

# **CHAPITRE 2**

## **Cycle des roches sédimentaires**

Les roches sédimentaires font partie inhérente du cycle géologique, puisque leurs constituants (grains ou ions solubles) résultent de l'altération de roches ou de sédiments préexistants, que ces constituants ont subi un certain transport et qu'ils se sont déposés ou ont été précipités dans un bassin de sédimentation. L'évolution post-dépôt de ces sédiments (diagenèse) les transforme en roches sédimentaires (Figure 1). Ces roches peuvent subir un métamorphisme et être à leur tour soumises à l'altération lors de leur passage à la surface des continents.

## *1. Définitions*

Les **roches sédimentaires** sont des **roches exogènes**, c'est-à-dire qui se forment à **la surface de la terre**. Elles résultent de l'accumulation de débris d'origine **minérale** (dégradation d'autres roches), **organique** (restes de végétaux ou d'animaux), ou de **précipitation chimique**. Les roches sédimentaires affleurent sur 75 % de la surface des continents, mais en considérant l'ensemble de la **croûte terrestre** (depuis la surface jusqu'à 35km de profondeur sous un relief plat), elles ne constituent plus que 5 % de son volume total.

Les roches sédimentaires se forment à la surface de la terre à partir de **particules** d'origines très variées.

➤ Les **particules** composant les roches sédimentaires sont d'origines diverses. Elles peuvent provenir d'éléments arrachés aux roches par l'érosion, de restes d'êtres vivants ou alors de minéraux présents en solution (carbonate et calcium) et se transformant en un corps solide (précipité) dans des conditions particulières.

➤ Les particules sont transportées par *les agents de transports (eau, air, glace, etc.) puis accumuler* dans les creux du relief ou au fond de l'eau. Quel que soit le milieu, marin, lacustre (lacs), fluviatile (fleuves et rivières) ou terrestre (désert), l'ensemble des particules finit par **se déposer en couches superposées** formant des « **dépôts sédimentaires** ». Les dépôts sédimentaires se présentent donc sous forme de couches successives, les plus basses couches correspondant aux dépôts les plus anciens.

➤ Les dépôts sédimentaires, par leur propre poids, exercent une pression dite lithostatique (PL) sur les particules. Les couches se compactent (s'écrasent) et se stabilisent. L'eau est chassée (déshydratation). Cet ensemble d'actions appelé diagenèse donne aux matériaux un aspect stratifié, en couches compactes. Après cette transformation le dépôt sédimentaire devient une « **roche sédimentaire** ».

➤ Parfois, la roche reste meuble, c'est le cas du sable. Mais, le plus souvent, elle se **cimente** sous l'effet de la **diagenèse**, c'est le cas des calcaires, des grès et des calcarénites

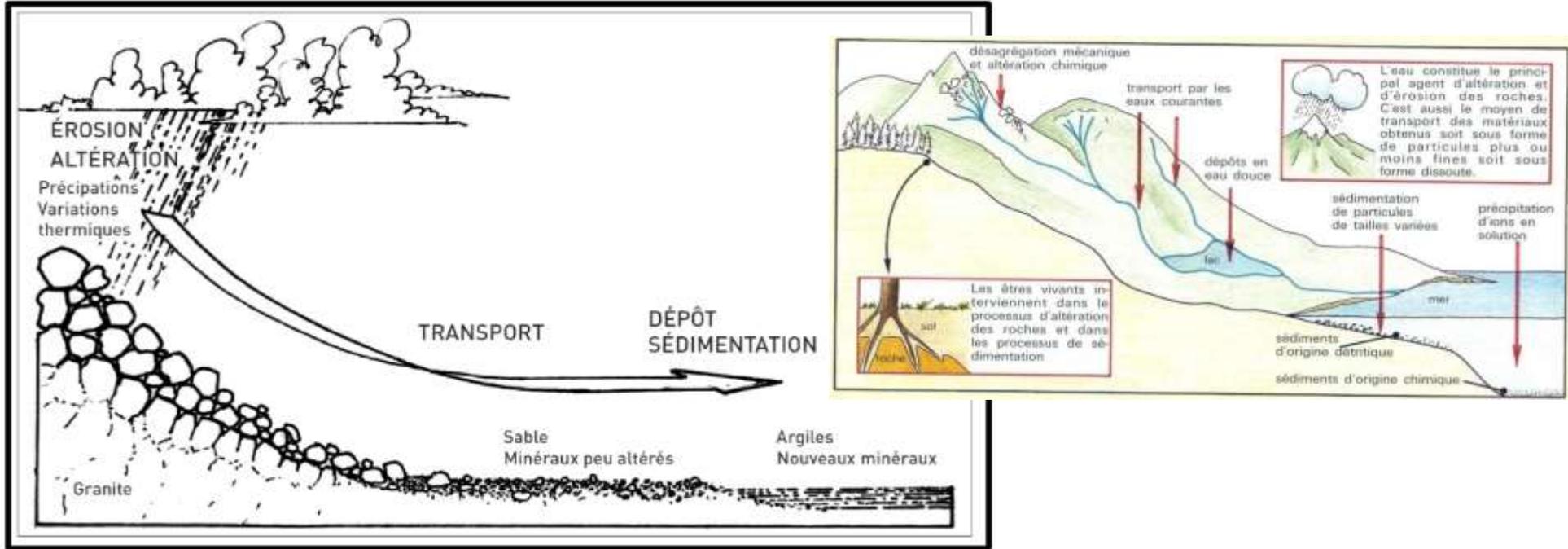
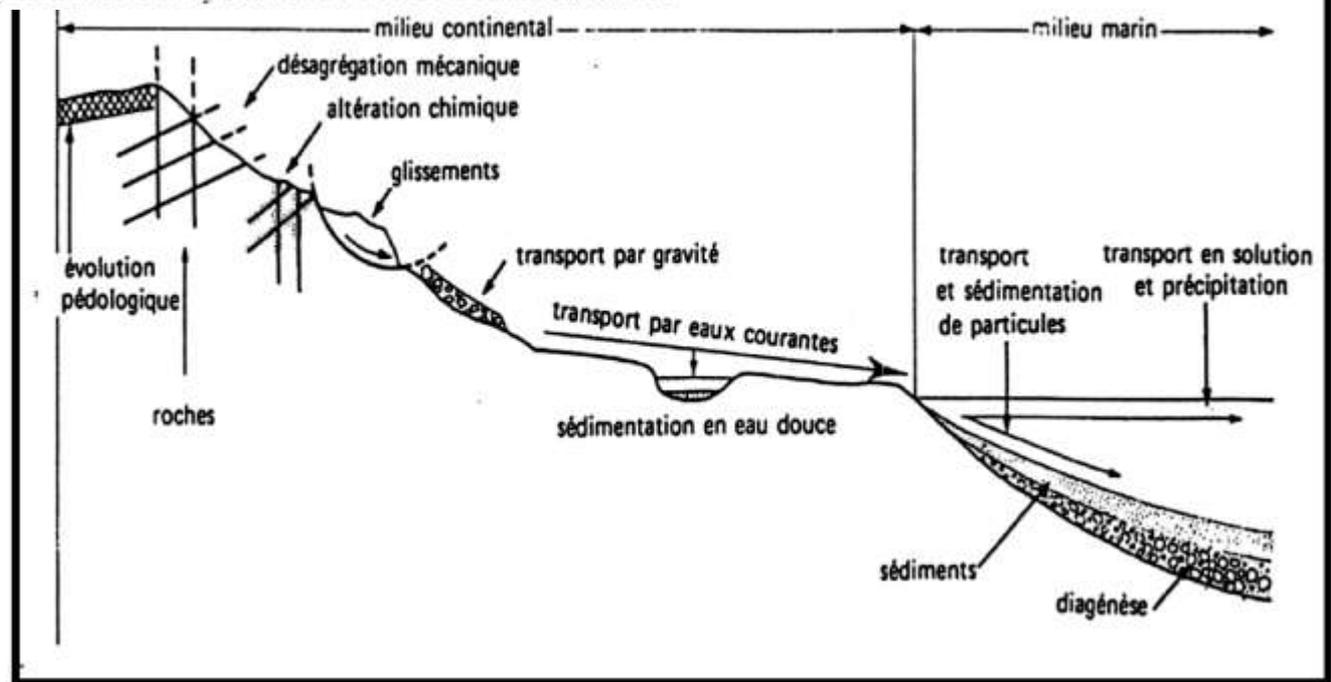


Figure 1 : Schémas montrant les composantes du cycle des roches sédimentaires



## *2. Composantes du cycle des roches sédimentaires*

De la roche mère (métamorphique, magmatique, ou sédimentaire préexistante) à la roche sédimentaire nouvellement formées se succèdent plusieurs étapes :

- 1- **l'érosion** : désagrégation des roches et enlèvement des débris (au sens large, l'érosion inclut l'altération) ;
- 2- **l'altération / dissolution** : modification des propriétés physico-chimiques des minéraux et des roches par les agents atmosphériques, par des processus chimiques
- 3- **le transport** : par des fluides (eau, air, glace) ;
- 4- **la sédimentation** : arrêt du transport qui conduit au dépôt de sédiments ;
- 5- **la diagenèse**: transformation des sédiments en roche sédimentaire consolidée.

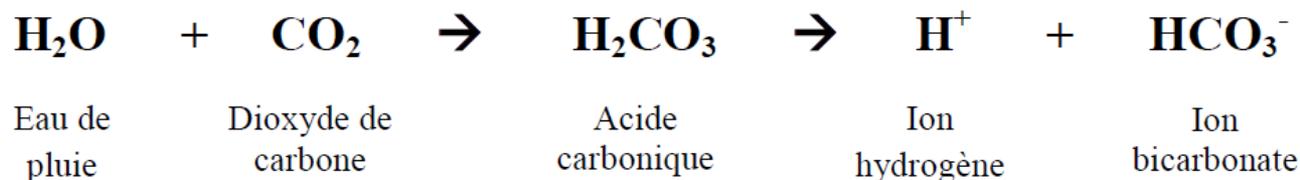
## *Altération/dissolution*

L'**altération** est l'ensemble des *modifications chimiques et physiques* qui affectent les sédiments et les roches exposés à l'atmosphère, à l'hydrosphère et à la biosphère. Elle est une des composantes de l'**érosion**, qui comprend également la destruction mécanique des roches. L'altération désigne donc l'ensemble de transformation des roches par des processus physiques (mécaniques), chimiques et/ou biologiques (Plantes et animaux) en surface. Ces modifications se font par des agents atmosphériques, les eaux souterraines et thermales (altération hydrothermale). Elle est contrôlée en particulier par :

- la solubilité des minéraux,
- la nature et la structure de la roche (degré de fracturation),
- le climat (température et précipitations),
- la présence de sol et de végétation,
- la durée d'exposition.

L'**altération** a généralement pour effet de rendre les roches moins cohérentes, ce qui **facilite** leur désintégration par l'**érosion**.

Le déclencheur essentiel de l'altération est l'acide carbonique **H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>**, résultant de la réaction entre l'eau (H<sub>2</sub>O) de pluie et le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) gazeux de l'atmosphère :



Il existe trois familles de **processus** d'altération :

les **processus chimiques** entraînent une modification de la composition chimique ou une dissolution des minéraux de la roche. Ils nécessitent la présence d'eau et sont de loin les plus importants ;

les **processus physiques** provoquent une fragmentation mécanique de la roche sans affecter la composition des minéraux ;

les **processus biologiques** conduisent également à une fragmentation ou à une détérioration chimique des roches par l'action d'organismes vivants (animaux, plantes, bactéries).

En fait, l'altération d'une roche résulte généralement de **l'effet conjoint de plusieurs processus**. Par exemple, des petites fractures créées au sein d'une roche par un **processus physique** permettent l'infiltration d'eau qui *favorise l'altération chimique*.

## *Altération Physique ou mécanique*

- a. Gel : Les alternances de gel-dégel, en climat suffisamment humide, fragmentent les roches (cryoclastie). L'eau en gelant augmente son volume de 9-10% et élargit progressivement les fractures.
- b. Végétaux : Éclatement de la roche par les racines
- c. Tectonique (microfractures) : L'altération dans ce cas progresse le long de plans de fracture (**diaclasses**) d'origine vraisemblablement tectonique, géométriquement ordonnés, plus ou moins horizontaux et verticaux. Cela donne un débit en boules avec une disposition plus "géométrique".
- d. Dilatation thermique dans les régions désertiques
- e. Abrasion (vent, sable, rivière turbulente...)

## La météorisation

### Les processus physiques de la météorisation

- **Gélifraction** : climat froid
- **Expansion-contraction thermique** : déserts
- **Haloclastie** : régions côtières, déserts salés
- **Décompression** : suivant déglaciation ou érosion rapide

## La météorisation

### **La gélifraction**

- C'est la fragmentation d'une roche sous l'effet des cycles gel-dégel.
- Particulièrement active dans les régions tempérées, subarctiques et arctiques.
- L'eau liquide qui s'insère dans des fissures et qui gèle exerce de fortes pressions qui finissent par briser la roche (volume augmente de 10%).
- La gélifraction alimente les éboulis, les cônes de déjection, les moraines.

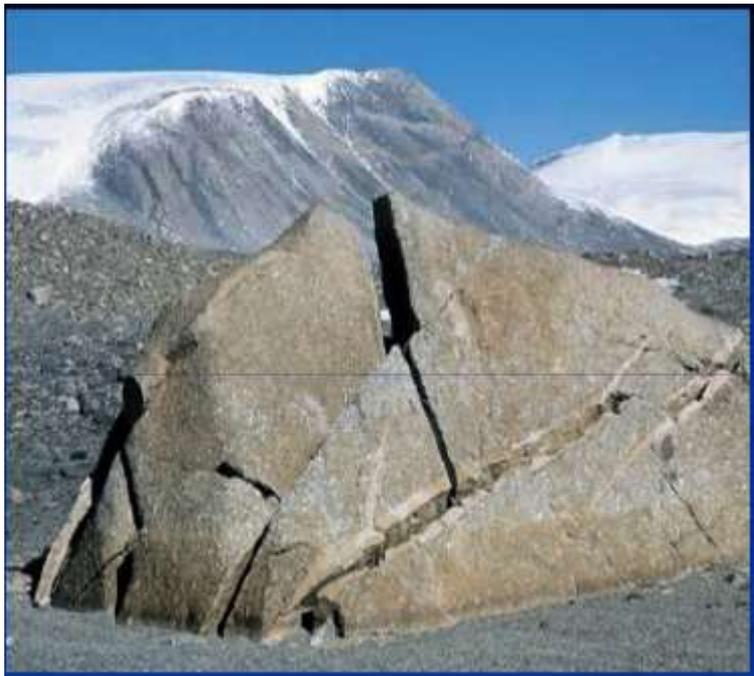
Umiujaq, Nunavik, Qc



Soulèvement  
gélival et  
expulsion de  
blocs



# Gélifraction ou Cryoclastie



Umiujaq, Nunavik, Qc





Gélifraction ancienne: fragments émoussés



<http://geopyrenees.free.fr/gelifraction.php>

Bloc pulvérisé par la gélifraction

## Gélifracts



Gélifraction en montagne



# Thermoclastisme

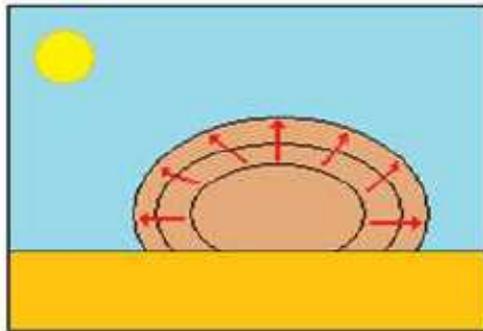
## La météorisation

### L'expansion et la contraction thermique

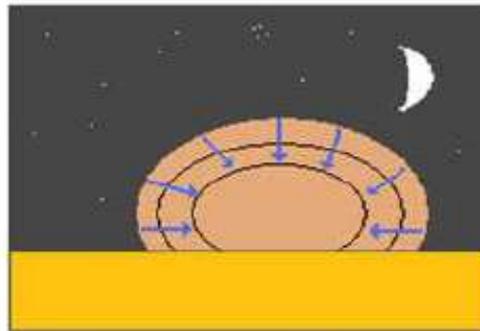
- Selon l'amplitude thermique entre le jour et la nuit
- Jour: expansion ; nuit: contraction
- Selon couleur et composition, les minéraux réagissent différemment (quartz 3× plus d'expansion que feldspath)
- Agit sur la couche superficielle de la roche, la roche étant faible conducteur : « écaillage » (*onion-skin weathering*)
- Actif dans les zones désertiques avec de fortes variations thermiques (autre: incendie de forêt)
- Favorisé par une présence de sel et d'humidité

## La météorisation

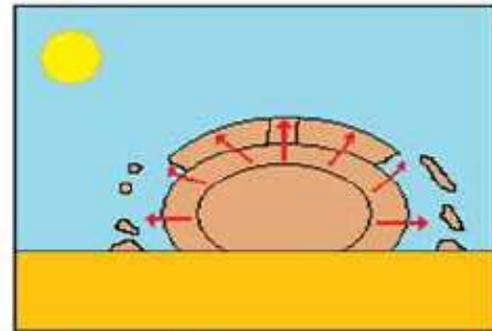
### L'expansion et la contraction thermique



Jour: chaleur, expansion des minéraux en surface de la roche.



Nuit: les couches superficielles de la roche se refroidissent rapidement et se contractent.



Après plusieurs cycles d'expansion/contraction, les couches de surface sont « épluchées ».

# L'expansion et la contraction thermique



« Onion-skin weathering »

*Onion-skin weathering »*



## La météorisation

### **L'haloclastie**

- Processus de désagrégation de la roche lié à la cristallisation de solutions salines.
- Particulièrement actif dans les déserts (faible précipitation et dilution, forte évaporation) et les zones côtières.
- Roches poreuses et perméables (grès).
- L'eau chargée de sels s'infiltrant dans les fissures, les diaclases et les pores. Lorsqu'elle s'évapore, les sels cristallisent,
- Pression sur les parois des pores, fissures ou diaclases.
- Désolidarisation minéralogique.
- Désintégration granulaire (grain par grain).



Taffonis dans un micaschiste, Cap de Creus (Espagne)

Photographie : A.Aubray



Yehliu, Taiwan

<http://www.newworldencyclopedia.org/entry/Weathering>



Salt Point State Park, Ca

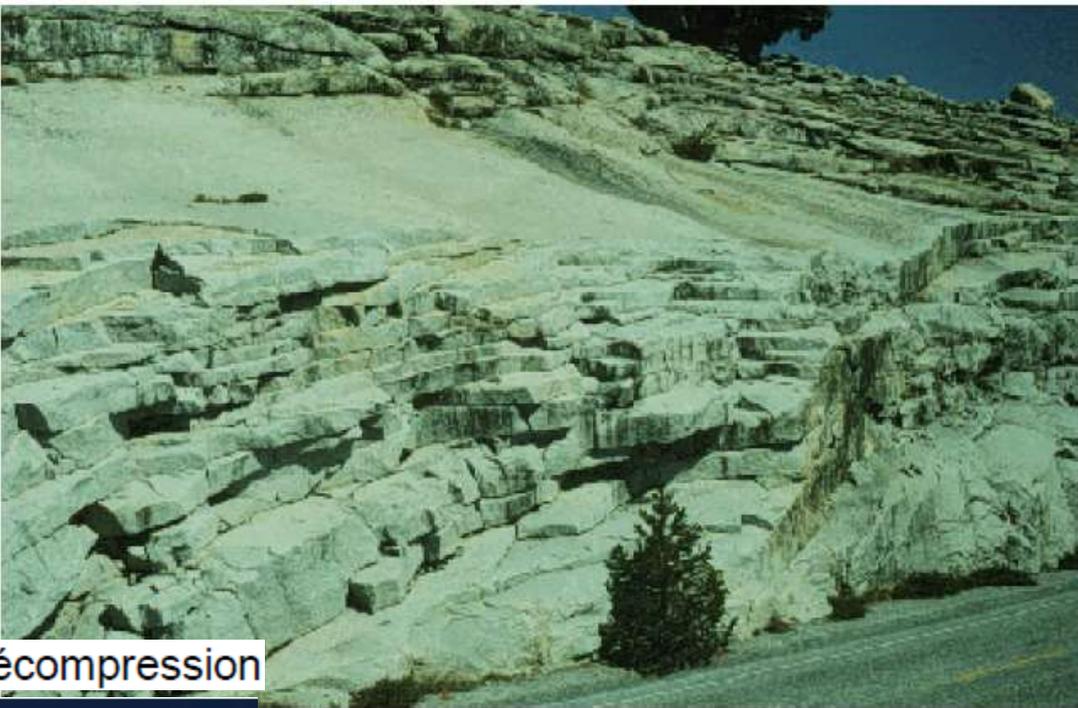


L'haloclastie dans des grès

## La météorisation

### **La décompression (La Décharge)**

- Active lors d'un changement de pression engendré par une érosion rapide ou une déglaciation
- Plus efficace dans des roches possédant des fractures et jointures parallèles à la surface (zones de faiblesse).
- Quand liée à l'érosion: souvent des roches ignées intrusives ou métamorphiques, formées à grande profondeur et haute pression
- Lorsque la pression est relâchée: expansion de la roche et débitage (*sheeting*, exfoliation)
- La fracturation se fait parallèlement à la surface



Exfoliation du granite engendrée par une décompression



## La météorisation

- La météorisation physique est plus efficace dans des roches poreuses ou/fracturées qui laissent pénétrer l'eau dans les vides.
- La météorisation physique est accentuée dans des zones à forte variation thermique avec une pluviométrie faible à modérée.
- Processus dominant dans les régions froides et les zones arides

## La météorisation

### Les processus chimiques de la météorisation

- **Dissolution**
- **Oxydation et réduction**
- **Hydrolyse**
- **Hydratation**

L'altération chimique désigne des actions chimiques variées transformant la totalité ou une partie des constituants minéraux des roches. C'est une transformation lente des minéraux d'un stade instable à un stade stable. L'altération potentielle des roches résulte des combinaisons entre leur composition chimique et minéralogique, leur porosité et leur fissuration. Elle a lieu dans un environnement de surface où abondent l'eau et les gaz atmosphériques ( $O_2$  et  $CO_2$ ). L'eau, facteur le plus important, agit sous forme de dipôle ( $OH^-$ - $H^+$ ).

Les minéraux primaires, d'origine magmatique, métamorphique ou sédimentaire, rendus instables dans la partie supérieure de la croûte, sont détruits et remplacés par des minéraux secondaires plus stables et généralement associés avec une nouvelle porosité.

## La météorisation

### **La dissolution / décarbonatation**

La dissolution est d'autant plus forte que la solubilité des minéraux est élevée.

- La dissolution engendre la « disparition » des éléments solubles (dépend du pH et de la température)
- Dissolution des carbonates par les eaux acides (pluie avec CO<sub>2</sub>).
- L'eau joue le rôle de solvant (pH eau de pluie: 5,6 )
- Minéraux les plus sensibles à la dissolution: calcite, halite et gypse (en général: silice, carbonate, sulfate, chlorures de sodium et de potassium)
- Les roches carbonatées en général : calcaire, dolomie, marbre,...
- Paysages karstiques.

**Les plus vulnérables étant les minéraux des roches salines (sel gemme, potasse, gypse).**

Le carbonate de calcium est le composé majeur des calcaires comme la craie, mais également du marbre. C'est aussi le constituant principal des coquilles d'animaux marins, du corail et des escargots.



Le carbonate de calcium cristallise naturellement avec deux formes cristallines principales : l'aragonite et la calcite.



( $\text{H}_2\text{CO}_3$  est l'acide carbonique)

en milieu acide, le carbonate de calcium se transforme **en bicarbonate de calcium  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$** , très soluble dans l'eau.

À partir de 800 °C, il se forme une réaction de décomposition fortement endothermique :



CaO est la chaux vive, qui fait l'objet d'une très grande industrie



Dissolution différentielle dans les calcaires

Les **lapiez** (ou **lapiaz** ou **lapiés**) sont des rainures de dissolution tracées sur les surfaces calcaires. Peu profondes elles forment des rigoles, plus profondes des crevasses ou canyons (excursion).





Photographie : Pierre Thomas

## Dissolution dans du gypse

Le gypse ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) est une roche exogène, une évaporite, relativement soluble dans l'eau. Dans les zones montagneuses, sa dissolution crée des reliefs particuliers sous forme "d'entonnoirs". L'eau, la neige s'accablent dans de petites dépressions où la dissolution s'opère, donnant des paysages caractéristiques.





<http://www.geowiki.fr/index.php?title=Doline>

**Doline:** dépression plus ou moins circulaire issu de la dissolution des calcaire en surface ou d'effondrement lié à la présence d'une cavité souterraine.



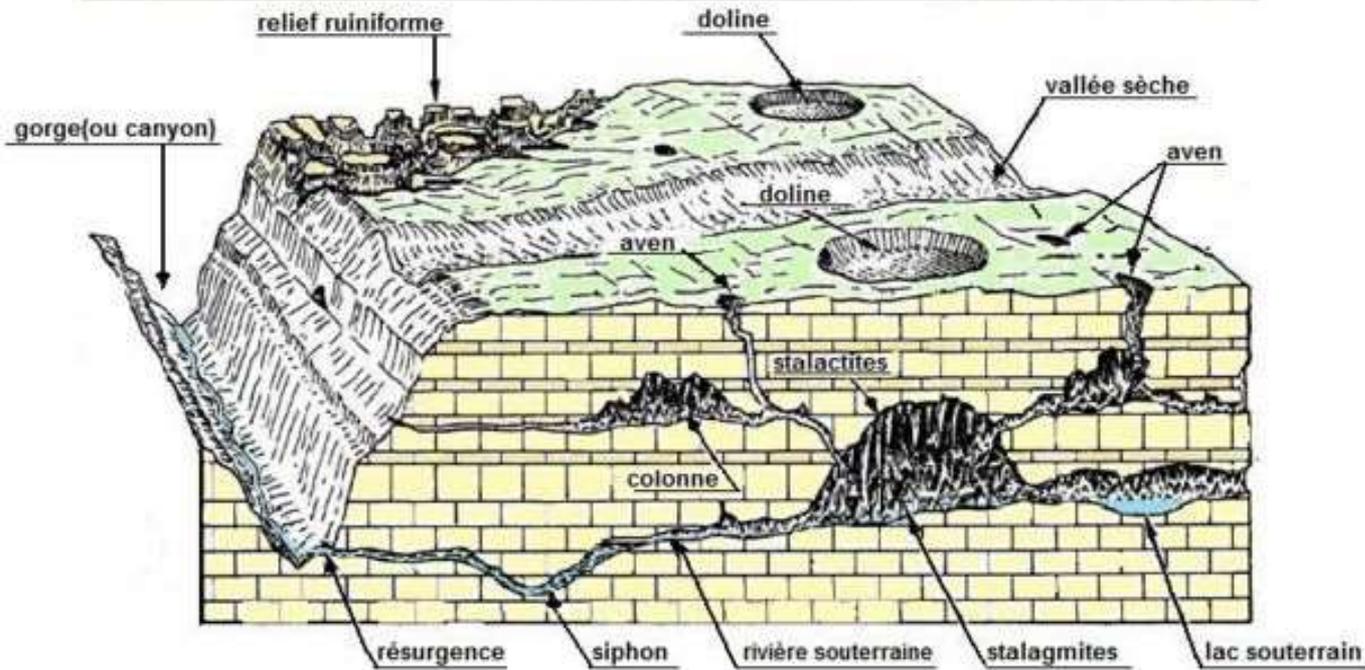
Photo : Josée BROUSSAUD



Un **aven** est un gouffre qui s'ouvre sur les profondeurs. Il se forme par l'effondrement de la voûte d'une cavité souterraine au cours de la dissolution du calcaire (cénote au Mexique).

---

# PAYSAGE KARSTIQUE MODÉLISÉ



[Bloc diagramme représentant un paysage karstique synthétique.](#)

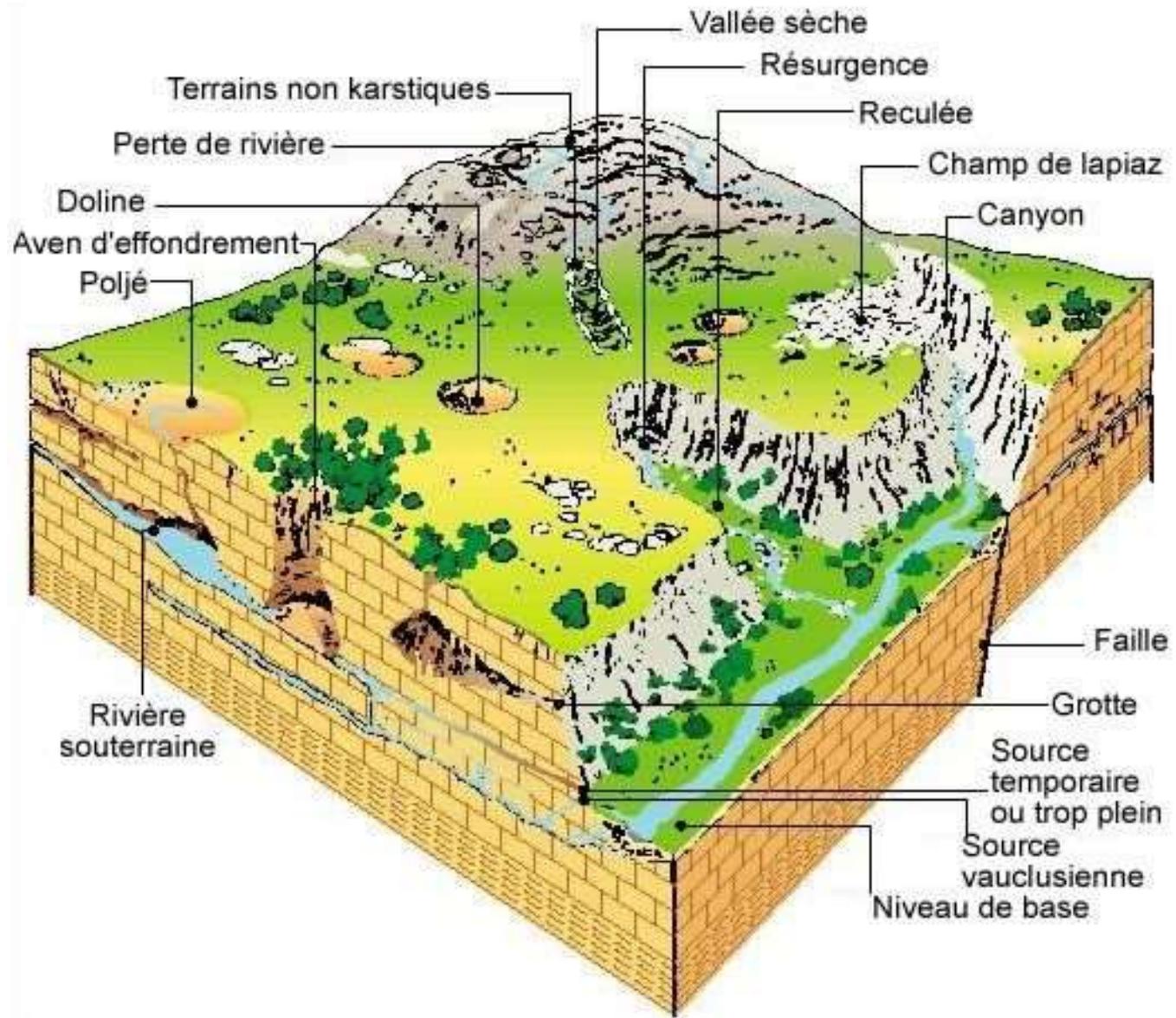
La météorisation

La dissolution

Hérault, France



Les eaux chargées de gaz carbonique sont capables de dissoudre la calcite des calcaires. Cela engendre la formation de **paysages (ou modelés) karstiques** caractérisés par une topographie tourmentée, un réseau hydrographique essentiellement souterrain et un sous-sol creusé de nombreuses cavités (grottes, résurgences, gouffres, ...).



-  Alluvions
-  Calcaires
-  Terrains imperméables

**karst dolomitique de  
Mourèze (Hérault)  
(cas particulier de lapiez)**



**« rivière » souterraine dans un karst**

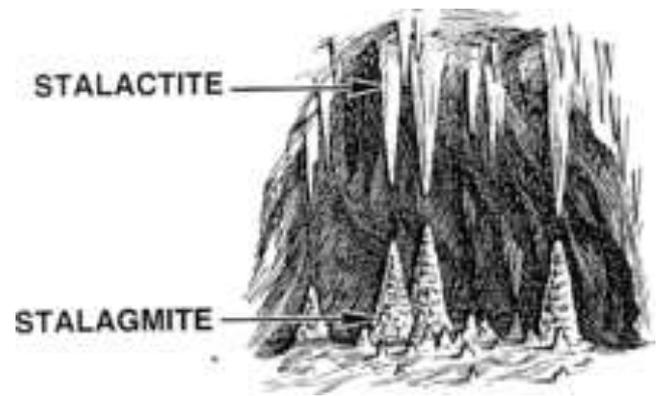




**Résurgence « vaclusienne »  
dans un karst .**



**« marmites de géant »  
dans un domaine karstique**



## La météorisation

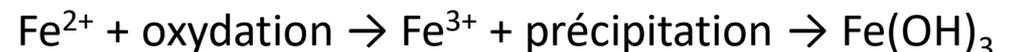
### L'oxydation

*Action de l'oxygène de l'air*

- Particulièrement actif dans les roches qui contiennent du fer (mais aussi soufre et manganèse).
- L'altération chimique par oxydation fabrique de nouveaux minéraux (secondaires).
- L'ion ferreux (Fe<sup>++</sup>) est transformé en ion ferrique (Fe<sup>+++</sup>) sous l'action de l'eau et de l'oxygène: il s'oxyde (changement de couleur et affaiblissement de la structure minérale).
- L'oxydation transforme des roches ignées ou métamorphiques en roches meubles et riches en argile (goethite, limonite, hématite).
- Sous climats chauds et humides, l'oxydation peut entraîner la dégradation de la roche sur des dizaines de mètres d'épaisseur

Les oxydations intéressent surtout le fer qui passe de l'état ferreux à l'état ferrique.

olivine + oxygène -----> oxyde ferrique + silice



## La météorisation

### L'hydrolyse

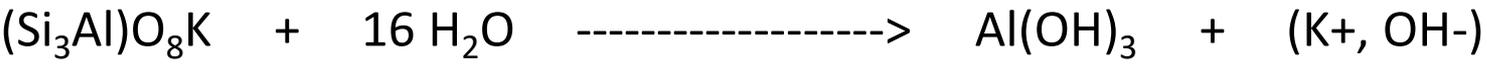
#### *Dissolution des silicates*

- Particulièrement actif dans les régions au climat sec
- Lorsque l'eau entre en réaction avec les minéraux silicatés. Le minéral est altéré par l'eau: il est dissout (présence d'eau nécessaire).
- Rupture des liaisons chimiques des minéraux: feldspaths, micas, amphiboles (=destruction des minéraux par l'eau)
- Dans le cas des feldspaths (granite), l'hydrolyse des cristaux entraîne la formation de montmorillonite, de kaolinite (argiles) et de quartz.
- Augmente la perméabilité de la roche, elle est ameublie.
- La roche est désintégrée grain par grain

Les hydrolyses totales : le minéral est détruit en plus petits composés possibles (hydroxydes, ions)

Cas d'un feldspath potassique :

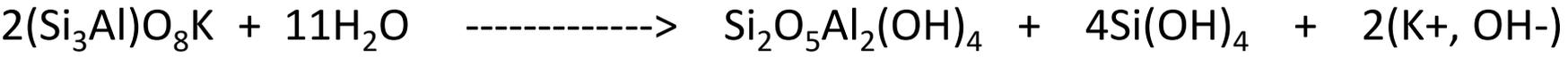
Cas d'un feldspath potassique, l'orthose :



orthose + eau  $\longrightarrow$  gibbsite + solution de lessivage

Les hydrolyses partielles : la dégradation est partielle et donne directement des composés silicatés (argiles). Ces composés diffèrent selon les conditions de milieu (abondance de l'eau).

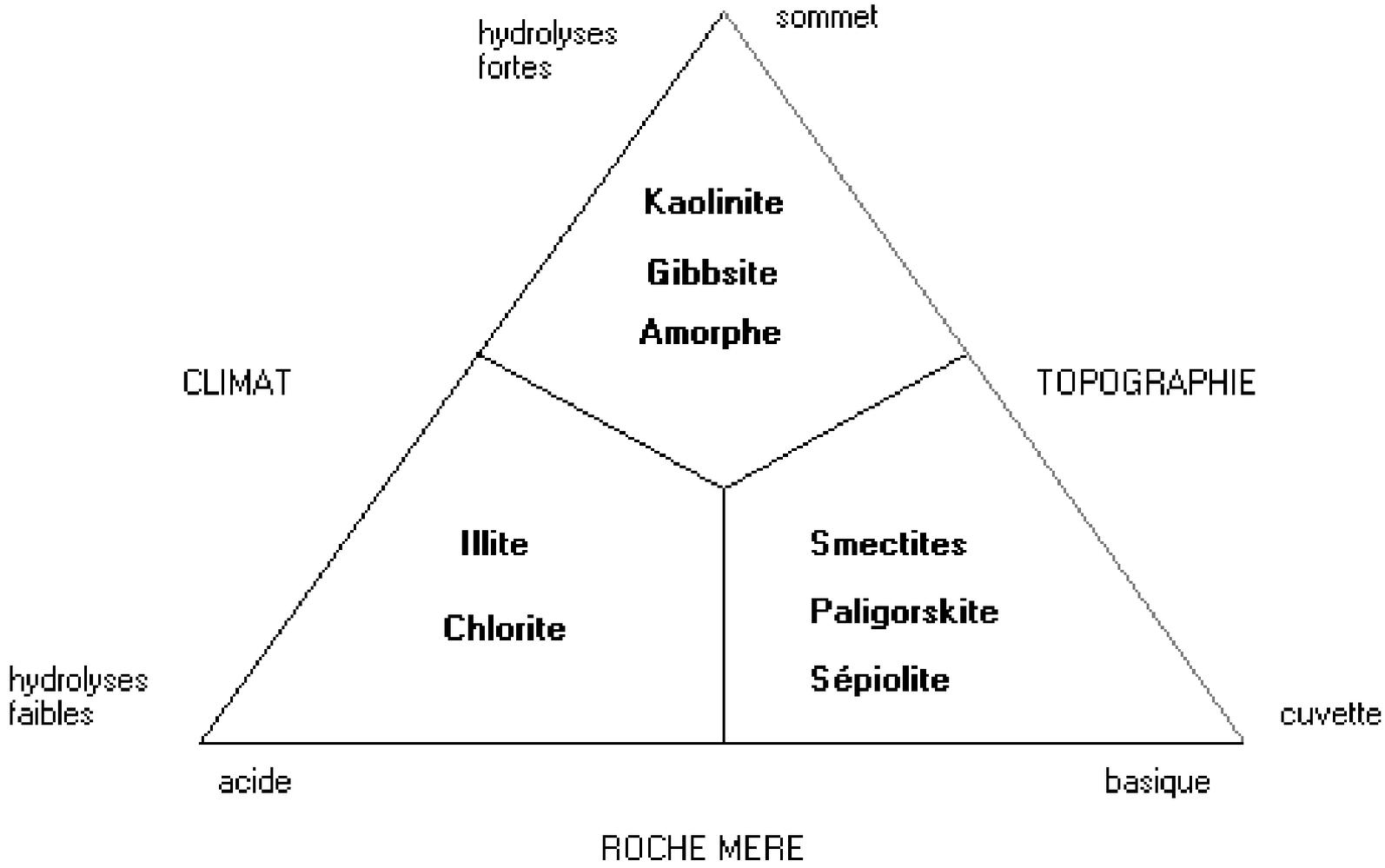
Cas d'un feldspath potassique, l'orthose :



Orthose + eau  $\longrightarrow$  kaolinite + solution de lessivage

Les facteurs contrôlant la nature des argiles formées :

Trois facteurs principaux déterminent la nature des argiles formées. Il s'agit de :



## La météorisation

### L'hydratation

#### *Action de l'eau*

C'est une incorporation de molécules d'eau à certains minéraux peu hydratés contenus dans la roche comme les oxydes de fer; elle produit un gonflement du minéral et donc favorise la destruction de la roche.

- Engendre fréquemment de nouveaux minéraux (secondaires).
- Le minéral hydraté « gonfle » : développement de zones de faiblesse.
- La perméabilité de la roche augmente
- La roche est désintégrée grain par grain
- Favorise autre type d'altération (haloclastie, gélifraction, ...)

Transformation du sulfate de calcium non hydraté (anhydrite) en sulfate de calcium hydraté (gypse)

C'est aussi le cas de la chloritisation ou de la transformation des ferro-magnésiens (pyroxènes, amphiboles) en serpentine, chlorite, épidote.

Plagioclase + Pyroxène + Eau -----> Amphibole (Hornblende verte)

## La météorisation

### Conclusion sur la météorisation chimique

- La vitesse d'altération chimique double pour chaque 10 °C de hausse de température.
- La météorisation chimique est d'autant plus importante dans les régions à forte température et précipitations (régions équatoriales et tropicales).
- L'altération est d'autant plus importante que l'eau peut pénétrer profondément dans la roche (fissures et diaclases).
- A l'origine de formations résiduelles: les **arènes**

# La météorisation

## Les processus biologiques de la météorisation

- Bactéries
- Acides humiques
- Racines
- Animaux fousseurs

### Actions biologiques

Fragmentation par l'action des racines des arbres, par les forces tractrices exercées par les rhizines des lichens, ou qu'elles soient biochimiques par le biais de la respiration (libération de CO<sub>2</sub>) ou des sécrétions enzymatiques des micro-organismes. On parle de biométeorisation.

## Processus biologiques



Les racines s'insèrent dans les fissures et favorisent le débitage du substrat rocheux.

---



La présence de végétation (racines, herbes, lichens, mousses...) permet à l'eau de rester en contact du granite.

---



Par leurs terriers, les rongeurs contribuent à la météorisation, soit directement, soit en permettant à l'eau et l'air d'atteindre plus facilement la roche mère

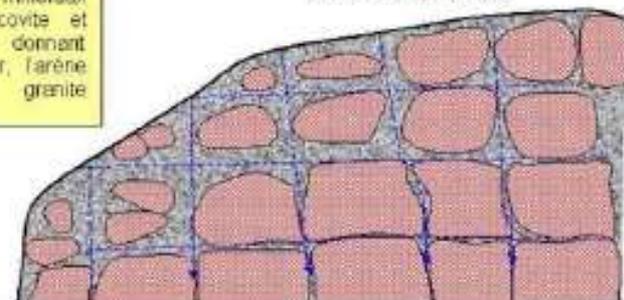
---

# La météorisation

## Altération dans du granite

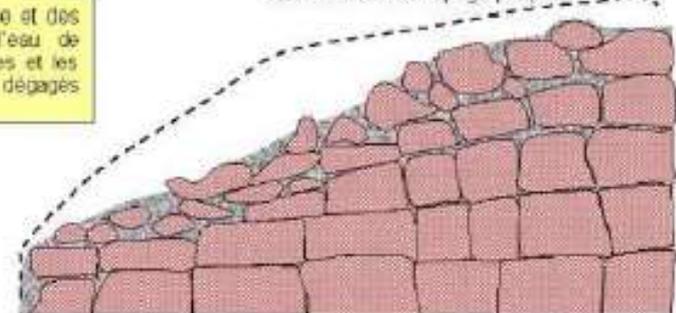
Le granite, par ses diaclases (traits bleus), laisse l'eau de pluie circuler. Les minéraux les plus fragiles (biotite, muscovite et feldspaths) sont hydrolysés donnant naissance à un sable grossier, l'arène granitique. Les blocs de granite s'arrondissent.

surface topographique



Une grande partie de l'arène et des argiles sont entraînées par l'eau de ruissellement vers les pentes et les vallées. Les blocs ainsi délogés s'empilent.

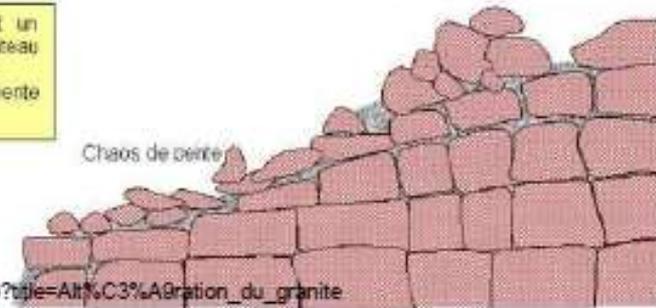
Ancienne surface topographique



Chaos en « château fort »

Les blocs du sommet forment un empilement « stable » en « château fort ». Le glissement des blocs de pente produit le « chaos de pente ».

Chaos de pente



**Formation d'un chaos granitique:**  
blocs de granite non altérés empilés les uns sur les autres de manière non ordonnée.

Les chaos granitiques sont liés à l'altération des diaclases. Leur origine le plus souvent tectonique produit une organisation assez géométrique du débit des boules.

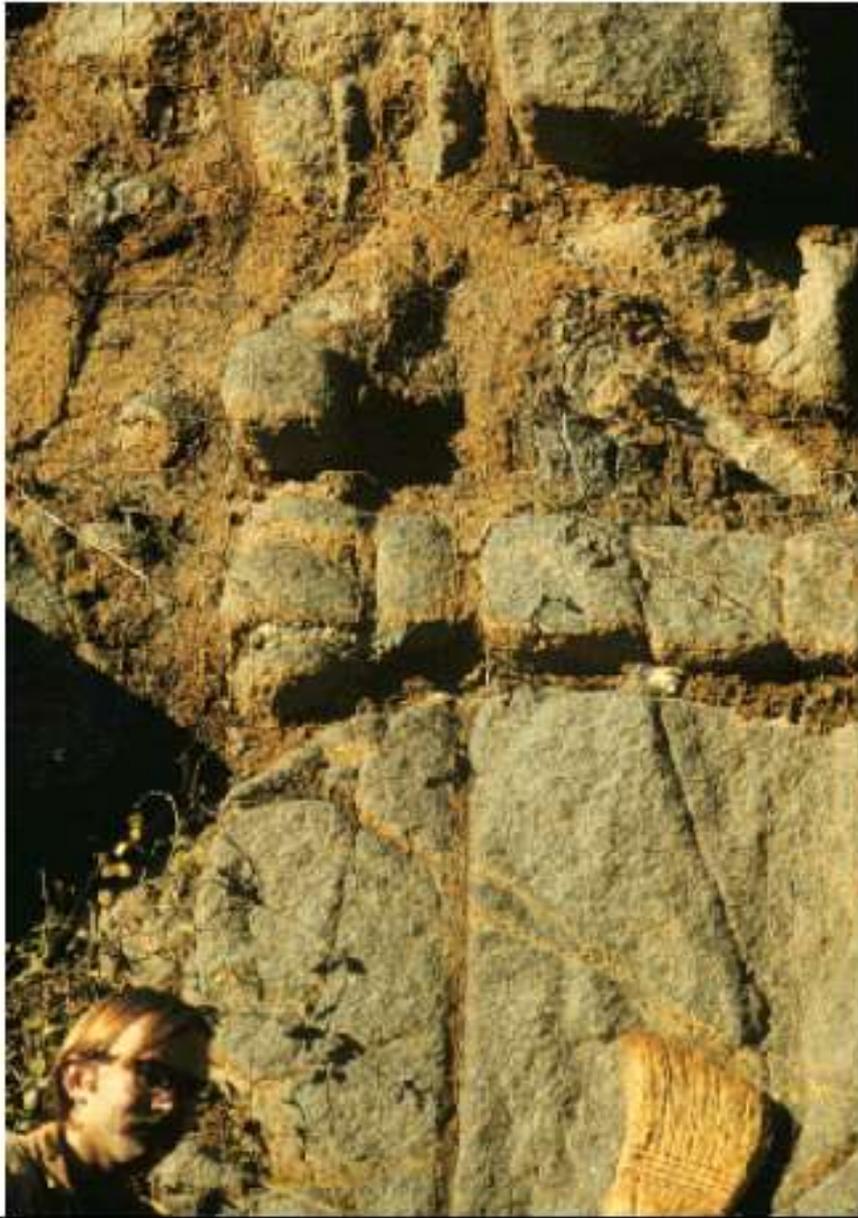


granite non  
altéré

diagenese

Arène  
granitique

# Altération dans du granite



En profondeur, les joints sont d'abord altérés, à cause de l'infiltration d'eau dans les fissures



## La météorisation

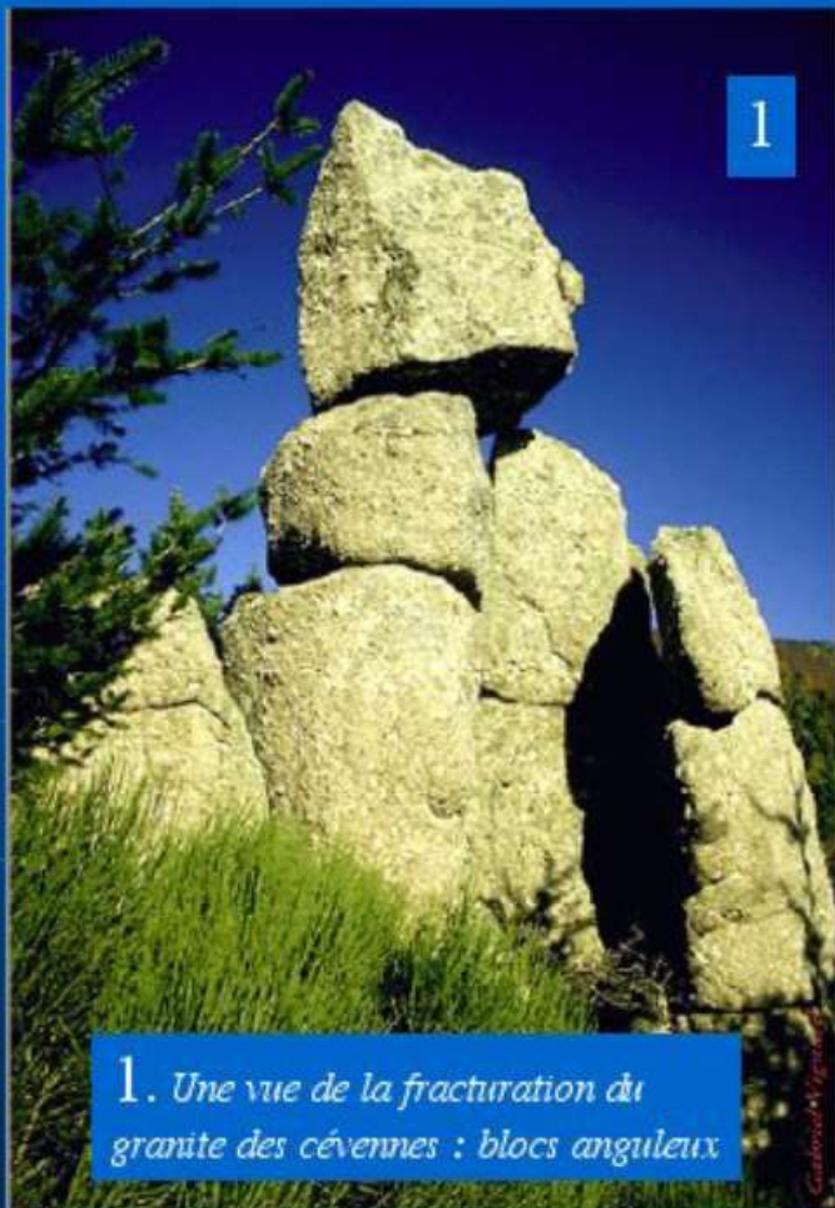
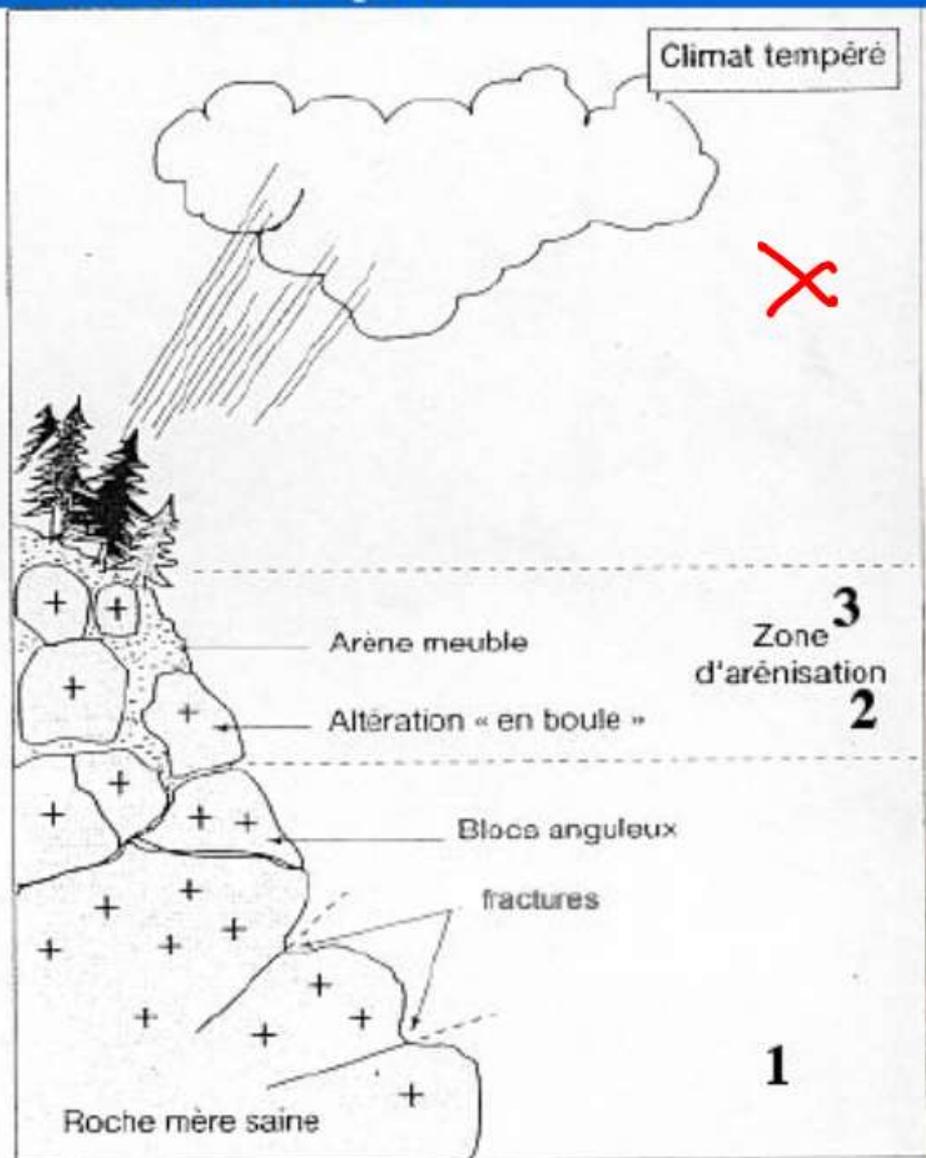
**Arène:** altération (sable) sur place de roches ignées ou métamorphiques, riches en quartz et feldspath (granite, gneiss, ...)



<http://www.etab.ac-caen.fr/usc/geomorphologie/paleozoologie/manif/alteration.html>

Météorisation d'un granite par hydrolyse des plagioclases et des biotites.

*Schéma de l'altération des granites  
sous nos climats tempérés*



*1. Une vue de la fracturation du granite des cévennes : blocs anguleux*

# La météorisation

La météorisation des roches peut entraîner la formation d'un **régolithe**.

**Régolithe:** formation superficielle résultant de la météorisation des roches en place sans que les fragments aient été transportés.

Les éléments du régolithe n'ont pas subi de transformation notable par rapport à la roche mère.

