

# Chapitre 1

## Modèles des paysages et transferts de matériaux en surface

code des diapositives

★ très important, à savoir avec précision

✿ important pour comprendre

✂ pour approfondir, sinon à couper

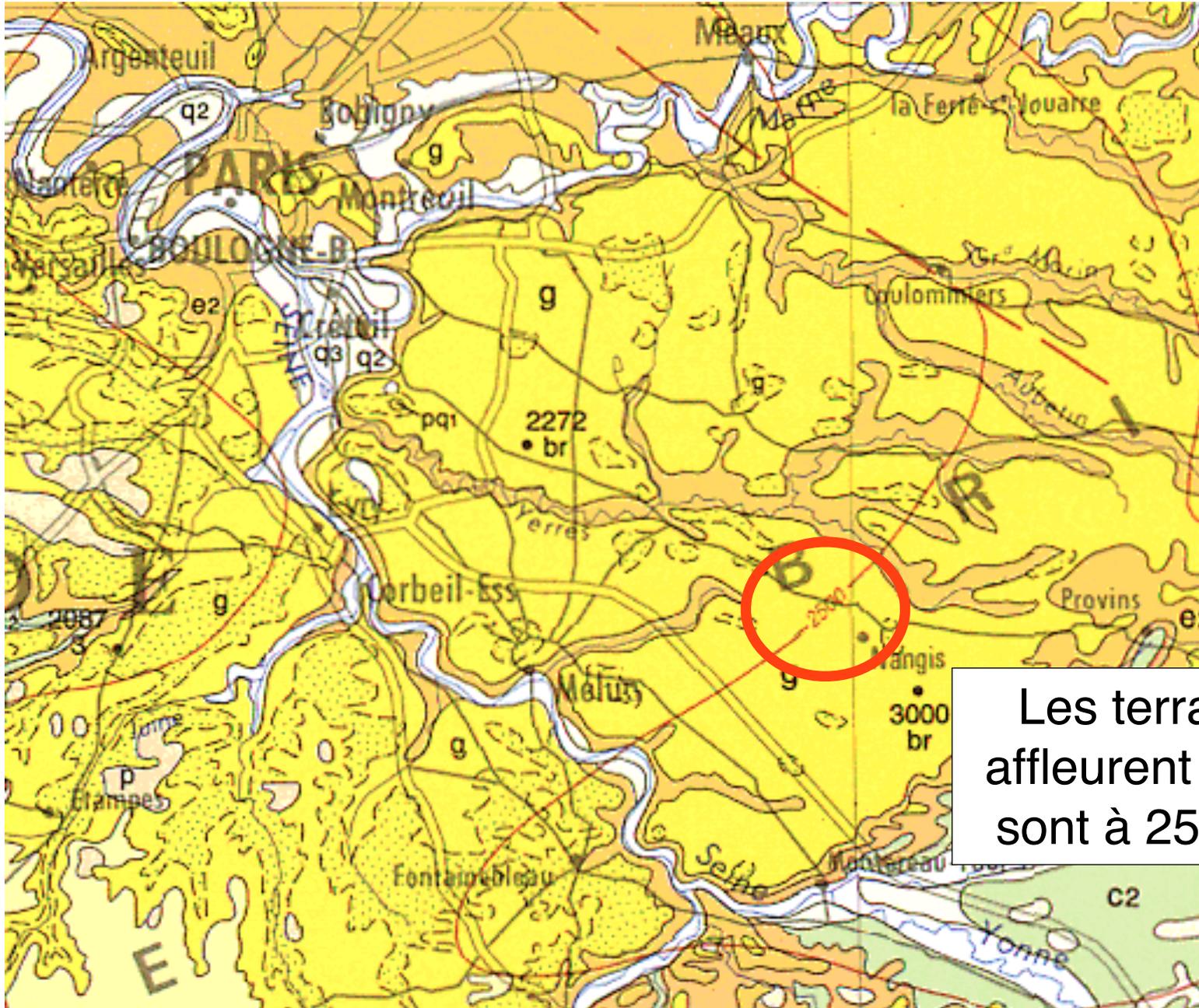
# 1. La diversité des paysages



# Le bassin parisien, bassin sédimentaire



# Isobathes sous Paris



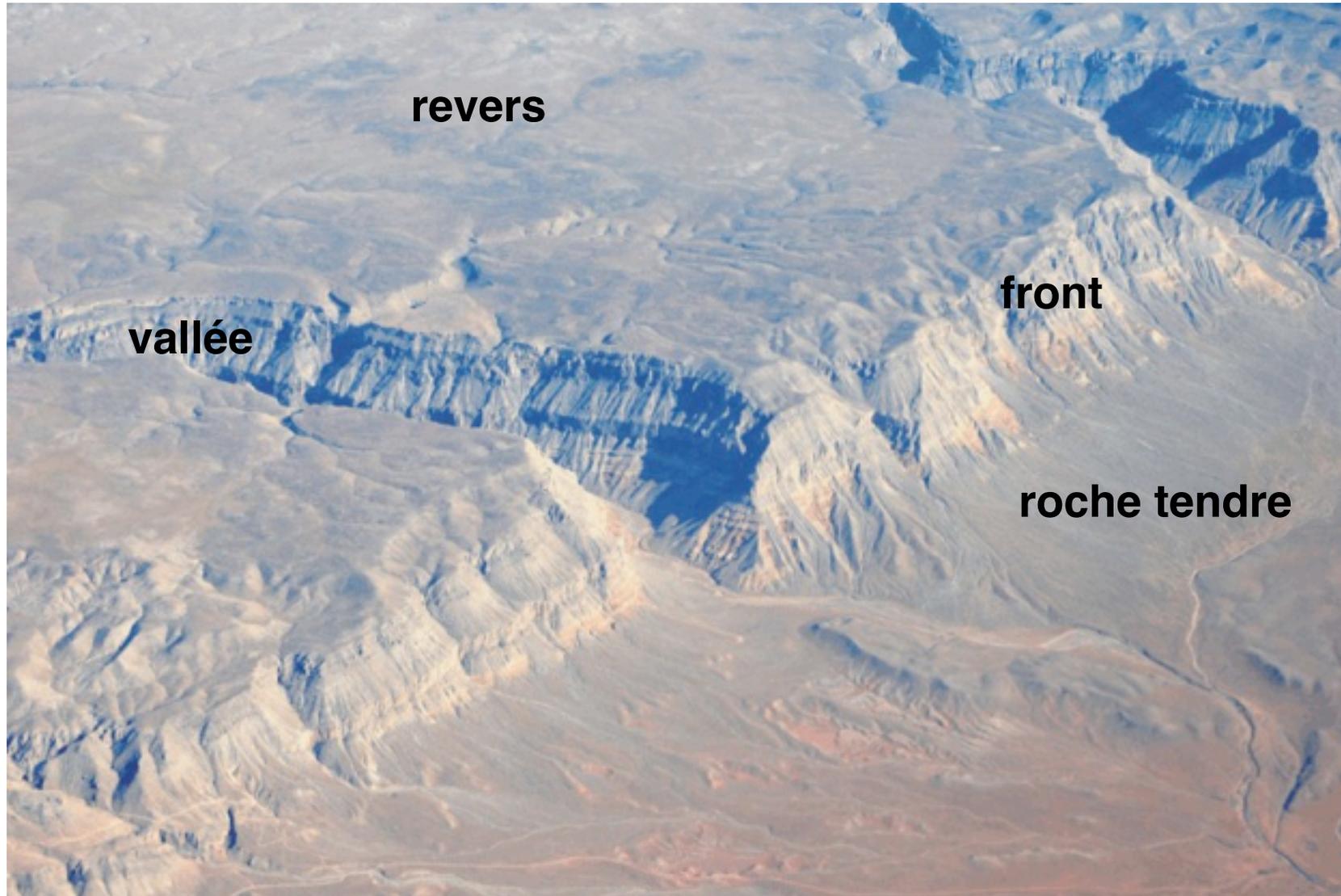
Les terrains du trias qui affleurent dans les Vosges sont à 2500 m sous Paris

# Modèle de cuesta en Arizona



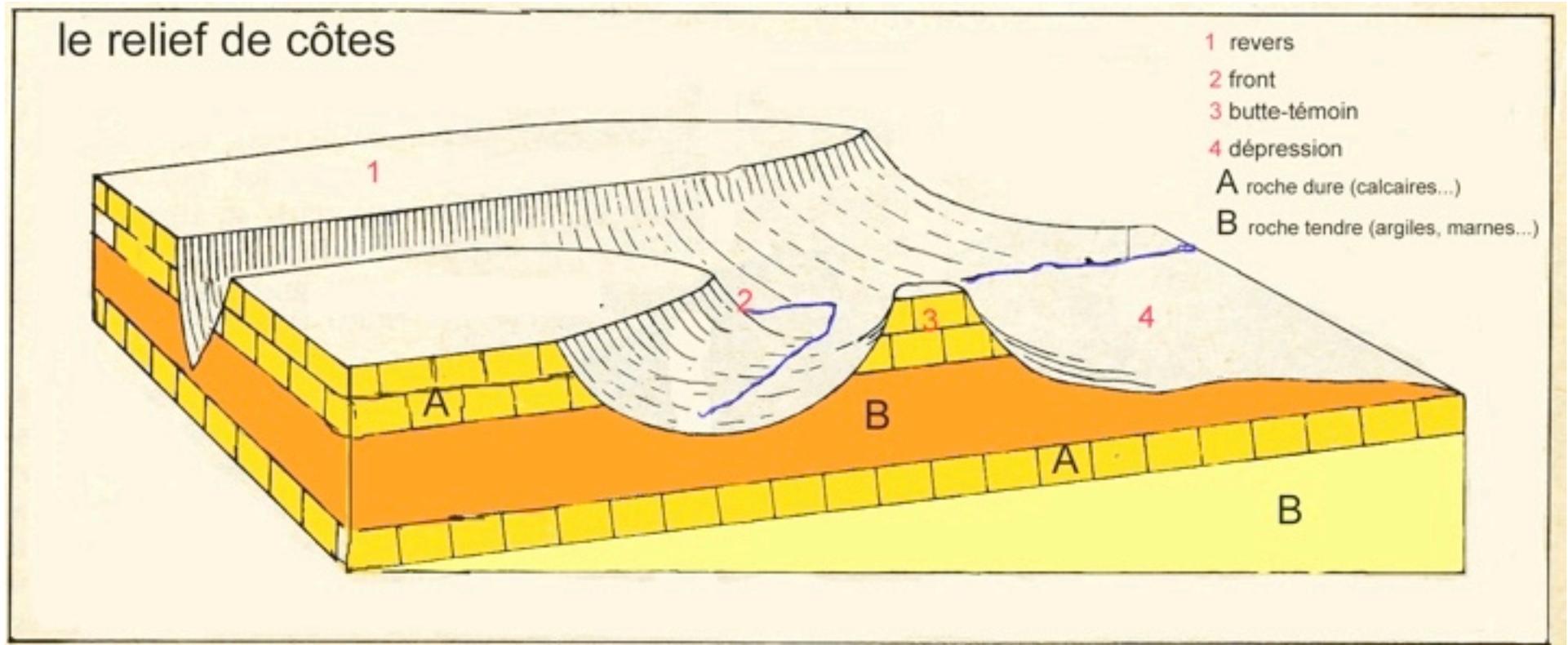
<http://www2.ulg.ac.be/geolsed/processus/processus.htm>

# Cuesta avec vallée



Une cuesta vue d'avion (Utah, USA). Remarquer le réseau conséquent qui entaille profondément le front de la cuesta.

# Cuesta et érosion différentielle

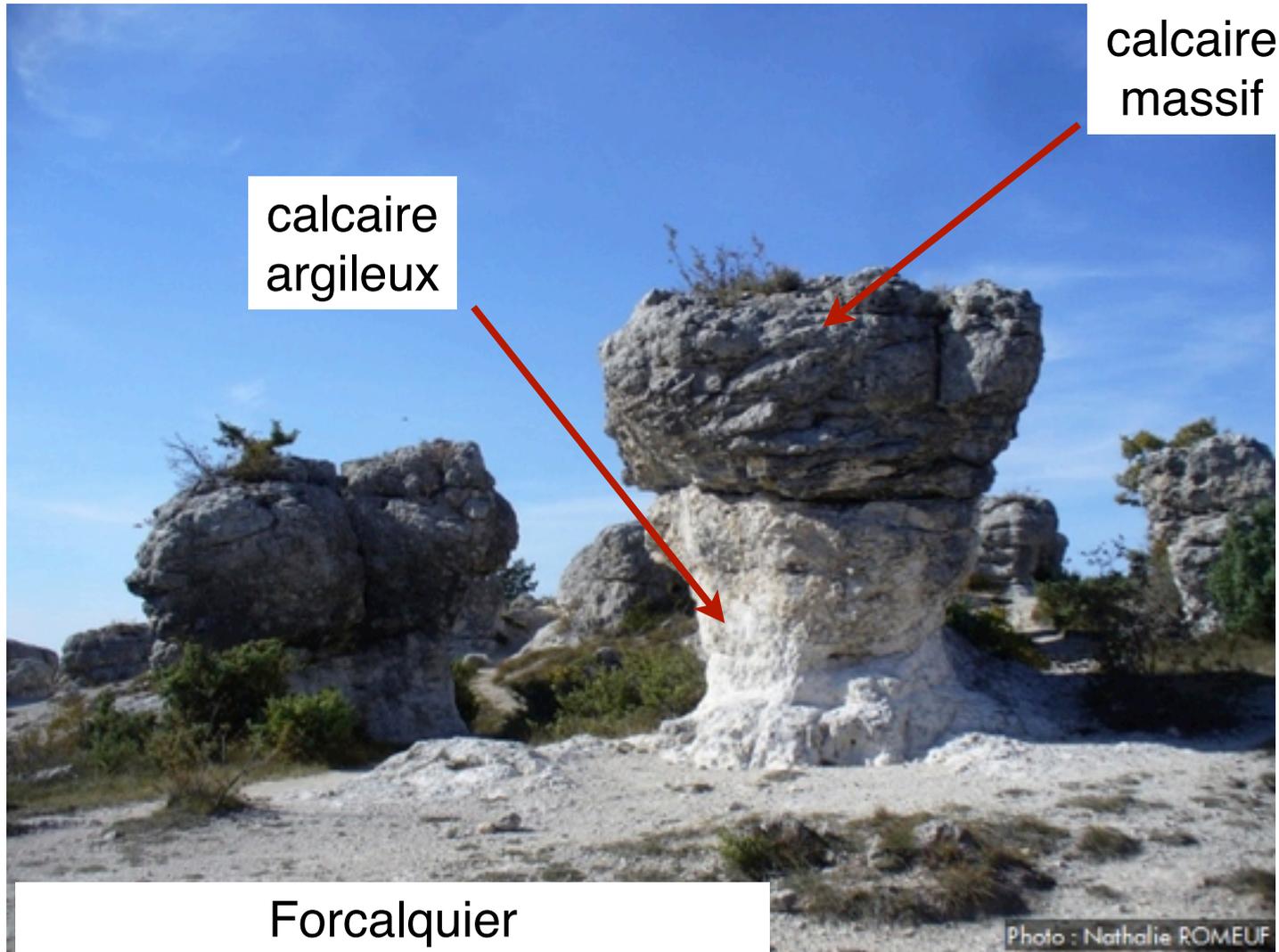


# Un exemple de butte témoin

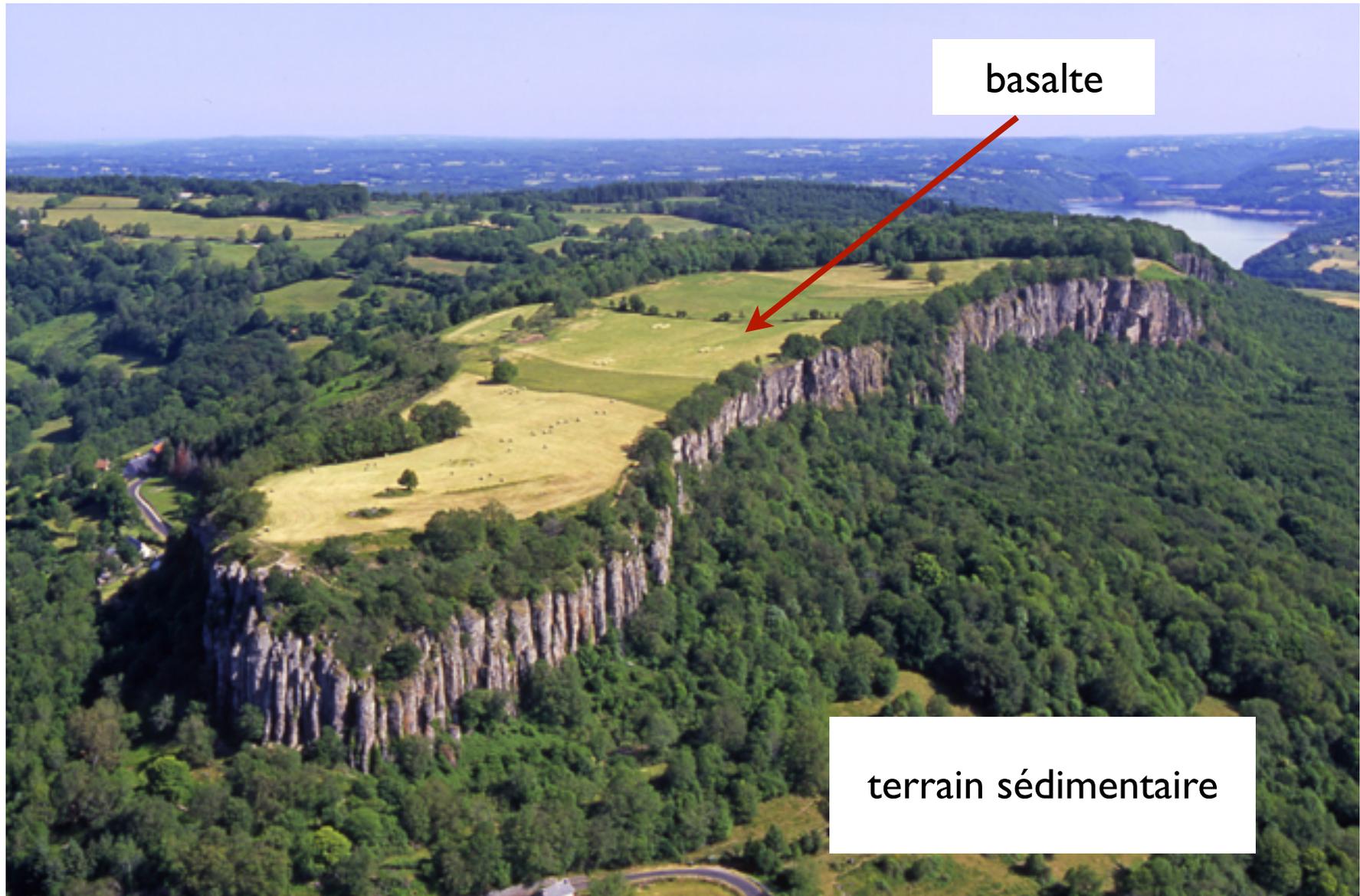


Monument Valley

# L'érosion différentielle



# Coulée de basalte



Corrèze

# Figures de karst



Lapiaz : désert de Platée  
(Flaine, Alpes)



Canyon du Verdon



Dolines à Ossau, Pyrénées



Reculée de Baume-les-Messieurs

# Figures de karst



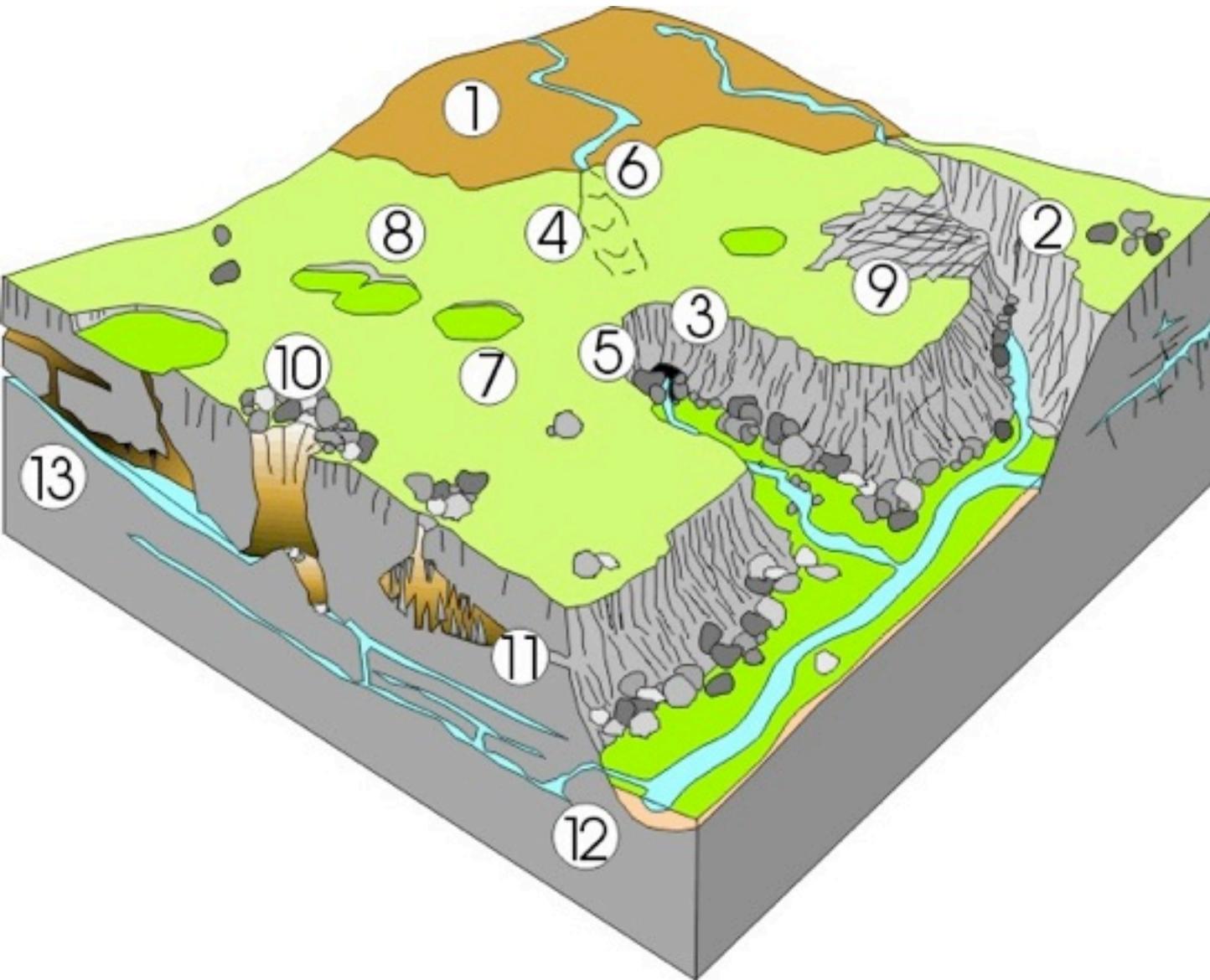
grotte

Aven du Taillon (Pyrénées)



Source de la Loue : cette rivière est en fait une résurgence du Doubs

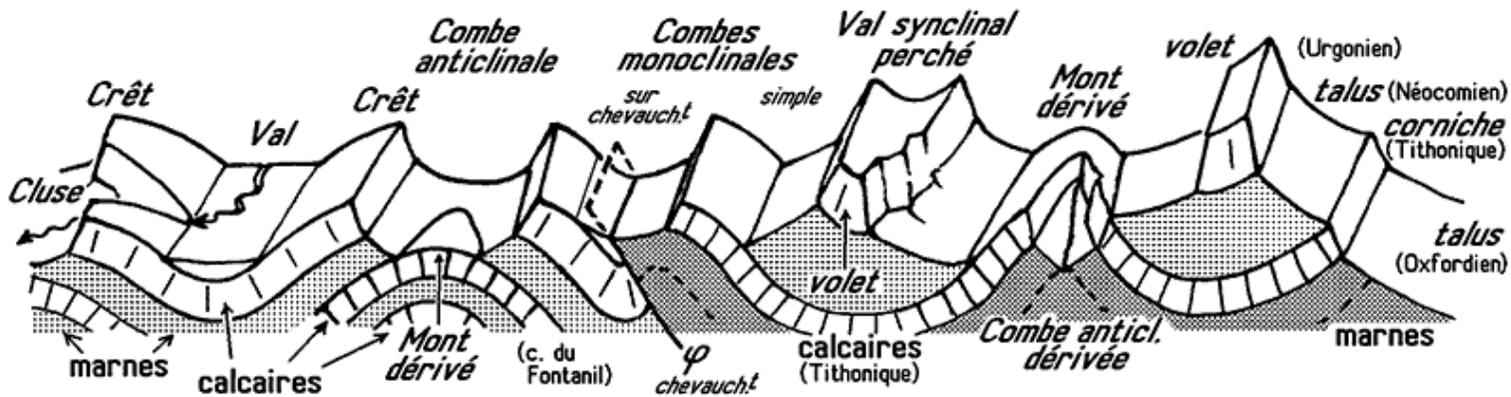
# Le modelé karstique



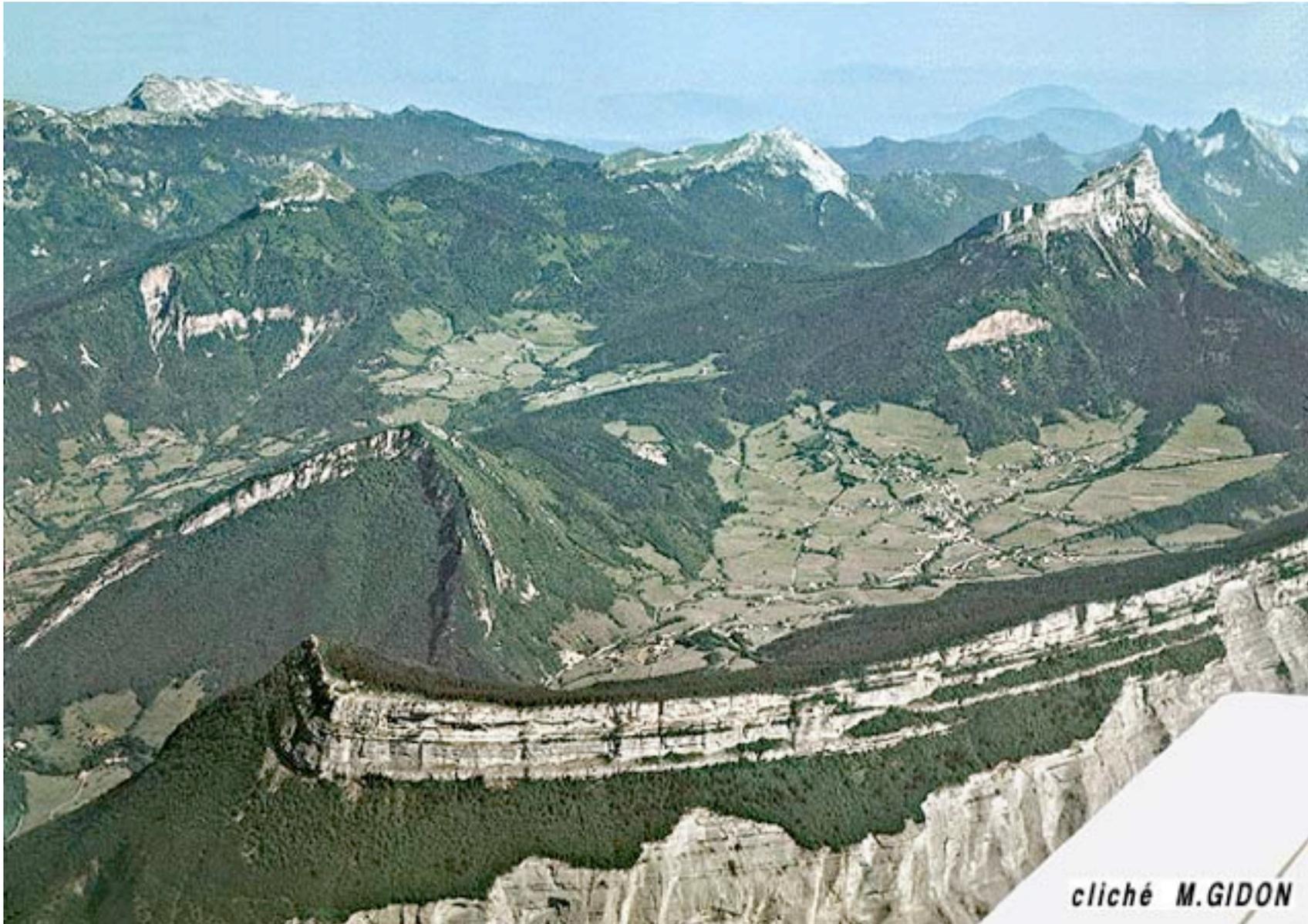
Eléments  
géomorphologiques d'un  
paysage karstique.

- (1) terrains non karstiques;
- (2) canyon
- (3) reculée
- (4) vallée sèche
- (5) résurgence de rivière
- (6) perte
- (7) doline
- (8) ouvala
- (9) lapiez
- (10) aven
- (11) grotte
- (12) source vauclusienne
- (13) rivière souterraine.

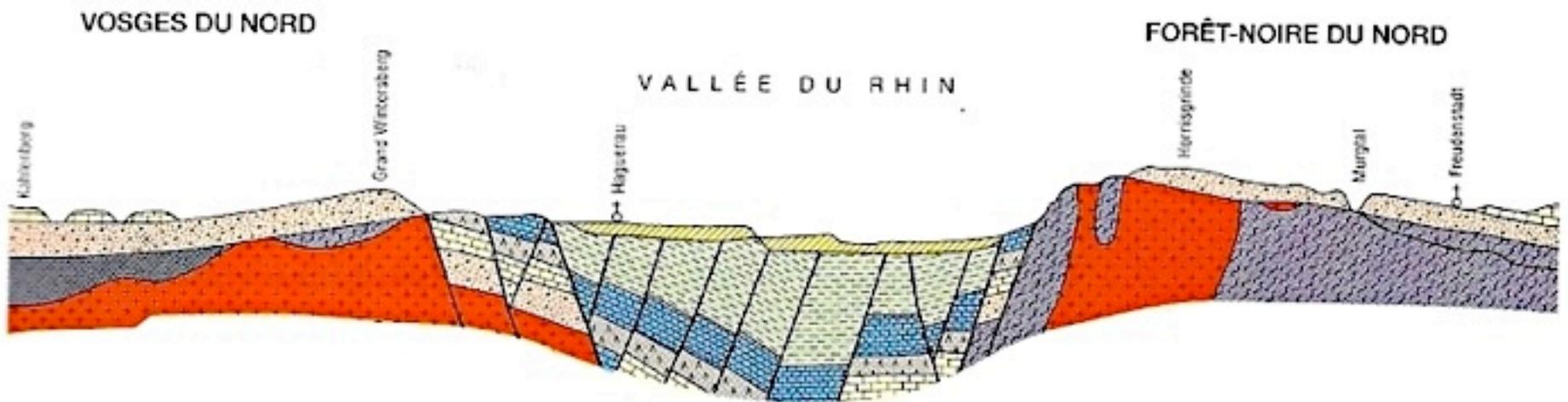
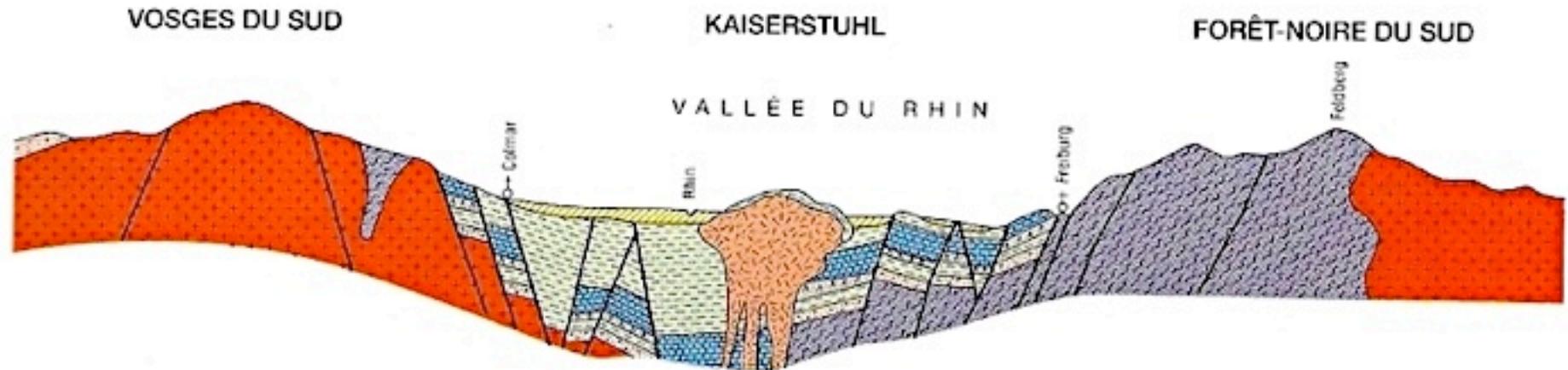
# Vercors : le mont Aiguille



# La Chartreuse



# Effondrement et remplissage : le fossé rhénan



Coupes géologiques à travers l'ensemble Vosges - fossé rhénan - Forêt-Noire

# Paysage granitique sous différents climats

Vosges, 1000 m d'altitude

**falaise de granite**

climat tropical

**B sol de latérite (argile rouge)**



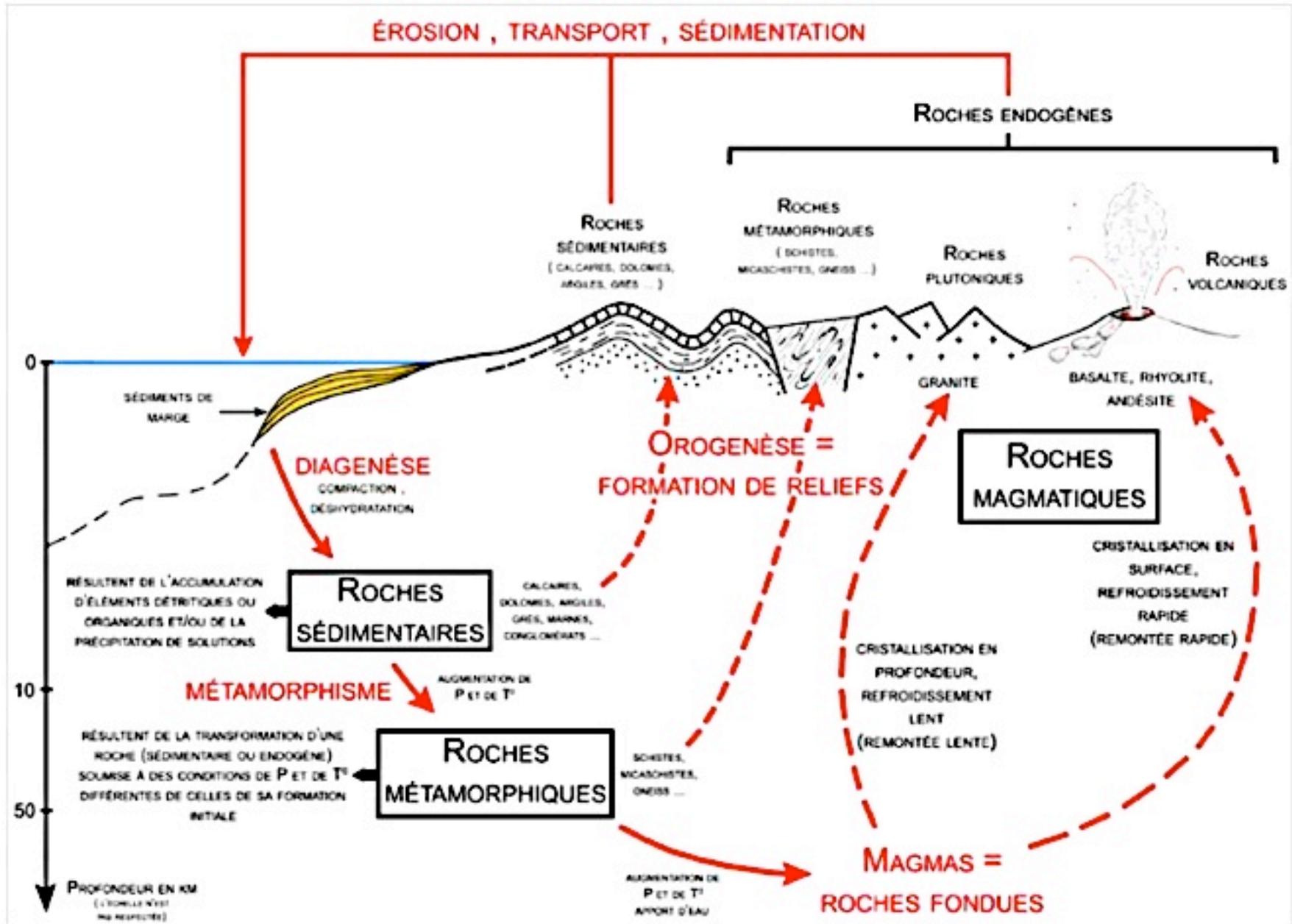
Ploumanac'h

photo ce

# Phénomènes d'érosion et transport

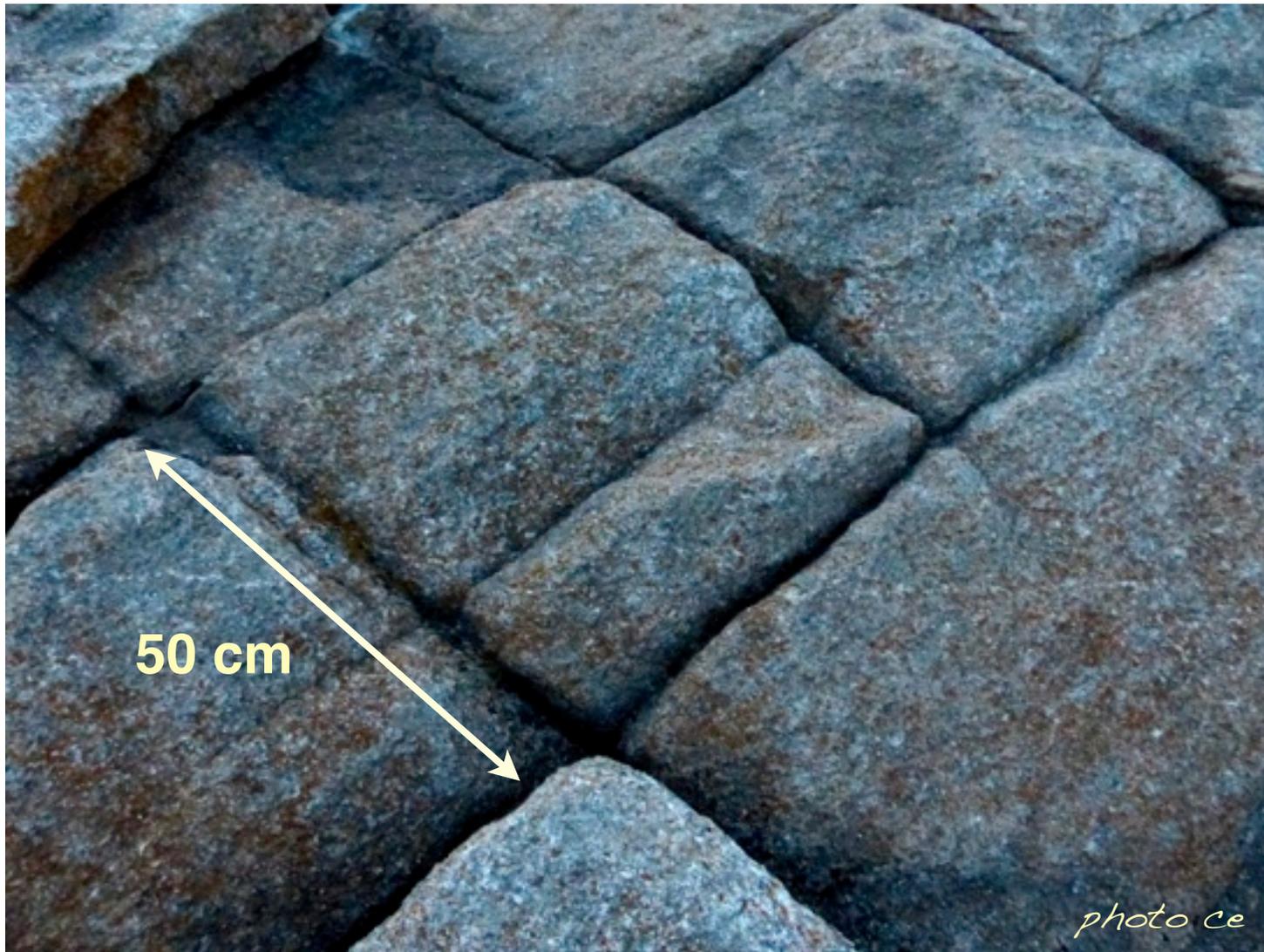


# Le cycle des roches



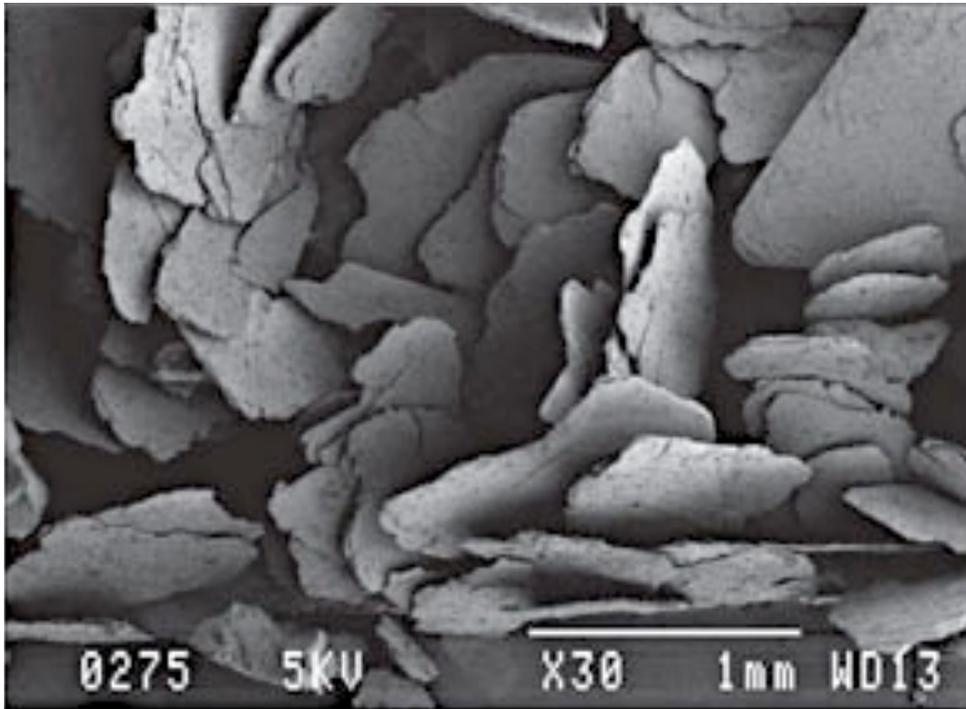
## **2. Les processus d'altération**

# Les diaclases, zones de fragilité

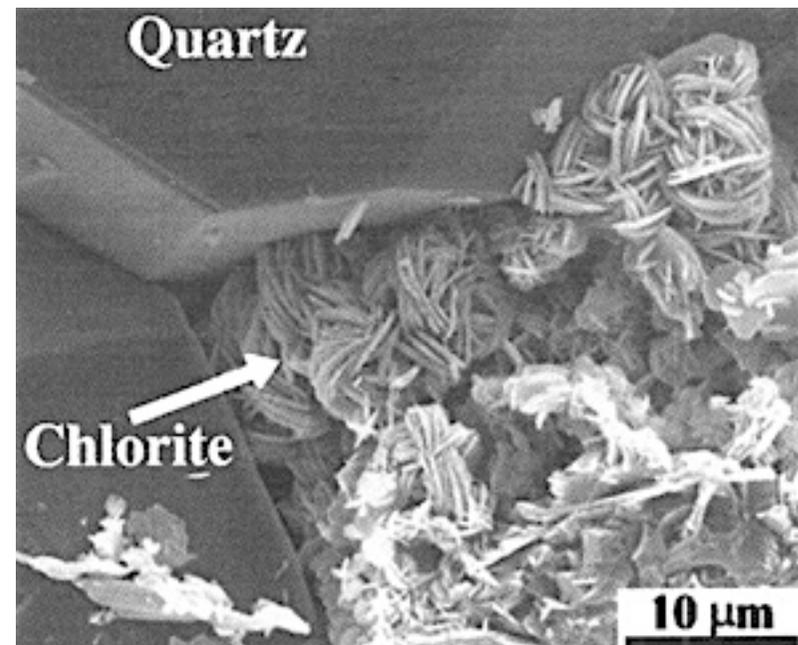
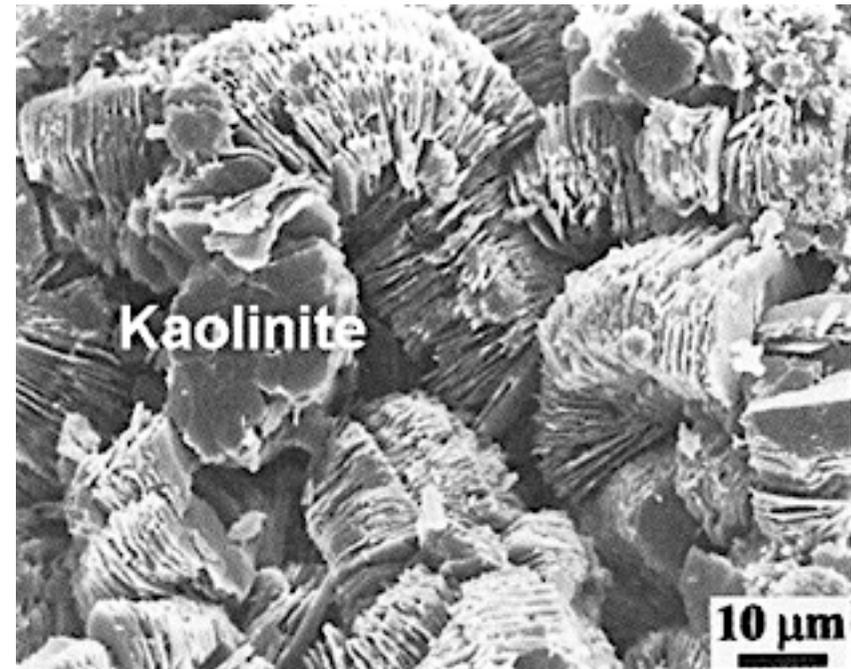


Dalle de granite (Quiberon)

# Argiles et micas : des phyllosilicates



muscovite (mica blanc)



# Cryoclastie et débit en pelures d'oignon



▲ Un rocher fracturé par le gel, près du lac Blanc, vers 2 000 m d'altitude (Haute-Savoie).

# Effets de la biosphère



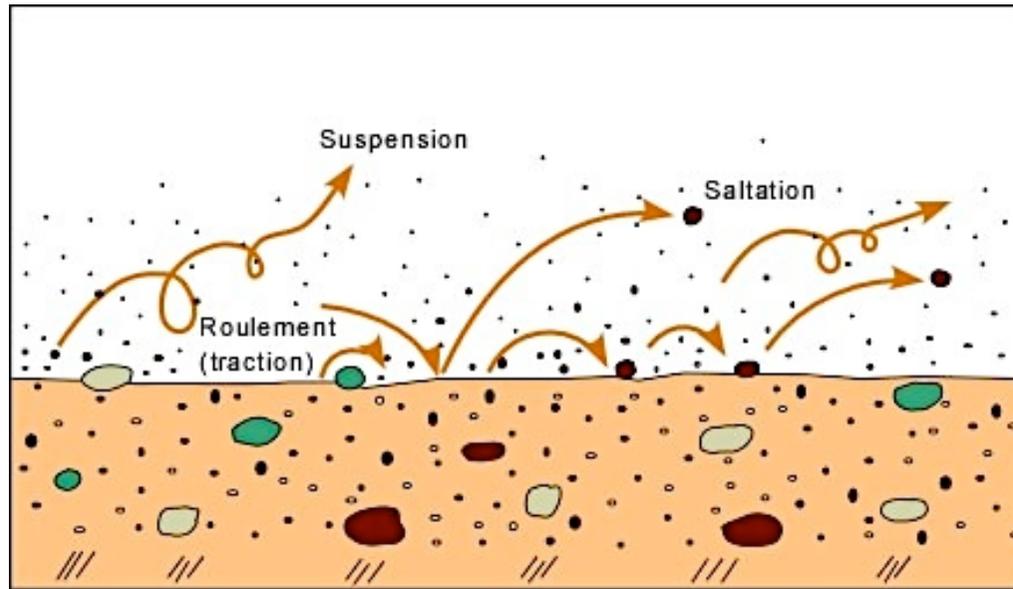
# Effets de la gravité



Blocs anguleux  
fragmentés

Parc Yosémité

# Abrasion par le sable



# Effets d'usure par les vagues



**Falaise vive: e: encoche d'érosion; b: blocs tombés de la falaise; g: cordon de galets de craie formés par usure du matériel de la falaise. CapBlanc Nez, France.**

# Vallée creusée par une rivière



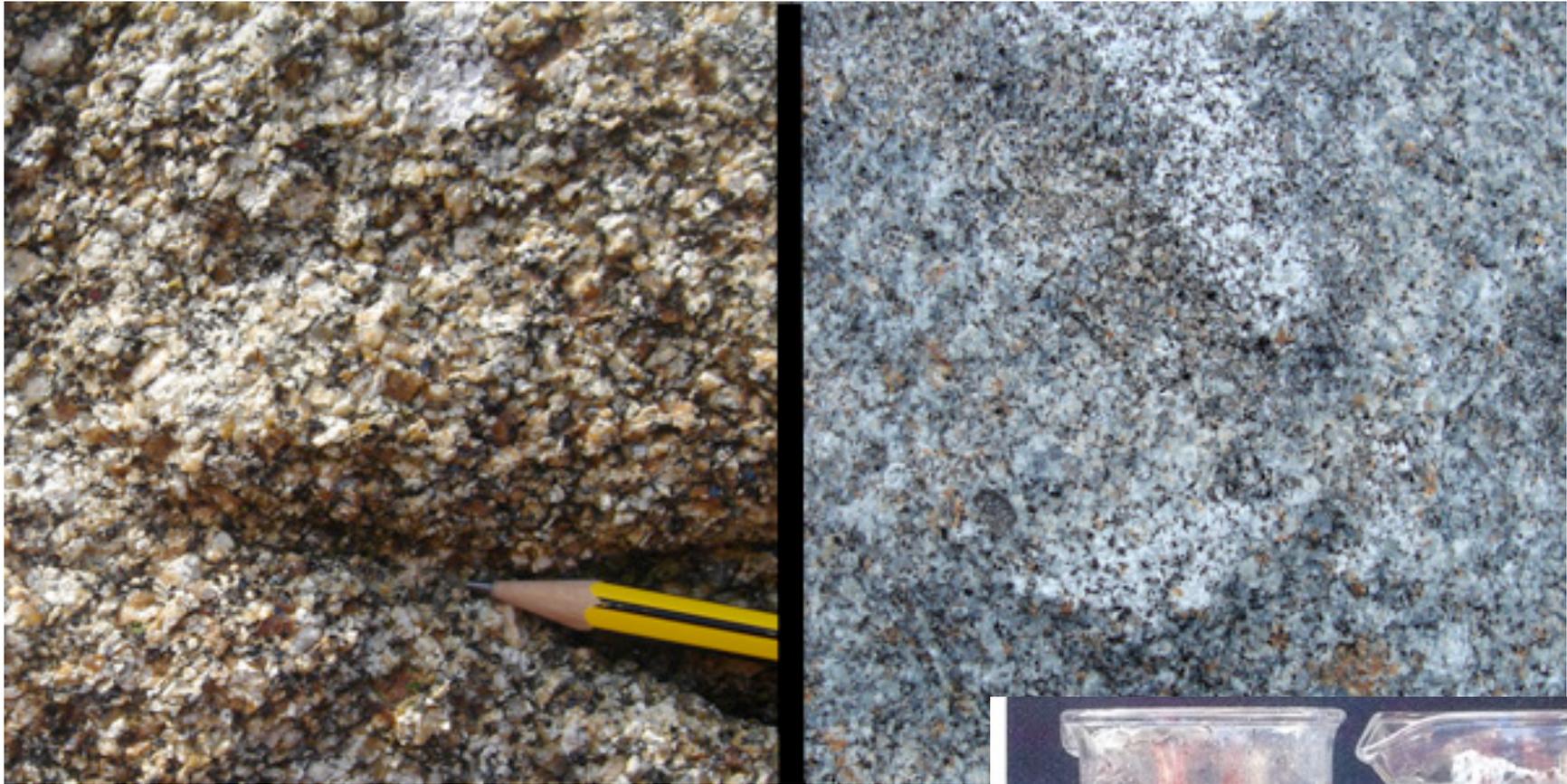
cause, plateau  
calcaire

barre  
calcaire

Vallée de la Jonte, Cévennes

*photo Escuyer*

# L'altération chimique : granite de Chausey



**Granite altéré** (à gauche) : la surface est rugueuse et de couleur brune.

**Granite sain** (à droite) : la surface est presque lisse, sans cristaux proéminents, et de couleur gris bleuté. Les cristaux sont fortement engrenés les uns dans les autres.

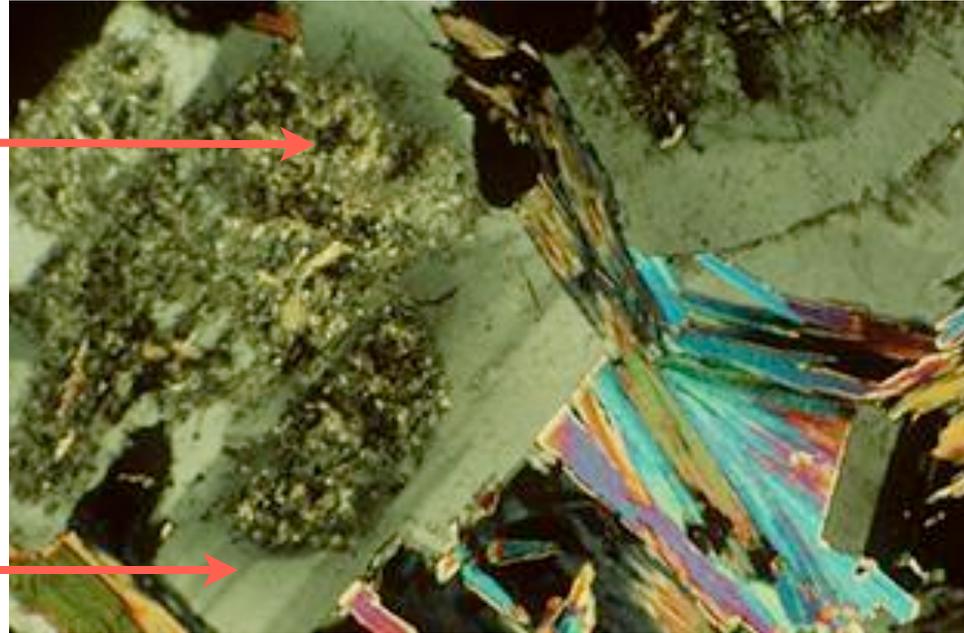


▲ Du granite altéré et du granite sain dans l'eau. Le granite altéré libère l'argile qui colore l'eau.

# Argilisation : de l'orthose à l'illite



argile



feldspath



orthose = minéral I<sup>aire</sup>

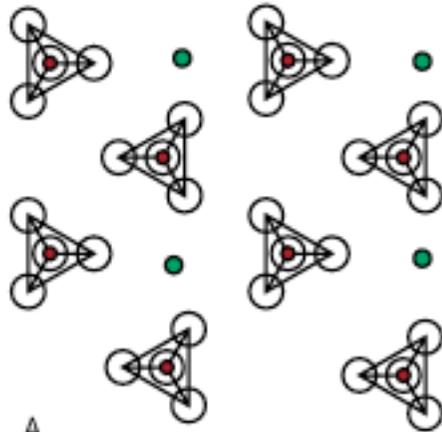
eau = solution d'attaque



illite = minéral II<sup>aire</sup>

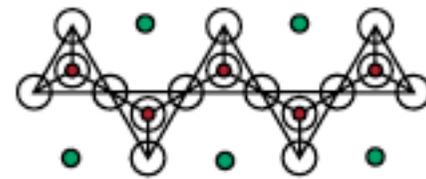
entraînés en solution

# La structure des silicates

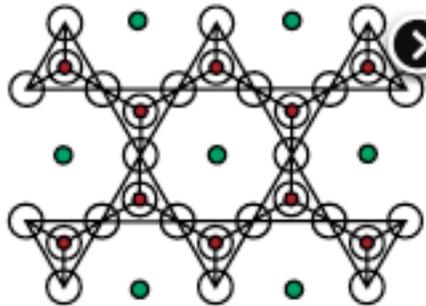


A.

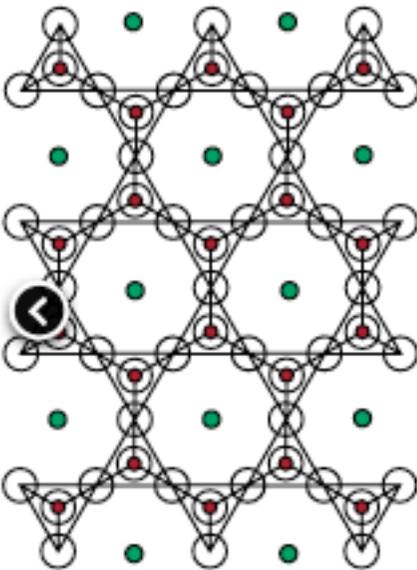
**Le plus altérable**



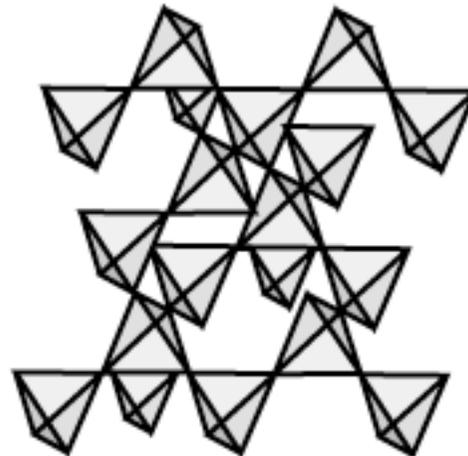
B.



C.



D.



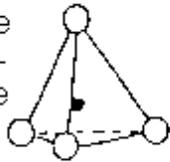
**E. Altération dépend de la chimie**

- A - olivine : tétraèdres isolés
- B - pyroxène : chaîne de tétraèdres
- C - amphiboles : double chaîne de tétraèdres
- D - mica et argiles : feuillets de tétraèdres
- E - quartz, feldspath : tétraèdres tous jointifs

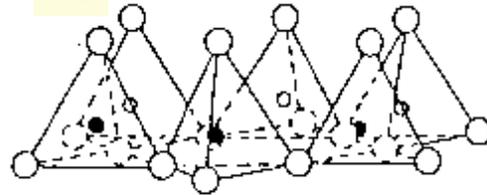
# Structure des phyllosilicates



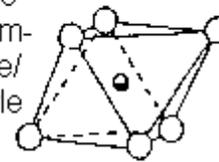
tétraèdre  
Silicium-  
Oxygène



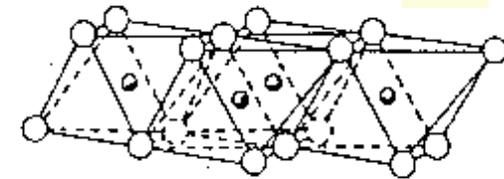
**Te** couche tétraédrique



octaèdre  
Aluminium-  
Oxygène/  
Hydroxyle



couche octaédrique **Oc**



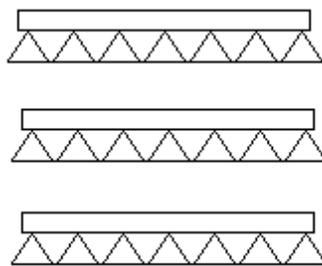
○ ○ Oxygène

○ ● Silicium

○ ○ Hydroxyle ● Aluminium, Magnésium..

**KAOLINITE**  $Al_2O_3 \cdot 2 SiO_2 \cdot 2 H_2O$

Oc  
Te



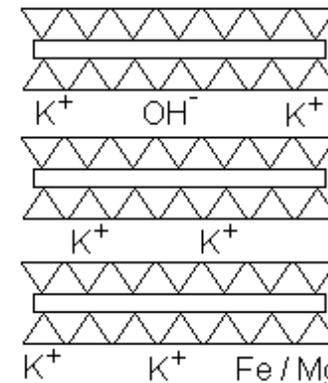
couche octaédrique  
couche tétraédrique

**Monosiallites (1/1)**

distance inter,  
réticulaire: 7 Å

**ILLITE**  $K Al_2(OH)_2 \cdot (Al Si_3(O, OH)_{10})$

Te  
Oc  
Te

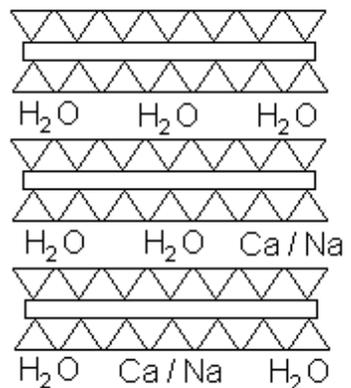


substitution de Si  
par Al

distance 10 Å

**SMECTITES**  $2 Al_2O_3 \cdot 8 SiO_2 \cdot 2 H_2O \cdot n H_2O$   
(Montmorillonite)  $(Mg, Ca) O \cdot Al_2O_3 \cdot 5 SiO_2 \cdot n H_2O$

Te  
Oc  
Te



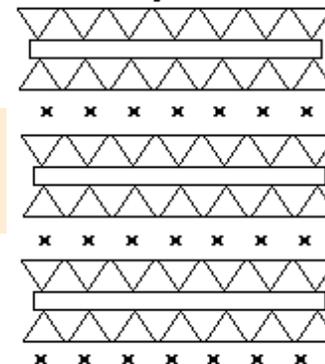
substitution de Al  
par Mg et Fe

**Bisiallites (2/1)**

distance 14 Å  
gonfle à 17 Å

**CHLORITE**  $Mg_5(Al, Fe)(OH)_8(Al, Si)_4O_{10}$

Te  
Oc  
Te



substitution de Al  
par Fe  
couche Mg-OH

distance 14 Å

# Transformations minéralogiques



le moins altérable



le plus altérable

séquence évolutive des minéraux II

Minéraux du granite		VERMICULITE	MONTMORILLONITE	KAOLINITE	GIBBSITE
quartz	 				
muscovite	 				
feldspath K	 				
biotite	 				
Plagioclase	Na	 			
	Ca	 			

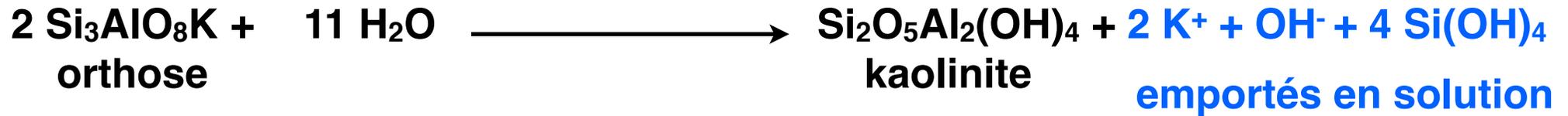
 en milieu tempéré

 en climat tropical

# De l'orthose à la kaolinite (climat tropical)



**feldspath**  $\longrightarrow$  **kaolinite**

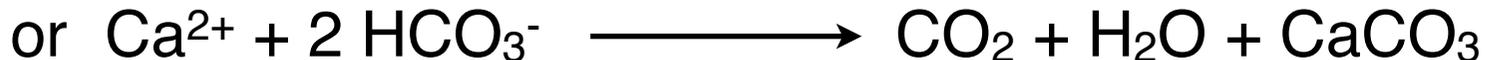


Si le drainage est très fort, toute la silice de la kaolinite est évacuée et il ne reste que la gibbsite,  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , insoluble. Le processus est alors l'**allitisation**.

# Altération et CO<sub>2</sub>



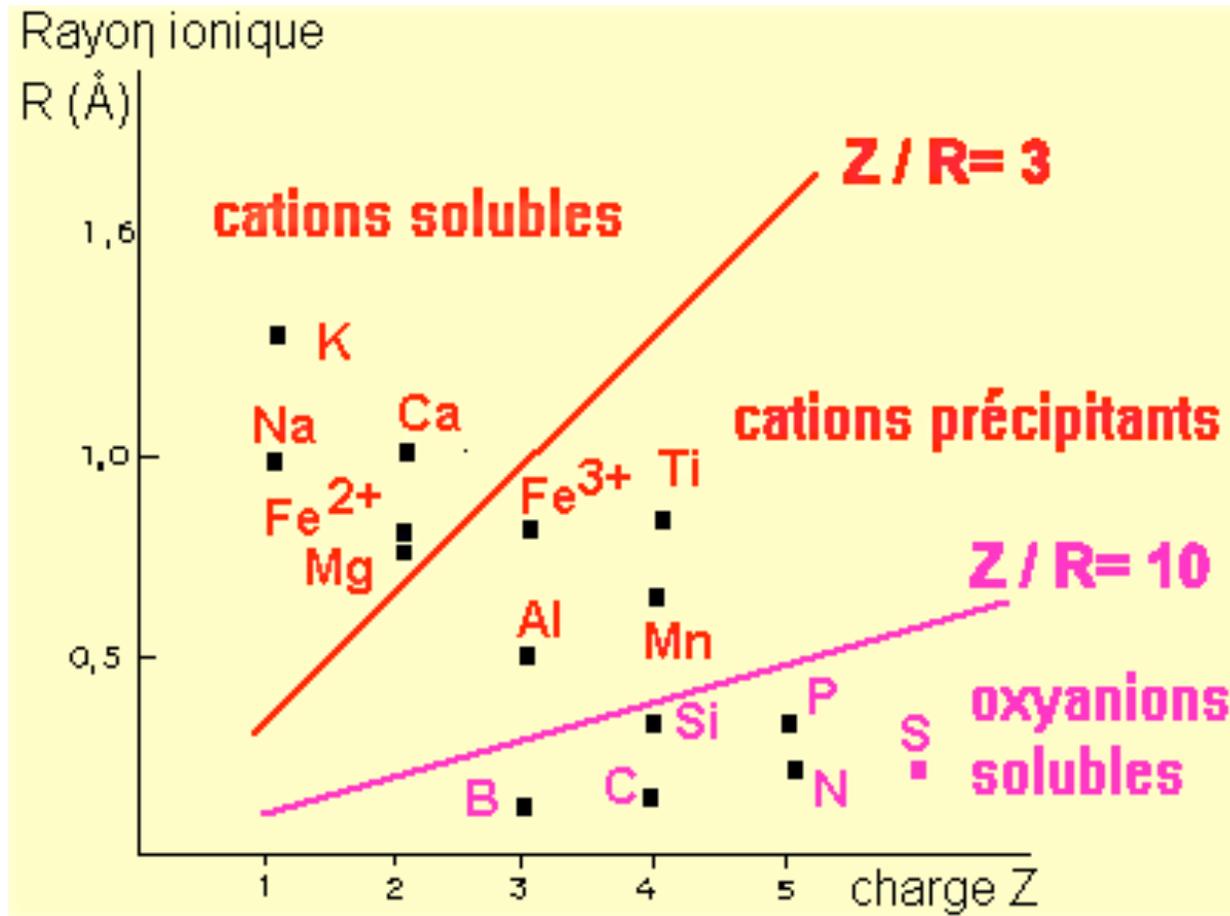
L'idée que l'altération des silicates consomme du CO<sub>2</sub> est bien illustrée par l'exemple de l'anorthite :



Donc au total, une mole d'anorthite consomme une mole de CO<sub>2</sub>.

**L'altération du granite consomme donc du CO<sub>2</sub>.**

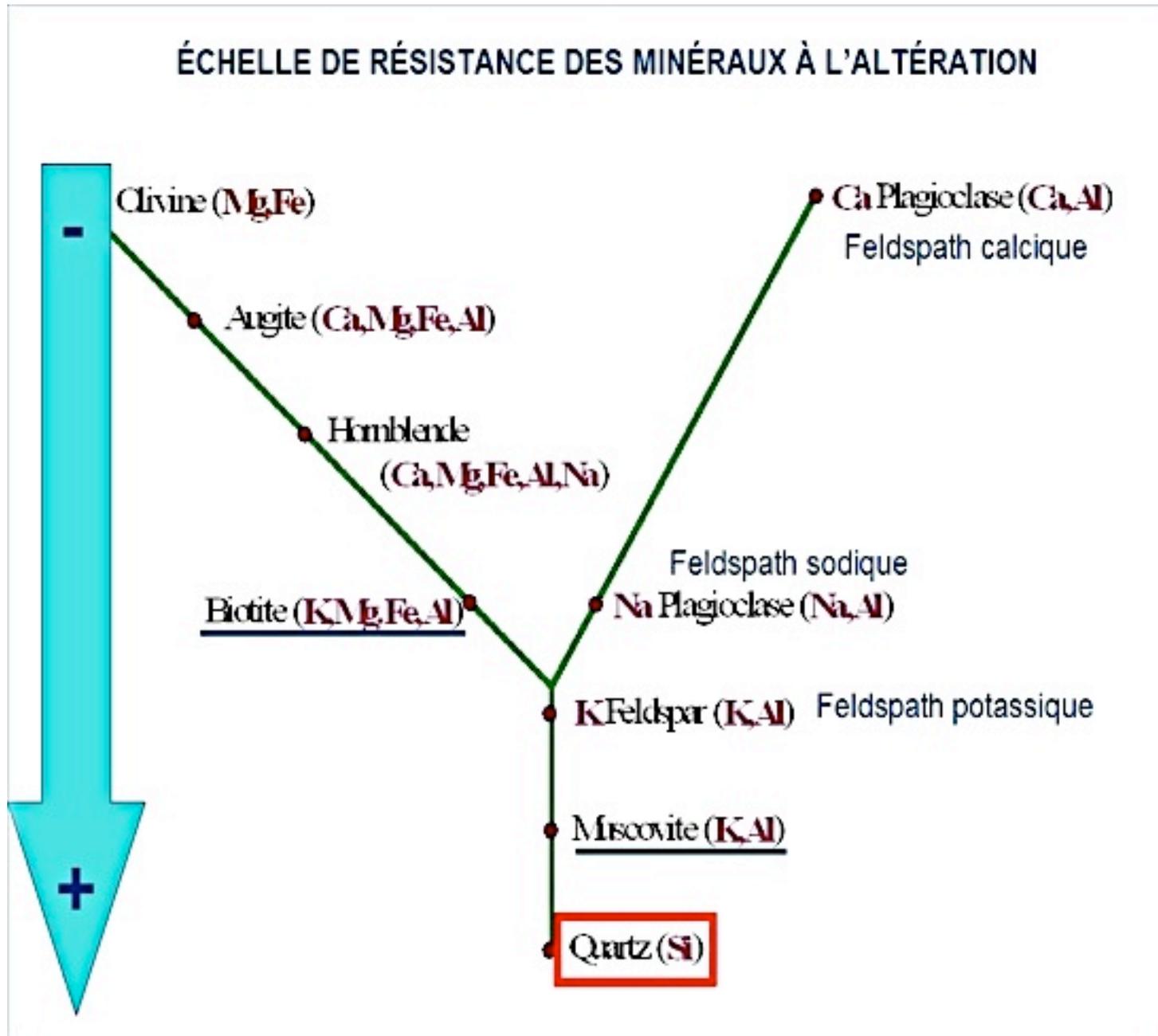
# L'eau emporte certains éléments



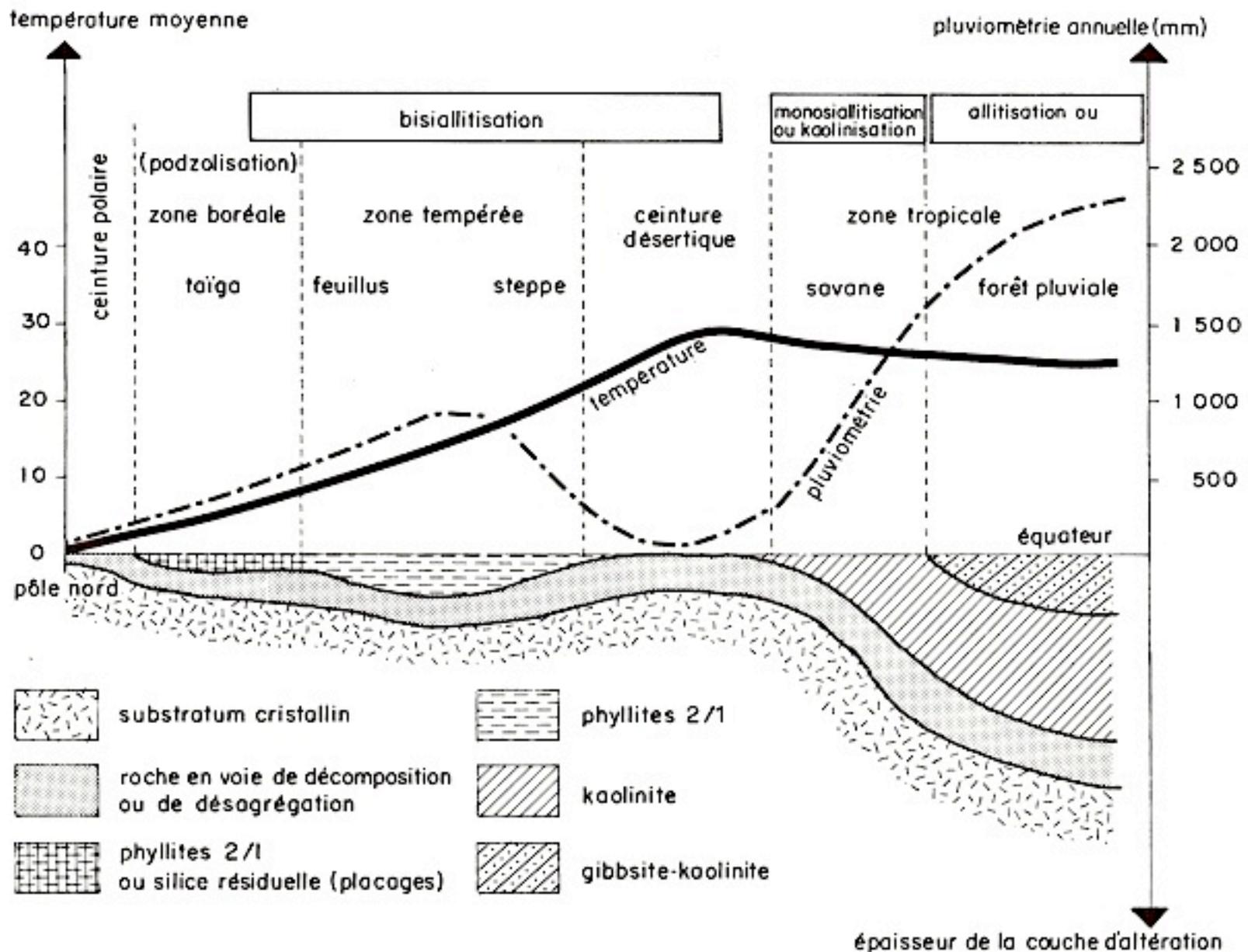
## Diagramme de Goldschmidt

Les éléments constitutifs de la roche réagissent différemment en présence d'eau d'infiltration

# Bilan d'altérabilité des minéraux



# Altération et climat



# Altération du granite et climat

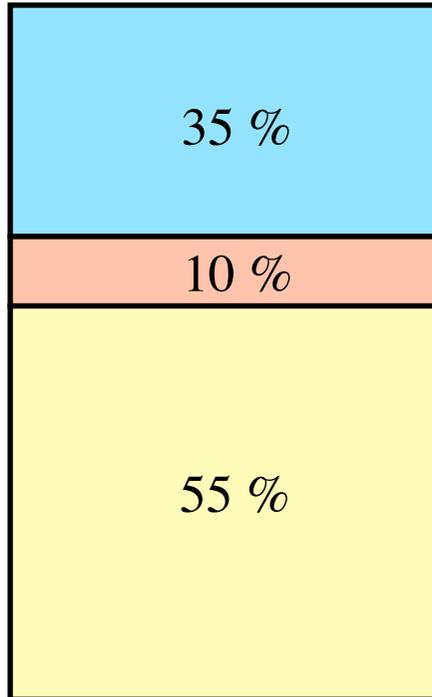


CLIMAT TEMPERE

## Bilan minéralogique et chimique

CLIMAT TROPICAL

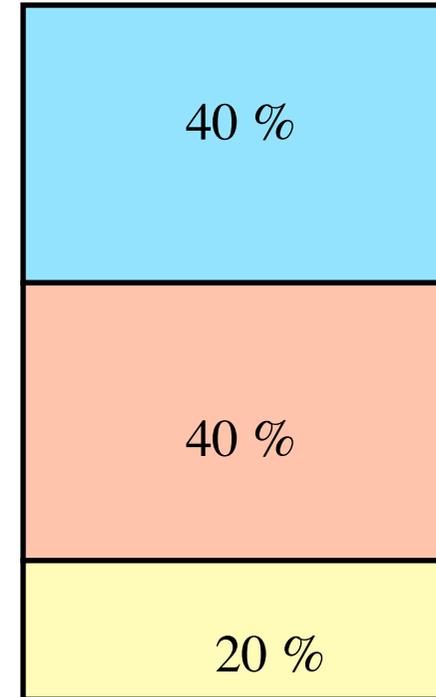
vermiculite



Phase soluble migratrice  
(Na, K, Mg, Ca...)

Minéraux néoformés

Minéraux primaires  
résiduels



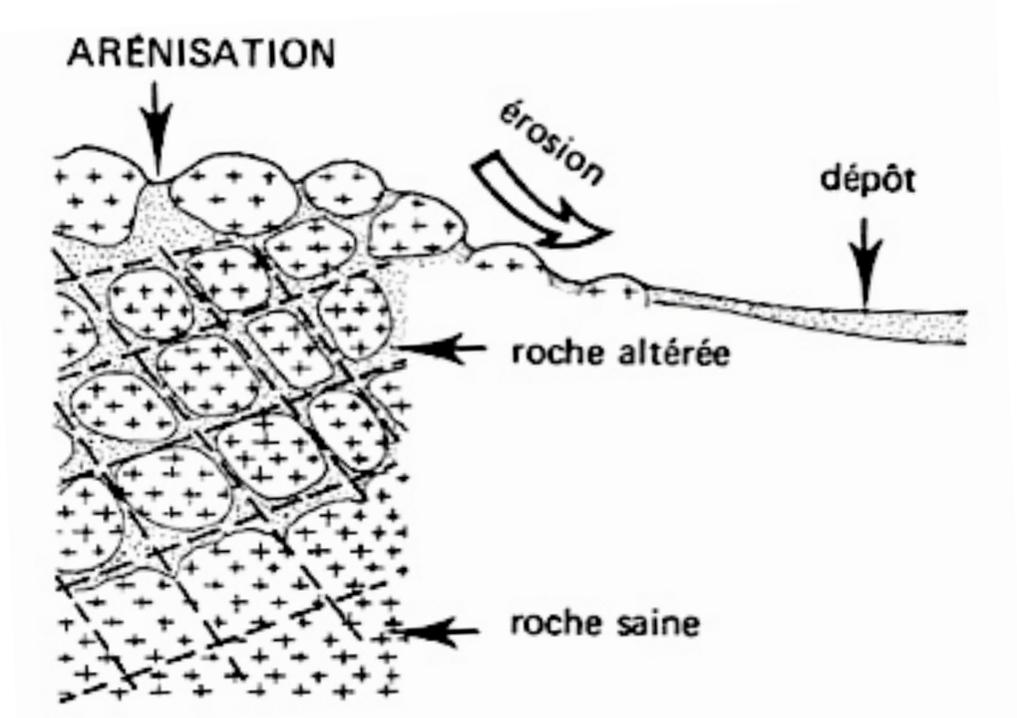
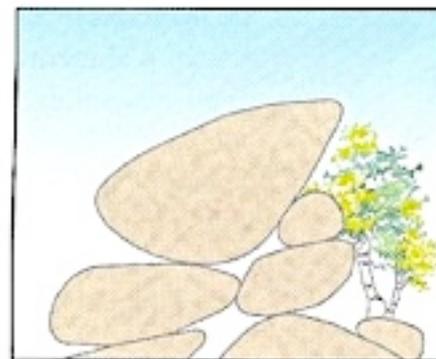
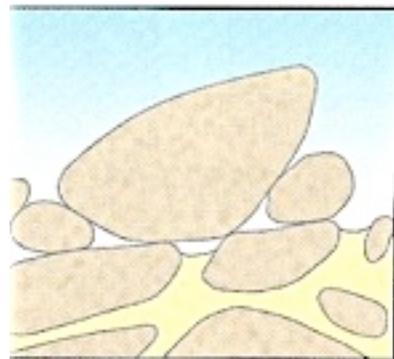
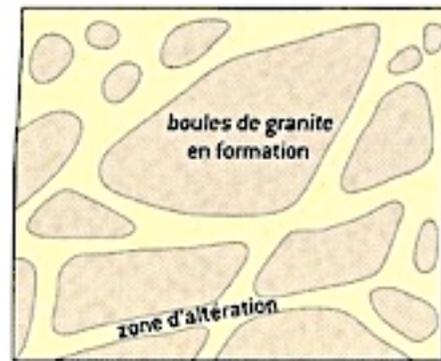
kaolinite,  
gibbsite



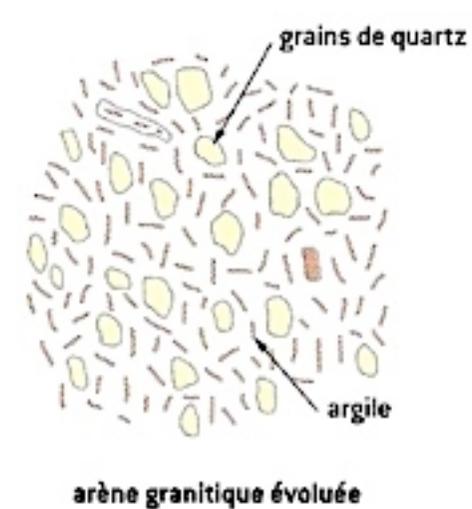
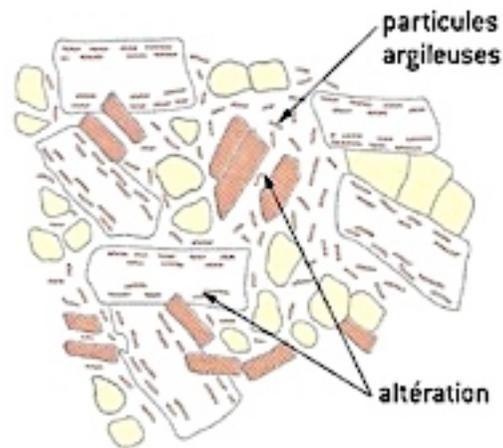
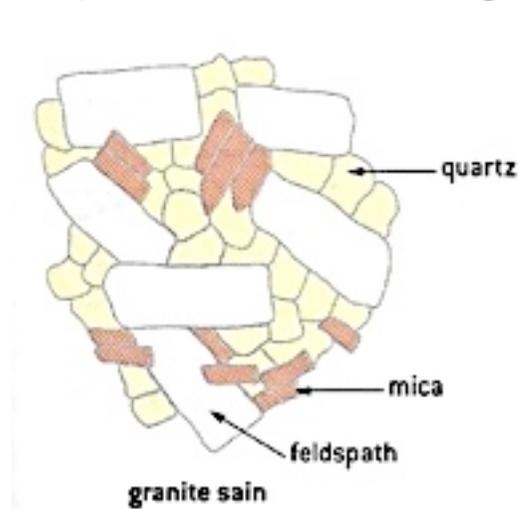
En résumé : l'altération des roches silicatées correspond à

- un **départ des ions mis en solution** , solubles dans les eaux aux conditions de la surface (principalement les ions  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  et  $\text{Fe}^{2+}$ , ainsi qu'une partie de la silice) ;
- une réorganisation de ce qui n'est pas exporté (principalement  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  et une partie de la silice) **pour former un nouveau réseau cristallin** stable aux conditions de la surface, le plus souvent pour former des phyllosilicates hydratés, les argiles.

# Arénisation en climat tempéré



Les étapes de la formation d'un chaos de granite.



# Chaos et arène

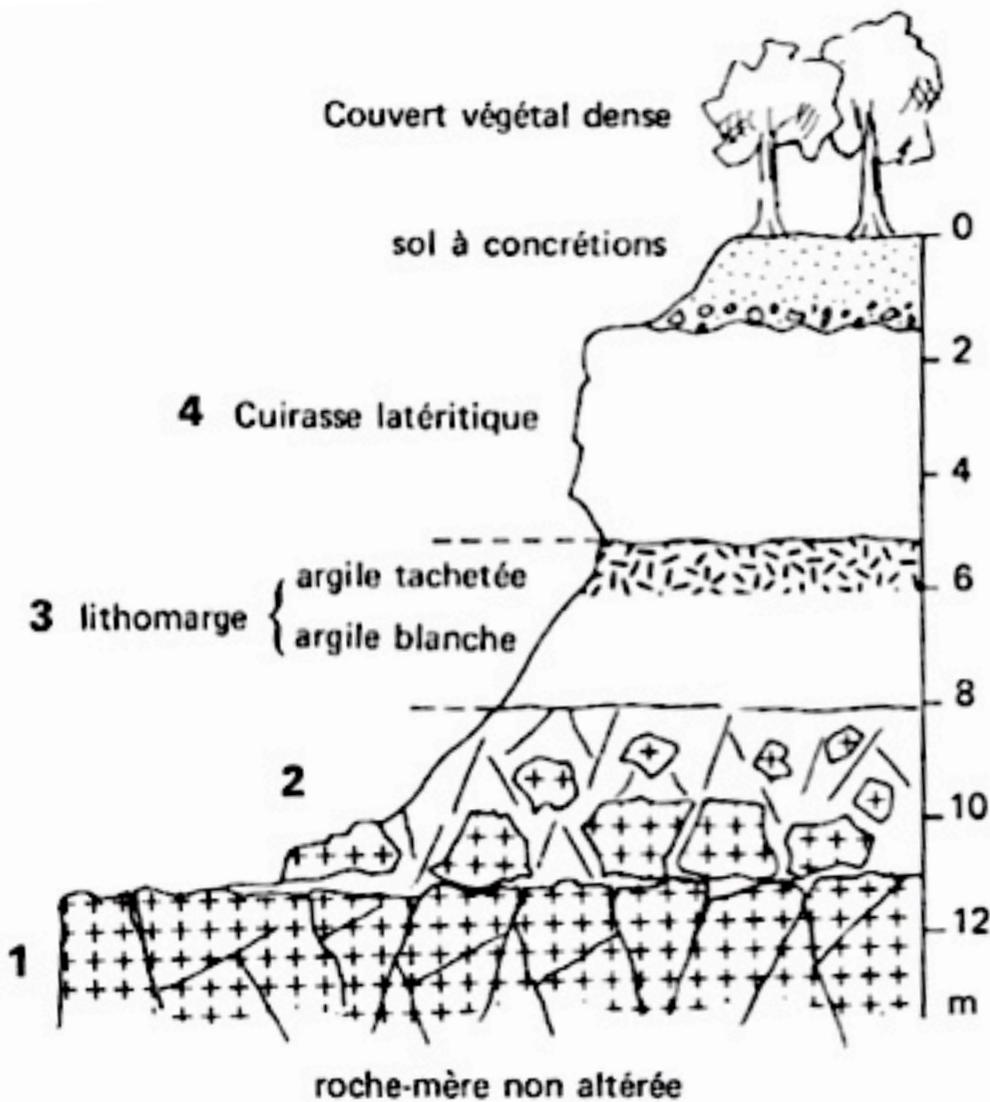


Boules de granite dans une **arène**



**Chaos granitique** : l'arène a été emportée

# Altération en climat tropical



1 = roche mère = granite

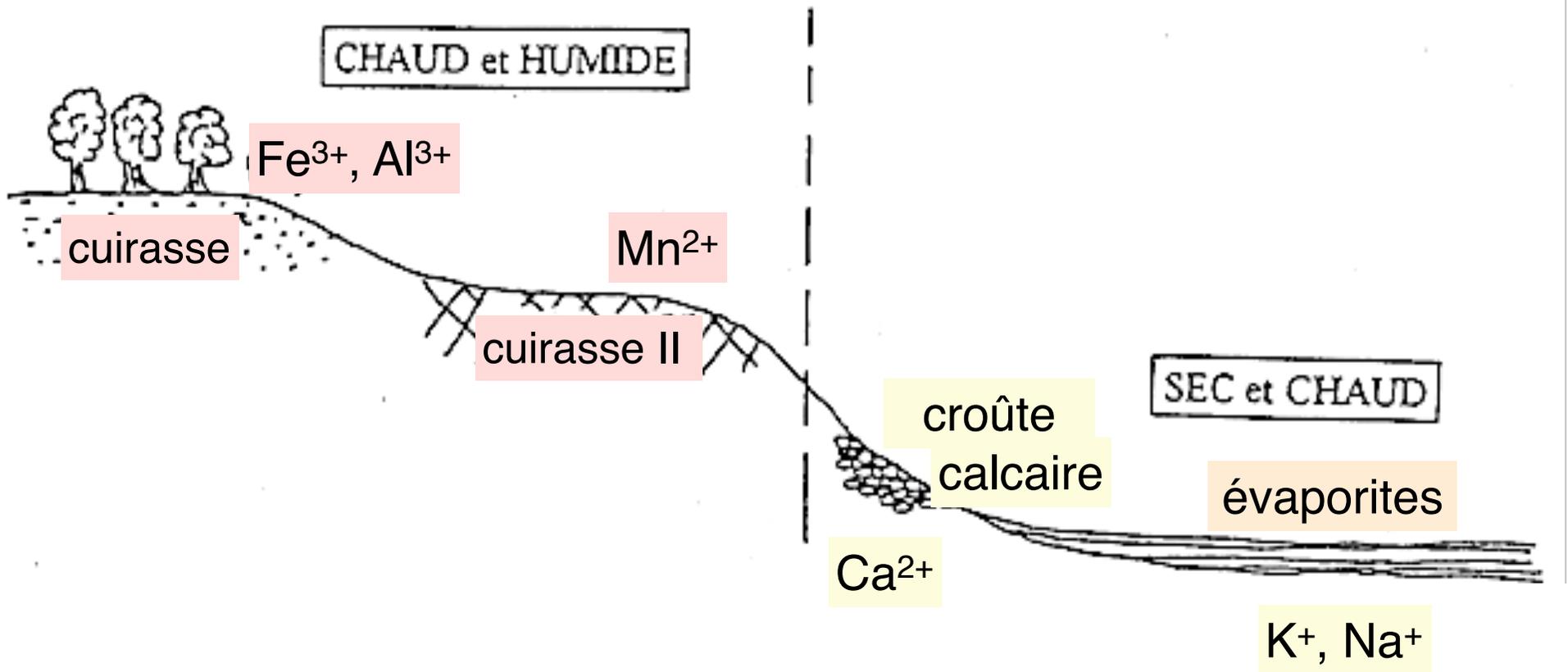
2 = arène granitique

3 = lithomarge de kaolinite et/ou gibbsite

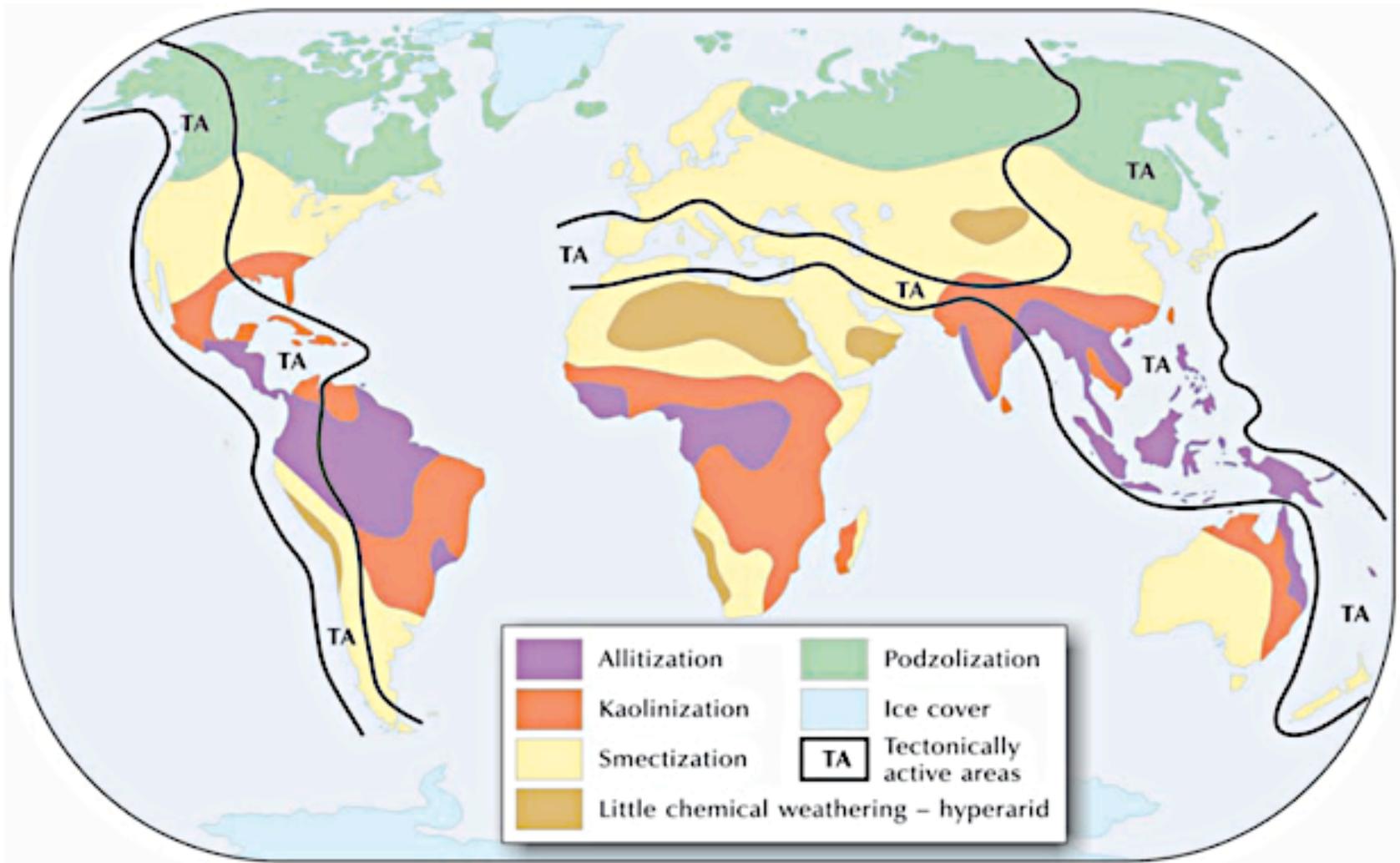
4 = cuirasse de latérite



# Devenir des ions



# Bilan : importance du climat



**Figure 7.8** The main weathering zones of the Earth. *Source:* Adapted from Thomas (1974, 5)

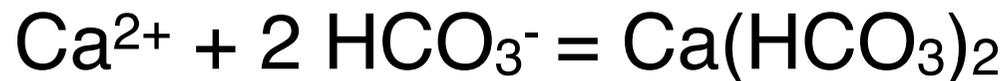
# Dissolution du calcaire



calcite



aragonite



# Concrétions calcaires

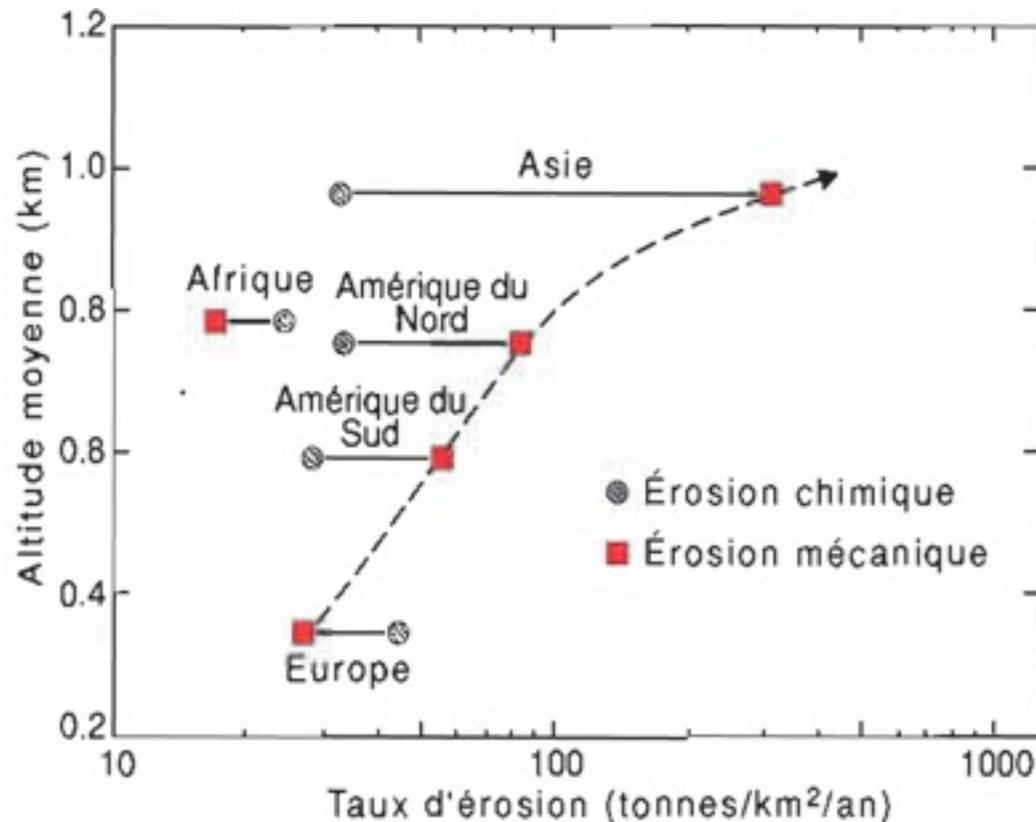


Suintement d'eau au plafond d'une grotte avec formation de calcite (concrétions).  
Grotte près de Vuillafans. Doubs.



Couches concentriques de calcite (dépôts successifs)  
dans une concrétion. Mont Saint-Clair. Sète. Hérault.

# Taux d'érosion en fonction de l'altération

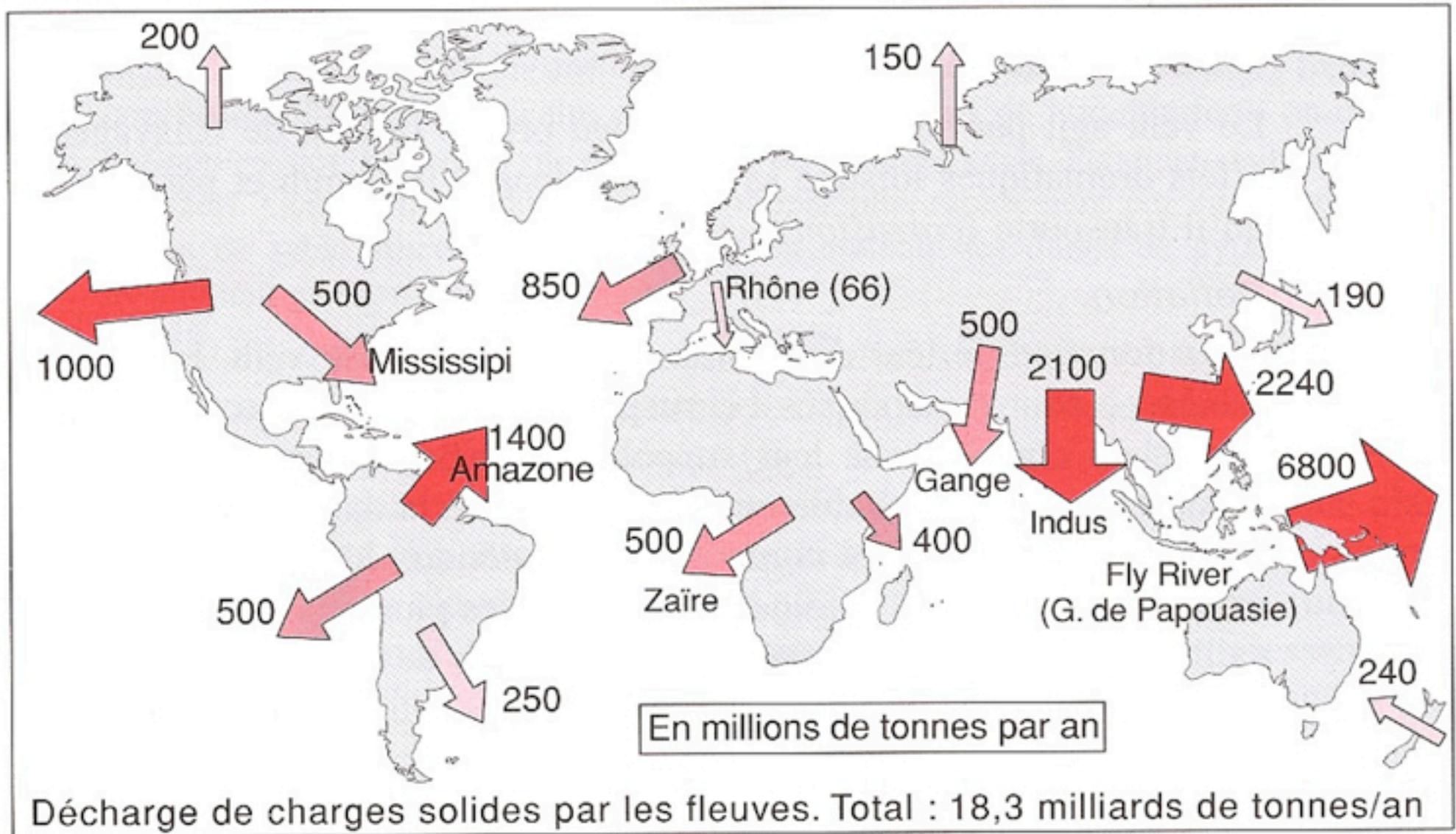


Érosion mécanique vs érosion chimique en fonction de l'altitude moyenne des différents continents.

L'érosion chimique paraît indépendante de ce paramètre qui influe fortement sur le taux d'érosion mécanique. On notera que l'Europe présente un taux d'érosion chimique supérieur à celui de l'érosion mécanique. L'Afrique présente un taux d'érosion mécanique « anormal » pour son altitude moyenne.

# **3. Erosion et entraînement de la matière**

# Répartition mondiale des apports solides



# L'estuaire du Colorado... à sec



Embouchure du fleuve Colorado au Mexique, ou plutôt le lit du fleuve asséché sur environ 50 km depuis 40 ans.



Delta du fleuve Colorado desséché



1 km<sup>3</sup> d'eau est prélevé en excès dans le fleuve chaque année, à 80% pour les activités agricoles.

# Composition des eaux des fleuves



**Table 4.5** Average composition of river waters by continents<sup>a</sup> (mg/l)

Continent	SiO <sub>2</sub>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Σ <sub>i</sub> <sup>b</sup>
Africa	12	5.25	2.15	3.8	1.4	3.35	3.15	26.7	45.8
North America	7.2	20.1	4.9	6.45	1.5	7	14.9	71.4	126.3
South America	10.3	6.3	1.4	3.3	1	4.1	3.5	24.4	44
Asia	11	16.6	4.3	6.6	1.55	7.6	9.7	66.2	112.5
Europe	6.8	24.2	5.2	3.15	1.05	4.65	15.1	80.1	133.5
Oceania	16.3	15	3.8	7	1.05	5.9	6.5	65.1	104.5
World	10.4	13.4	3.35	5.15	1.3	5.75	8.25	52	89.2

Notes:

a The concentrations are exoreic runoff with human inputs deducted

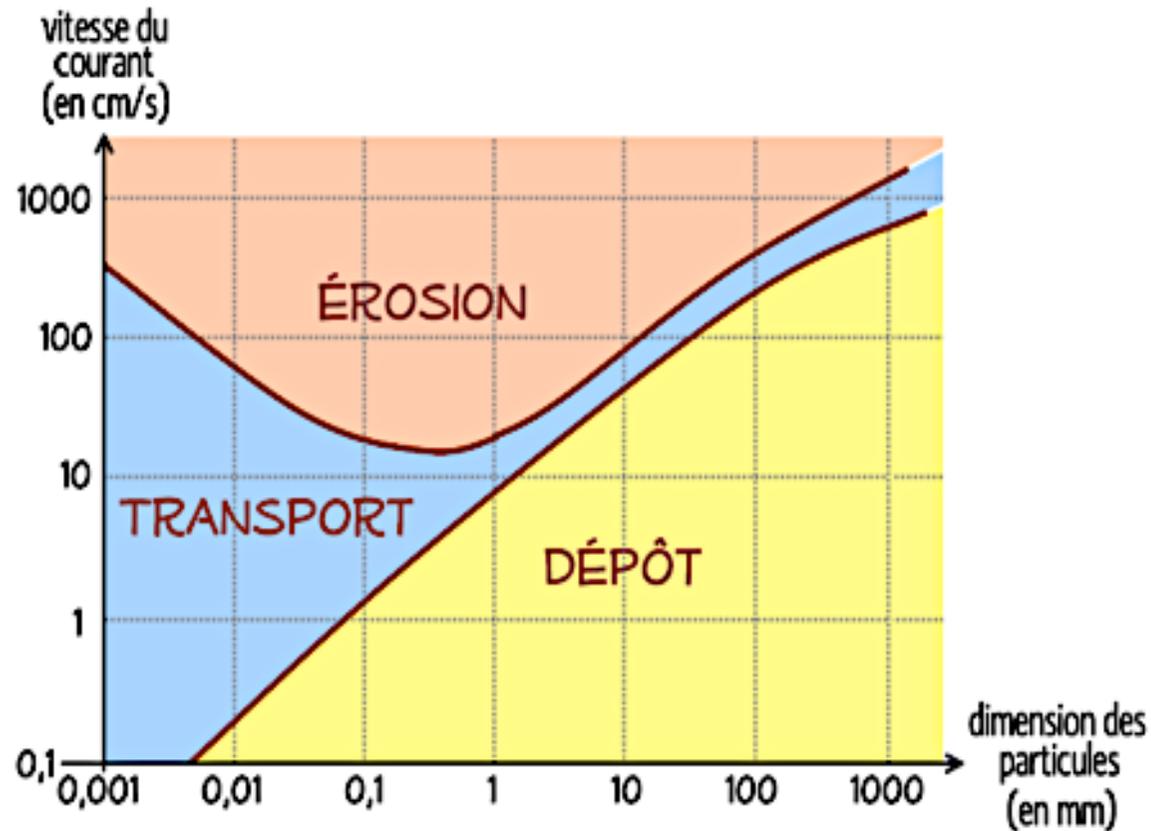
b Σ<sub>i</sub> is the sum of the other materials

Source: Adapted from Meybeck (1979)

# Delta du Gange : forte charge en sédiments

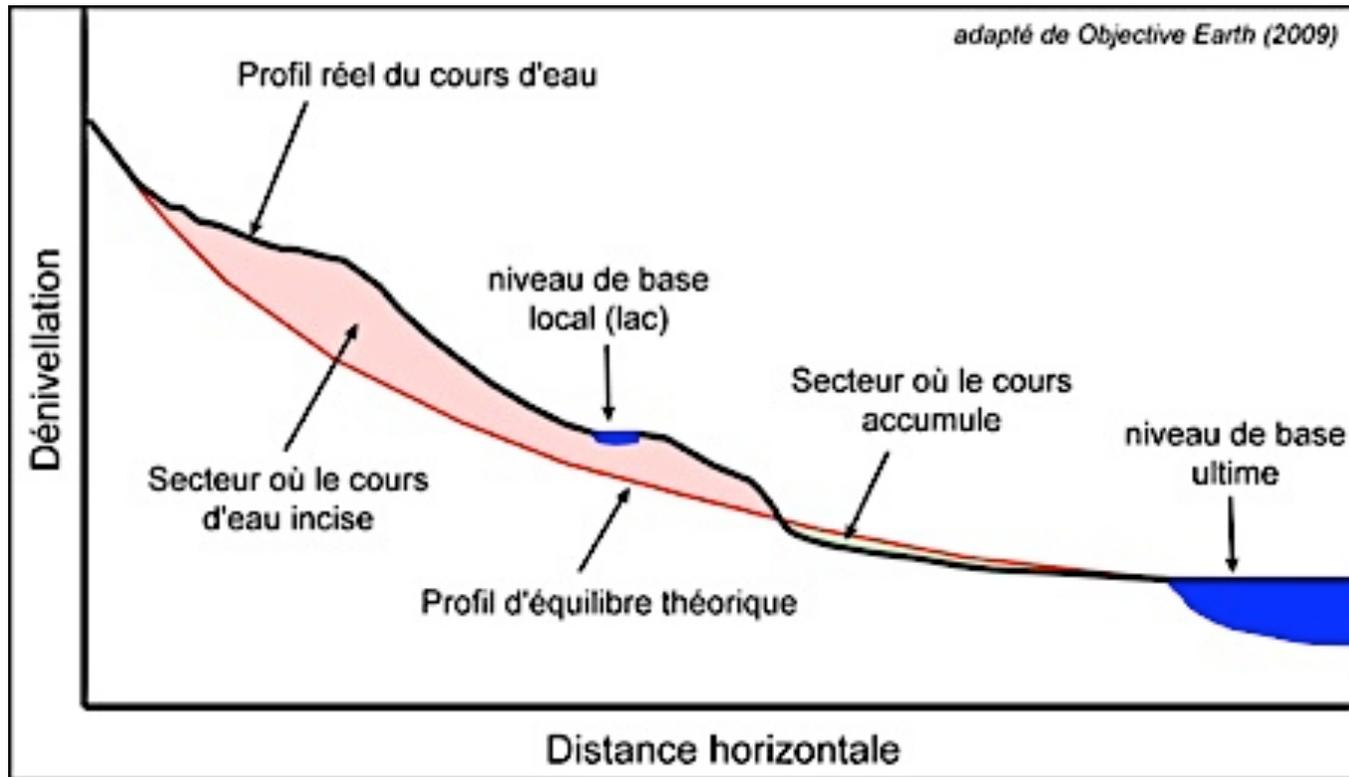


# Transport, érosion et dépôts



**Diagramme de Hjulström**

# Les cours d'eau : entre dépôt et érosion



## Profil d'équilibre et niveau de base d'un cours d'eau.

Les réseaux fluviaux incisent les reliefs jusqu'à atteindre un profil d'équilibre concave. Dans la réalité, le profil théorique d'équilibre n'est presque jamais atteint.

Le niveau de base représente le point le plus bas du bassin versant. Sa modification (relèvement ou abaissement) provoque une diminution ou une augmentation (respectivement) de l'érosion régressive.

# Effet de la déforestation à Madagascar



Sols érodés, rouge vif dans l'estuaire de Betsiboka, Madagascar. (Photo courtoisie de la NASA/JSC)

# Effet de la déforestation à Madagascar



# Lutte contre le ravinement en Algérie



**ravinement**



**parcelles enherbées +  
plantations de fruitiers**

# Exploitation minière et érosion



**Table 4.6** Natural and mining-induced erosion rates of the continents

Continent	Natural erosion (Mt/yr) <sup>a</sup>	Hard coal, 1885 (Mt)	Brown coal and lignite, 1995 (Mt)	Iron ores, 1995 (Mt)	Copper ores, 1995 (Mt)
North and Central America	2,996	4,413	1,139	348	1,314
South America	2,201	180	1	712	1,337
Europe	967	3,467	6,771	587	529
Asia	17,966	8,990	1,287	1,097	679
Africa	1,789	993	–	156	286
Australia	267	944	505	457	296
Total	26,156	18,987	9,703	3,357	4,442

Note:

a Mt = megatonnes (= 1 million tonnes)

Source: Adapted from Douglas and Lawson (2001)

Hard coal= houille, brown coal = charbon, iron ores = minerai de fer, copper ores = minerai de cuivre

# CONCLUSION



zone située du côté Nord du Cratère de Newton dans l'hémisphère Sud de Mars.

sol légèrement givré (les zones brillantes)

+ dunes de sable formées par le vent  
+ ravines creusées par l'eau.

