

Géologie Structurale

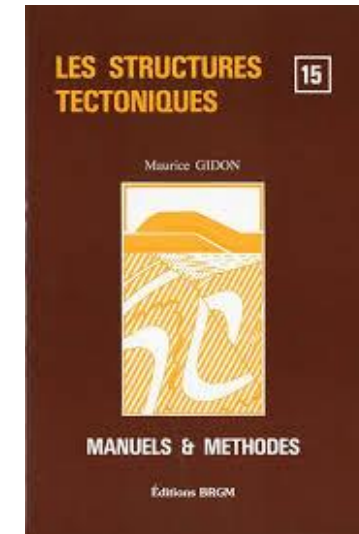
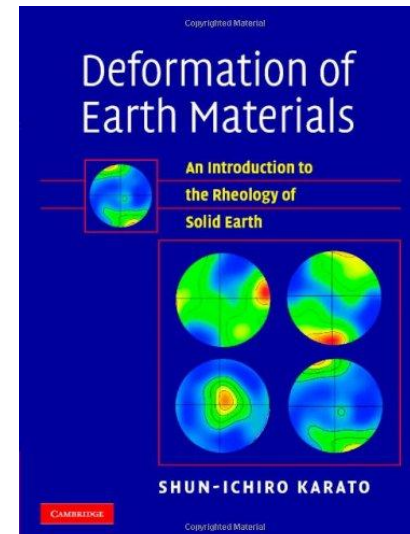
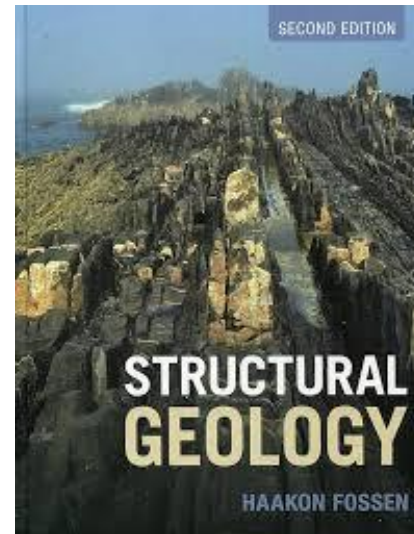
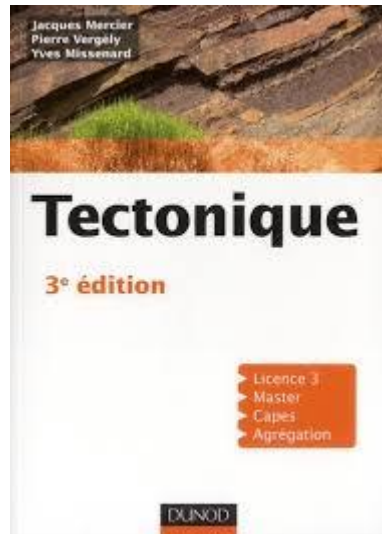
Audrey Bonnelye

Resp. Julien Charreau, David Jousselin,

ENSG – Année 2025/2026



Ressources



Objectifs du cours 1 :

- Définition Générale de la Géologie Structurale
- Notion de contrainte et de déformation

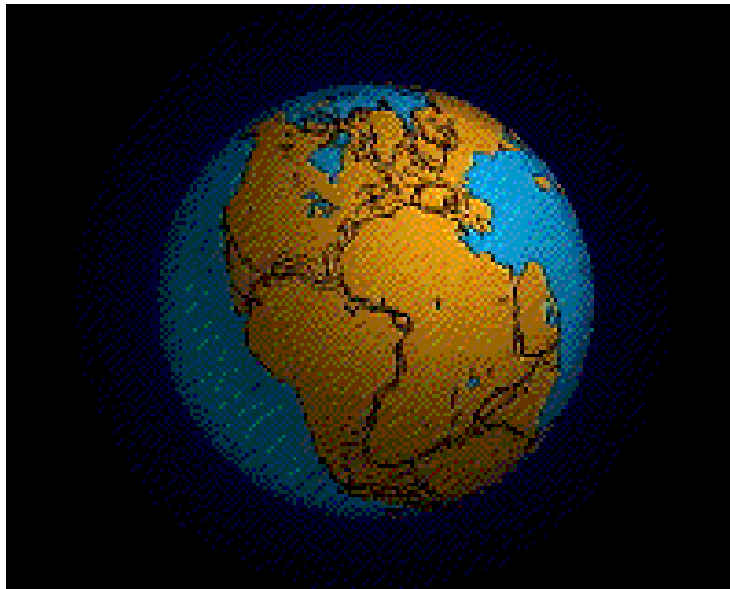
Définition

- La **géologie structurale** ou **analyse structurale** est la description et l'interprétation des déformations subies à différentes échelles par les roches, ainsi que la recherche des forces, ou contraintes qui en sont la cause. Les formes issues de ces processus géologiques sont qualifiées de **structures** et les agencements granulaires internes de microstructures. L'action de transformation est toujours une déformation, qui fait passer un ensemble rocheux d'une structure à une autre.

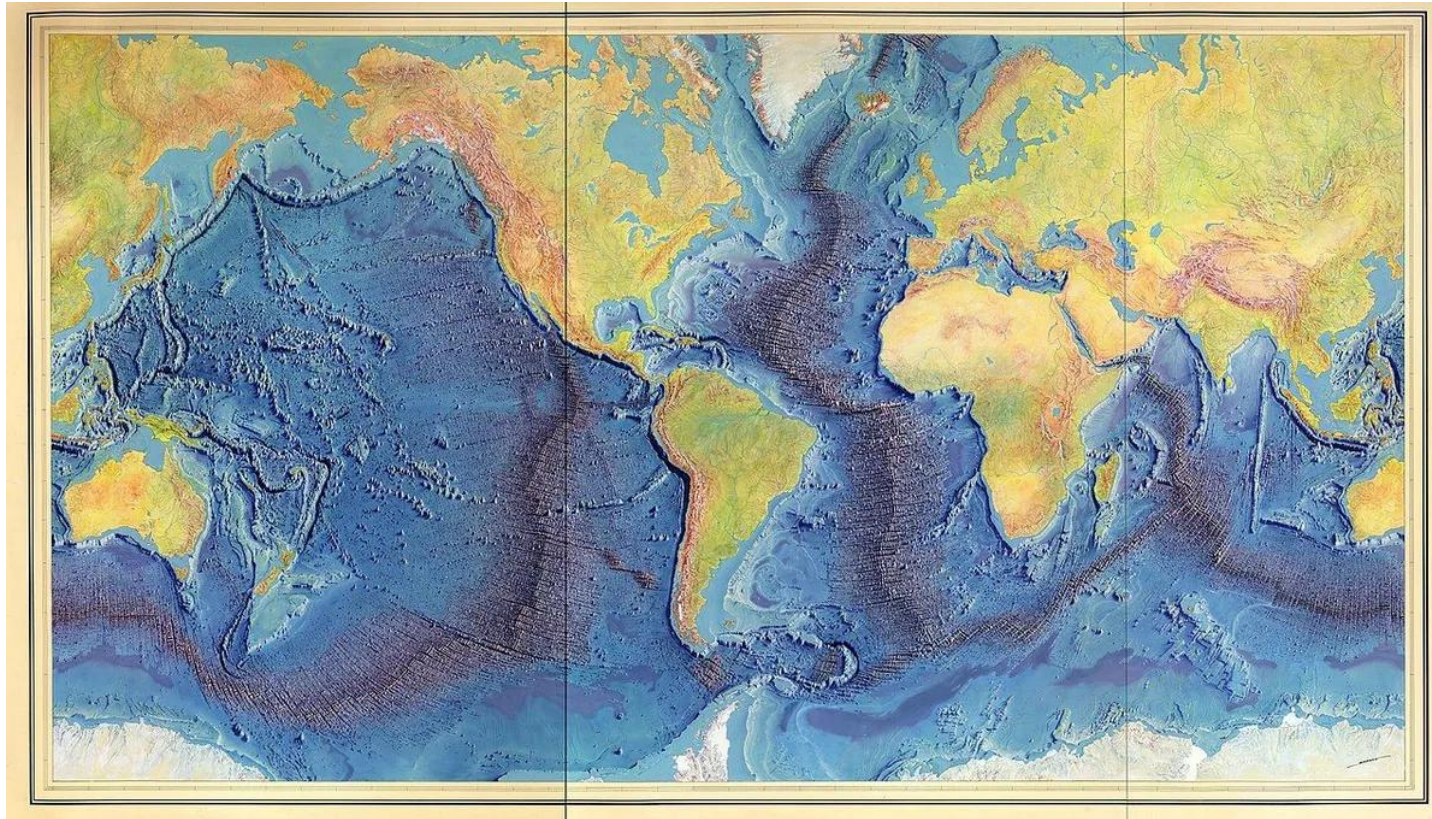
(source : Wikipedia)

À ne pas confondre...

- La **Géologie Structurale** est essentiellement l'étude de la géométrie des structures
- La **Tectonique** concerne plutôt l'étude de ces structures en relation avec les mouvements (cinématique) et les forces (dynamique) qui les ont créés.



Tectonique (des plaques)

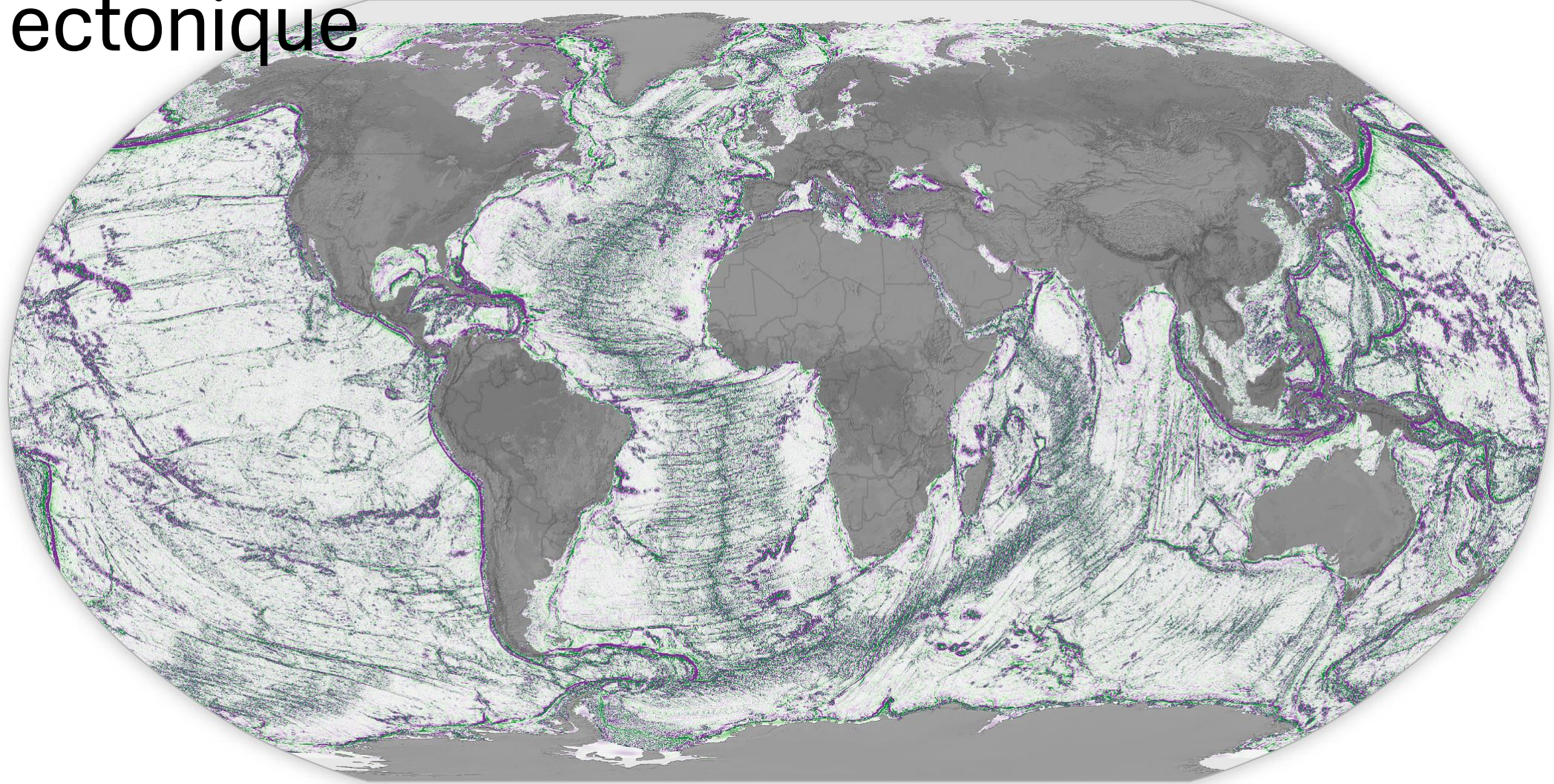


Peinture d'Heinrich C. Berann illustrant le fond des océans d'après Marie Tharp et Bruce C. Heezen (1977)



- <https://www.radiofrance.fr/franceculture/podcasts/la-science-cqfd/marie-tharp-7457387>
- <https://www.radiofrance.fr/franceculture/podcasts/ils-ont-change-le-monde/tectonique-des-plaques-quand-la-terre-s-est-mise-a-bouger-9618485>

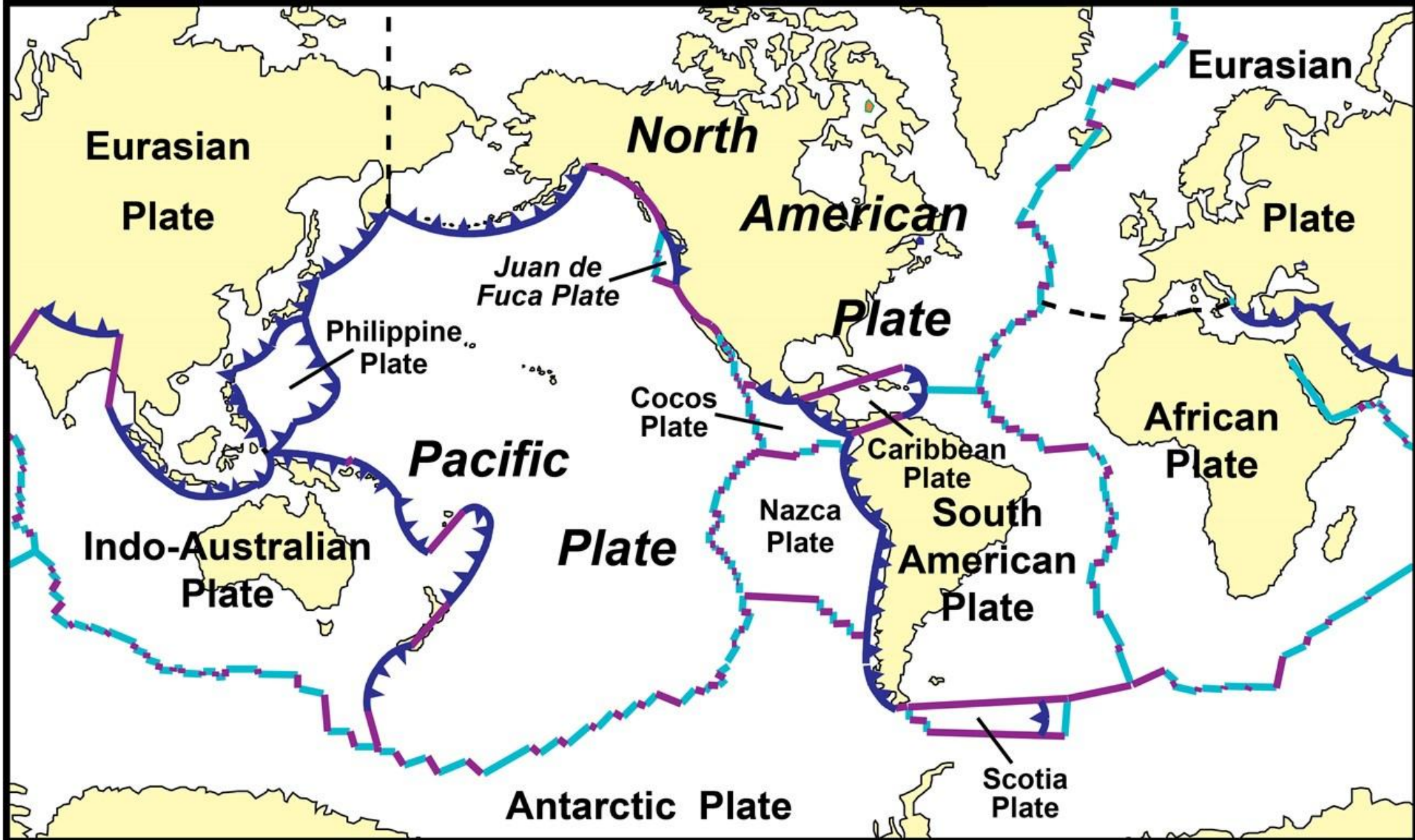
Tectonique



Vertical Gravity Gradient (Eötvös)



Source : NASA seafloor map



Divergent
Plate
Boundary

Convergent
Plate
Boundary

Transform
Plate
Boundary

Définition

- La **géologie structurale** ou **analyse structurale** est la description et l'interprétation des déformations subies à **différentes échelles par les roches**, ainsi que la recherche des forces, ou contraintes qui en sont la cause. Les formes issues de ces processus géologiques sont qualifiées de **structures** et les agencements granulaires internes de microstructures. L'action de transformation est toujours une déformation, qui fait passer un ensemble rocheux d'une structure à une autre.

(source : Wikipedia)

Roche

=> Assemblage pluri-minéralogique

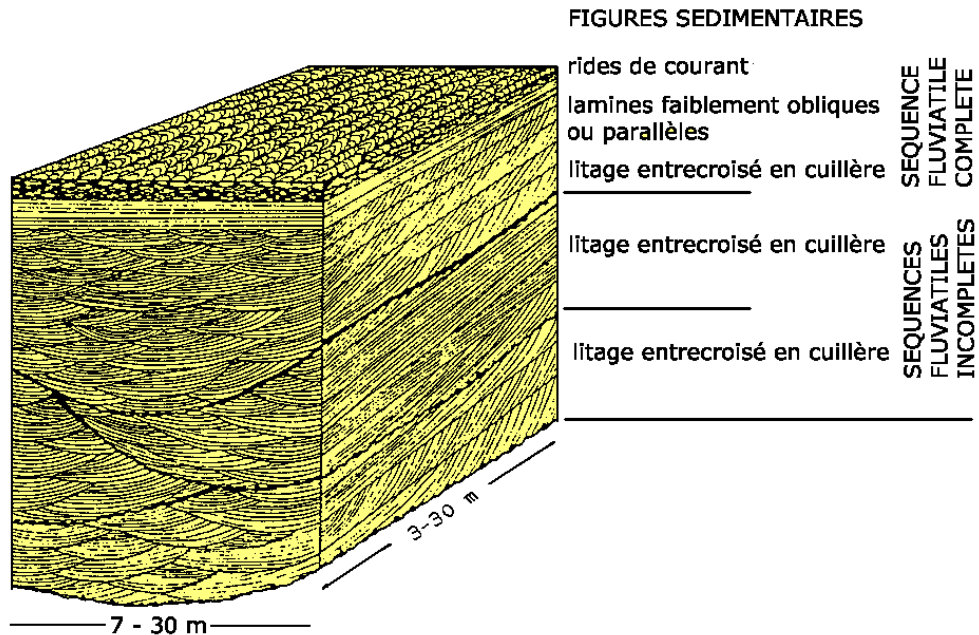


Copyright © 2010 by W. H. Freeman & Co.

Et bien plus encore...

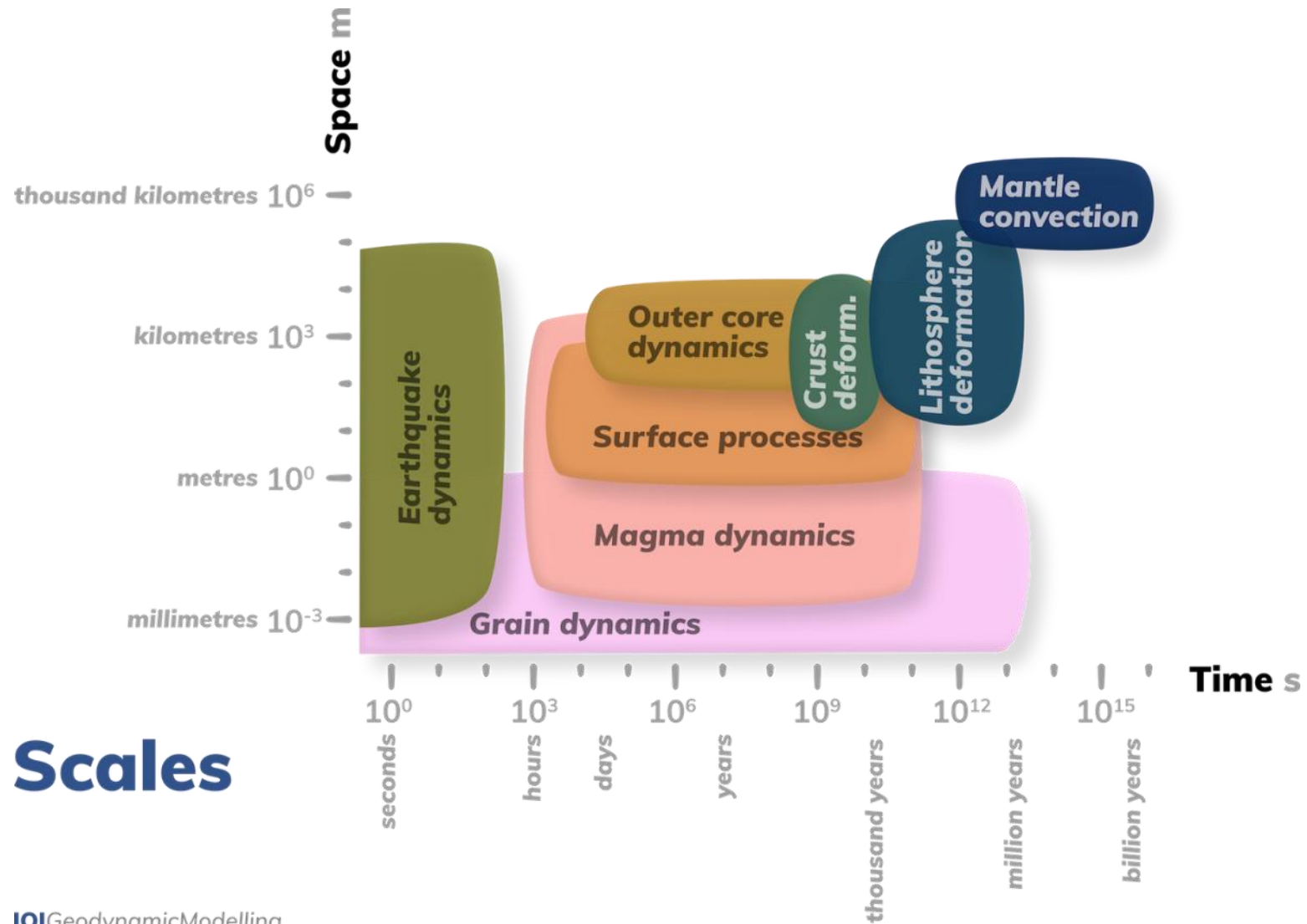
Caractéristiques primaires/secondaires (/tertiaires)

- Primaire : relatives au dépôt



- secondaire : relatives aux déformations ayant lieu sous l'action de contraintes

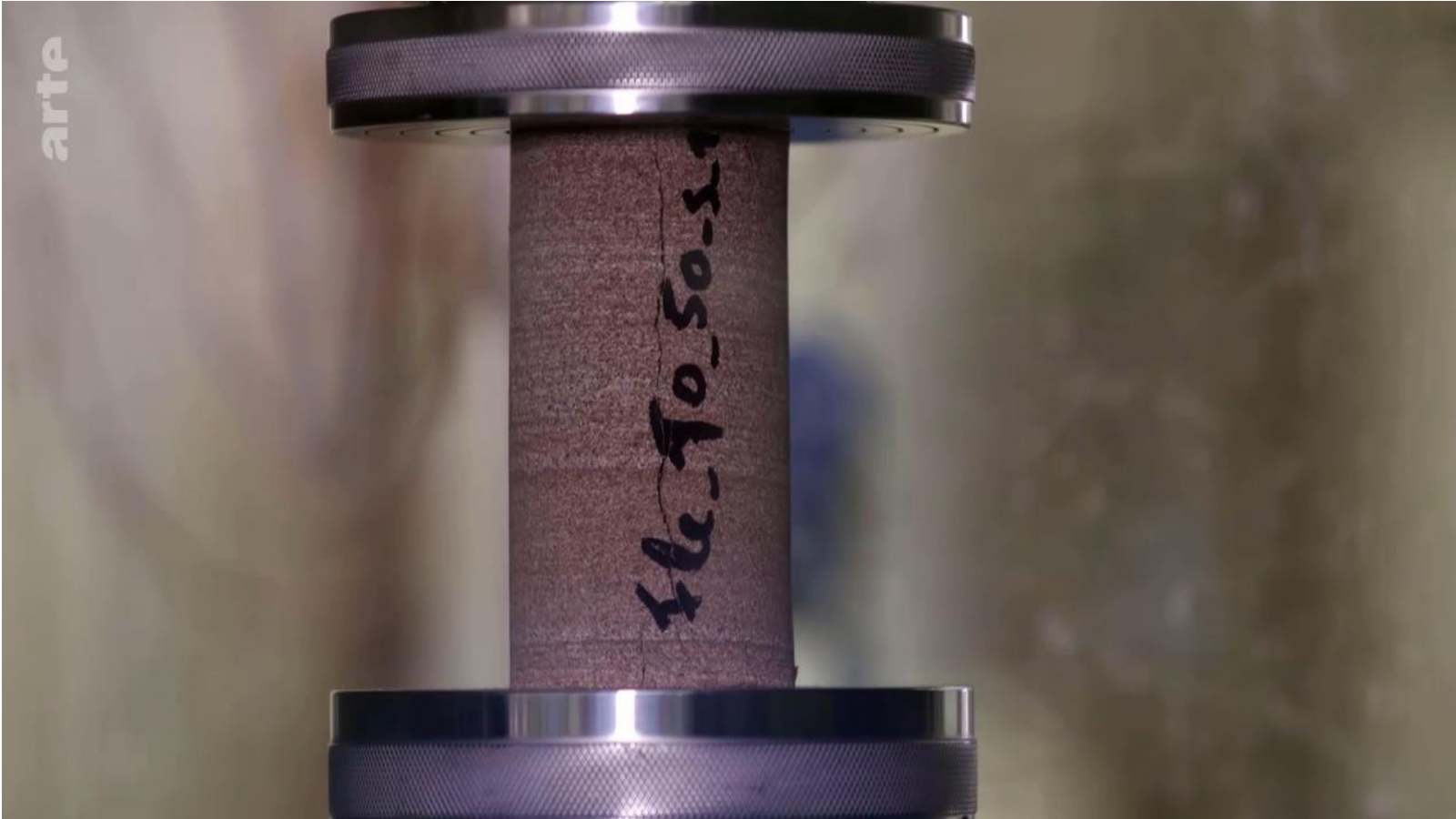
Différentes échelles?



Définition

- La **géologie structurale** ou **analyse structurale** est la description et l'interprétation des **déformations** subies à différentes échelles par les roches, ainsi que la recherche des **forces, ou contraintes** qui en sont la cause. Les formes issues de ces processus géologiques sont qualifiées de **structures** et les agencements granulaires internes de microstructures. L'action de transformation est toujours une déformation, qui fait passer un ensemble rocheux d'une structure à une autre.

(source : Wikipedia)

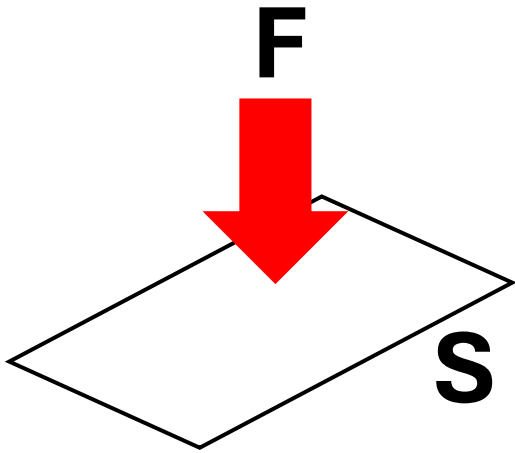


Scalaire : certaines quantités peuvent être représentées par des valeurs scalaires, c'est-à-dire qu'elles prennent une valeur singulière. C'est le cas, par exemple de la masse volumique.

Vecteur : certaines quantités ne peuvent être décrites que sous la forme de plusieurs composantes dans l'espace. C'est le cas des déplacements

Tenseur : Certaines quantités nécessitent d'être décrites en tout point de l'espace par une matrice. C'est le cas des contraintes et des déformations.

Définition d'une contrainte



$$\sigma = \frac{F}{S}$$

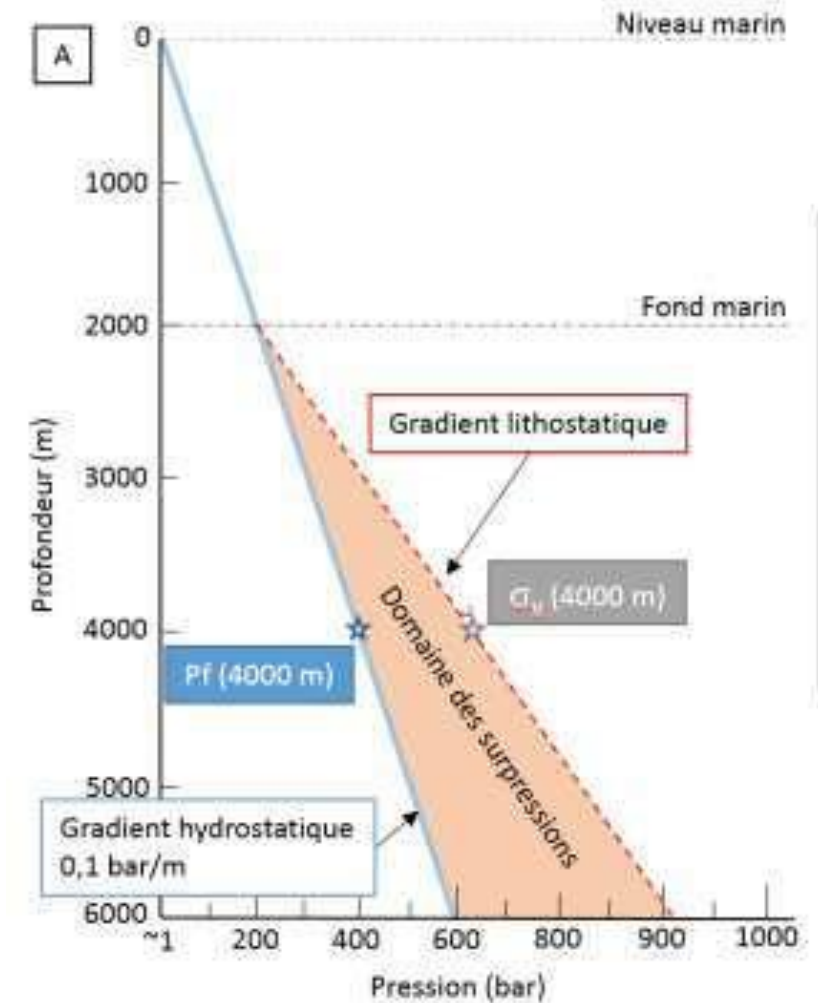
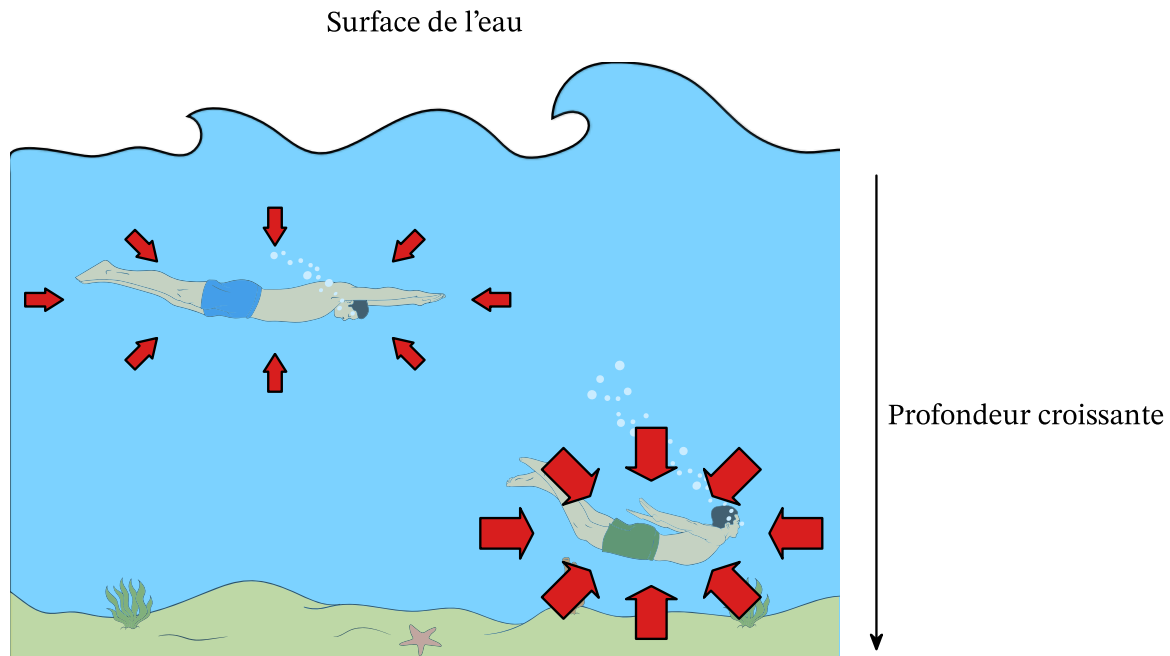
$\downarrow$
Pa

$F \rightarrow \text{N}$
 $S \rightarrow \text{m}^2$

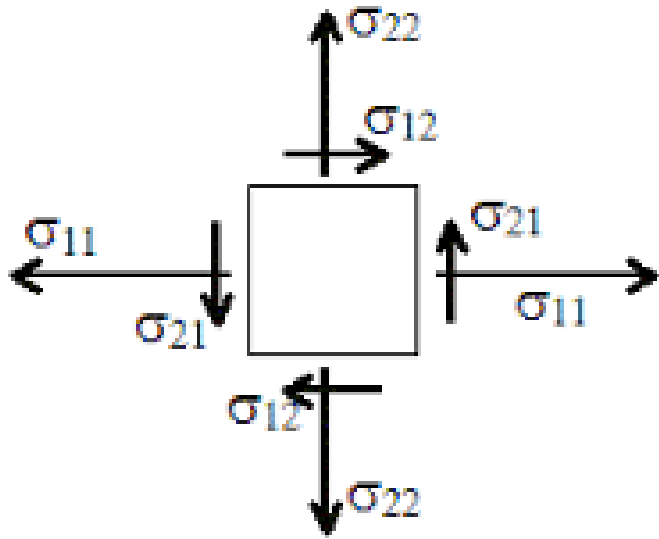
La contrainte est donc la force par unité de surface



Les roches sont toujours sous contrainte



Définition générale



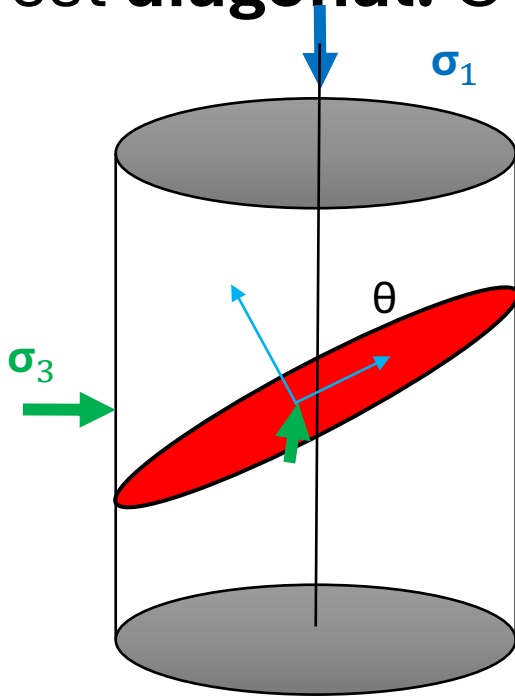
$$\begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \sigma_{13} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \sigma_{23} \\ \sigma_{31} & \sigma_{32} & \sigma_{33} \end{bmatrix}$$

← contraintes tangentielles

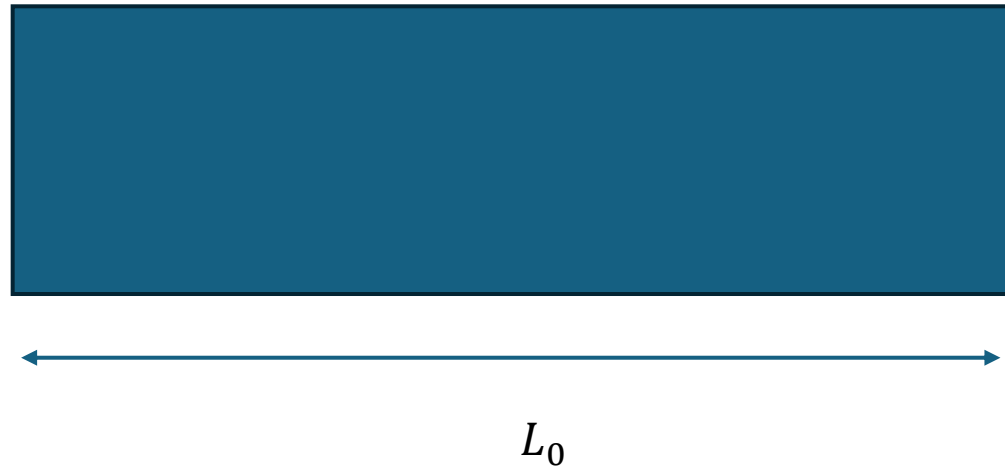
← contraintes normales

Le repère des contraintes principales

- Il existe toujours un repère dans lequel le tenseur des contraintes est **diagonal**. C'est le repère des **contraintes principales**.



Définition d'une déformation



Définition d'une déformation



$$\varepsilon = \frac{L - L_0}{L_0}$$

La deformation n'a donc pas d'unité!!!!

Définition de la deformation en MMC

linearised strain tensor

- linearised strain tensor : symmetric part of tensor gradient of displacement

$$\varepsilon = \frac{1}{2} ({}^t \mathbf{grad} \xi + \mathbf{grad} \xi) \quad (120)$$

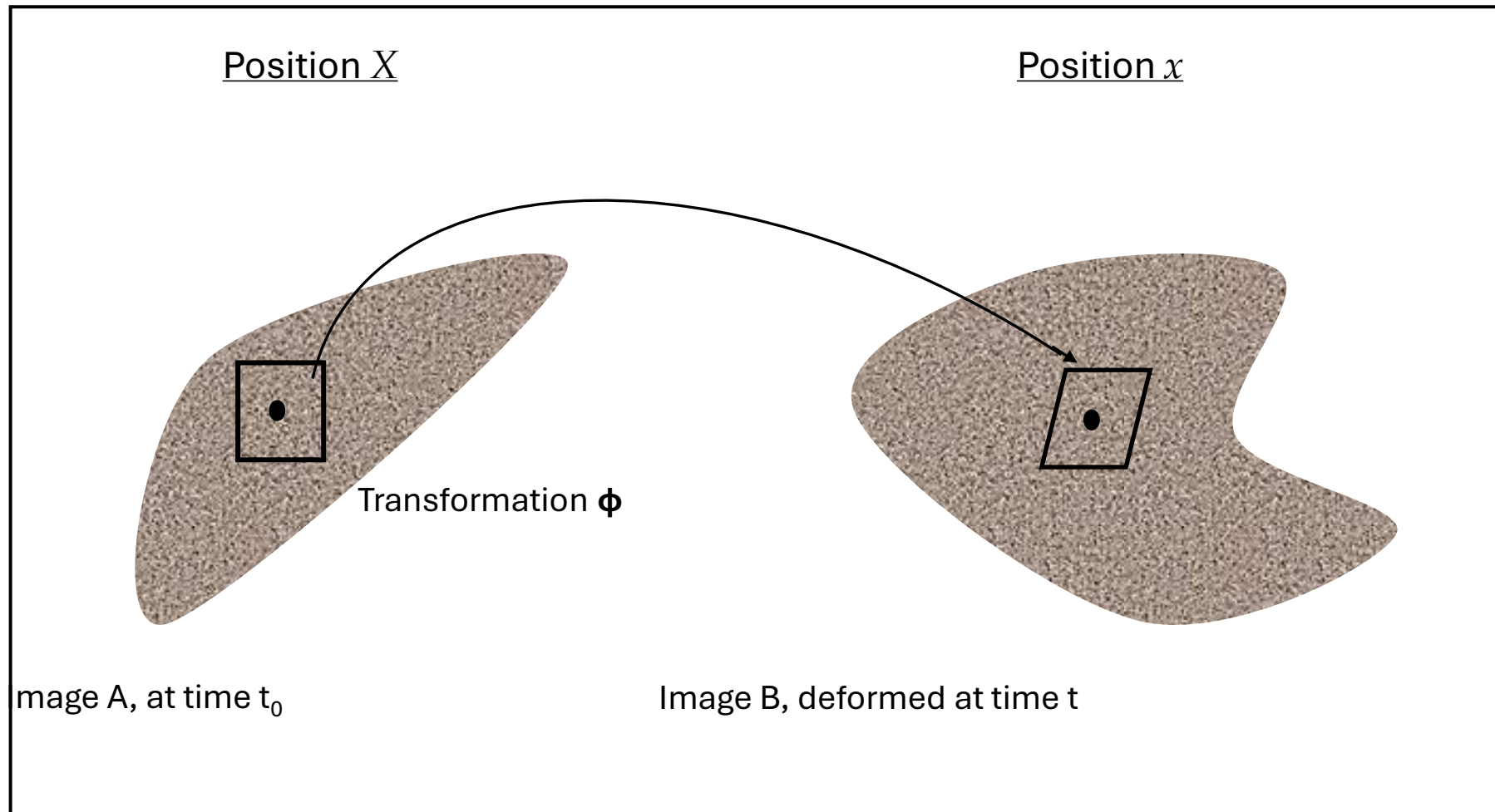
$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \xi_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \xi_j}{\partial x_i} \right) = \frac{1}{2} (\xi_{i,j} + \xi_{j,i}) \quad (121)$$

$$\varepsilon = \begin{pmatrix} \frac{\partial \xi_1}{\partial x_1} & \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \xi_1}{\partial x_2} + \frac{\partial \xi_2}{\partial x_1} \right) & \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \xi_1}{\partial x_3} + \frac{\partial \xi_3}{\partial x_1} \right) \\ \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \xi_1}{\partial x_2} + \frac{\partial \xi_2}{\partial x_1} \right) & \frac{\partial \xi_2}{\partial x_2} & \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \xi_2}{\partial x_3} + \frac{\partial \xi_3}{\partial x_2} \right) \\ \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \xi_1}{\partial x_3} + \frac{\partial \xi_3}{\partial x_1} \right) & \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \xi_2}{\partial x_3} + \frac{\partial \xi_3}{\partial x_2} \right) & \frac{\partial \xi_3}{\partial x_3} \end{pmatrix} \quad (122)$$

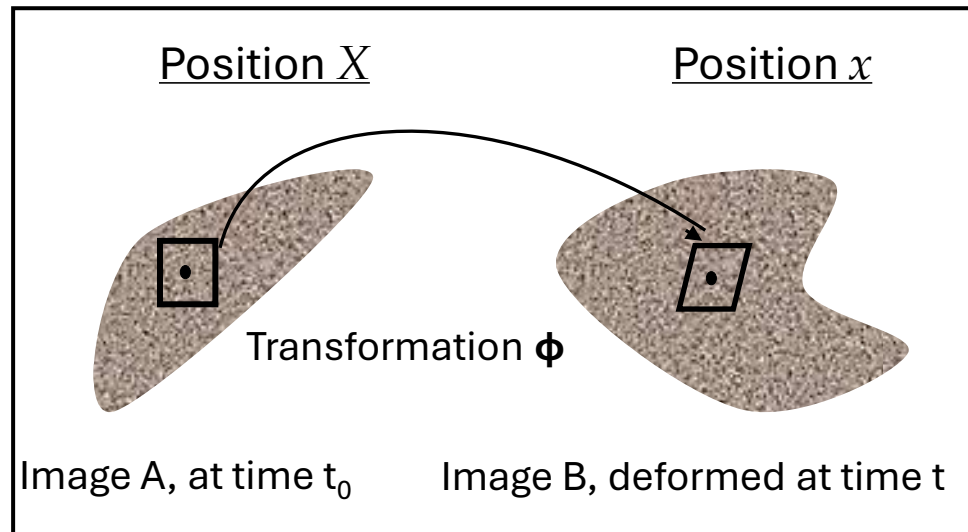
($\underline{\varepsilon}_1, \underline{\varepsilon}_2, \underline{\varepsilon}_3$)

A. Giraud

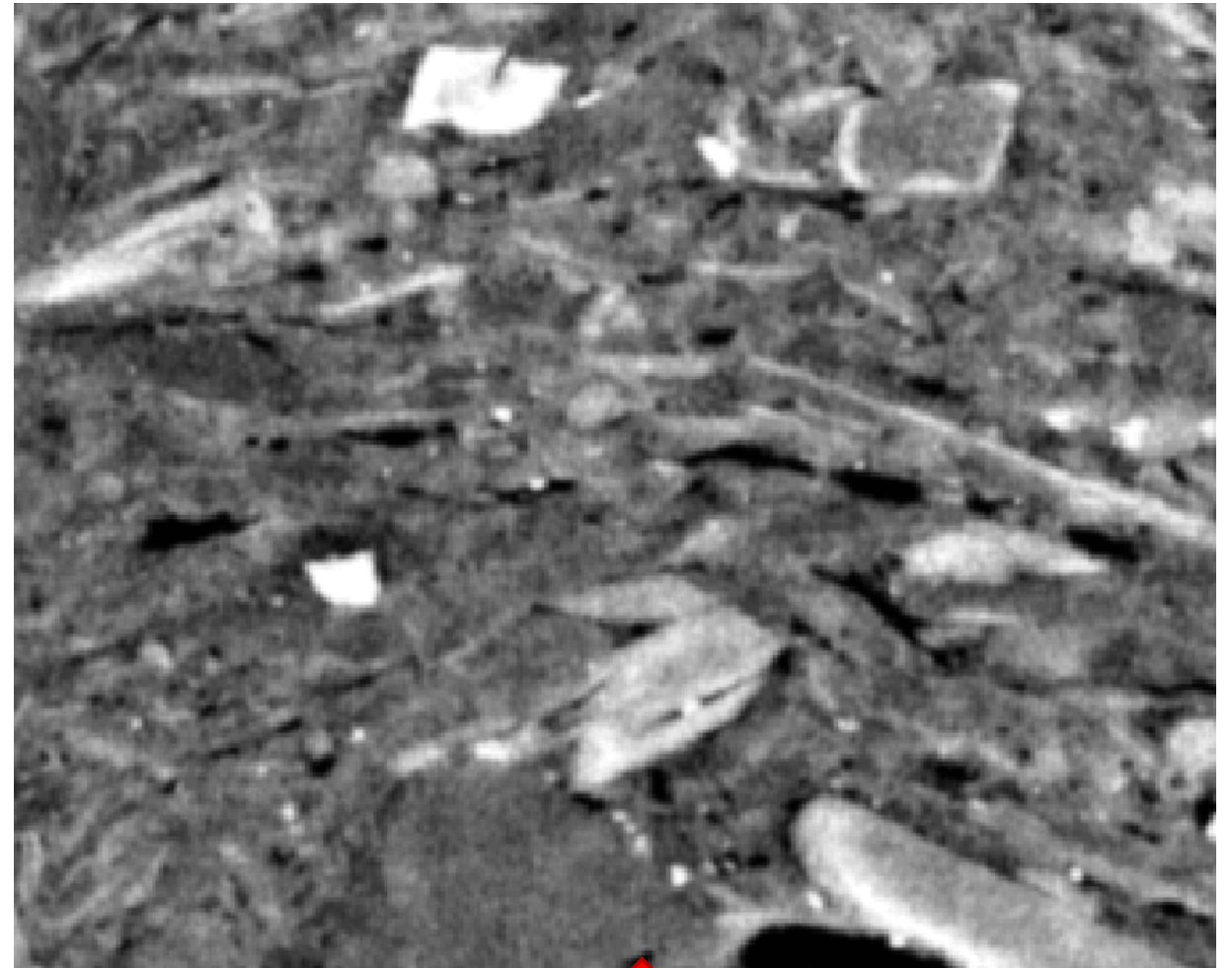
Notion de déplacement

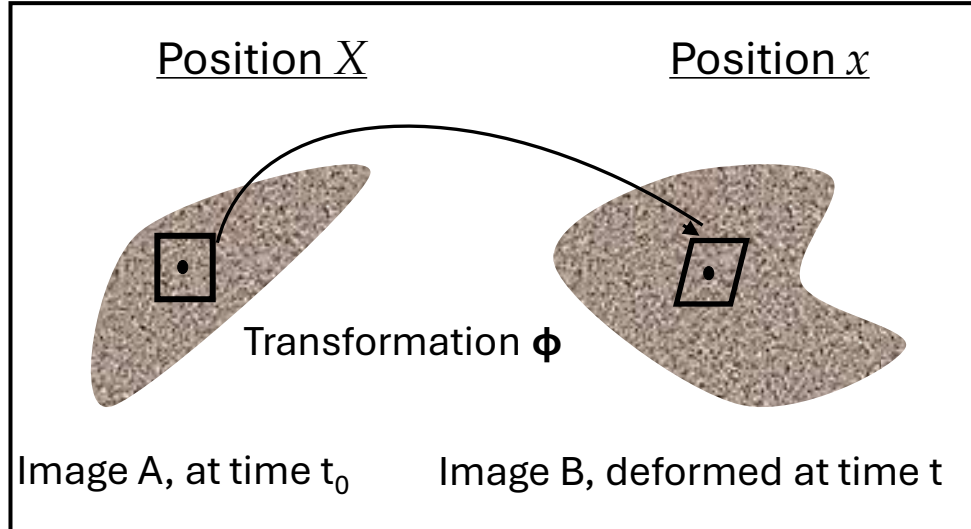


Courtesy of M. Lusseyran

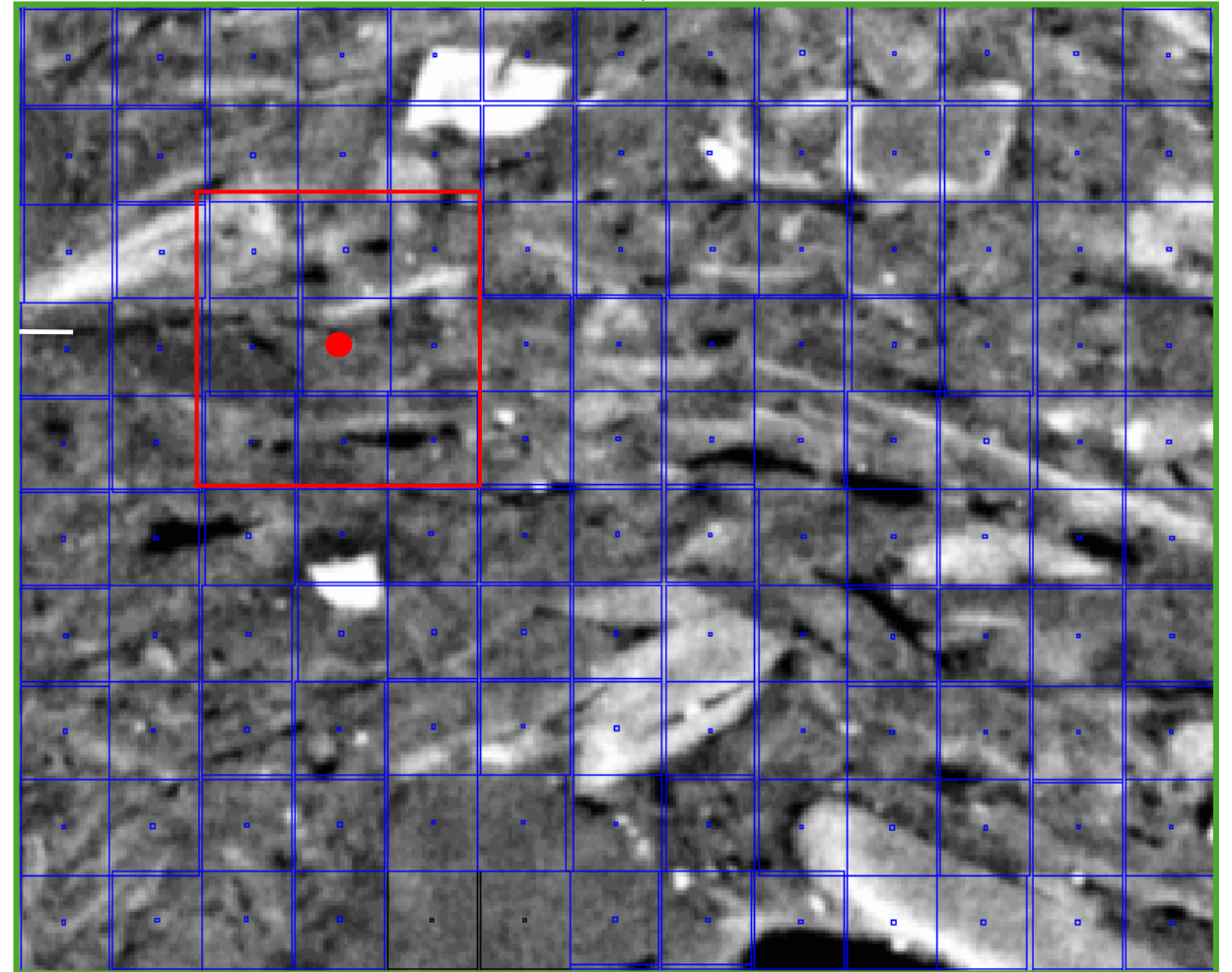


ESEM images

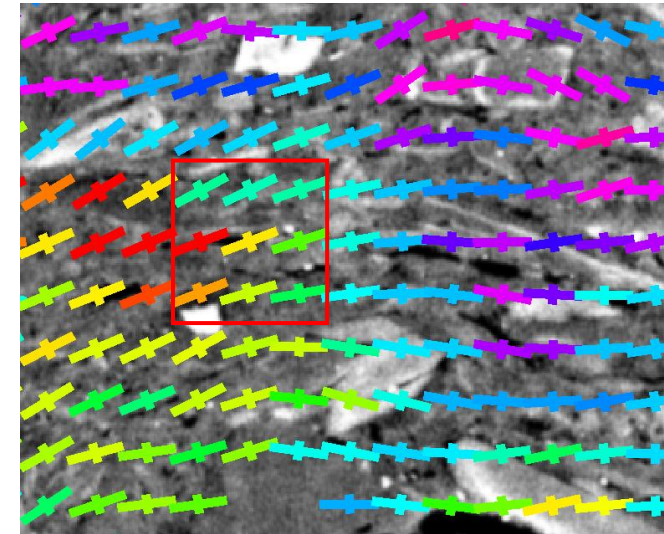
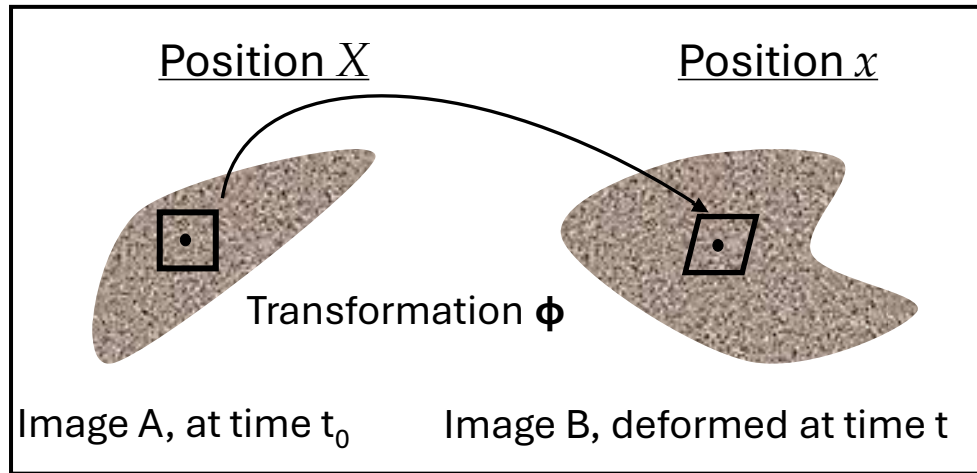




ESEM images

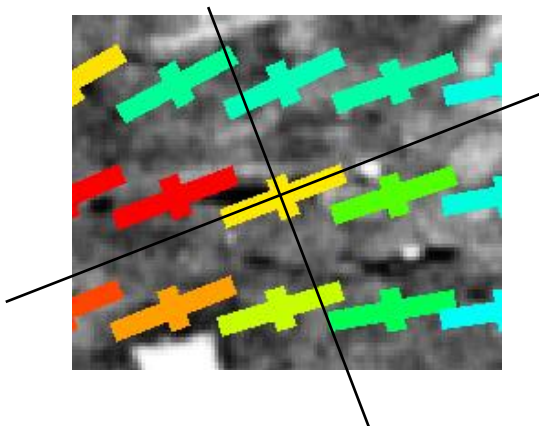


Method : digital image correlation (DIC)



Natural contrast
on ESEM
images

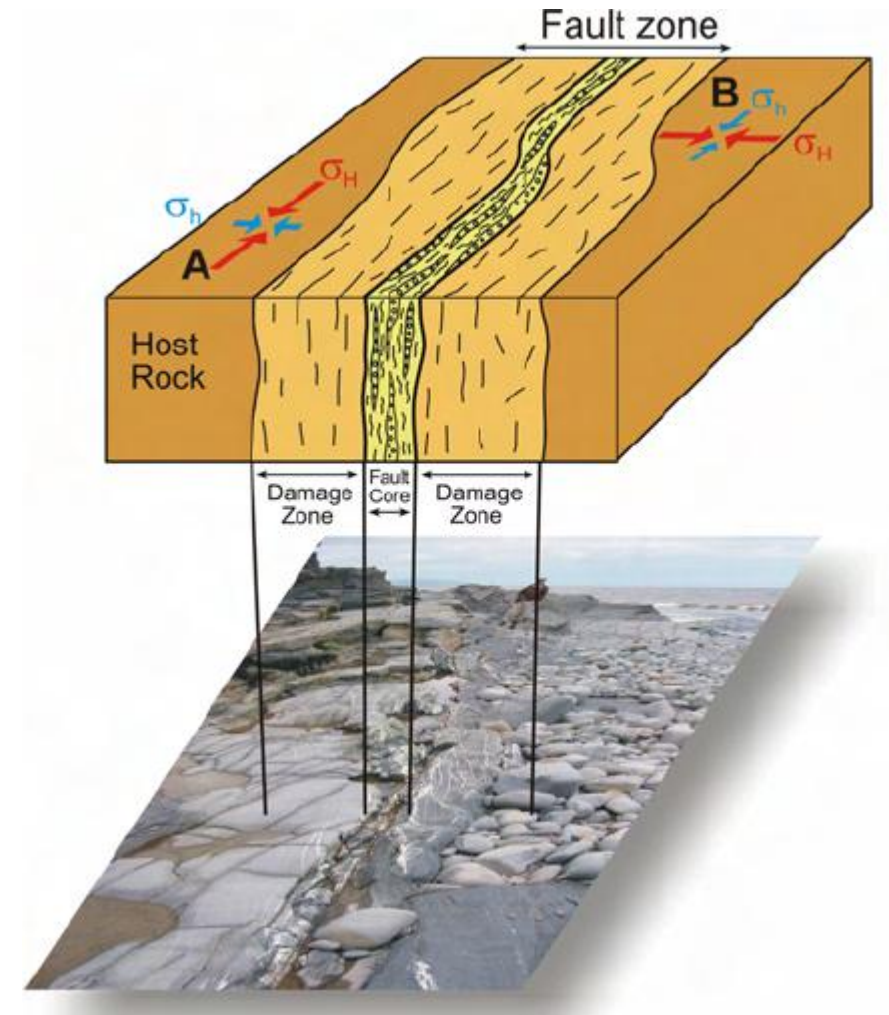
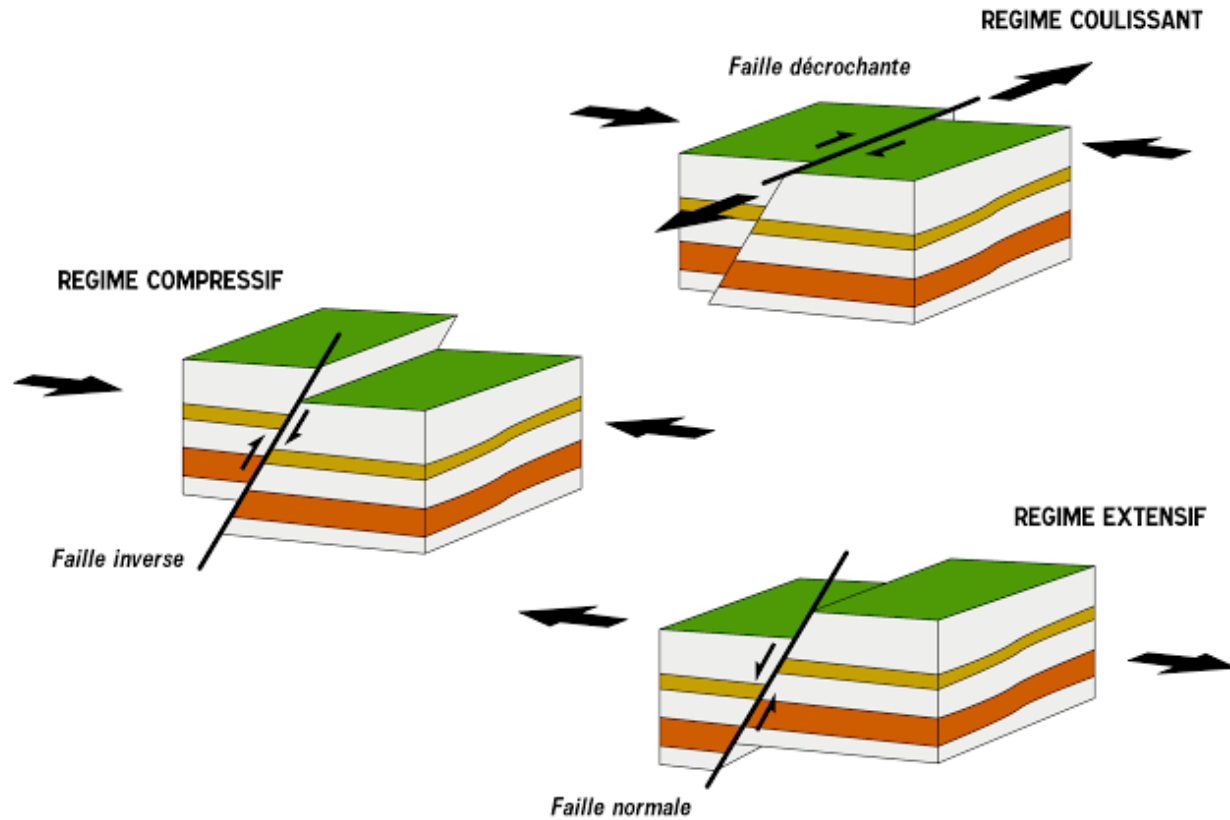
Local strain field



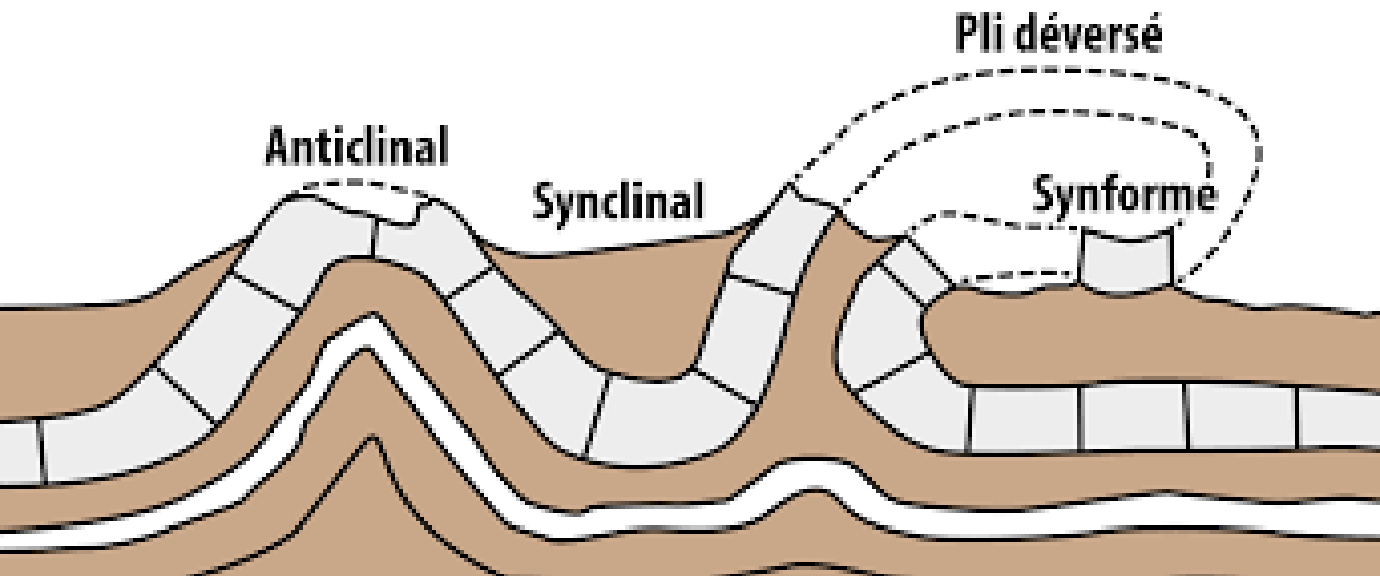
Principal in-plane strains E_1 and $E_2 > E_1$
and direction Θ
 $E_{eq} = 2/3(E_2 - E_1)$

In-house software CMV (*Bornert et al. 2010*)

Déformation des roches : cassante



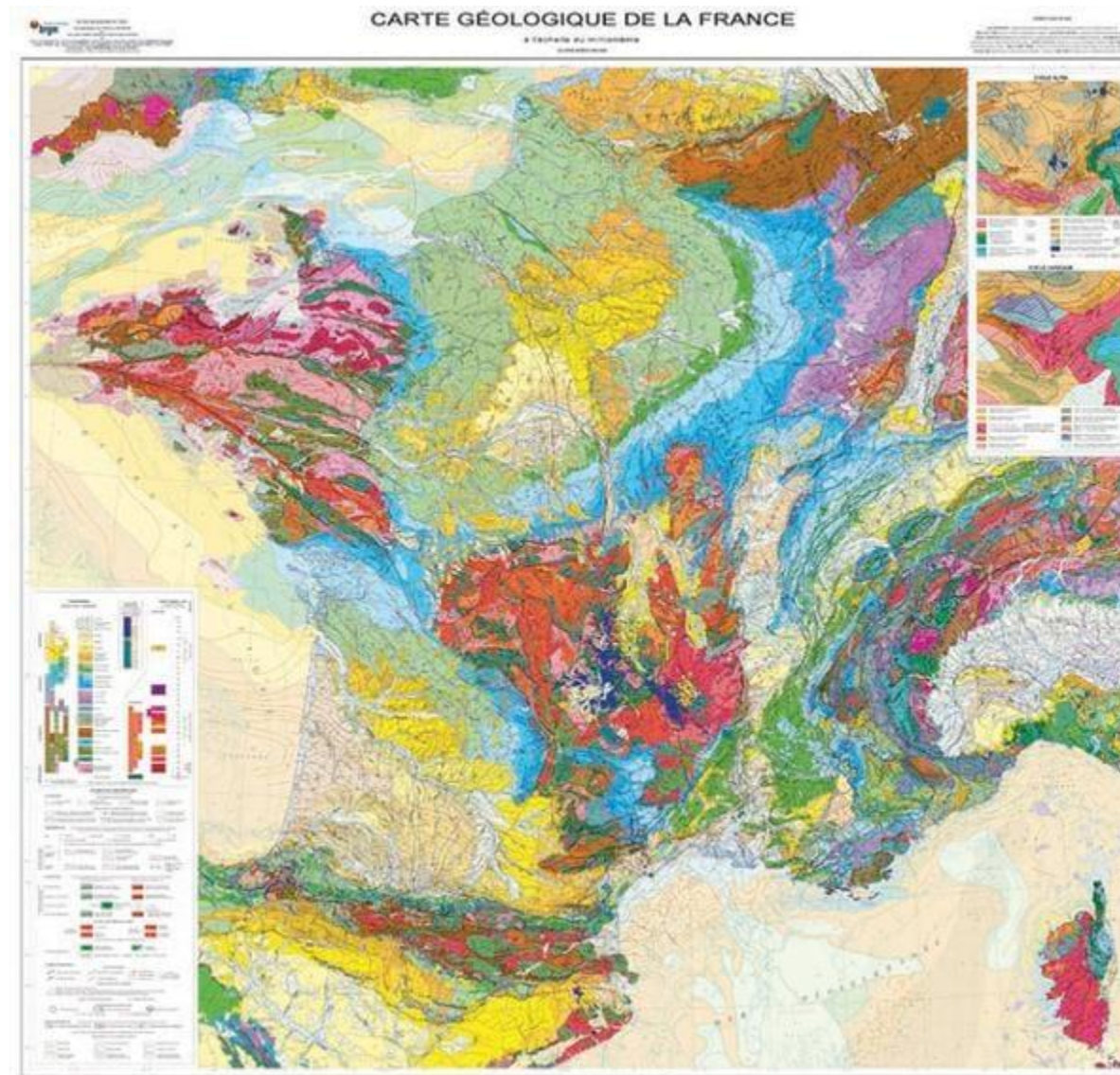
Déformation des roches : non cassante

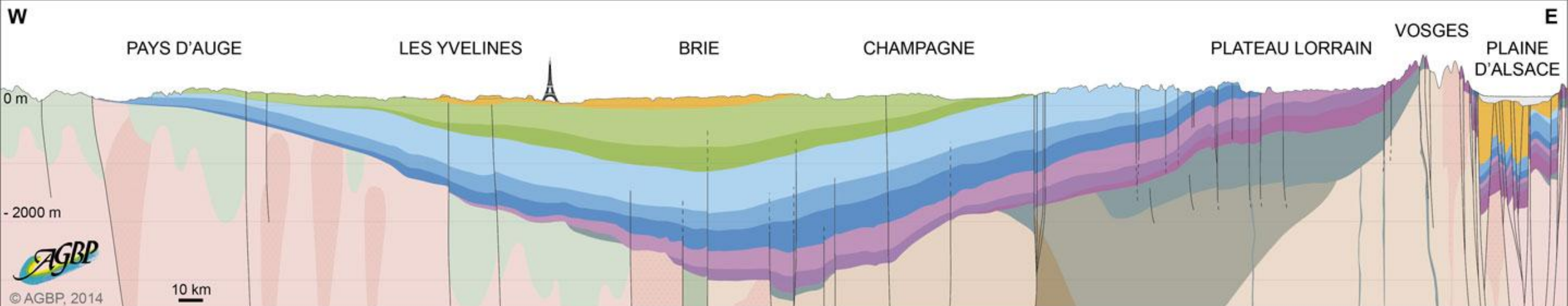


Plis, calcaires, île de Crète

L'objectif sera d'établir une relation entre les contraintes et les deformations :
rhéologie

Les différentes disciplines : cartographie

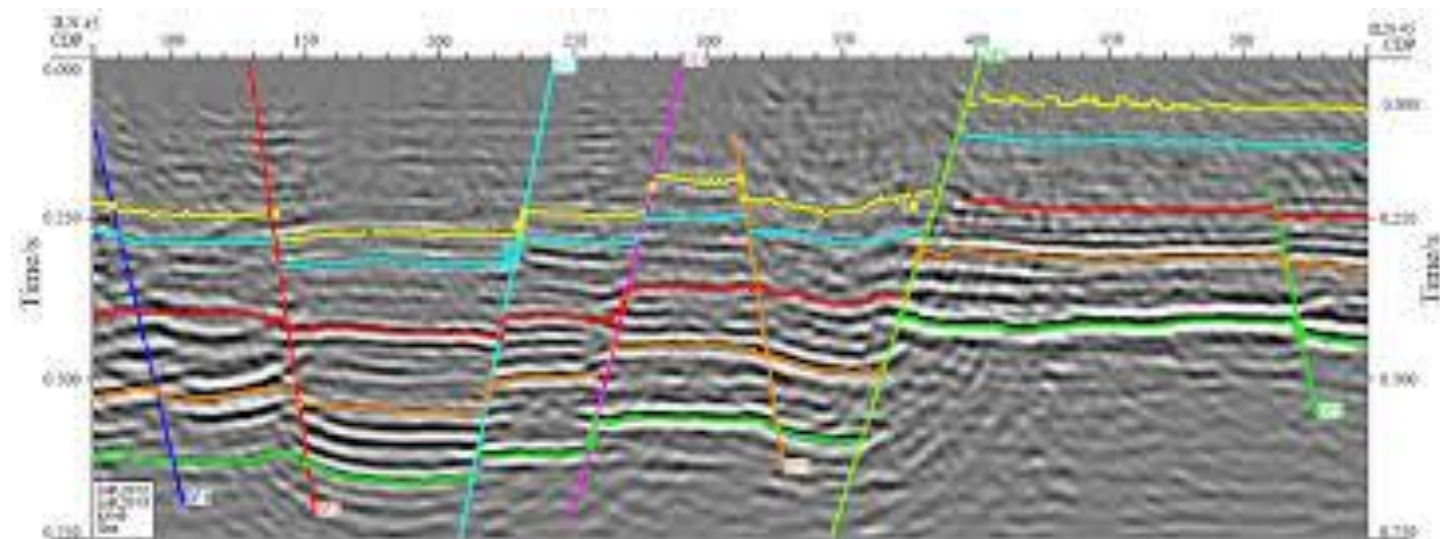
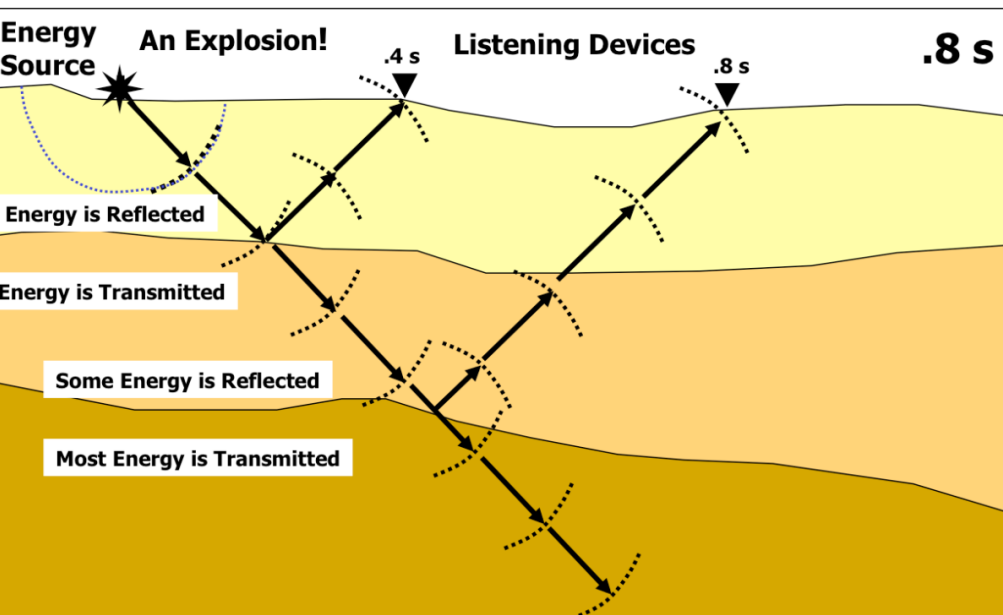




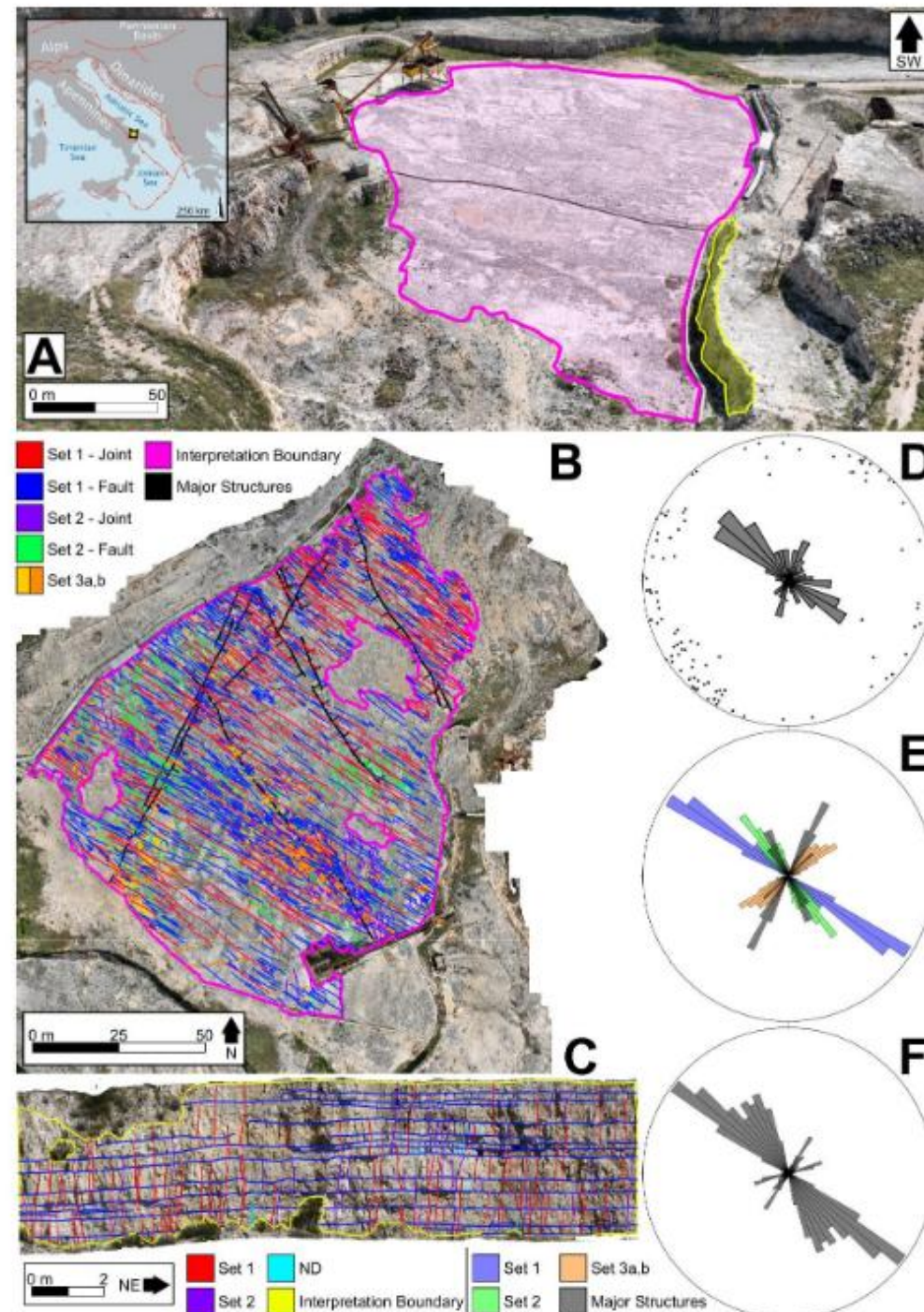
	Pliocène et Quaternaire / <i>Pliocene and Quaternary</i>
	Paléocène à Oligocène / <i>Paleocene to Oligocene</i>
	Crétacé supérieur / <i>Upper Cretaceous</i>
	Crétacé inférieur / <i>Lower Cretaceous</i>
	Jurassique supérieur / <i>Upper Jurassic</i>
	Jurassique moyen / <i>Middle Jurassic</i>
	Jurassique inférieur / <i>Lower Jurassic</i>
	Trias supérieur / <i>Upper Triassic</i>
	Trias moyen / <i>Middle Triassic</i>
	Trias inférieur / <i>Lower Triassic</i>

	Permien / <i>Permian</i>
	Stéphanien / <i>Stephanian</i>
	Namurien et Westphalien / <i>Namurian and Westphalian</i>
	Dévonien / <i>Devonian</i>
	Cambrien à Silurien / <i>Cambrian to Silurian</i>
	Précambrien / <i>Precambrian</i>
	granite intrusif / <i>intrusive Granite</i>
	Complexe basique varisque / <i>Variscan basic rocks</i>
	faille / <i>fault</i>
	faille supposée / <i>inferred fault</i>

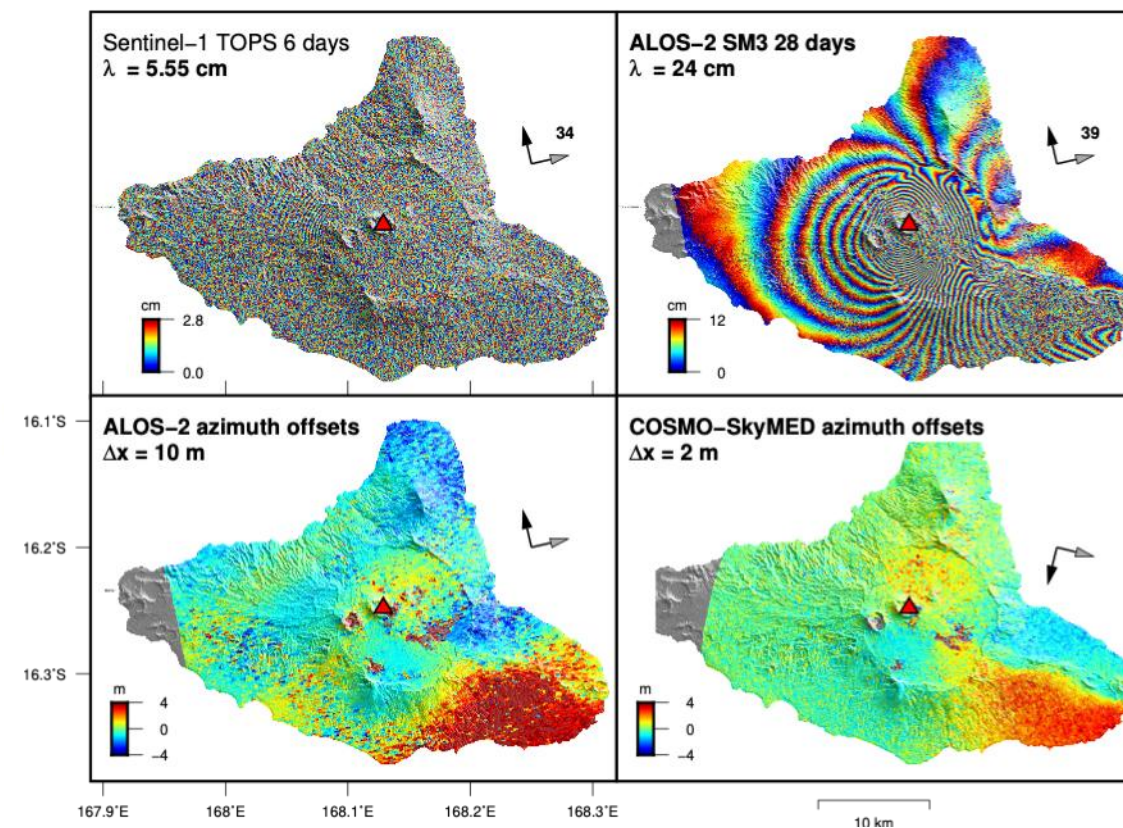
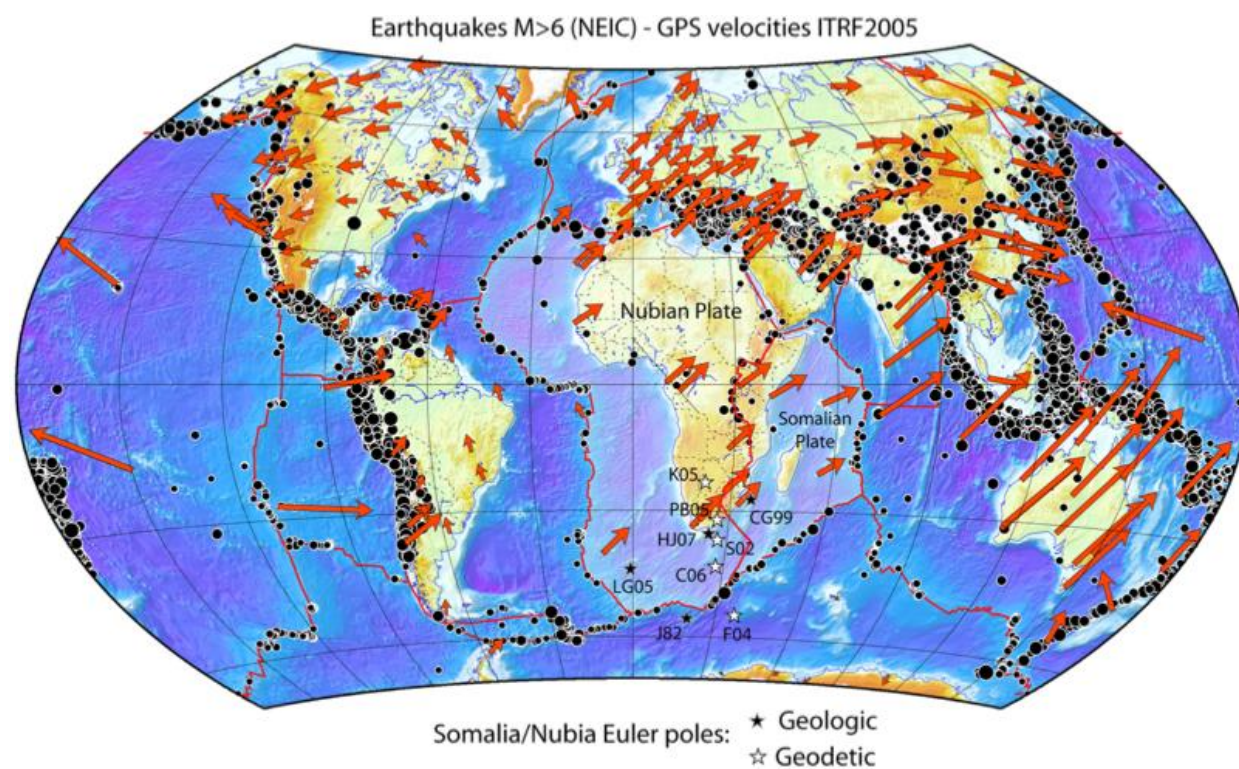
Les différentes disciplines : géophysique (lignes sismiques)



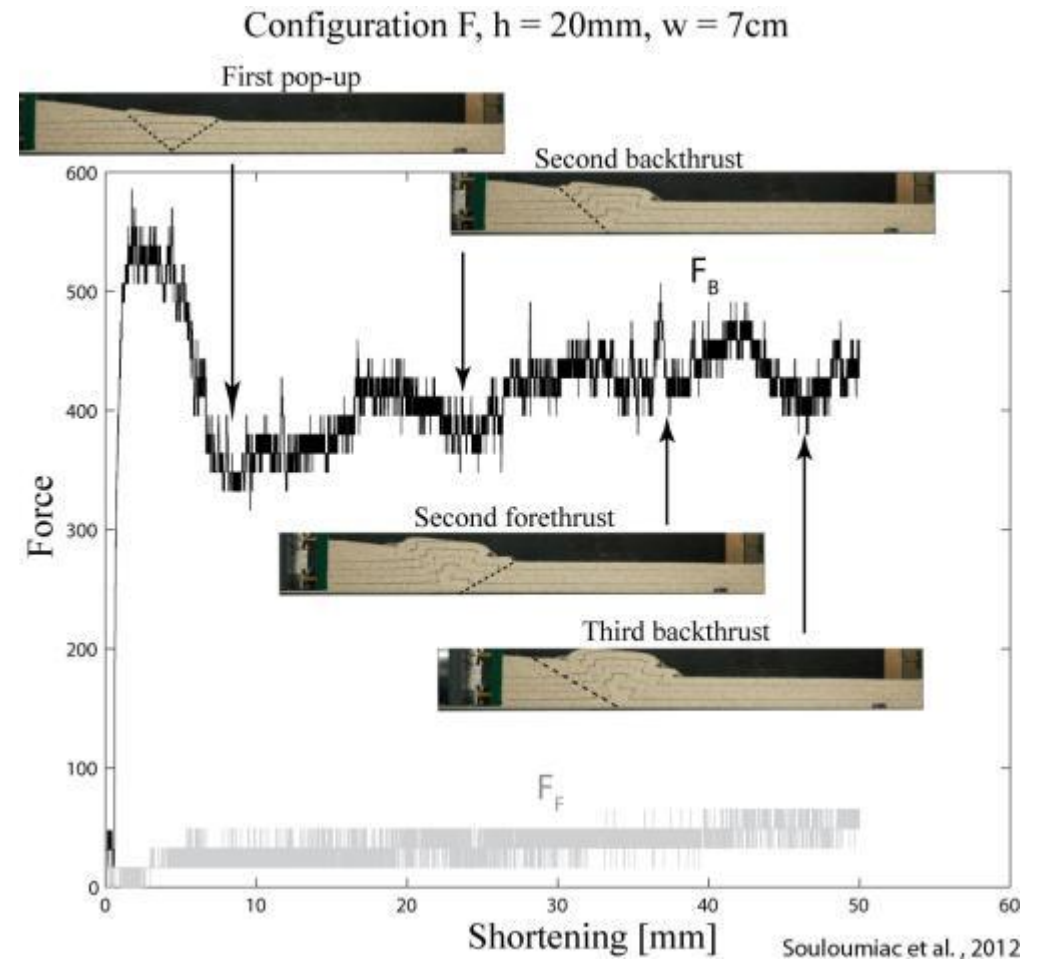
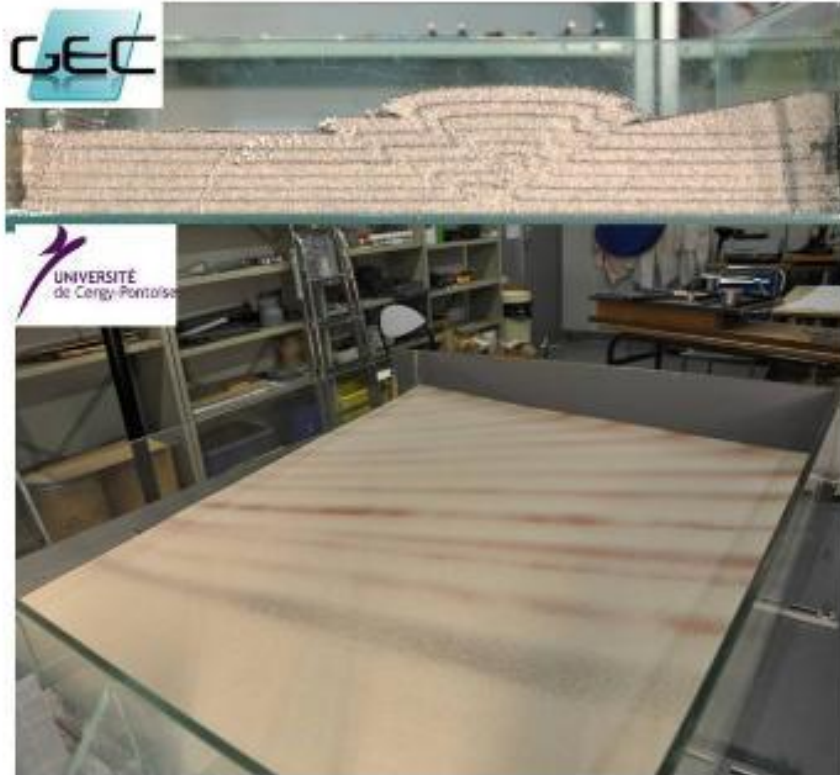
Les différentes disciplines :
Digitalisation d'affleurement et étude
photogramétrique



Les différentes disciplines : géodésie (GNSS, INSAR)



Les différentes disciplines : géodésie (GNSS, INSAR)



Exemple d'une étude de géologie structurale

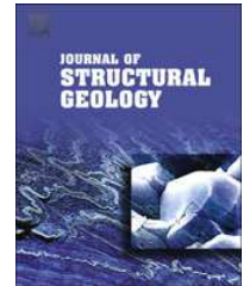
Journal of Structural Geology 31 (2009) 1238–1254



Contents lists available at [ScienceDirect](#)

Journal of Structural Geology

journal homepage: www.elsevier.com/locate/jsg



Multi-scale analysis of Proterozoic shear zones: An integrated structural and geophysical study

John R. Stewart^{a,*}, Peter G. Betts^a, Alan S. Collins^b, Bruce F. Schaefer^a

^a School of Geosciences, Monash University, Building 28, Clayton Campus, VIC 3800, Australia

^b School of Earth and Environmental Sciences, University of Adelaide, G09, Mawson Laboratories, North Terrace Campus, SA 5005, Australia

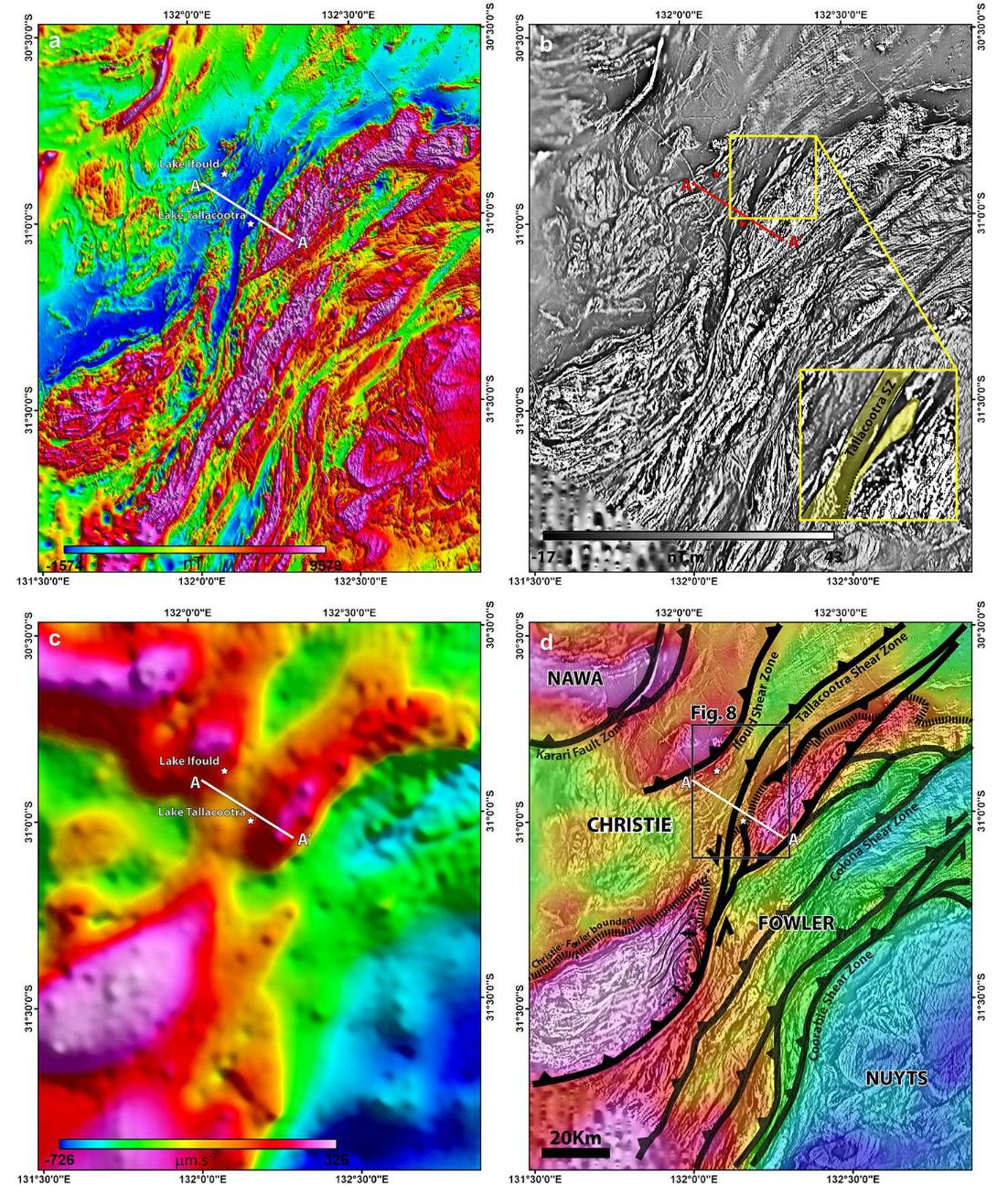
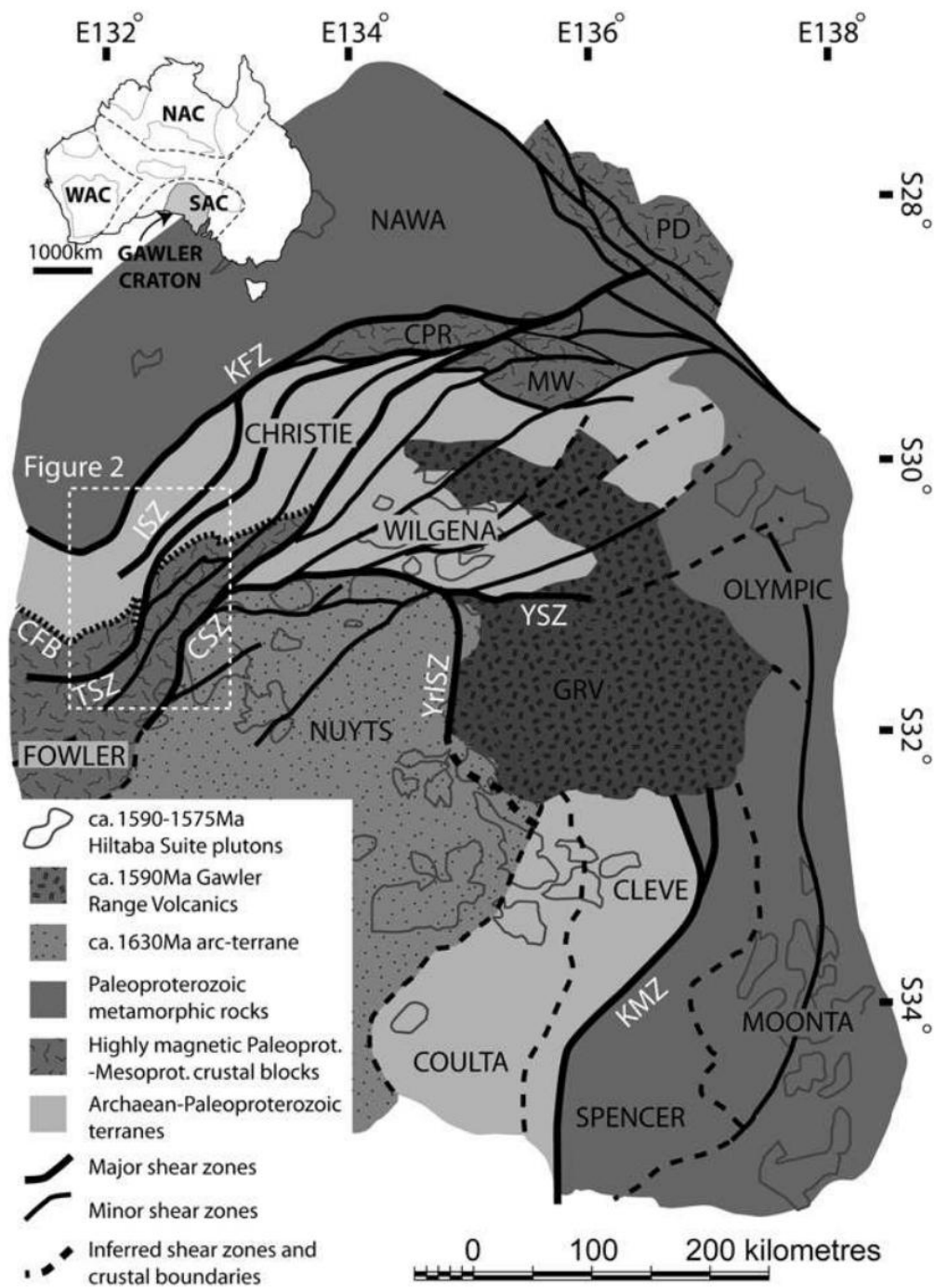


Fig. 2. Processed images of the geophysical datasets for the area shown in Fig. 1. The location of the forward modeled profile (A-A') is indicated as well as outcrops at Lake Tallacoota and Lake Ifould. (a) Pseudo-coloured RTP image of the aeromagnetic data to highlight the contrasting magnetic intensities and textures between the Christie Domain to the northwest and Fowler Domain to the southeast. (b) Greyscale 1VD of the aeromagnetic data to highlight the structural characteristics of shallow crustal features. Inset and blowup highlights the counterclockwise rotation and attenuation of an interpreted pluton as it approaches the Tallacoota Shear Zone. (c) Pseudo-coloured image of the Bouguer gravity data illuminated from the northwest. (d) Composite image of the 1VD data superimposed on the Bouguer gravity to highlight the coincidence of shallow crustal features exhibited by the magnetics with lithospheric gradients exhibited by the Bouguer gravity. Regional interpretation of major shear zone trends and kinematics with fault teeth on the hanging-wall block. Major crustal domains labeled. Box indicates area for detailed interpretation in Fig. 9.

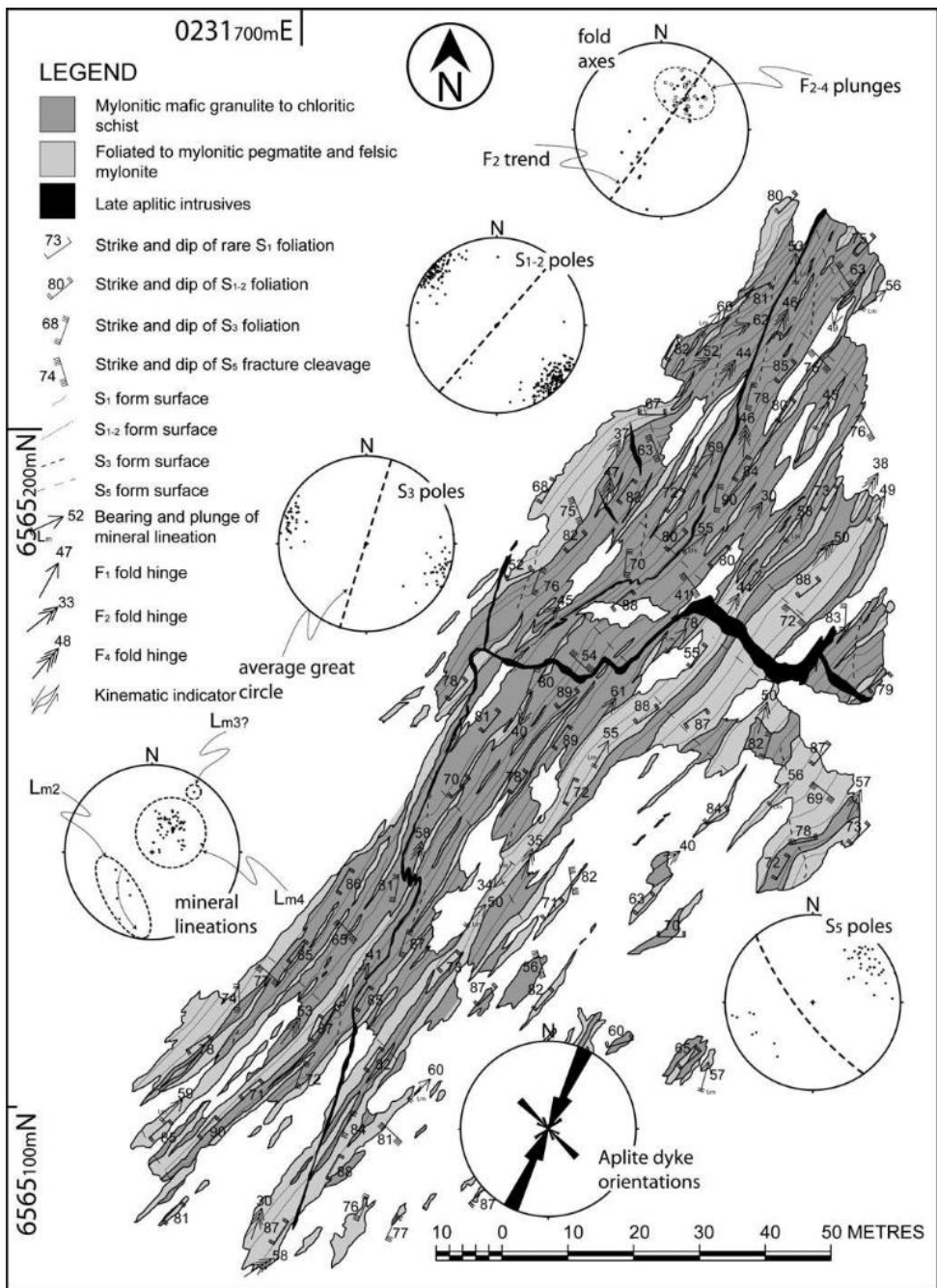


Fig. 3. Map of the main outcropping section of the Tallacootra Shear Zone within Lake Tallacootra. Note strong elongation of felsic lithologies parallel to S_2 . Equal area, lower hemisphere stereoplots of major planar (S_{1-4}) and linear (Lm_{2-4} , F_{2-4}) fabric elements. S_5 is a fracture cleavage not referred to in the text.

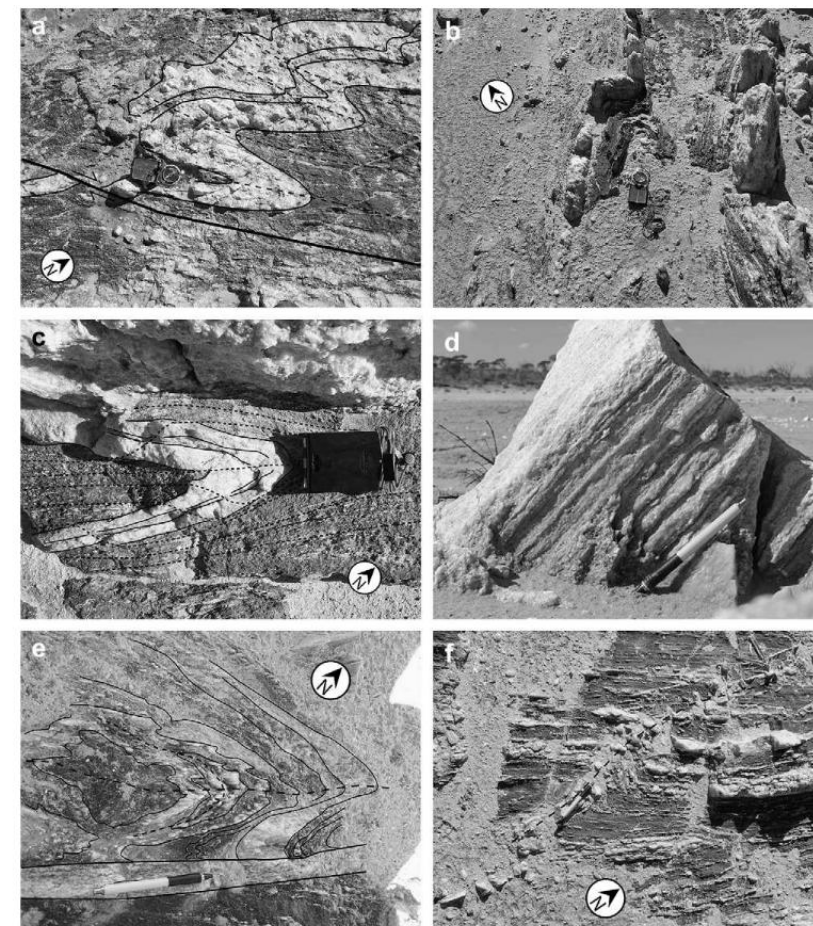


Fig. 4. Structures exposed within pavement outcrops at Lake Tallacootra. (a) Late- D_2 pegmatite within mafic gneiss exhibiting tight F_4 asymmetric folds with dextral vergence. (b) D_4 fold buckling of pegmatitic mylonite in mafic gneiss. (c) Late shear-related D_2 similar fold. Mylonitic fabric parallel to aplite margins is overprinted by cleavage in mafic gneiss. S_4 exhibits fabric distortion as it is refracted through the limbs of the folded aplite. (d) Well defined northeast-plunging Lm_4 mineral lineation consisting of aggregates of elongated quartz and feldspar in pegmatitic mylonite. (e) Flow perturbation refolding in footwall of a cm-scale northeast trending late- D_2 mylonite preserving a strong component of flattening. (f) F_4 asymmetric folds of D_2 leucocratic veins in mafic gneiss. Sigmoidal axial plane is parallel to S_3 .

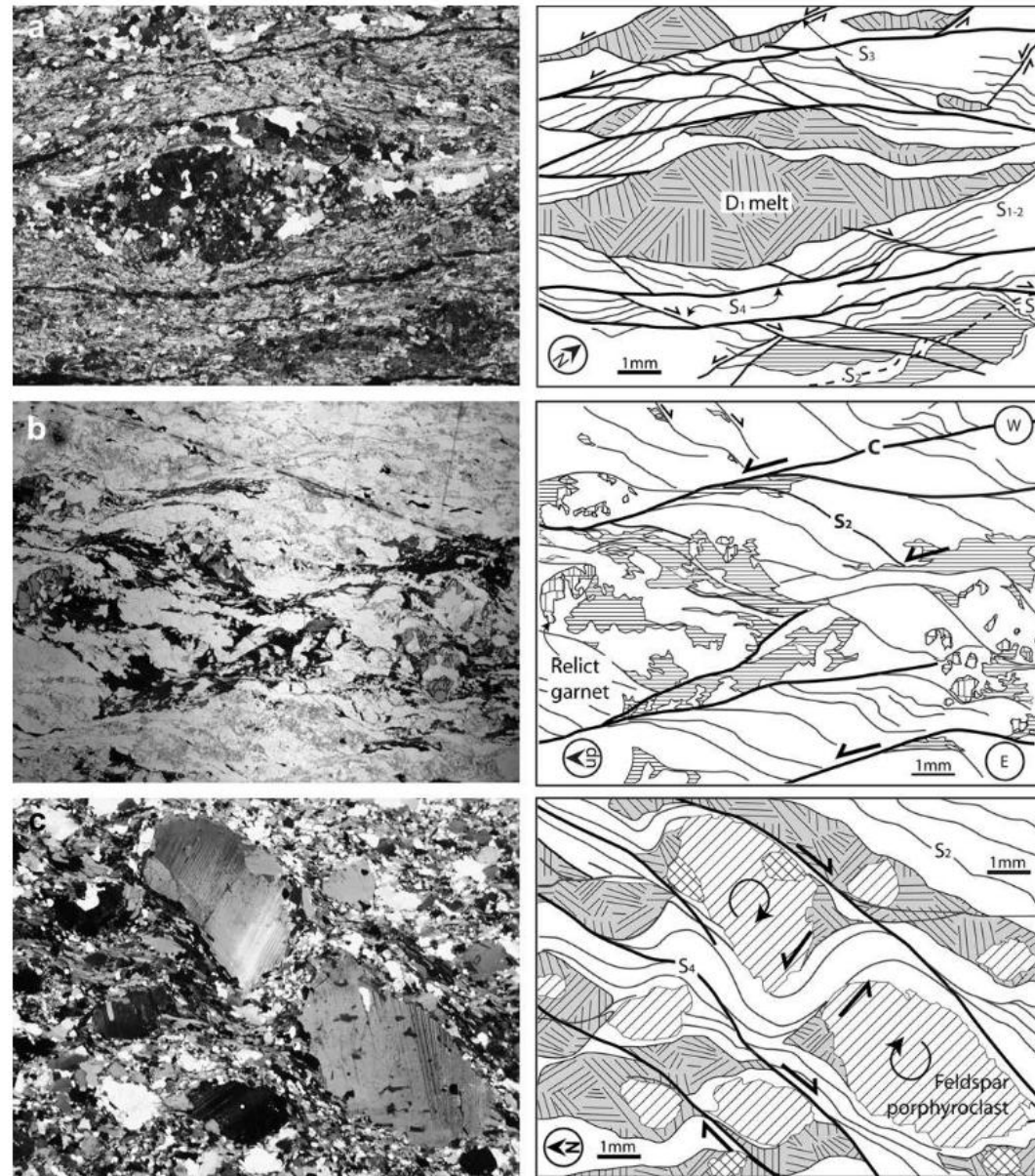
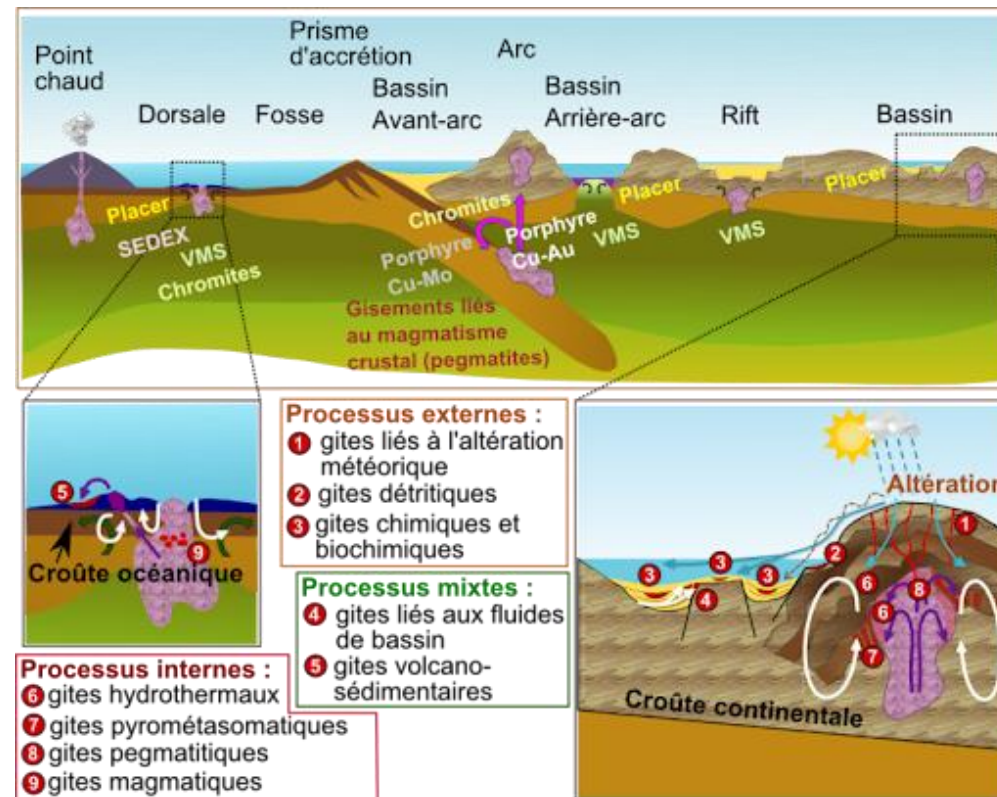


Fig. 5. Photomicrographs of thin sections (left) with sketches showing main fabric elements (right). (a) Retrograde overprinting of D₂ fabrics and D₃ sinistral shears by anastomosing D₄ microshears within chloritic quartz-feldspar-biotite-muscovite ± garnet schist. Note F₂ fold hinge in eastern corner. Crossed polars. (b) Quartz-kspars-biotite ± garnet mylonite with a well developed S-C fabric. S₂ fabric and quartz melts are dragged into D₃ west-side-up C planes. Plane polarized light. (c) Quartz-feldspar-biotite-garnet protomylonite with recrystallised quartz matrix and D₂ muscovite-biotite fabric wrapping around twinned K-feldspar porphyroclasts. Clockwise rotation of porphyroclasts is accompanied by antithetic sinistral shear during dextral movement on S₄ surfaces. Crossed polars.

Finalelement, la géologie structurale, s'efforce, grâce à de multiples disciplines (géologie de terrain, géophysique, petrologie, petrophysique), à mieux comprendre les structures et l'histoire géologique qui a mené a leur formation.

Mais... Pourquoi?

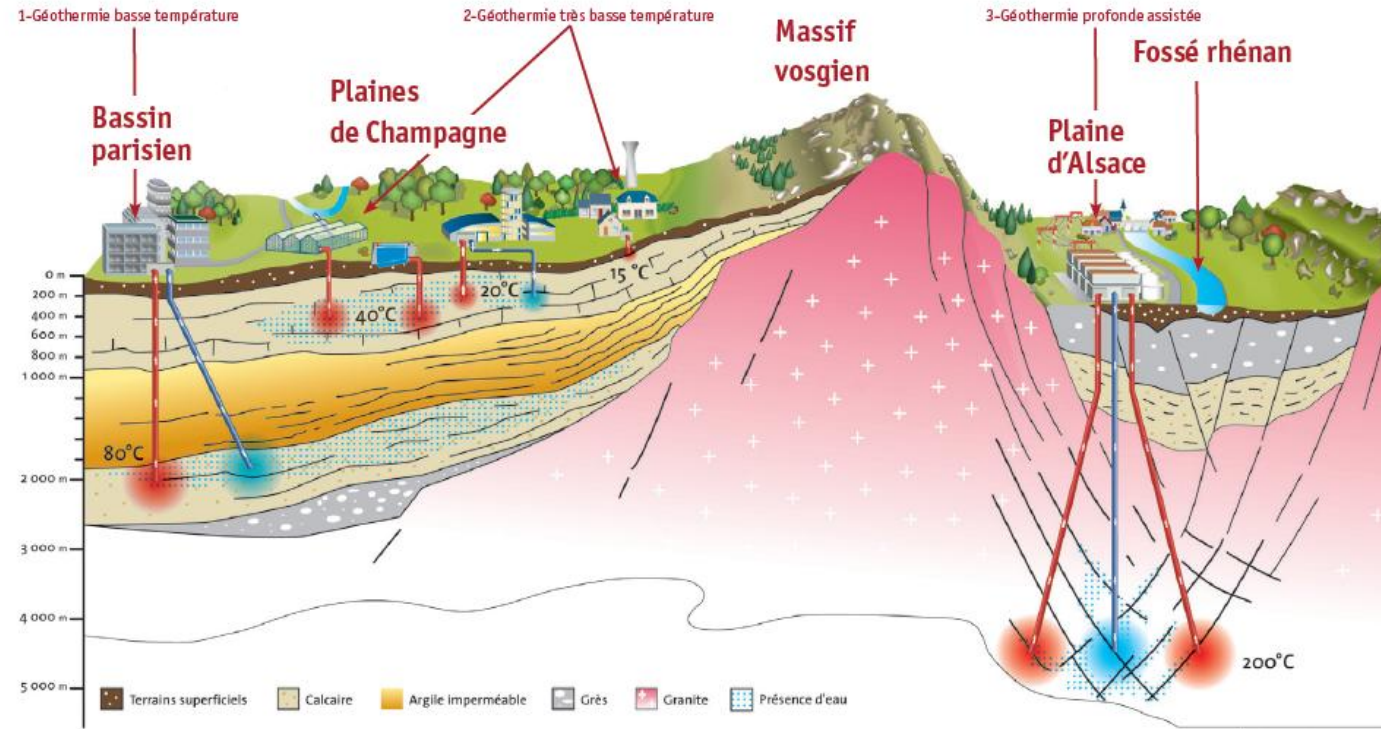
- Ressources



Mais... Pourquoi?

- Géothermie

COUPE SIMPLIFIÉE DE LA GÉOLOGIE EN GRAND EST ET IMPLANTATION DES DIFFÉRENTES GÉOTHERMIES.



Mais... Pourquoi?

- Géotechnique (ex. Creusement du Lyon-Turin)

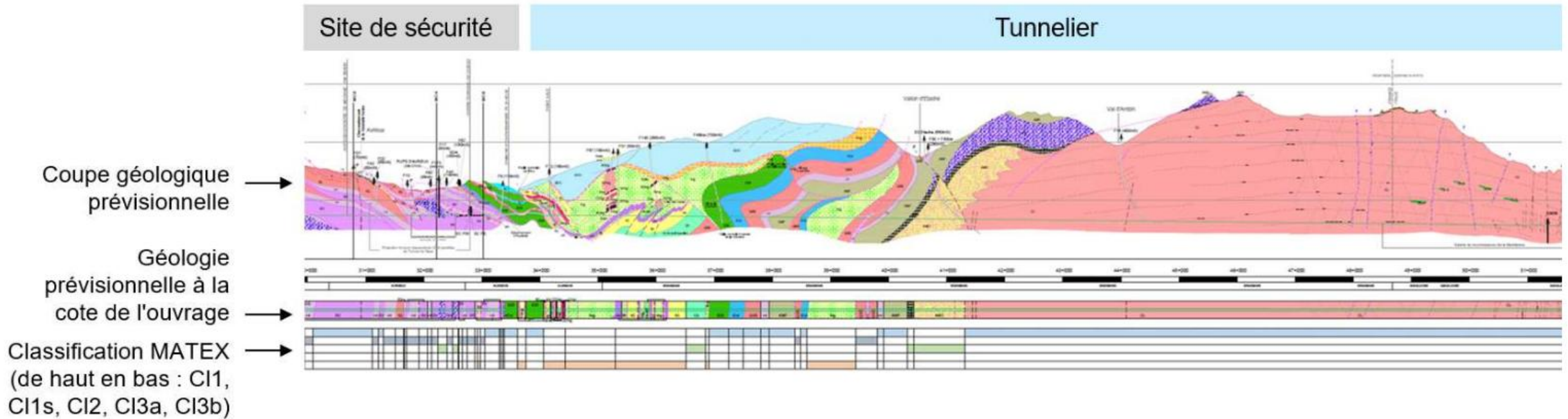
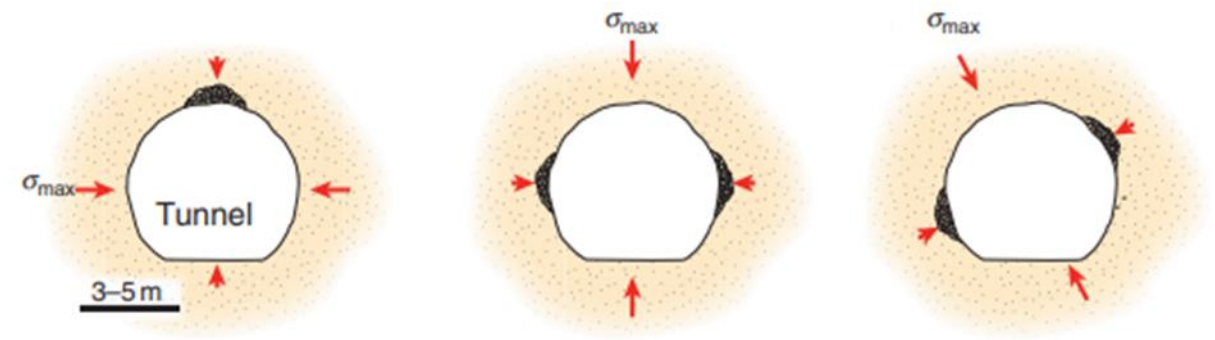
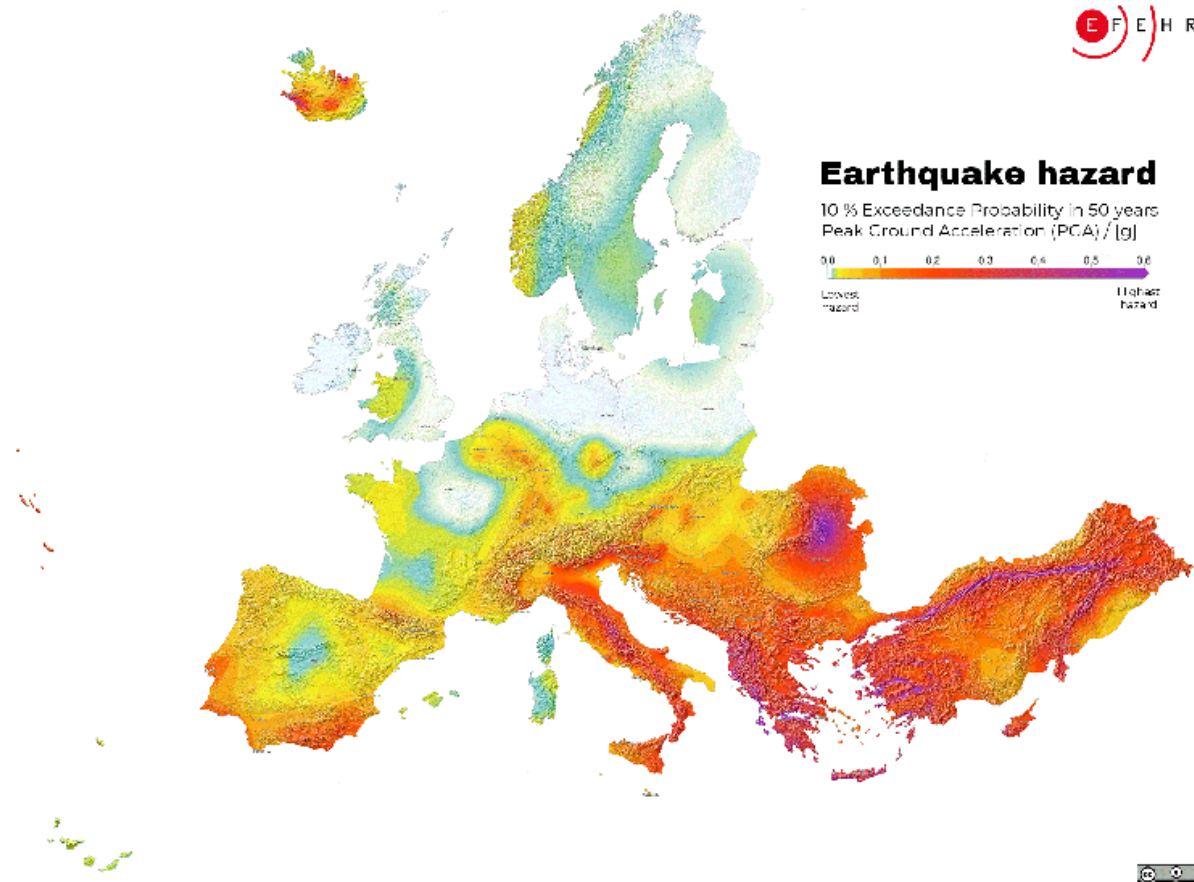


Figure 3. Coupe géologique prévisionnelle et classification des MATEX

Mais... Pourquoi?

- Estimation de l'aléa (ex. Tremblements de Terre)



Mais... Pourquoi?

- Compréhension de la dynamique de la Terre (ex. Cycles de Wilson)

