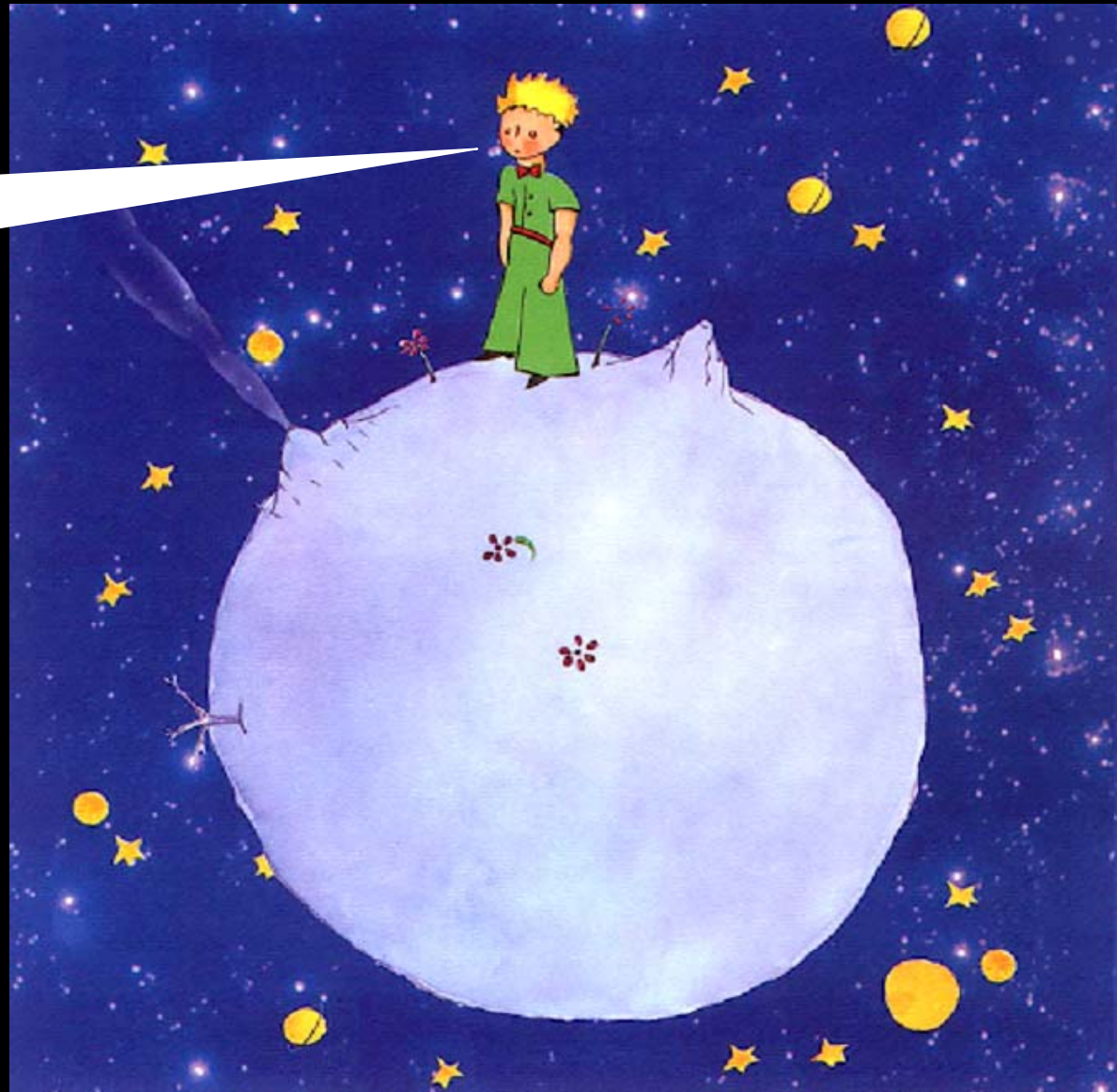


Comment les pierres racontent la Terre

*Dis, dessine
moi la Terre.*

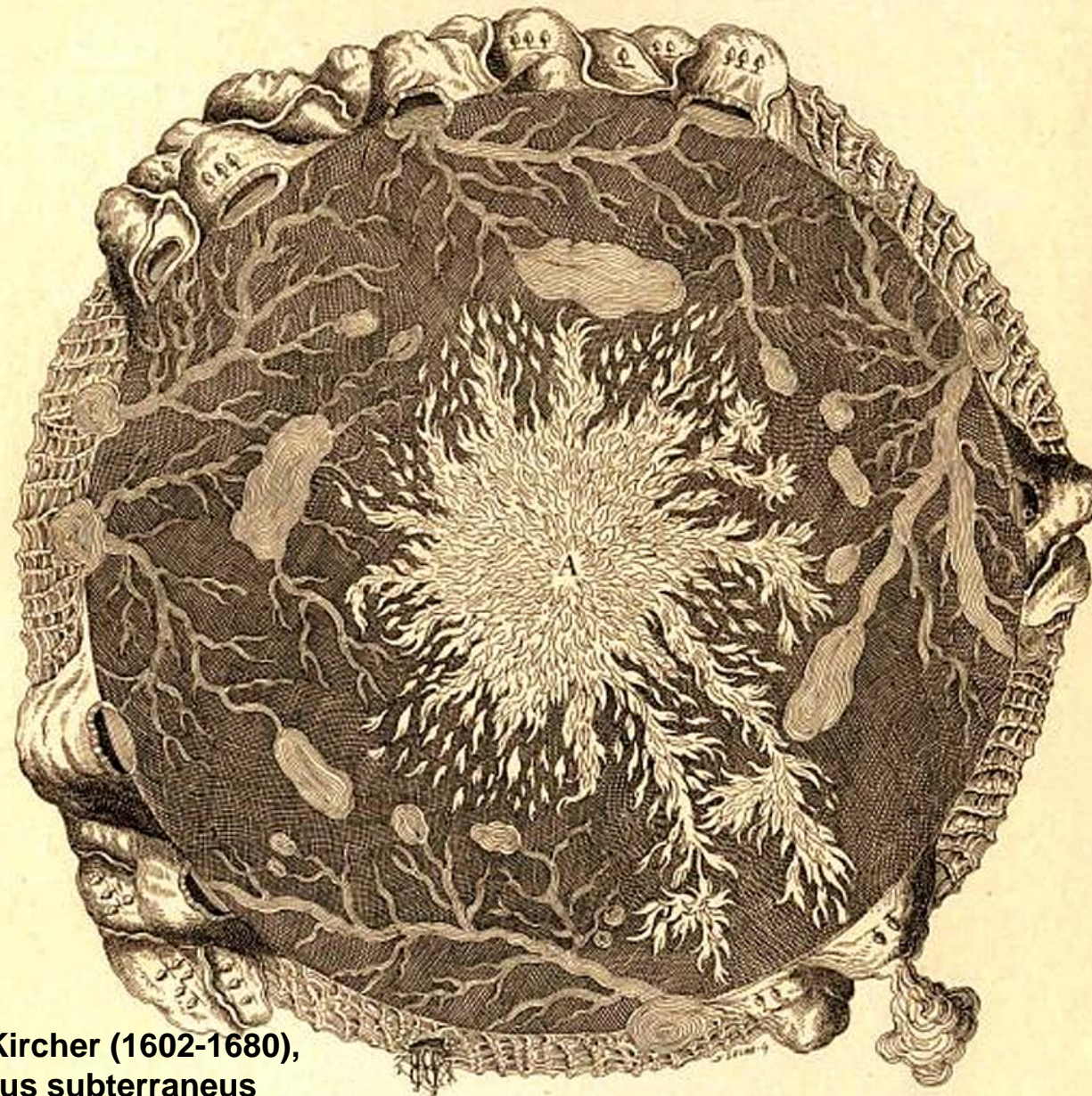


Pierre THOMAS, ENS Lyon

Fleurance, août 2011

**Comment et de quoi
est constitué
l'intérieur de
la Terre ?**



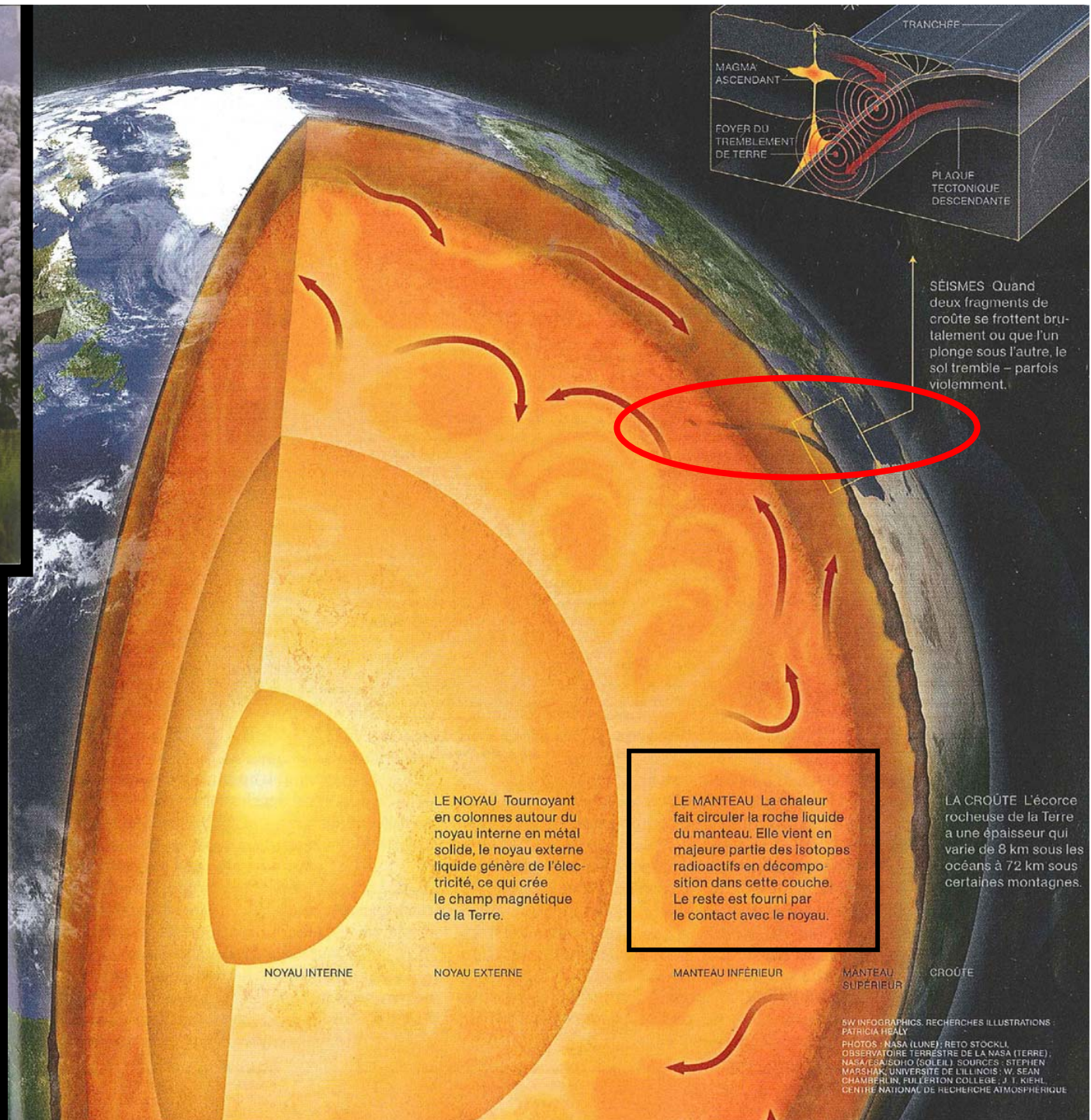


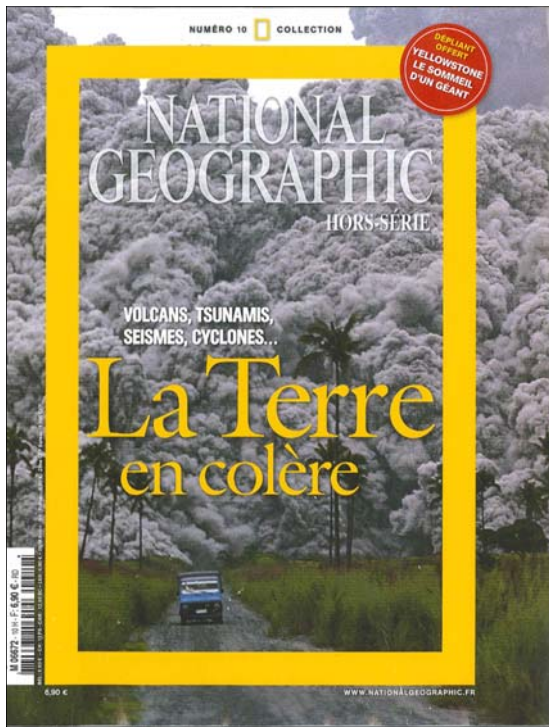
R.P. Kircher (1602-1680),
Mundus subterraneus

Dans l'inconscient collectif, et ce depuis des siècles, le centre de la Terre est une boule de magma en fusion.



**La vision
actuelle
« grand-
public » de
cet intérieur
de la Terre,
fausse.**

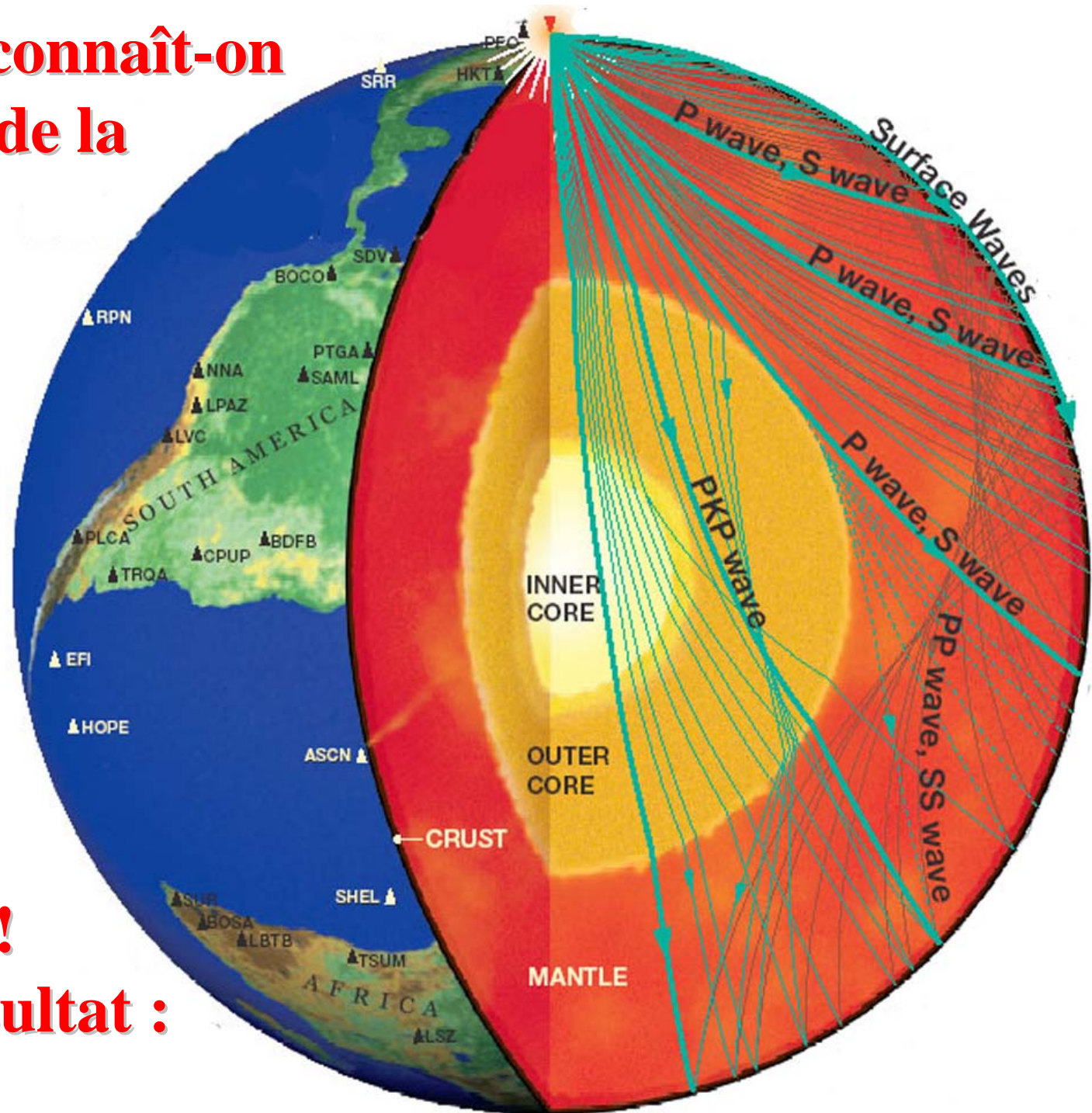




**La vision
actuelle
« grand-
public » de
cet intérieur
de la Terre,
fausse.**



**Comment connaît-on
l'intérieur de la
Terre ?**



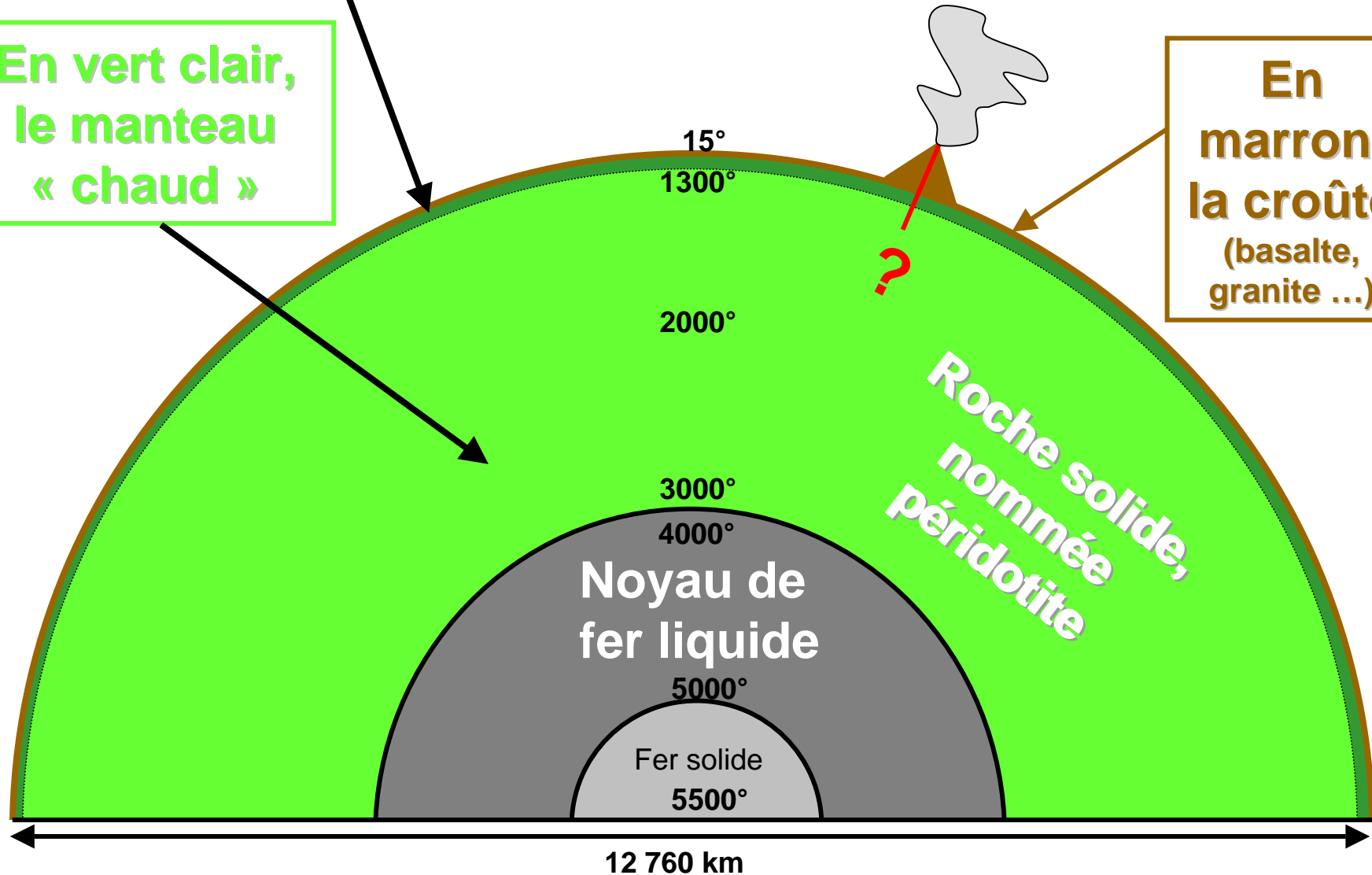
**Grâce à la
sismologie !
Voici le résultat :**

La structure interne de la Terre

En vert foncé, le manteau « froid »

En vert clair, le manteau « chaud »

En marron, la croûte (basalte, granite ...)





Un morceau de manteau (terrestre)

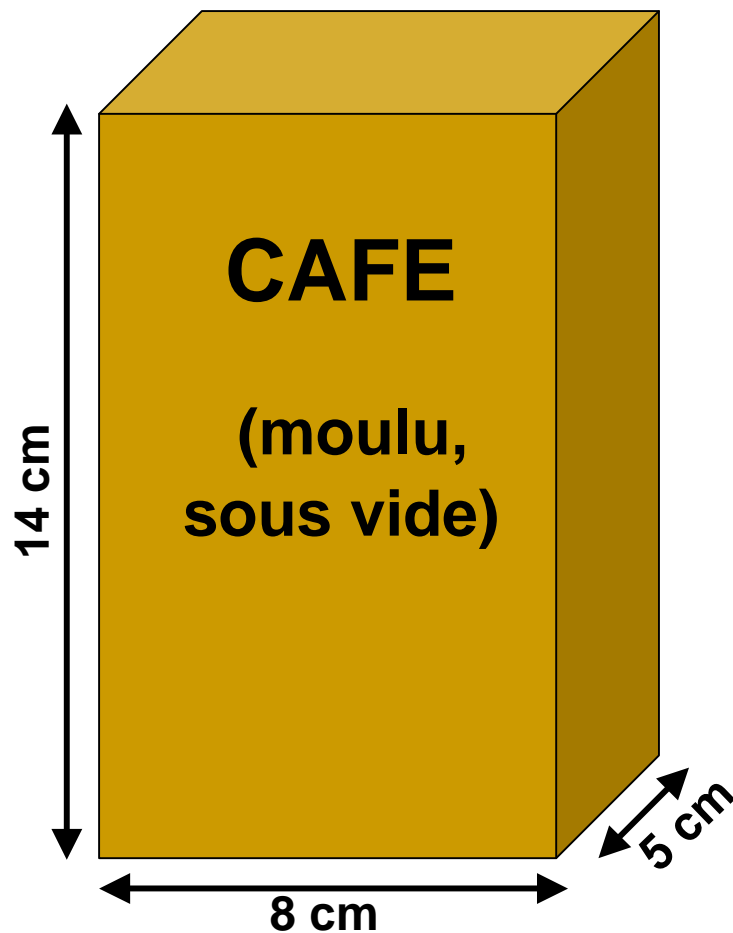
Première question : pourquoi la Terre est-elle chaude à l'intérieur ?

Surtout à cause de la radioactivité naturelle : 0,2 gramme d'Uranium par tonne de « cailloux ».



L'intérieur de la Terre chauffe
comme 42 000 centrales nucléaires

Deuxième question : pourquoi la Terre est-elle solide à l'intérieur, malgré la très haute température ?



Pression atmosphérique :
1013 hPa ~ 1 kg / cm²

Surface du paquet de café
440 cm²

Poids de l'air qui "écrase" le
plastic autour du paquet de
café : 440 kg

Les grains de café sont
écrasés les uns sur les autres
par ce poids et cette pression.
→ le paquet est solide

La pression due aux roches sus-
jacentes rend l'intérieur de la Terre
solide, malgré la haute température

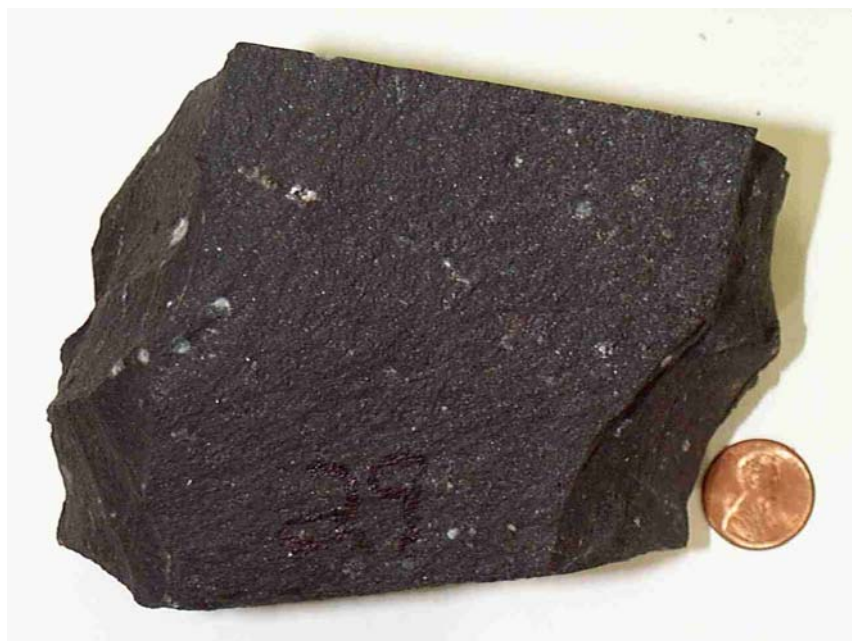


Et pourtant, malgré l'état solide de l'intérieur de la Terre, il sort parfois de la lave, roche fondue, ici très fluide comme au Pu'u 'o 'o , à Hawaii, en 1986. D'où vient cette lave ?

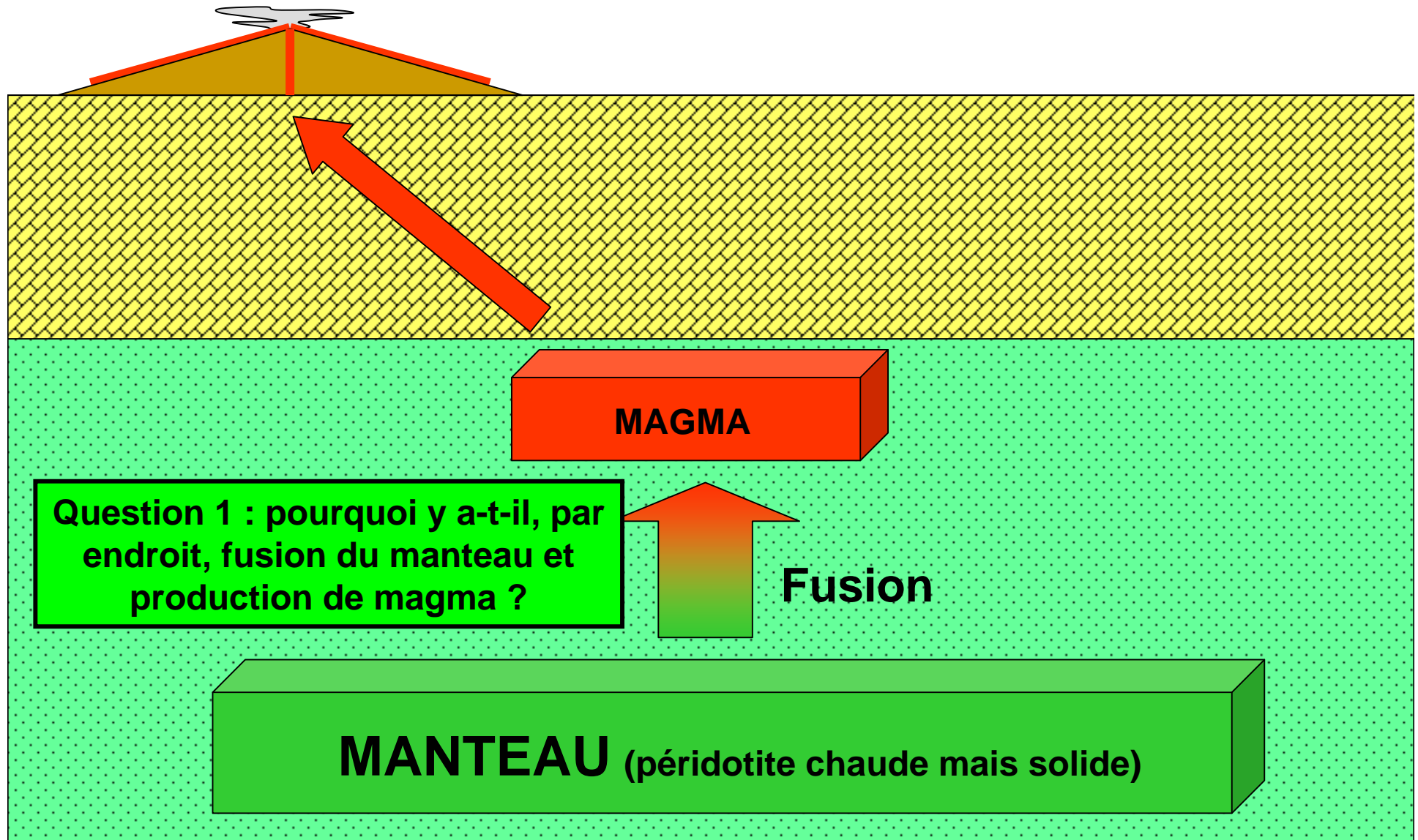


En refroidissant, cette lave très fluide donne du basalte

Des basaltes et des roches voisines, qu'on verra en échantillon et au microscope



**LAVE FLUIDE (basalte ...)
VOLCANISME EFFUSIF**

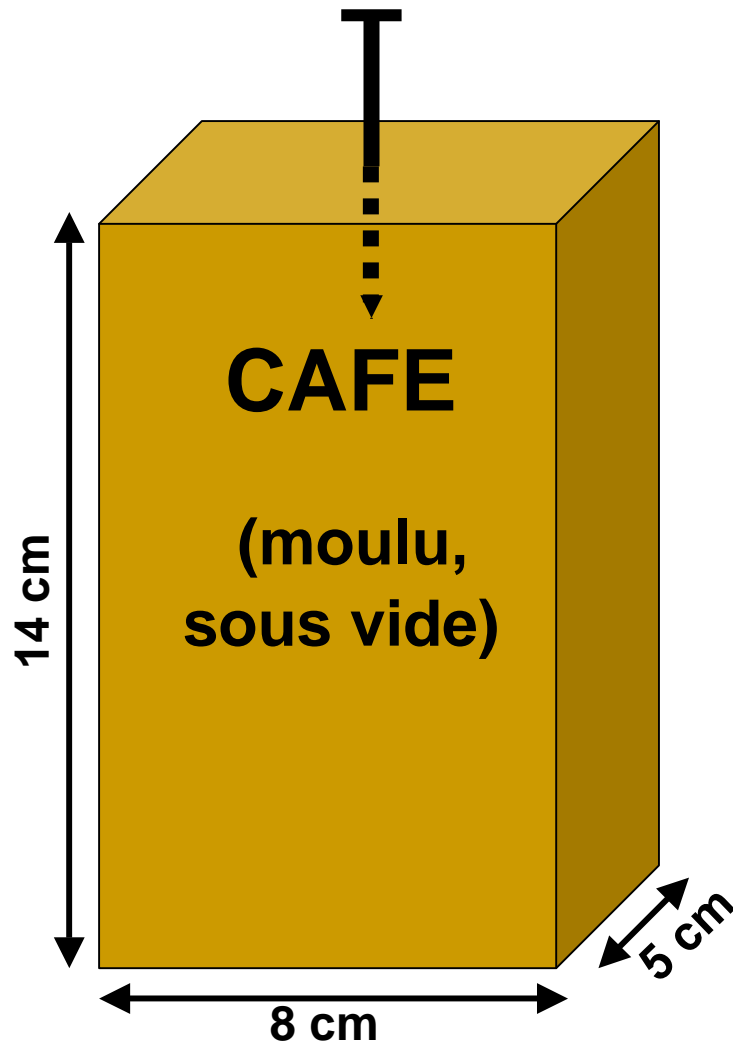


MAGMA

Question 1 : pourquoi y a-t-il, par endroit, fusion du manteau et production de magma ?

Fusion

MANTEAU (péridotite chaude mais solide)

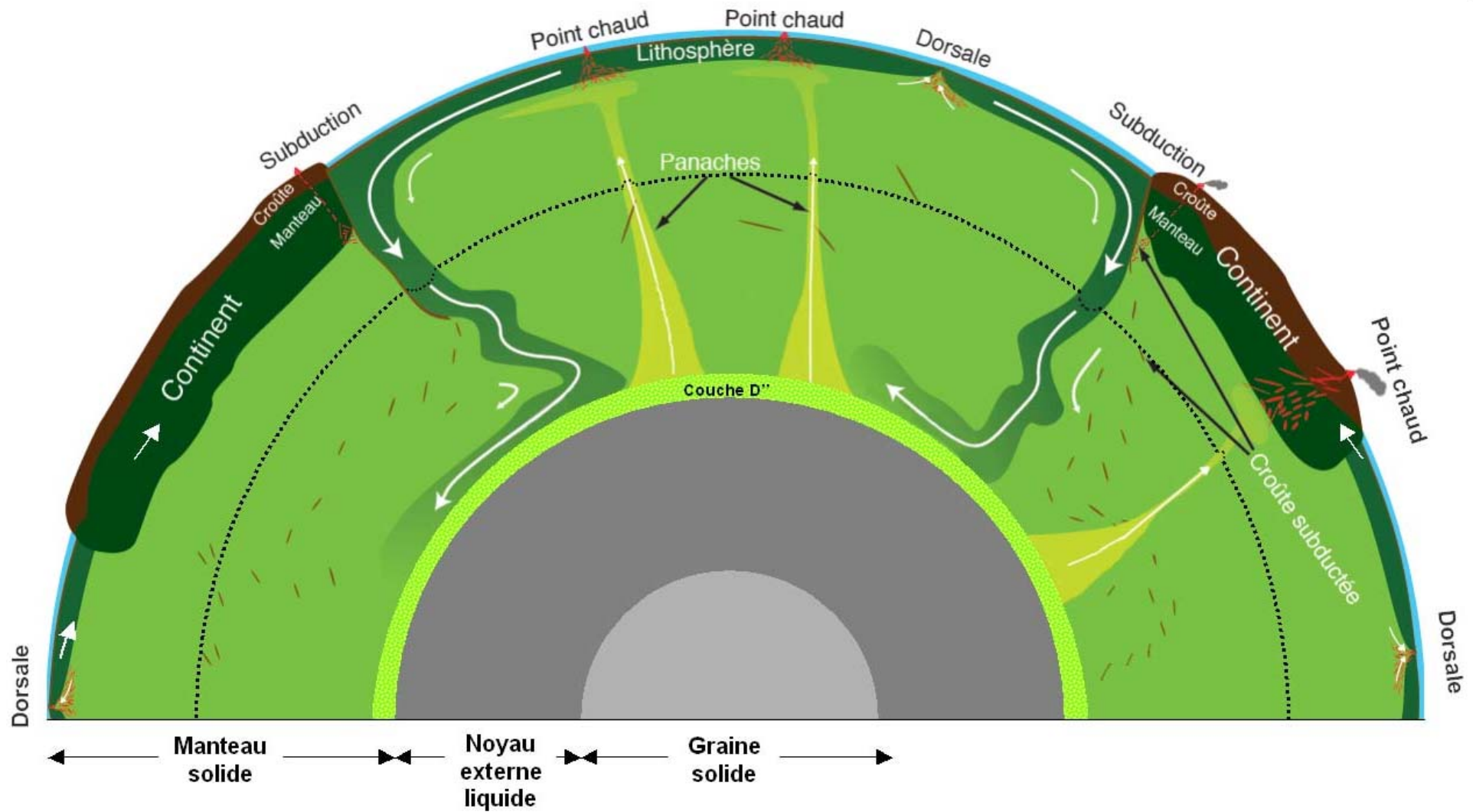


**On perce le paquet de café.
De l'air rentre dedans**

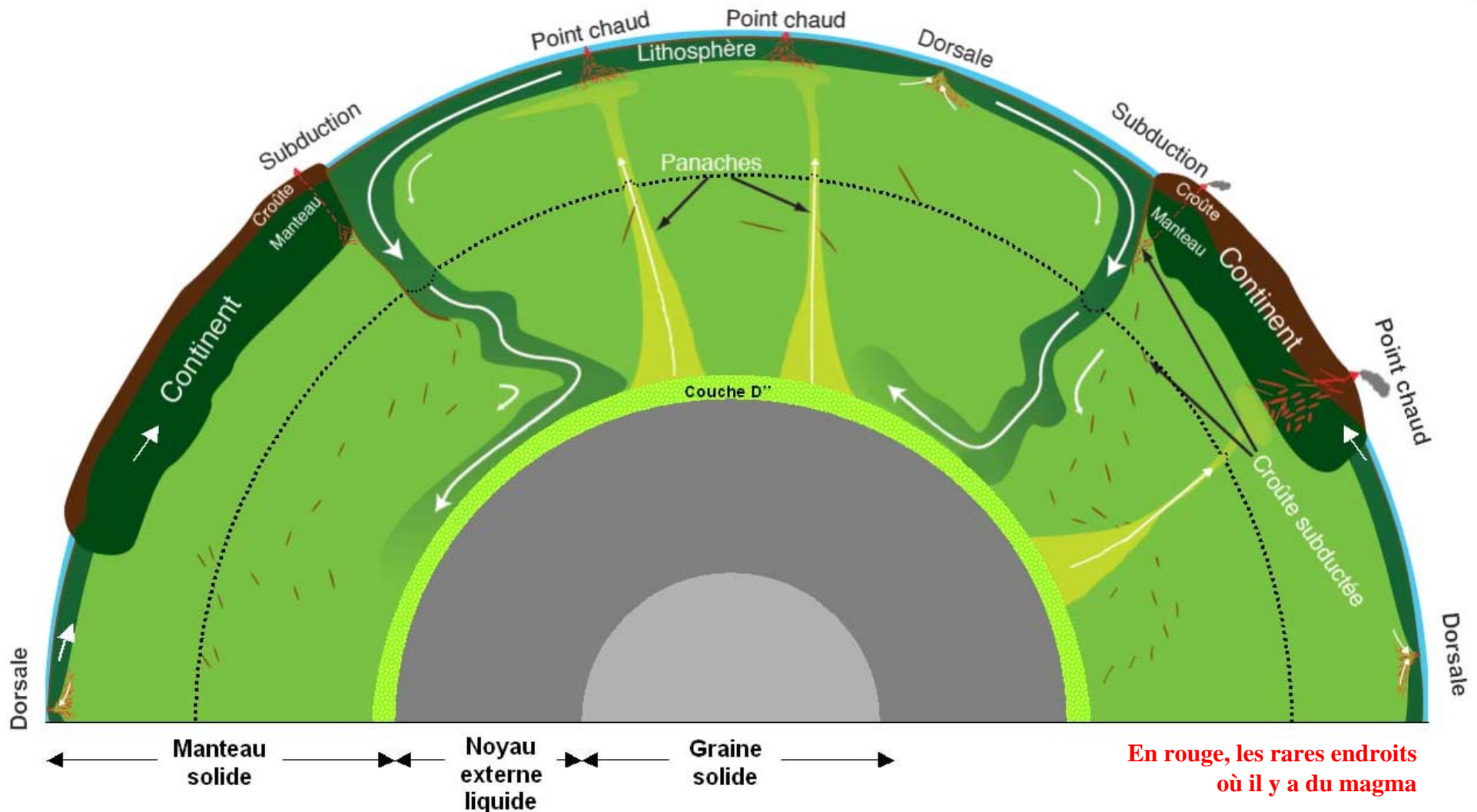
**Il y a autant d'air de chaque
coté du plastic, qui n'écrase
plus la poudre de café.**

**Les grains de café ne sont
plus écrasés les uns sur les
autres par la pression de l'air
→ le paquet est mou**

**Cette comparaison montre
que diminuer la pression
fait fondre les corps
suffisamment chauds**

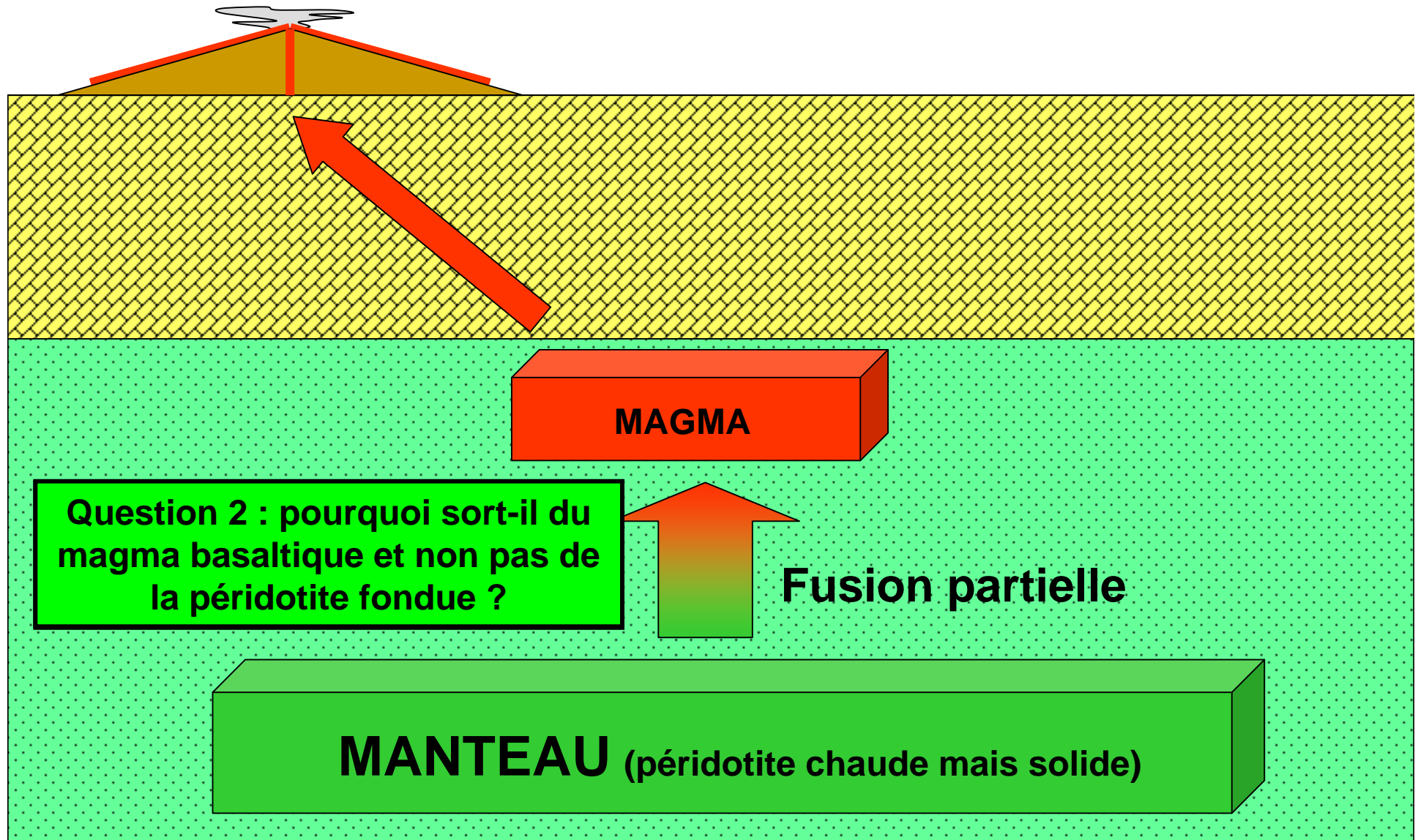


La Terre est froide à l'extérieur, chaude à l'intérieur. Ça « convecte » comme l'eau dans une casserole sur le feu. Mais comme c'est solide, ça ne bouge qu'à ... 5 cm / an.



Il y a des parties qui montent ; leur pression diminue ; elles fondent très légèrement. Il y a des parties qui descendent, ce qui amène de l'eau dans le manteau situé au dessus, qui alors va aussi fondre très légèrement.

**LAVE FLUIDE (basalte ...)
VOLCANISME EFFUSIF**

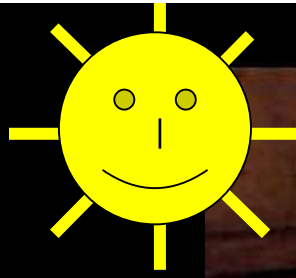


MAGMA

Question 2 : pourquoi sort-il du magma basaltique et non pas de la péridotite fondue ?

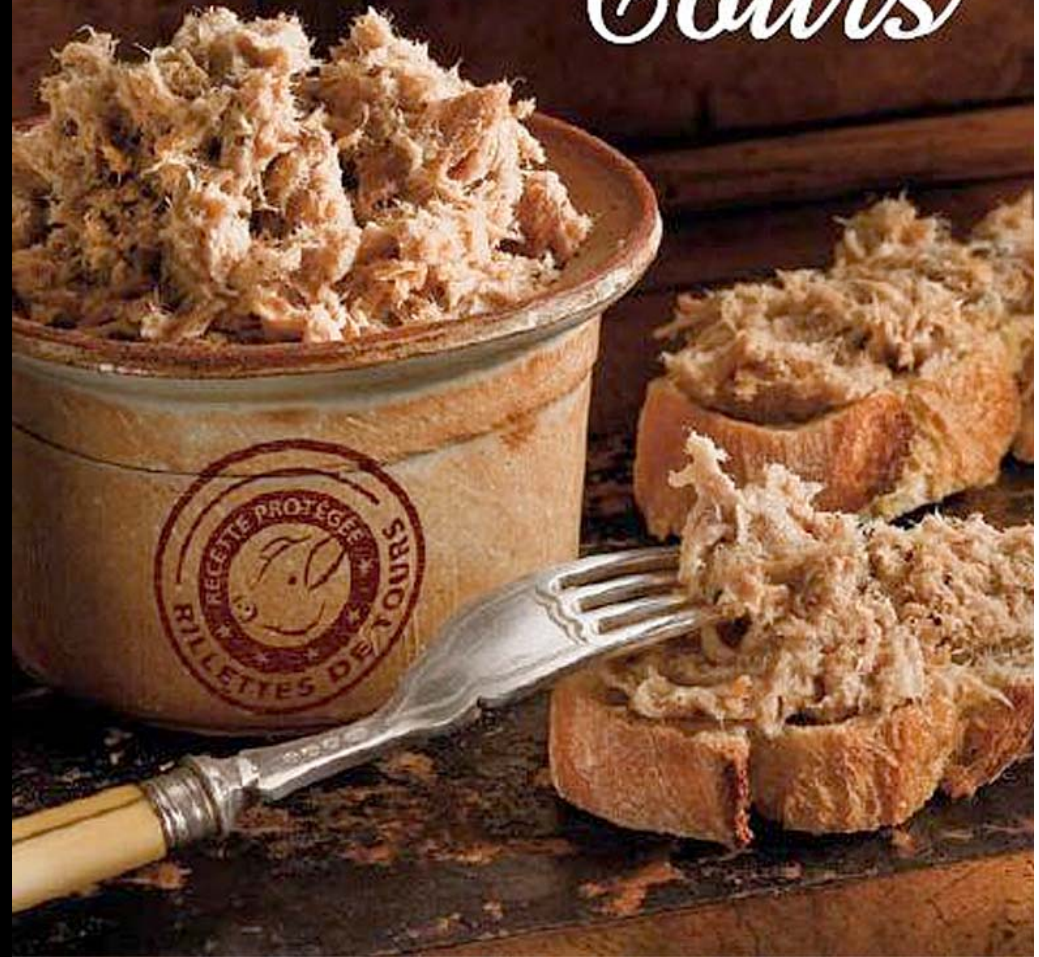
Fusion partielle

MANTEAU (péridotite chaude mais solide)



Quand on met des rillettes au soleil, il y a une fusion très partielle. Un peu de gras fond, et il reste des rillettes légèrement dégraissées. C'est pareil avec de la péridotite. Si on la fond à quelques %, ça donne du basalte et un résidu de péridotite appauvrie

*Les
Rillettes
de Tours*





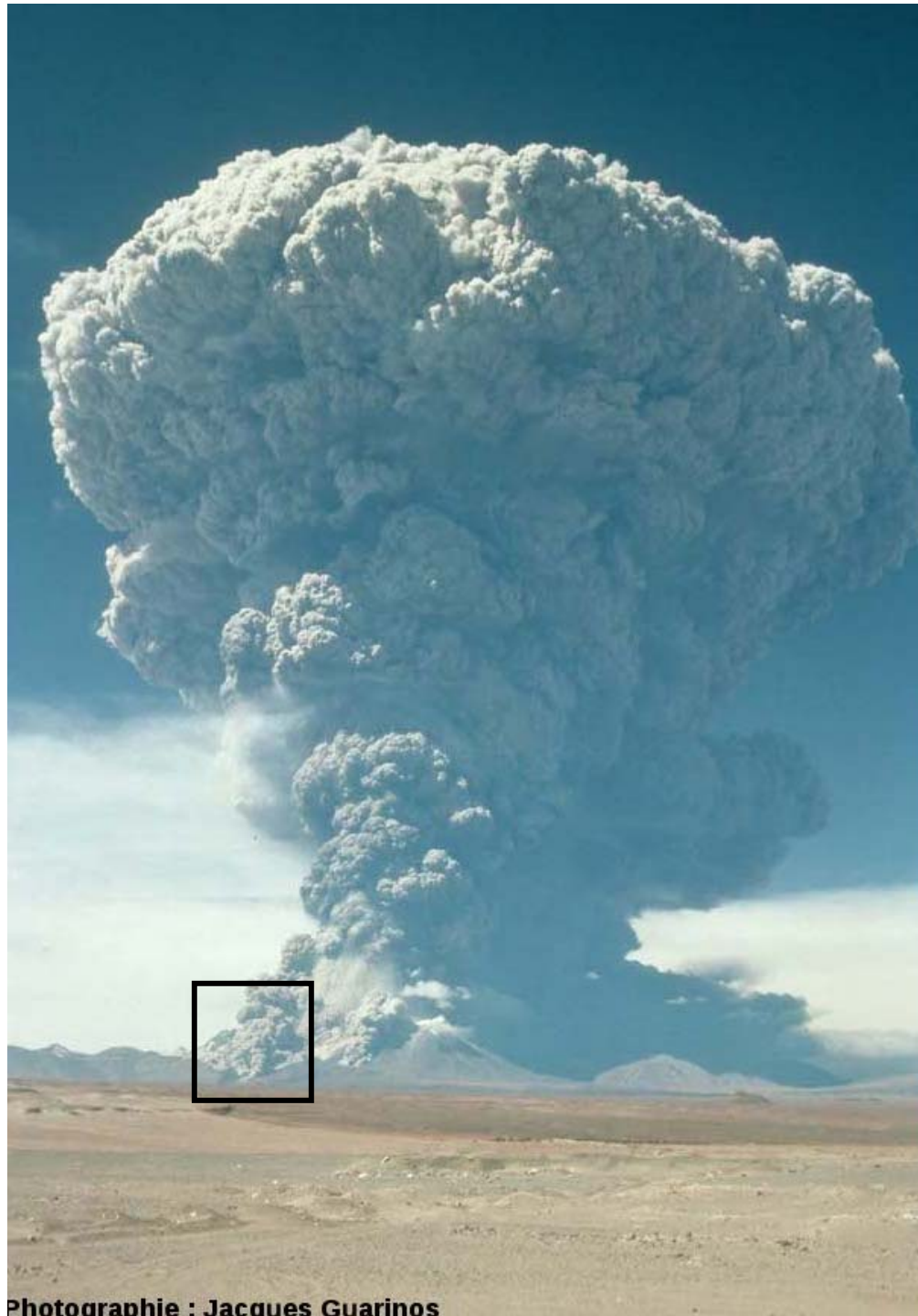
Mais il y a des volcans avec une lave tellement visqueuse qu'elle ne coule pas mais fabrique un dôme, comme ici celui du Kelud, à Java.



Il faut attendre le soir pour voir que l'intérieur de ce dôme est fait de lave chaude (mais visqueuse)



Comme le dôme gonfle sous l'arrivée de nouveau magma, il s'éboule.



Photographie : Jacques Guarinos

18 km

**Parfois, ces volcans
à lave visqueuse
explorent, et
donnent des
« panaches pliniens »,
ainsi que ...**



Photographie : Jacques Guarinos

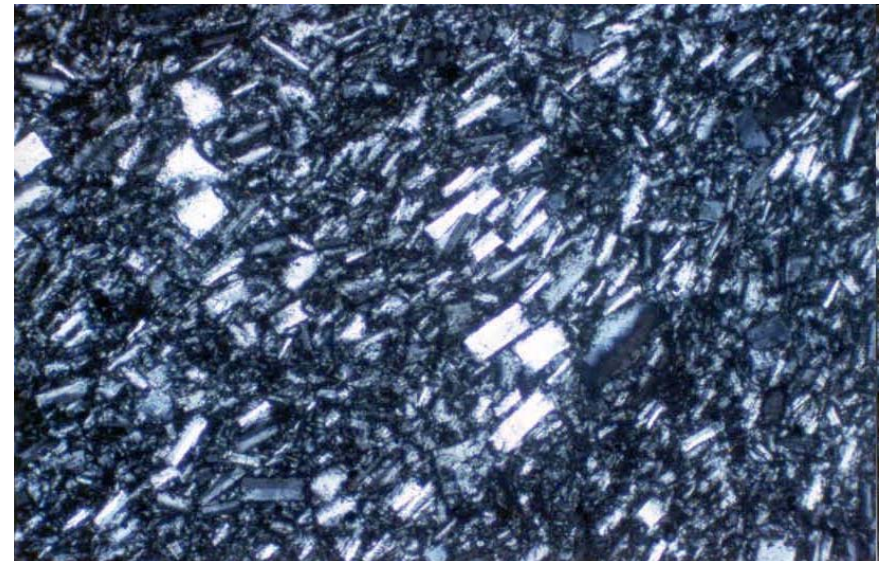
... et des coulées pyroclastiques (= nuées ardentes)



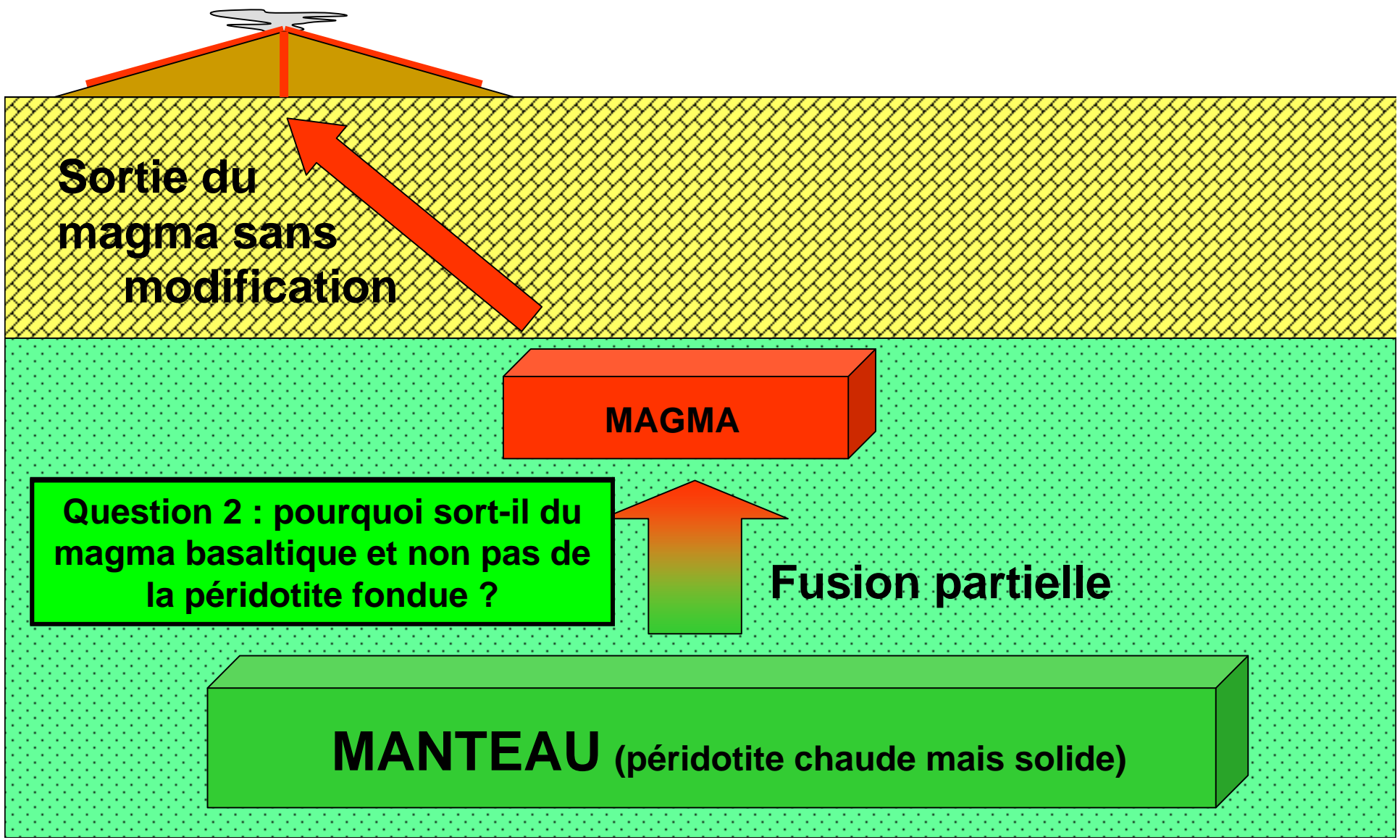
Photographie : Jacques Guarinos

Ces coulées pyroclastiques charrient des ponces

Les roches : des trachytes, des dacites, des rhyolites ..., massives ou sous forme de ponce, qu'on verra en échantillon et au microscope.



**LAVE FLUIDE
VOLCANISME EFFUSIF**



**Sortie du
magma sans
modification**

MAGMA

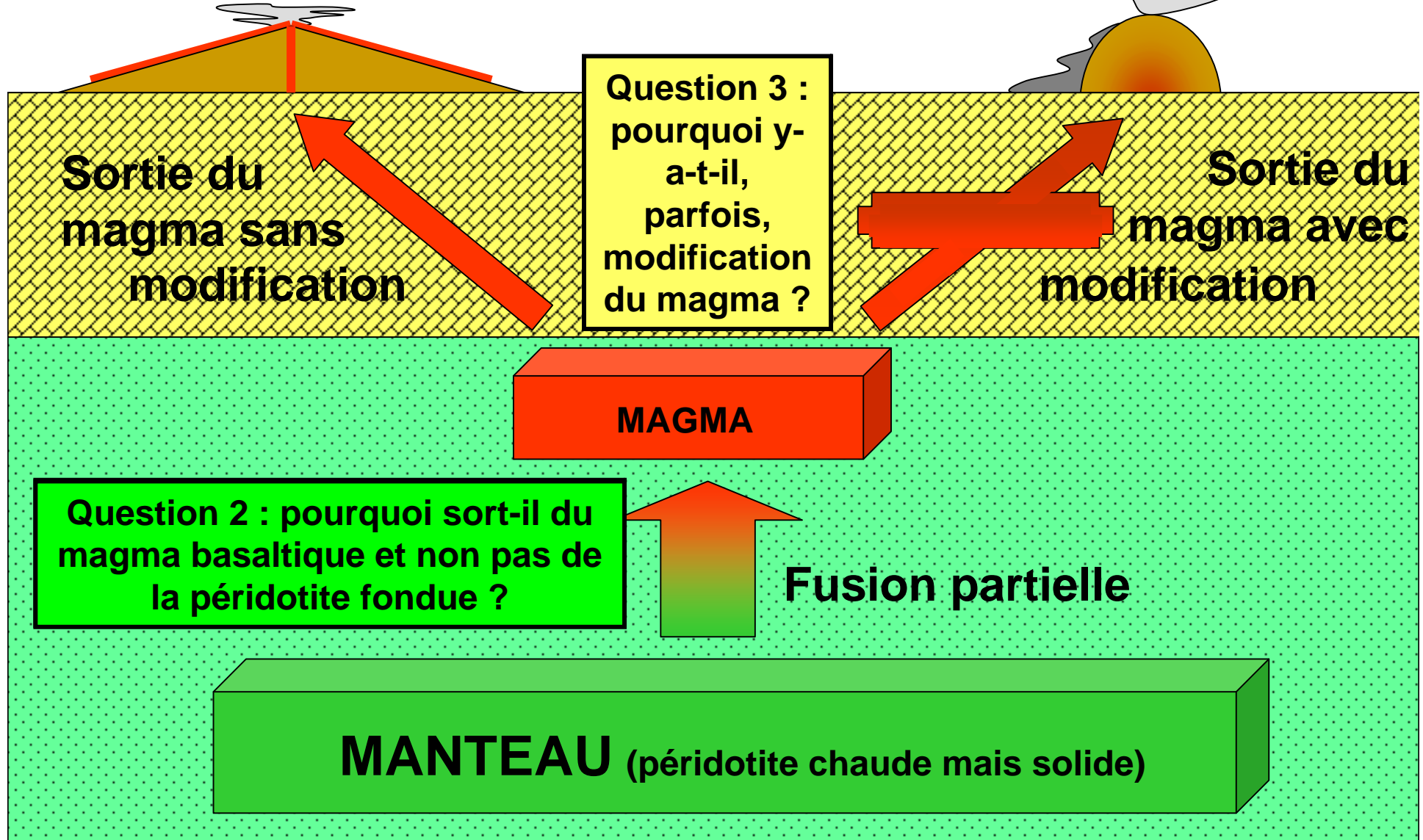
Question 2 : pourquoi sort-il du magma basaltique et non pas de la péridotite fondue ?

Fusion partielle

MANTEAU (péridotite chaude mais solide)

LAVE FLUIDE (basalte ...)
VOLCANISME EFFUSIF

LAVE VISQUEUSE (rhyolite ...)
VOLCANISME EN DOME ET/OU
EXPLOSIF



Question 3 :
pourquoi y-
a-t-il,
parfois,
modification
du magma ?

Sortie du
magma sans
modification

Sortie du
magma avec
modification

Question 2 : pourquoi sort-il du
magma basaltique et non pas de
la péridotite fondue ?

Fusion partielle

MANTEAU (péridotite chaude mais solide)

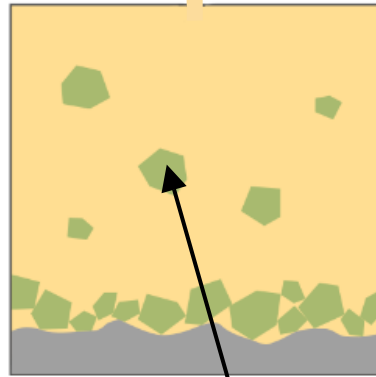
MAGMA



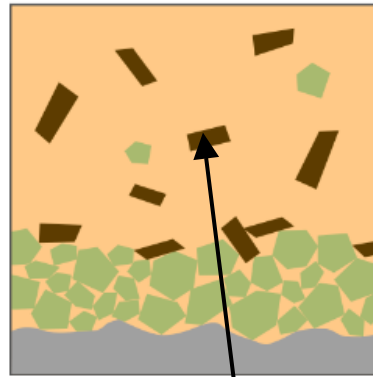
← Basalte



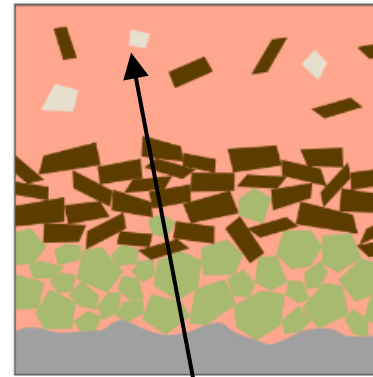
Rhyolite →



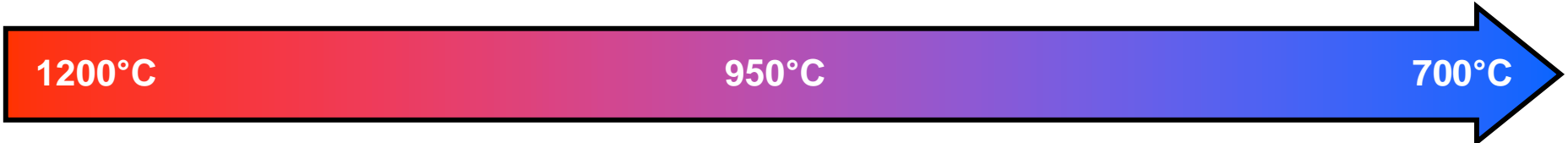
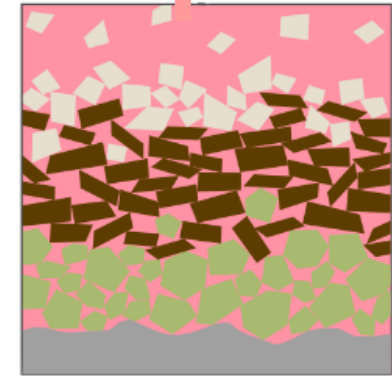
SiO₂ = 35%



SiO₂ = 50%



SiO₂ = 60%



La cristallisation fractionnée (= différenciation) modifie la chimie, donc la viscosité du magma

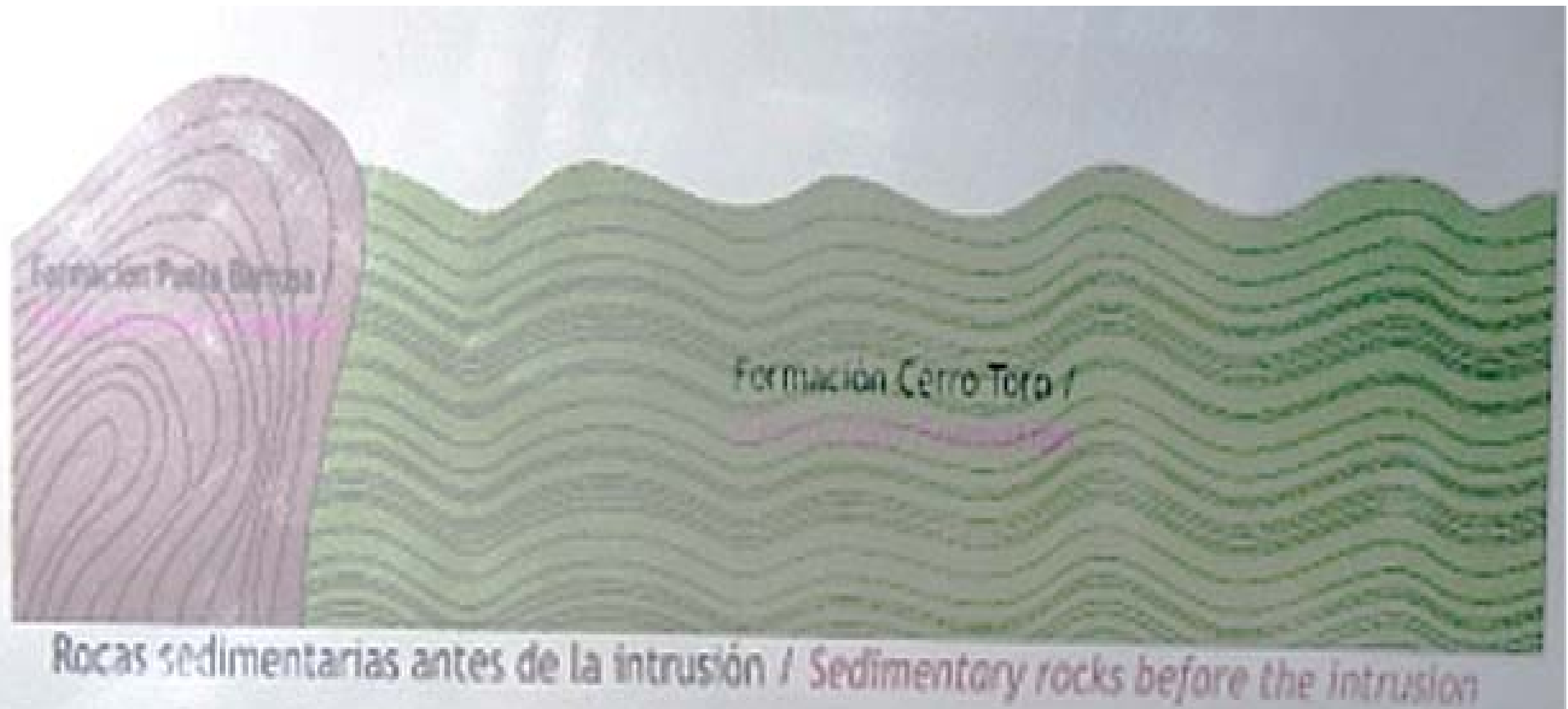


Photographie Pierre Thomas

Parfois, le magma, surtout quand il est visqueux, n'atteint pas la surface et cristallise en profondeur



Parfois, le magma, surtout quand il est visqueux, n'atteint pas la surface et cristallise en profondeur

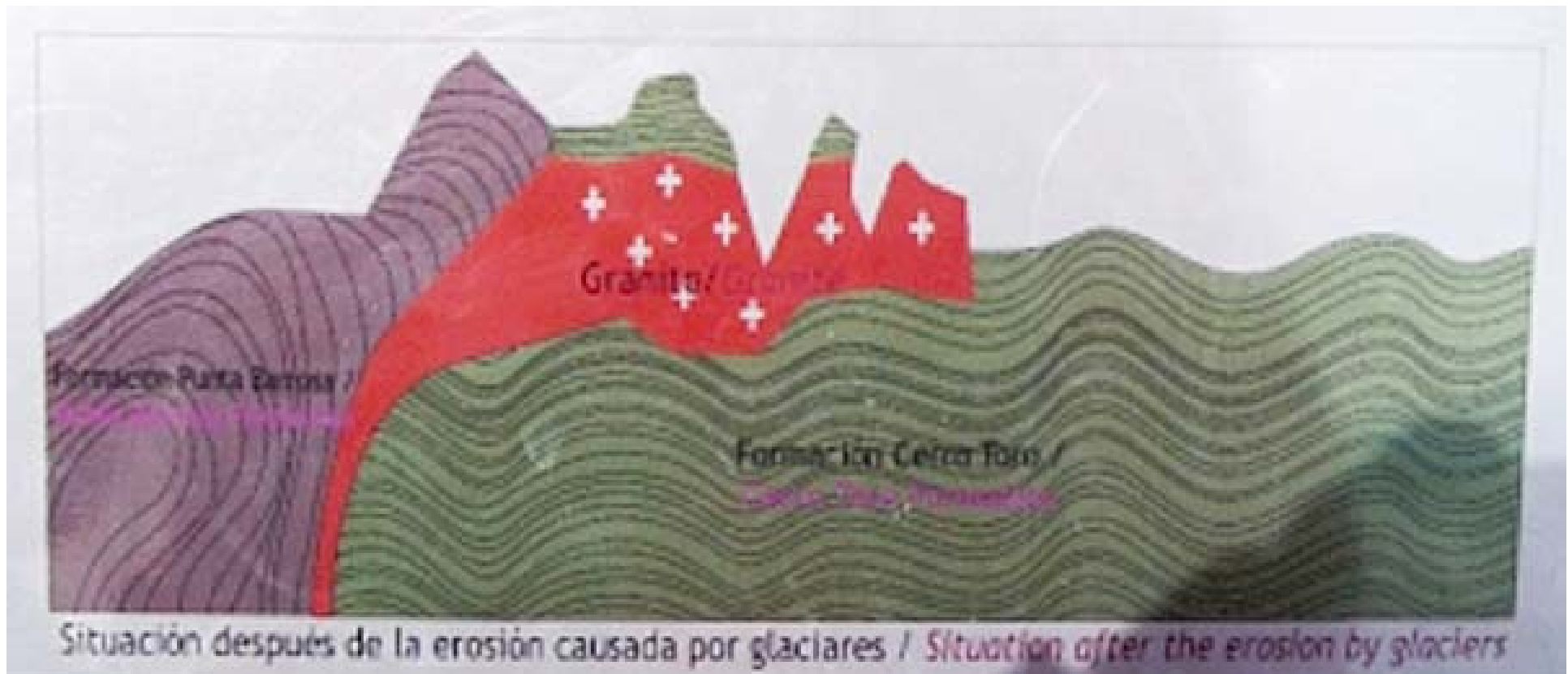


Voilà comment un « panneau touristique » explique, en trois étapes, la genèse du granite de Torres del Paine en Patagonie chilienne



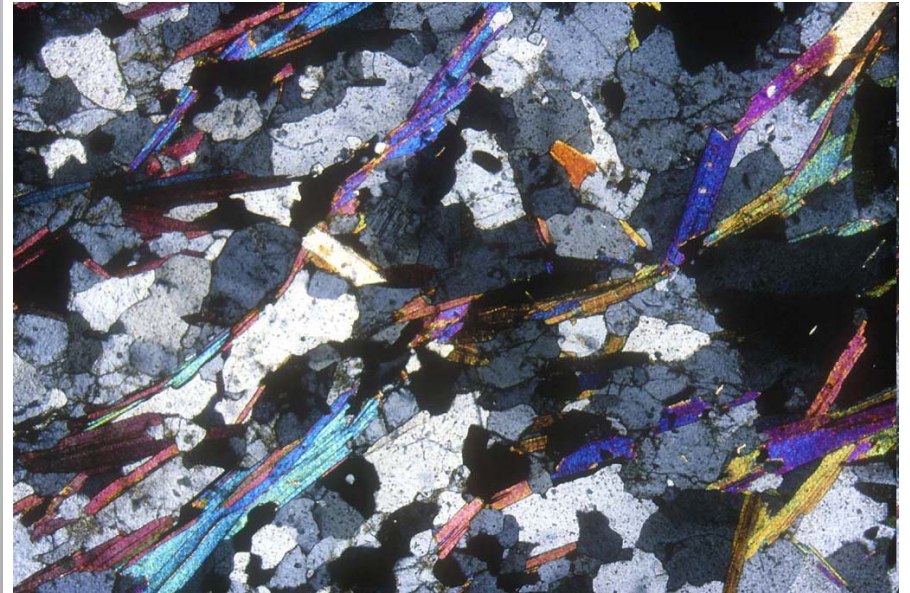
Rocas sedimentarias después de la intrusión / Sedimentary rocks after the intrusion

Voilà comment un « panneau touristique » explique, en trois étapes, la genèse du granite de Torres del Paine en Patagonie chilienne



Voilà comment un « panneau touristique » explique, en trois étapes, la genèse du granite de Torres del Paine en Patagonie chilienne

La roche : du granite et des roches voisines, qu'on verra en chantillon et au microscope.





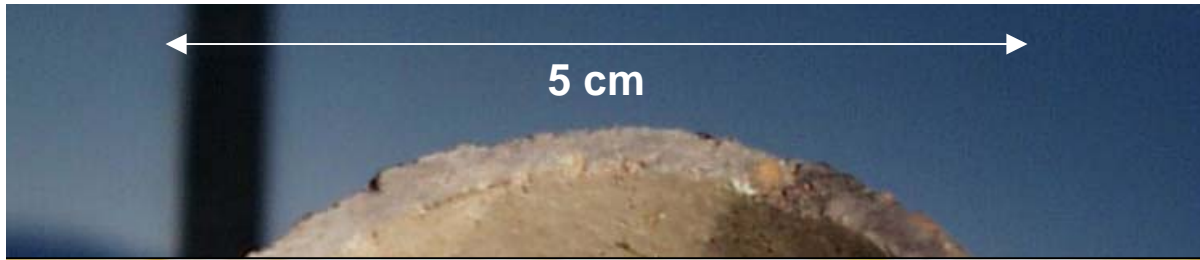
Photographie : Pierre Thomas

Dans les granites, l'orientation des minéraux prouve que le magma a « coulé » tout en restant en profondeur.



Quand on fait refroidir « lentement » un liquide (ici du soufre fondu), il cristallise en faisant de « gros » cristaux.

Si on renverse du soufre fondu sur une plaque de faïence, on obtient ...



Quand on fait refroidir

« lentement » un liquide (ici du soufre fondu), il cristallise en faisant de « gros » cristaux.

Si on renverse du soufre fondu sur une plaque de faïence, on obtient ...

Refroidissement rapide
→ microcristaux

Refroidissement plus lent
→ macrocristaux

1 cm

... ça. La vitesse de refroidissement (plus rapide sur les bords) conditionne la taille des cristaux

Un magma riche en silice donne de la rhyolite, du trachyte ou des roches voisines si il arrive en surface, du granite ou des roches voisines si il reste en profondeur

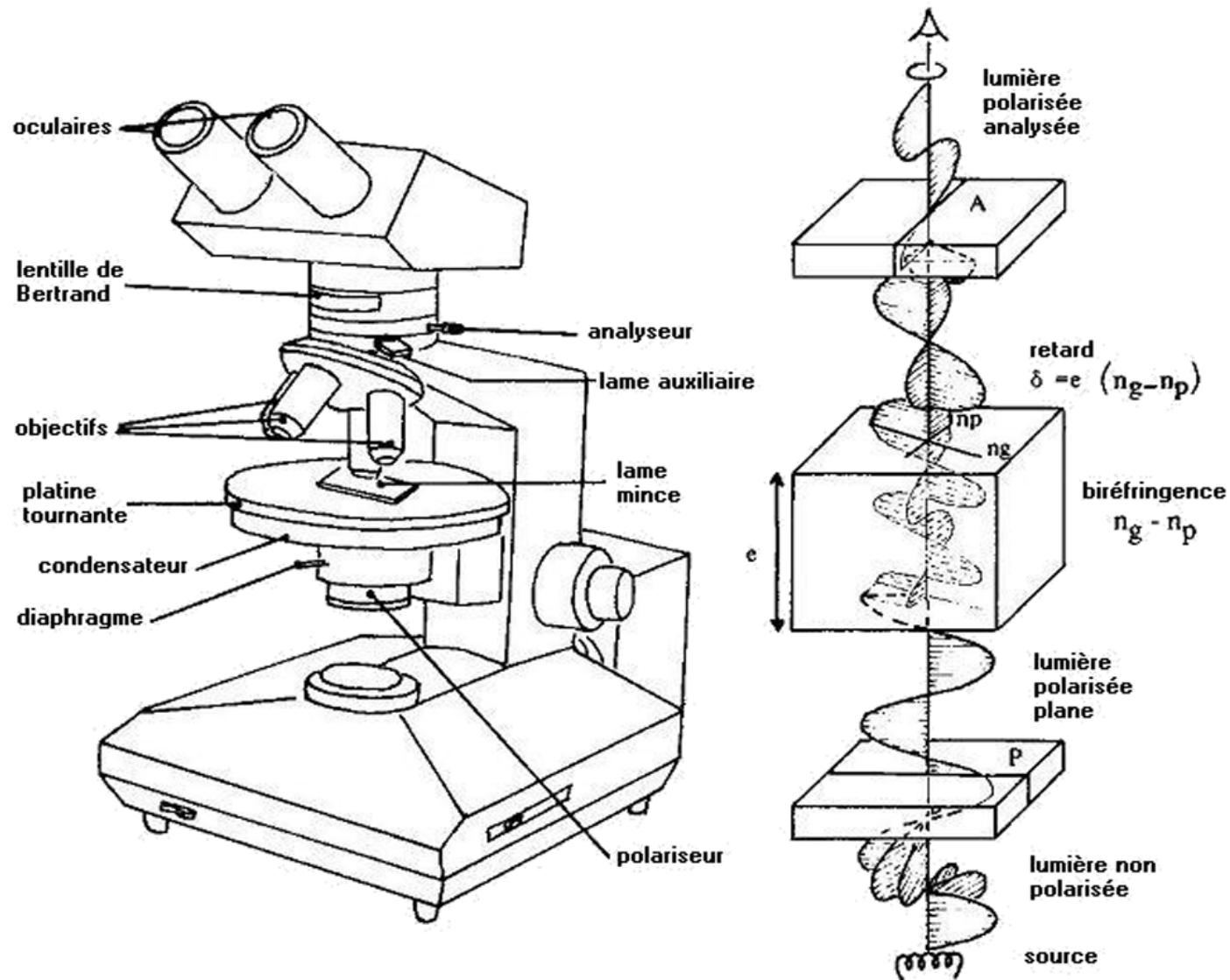
Un magma pauvre en silice donne un basalte si il arrive en surface, du gabbro si il reste en profondeur.

LA DOUBLE REFRACTION DE LA CALCITE CRISTALLISEE

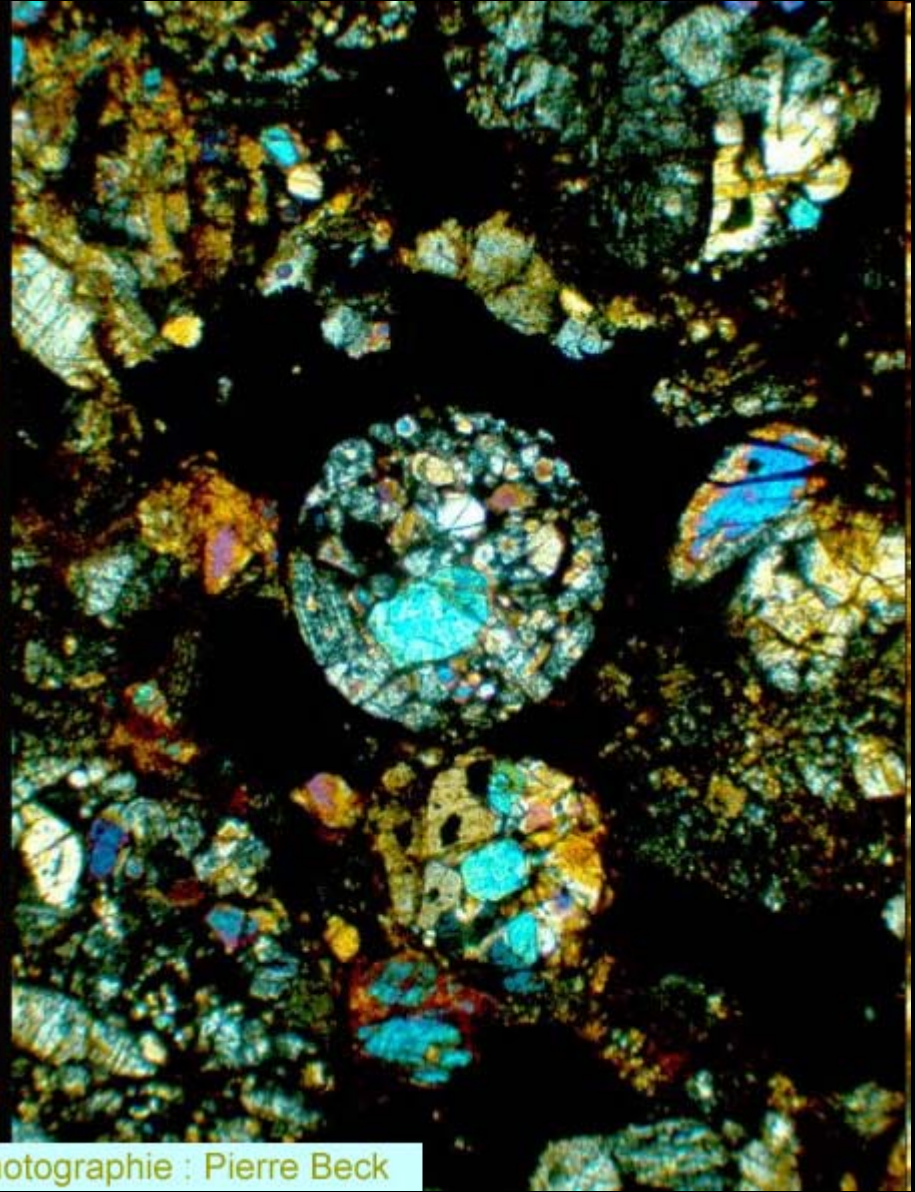
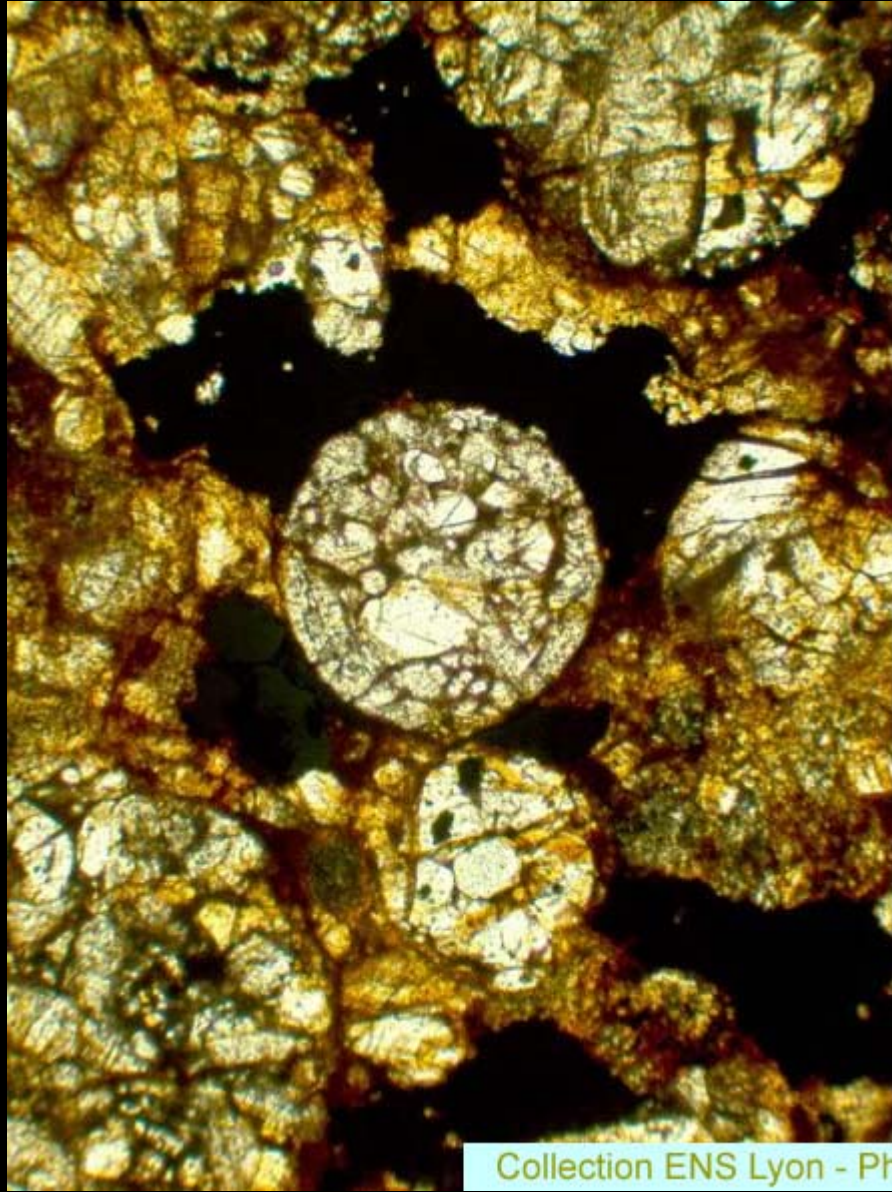


Photographie : Pierre Thomas

Les cristaux ont une propriété optique qu'on appelle la biréfringence (on va la voir en vrai).



Cette biréfringence donne des couleurs quand on observe des lames minces (30μ) de roche au microscope polarisant.



Collection ENS Lyon - Photographie : Pierre Beck

On s'arrête une première fois pour regarder quelques propriétés des cristaux, de la lumière polarisée ... et pour regarder du manteau, des basaltes, des granites et toutes les roches dont on a parlé ...

Puis on regardera les roches produites par des phénomènes superficiels.



**Les roches, un fois soumises aux intempéries,
s'altèrent, se désagrègent ...**



Les roches, un fois soumises aux intempéries, s'altèrent, se désagrègent ...



Les roches, plus ou moins altérées, sont la proie de l'érosion. Orages, ruissellements, ruisseaux et rivières charrient gravier, sable et boue argileuse ...



Le delta du Mississippi

... qui finissent par arriver à la mer ...



... où ils se déposent et forment ...



Photographie : Pierre Thomas

... des bancs de sable qui, au cours des millions d'années vont se transformer en roche pour devenir du grès.

250
Ma

1000 m

540
Ma



**Ici, 1000 m de grès déposés pendant 290 Ma,
pendant l'ère primaire**



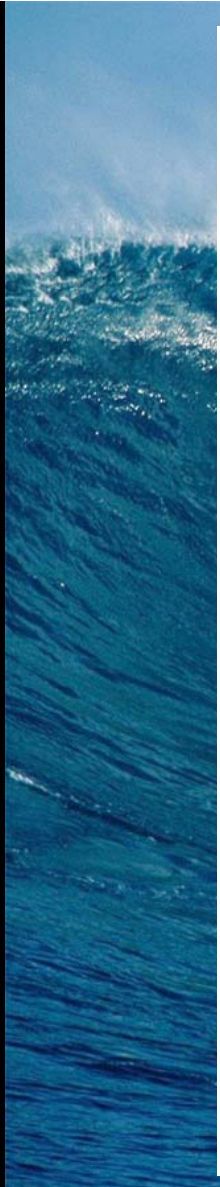
Des couches de grès vues de plus près, ici en Alsace

**Grès (rose en
Alsace) qui sont les
pierres de
construction de la
cathédrale de
Strasbourg. On en
verra des
échantillons.**





**Dans la mer, il n'y a pas que du sable et de l'argile.
Il y a des ions (des sels) en solution.**



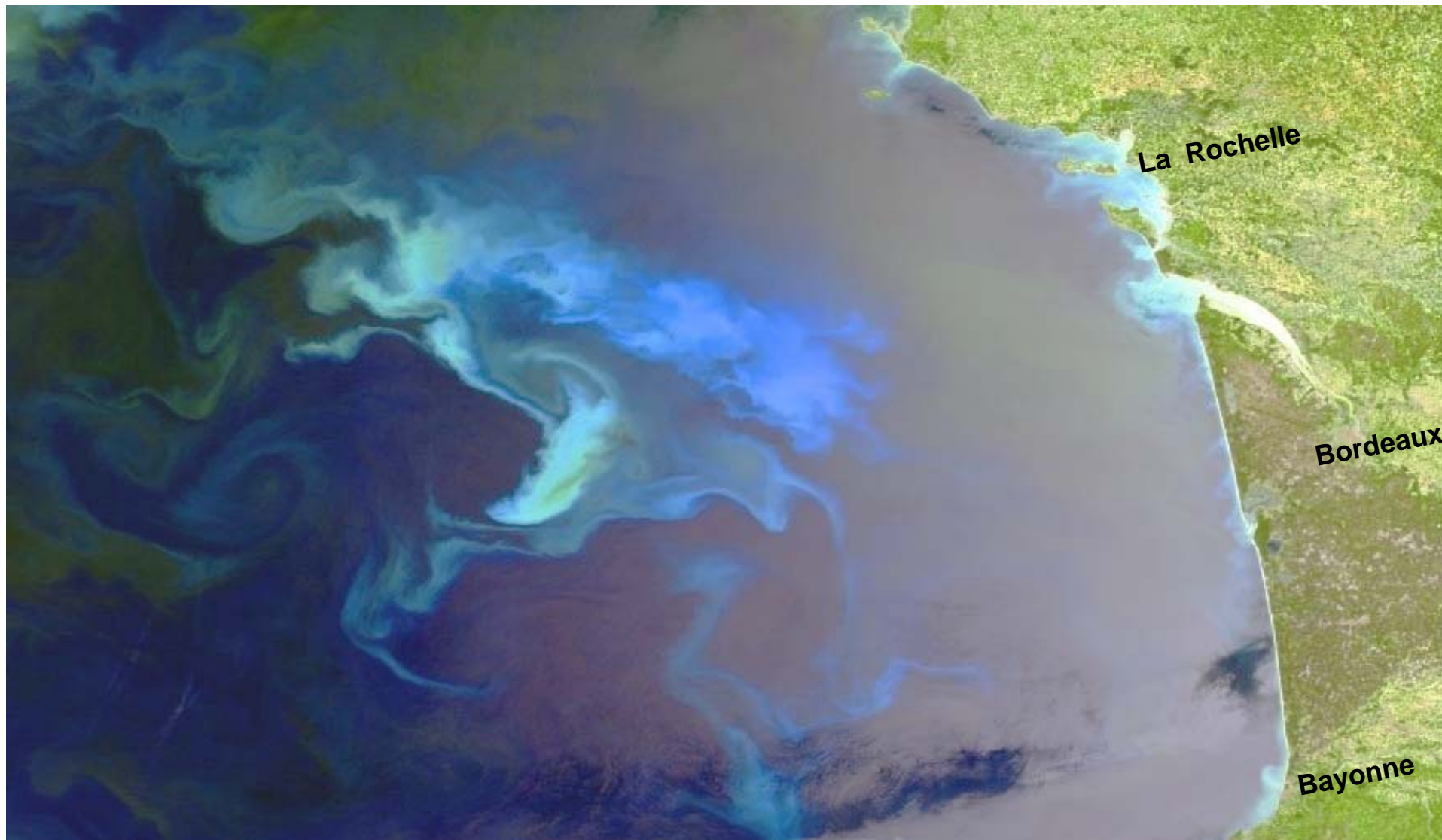
*principaux constituants de l'eau
de mer*

	ion	g/L
Sodium	Na ⁺	10,56
Magnésium	Mg ²⁺	1,27
Calcium	Ca ²⁺	0,40
Potassium	K ⁺	0,38
Chlorure	Cl ⁻	18,98
Sulfate	SO ₄ ²⁻	2,65
Hydrogénocarbonate	HCO ₃ ⁻	0,14

**Dans la mer, il n'y a pas que du sable et de l'argile.
Il y a des ions (des sels) en solution.**



Ces ions peuvent précipiter « tout seuls » et vont former des roches comme le gypse (on en verra), le sel gemme ...



Ces sels minéraux sont utilisés par le plancton, qui parfois « explose » (bloom). Une partie de ce plancton possède des (micro) coquilles ...



Vue (au microscope) de ces « coquilles » du micro-plankton. On verra du « macro-plankton » fossile.



Des milliards et des milliards de ces micro-coquilles peuvent s'accumuler pour former des roches, ici de la craie déposée vers – 80 000 000 d'années à Étretat



**Des animaux plus gros utilisent aussi ces ions,
comme ici des coraux ...**



L'accumulation de ces coraux peuvent aussi former de grandes masses de calcaire ...





Calcaires qui forment maintenant les falaises du Jura, des Alpes, du Languedoc ou des Pyrénées



On va étudier maintenant les roches déposées dans un lagon très peu profond, il y a -140 000 000 en région lyonnaise, là où se trouve aujourd'hui Cerin



Photographie : Pierre Thomas

A Cerin, on trouve du calcaire très fin en couches régulières. Ces calcaires ont « fossilisé » des instantanés de la vie du Jurassique. Plus fort que certains films !



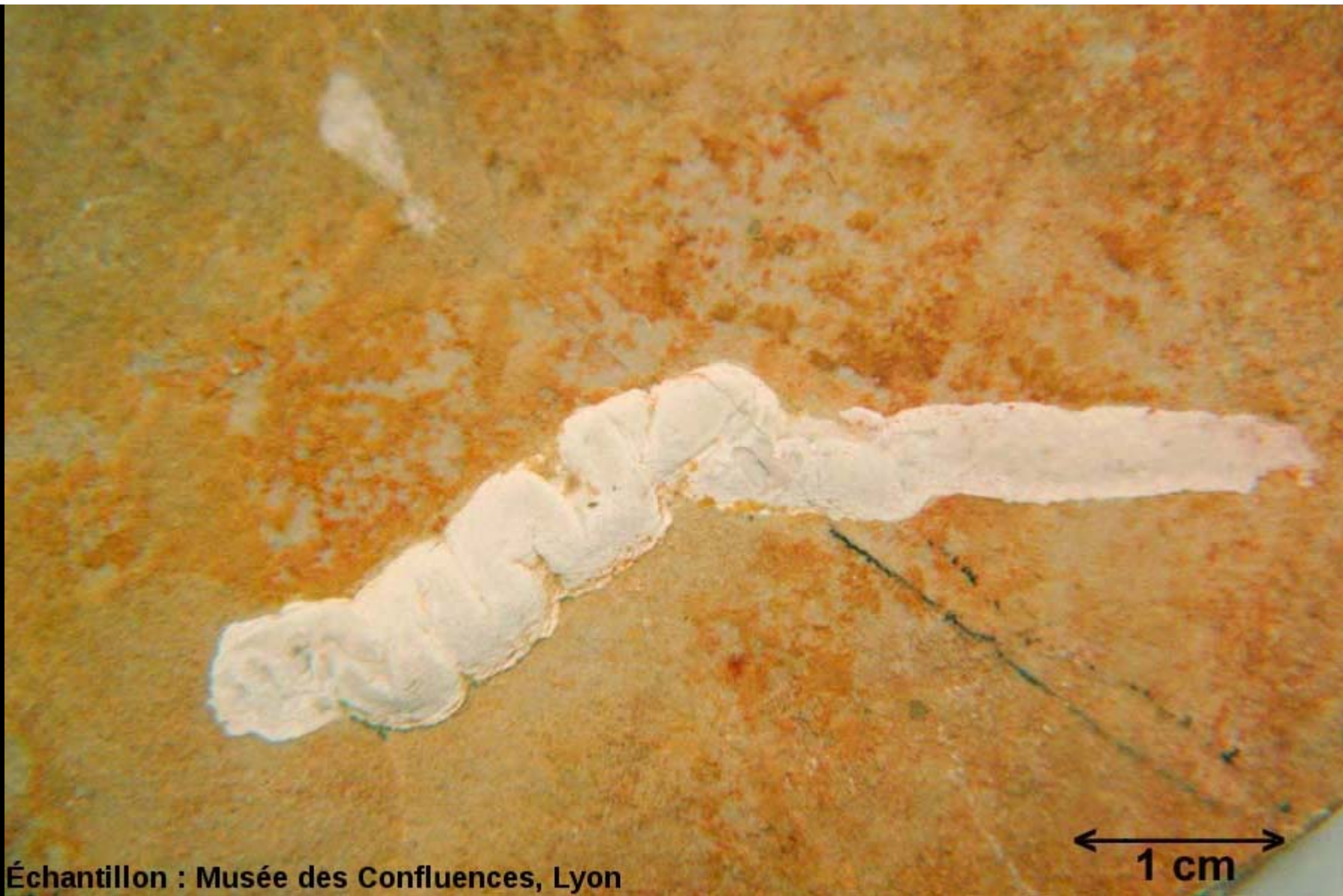
Dans ces calcaires, des petites taches sombres.



Gros plan sur ces taches sombres ...



Très gros plan. Des trous de ver, pleins de m. (coprolithes en langage géologue)



A la surface des banc, on voit ça ! Il y a 140 000 000 d'années, les vers de vase « chiaient » déjà !



Photographie : Pierre Thomas

A la surface des banc, on voit ça ! Il y a 140 000 000 d'années, les vers de vase « chiaient » déjà !



Photographie : Pierre Thomas

**On y voit aussi des ondulations, qui sont des
« vaguelettes » fossiles**



**On y voit aussi des ondulations, qui sont des
« vaguelettes » fossiles**



**On y voit aussi des ondulations, qui sont des
« vaguelettes » fossiles**



Échantillon : Jacques Gastineau / Musée de la Mine de Saint Pierre La Palud (Rhône)

Sur cette vase interne au lagon (parfois hors d'eau), en plus de déjections de vers, on trouve des traces de ... gouttes de pluie



Sur cette vase interne au lagon (parfois hors d'eau), en plus de déjections de vers, on trouve des traces de ... gouttes de pluie



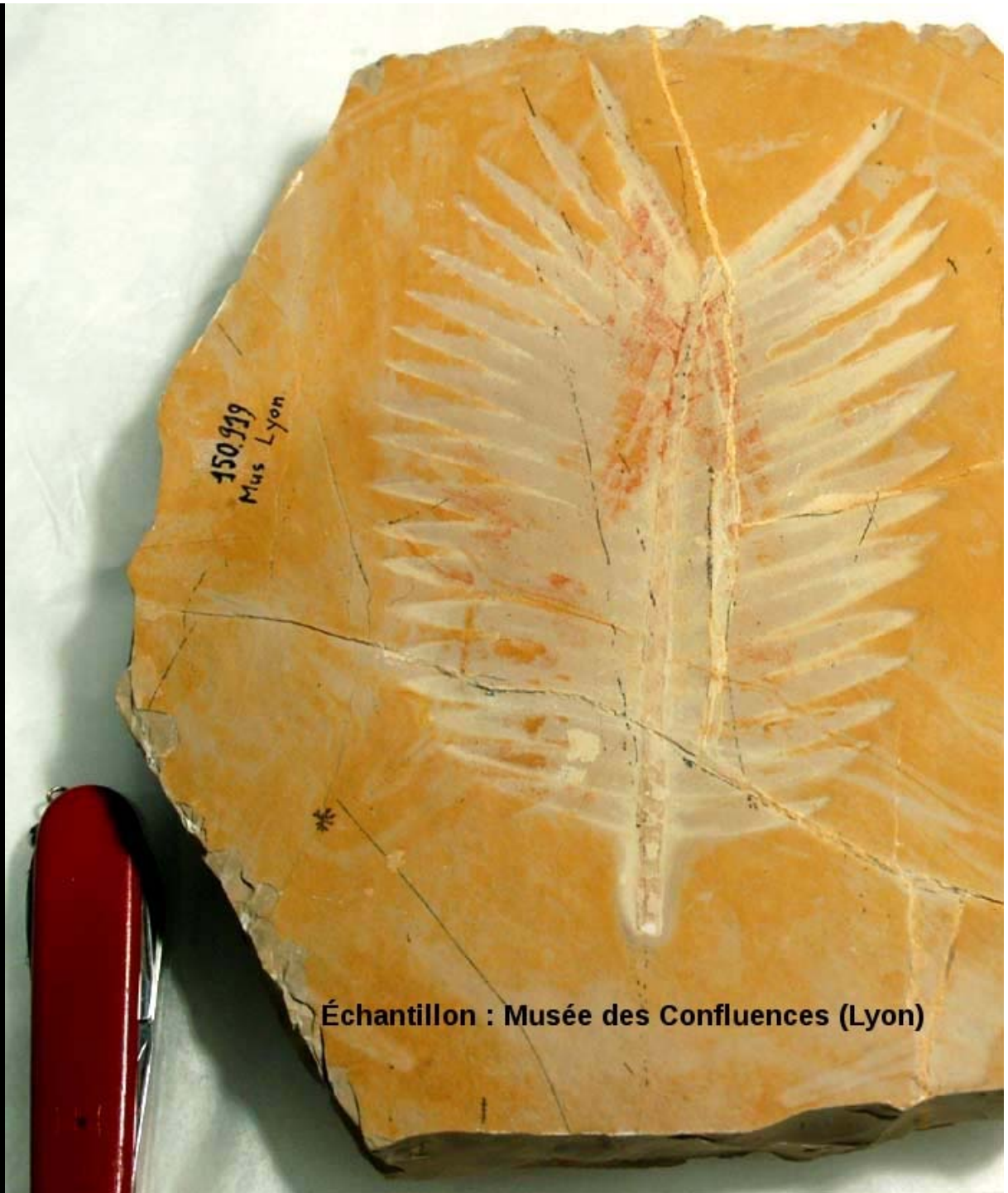
Sur cette vase interne au lagon (parfois hors d'eau), en plus de déjections de vers, on trouve des traces de ... gouttes de pluie



Échantillon : Jacques Gastineau / Musée de la Mine de Saint Pierre La Palud (Rhône)

Sur cette vase interne au lagon (parfois hors d'eau), en plus de déjections de vers, on trouve des traces de ... gouttes de pluie

Sur les terres voisines poussent des espèces de palmiers (des cycas) dont on retrouve des feuilles venues flotter dans le lagon.



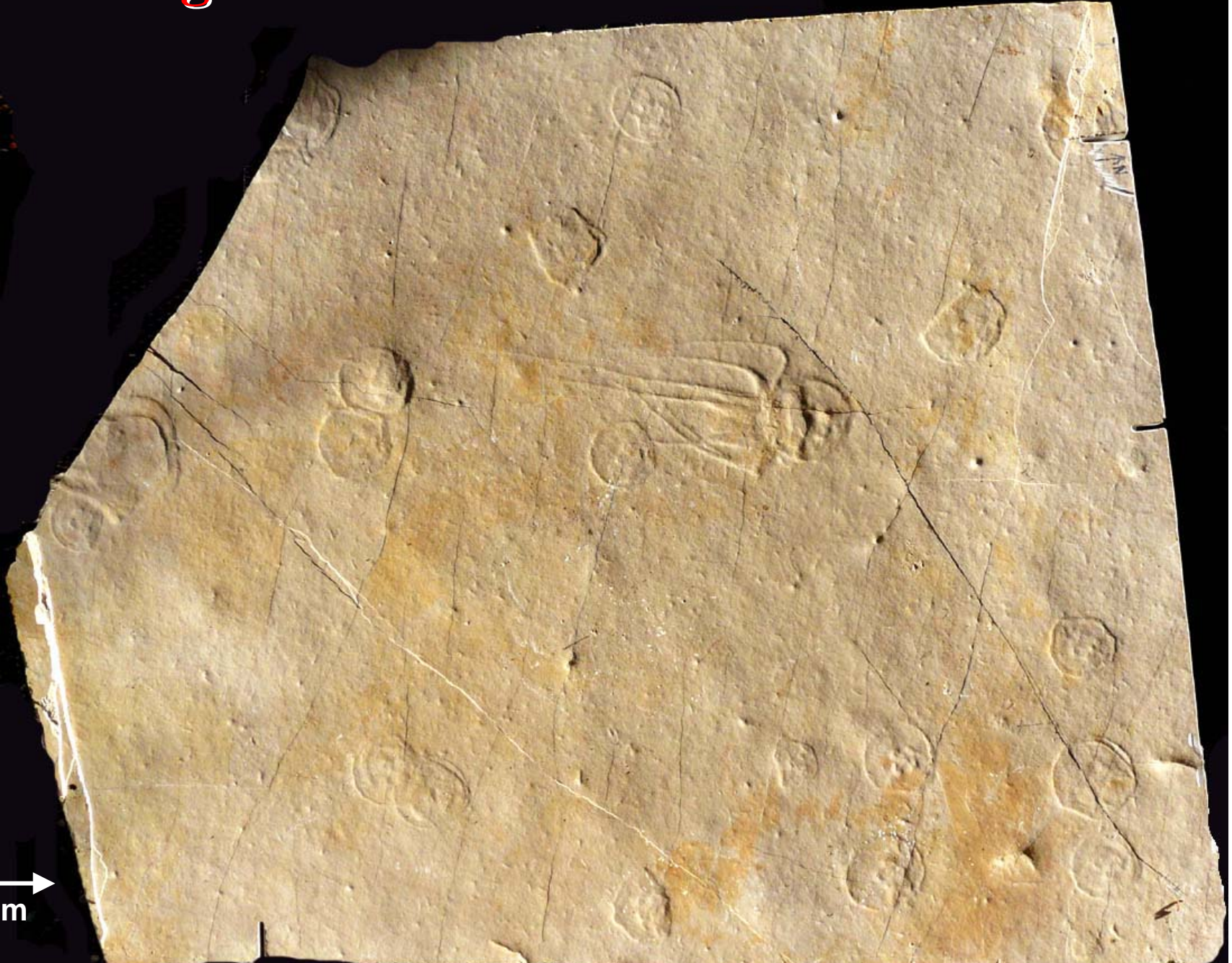
Échantillon : Musée des Confluences (Lyon)



Photographie : Pierre Thomas

Et dans le lagon venaient s'échouer des méduses

10 cm









Photographie : Pierre Thomas

Les méduses, 4 glandes génitales, 4 , 8 (ou plus) tentacules



Des étoiles de mer



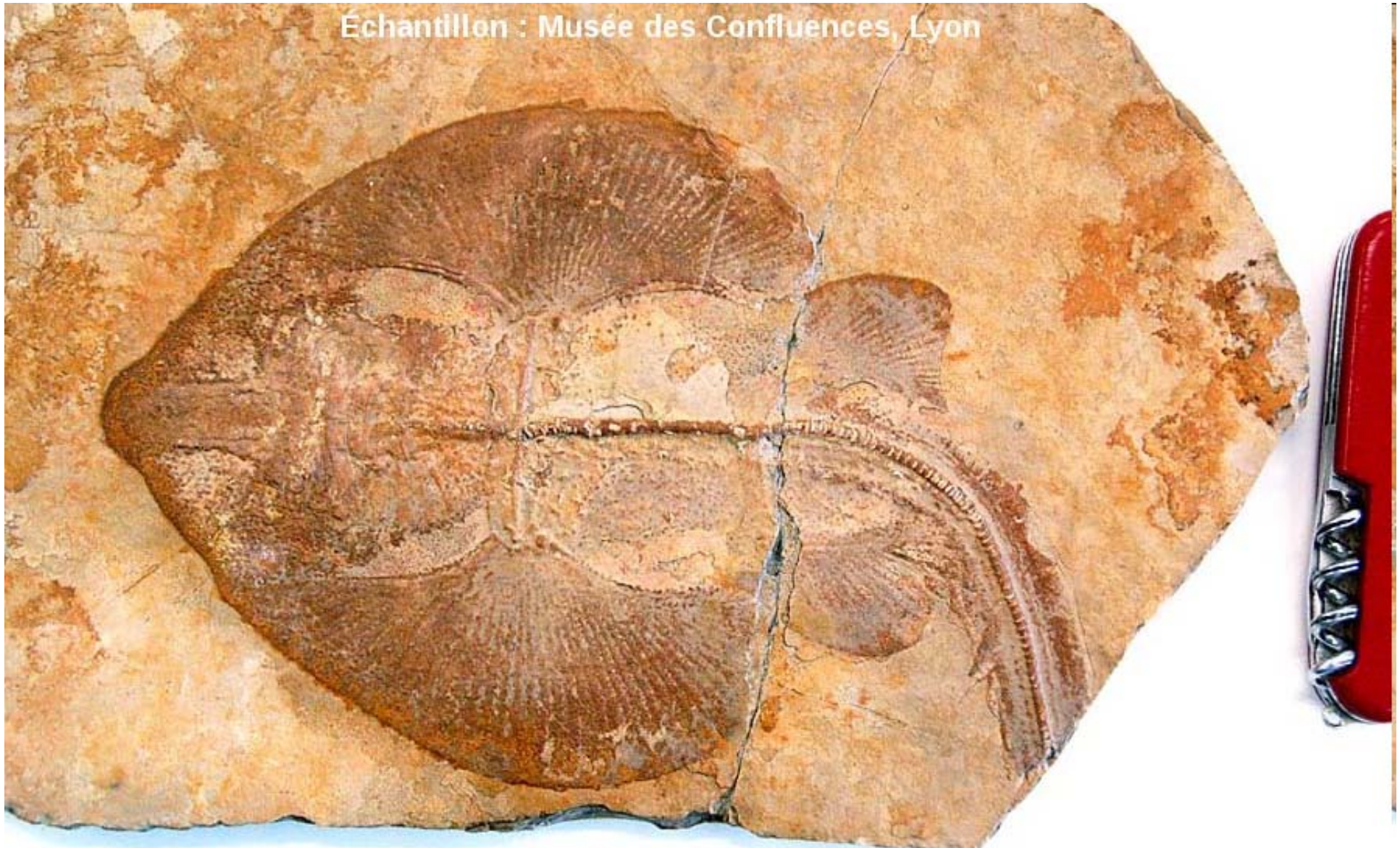
Échantillon : Musée des Confluences, Lyon

Des comatules (= lys de mer)



Des comatules (= lys de mer)

Échantillon : Musée des Confluences, Lyon



Des raies. Et savez vous qu'au Jurassique, comme aujourd'hui aussi, le raies ont deux ...



Échantillon : Musée des Confluences, Lyon

Des raies. Et savez vous qu'au Jurassique, comme aujourd'hui aussi, le raies ont deux ... pénis



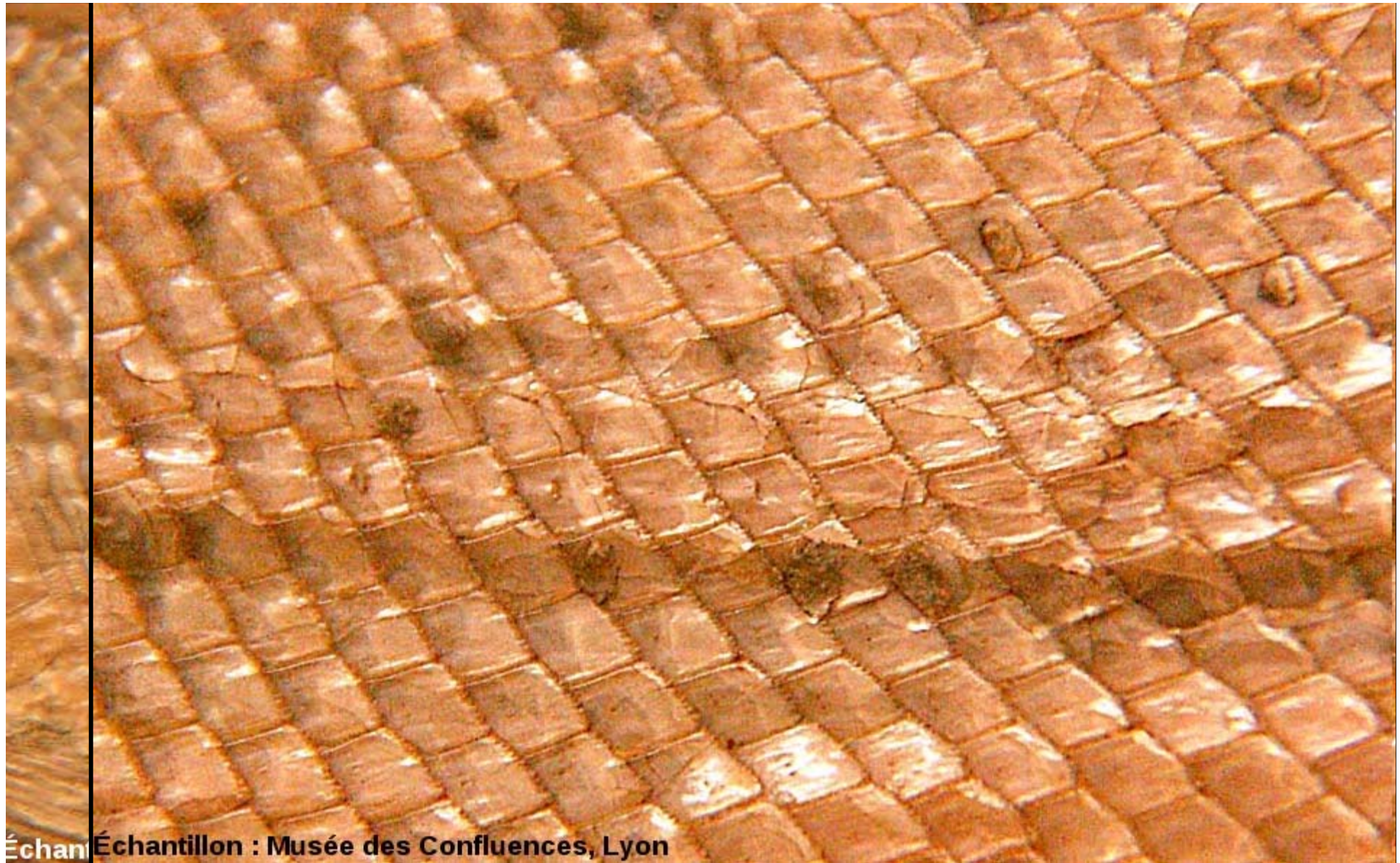
Échantillon : Musée des Confluences, Lyon

Des poissons aux belles écailles



Échantillon : Musée des Confluences, Lyon

Des poissons aux belles écailles



Échantillon : Musée des Confluences, Lyon

Des poissons aux belles écailles



Échantillon : Musée des Confluences, Lyon

Belonostomus.
Un poisson très allongé avec un bel ...



Échantillon : Musée des Confluences, Lyon

Un poisson très allongé avec un bel ... *appétit*

**Des tortues
venaient dans
ce lagon, ainsi
que ...**



Échantillon : Musée des Confluences, Lyon



Échantillon : Musée des Confluences, Lyon.

des petits crocodiles ... Bref, on peut reconstituer le milieu et le climat en région lyonnaise, climat qui était beaucoup plus chaud qu'aujourd'hui ! Verra-t-on ces « petites bêtes » envahir le Rhône avec le réchauffement climatique ?



Photographie : Pierre Thomas

Il n'y a pas de l'eau que dans la mer, il y en a dans le sous-sol, qui peut circuler dans des fissures.



Si ces eaux viennent de plus profond, elles sont chaudes, et peuvent contenir plein de substances dissoutes. En montant, ces eaux se refroidissent. Les substances, devenues moins solubles, se déposent sur les parois des fissures. Ainsi naissent les filons.

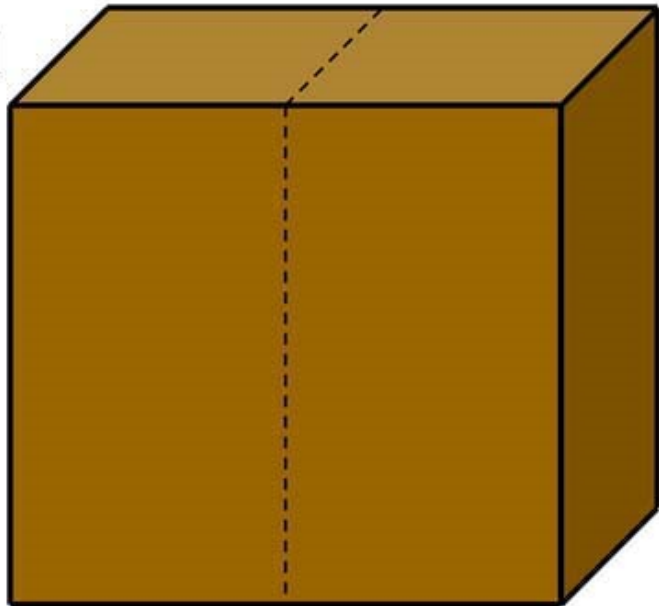


Photographie : Pierre Thomas

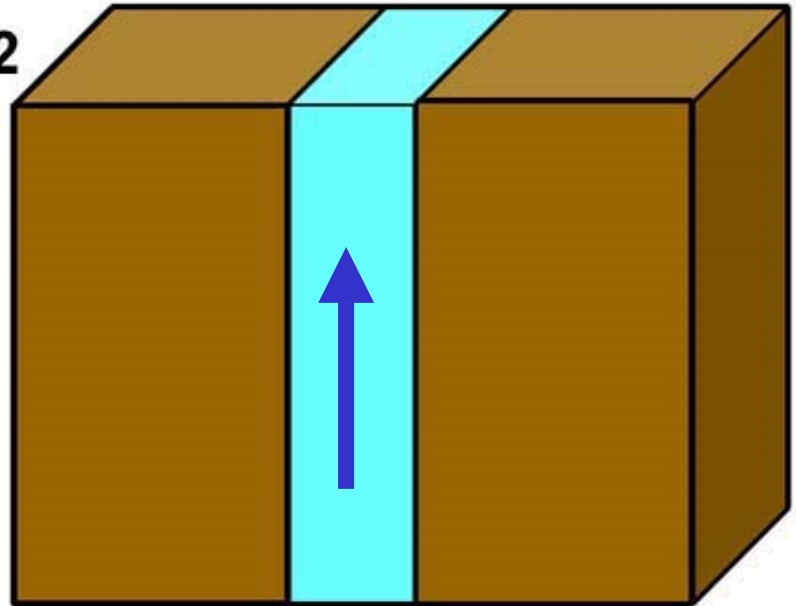


Photographie : Pierre Thomas

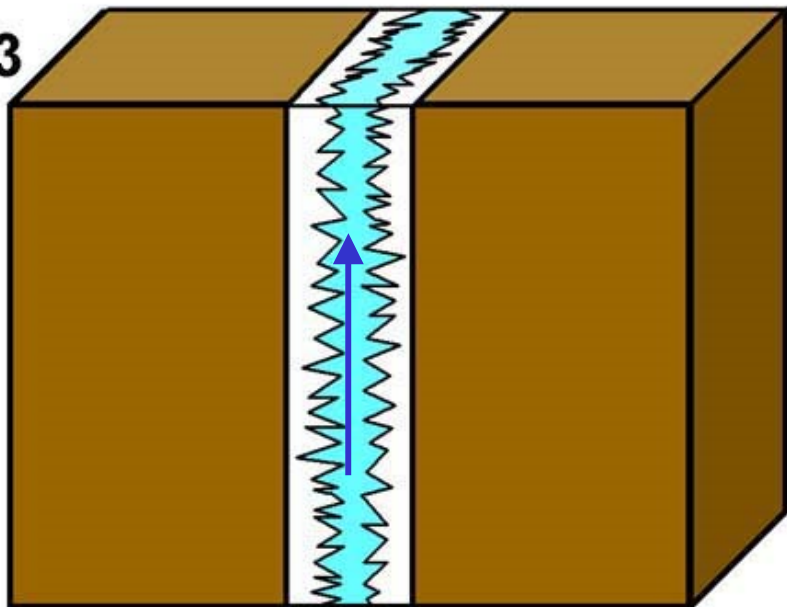
1



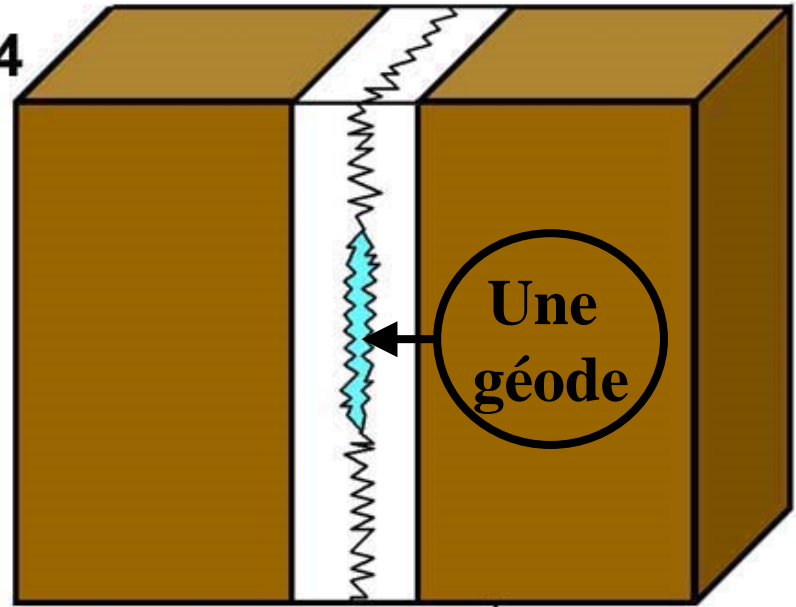
2



3



4



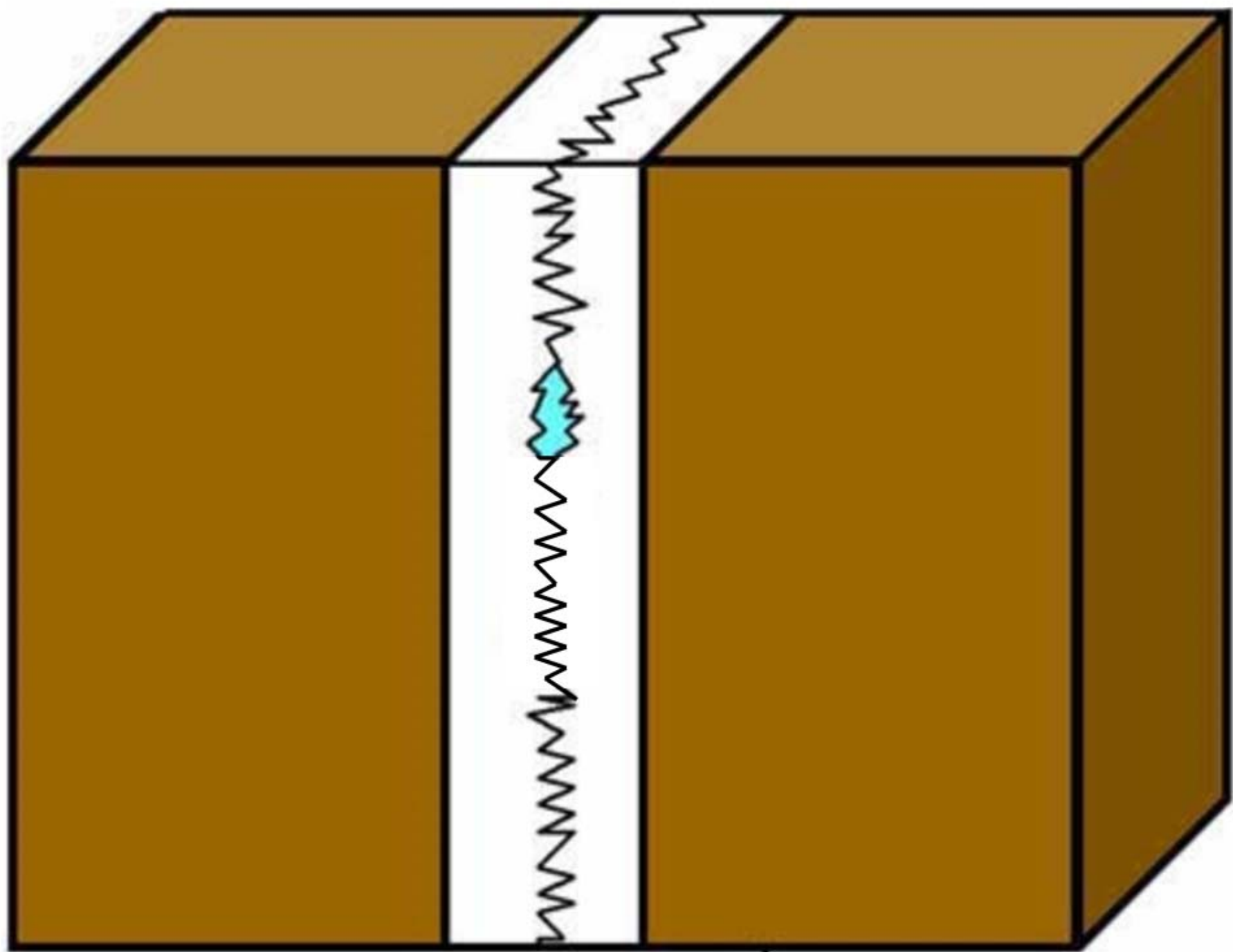
Une géode

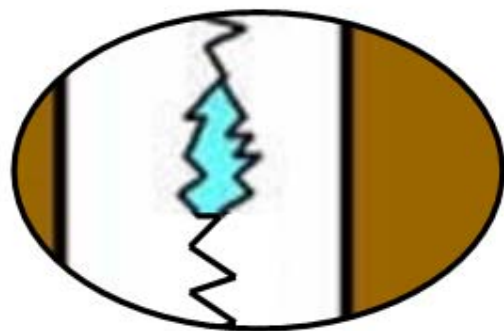
Photographie : Pierre Thomas



Photographie : Pierre Thomas









On verra deux géodes, une cassée en deux, et une coupée tangentielllement à sa paroi interne, mais à l'extérieur, pour voir, par transparence, qu'il y a bien de l'eau à l'intérieur.



Là, on est en Colombie. Dans ces filons, on peut trouver ...



Photographie : Pierre Thomas

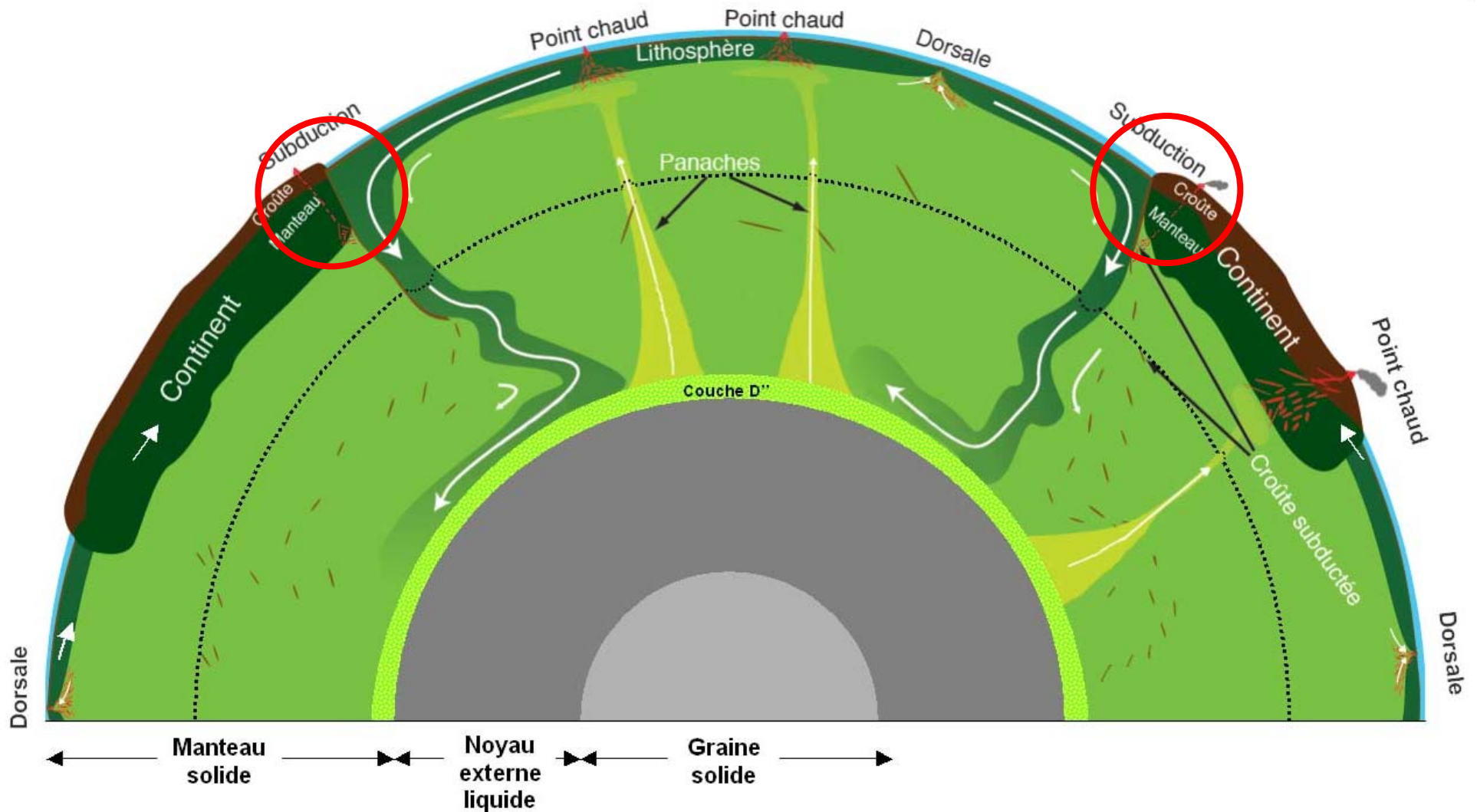
... des émeraudes !



Photographie : Pierre Thomas

On s'arrête une deuxième fois pour regarder quelques roches sédimentaires, quelques fossiles, et une roche de remplissage filonien et des géodes (pas d'émeraude, hélas).

Puis, si on a le temps, on regardera ce qui peut arriver à ces roches après leur formation : elles peuvent se faire « casser », plier, transformer ...



Où se font-elles casser, plisser, transformer ? Là où il y a des mouvements relatifs importants, en particulier les zones de subduction et de collision.



**Exemple de 2 failles, cassures avec déplacement.
Ici, 2 petites failles (déplacement de 50 cm)**



Photographie : Pierre Thomas

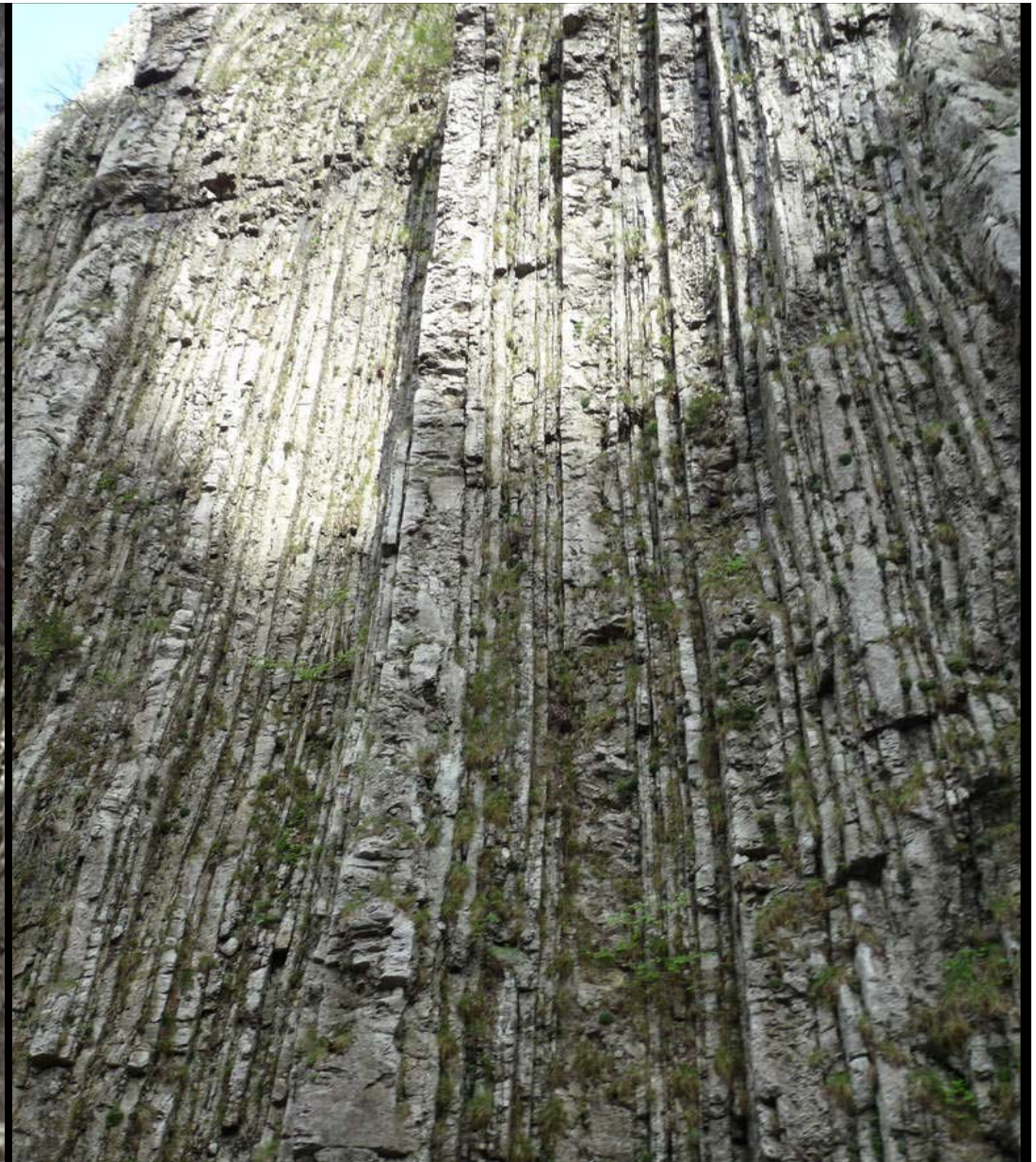
Ici, 2 grandes failles (déplacement de 20 m)



Photographie : Pierre Thomas

Parfois, l'érosion dégage la surface de la faille, le long de laquelle s'est effectué le glissement. Cette surface, appelée miroir de faille, en porte les rayures, appelées « stries ».

On en verra des échantillons



**Parfois, les couches ne sont pas horizontales,
mais verticales,**



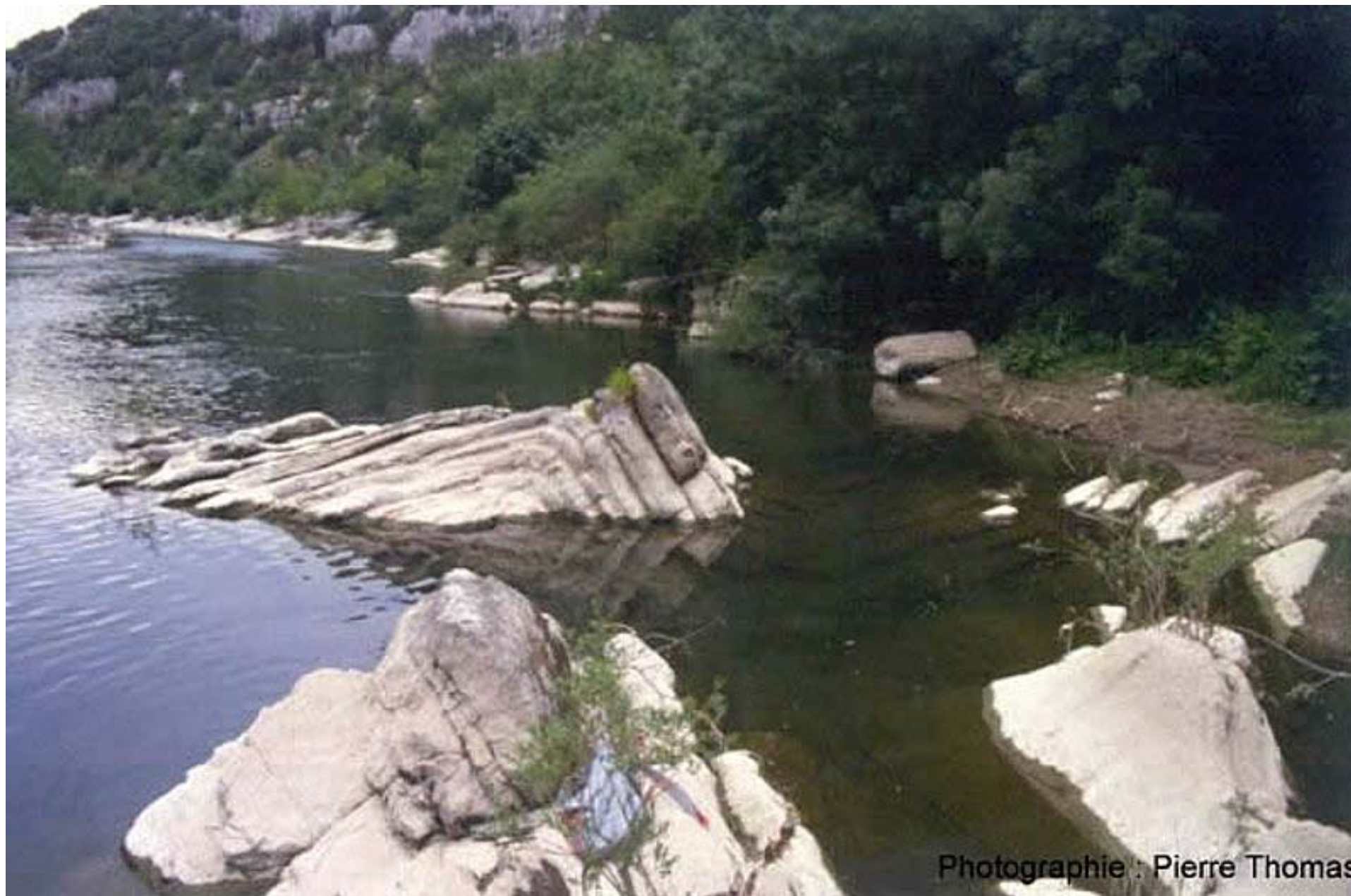
Photographie : Pierre Thomas

... plissées,



Photographie : Pierre Thomas

Des grands plis, ...



Photographie : Pierre Thomas

... des petits plis, ...



... des tout petits plis

On en verra des échantillons

**Parfois, à haute pression et haute température (ce qui signifie à une profondeur > 10 km) la déformation est « intime », affecte le réseau cristallin, change la structure de la roche et peut même changer la nature des cristaux si la Pression et le Température (= profondeur) changent.
C'est le métamorphisme.**

Parfois
qu
dér
crista
même
et l

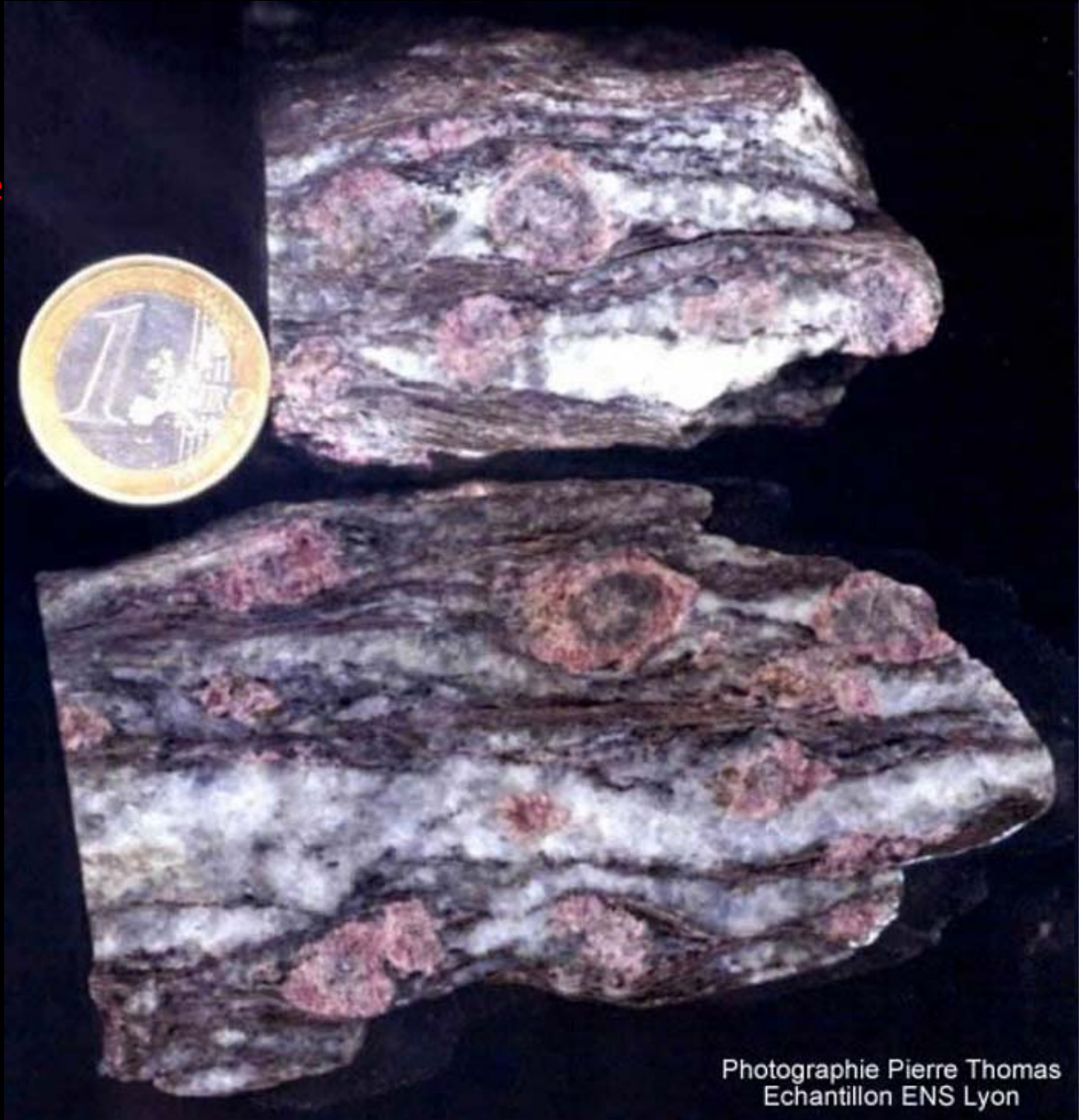


ature (ce
n) la
éseau
et peut
Pression
agent.



Photographie Pierre Thomas

**Exemple de
réaction
minéralogique due
à une
augmentation de
profondeur : le
minéral noir
(amphibole) perd
son eau et de la
silice et devient un
nouveau minéral :
le grenat.**



Photographie Pierre Thomas
Echantillon ENS Lyon



Photographie : Pierre Thomas

Ici, on a deux réactions dues à une diminution de profondeur : (1) le grenat se transforme en amphibole (réaction inverse de celle de la dernière diapo), et un minéral bleu clair (disthène) se transforme en un minéral rose (andalousite)

Photographie : Pierre Thomas

Photographie : Pierre Thomas

Parfois, la température (= profondeur) augmente tellement qu'il peut y avoir fusion partielle (rappelez vous les rillettes au soleil). Cela donne des « petites gouttes » de granite interne à la roche → migmatite



Photographie : Pierre Thomas



Photographie : Pierre Thomas



Photographie : Pierre Thomas

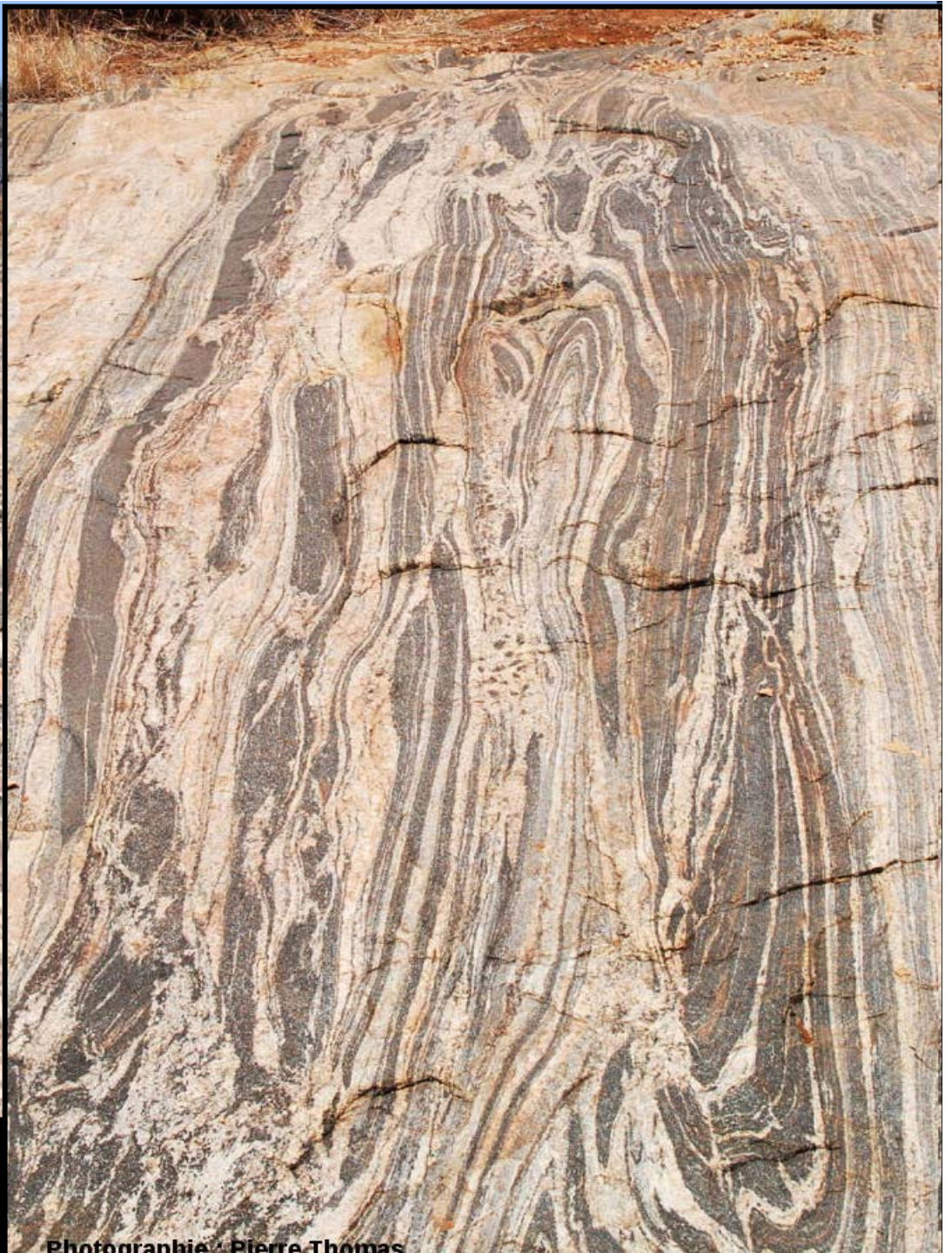


Photographie : Pierre Thomas

Cette roche partiellement fondue se déforme de façon « mollassonne », ce qui peut donner de très beaux affleurements



Photographie : Pierre Thomas



Photographie Pierre Thomas

**Et si toutes ces petites « bouffées » de magma granitique se rassemblent et migrent vers le haut, cela donnera un massif granitique comme on en a déjà vu.
Il y a donc 2 origines pour le granite.**



Et si toutes ces petites « bouffées » de magma granitique se rassemblent et migrent vers le haut, cela donnera un massif granitique comme on en a déjà vu.

Il y a donc 2 origines pour le granite.

Ces nouvelles roches pourront être altérées, érodées ... Les débris et les ions pourront être re-déposés, former de nouvelles roches, et un nouveau cycle peut commencer.

