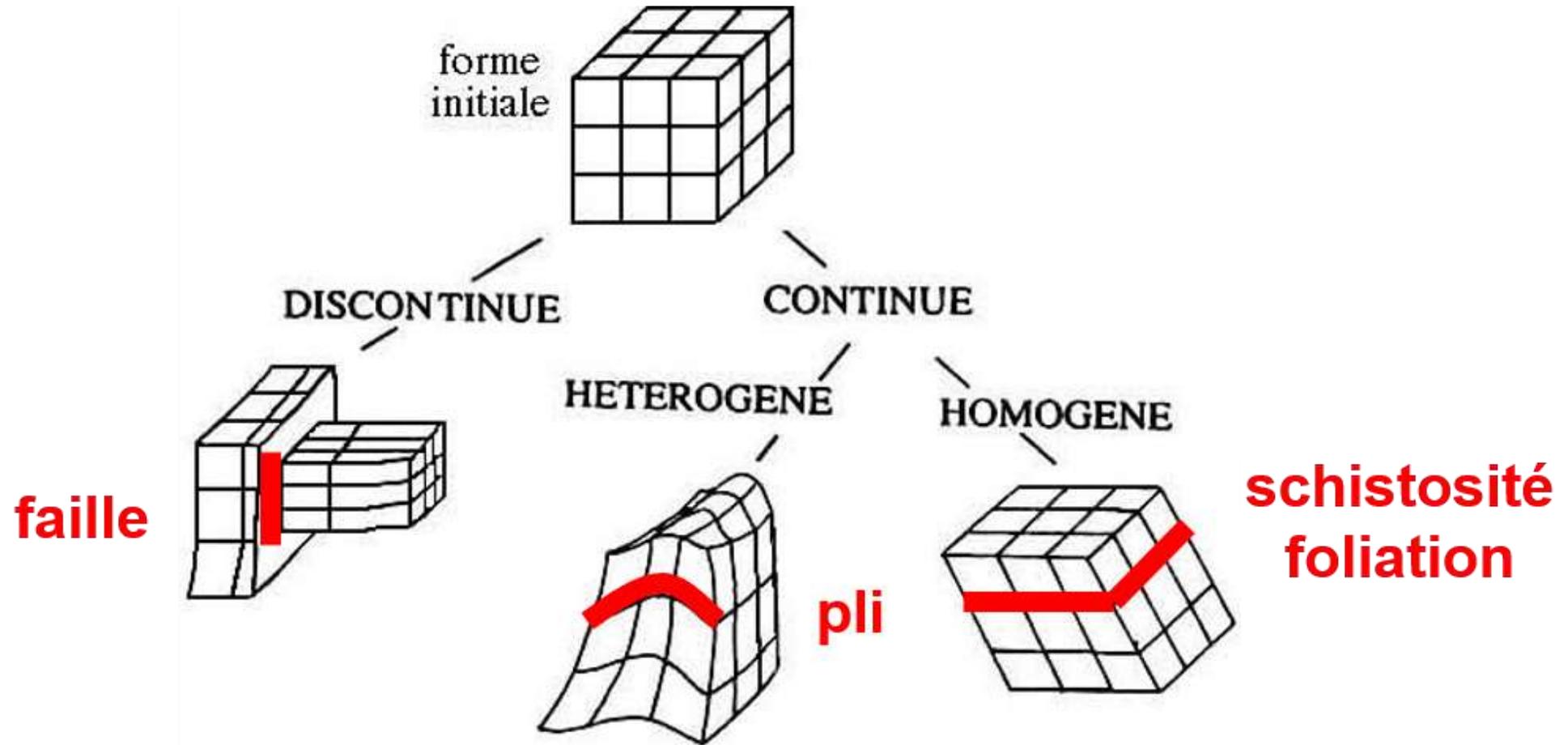


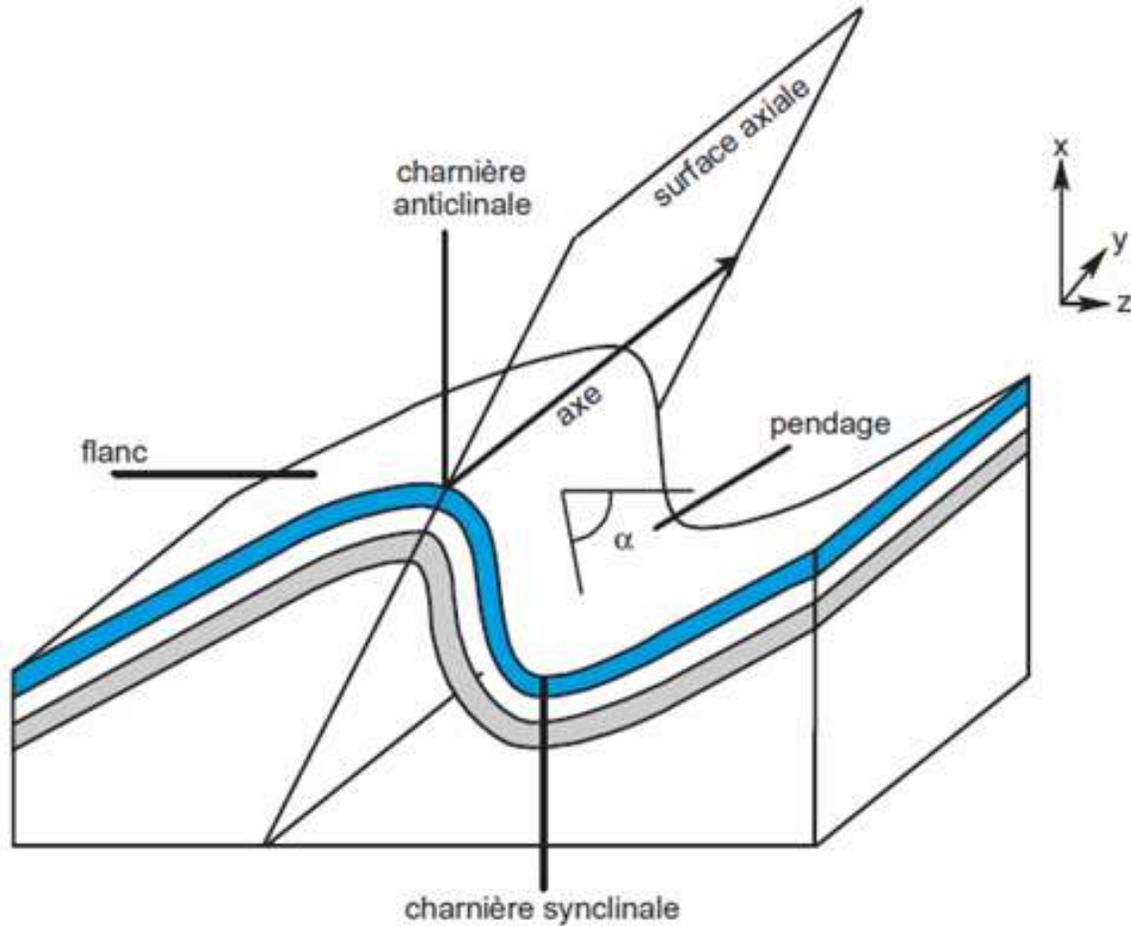
TP 14 : Les objets de la déformation



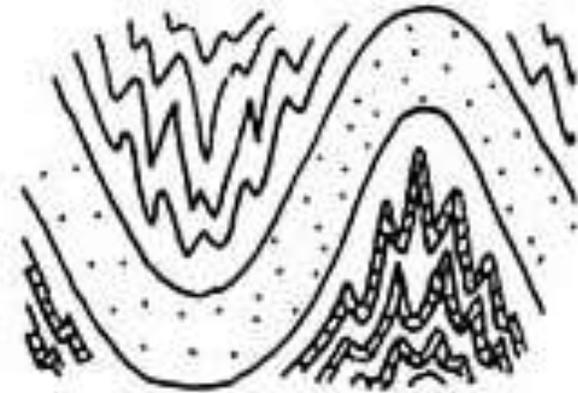


Les différents types de déformation finie

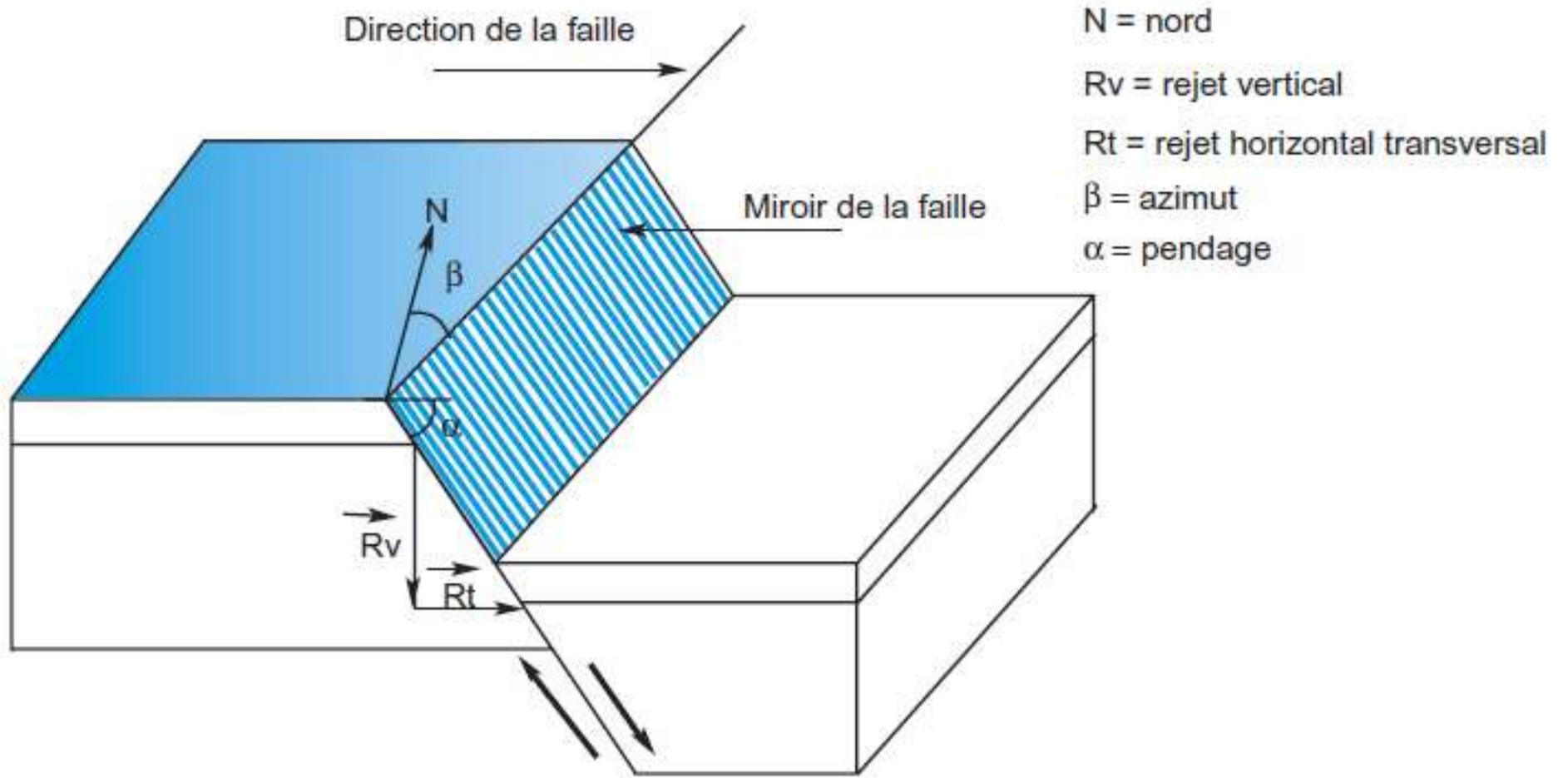
Les plis



1. **Antiforme** : pli à convexité vers le haut (\neq **synforme**).
2. **Anisopaque** : l'épaisseur d'un même niveau plissé varie (\neq **isopaque**).
3. **Dysharmonique** : les niveaux contigus de lithologie différente sont plissés de manière différente – cf schéma ci-dessous (\neq **harmonique**).



Les failles





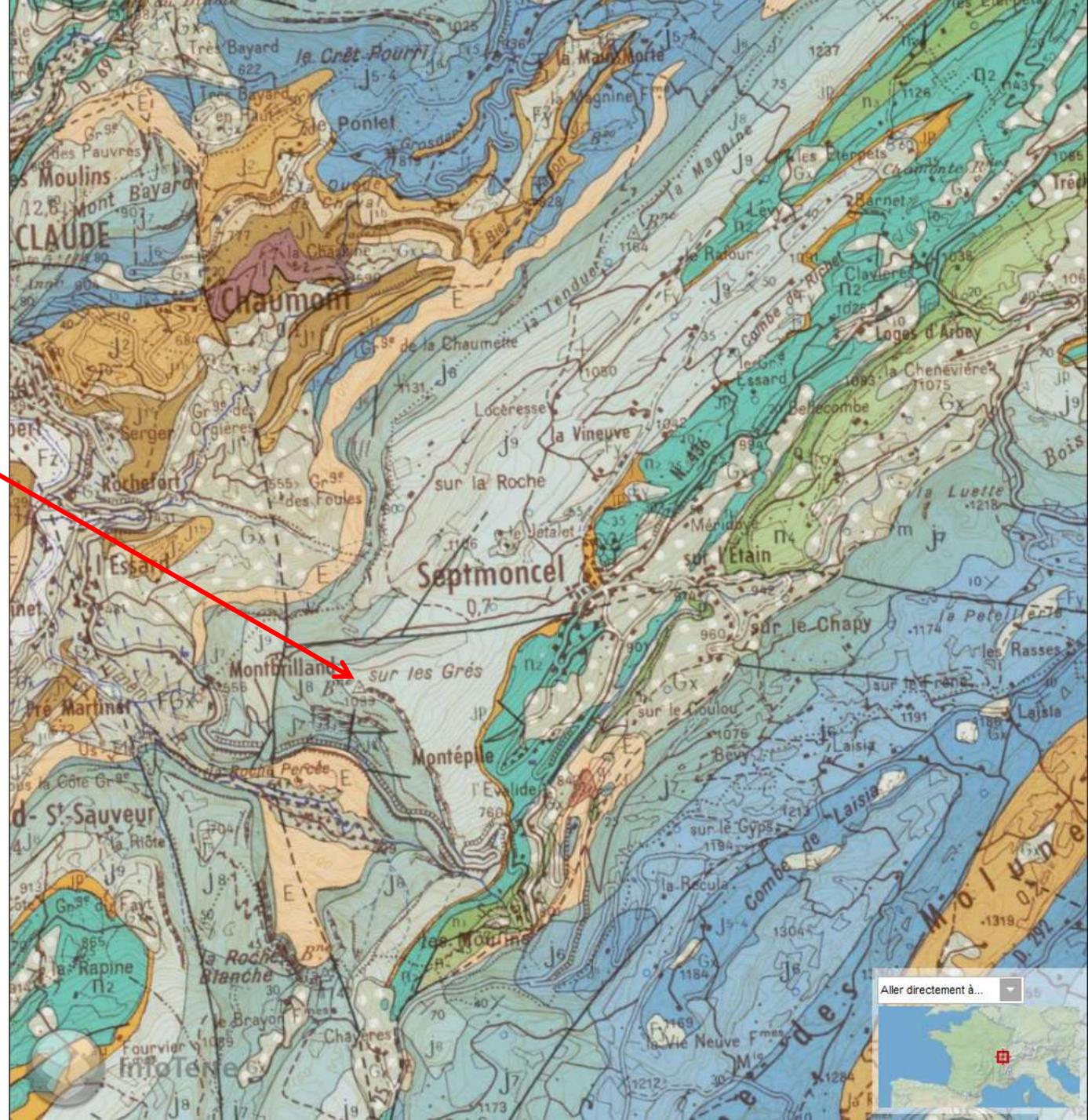
Saint-Claude

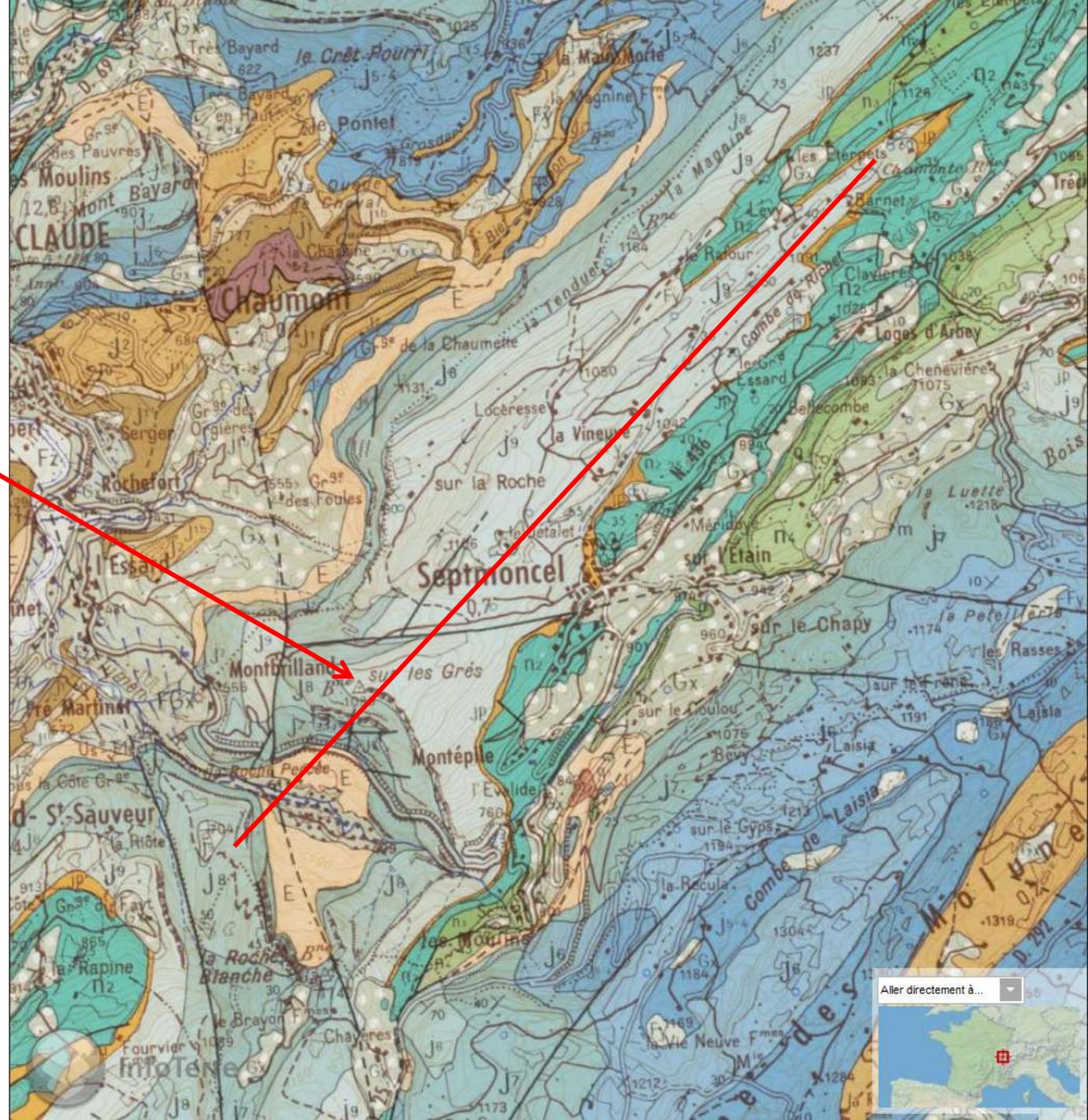
Document 1. Belvédère de la Roche Blanche (Haut-Jura).

(Photo Martin Aymé)



Localisation de la falaise observée depuis le Belvédère de la Roche Blanche (Haut-Jura)





Localisation de la falaise observée depuis le Belvédère de la Roche Blanche (Haut-Jura)

Axe de l'anticlinal

Aller directement à...





Saint-Claude

Document 1. Belvédère de la Roche Blanche (Haut-Jura).

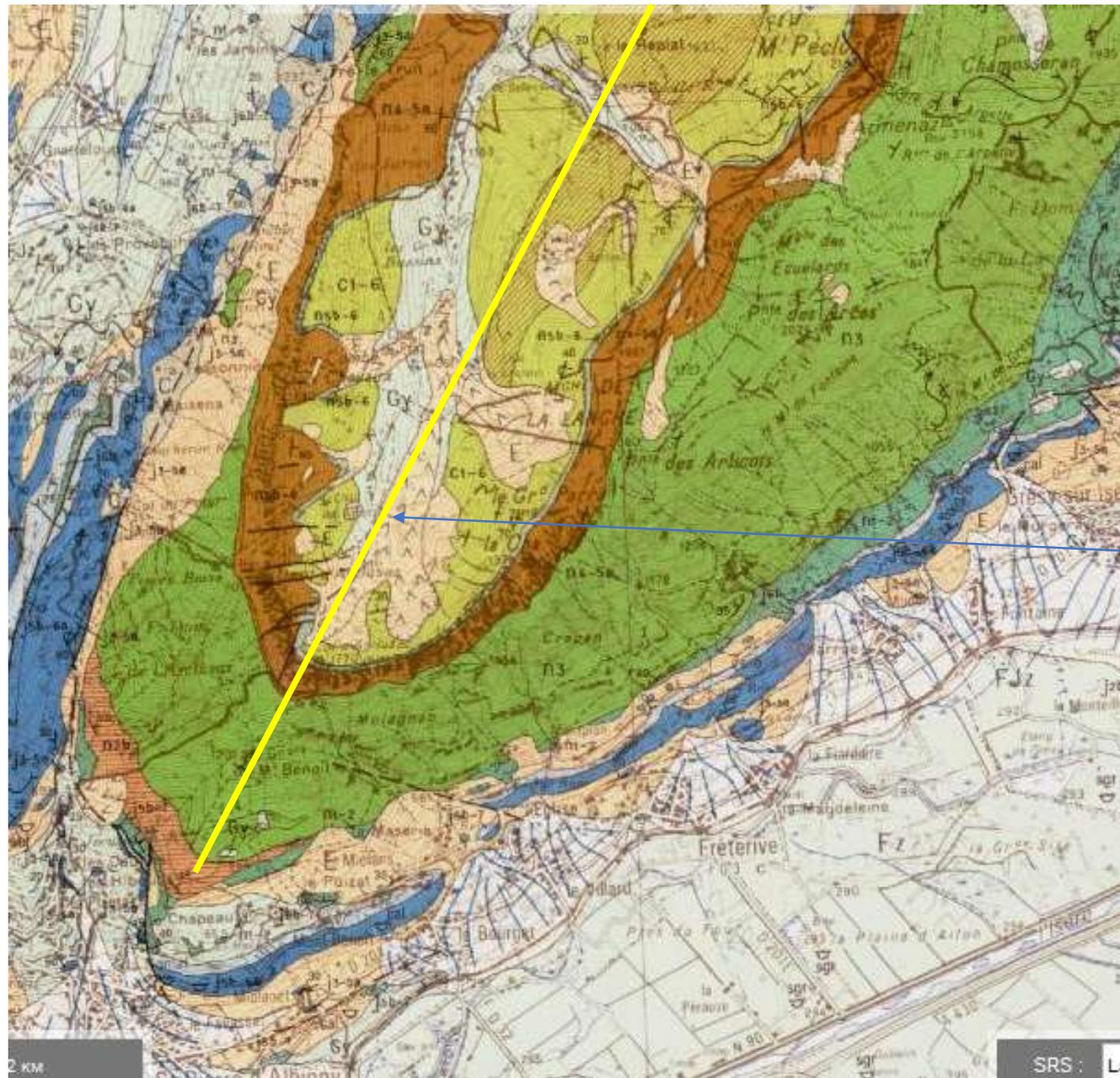
(Photo Martin Aymé)



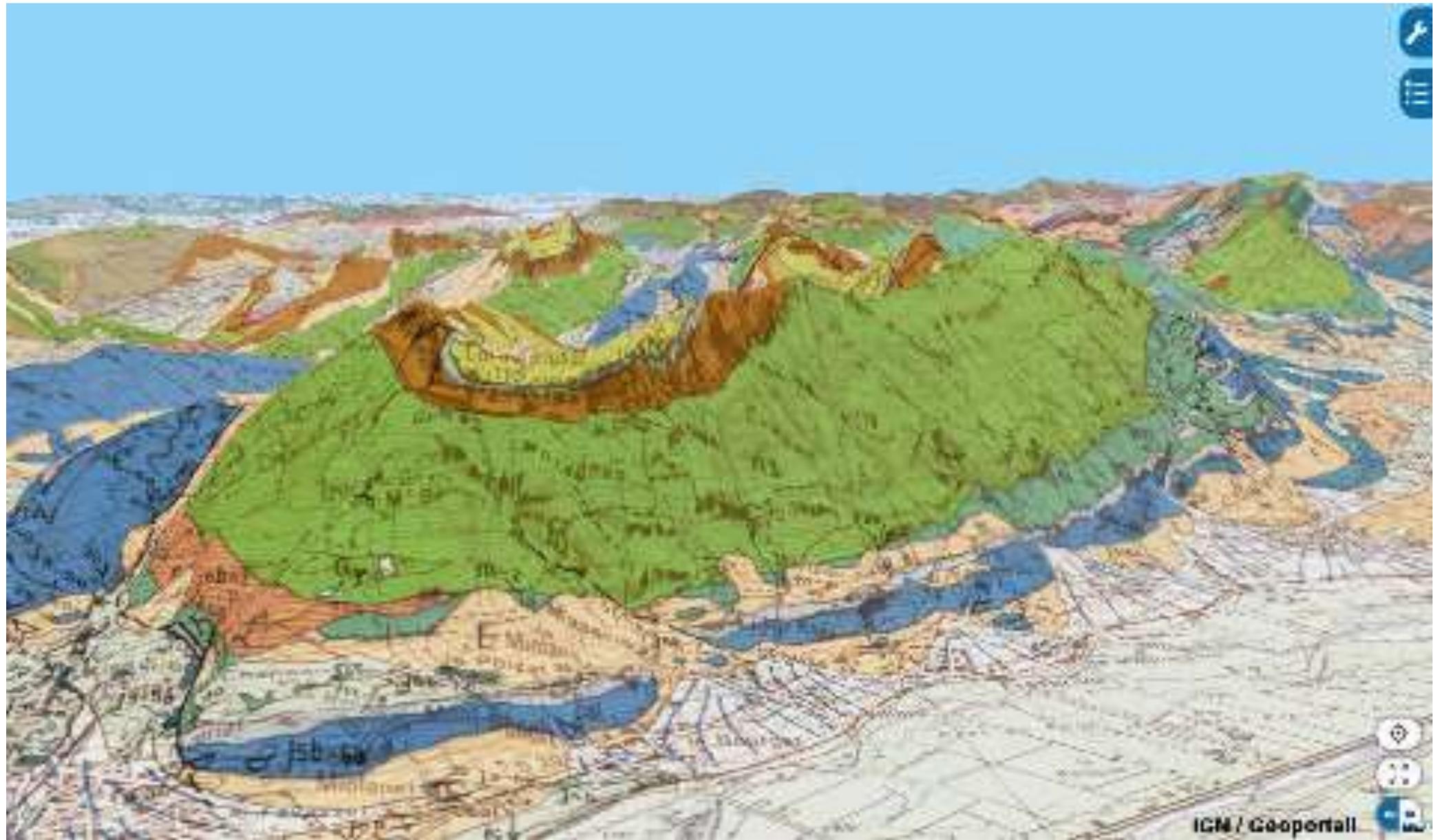
Photographie : Baptiste Journaux

Document 2. Photographie aérienne de la dent d'Arclusaz (Massif des Bauges, Savoie).
(<https://planet-terre.ens-lyon.fr/ressource/lmg592-2018-01-22.xml>)

Extrait
carte
géologique
de la dent
d'Arclusaz
Albertville
1/50 000

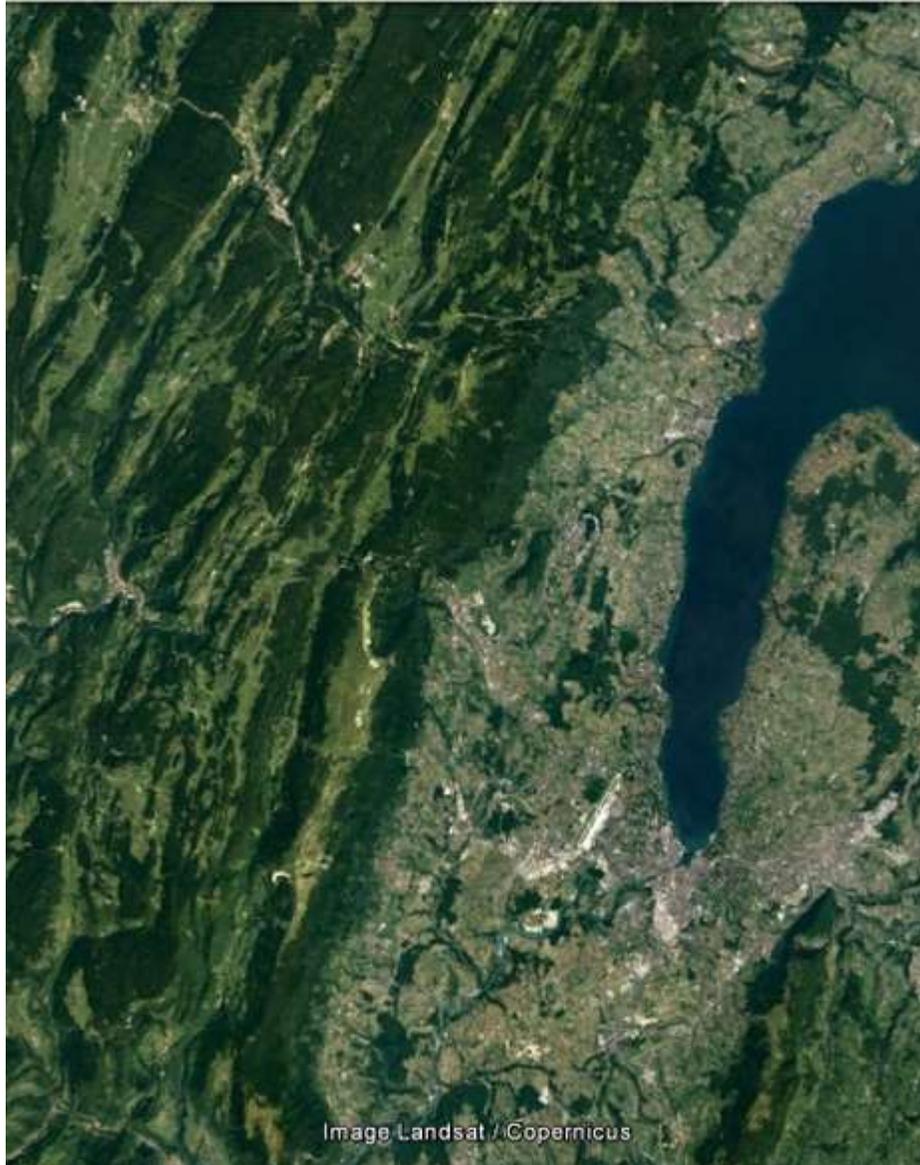


Axe du synclinal

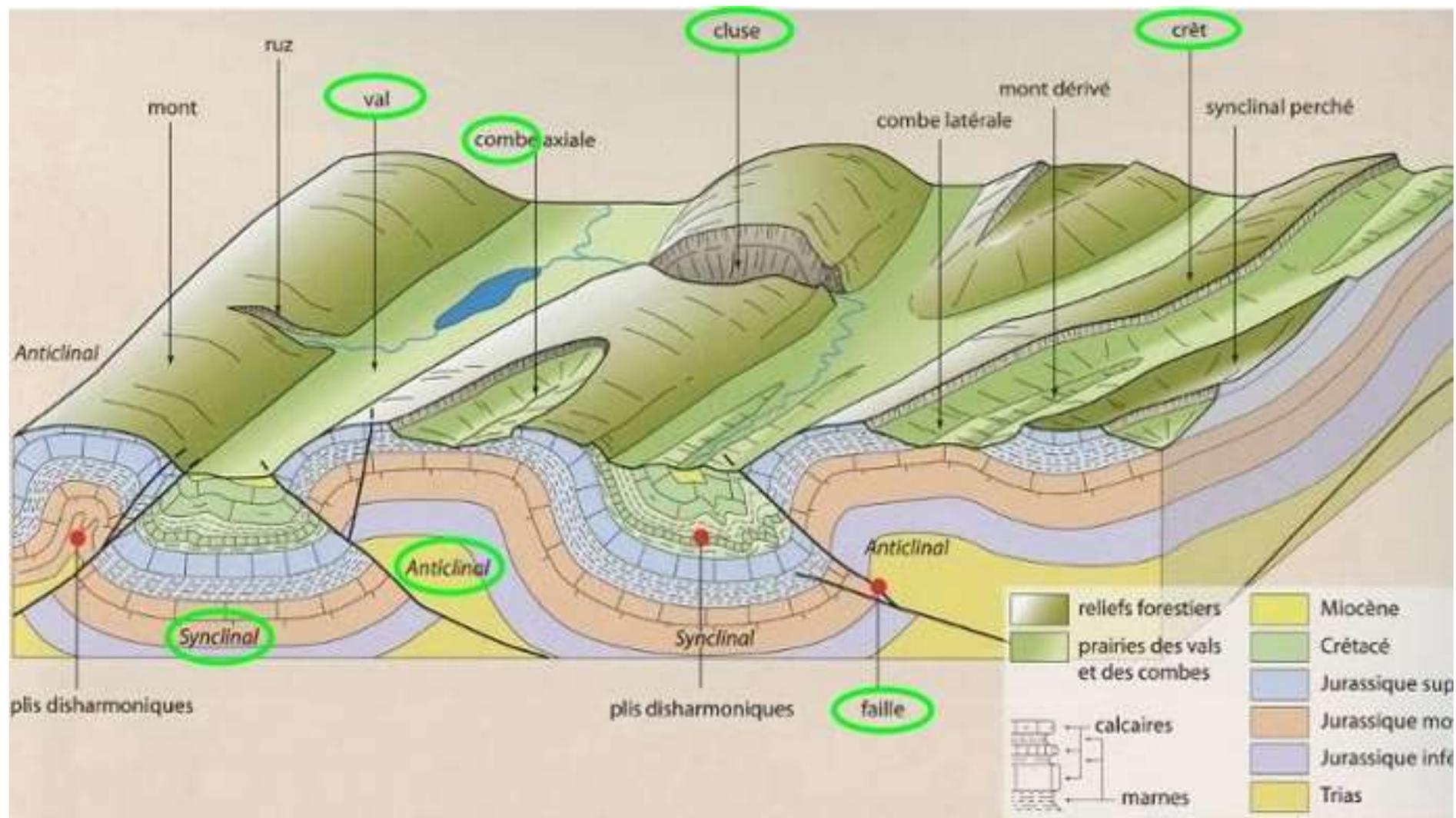


[Vue géologique aérienne de la Dent d'Arclusaz.](#)

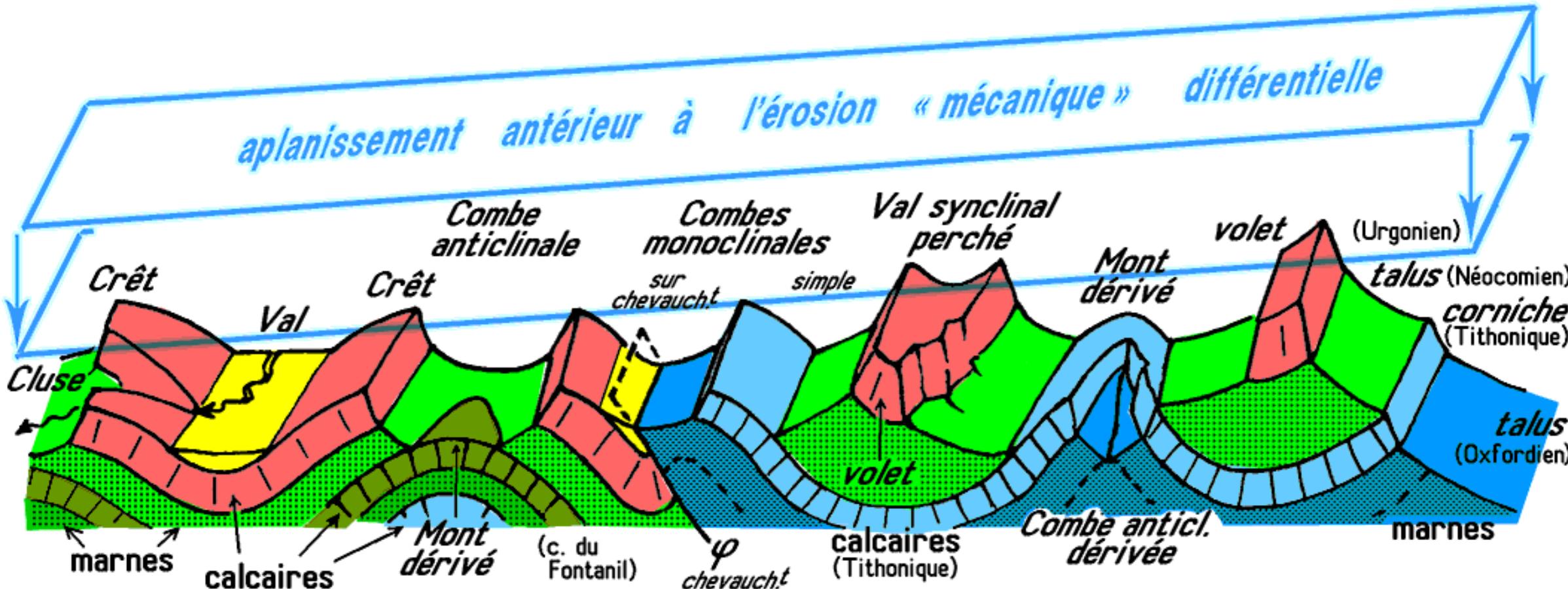
Relations entre paysage et déformation



Comparaison des « styles » subalpins et jurassiens



Comparaison des « styles » subalpins et jurassiens

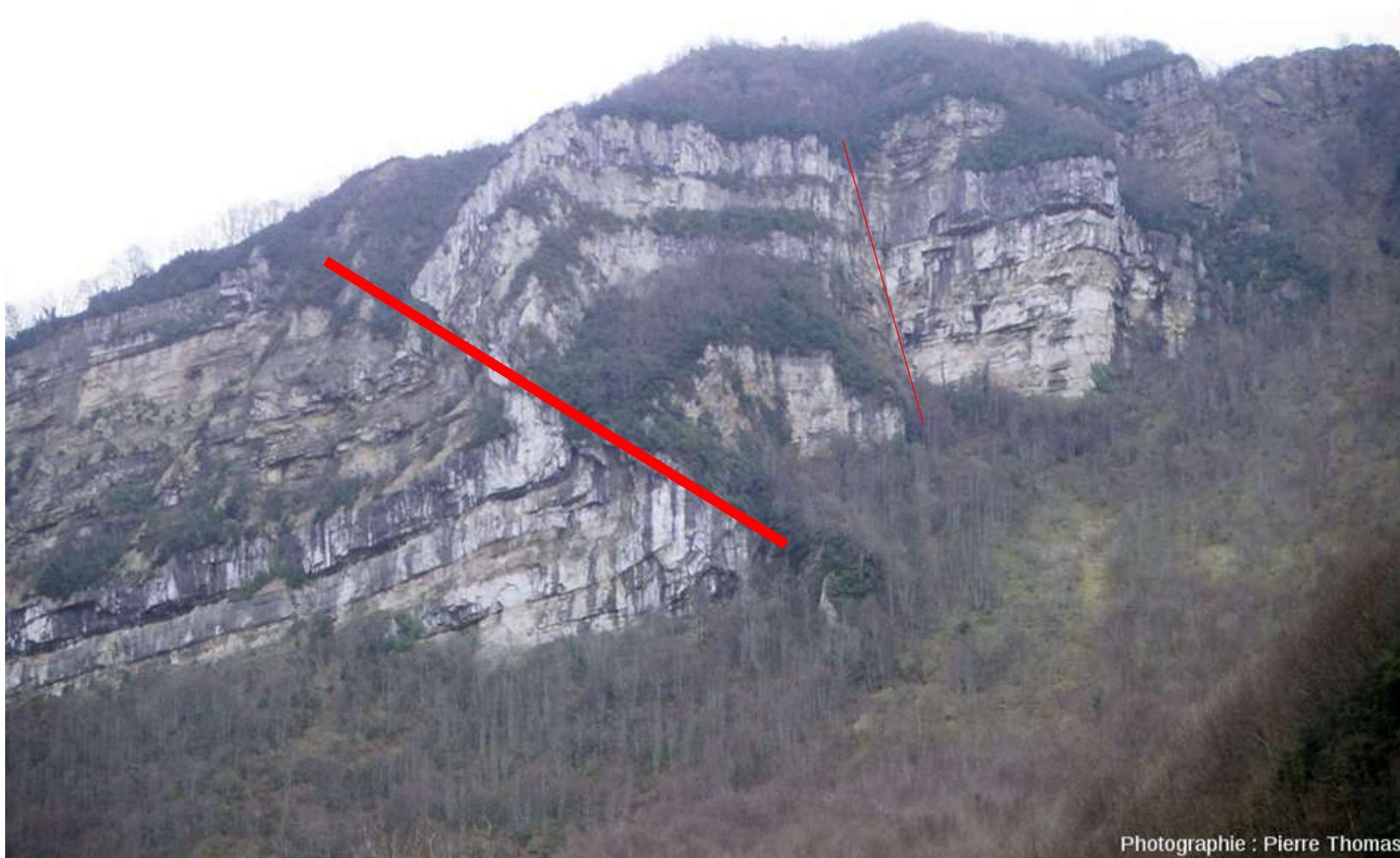




Photographie Pierre Thomas

Document 3. Pli de Saint-Rambert en Bugey (Ain).

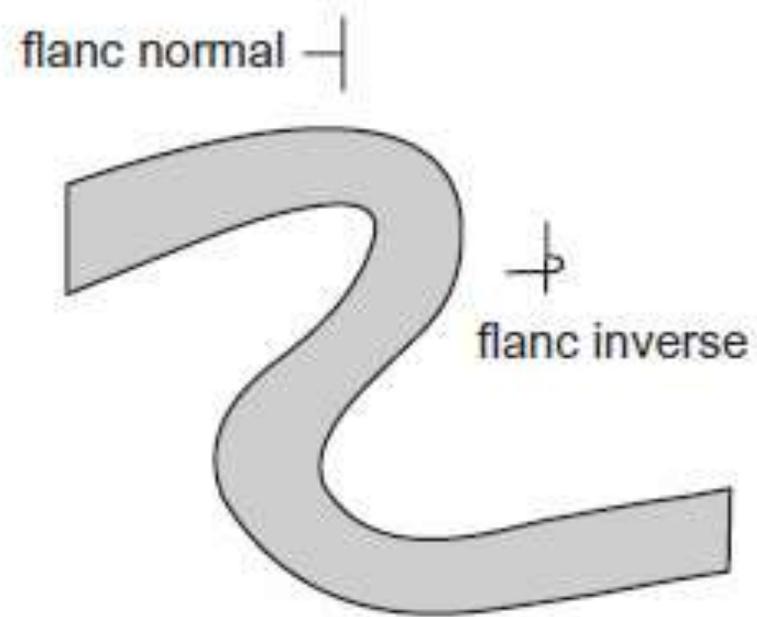
<https://planet-terre.ens-lyon.fr/ressource/lmg49-2003-07-07.xml>



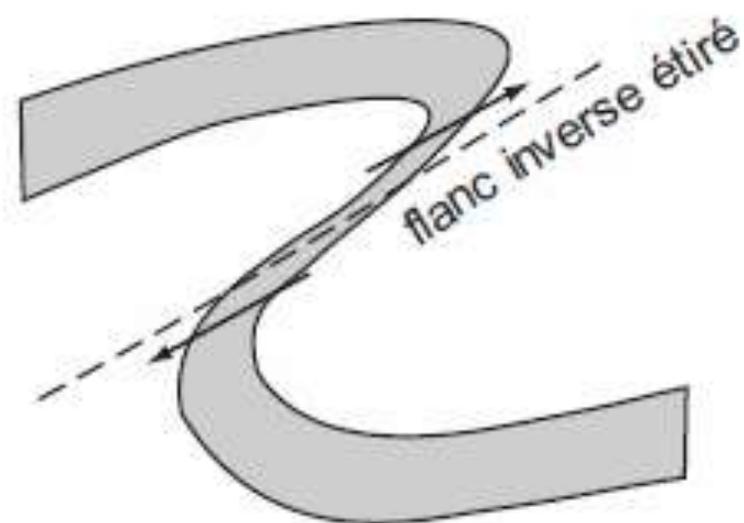
Photographie : Pierre Thomas

Document 3. Pli de Saint-Rambert en Bugey (Ain).

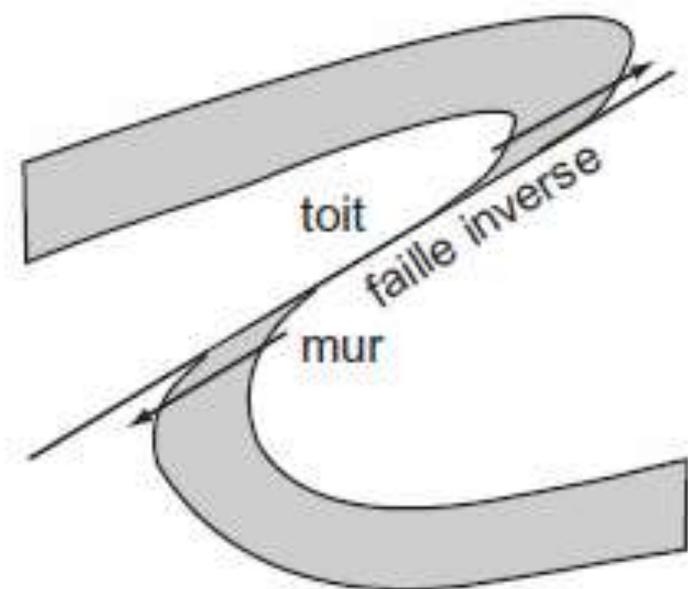
(<https://planet-terre.ens-lyon.fr/ressource/lmg49-2003-07-07.xml>)



PLI DÉVERSE



PLI ÉTIRÉ



PLI - FAILLE

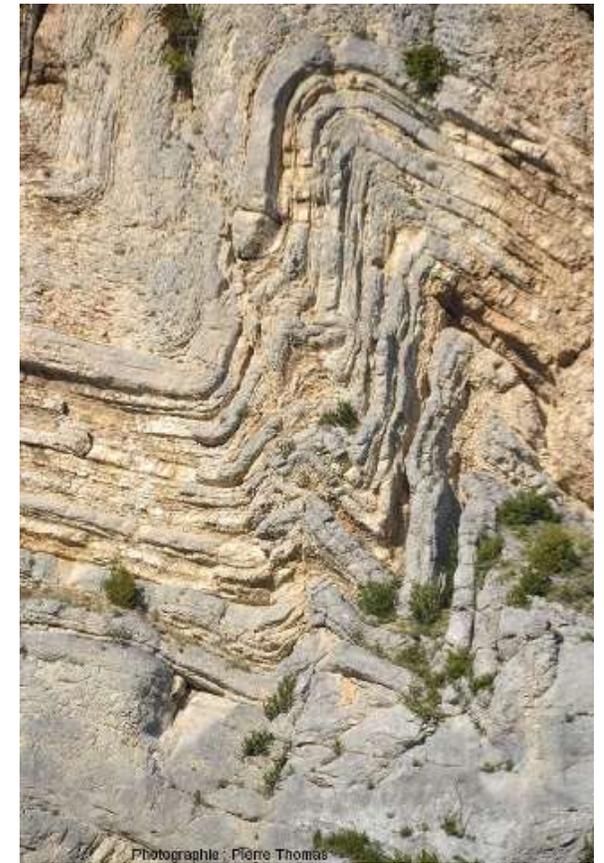
Figure 10.9 Mécanisme de formation d'un pli-faille.



Photographie Alain Lemarié

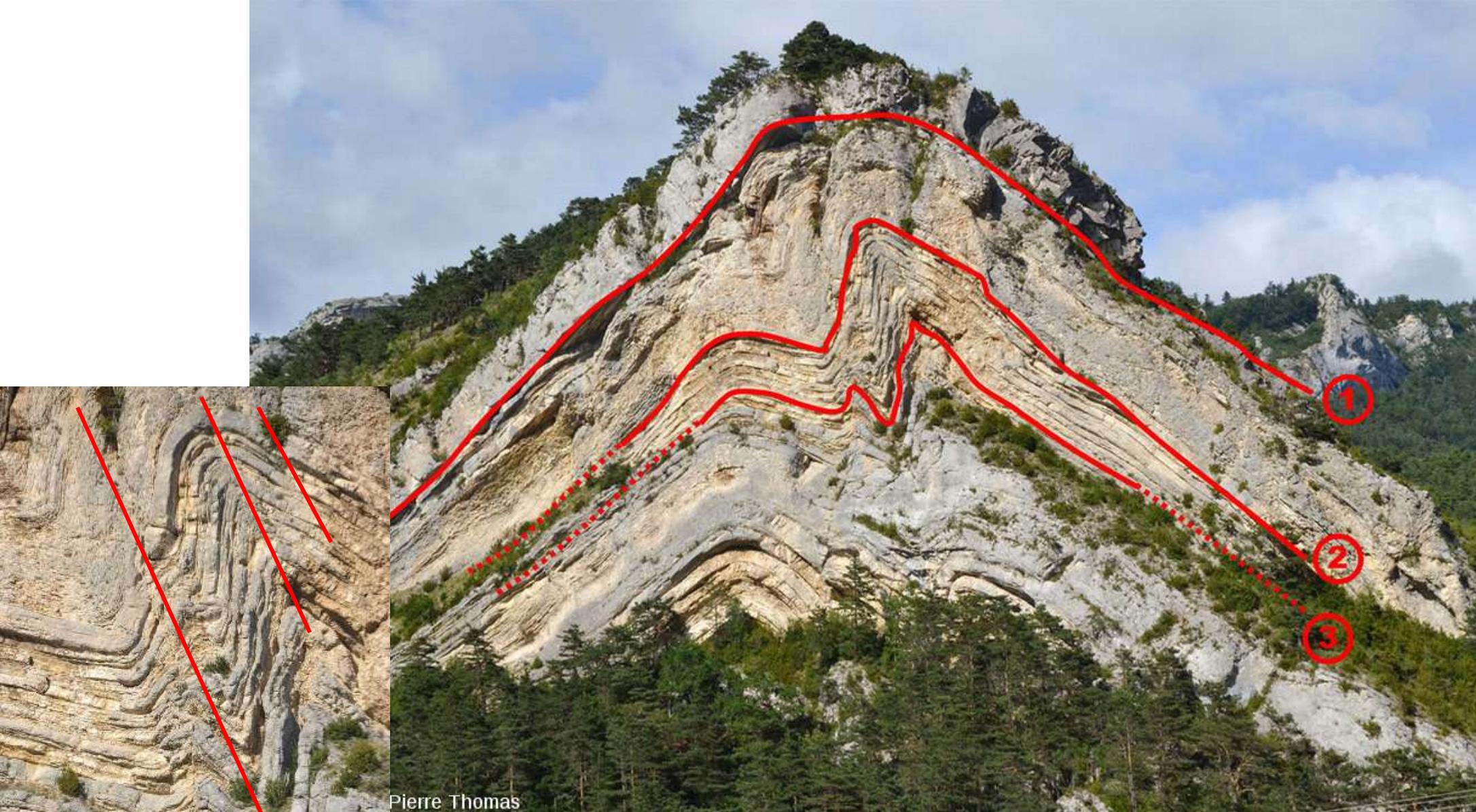
Document 4. Plis dans des calcaires du massif de la Dent de Morcles (Valais suisse).

(<https://planet-terre.ens-lyon.fr/ressource/lmg90-2004-09-06.xml>)



Document 5. Pli affectant des calcaires du Jurassique supérieur (Tithonien et Kimméridgien) (Hautes Alpes).

(<https://planet-terre.ens-lyon.fr/ressource/lmg570-2017-05-22.xml>)

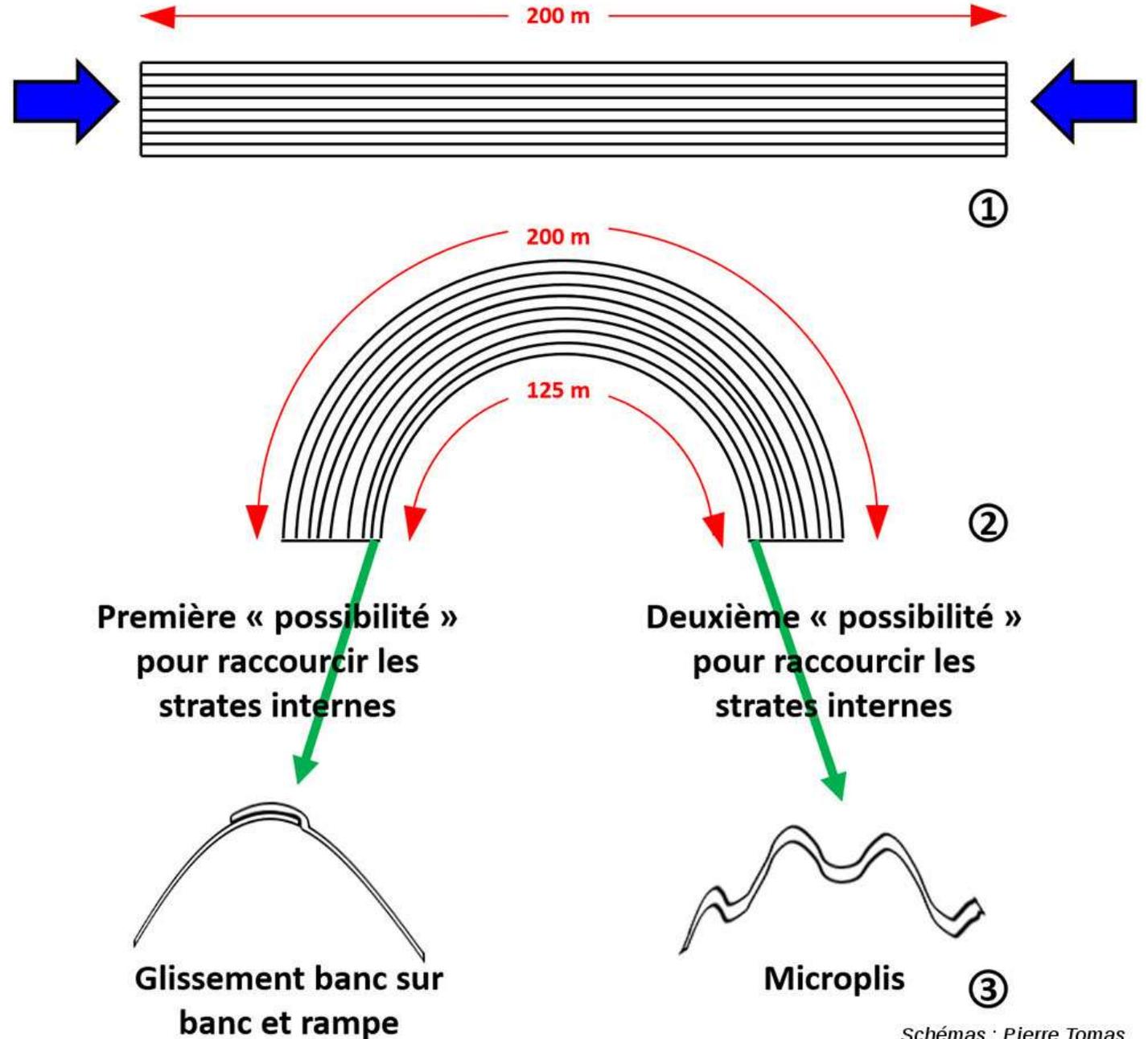


Pierre Thomas

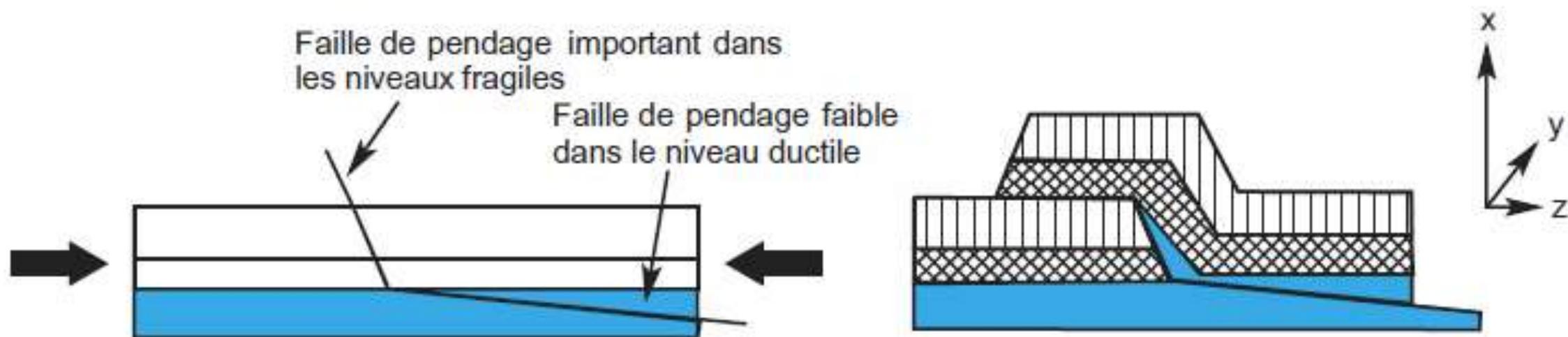
Image interprétée d'un anticlinal de la haute vallée du Buech (Hautes Alpes).

La couche supérieure (n°1) ne montre qu'un pli unique, avec une charnière unique. Les couches plus internes montrent deux charnières dans le cas de la couche n°2, et 3 charnières dans le cas de la couche n°3.

Schéma très simplifié d'un pli dont la face convexe n'a pas subi d'élongation et dont la face concave a subi un important raccourcissement.



De nombreux plis dans le Jura sont interprétés comme une succession de « plats-rampes ». Il s'agit de petits chevauchements comme le montre la [figure 10.10](#).



La contrainte détermine des failles (rampe) dans les niveaux fragiles (en hachures) et des cisaillement dans le niveau ductile (plat).

Le chevauchement qui en résulte a l'allure d'un pli.

Figure 10.10 Mécanisme de formation d'un plat-rampe.



Photographie : Pierre Thomas

Document 6. Paysage à St Bauzille de Putois (Hérault).

Photo prise en direction du SE. La dépression cultivée correspond à des formations oligocènes marno-grésos-conglomératique. Les zones boisées qui la bordent sont constituées de calcaires mésozoïques.

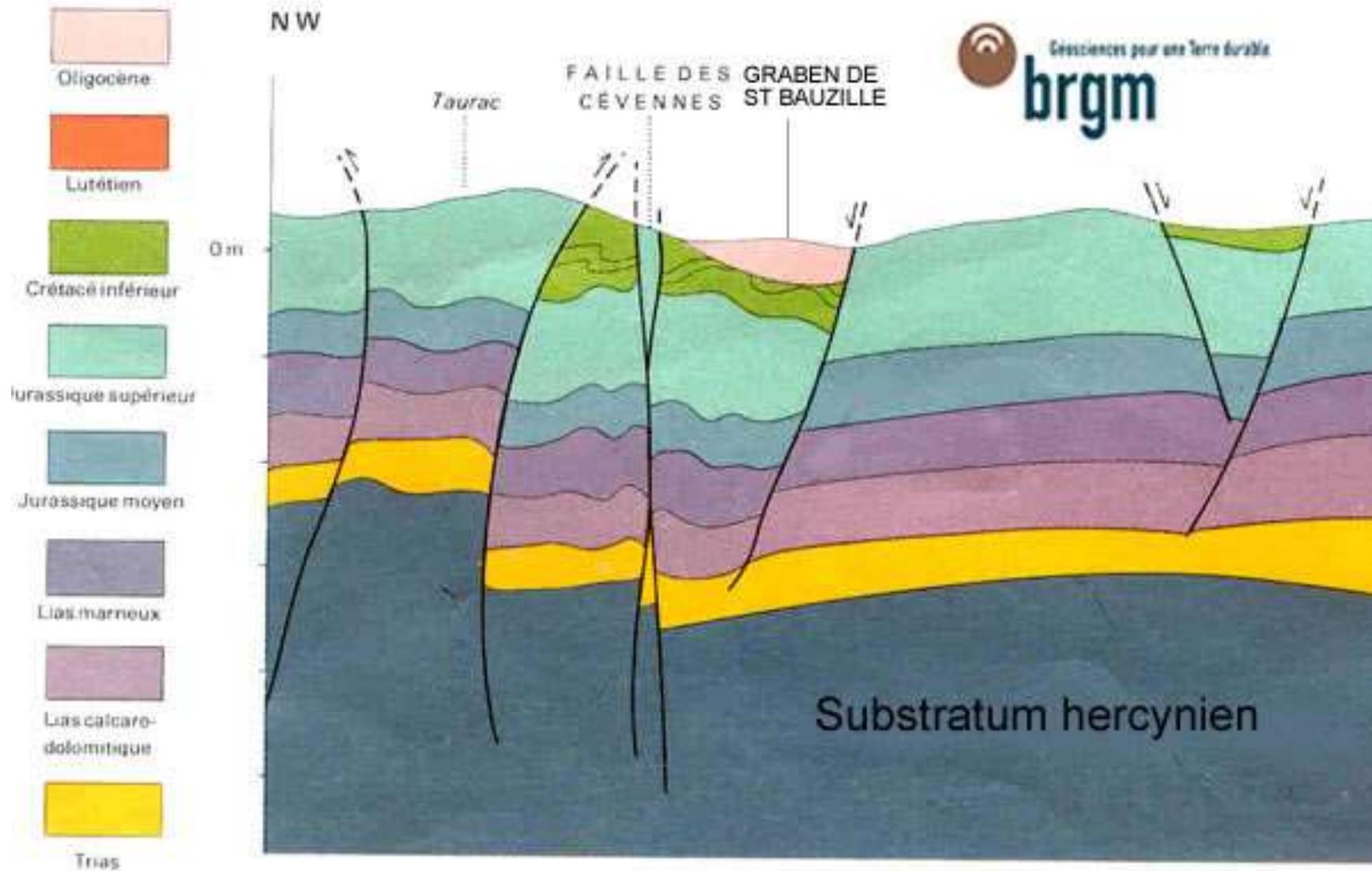
[Source : <http://planet-terre.ens-lyon.fr/image-de-la-semaine/lmq53-2003-09-29.xml>]



Document 6. Paysage à St Bauzille de Putois (Hérault).

Photo prise en direction du SE. La dépression cultivée correspond à des formations oligocènes marno-grésoconglomératique. Les zones boisées qui la bordent sont constituées de calcaires mésozoïques.

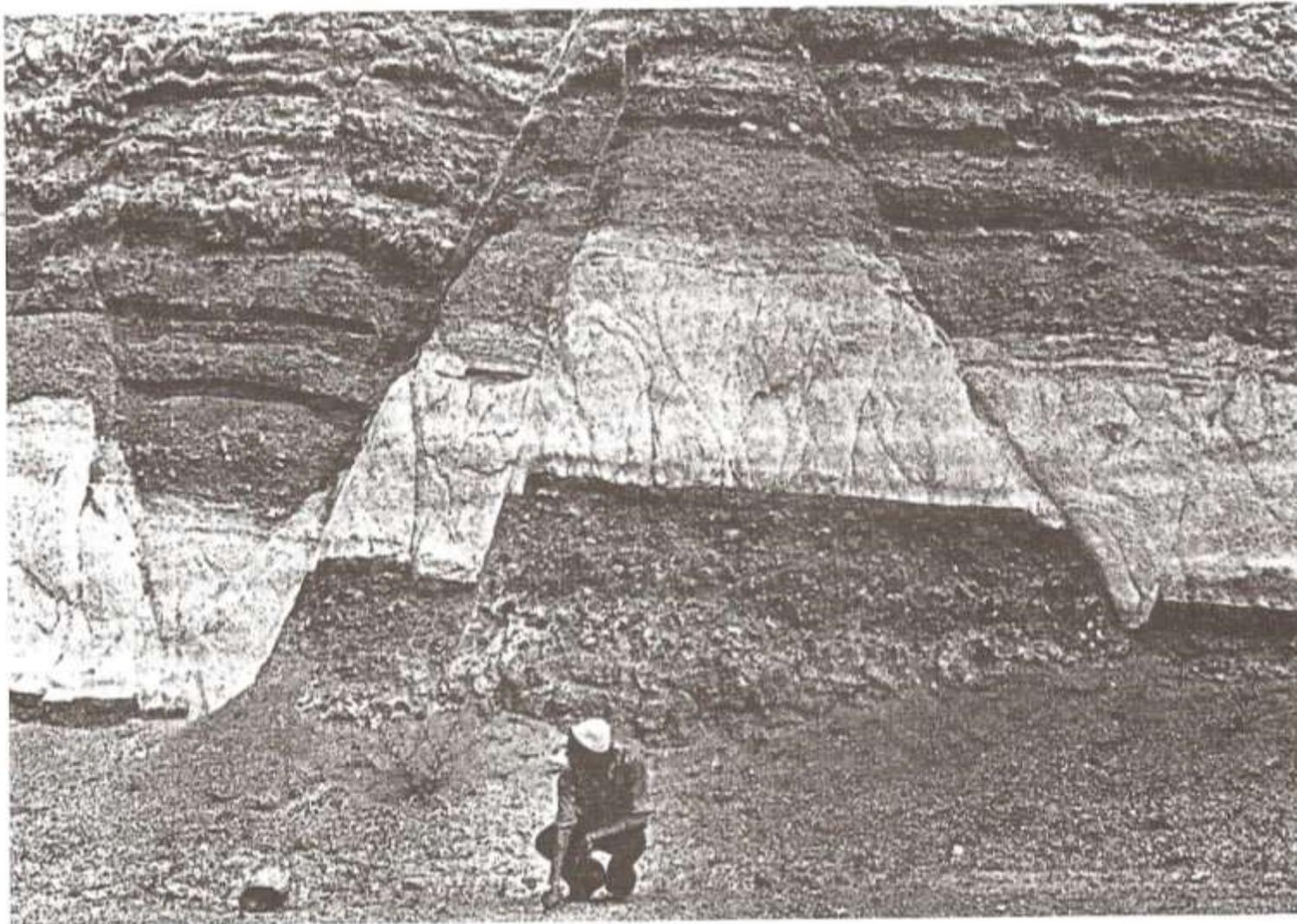
[Source : <http://planet-terre.ens-lyon.fr/image-de-la-semaine/lmq53-2003-09-29.xml>]



Coupe géologique de la région.

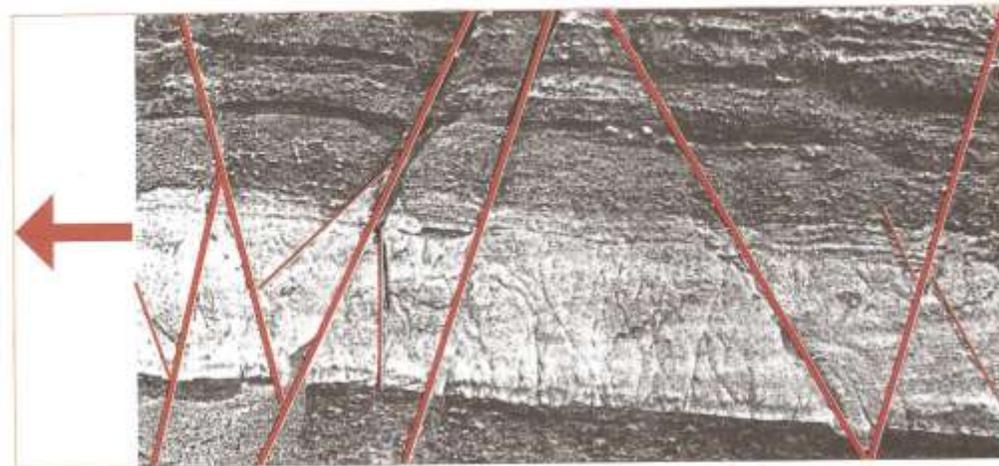
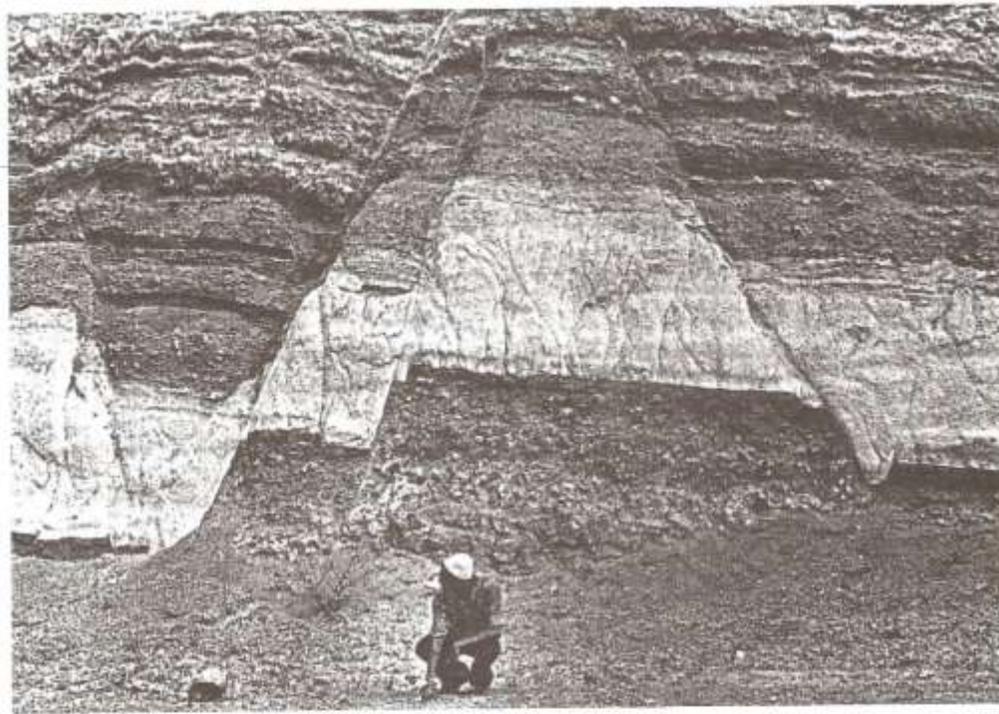
Extrait de la carte géologique BRGM 1/50 000 de St Martin de Londres (carte n°963).

Le graben photographié correspond au graben de gauche, avec son remplissage oligocène rose



Document 7. Affleurement de la vallée du lac de Van, en Turquie.

(« Ce que disent les pierres » p23 M. MATTAUER – BELIN. Bibliothèque Pour La Science – 1998)



Document 7. Affleurement de la vallée du lac de Van, en Turquie.

(« Ce que disent les pierres » p23 M. MATTAUER – BELIN. Bibliothèque Pour La Science – 1998)

Schéma d'interprétation de l'affleurement

Failles normales conjuguées

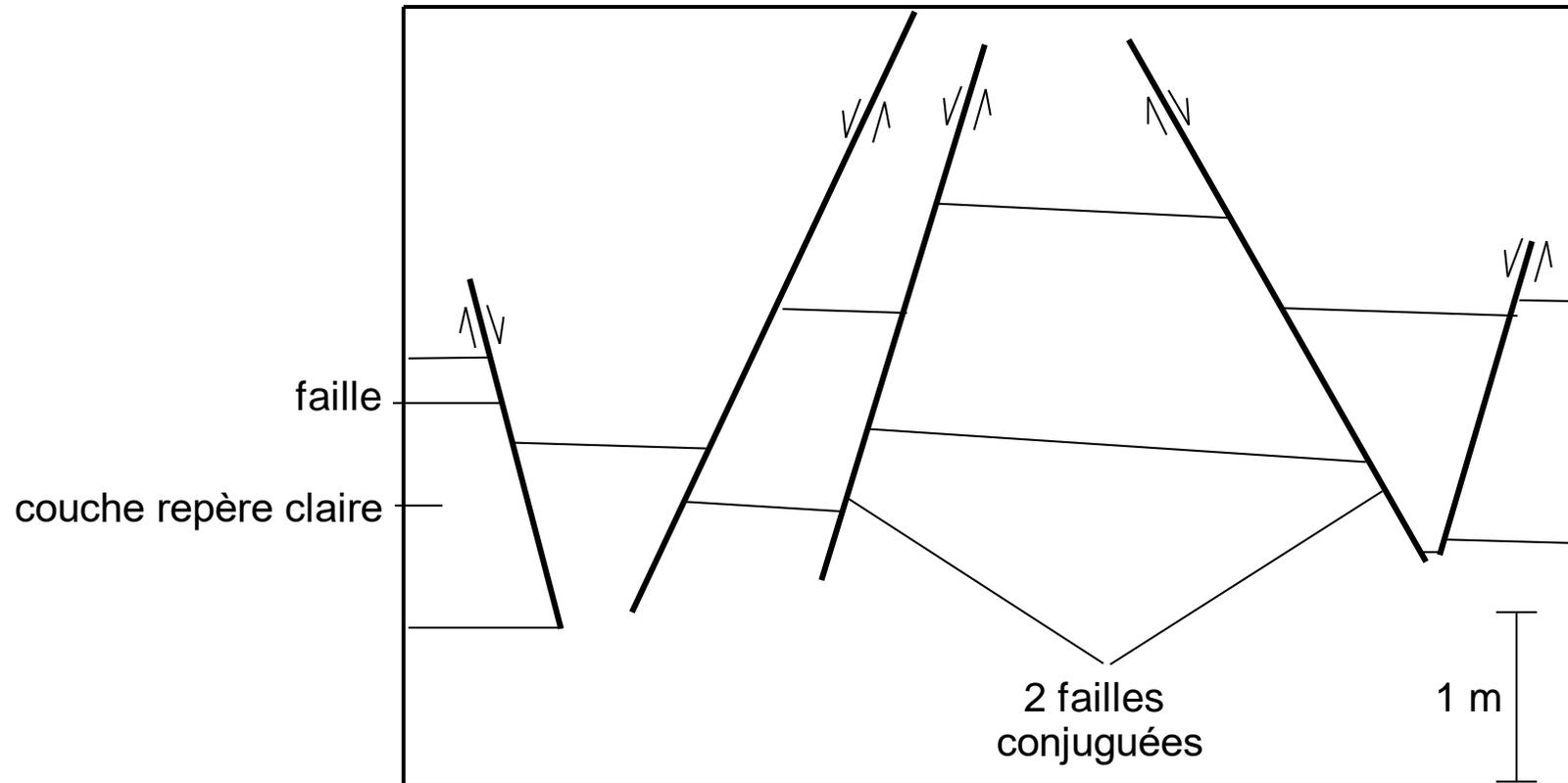
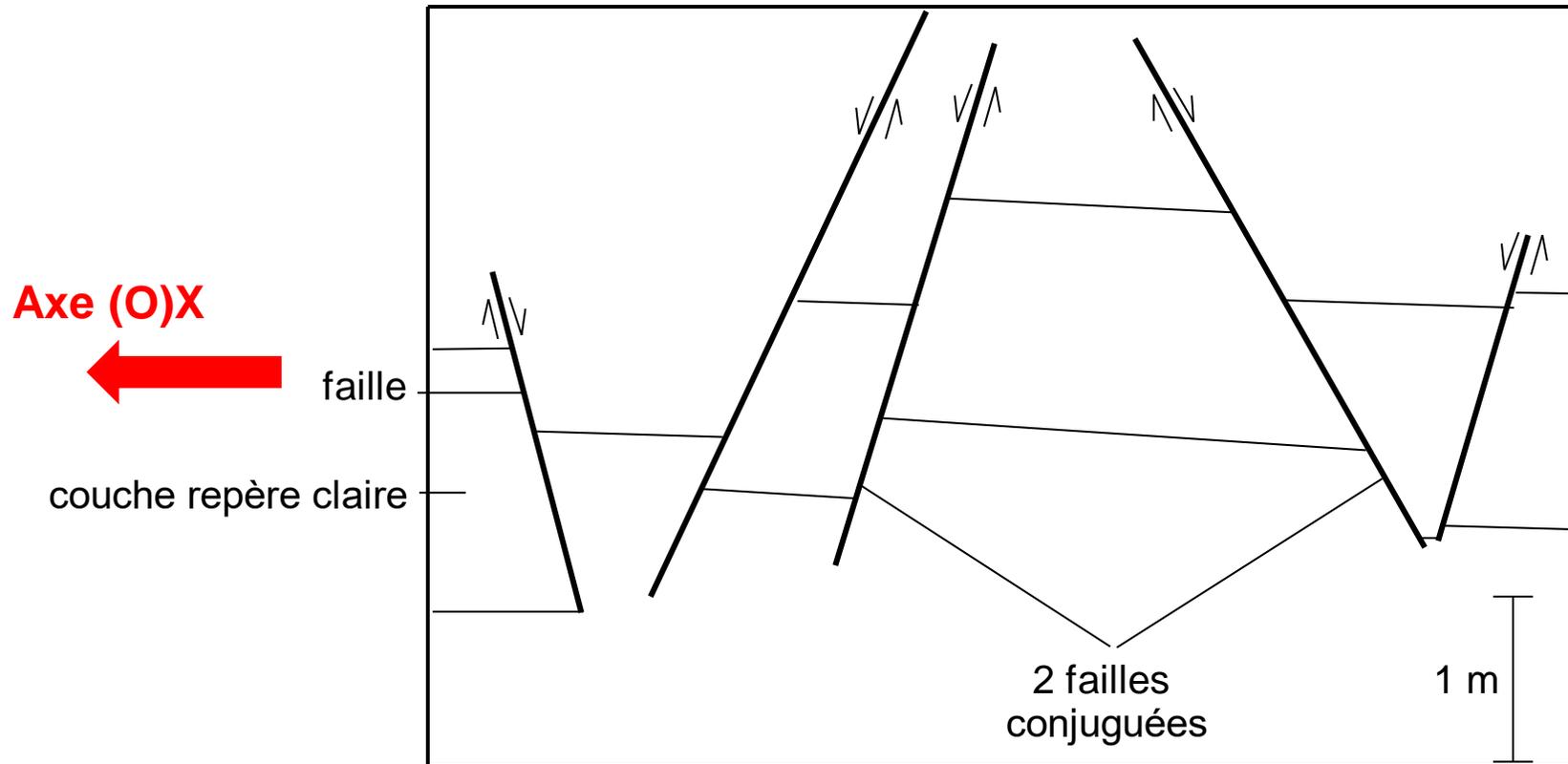
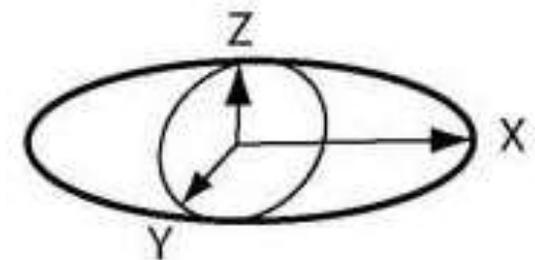
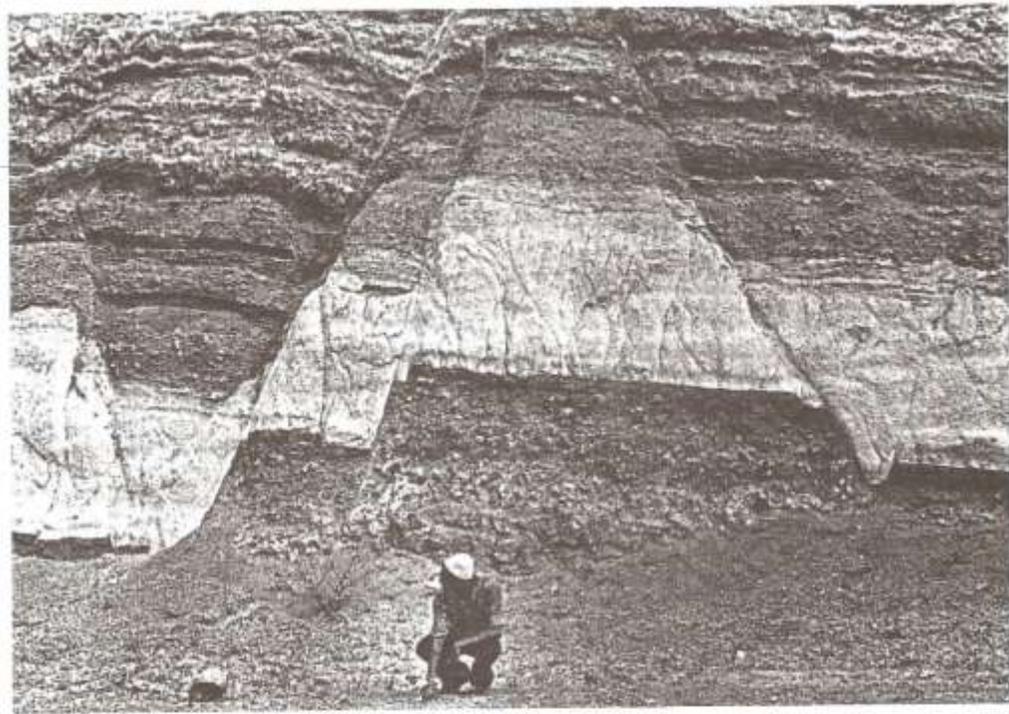


Schéma d'interprétation de l'affleurement
Failles normales conjuguées



Ellipsoïde des déformations :



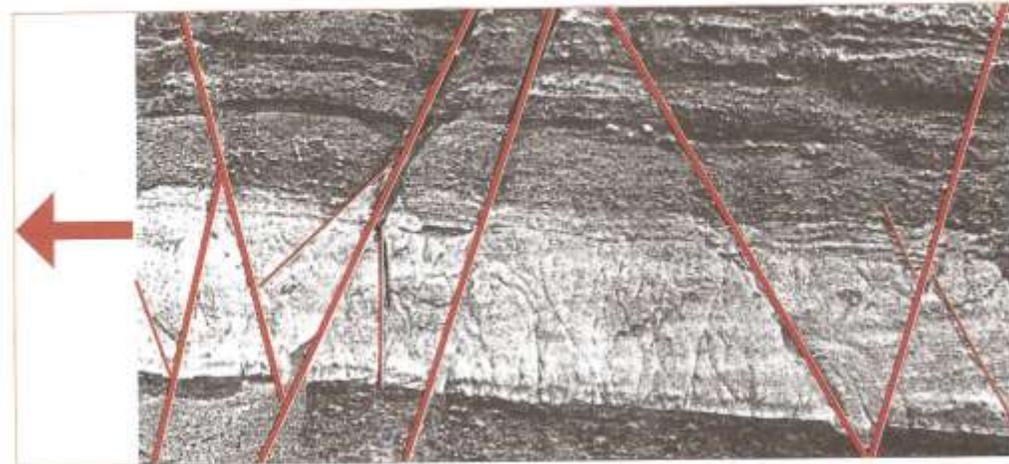


Soit L_f la largeur actuelle de l'affleurement mesurée sur un axe horizontal et soit L_0 , sa largeur initiale

$$\varepsilon = (L_f - L_0) / L_f$$

A.N.

L_f se mesure directement sur la photographie : $L_f = 12,3$ cm



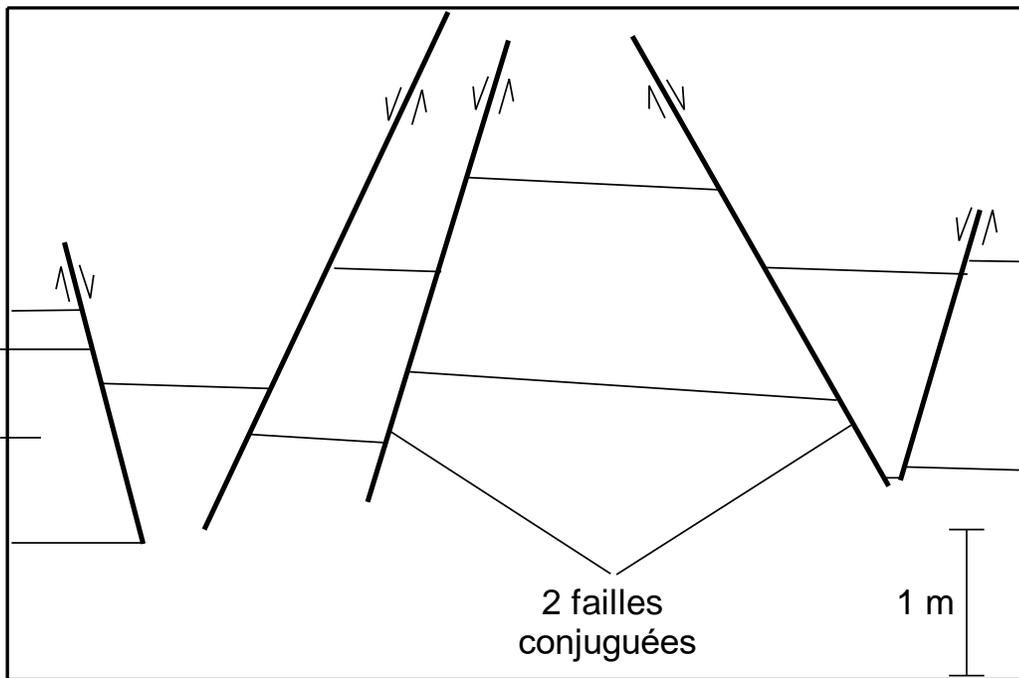
L_0 s'obtient en faisant la somme des longueurs de tous les segments formant une des limites (supérieure ou inférieure) de la couche repère : $L_0 = 10,6$ cm

D'où $\varepsilon = 1,7/12,3 = 14 \%$

Document 7. Affleurement de la vallée du lac de Van, en Turquie.

Schéma d'interprétation de l'affleurement

Failles normales conjuguées



Axe (O)X



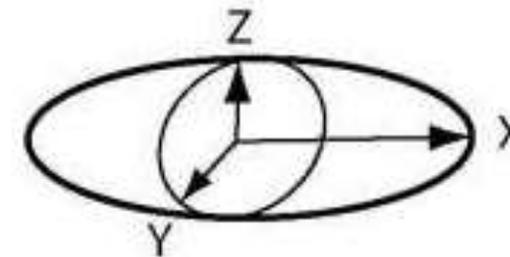
faille

couche repère claire

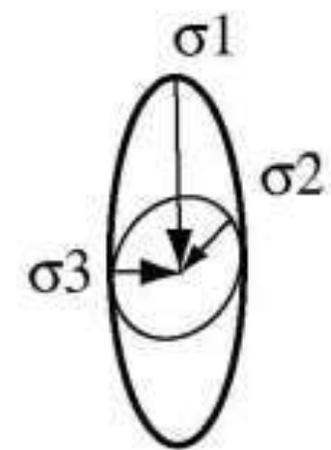
Axe (O)Z



Ellipsoïde des déformations :



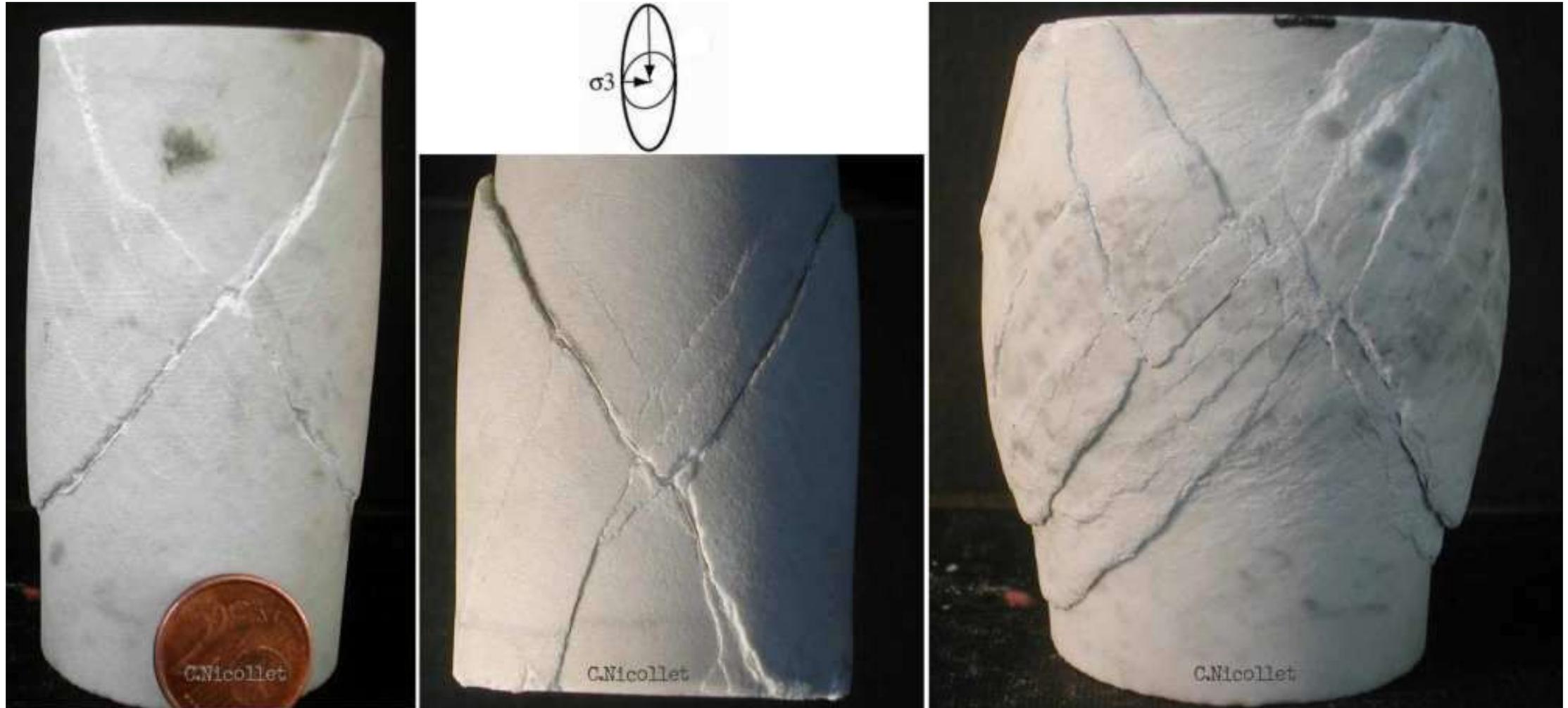
Ellipsoïde des contraintes :



Ellipse des contraintes :



Sur les photos ci-dessous, on a reproduit expérimentalement de telles structures en exerçant un σ_1 vertical (avec $\sigma_2 = \sigma_3$) sur des carottes de marbre de Carrare.



date	d_1	d_2	date	d_1	d_2
24 juin	0	0	15 sept	- 65	- 185
07 juil	0	- 5	23 sept	- 65	- 190
27 juil	0	- 10	06 oct	- 70	- 200
15 août	0	- 20	10 oct	- 75	- 210
22 août	- 5	- 30	14 oct	- 80	- 215
25 août	- 5	- 30	19 oct	- 85	- 225
27 août	- 10	- 45	23 oct	- 100	- 245
29 août	- 15	- 55	27 oct	- 115	- 265
04 sept	- 30	- 85	30 oct	- 150	- 315
05 sept	- 40	- 105	02 nov	- 155	- 315
06 sept	- 65	- 150	10 nov	- 155	- 315
10 sept	- 65	- 180			

Document 8. Le fonctionnement d'une faille.

date	d ₁	d ₂	date	d ₁	d ₂
24 juin	0	0	15 sept	-65	-185
07 juil	0	-5	23 sept	-65	-190
27 juil	0	-10	06 oct	-70	-200
15 août	0	-20	10 oct	-75	-210
22 août	-5	-30	14 oct	-80	-215
25 août	-5	-30	19 oct	-85	-225
27 août	-10	-45	23 oct	-100	-245
29 août	-15	-55	27 oct	-115	-265
04 sept	-30	-85	30 oct	-150	-315
05 sept	-40	-105	02 nov	-155	-315
06 sept	-65	-150	10 nov	-155	-315
10 sept	-65	-180			

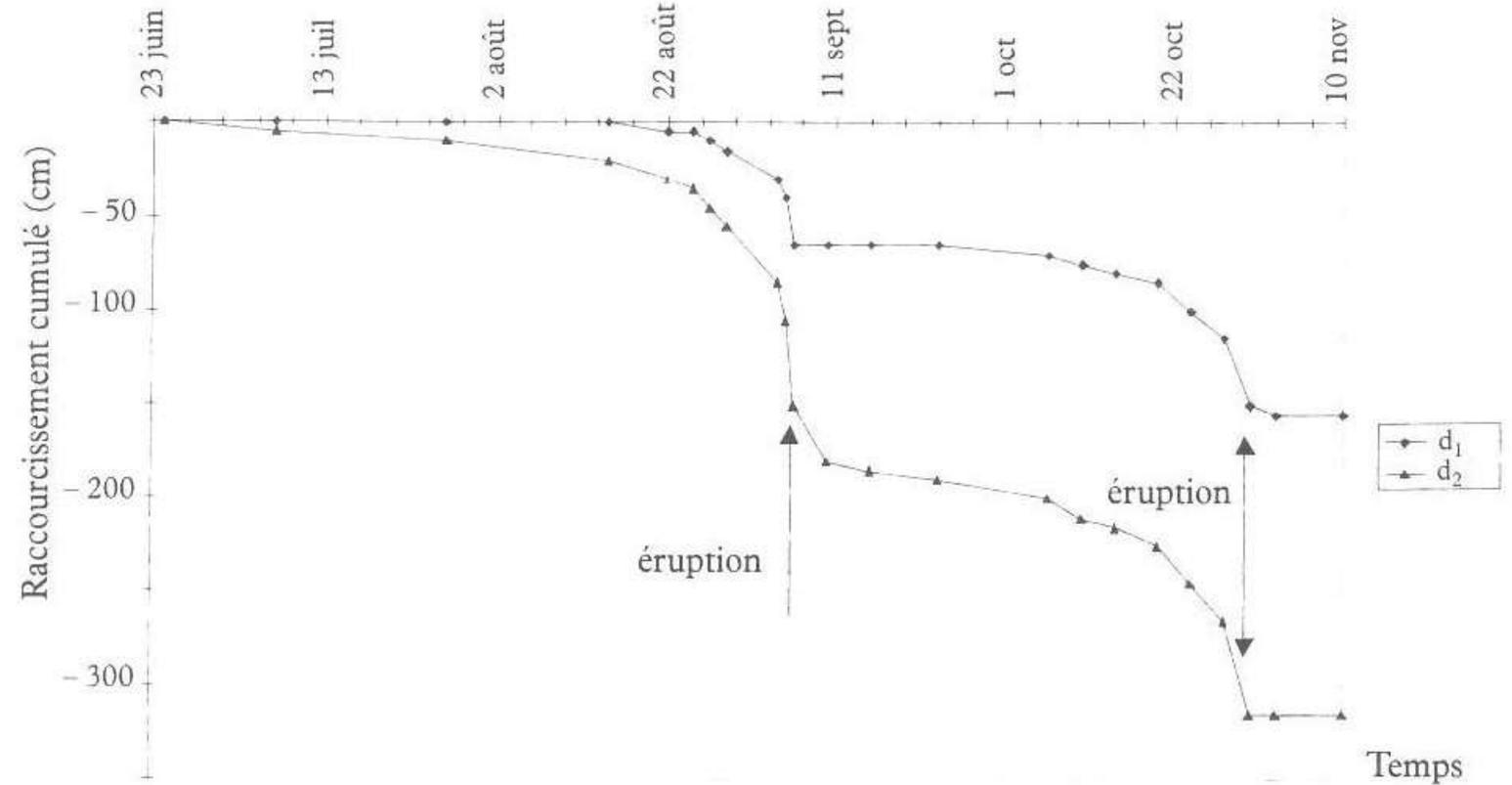


FIGURE 1. FONCTIONNEMENT DE DEUX FAILLES. CRATÈRE DU MONT ST HELEN

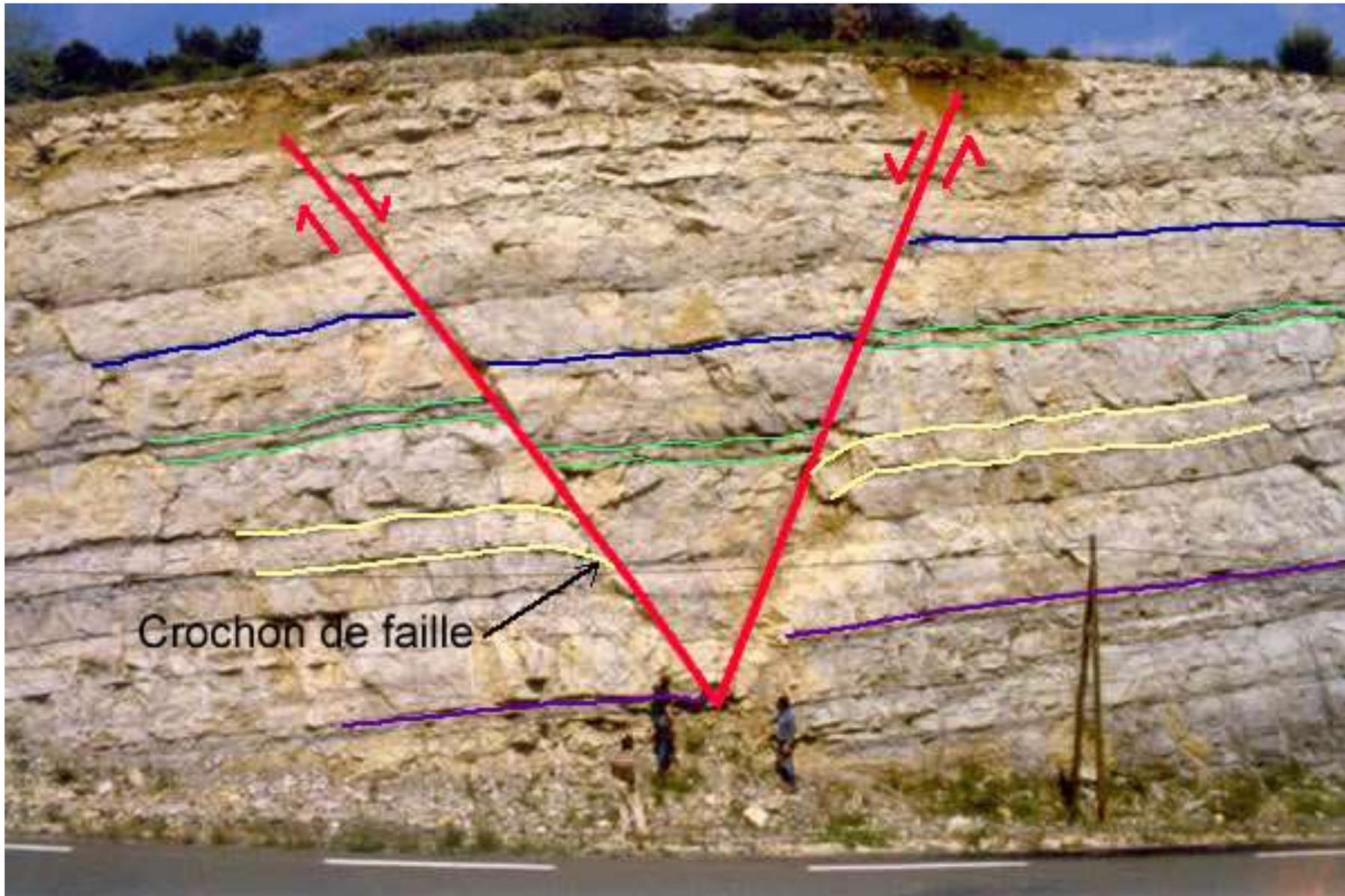
Document 8. Le fonctionnement d'une faille.



Photographie Pierre Thomas

Un affleurement à Salasc (Hérault).

[Source : <http://planet-terre.ens-lyon.fr/image-de-la-semaine/lmg52-2003-09-22.xml>]



Un affleurement à Salasc (Hérault).

[Source : <http://planet-terre.ens-lyon.fr/image-de-la-semaine/lmg52-2003-09-22.xml>]



Fond de l'ancienne carrière (réhabilitée) de la Petite Balme de Sillingy (Haute Savoie).

<https://planet-terre.ens-lyon.fr/planetterre/objets/Images/Img304/304-stries-miroir-faille-decrochement-01.jpg>



Photographie : Pierre Thomas

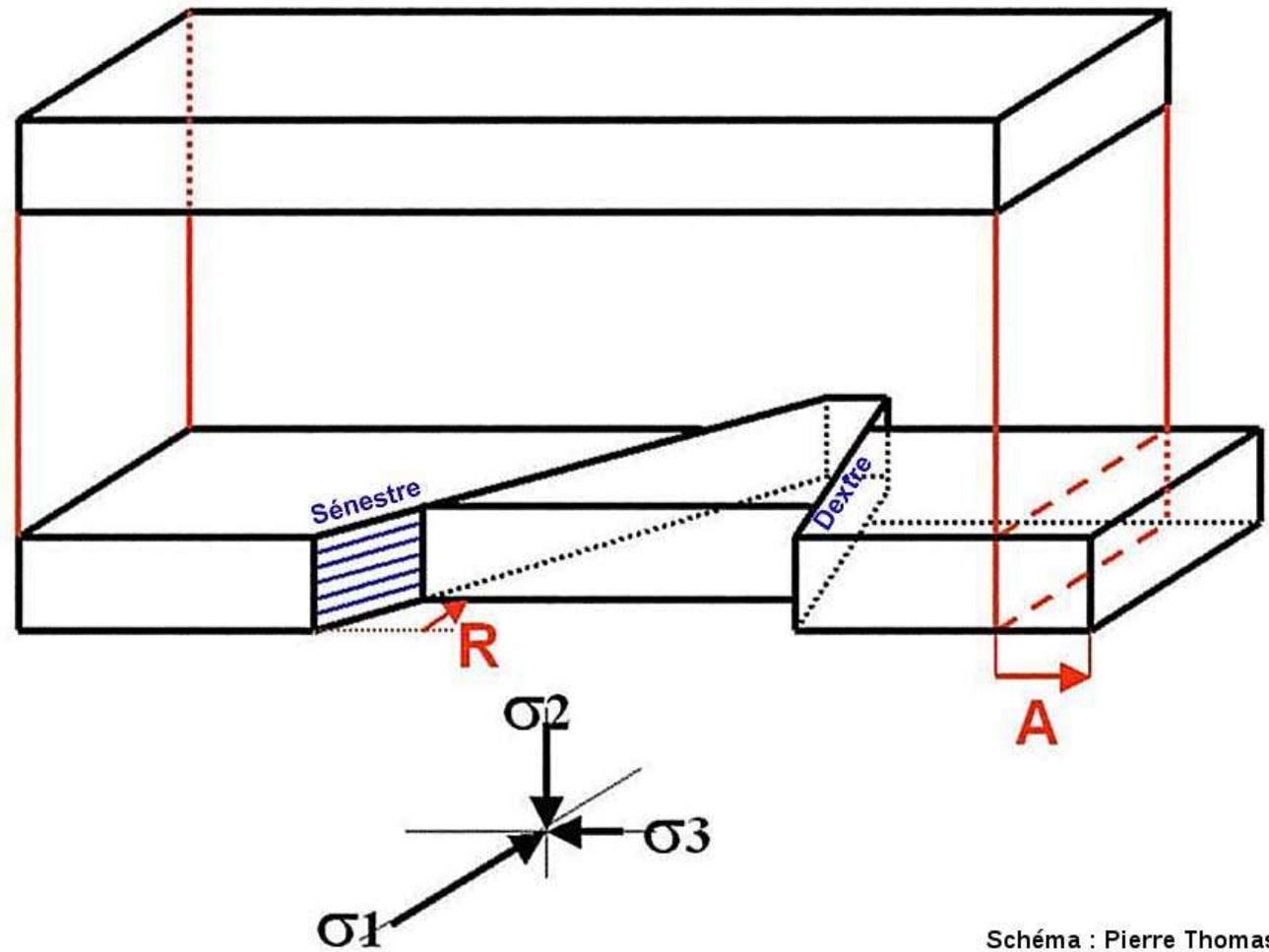


Schéma : Pierre Thomas

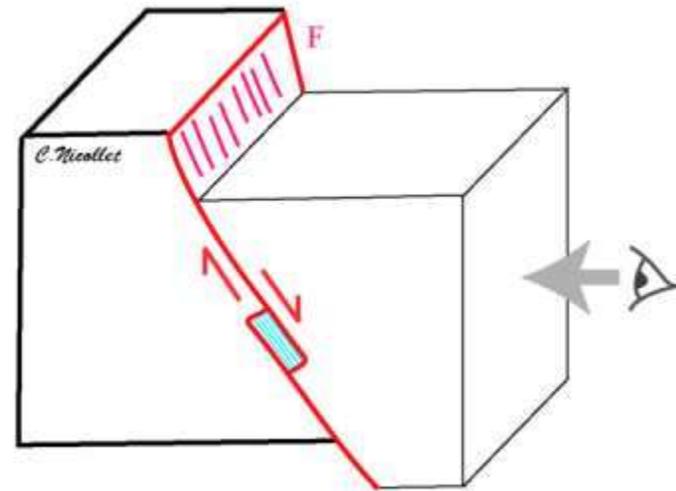
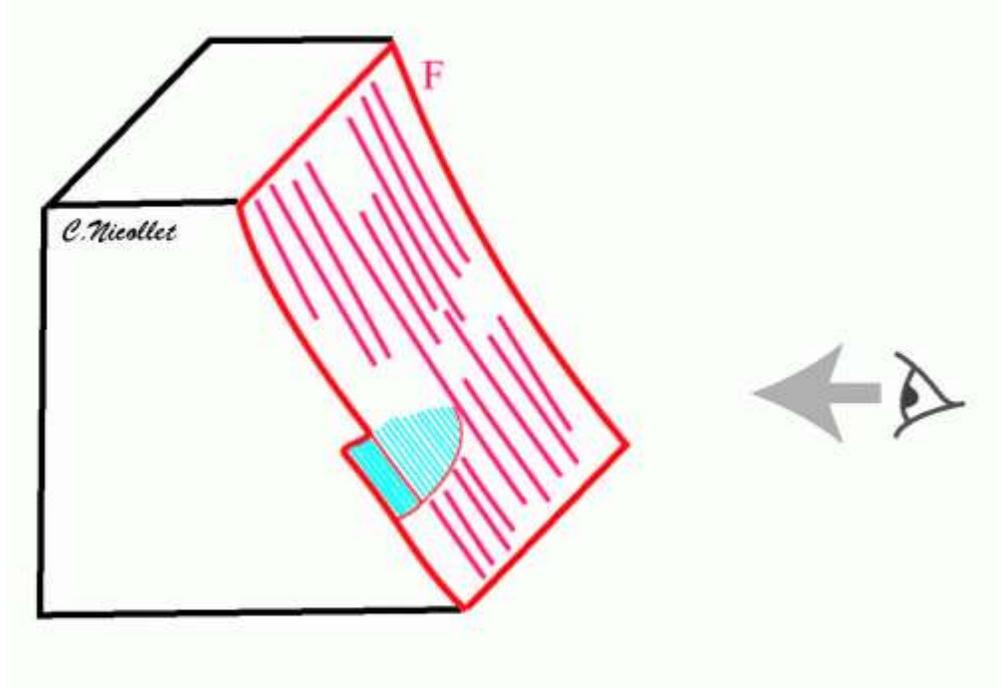
Relations géométriques entre failles décrochantes et directions d'allongement (A) et de raccourcissement (R) horizontaux



Document 10 (à droite). Un affleurement dans les Cévennes.



Photographie : Pierre Thomas



<http://christian.nicollet.free.fr/page/TectoCassante/tectocassante.html>

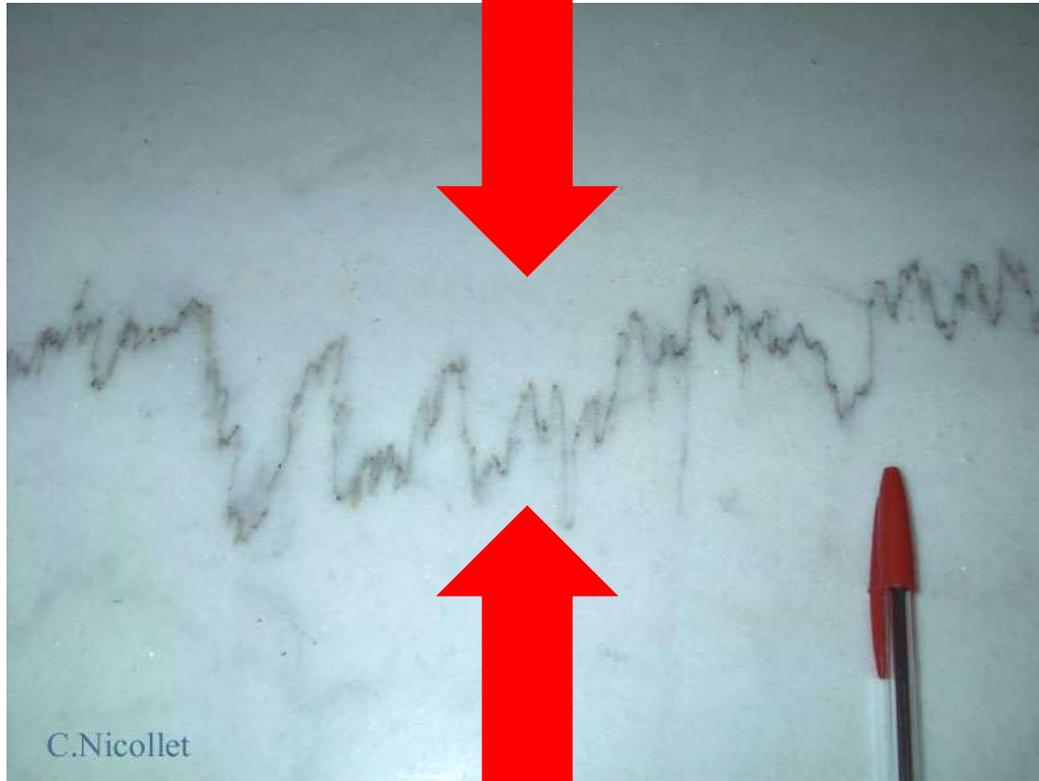
<https://planet-terre.ens-lyon.fr/ressource/lmg03-2002-07-01.xml>



Document 11. La dalle des Matelles (région de Montpellier).

(« Ce que disent les pierres » p81 M. MATTAUER – BELIN. Bibliothèque Pour La Science – 1998)

Axe (O)Z Stylolithes



σ_1



σ_3



Fentes de tension

Axe (O)X



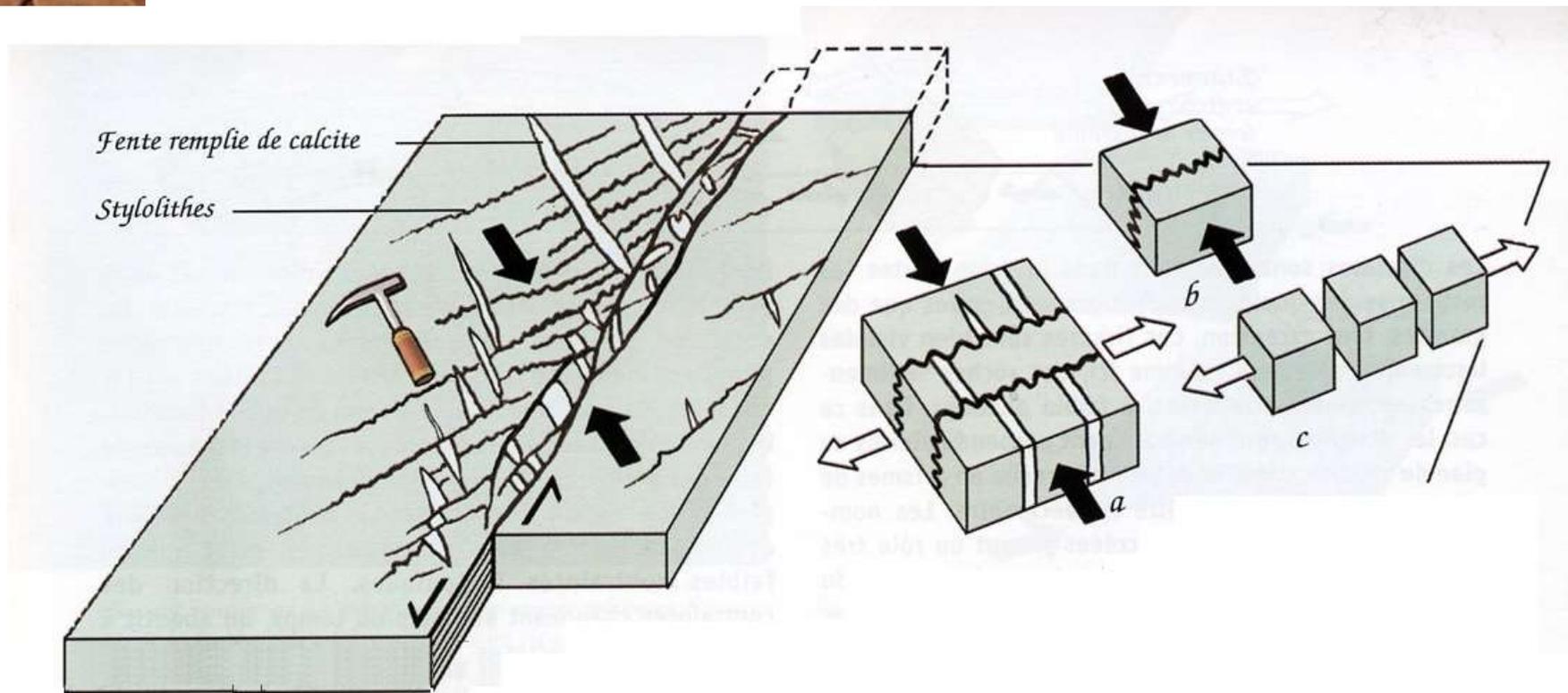
Des plans stylolithiques se forment perpendiculairement à la contrainte principale σ_1 et à la direction Z de l'ellipsoïde de la déformation : ils marquent donc le plan d'aplatissement X-Y. Ces plans sont irréguliers et constitués de pics stylolithiques qui indiquent la direction de Z. Ils se forment par dissolution de la roche et permettent d'accommoder le raccourcissement.

Parallèlement à la contrainte principale σ_1 , des fractures vont s'ouvrir et leurs lèvres vont s'écarter et se remplir de calcite : ce sont les fentes de tension. La calcite cristallise parfois en fibres qui s'orientent selon la direction d'allongement X.

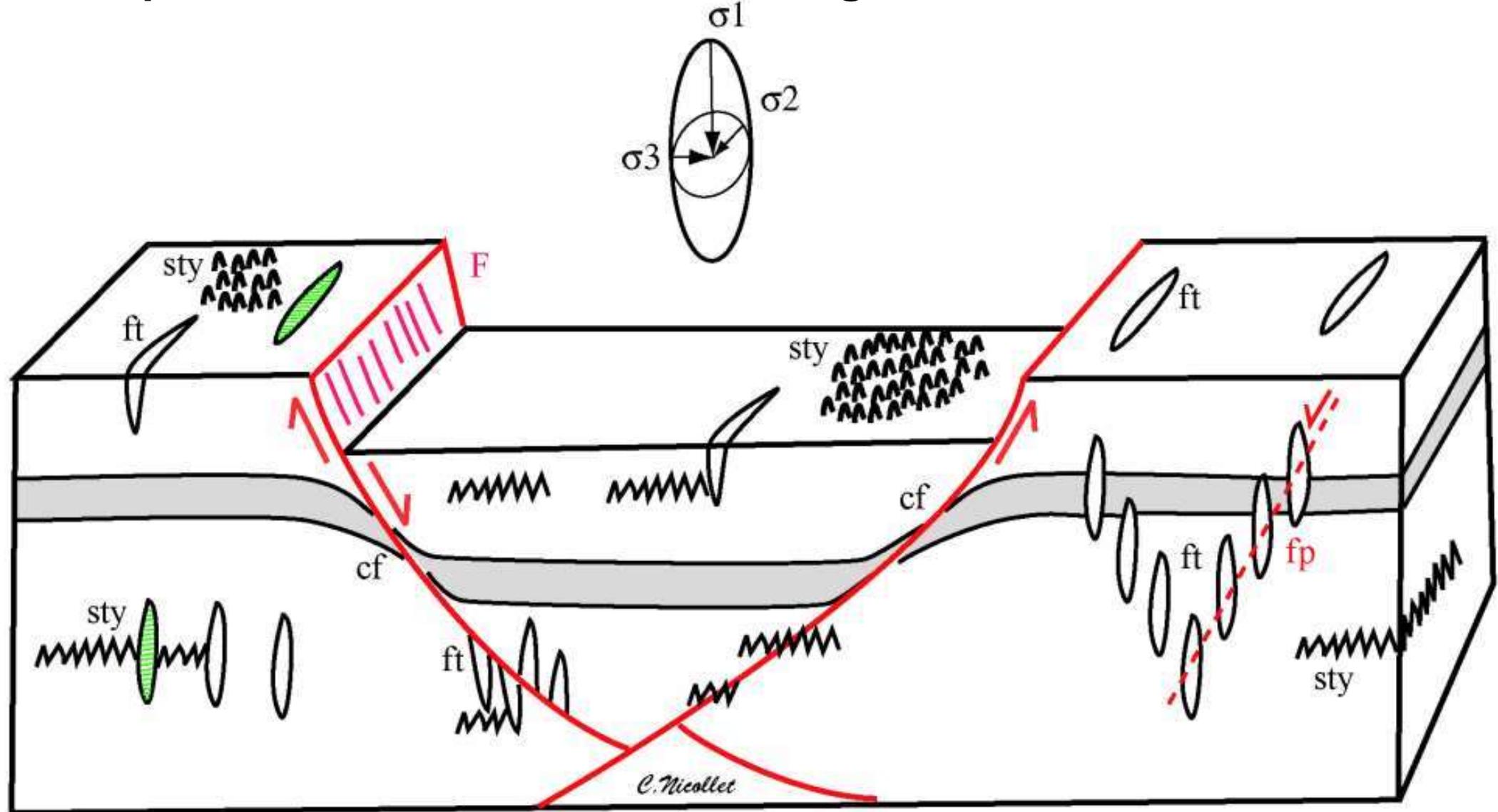


Document 11. La dalle des Matelles (région de Montpellier).

(« Ce que disent les pierres » p81 M. MATTAUER – BELIN. Bibliothèque Pour La Science – 1998)



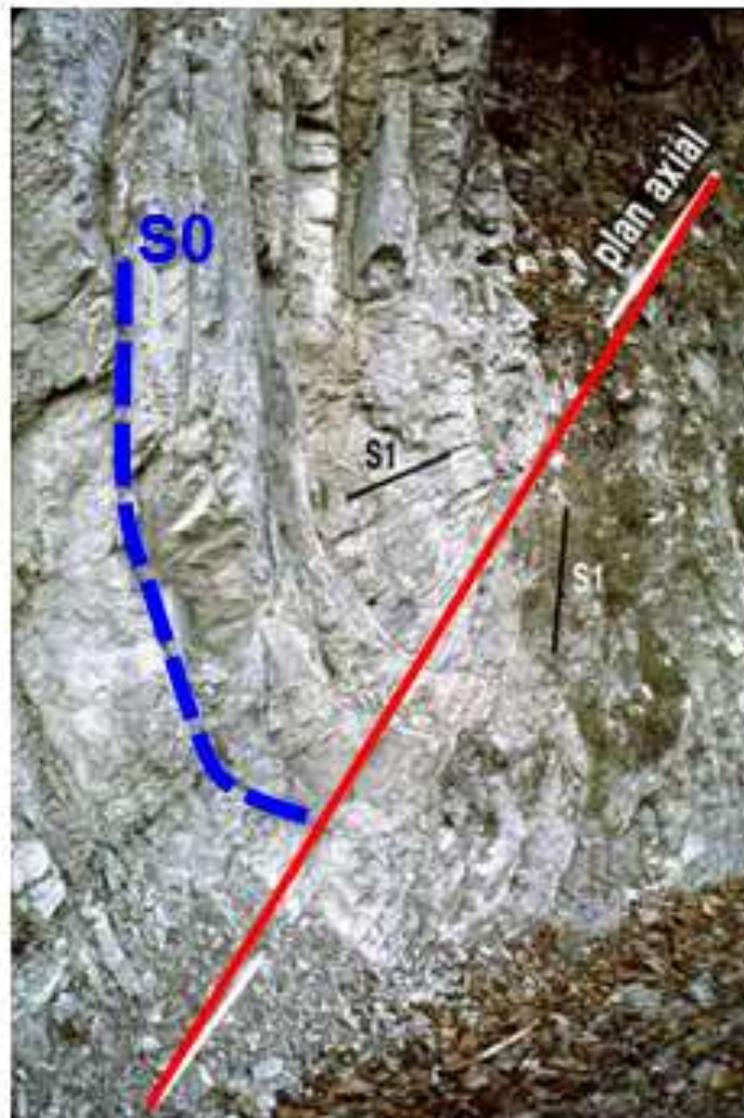
Les microstructures associées aux failles permettent de caractériser l'ellipsoïde des déformations et le régime des contraintes





Document 12. (Photo Alex Clamens)

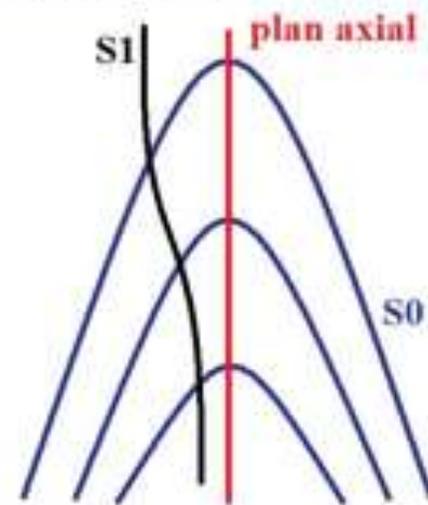
Figure 7 : PLIS ANISOPAQUES ET CONTRAINTES



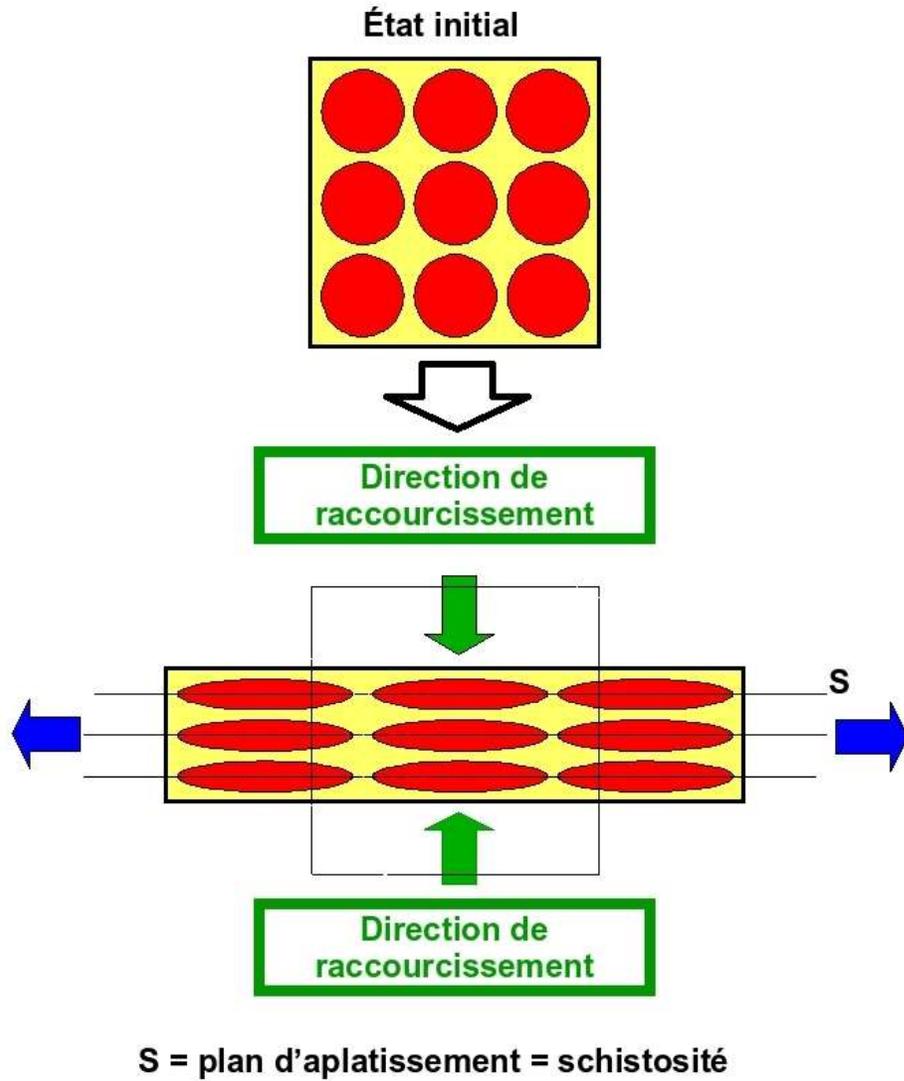
Echelle métrique



Ellipse des contraintes

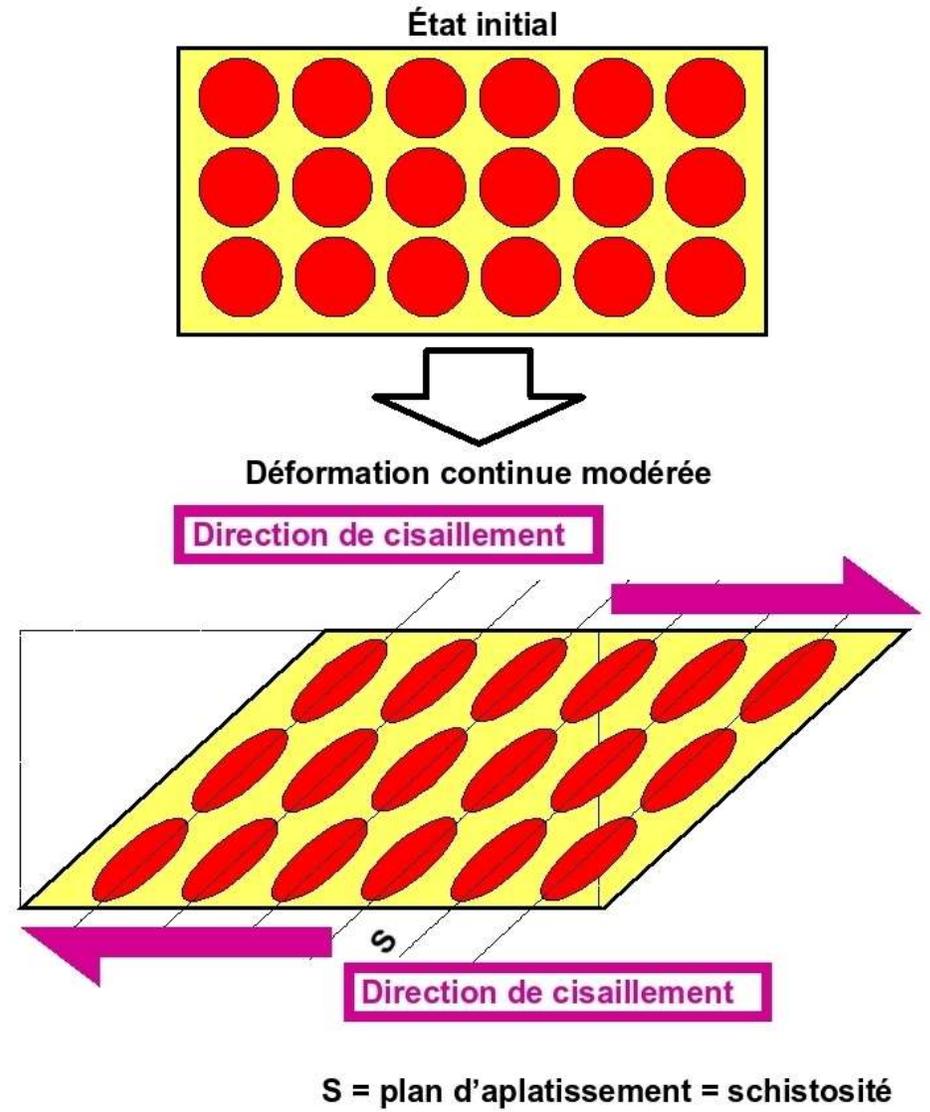


Direction d'allongement

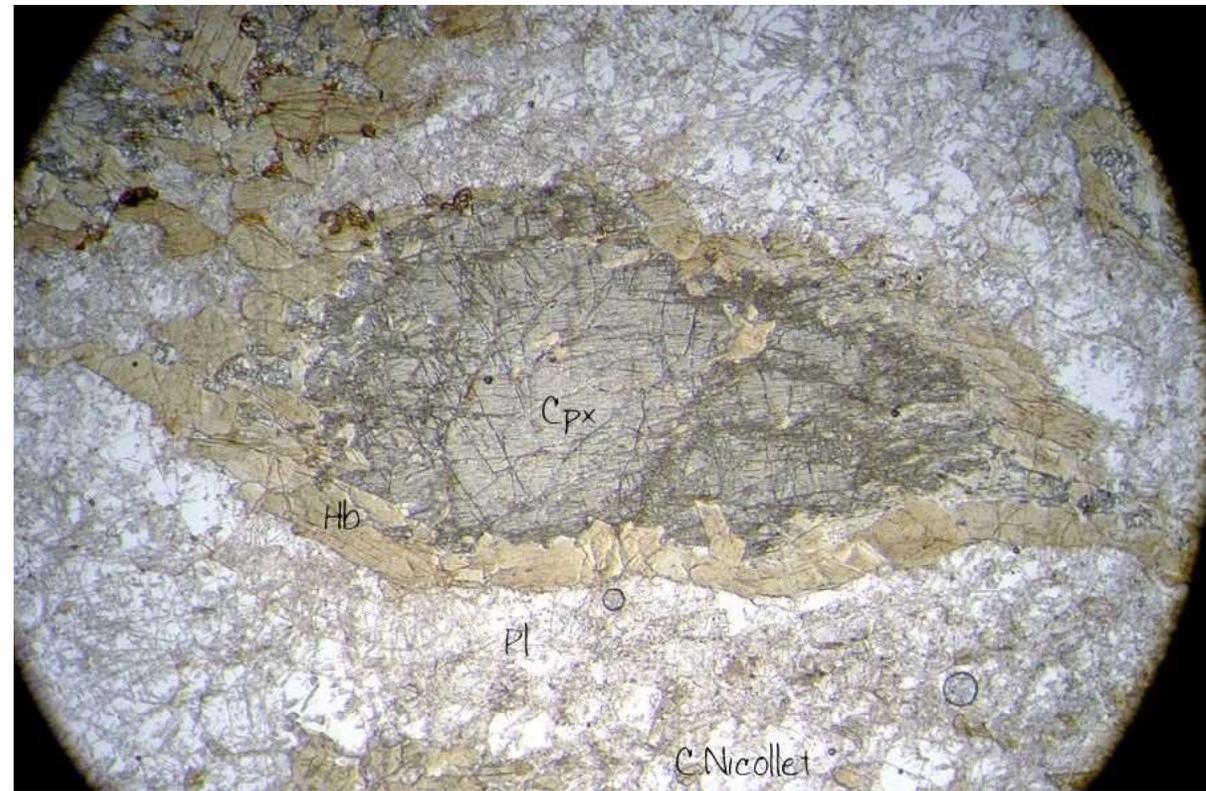
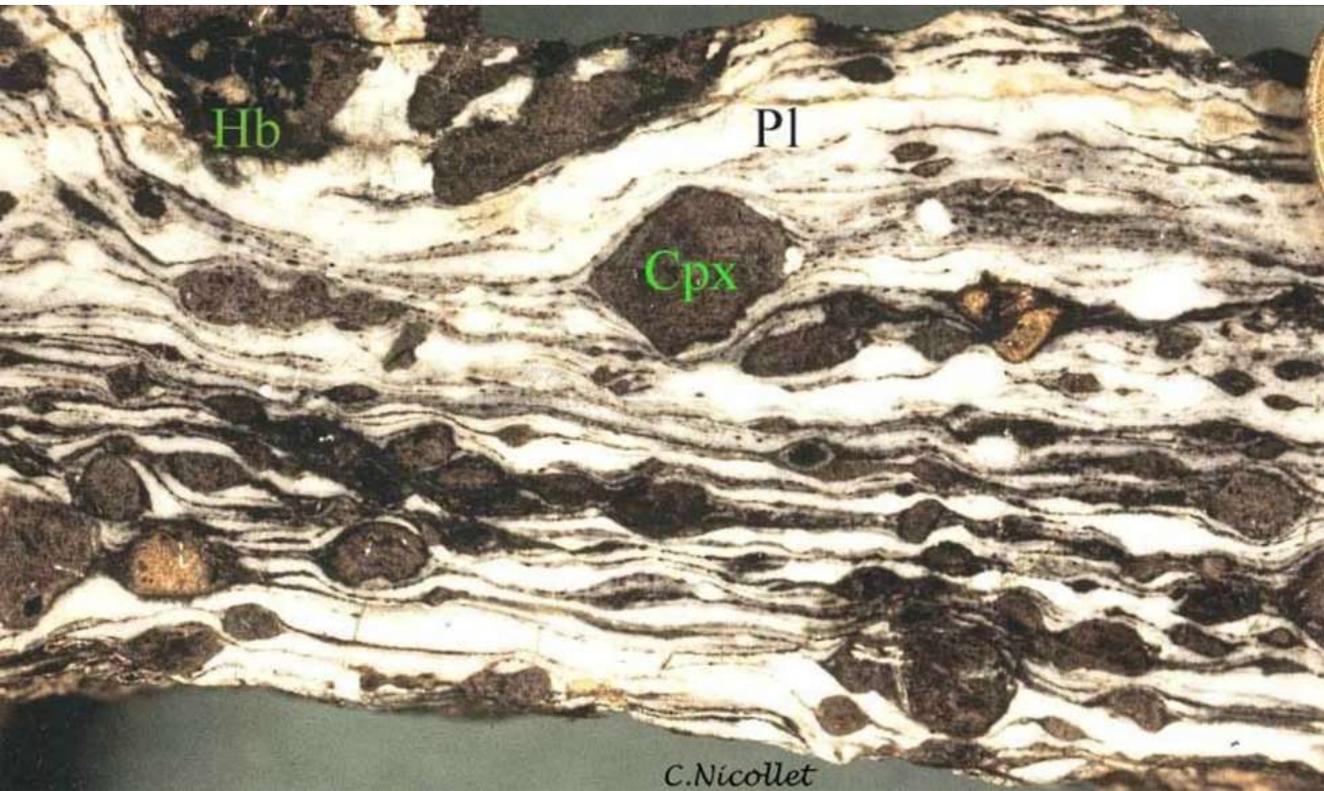


Cisaillement pur

Direction d'allongement

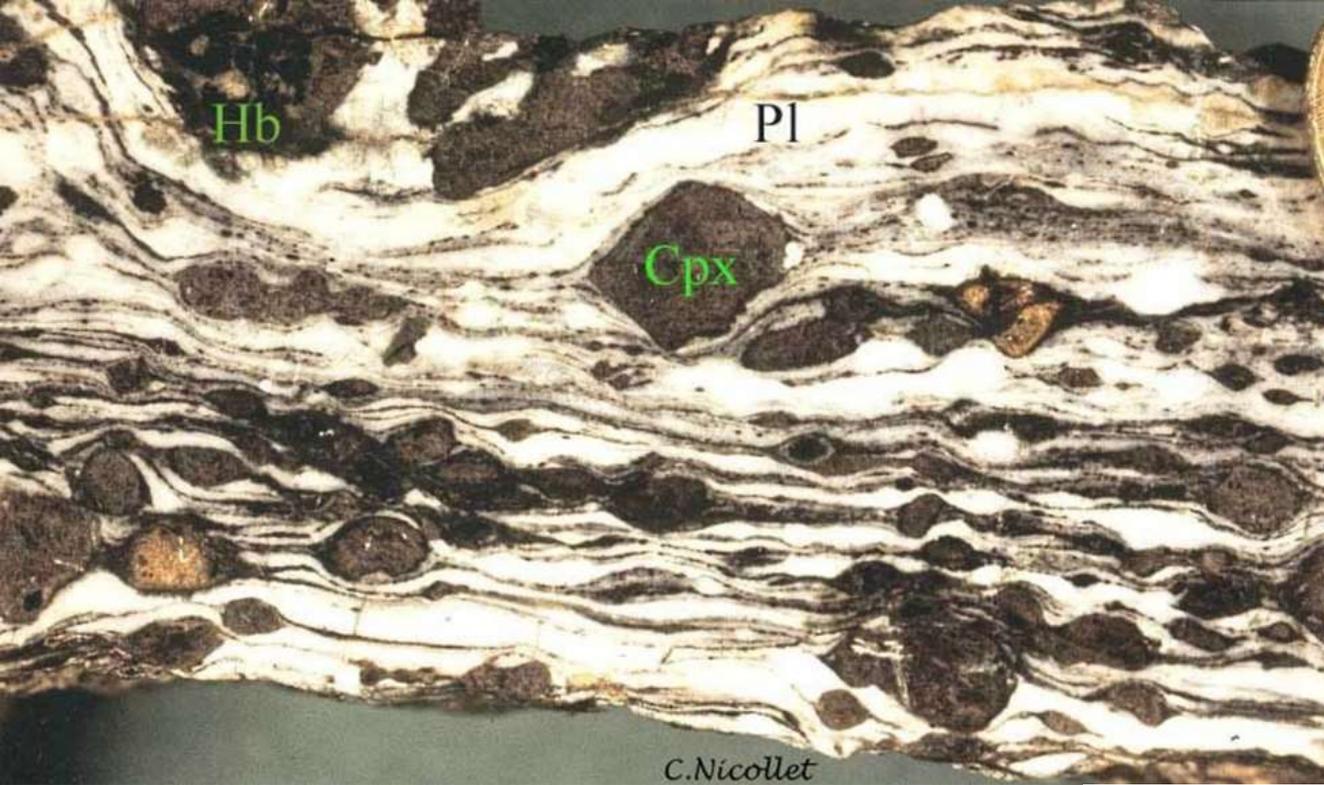


Cisaillement simple



Document 13. Métagabbro du Queyras échantillon et lame mince + échantillon fourni.

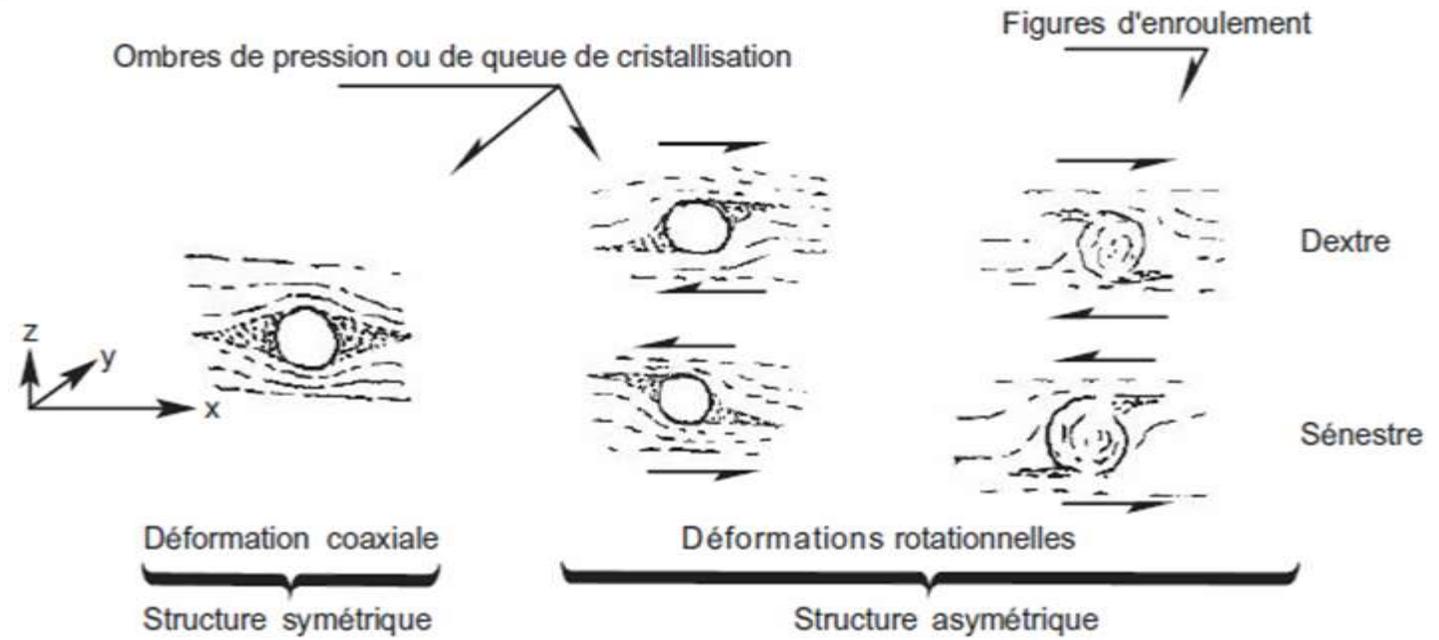
(<http://christian.nicollet.free.fr/page/CO/metagabbroHb.html>)



Document 13.

Métagabbro du Queyras échantillon et lame mince + échantillon fourni

(<http://christian.nicollet.free.fr/page/CO/metagabbroHb.html>)

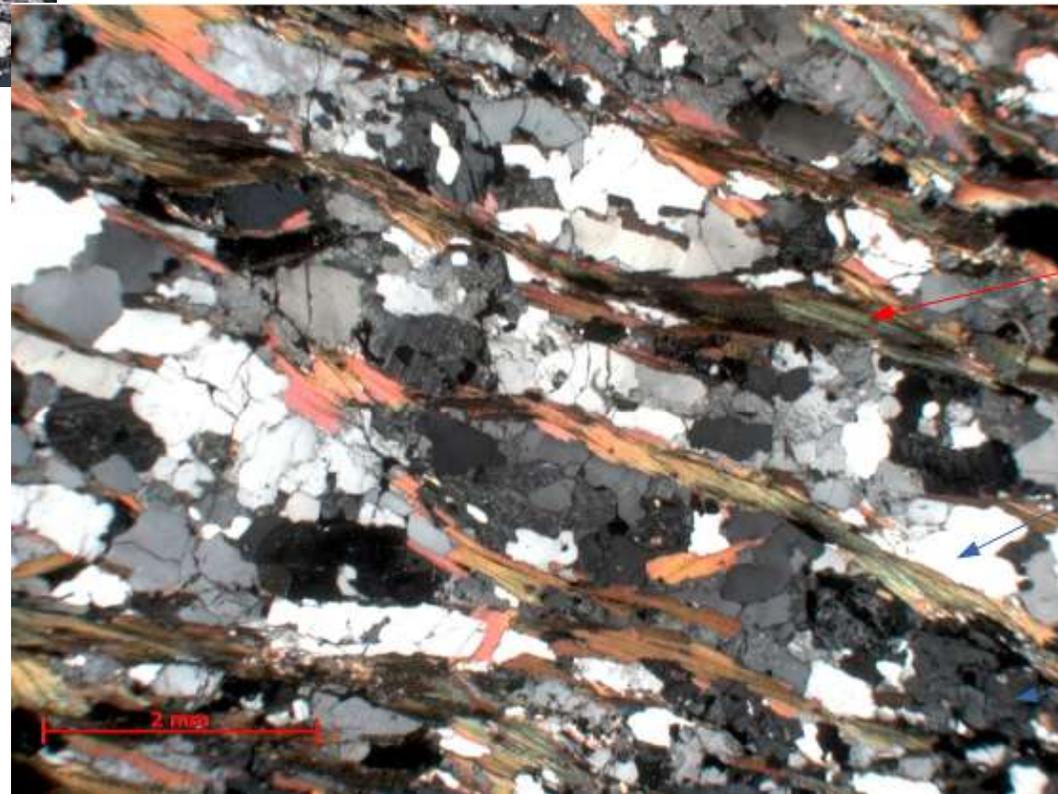




Document 13.

Gneiss échantillon + photo lame mince.

<https://www.larousse.fr/encyclopedie/divers/gneiss/185967>

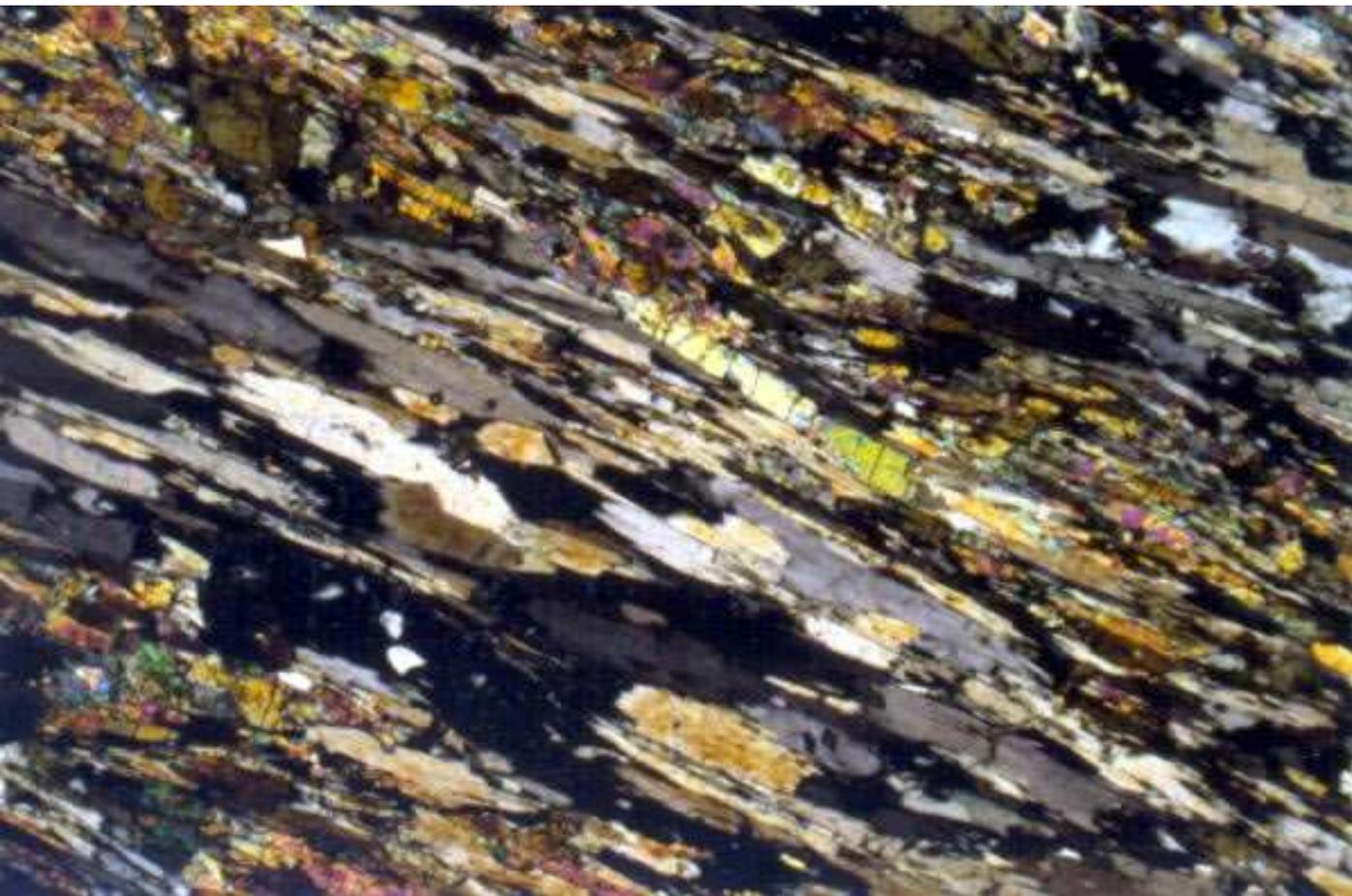


Biotite

Quartz

Plagioclases

2 mm



Document 13.

Micaschiste échantillon + photo lame mince.

Gneiss en lame mince

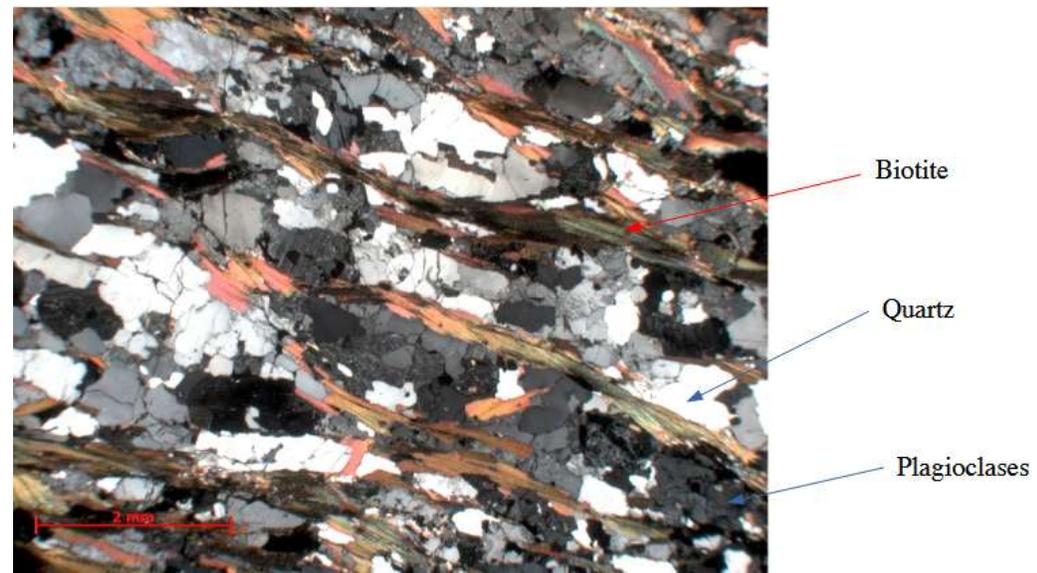
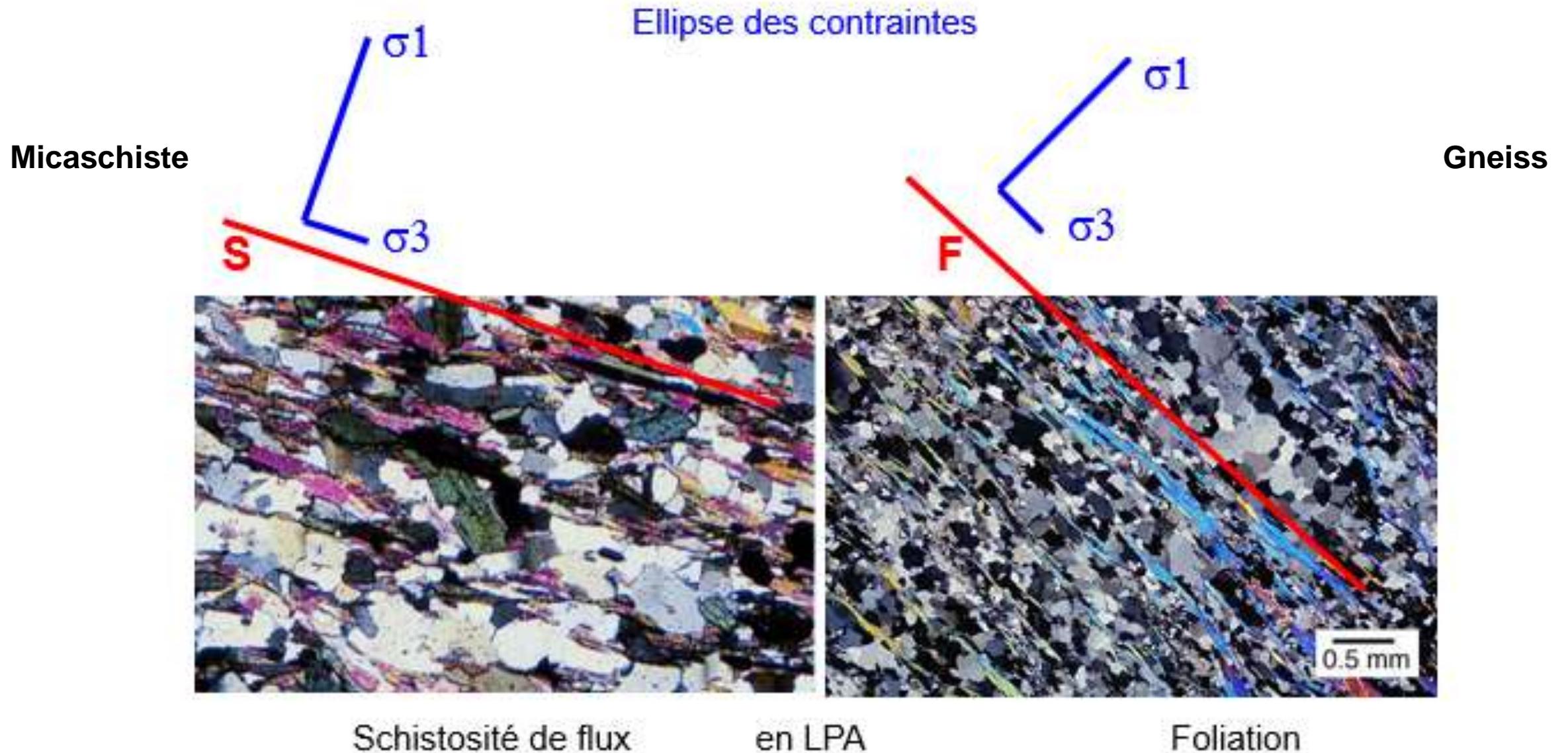


Figure 7 : PLANS D'APLATISSEMENT ET CONTRAINTES

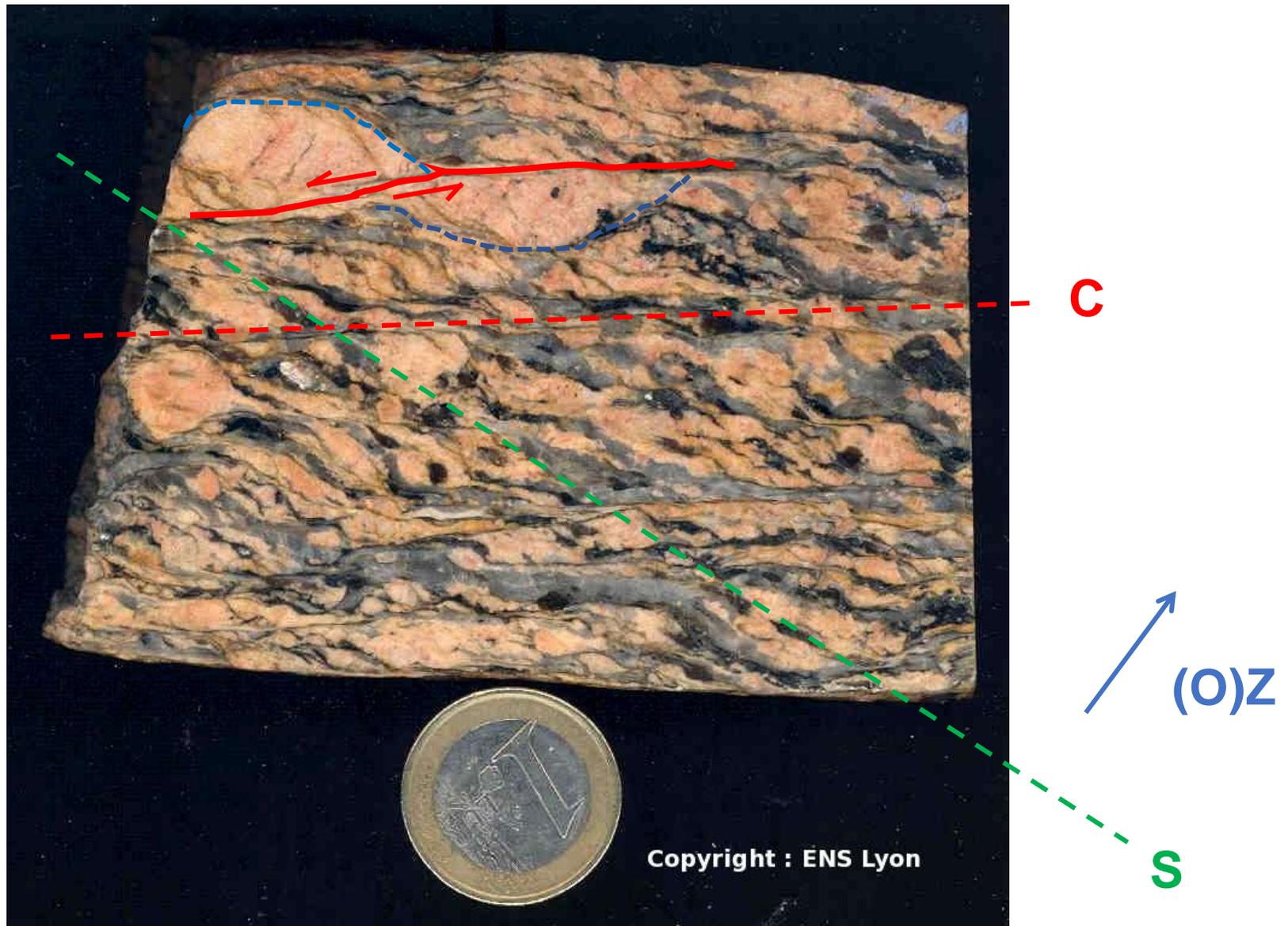




Copyright : ENS Lyon

Granite cisailé, Dun le Palestel

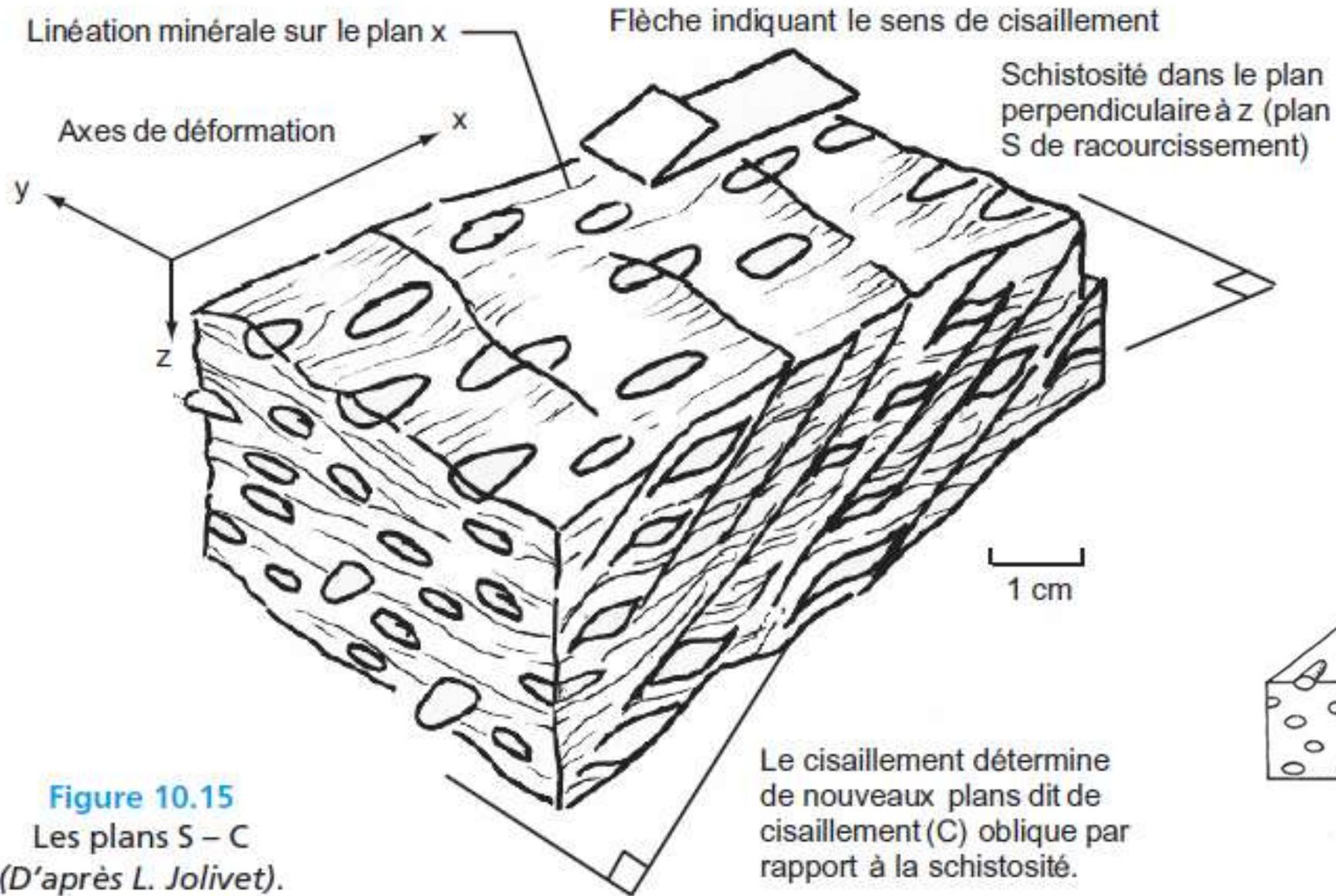
(<https://planet-terre.ens-lyon.fr/ressource/schisto-cisailt.xml>)



Granite cisailé, Dun le Palestel

(<https://planet-terre.ens-lyon.fr/ressource/schisto-cisailt.xml>)

Dans les zones de cisaillement, on peut observer l'association de deux surfaces : S, plan d'aplatissement, et C, plan de cisaillement, oblique par rapport à la schistosité. Ce sont les structures S/C (figure 10.15).



Pour déterminer (O)X :
Linéations d'allongement

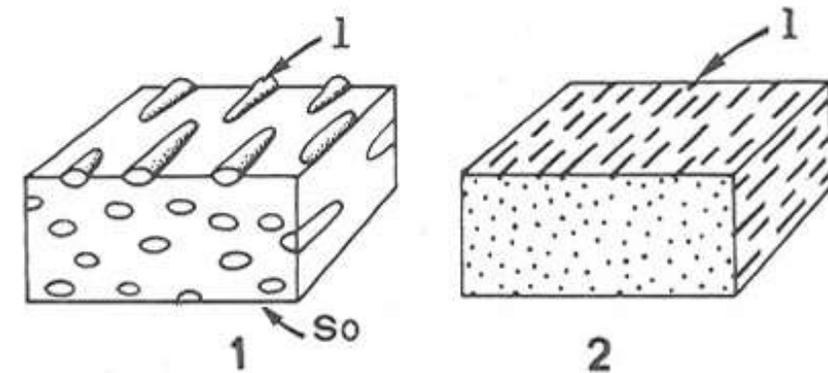
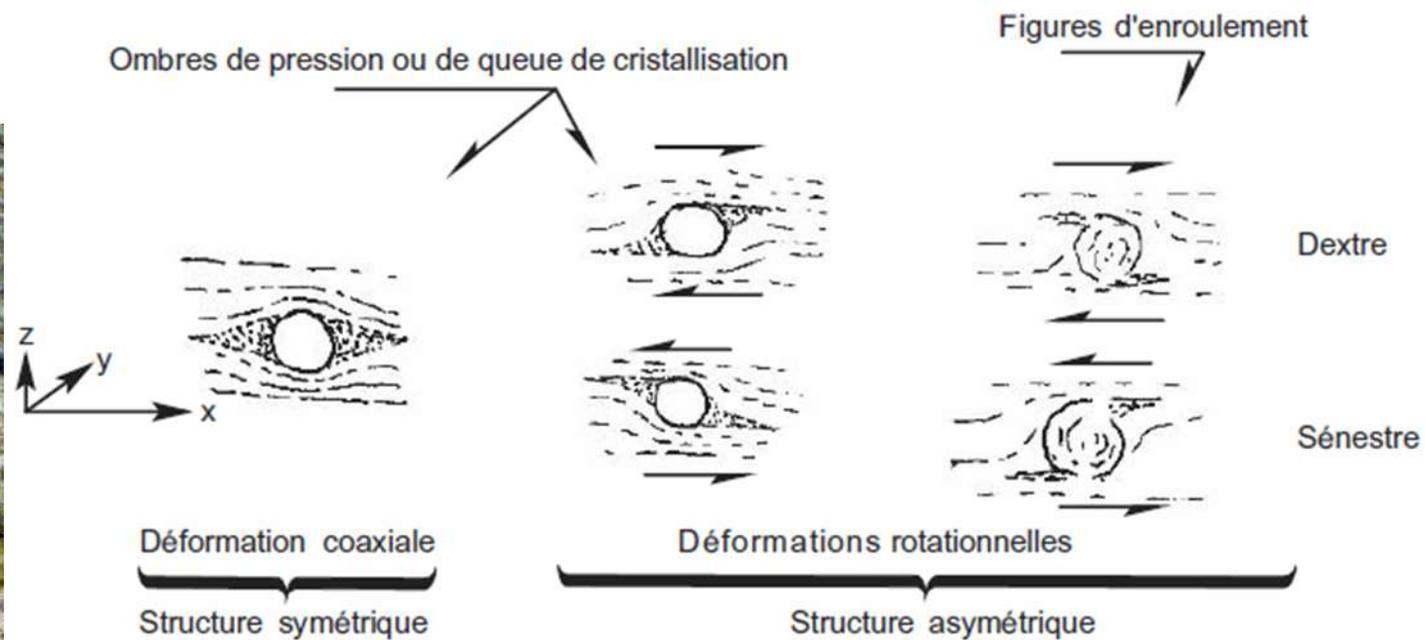
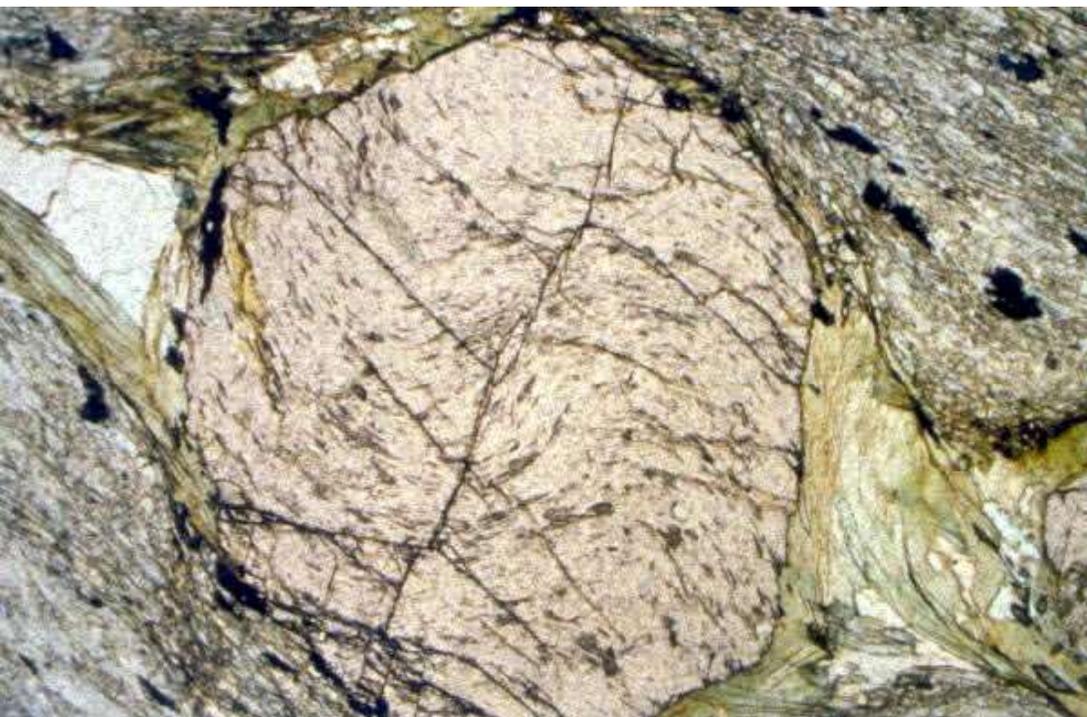


Figure 10.15
Les plans S – C
(D'après L. Jolivet).



Lame mince de glaucophanite de L'île de Groix (Morbihan).

La foliation principale est défléchie par le grenat, qui est donc plus vieux que la foliation principale (grenat anté-tectonique). On constate que le grenat contient une foliation sigmoïde. Sa croissance s'est donc déroulée pendant une phase tectonique qui entraînait des mouvements rotationnels.

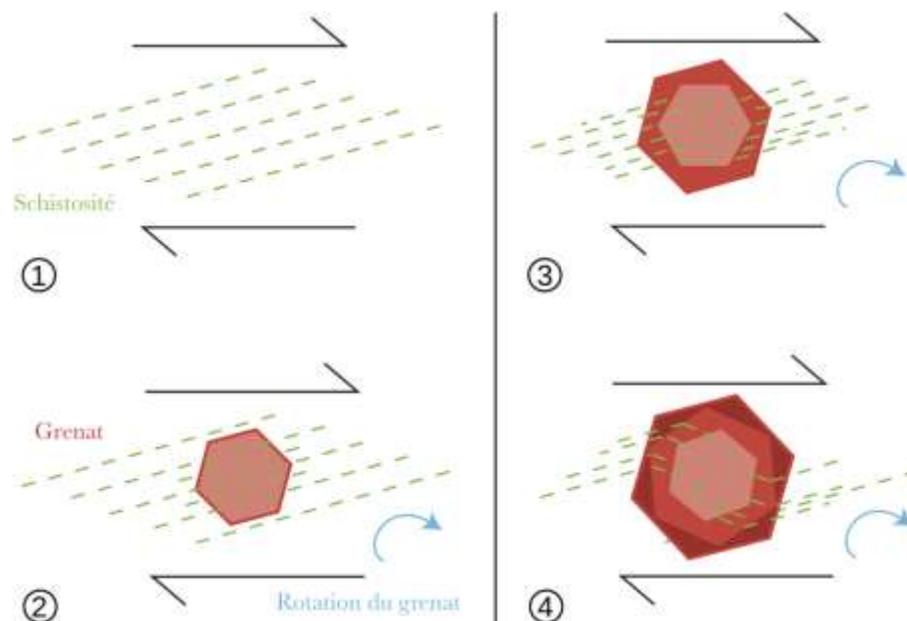
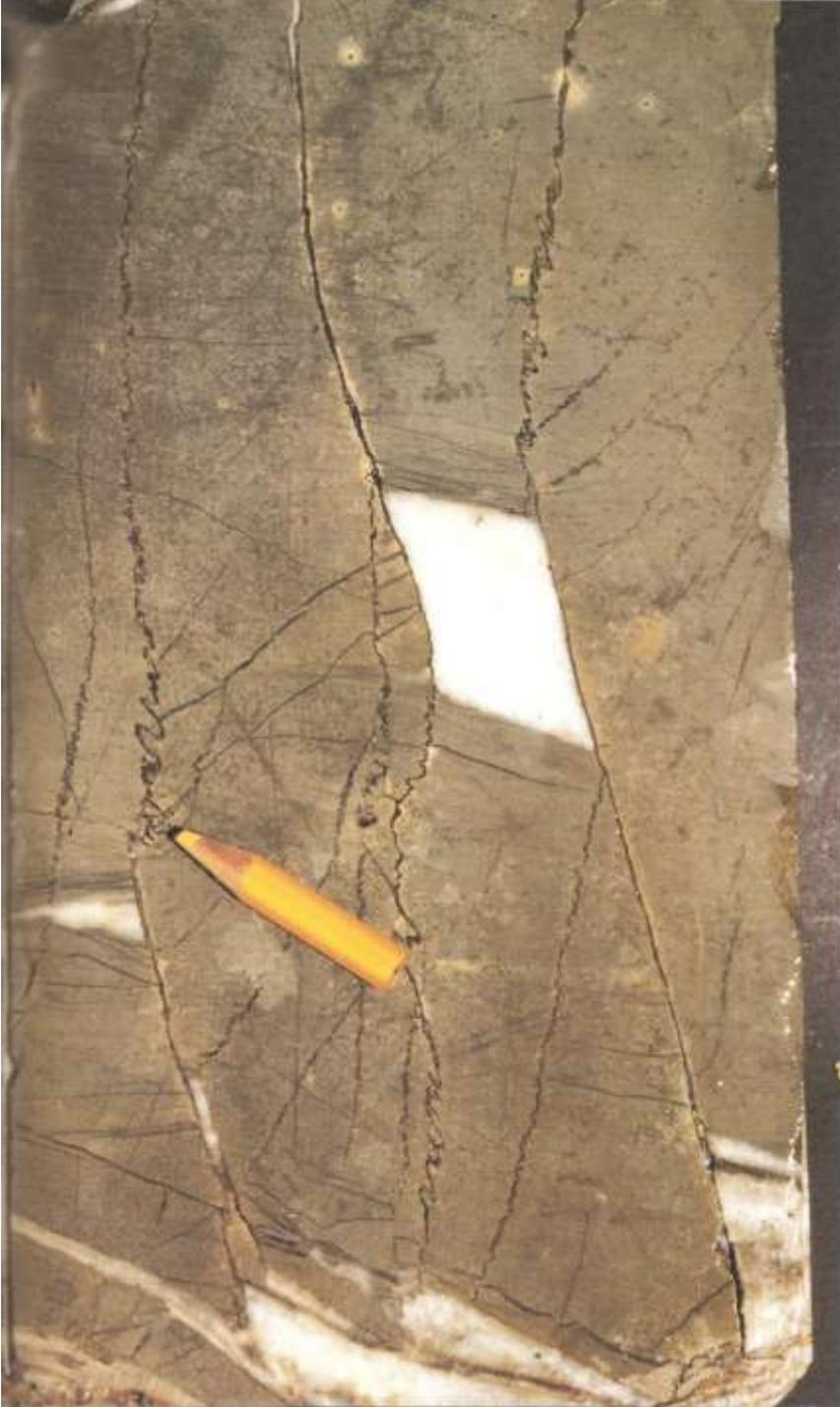
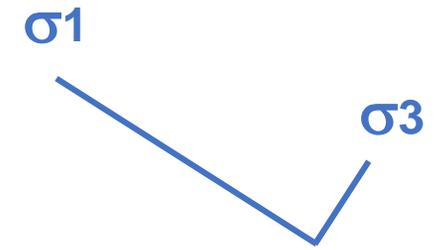
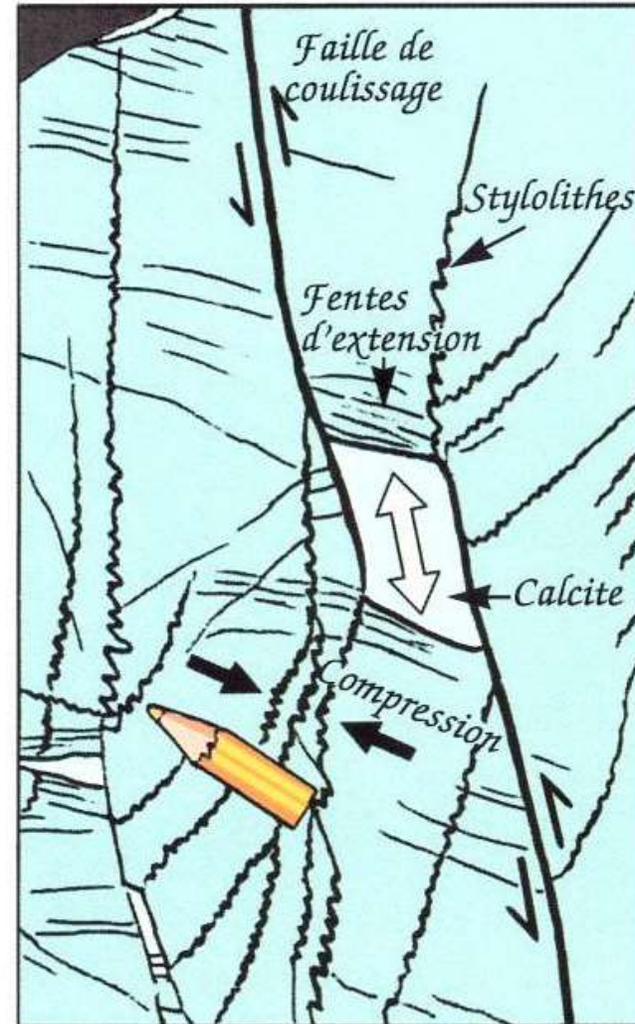


Schéma théorique de formation des inclusions hélicitiques dans les grenats



Document 14. Calcaire marin à grain fin, récolté aux environs de Montpellier, présentant des structures de déformation. Au centre, une inclusion de calcite.

Document 14. Calcaire marin à grain fin, récolté aux environs de Montpellier, présentant des structures de déformation. Au centre, une inclusion de calcite.



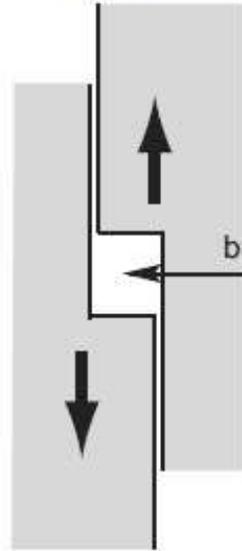
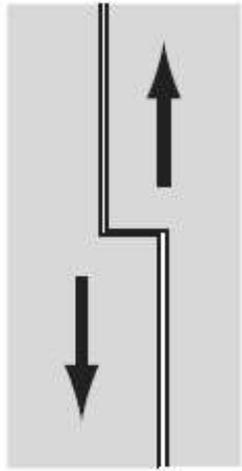
Ellipse des contraintes

État initial

État final

une cassure dans le décrochement

un bassin sédimentaire s'est ouvert

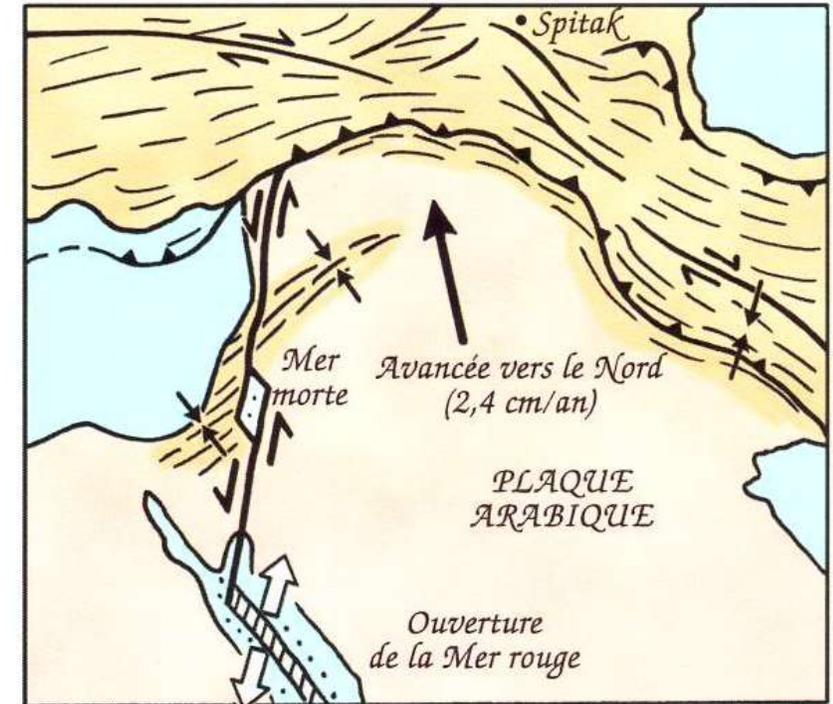


bassin en pull-apart

Mécanisme de formation d'un bassin en « pull-apart »

mation
« pull-apart »

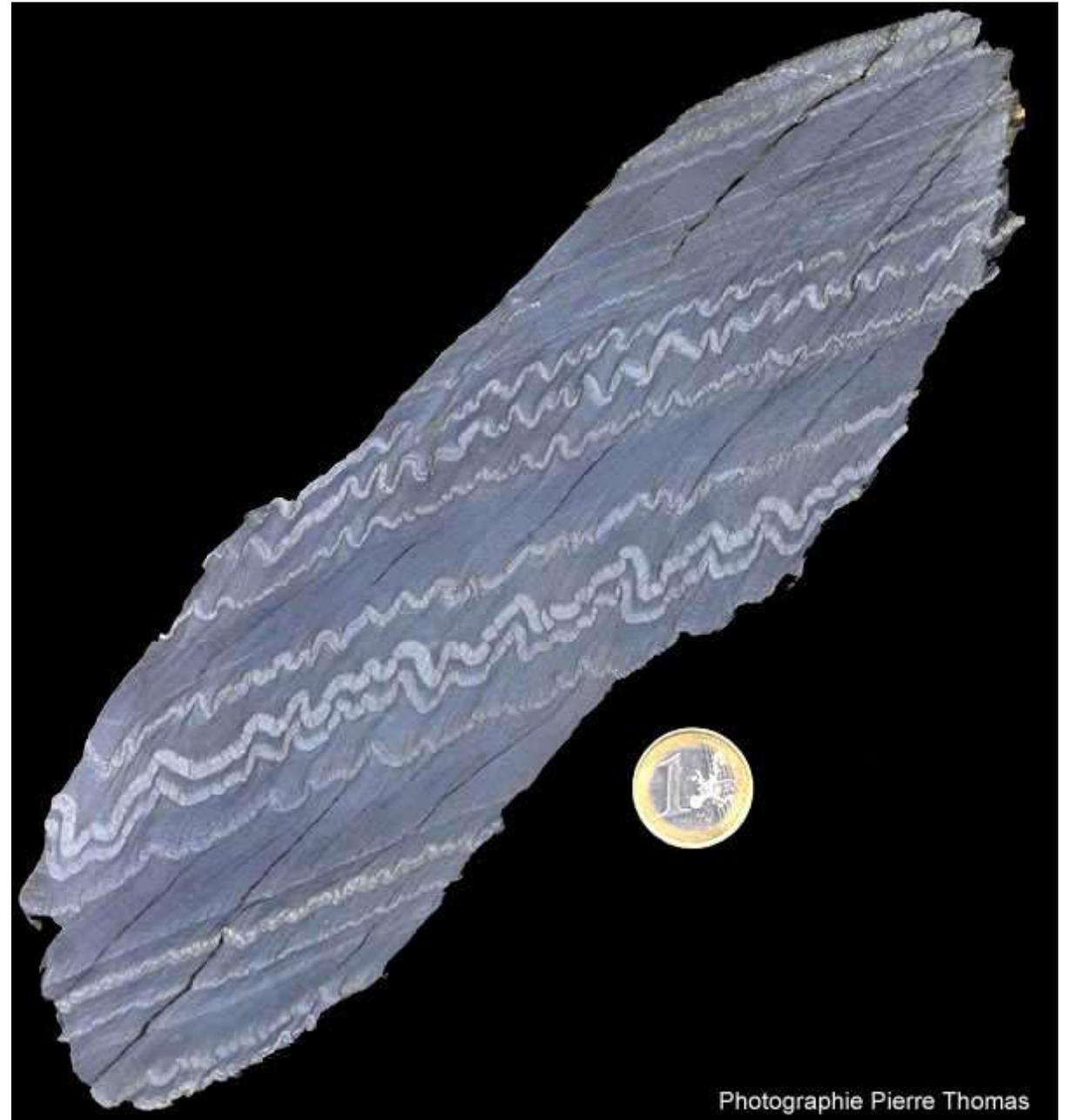
Ce mécanisme d'ouverture d'une cavité parallélépipédique, illustré sur la page de droite à l'échelle centimétrique, se retrouve à toutes les échelles, jusqu'à celle de la croûte continentale dans son entier. Des cavités s'ouvrent alors le long de décrochements pouvant atteindre 1000 kilomètres de long. Un exemple célèbre est le fossé d'effondrement de la mer Morte, dont les eaux s'étendent à 396 mètres sous le niveau de la Méditerranée (*voir ci-contre*): ce fossé s'est ouvert en quelques millions d'années par le jeu de la grande faille du Levant, qui va du golfe d'Aquaba, au Sud, jusqu'aux contreforts turcs de la chaîne alpine, au Nord, et dont le rejet horizontal senestre serait d'environ 100 kilomètres. Ce décrochement est la conséquence du mouvement de la plaque arabe vers le Nord, lié à l'ouverture de la Mer rouge. Dans ce cas, le trou formé a été progressivement rempli par des sédiments.



Document 15. Coupe d'un galet échantillonné dans la Rivière de Morlaix (29).

Ce galet provient d'une formation constituée d'alternances argilo-gréseuses, connue localement sous le nom de "schistes zébrés". Les niveaux argileux sont sombres, les niveaux gréseux clairs.

(<https://planet-terre.ens-lyon.fr/ressource/lmg34-2003-03-17.xml>)



Photographie Pierre Thomas

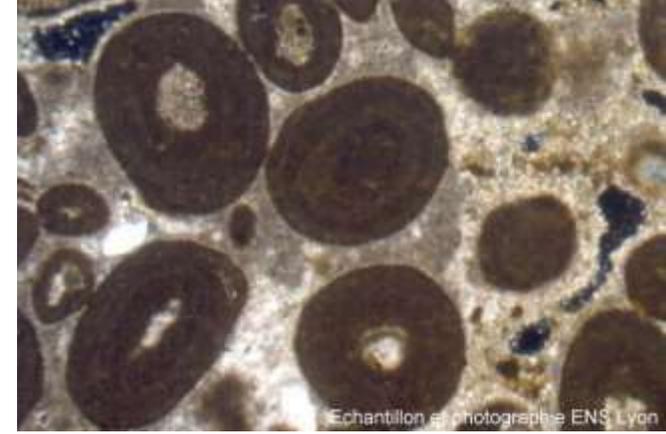


Document 16. Déformation dans des grès stéphanien, Montceau Les Mines (71).

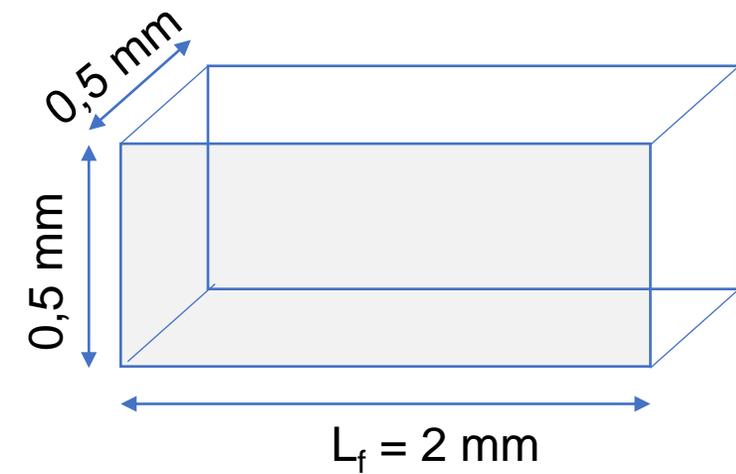
(<https://planet-terre.ens-lyon.fr/ressource/Img51-2003-09-15.xml>)



Document 17 (à gauche). Lamelle mince dans un calcaire oolithique étiré (calcaire jurassique des Corbières méridionales) observée en lumière polarisée analysée (LPA) au faible grossissement. **Document 18 (à droite).** Lamelle mince de calcaire oolithique non déformé.



(<https://planet-terre.ens-lyon.fr/ressource/Img91-2004-09-13.xml>)



$$\varepsilon = \frac{L_{\text{finale}} - L_{\text{initiale}}}{L_{\text{initiale}}} = \frac{L_f - L_0}{L_0}$$

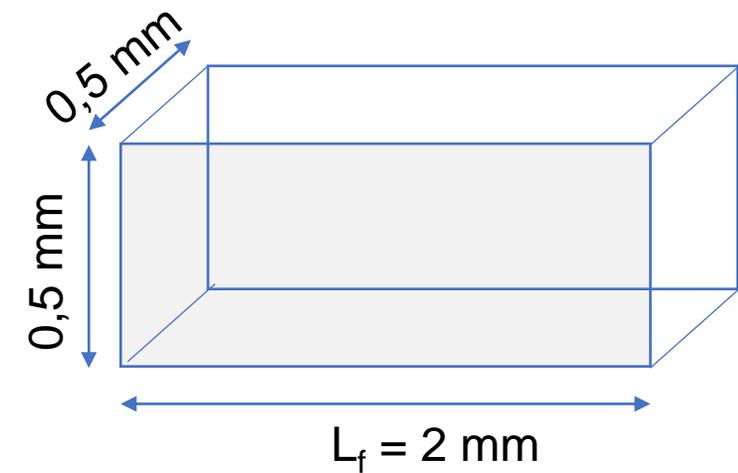


Document 17 (à gauche). Lame mince dans un calcaire oolitique étiré (calcaire jurassique des Corbières méridionales) observée en lumière polarisée analysée (LPA) au faible grossissement. **Document 18 (à droite).** Lame mince de calcaire oolithique non déformé.

(<https://planet-terre.ens-lyon.fr/ressource/Img91-2004-09-13.xml>)



Volume = 0,5 mm²
 Et volume d'un cube = L³
 → L₀ = (0,5)^{1/3} = 0,8 mm



→ volume = 0,5² x 2 = 0,5 mm²

$$\varepsilon = \frac{L_{\text{finale}} - L_{\text{initiale}}}{L_{\text{initiale}}} = \frac{L_f - L_0}{L_0}$$

Taux d'allongement relatif :

$$\varepsilon = (2 - 0,8) / 0,8 = 150 \%$$

(et taux de raccourcissement relatif = - 37,5 %)



Document 19 (à gauche). Rostre de Belemnite tronqué dans des marnes noires du Jurassique inférieur de l'Oisans.

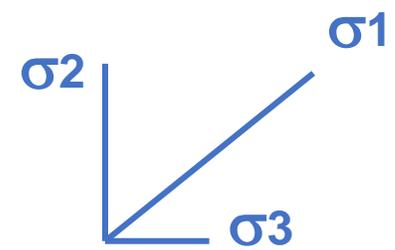
(<https://planet-terre.ens-lyon.fr/ressource/lmg163-2006-05-29.xml>)

Document 20 (à droite). Rostre de Belemnite déformé dans un calcaire du Jurassique.

(<https://planet-terre.ens-lyon.fr/ressource/lmg162-2006-05-22.xml>)



Axe (O)X



Soit L_f la longueur actuelle du rostre mesurée sur un axe horizontal et soit L_0 , sa longueur initiale :

A.N.

$L_f = 9 \text{ cm}$

$L_0 = 0,4 + 0,5 + 0,3 + 0,5 + 0,1 + 0,2 + 0,2 + 0,5 + 0,3 + 0,8 + 0,2$

$L_0 = 4 \text{ cm}$

$\varepsilon = (L_f - L_0) / L_f$

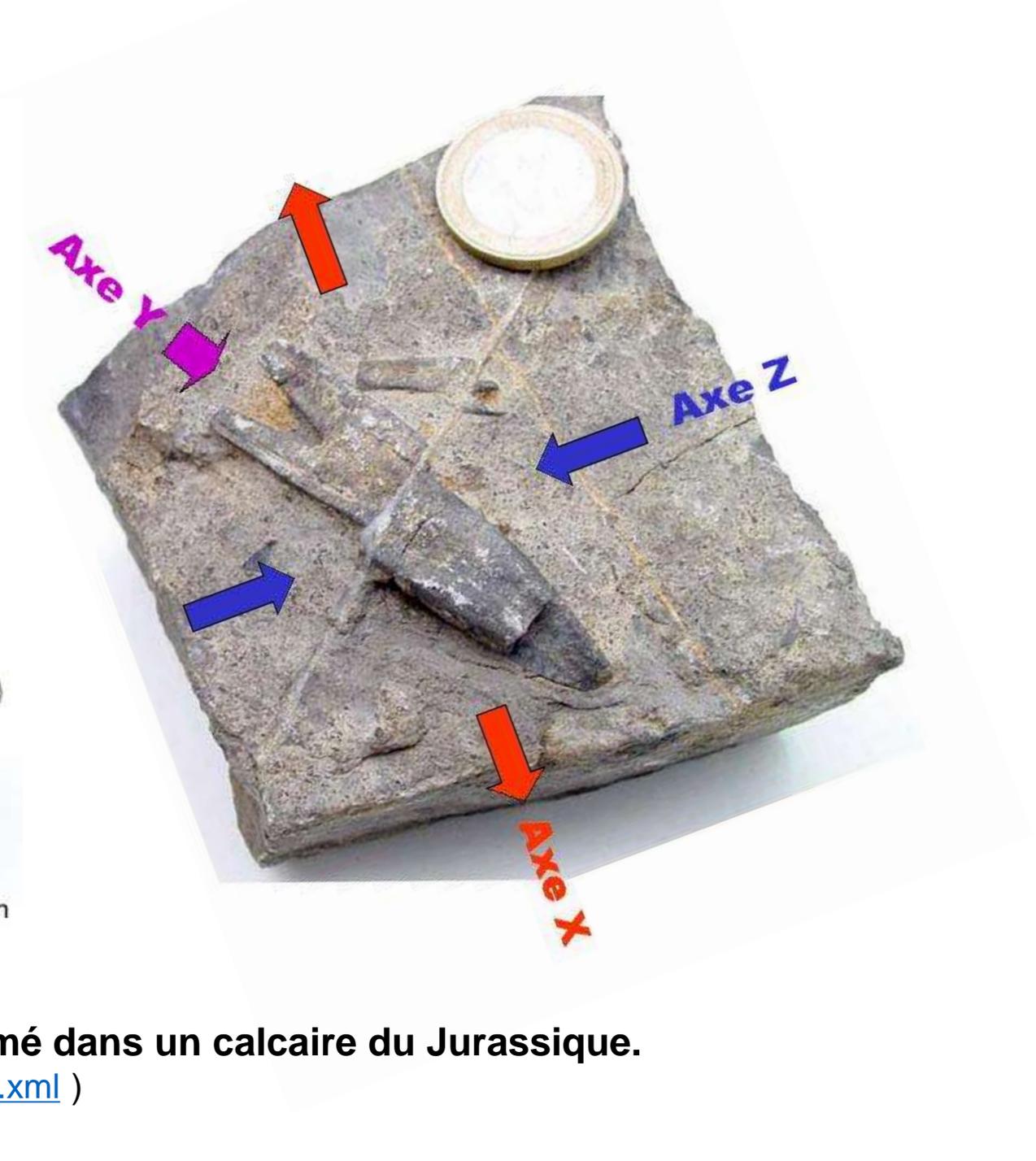
D'où $\varepsilon = 5 / 9 = 55 \%$

Document 19 (à gauche). Rostre de Belemnite tronqué dans des marnes noires du Jurassique inférieur de l'Oisans.

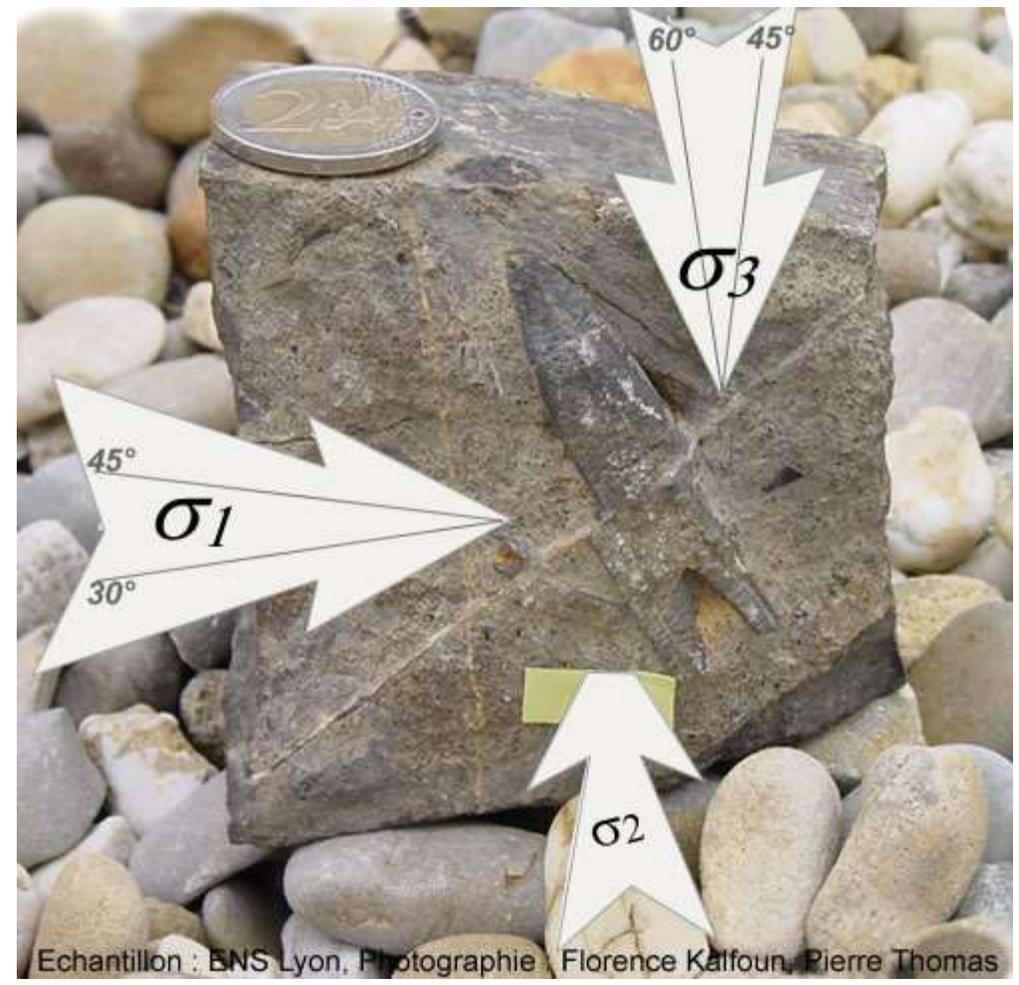
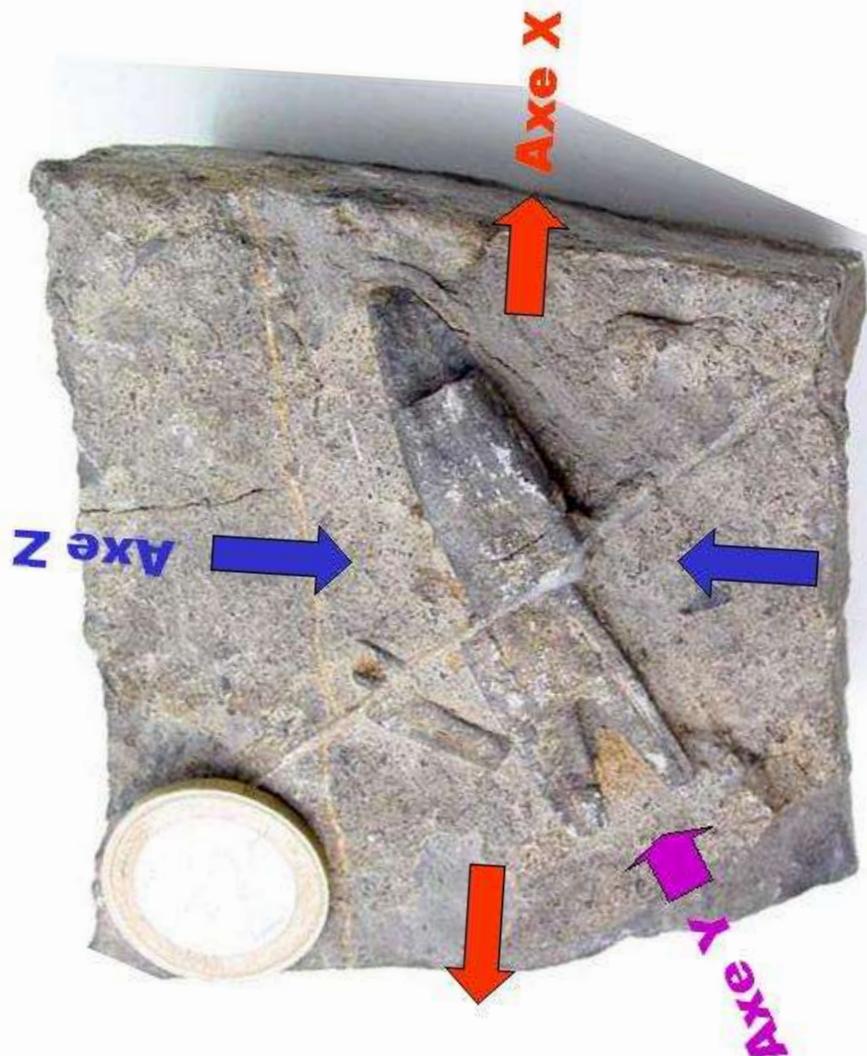
(<https://planet-terre.ens-lyon.fr/ressource/lmg163-2006-05-29.xml>)



Echantillon : ENS Lyon

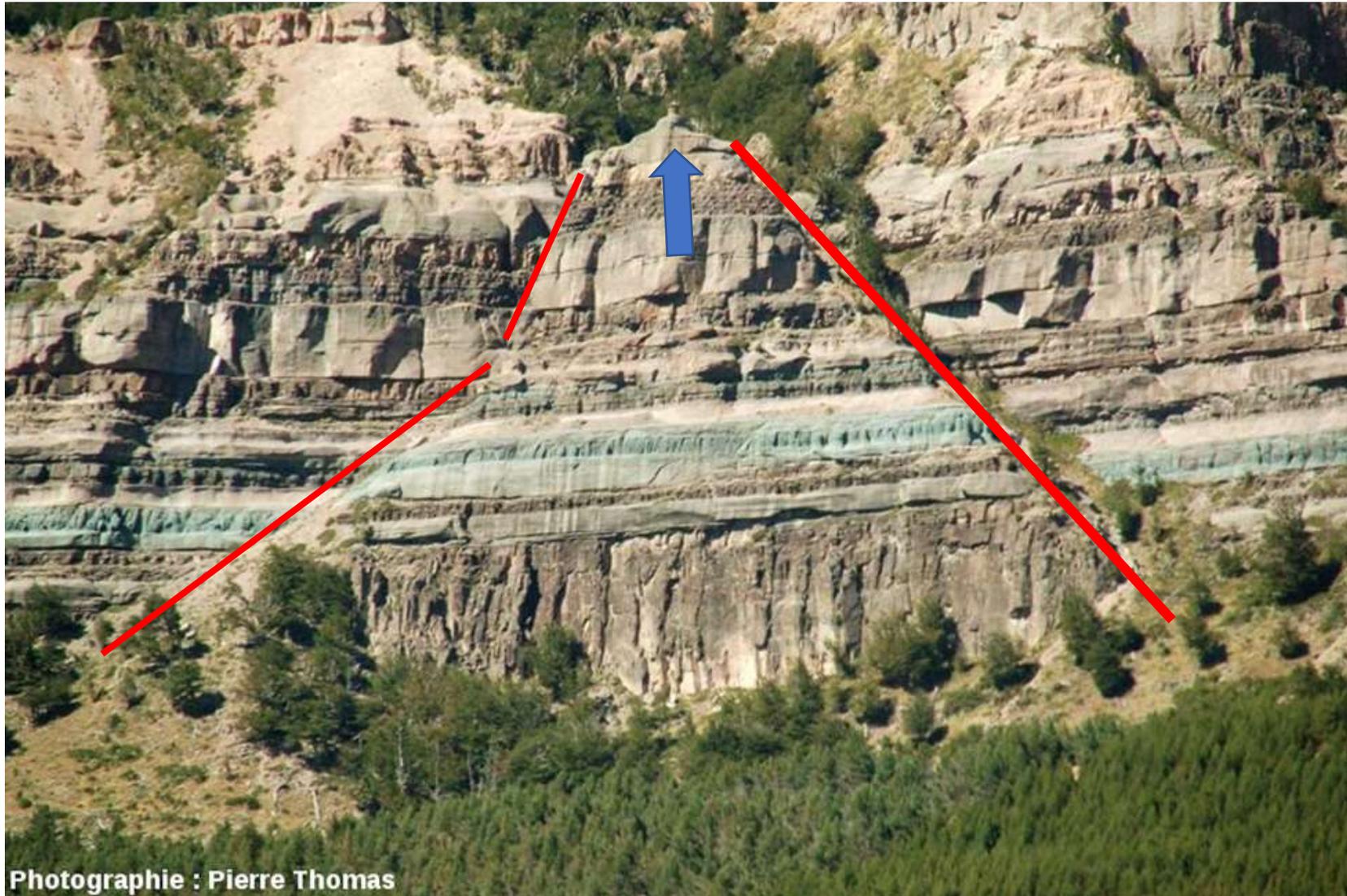


Document 20 (à droite). Rostre de Belemnite déformé dans un calcaire du Jurassique.
(<https://planet-terre.ens-lyon.fr/ressource/lmg162-2006-05-22.xml>)

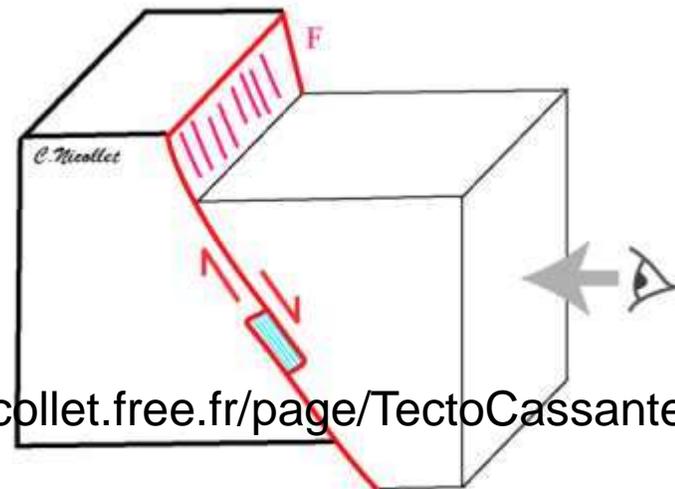
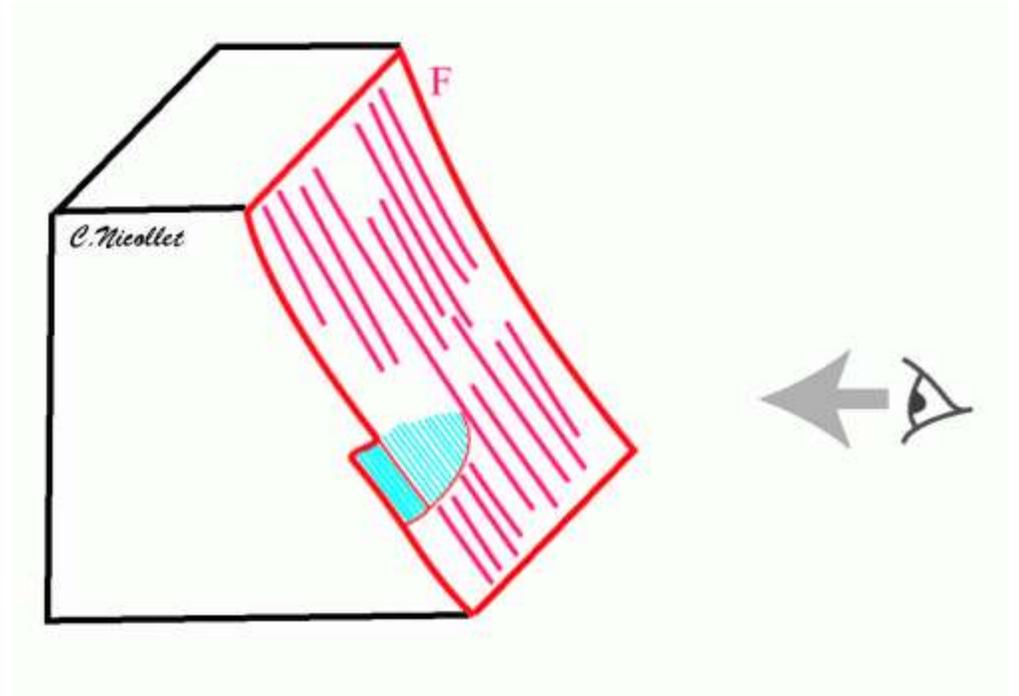
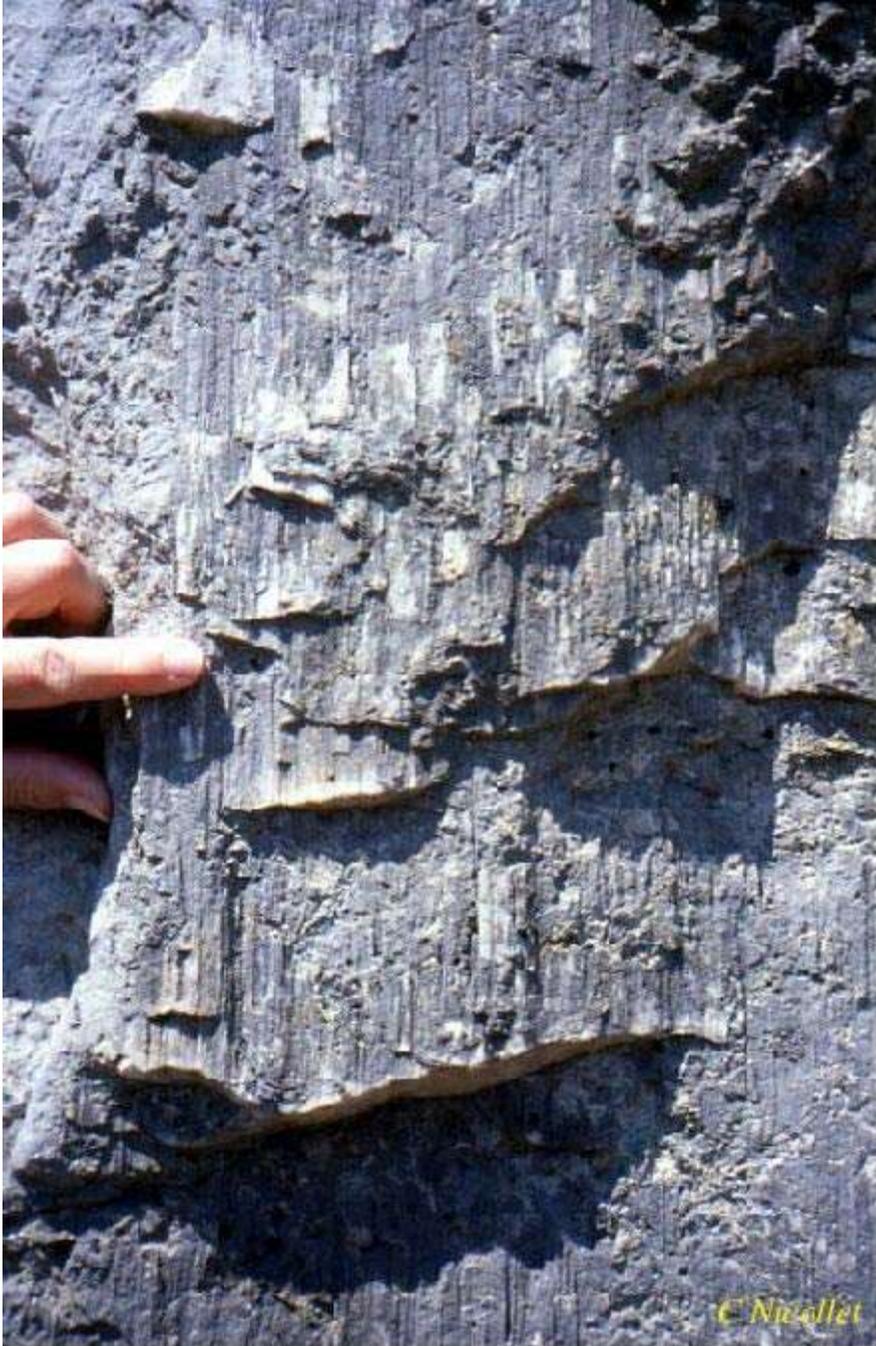


Document 20 (à droite). Rostre de Belemnite déformé dans un calcaire du Jurassique.
(<https://planet-terre.ens-lyon.fr/ressource/lmg162-2006-05-22.xml>)

Falaises de Patagonie



Possible ici de placer
 σ_1 et σ_3 ?
Ox et Oz?



<http://christian.nicollet.free.fr/page/TectoCassante/tectocassante.html>