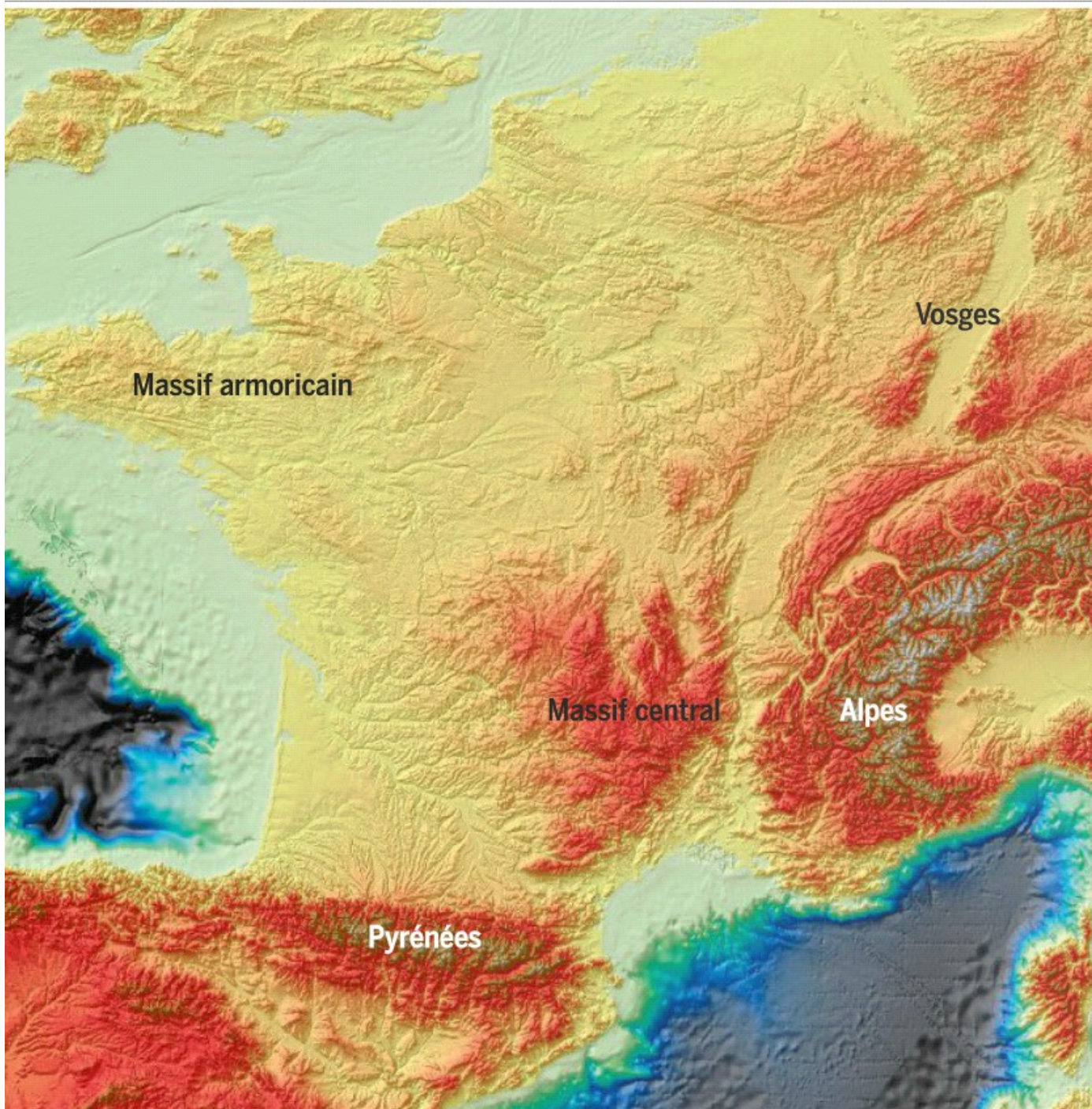


## I) : L'aplanissement des chaînes de montagnes :

<http://www.insu.cnrs.fr/terre-solide/comment-les-montagnes-disparaissent-elles>



**Modèle numérique du relief de la France** : il s'agit d'une représentation de la topographie construite par ordinateur à partir de données d'altitude du terrain (réalisé par J.-D. Champagnac, Swiss Federal Institute of Technology).





Photographie : Marie-José Broussaud

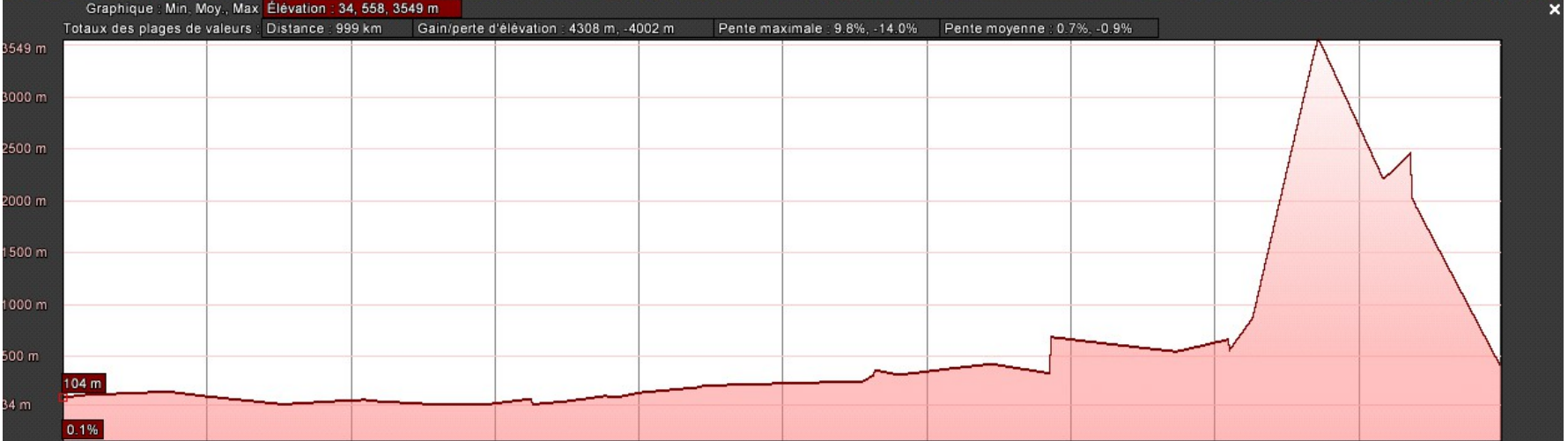
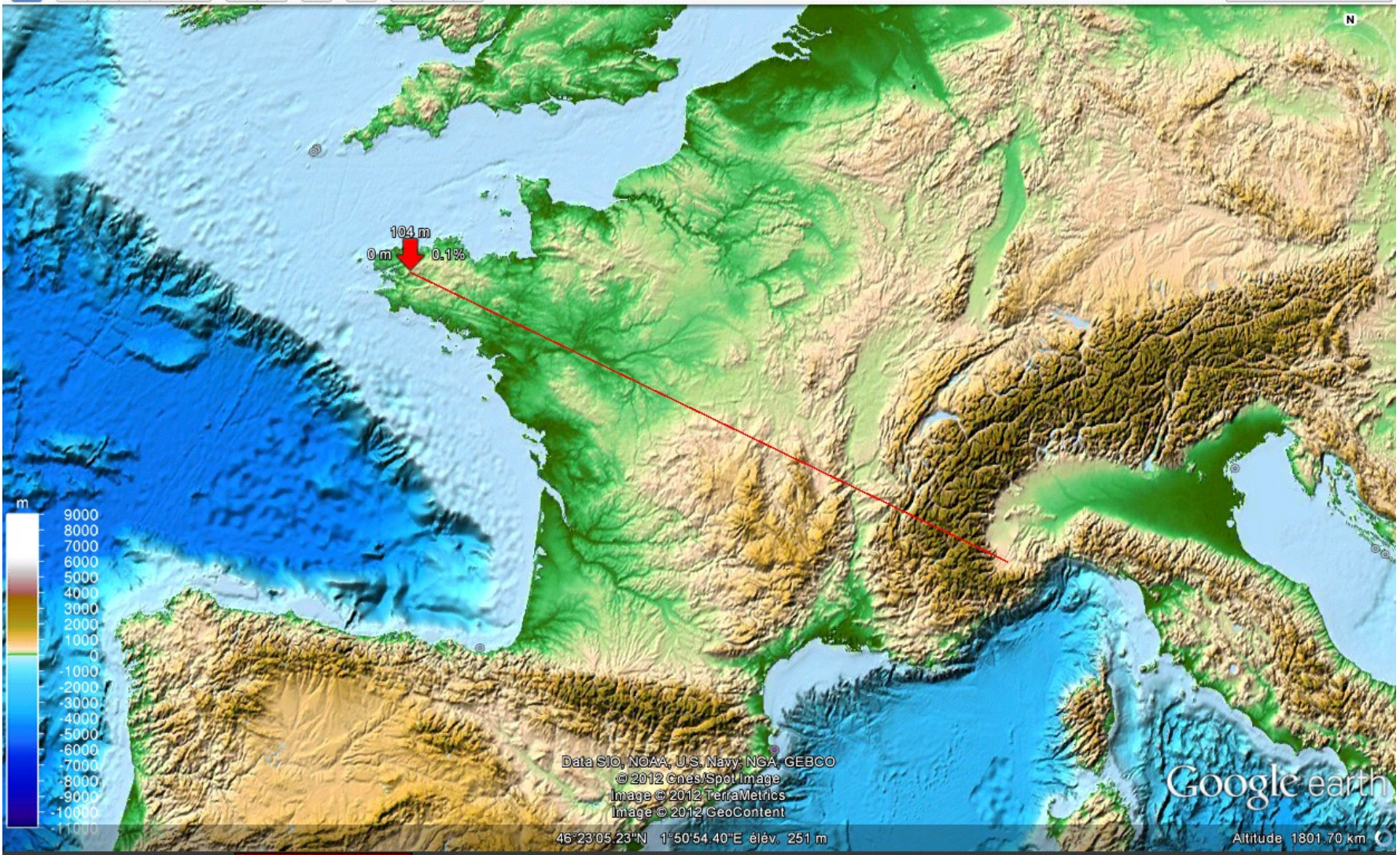
Paysage des alpes



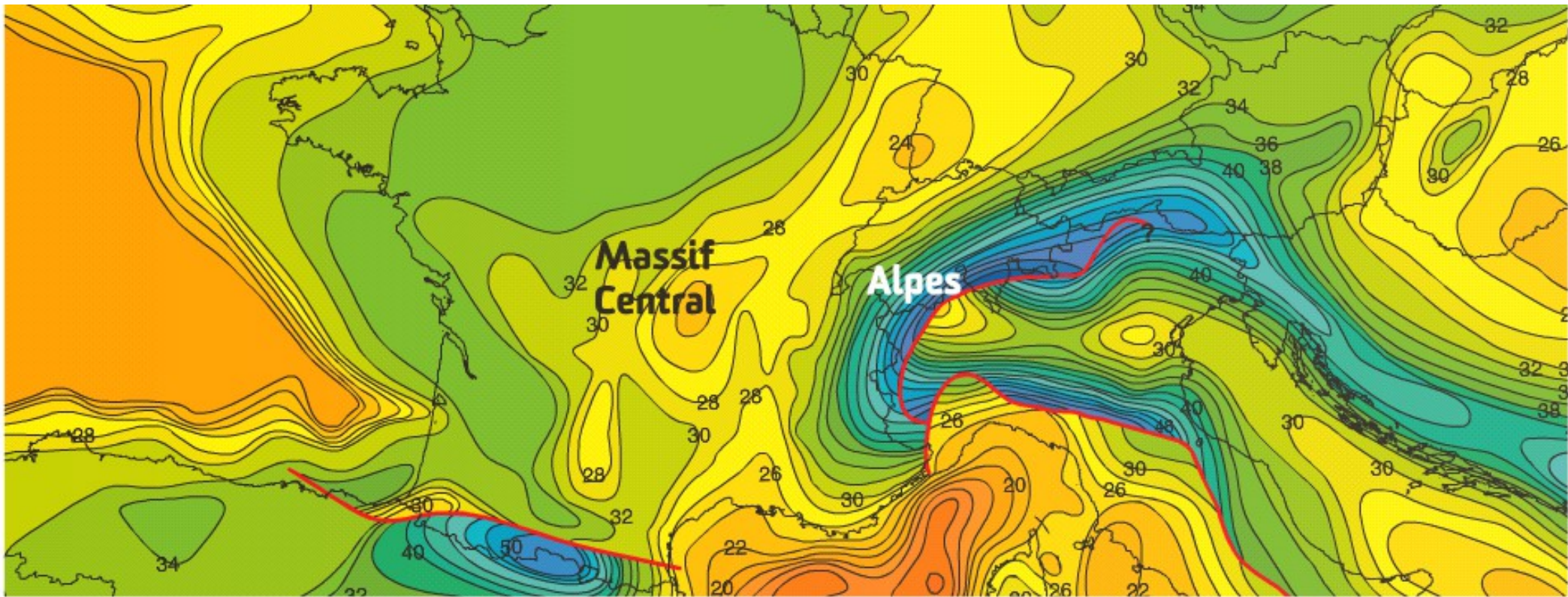


Paysage du massif armoricain







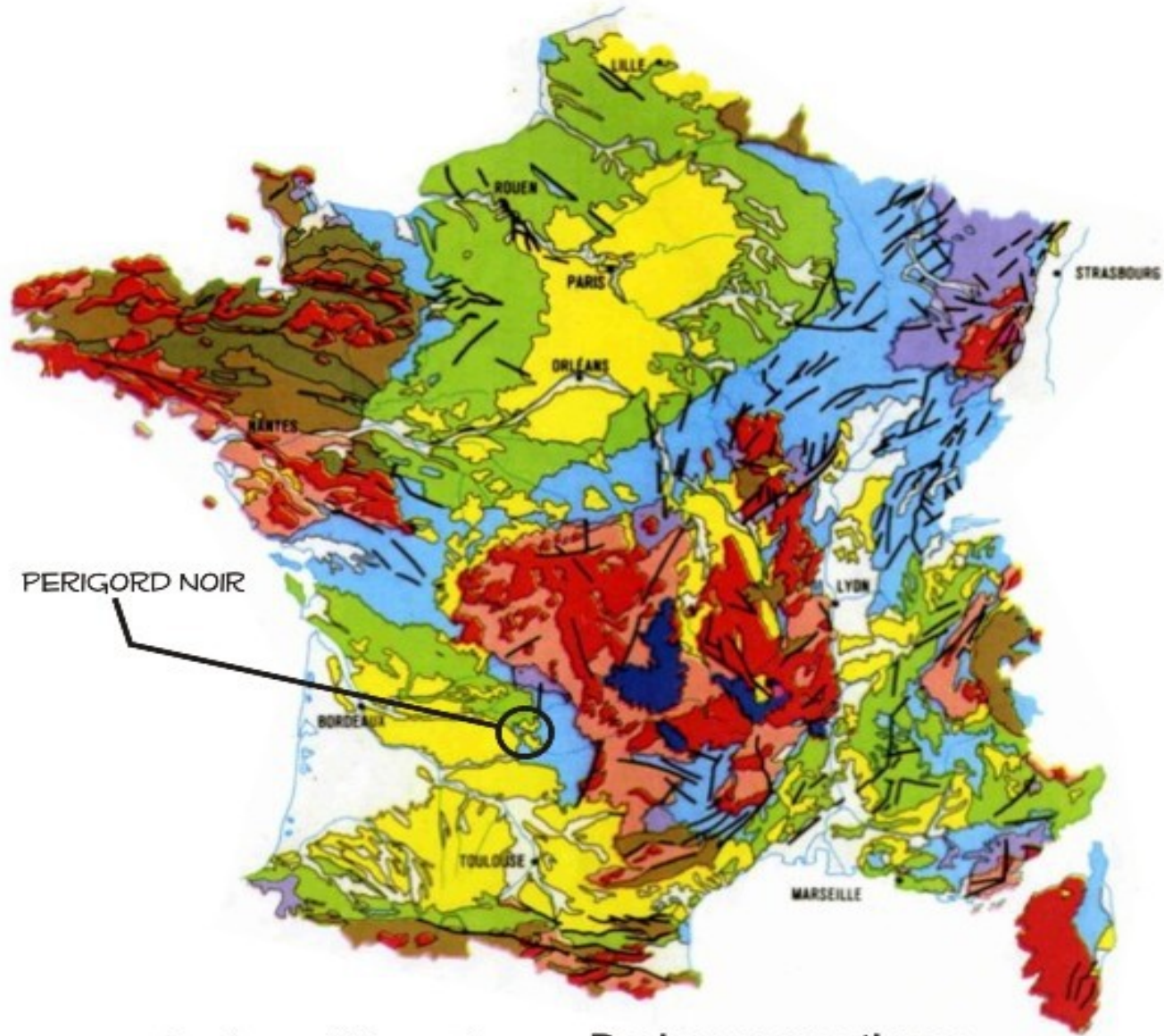












10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30 32 34 36 38 40 42 44 46 48 50 52 54 56 58 60 62 Kilomètres



**a** Profondeur du Moho sous les Alpes et sous le Massif Central  
(données en km par rapport au niveau de la mer).





- | Roches sédimentaires  |             | Roches magmatiques et métamorphiques  |                                    |
|---|-------------|---|------------------------------------|
|  | Quaternaire |  | Paléozoïque (granitoïdes)          |
|  | Cénozoïque  |  | Paléozoïque (gneiss)               |
|  | Crétacé     |  | Précambrien (gneiss & granitoïdes) |
|  | Jurassique  |   |                                    |
|  | Permo-Trias |   |                                    |
|  | Paléozoïque |   |                                    |
|   |             | Roches volcaniques  |                                    |
|   |             |  | Cénozoïque                         |

## II) L'altération des roches et l'érosion des reliefs :



# Matériel altération du granite





- L'action du gel



Dans les régions où l'eau subit des phénomènes de gel-dégel, elle peut entraîner la fracturation des roches. En effet, en passant de l'état liquide à l'état solide, le volume de l'eau augmente d'environ 10 %. Ainsi, quand l'eau infiltrée dans les fissures d'une roche gèle, l'augmentation du volume d'eau provoque l'éclatement de la roche (« geler à pierre fendre » !).



- L'action des variations de température



Les variations brutales de température (par exemple entre le jour et la nuit) peuvent entraîner la désagrégation d'une roche, surtout si celle-ci est composée de minéraux n'ayant pas le même **coefficient de dilatation**. Ce phénomène est particulièrement important en haute montagne et dans les déserts.



## ● L'action des glaciers

La pression exercée sur les roches par le déplacement des glaciers peut les transformer en matériaux très fins (limons, poussières...), on parle de « farine glaciaire ». Celle-ci peut être visible après le retrait du glacier comme sur la *photographie ci-contre*.





## ● L'action des végétaux



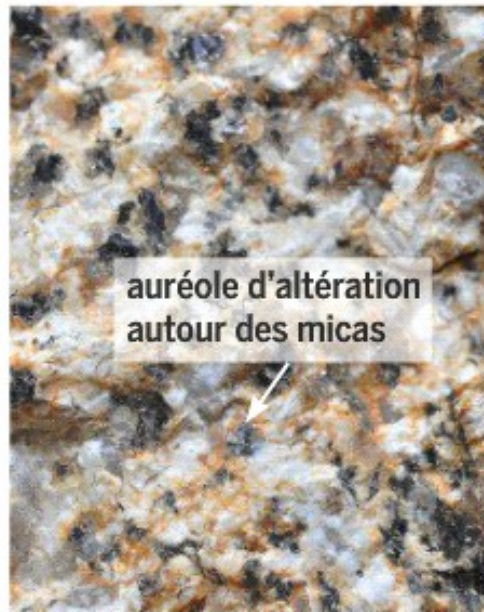
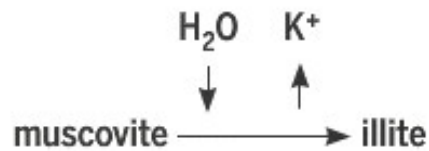
Le développement des racines peut entraîner l'agrandissement des fissures au sein des roches et faciliter leur altération (*photographie*). De plus, les racines ont tendance à acidifier le milieu. Ce rejet d'ions  $H^+$  peut interférer avec des cations qui constituent les minéraux des roches environnantes et, ainsi, favoriser l'altération chimique.



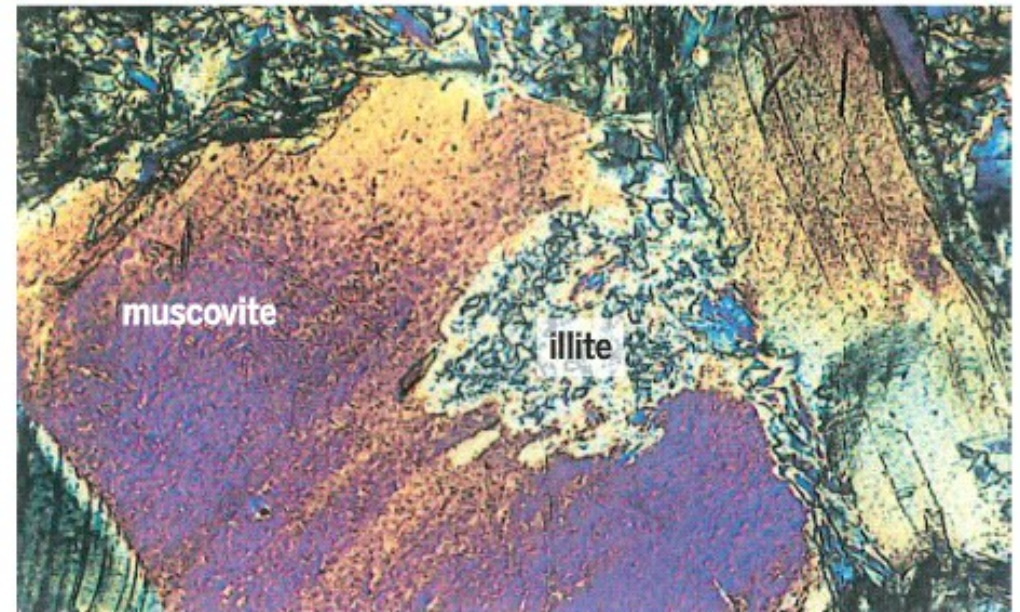
La principale réaction chimique responsable d'une altération est l'hydrolyse, c'est-à-dire la destruction des minéraux par l'eau. Dans le cas d'un granite soumis à l'action de l'eau, on constate des auréoles d'altération autour des micas et des feldspaths (*photographies*). Ces minéraux appartiennent à la famille des silicates, c'est-à-dire qu'ils

présentent une charpente formée par des molécules  $\text{SiO}_4$  entre lesquelles se trouvent différents cations ( $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ...). Sous l'action de l'eau, ces cations vont être mis en solution de façon plus ou moins importante. Ainsi, la structure du minéral est modifiée avec formation de nouveaux minéraux et d'ions pouvant être lessivés.

L'altération par hydrolyse de la muscovite (mica blanc présent dans le granite) entraîne la formation de l'illite, un minéral argileux, pouvant lui-même être altéré par la suite.



Granite altéré observé à l'œil nu



Lame mince d'un granite altéré observée au microscope en lumière polarisée analysée

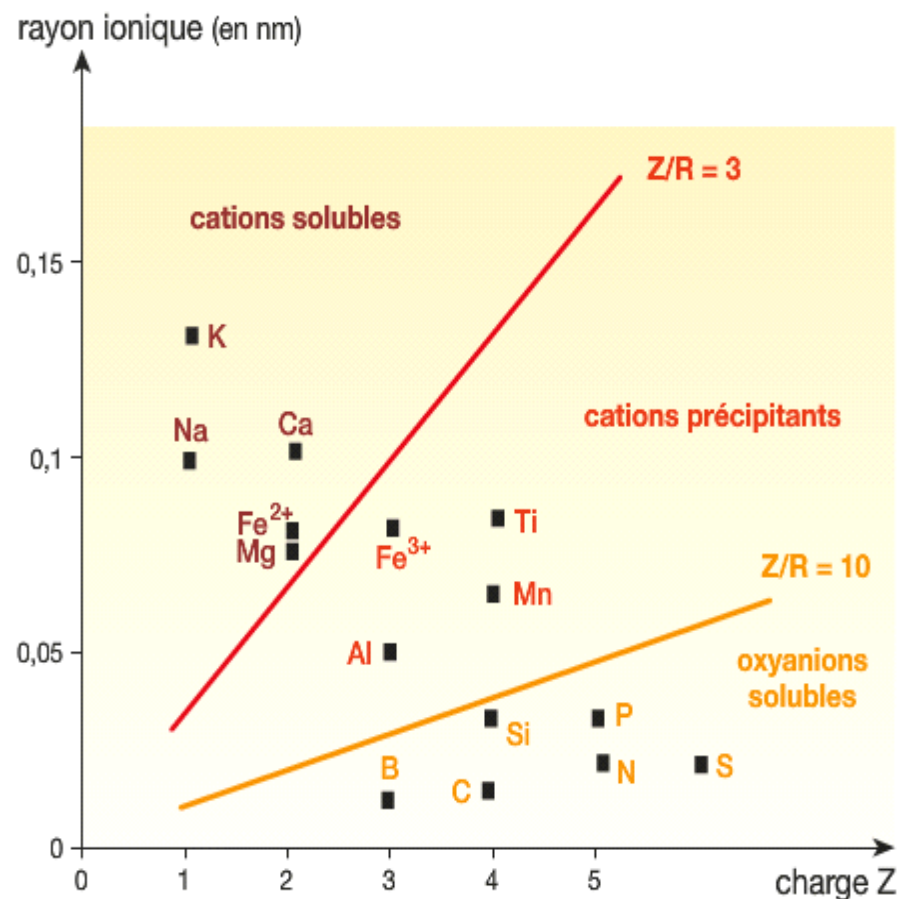
**Doc. 2** L'altération par le phénomène d'hydrolyse.



Les ions constituant les différents cristaux d'une roche ne réagissent pas tous de la même façon au cours du phénomène d'hydrolyse. La molécule d'eau va se comporter comme un **dipôle** dont la force d'attraction, vis-à-vis d'un ion, va déterminer la solubilité de cet ion. Cette force d'attraction dépend du **potentiel ionique** (PI), c'est-à-dire du rapport entre la charge  $Z$  de l'ion et son rayon ionique  $R$ .

Le *diagramme ci-contre* permet de déterminer trois classes d'ions en fonction de leurs potentiels ioniques :

- les **cations solubles** : ils ont une charge faible et sont attirés par l'eau, formant des éléments solubles pouvant ainsi être évacués vers les océans et constituer des calcaires, par exemple ;
- les **cations précipitants** : ils sont insolubles et précipitent sous la forme d'hydroxydes (ils sont à l'origine de gisements métallifères, par exemple, de bauxite) ;
- les **oxyanions solubles** : avec un petit diamètre et une charge élevée, ils sont solubles et peuvent être évacués vers les océans où ils se recombinaient avec les cations solubles permettant ainsi la formation de carbonates, sulfates ou phosphates, par exemple.



**Doc. 3** La solubilité des ions dépend de leur potentiel ionique.

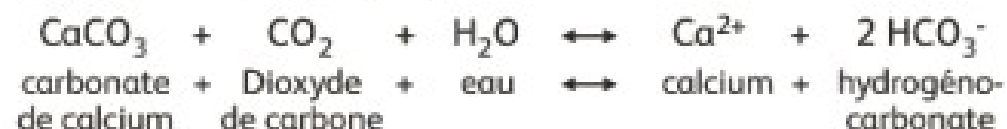




Karst dans le massif de la Chartreuse.

► L'eau de pluie, chargée de gaz carbonique s'écoule dans les failles ou fissures du massif de calcaire. Sous l'effet de l'**altération** chimique de la roche, les fissures s'élargissent et forment des paysages typiques de type karstique.

► Équation bilan des réactions chimiques responsables de la dissolution des carbonates :



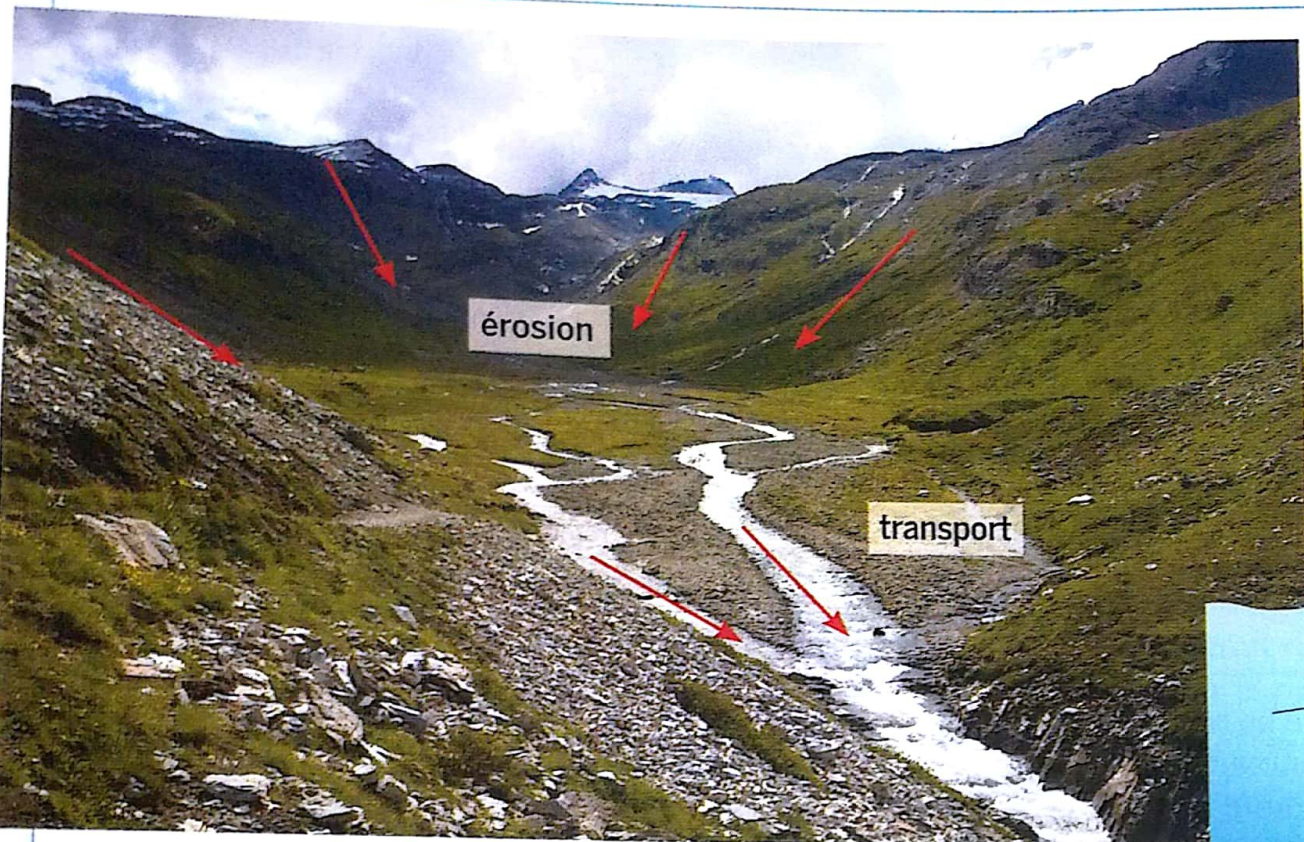
|                               | Eau de pluie<br>(valeurs moyennes) | Eau circulant<br>dans le calcaire |
|-------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| Ca <sup>2+</sup>              | 1,4                                | 65                                |
| Mg <sup>2+</sup>              | 0,3                                | 3,4                               |
| K <sup>+</sup>                | 0,3                                | 0,3                               |
| Na <sup>+</sup>               | 1,9                                | 1,3                               |
| Cl <sup>-</sup>               | 3,1                                | 1,6                               |
| HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | traces                             | 199                               |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | 2,1                                | 9                                 |

**b** Tableau comparatif de la composition chimique d'une eau de pluie et d'une eau ayant circulé dans des calcaires (valeurs en mg.L<sup>-1</sup>).



### III) Le transport des produits d'altération :

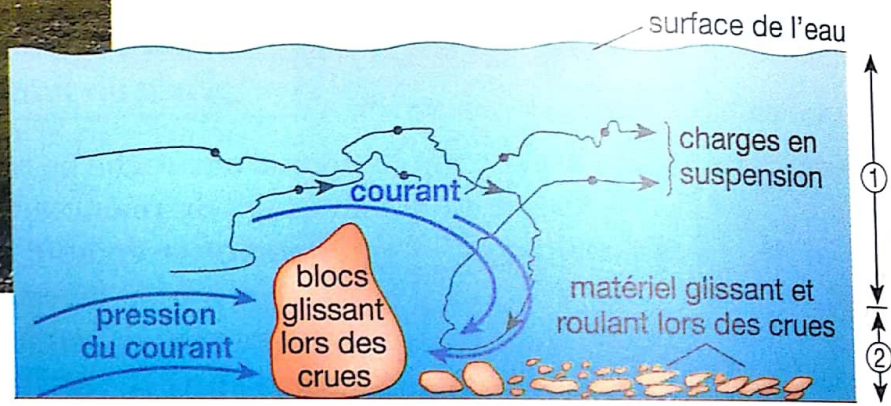




La naissance d'un cours d'eau dans les Alpes

Outre le vent et la glace, l'eau est le principal agent de transport des éléments issus de l'altération des roches (*schéma ci-dessous*). Les ions sont transportés en solution, les particules en suspension. Pour des particules de taille importante, le transport s'effectue en roulant ou en glissant au fond de l'eau : lors des crues, c'est la pression exercée par le courant qui fait rouler les blocs.

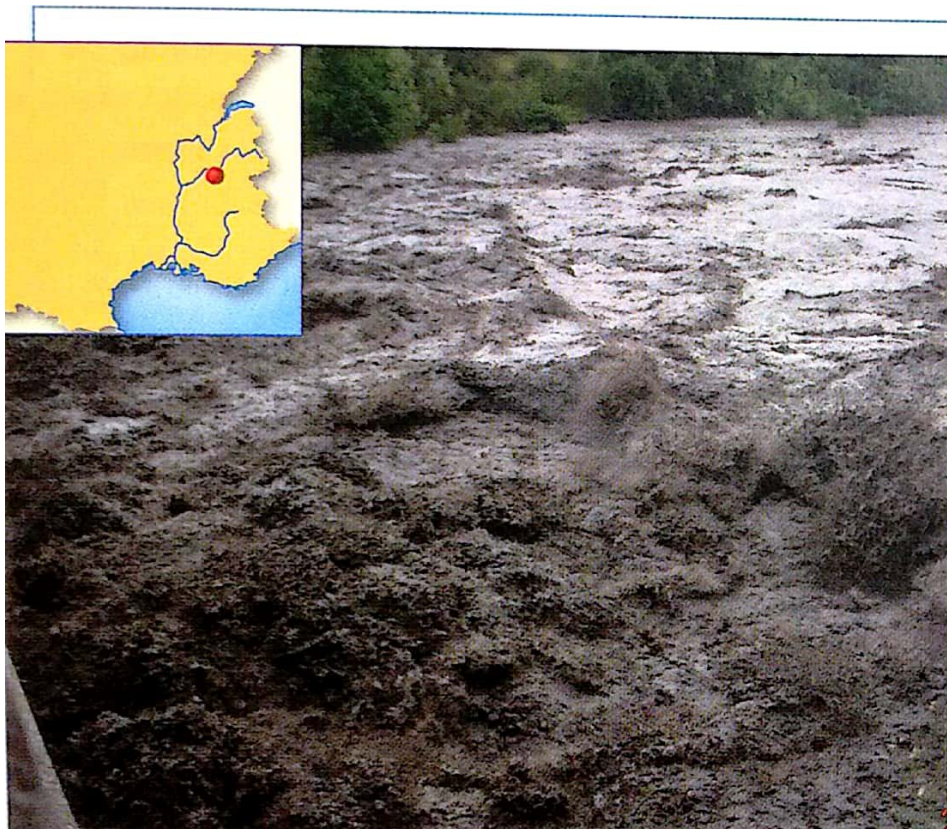
Le transport dans un cours d'eau



- ① charge déplacée principalement en suspension
- ② charge déplacée par glissement et roulement
- ③ charge chimique en solution

**Doc. 1** Les rivières et les fleuves transportent des éléments en suspension et en solution.





L'Isère en crue en mai 2008

© NM

Il est possible de déterminer la **charge sédimentaire** d'un cours d'eau, c'est-à-dire la masse de sédiments transportés par unité de temps à travers une section transversale. Parmi la matière transportée, on distingue la matière en suspension (MES) et la matière dissoute totale (MDT). Il est possible, à l'aide d'un préleveur automatique, d'analyser des échantillons d'eau et de mesurer les concentrations en MES et en MDT.

De telles mesures ont été réalisées sur l'Isère au niveau de la ville de Grenoble (point rouge sur la carte). Le bassin de l'Isère, situé en amont, apporte au Rhône une quantité importante de matières issues principalement des Alpes.

La répartition des flux annuels de MES et de MDT est sensiblement équivalente, respectivement de  $2 \text{ Mt} \cdot \text{an}^{-1}$  (mégatonnes par an) et de  $1,73 \text{ Mt} \cdot \text{an}^{-1}$ . Le flux annuel de MES devient véritablement prépondérant sur le transit de MDT lors de crues importantes (*photographie*).

Ces mesures permettent de dresser un bilan d'érosion sur le bassin de l'Isère qui serait en moyenne de  $350 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{an}^{-1}$ , soit, compte tenu de la superficie du bassin, une érosion totale de  $3,73 \text{ Mt} \cdot \text{an}^{-1}$ .

**Doc. 2** La charge sédimentaire d'un cours d'eau, l'Isère par exemple, provient de l'érosion.



## B Le dépôt des produits de l'érosion dans des bassins sédimentaires

Les éléments mis en suspension ou en solution par l'altération des roches continentales rejoignent finalement un bassin océanique. Lorsque le fleuve a une influence dominante sur le milieu marin, un delta se forme. C'est le cas, par exemple, de la formation du delta du Rhône dans le sud-est de la France. Mais, c'est dans l'est de l'Inde et au Bangladesh que se trouve le plus grand delta du monde, couvrant une superficie de 105 000 km<sup>2</sup>, le delta du Gange (*photographie ci-contre*). Il est formé par les apports des fleuves Gange et Brahmapoutre.

La quantité de sédiments déposés dans un bassin en fonction du temps correspond au **flux sédimentaire**. Chaque année, les cours d'eau transportent des continents aux océans, en suspension ou en solution, une masse de sédiments de 18 milliards de tonnes. Le Gange et le Brahmapoutre apportent dans l'océan, à eux seuls, de 1 à 2 milliards de tonnes de sédiments par an.

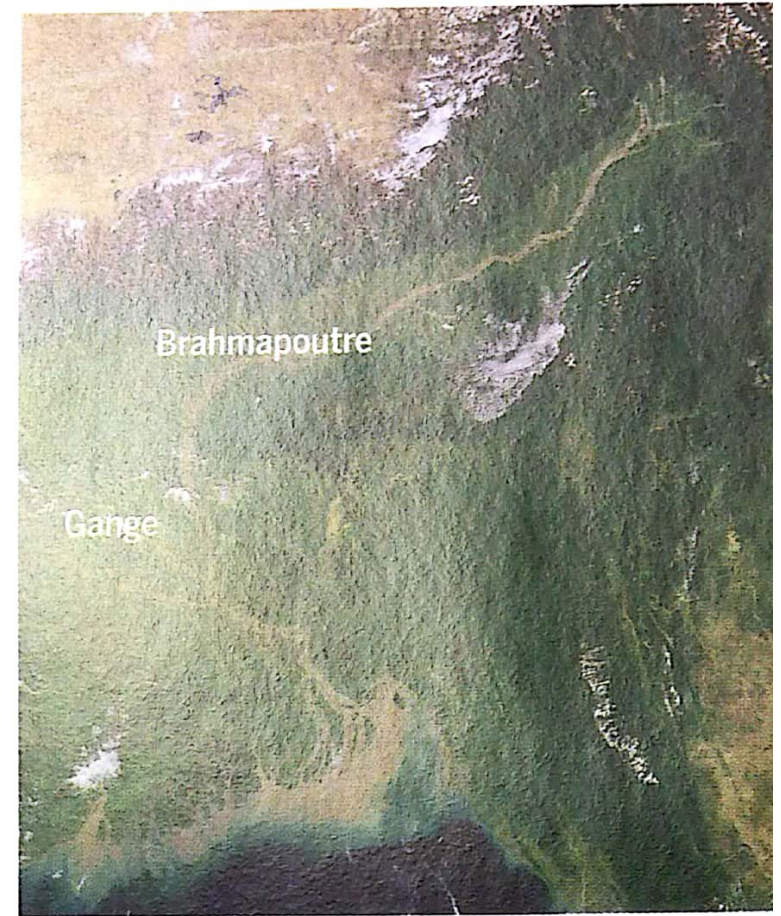
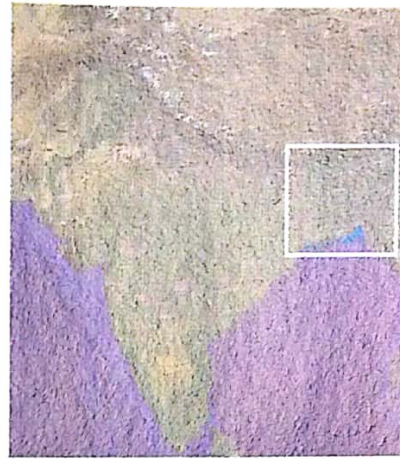


Image satellitale du delta du Gange

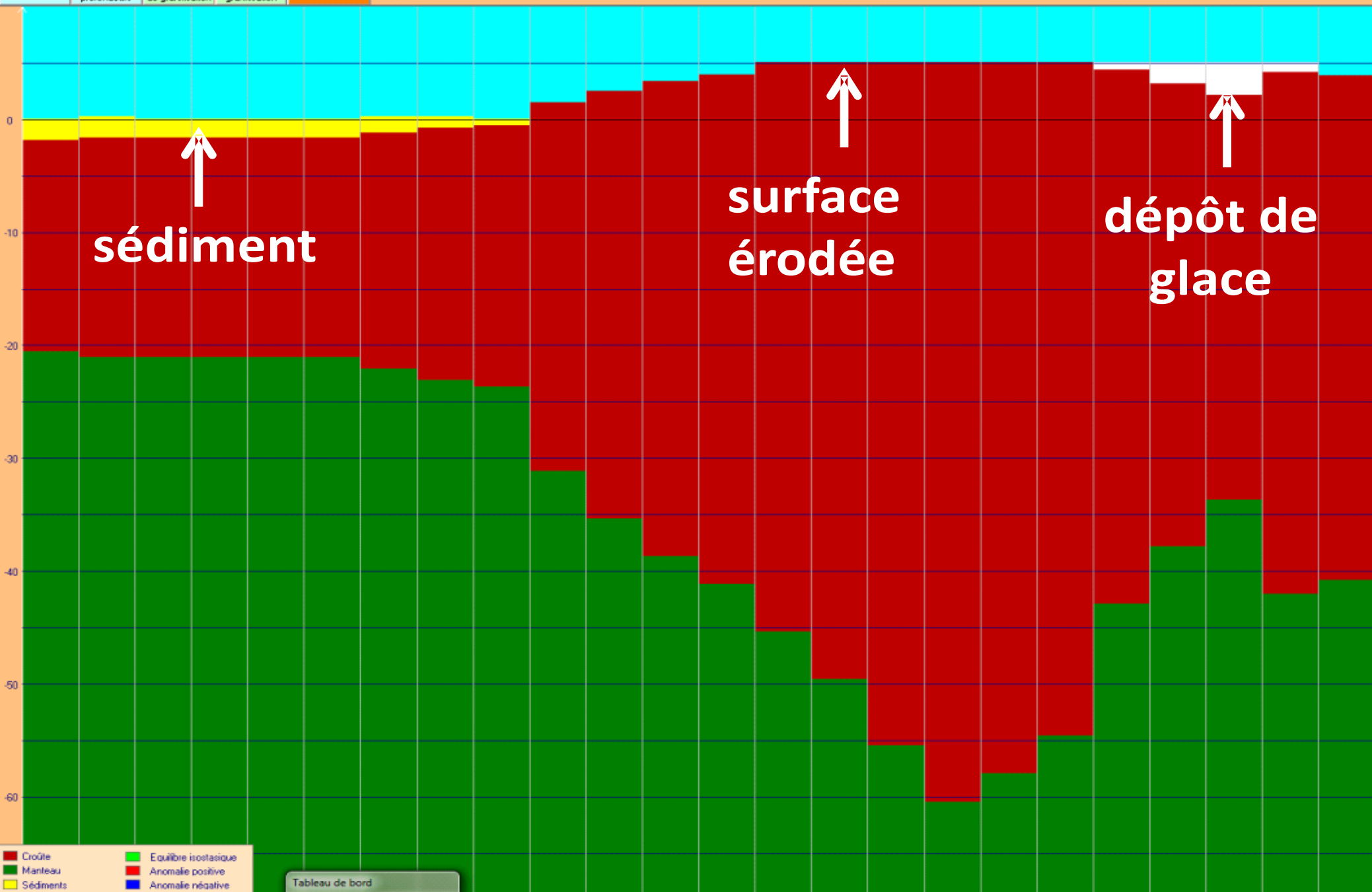
**Doc. 3** L'apport de sédiments dans un bassin océanique : le delta du Gange.



## IV. L'intervention de phénomènes tectoniques

### 1) les réajustements isostatiques

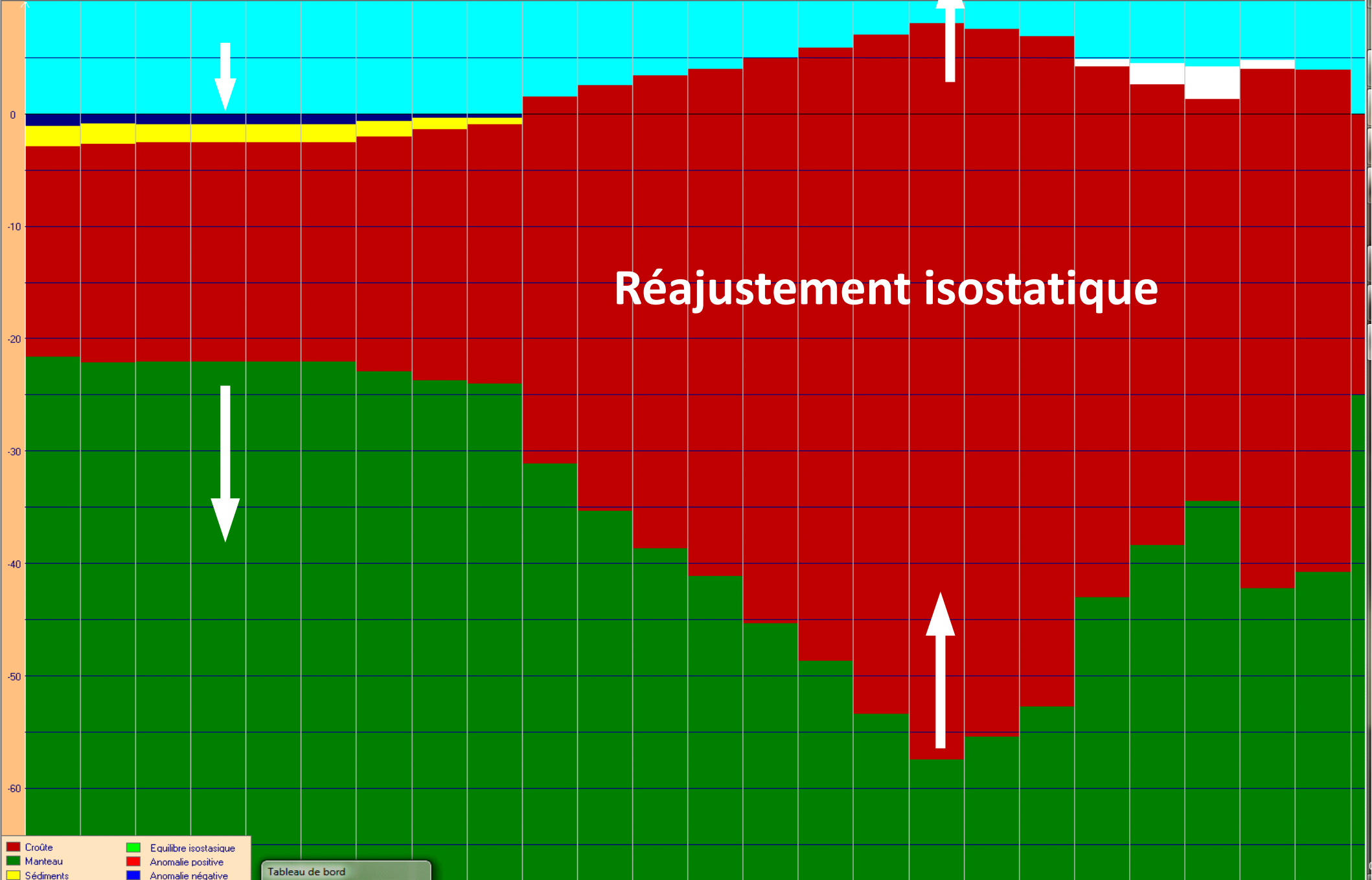
- Repérer les profondeurs
- Représenter les profondeurs
- Repérer le niveau initial de granitisation
- Représenter le niveau de granitisation
- Réajustement isostatique



- Croûte
- Manleau
- Sédiments
- Equilibre isostatique
- Anomalie positive
- Anomalie négative

Tableau de bord





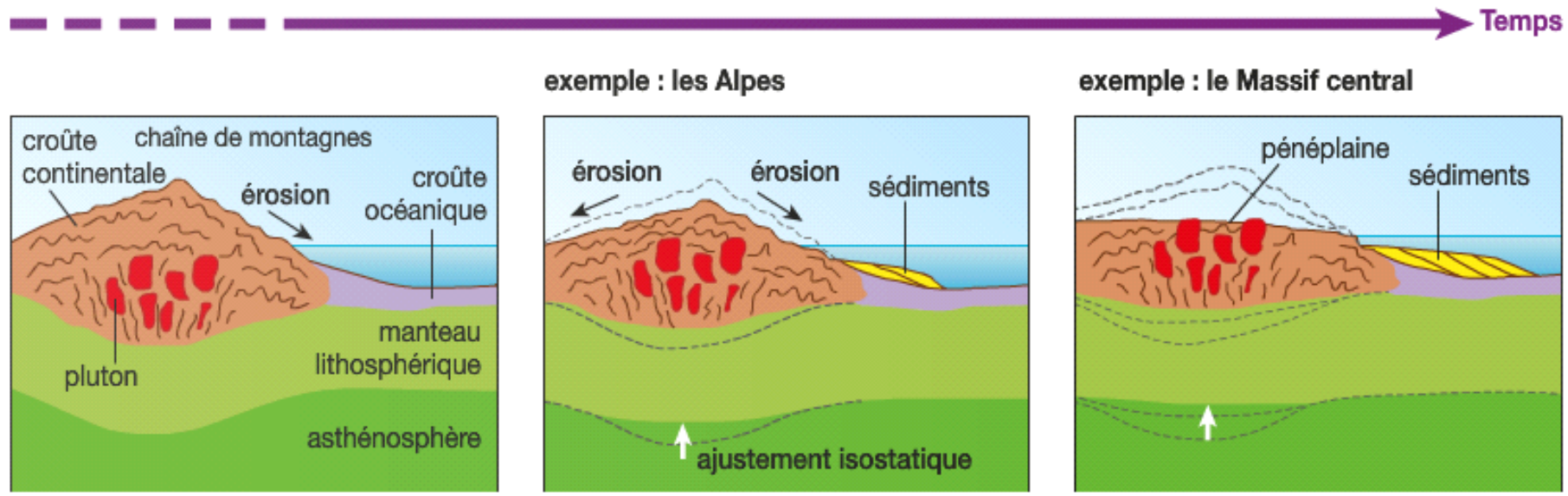
- Croûte
- Manteau
- Sédiments
- Equilibre isostatique
- Anomalie positive
- Anomalie négative

Tableau de bord

Le rééquilibrage isostatique par rapport à l'érosion se fait dans une proportion de 4/5, c'est-à-dire que, pour 5 m d'érosion, il y a une remontée de 4 m (ou 800 m de rebond pour 1 km d'érosion).

Le taux initial d'érosion de la chaîne est évalué à 1 mètre par 1 000 ans (soit  $1\ 000\text{ m} \cdot \text{Ma}^{-1}$ ), ce qui donne un

taux net d'abaissement de la chaîne de  $200\text{ m} \cdot \text{Ma}^{-1}$ . Le *modèle global présenté ci-dessous* montre comment des roches plutoniques, formées à la base de la croûte continentale épaissie par la collision, affleurent en surface quelques millions d'années plus tard.

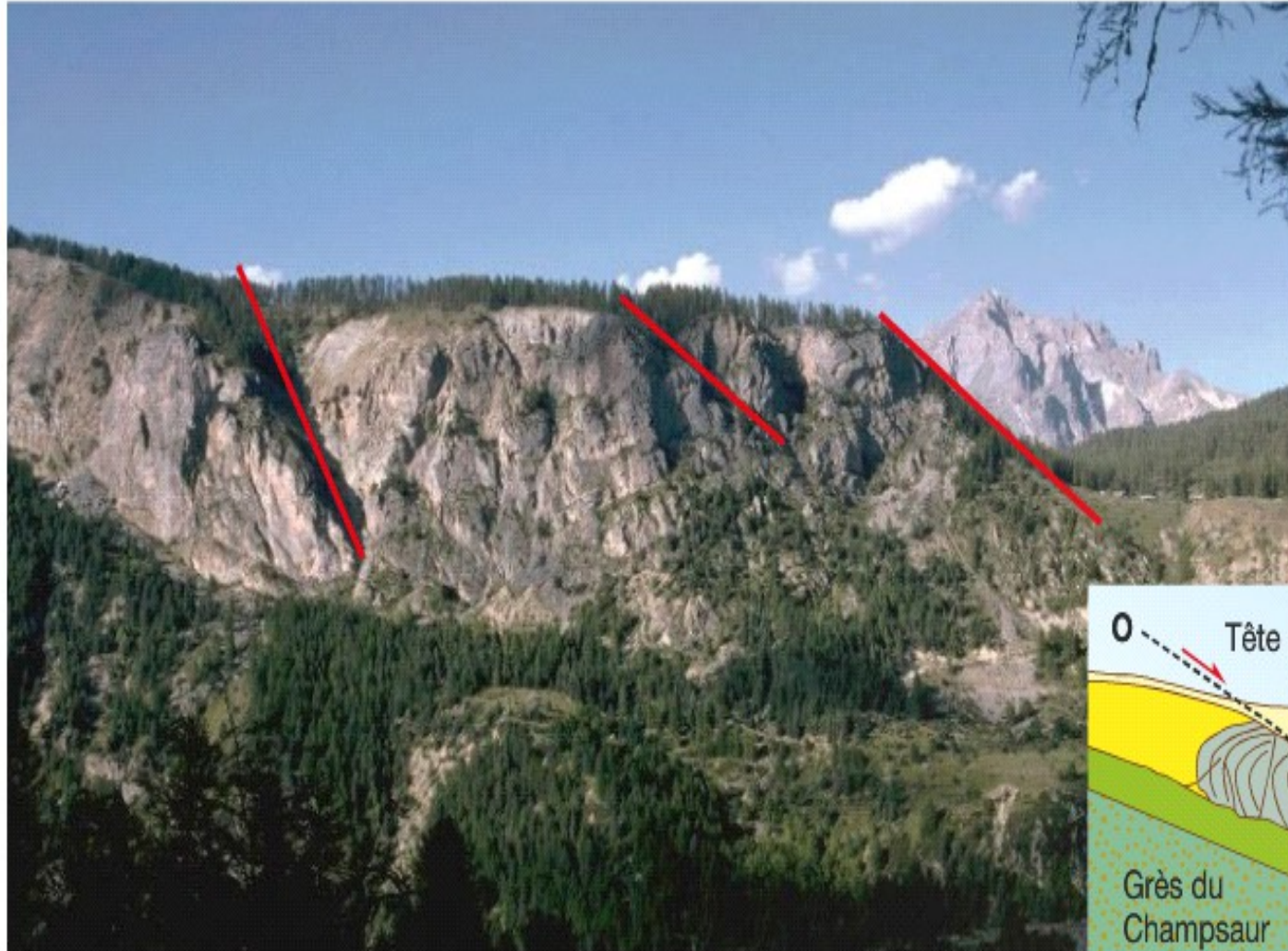


**Doc. 3** Un modèle de remontée de roches plutoniques liée à l'isostasie.



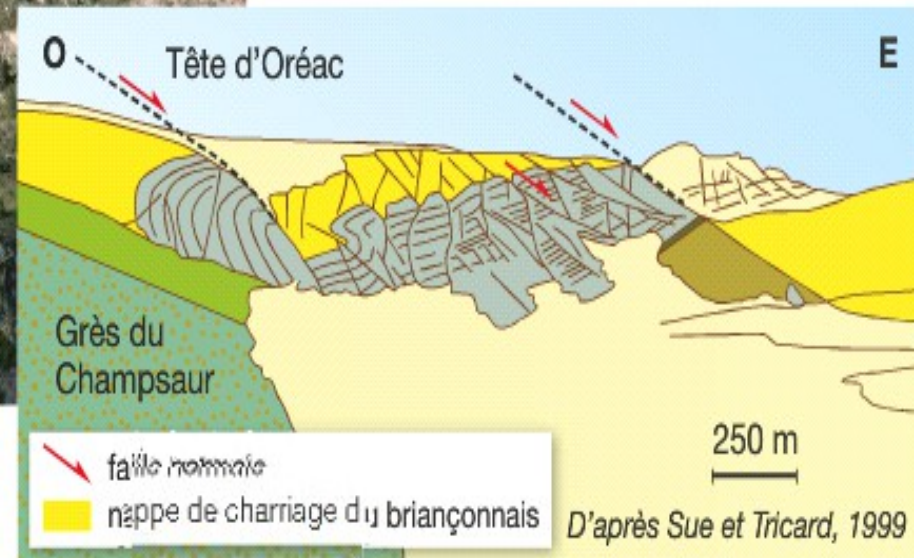
## 2) l'étirement des chaînes de montagnes

- Des observations de terrain



Des failles normales découpent les roches dans les Alpes internes

Dans la zone interne des Alpes, il est fréquent d'observer des failles dites normales (traits rouges), comme dans le parc national des Écrins, au niveau de la Tête de La Rochaille et d'Oréac (photographie ci-contre). Ces failles entraînent un affaissement du bloc rocheux situé au-dessus de la faille (toit) : ce type de faille se forme lors d'une extension des terrains.





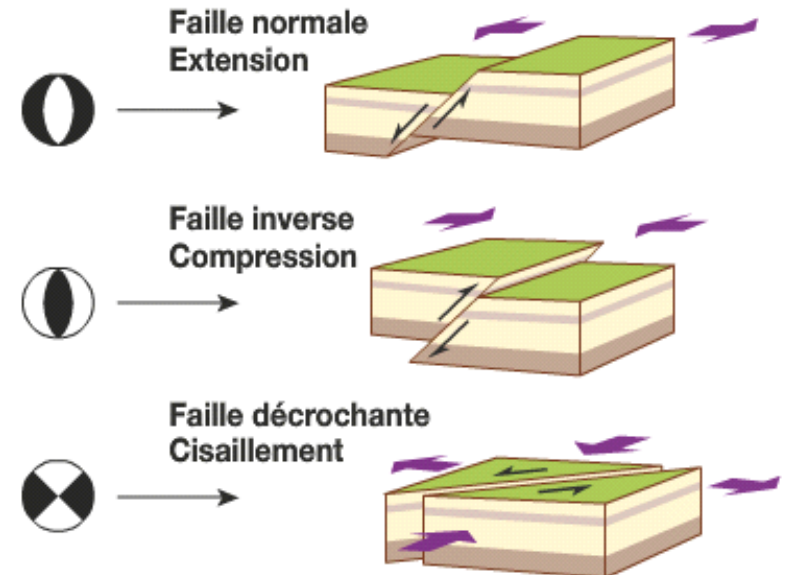
• Des données sismiques interprétées



La nature des failles déduite des séismes, dans les Alpes

De nombreux séismes se produisent chaque année dans les Alpes. L'enregistrement des ondes sismiques apporte de nombreuses informations, notamment sur la localisation précise du foyer sismique et sur les directions de déplacement des roches le long de la faille. On en déduit les forces tectoniques qui s'appliquent sur les roches : extension, compression ou coulissage (*schémas ci-dessous*).

Des symboles représentant ces différentes contraintes sont alors positionnés géographiquement à l'aplomb de chaque foyer sismique (*carte ci-contre*).



Des symboles différents indiquent que les failles normales ou inverses peuvent aussi être en partie décrochantes.

**Doc. 1** Des observations de terrain et des données sismiques dans les Alpes.

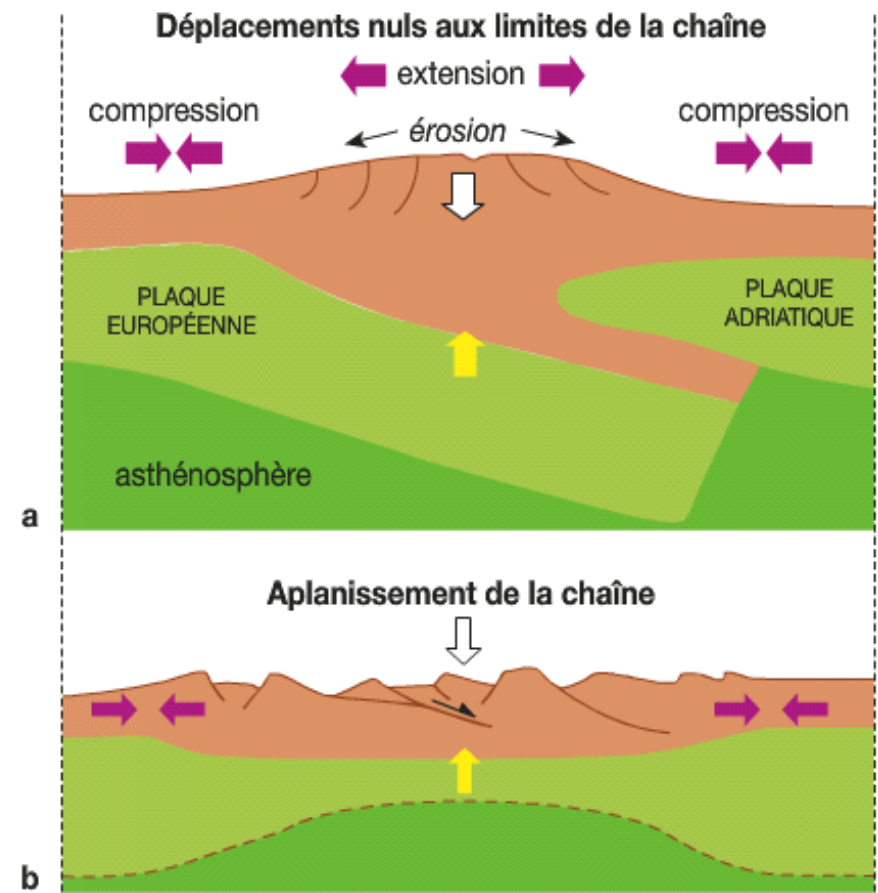




À la suite de la phase active de collision avec compression latérale, charriages et épaissement de la croûte et de la lithosphère, un équilibre entre les forces tectoniques et les forces gravitaires est atteint. La croûte épaisse et légère est en équilibre (isostasie) sur le manteau plus dense. En enlevant de la matière, l'érosion perturbe cet équilibre et entraîne un soulèvement par réajustement isostatique.

Actuellement, au niveau des Alpes (a), les géologues constatent une extension au cœur de la chaîne, ce qui entraîne une compression en bordure. Les mouvements aux limites de la chaîne sont nuls : la convergence entre la plaque européenne et la plaque adriatique semble stoppée.

L'ensemble de ces processus créerait des conditions favorables à la réalisation de l'aplanissement final de la chaîne. Le schéma b illustre une évolution possible de la chaîne des Alpes.



→ forces tectoniques    ⇨ gravité    → isostasie

**Doc. 3** Un modèle de « l'effondrement » gravitaire d'une chaîne de montagnes.