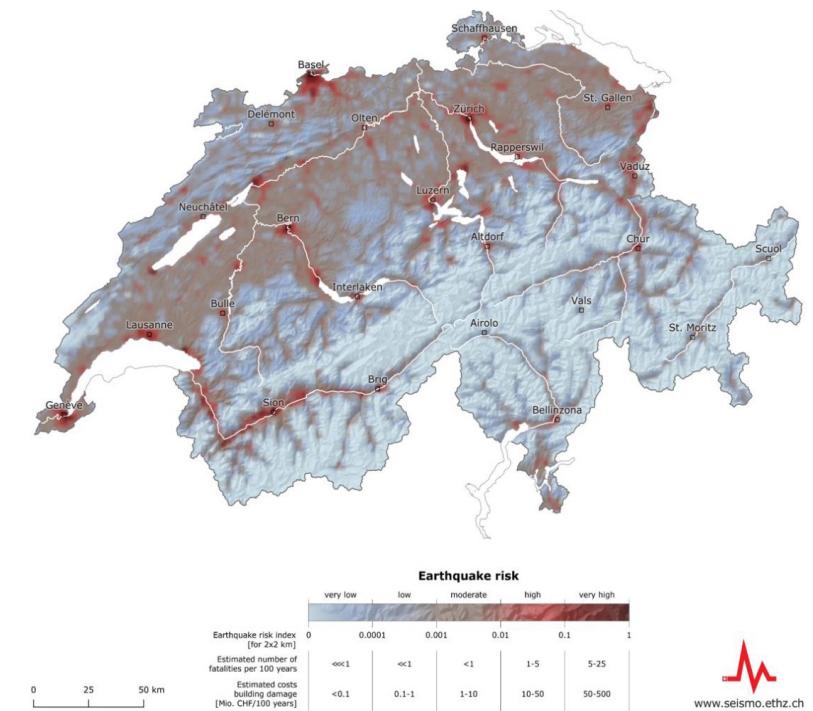
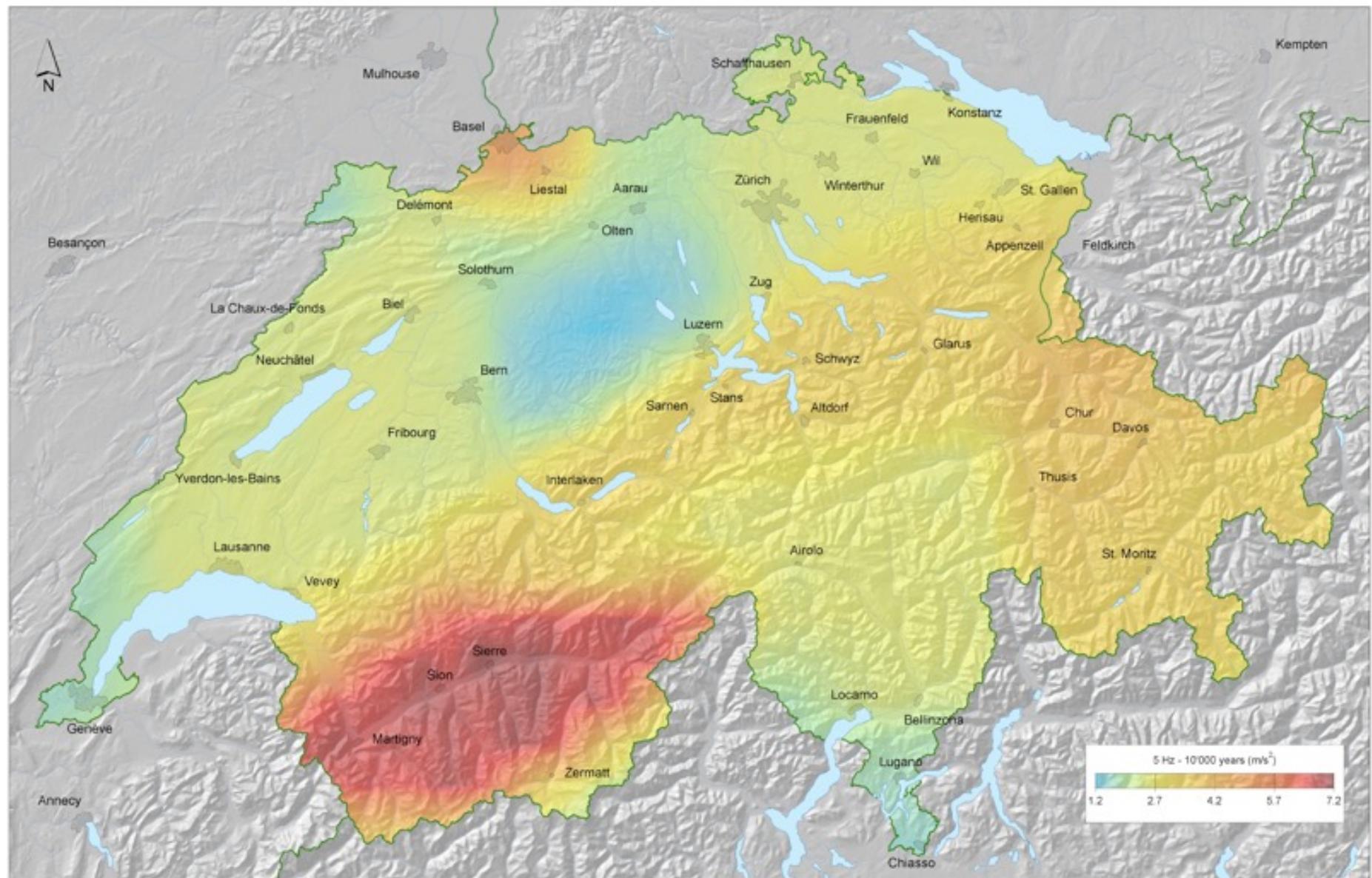


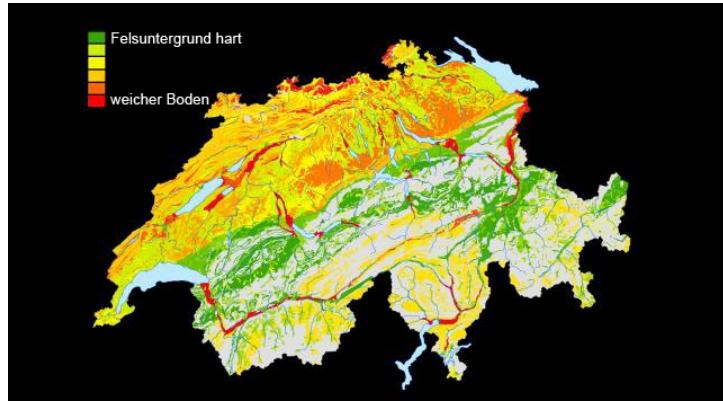
Figure 11.5: The earthquake risk map of Switzerland depicts an index that combines the number of fatalities and financial losses due to building damage expected in a 100-year period.

La carte des risques sismiques en Suisse
Risque sismique: Comment construit ?

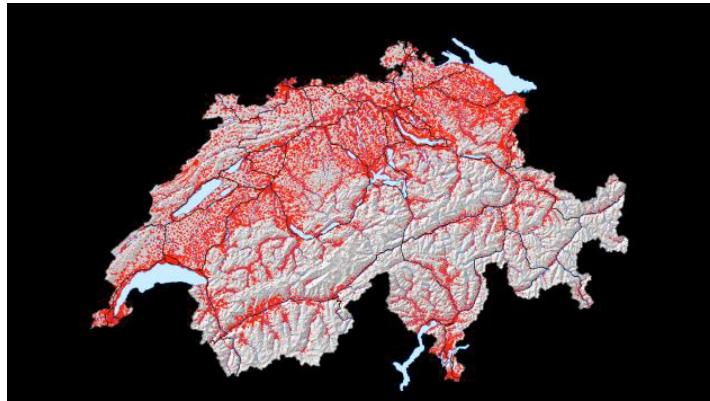
... per 10'000 years, force maximale d'un tremblement de terre



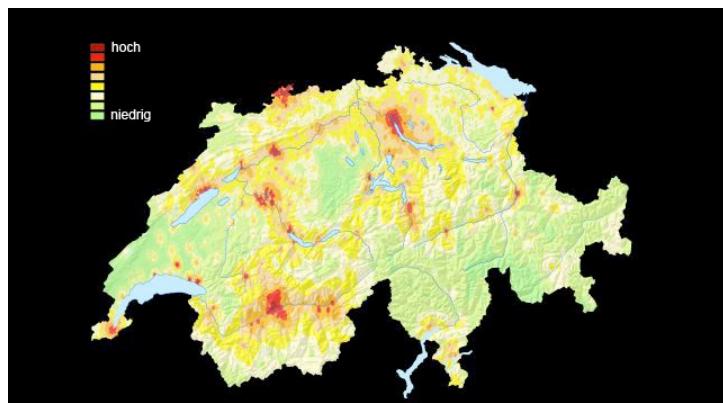
C'est quoi le risque?



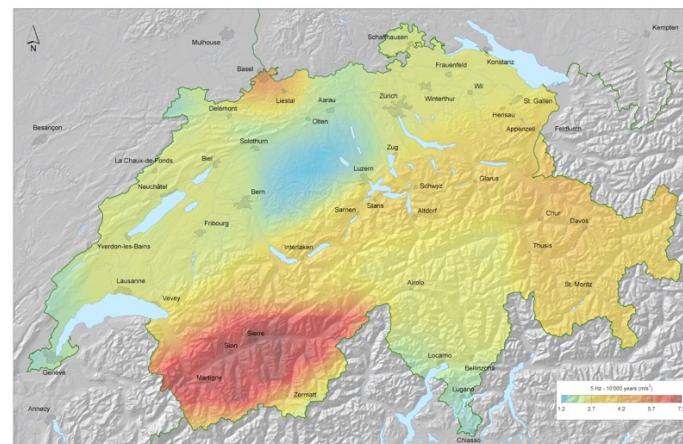
Carté géologique locale du souterrain:
En rouge: zone particulièrement vulnérable



Répartition des implantations en Suisse



Répartition du risque de tremblement de terre financier
(source: CatFocus PartnerRe)



Estimation d'un tremblement de terre d'une certaine
magnitude en 10'000 ans

Effets secondaire / risks:

Basel 1356
MW 6.6



Déclenchement des
glissements de terrain:

Sierre 1946 MW 5.8



Figure 8: The 1946 earthquake of Sierre: Photographs of the collapsed ceiling in the Chippis and of the landslide off the Rawylhorn, triggered by an aftershock of the main shock, as well as a map of the inferred macroseismic intensities.

Glissement de terrain

- Flims ($\geq 9 \text{ km}^3$),
- Sion (2 km^3),
- Engelberg (2 km^3),
- Tamins (1,6 km^3),
- Kandersteg (0,9 km^3).

Flims (ca. 9500 a)



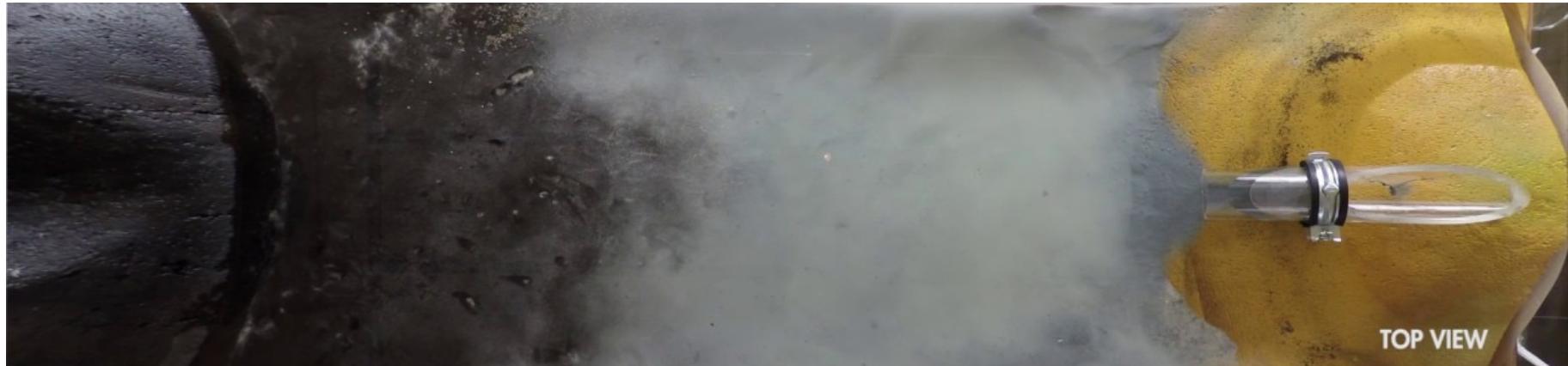
Gnägi and Labhart, 2015

Brienz (June 2023)



Glissement des sédiments sous-marin Turbidite: un dépôt déclenché par

<https://www.youtube.com/watch?v=CE4vdar8-NA>



TOP VIEW



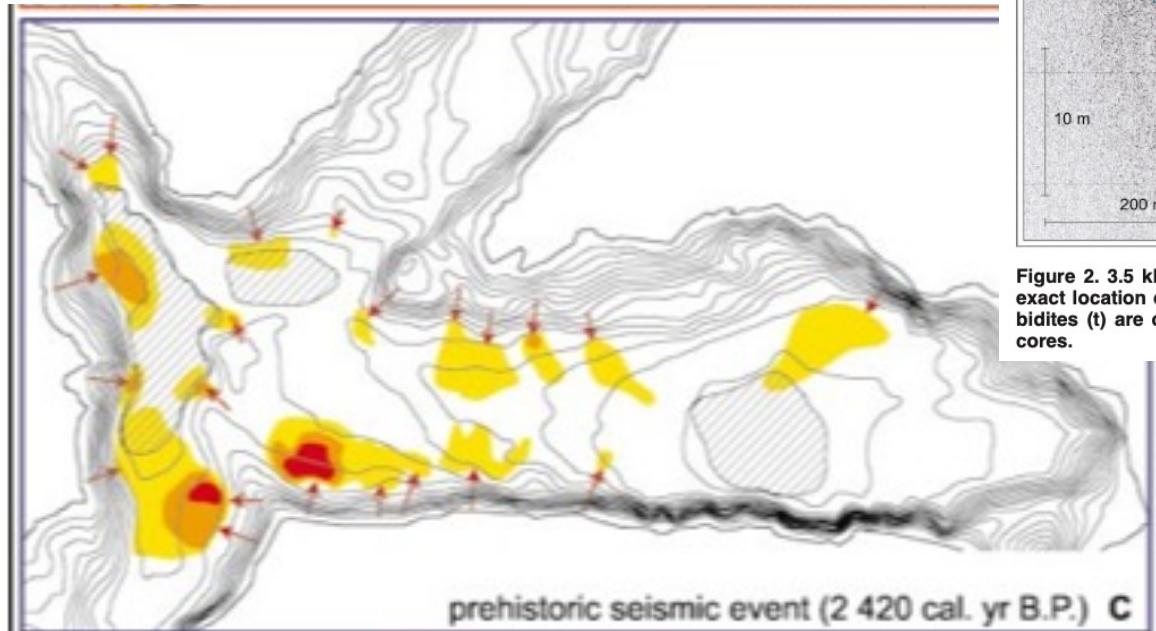
SIDE VIEW



(real speed)

Un dépôt déclenché par

un tremblement de terre



<5 m 5 - 10 m >15 m
thickness of the sediment affected
by slumping

no seismic penetration
megaturbidite
→ slump direction

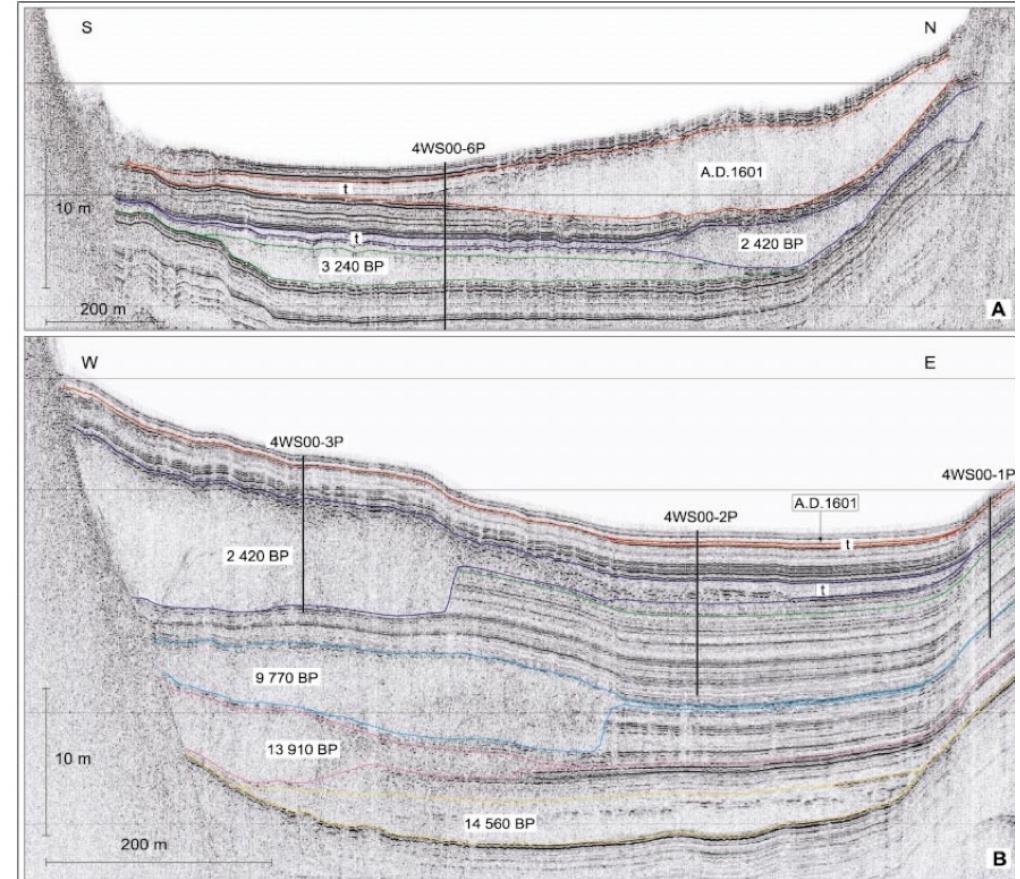
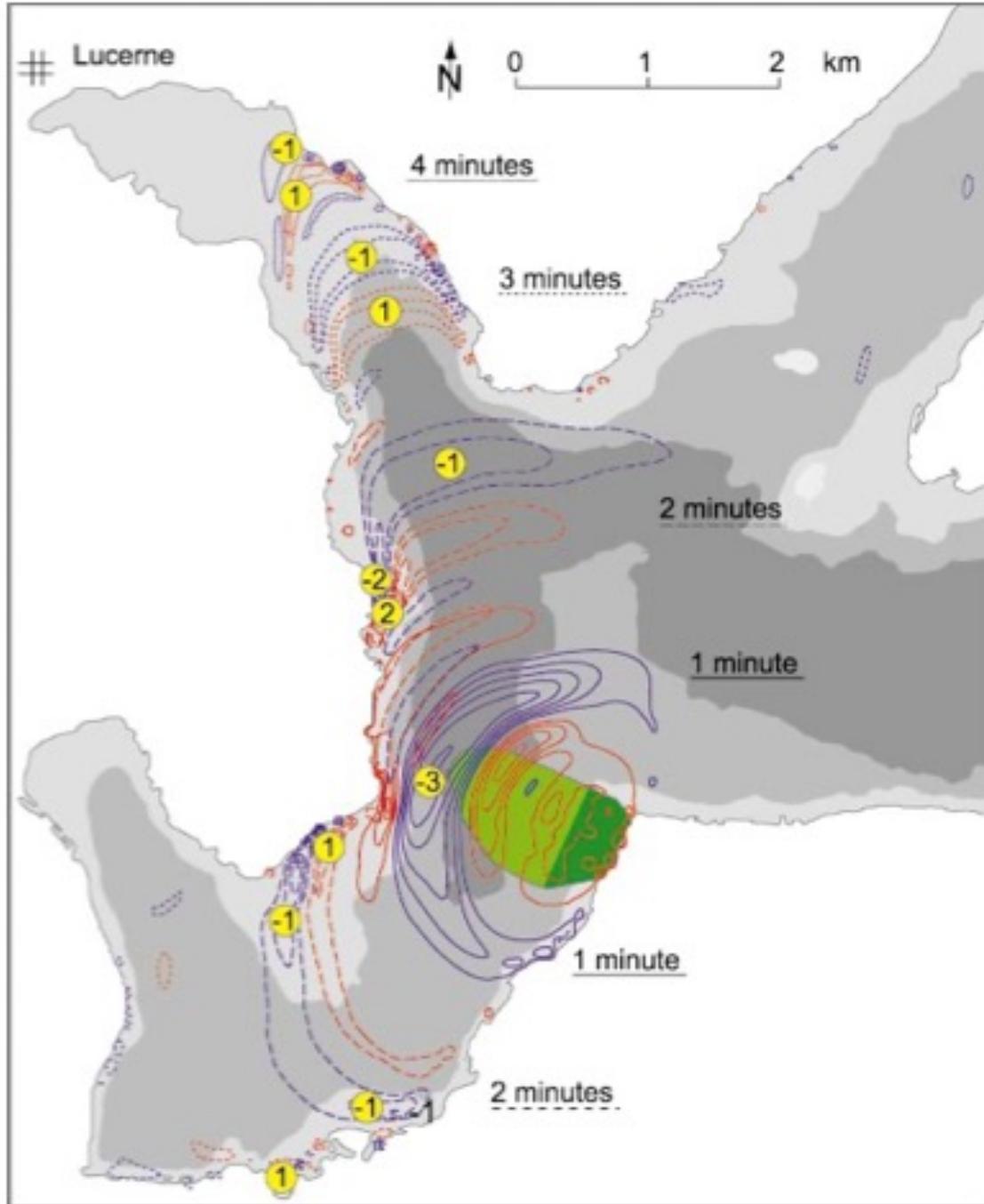


Figure 2. 3.5 kHz seismic profiles across (A) Vitznau and (B) Chrütztrichter subbasins of Lake Lucerne. For exact location of profiles, see Figure 3A. Discussed event horizons with related slump deposits and megaturbidites (t) are outlined in color. Ages: BP is calendar yr B.P. Vertical black lines indicate position of piston cores.

Schnellmann et al., 2002



**Un dépôt
déclenché par
un tremblement de terre
-> tsunamis**

Figure 4. Map of western section of Lake Lucerne with contours of tsunami wave heights generated from modeled 2420 calendar yr B.P. slump. Dark green color indicates area of excavation; light green color marks area of sediment deposition. Blue lines contour depressed areas (wave valleys); red colors contour elevated areas (wave crests). Contour interval is 0.5 m. Wave positions are shown at 1 min intervals after initiation of slump. Yellow dots and numbers sample wave height in meters.

Schnellmann et al., 2002

Le Tsunami de 1601 - Reuss sèche



Da das Erdbeben als Zeichen für Gottes Zorn galt, erliess der Rat u. a. ein Tanzverbot, das bis zur nächsten Fasnacht gelten sollte - vermutlich ist damit die Herbstfasnacht gemeint, die bis 11. November/Martini dauerte

Puisque le tremblement de terre a été considéré comme un signe de la colère de Dieu, le conseil a publié u. une. une interdiction de danser qui devrait s'appliquer jusqu'au prochain carnaval - probablement cela signifie le carnaval d'automne, qui a duré jusqu'au 11 novembre / Martini