

Figure 1 : cycle sédimentaire

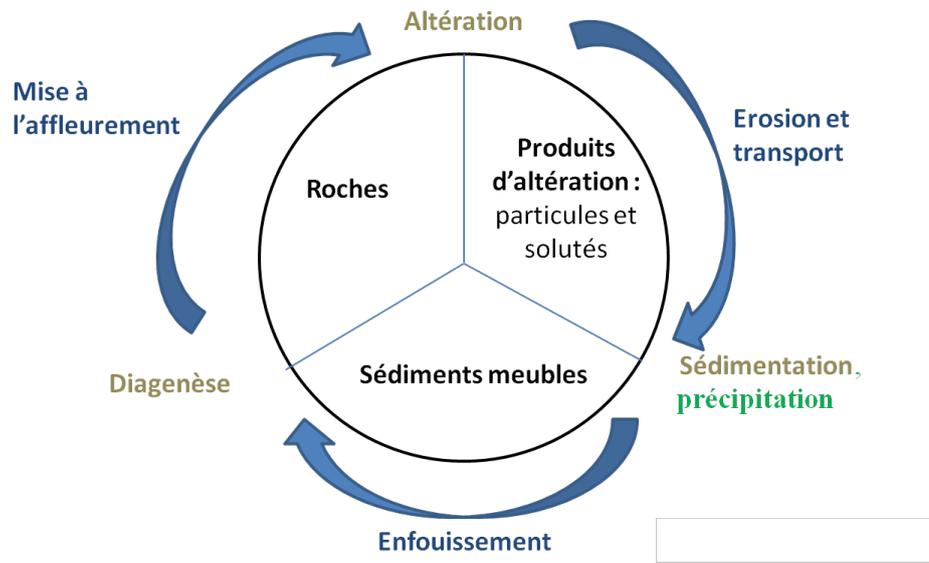
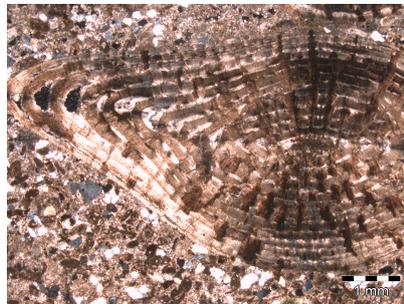


Figure 2 : comparaison de roches sédimentaires



Grès en LPA

Description :



Calcaire nummulitique en LPA

Description :



Gypse $\text{CaSO}_4, 2(\text{H}_2\text{O})$

Description :

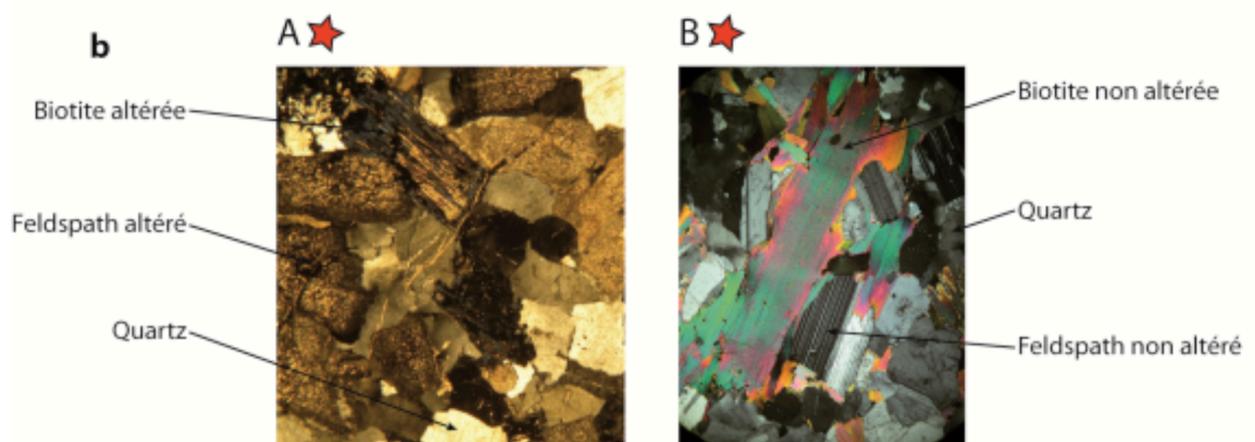
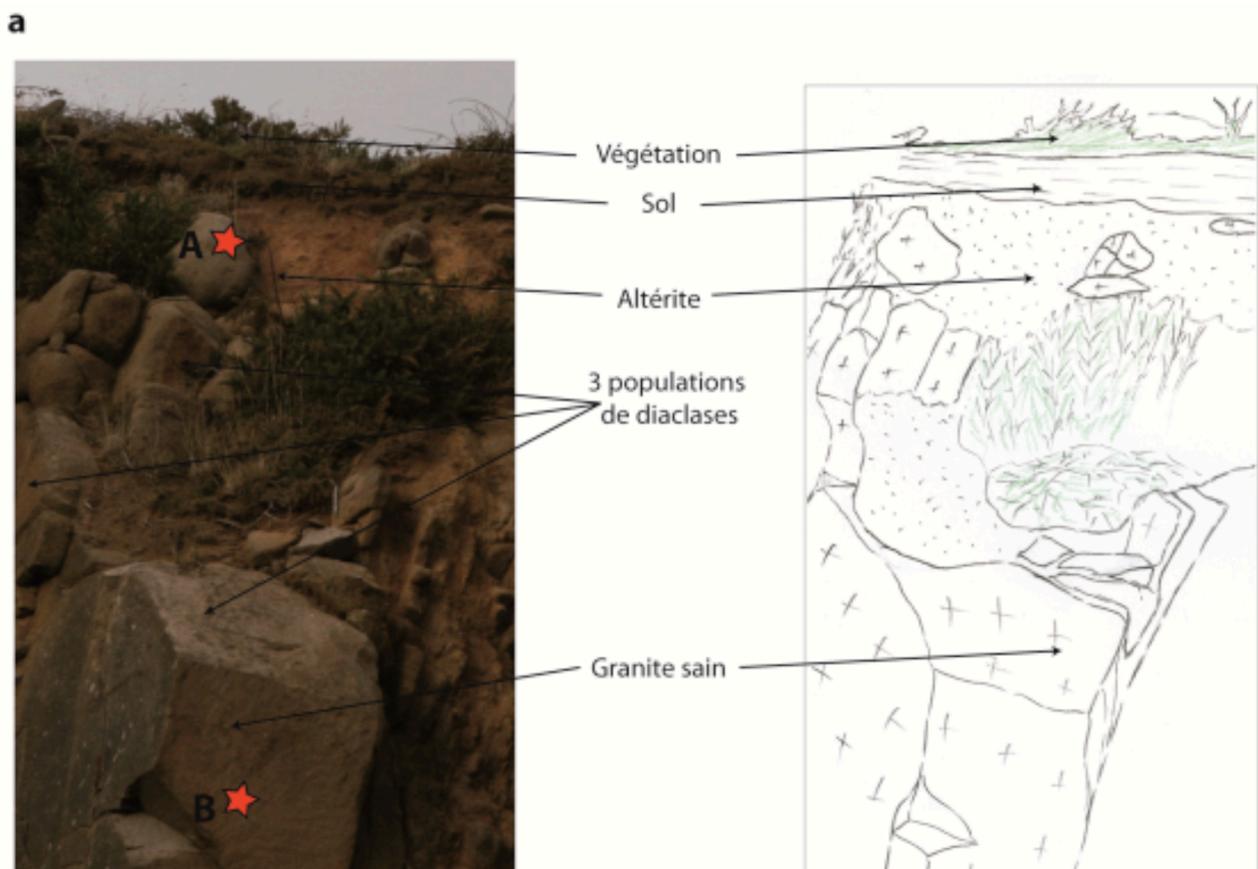
👉 Bilan :

Figure 3.a : Exemples montrant l'altération du granite.

(A) affleurement du granite altéré de Flamanville (Normandie)

(B) photographies prises au microscope optique en LPA (G x 40) de lames minces correspondant aux emplacements localisés sur l'affleurement de Flamanville

(C) Extrait de la carte de Condé sur Noireau au 50 000^{ème} sur laquelle les formations superficielles correspondent à l'altérite.



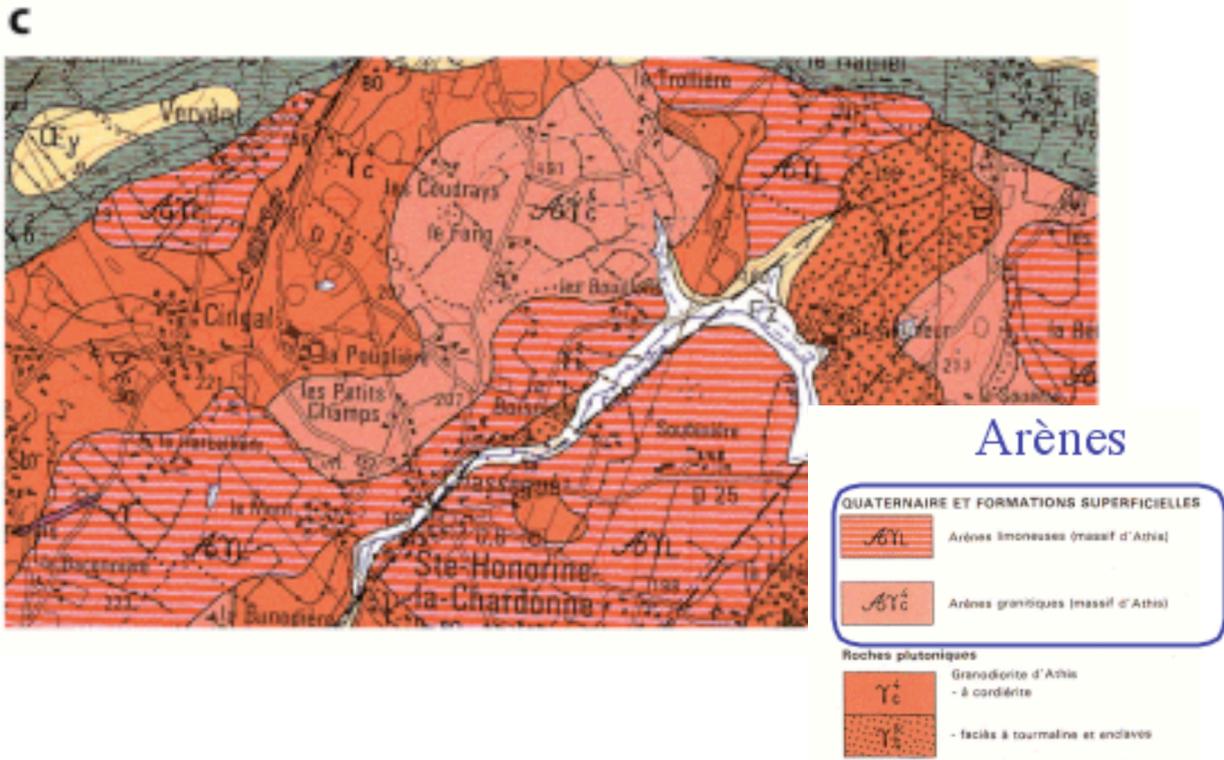
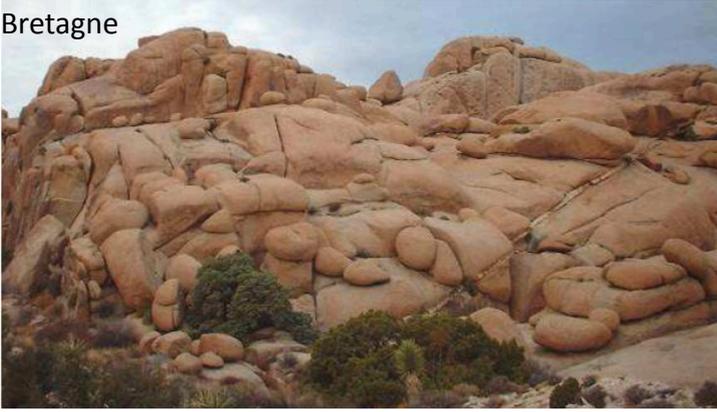


Figure 3.b : altération du granite en boules



Bretagne



Pyrénées



👉 Observations des trois clichés précédents :

👉 Interprétation (mécanismes à l'origine des boules) :

Figure 3.c : BILAN sur l'altération du granite en boules

1 - Granite sain diaclasé du socle du Massif Central affleurant dans une carrière



Vue macroscopique du granite sain extrait de la carrière (paysage 1)

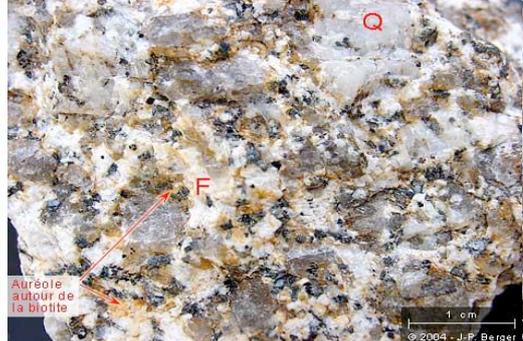


Quartz
mica (Biotite)
Feldspath

2 - Granite très altéré avec formation d'arène granitique



Vue macroscopique d'un granite en début d'altération



des auréoles de couleur rouille entourent les cristaux de biotite, les feldspaths sont ternes

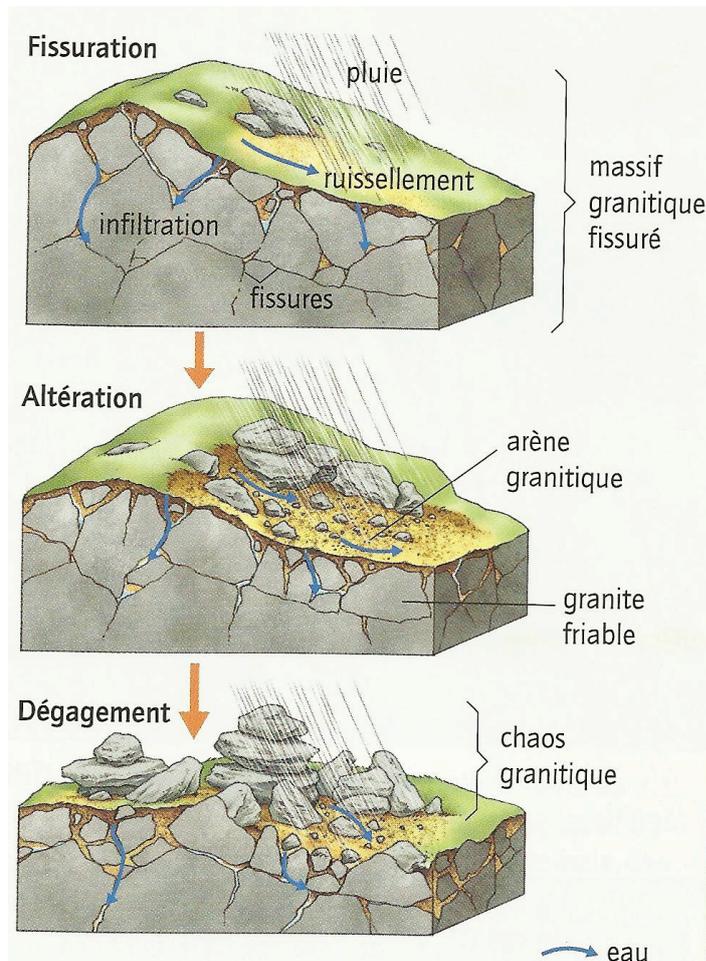


Figure 4a : La diversité des formes karstiques

Les calcaires dolomitiques ou les dolomies donnent naissance à des reliefs ruiniformes comme dans le cirque de Mourèze au Nord de Béziers (figure 1).



Figure 1 : Cirque de Mourèze



Figure 2 : Gorges du Verdon

Ce type de paysage est dû au caractère poreux de la dolomie permettant une attaque par l'eau. Il en résulte un émiettement qui arrondit les formes et libère des débris de la taille des graviers.

1. Les canyons (Gorges du Verdon figure 2, gorge du Tarn)

Il s'agit de vallées à flancs raides, l'essentiel de l'érosion ayant lieu au fond du lit.

Les rivières sont **allogènes** c'est à dire que leur source est ailleurs. C'est le cas du Tarn qui vient de la Lozère. Si le fond est argileux donc imperméable, la vallée s'élargit en "reculant". La vallée se termine en cul de sac et prend le nom de **reculée** au niveau de laquelle on trouve souvent une source dite vaclusienne qui sape la vallée par érosion régressive.

2. Les lapiez: ciselures à la surface des roches calcaires

3. Les avens: entonnoirs s'ouvrant à la surface du plateau (gouffre de Padirac dans les causses du Quercy). Les fissures élargies par la dissolution plus les éboulements résultant conduisent à la formation de grottes.



Figure 3 : lapiaz (La Clusaz)

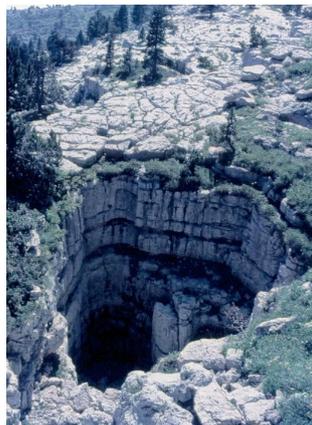


Figure 4 : gouffre

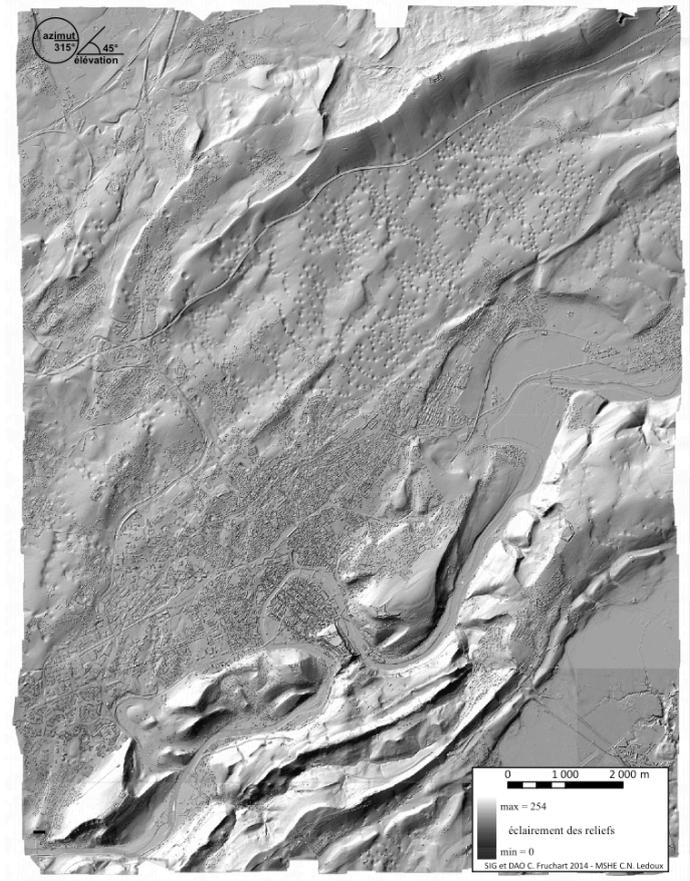


Figure 5 : Doline

4. **Les dolines:** Dépression de forme ovale, de quelques mètres à 200 m de profondeur.

Résurgence du Lison

Dolines



Grotte des Moidons

Reculée des Planches



Figure 4b : morphologie karstique (in Renard et al., 2018)

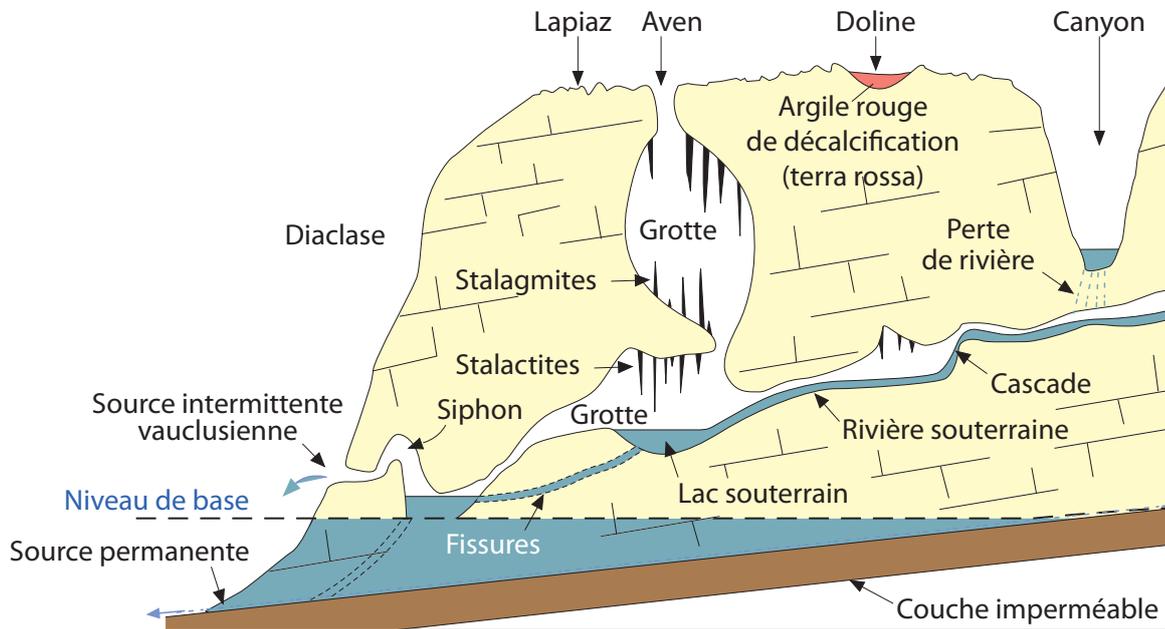


Figure 5 : Effet de la lithologie sur l'altération
Panorama du Lac du Salagou



Figure 6 : effets de la structure géologique sur le paysage
 (<https://www.survoldefrance.fr/> ; in Dunod, 2021)



Synclinal perché de l'Arclusaz (Savoie)



Crêt de la Neige (Jura)

☞ Type de relief :

☞ Type de relief :

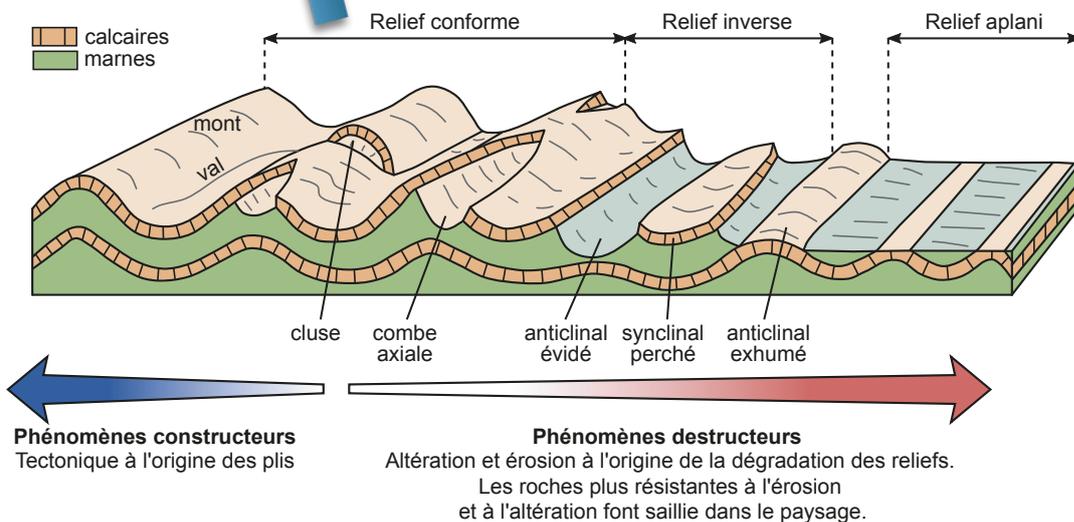
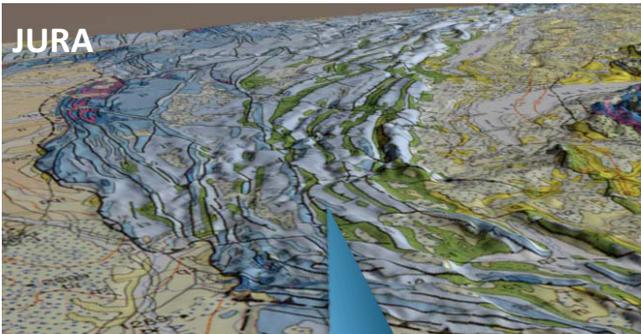


Figure 7 : Effet de la température sur la désagrégation des roches

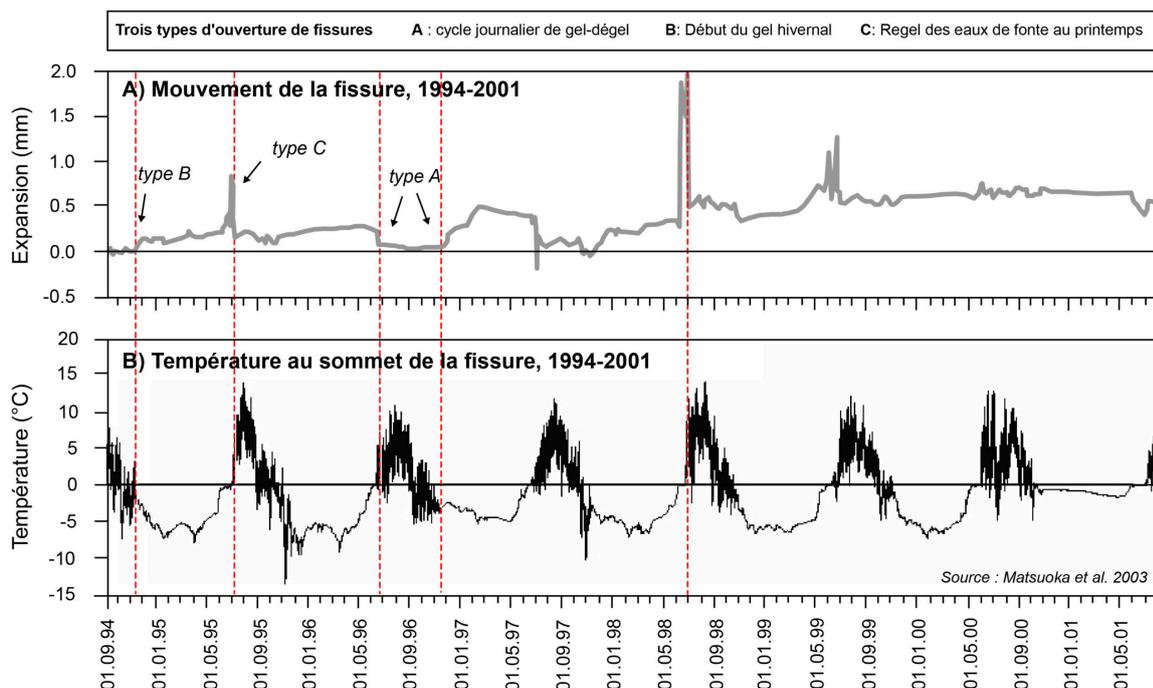
La falaise de grès du canyon Bryce (Utah) subit une intense désagrégation mécanique. Pendant 8 mois de l'année, la température moyenne est inférieure à 0 °C la nuit et supérieure à 0 °C le jour.

👉 Résumer les mécanismes à l'origine de la désagrégation dans le canyon :



En montagne

Ouverture de petites fissures dans une paroi rocheuse du **Mürtel** (Engadine, GR). On distingue 3 types de mouvements : A) Ouverture due aux cycles diurnes de gel-dégel ; B) Ecartement de la fissure au moment du gel saisonnier du terrain (début hiver) ; C) Ouverture importante de la fissure suite au regel des eaux de fonte de la neige (l'apport de beaucoup d'eau permet la formation d'une grande quantité de glace). La répétition de ces cycles cryoclastiques peut provoquer des chutes de pierre (adapté de Matsuoka et al., 2003).



(<https://geomorphologie-montagne.ch/>)



Débitage en plaquettes d'un bloc de calcaire marneux par gélifraction (Vallon de la Tièche, VS).

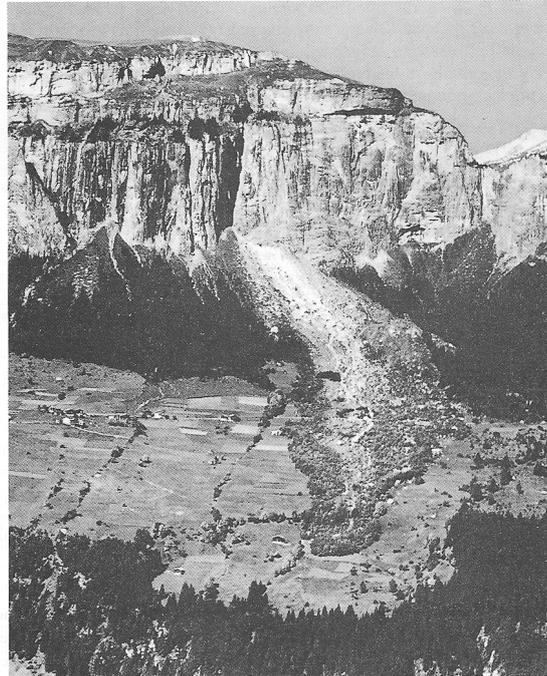
Relief acéré caractéristique de la prédominance des processus de gélifraction (**Saleinaz**, VS). Notez la présence de nombreux éboulis à la base des parois rocheuses.



👉 Résumer les mécanismes à l'origine de la désagrégation en altitude.

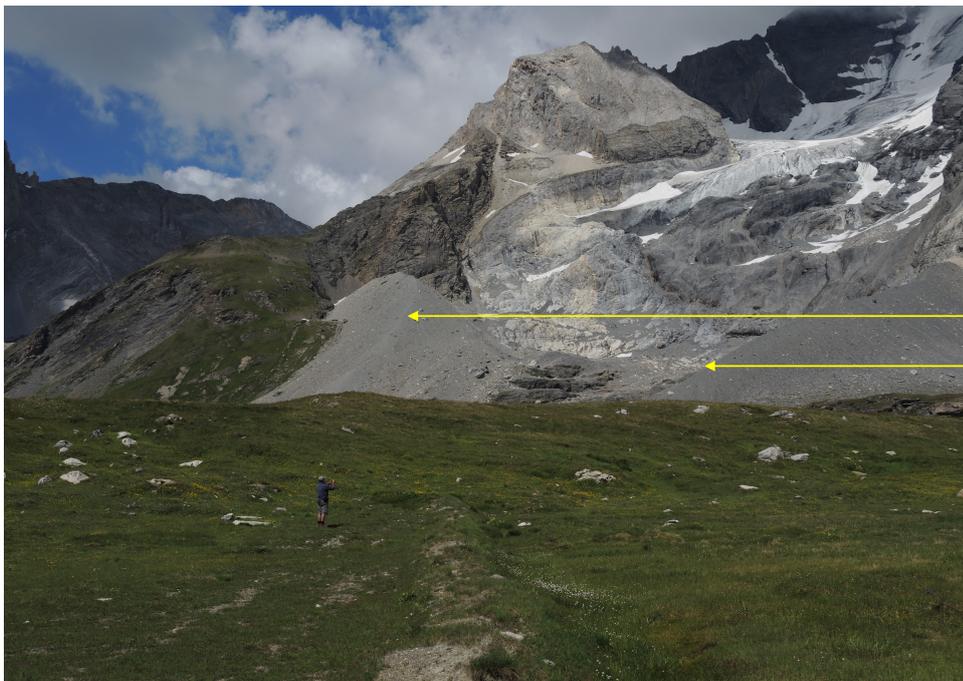
Figure 8 : Mécanismes dépendant de la gravité

Un exemple d'éboulement (in Pomerol et al., Dunod, 2005)



L'éboulement du Flimsenstein (Suisse) en 1939.
Remarquer la cicatrice de décollement du pan de la falaise verticale et l'énorme chaos rocheux étalé à son pied. Les matériaux ne sont pas classés : des blocs de plusieurs dizaines de m³ voisinent avec des graviers. Le phénomène est très brusque et les destructions considérables (*cliché Swissair*).

Figure 9 : rôle des glaciers



Moraines latérales

La Grande Casse, Vanoise



Moraine glaciaire (Népal)

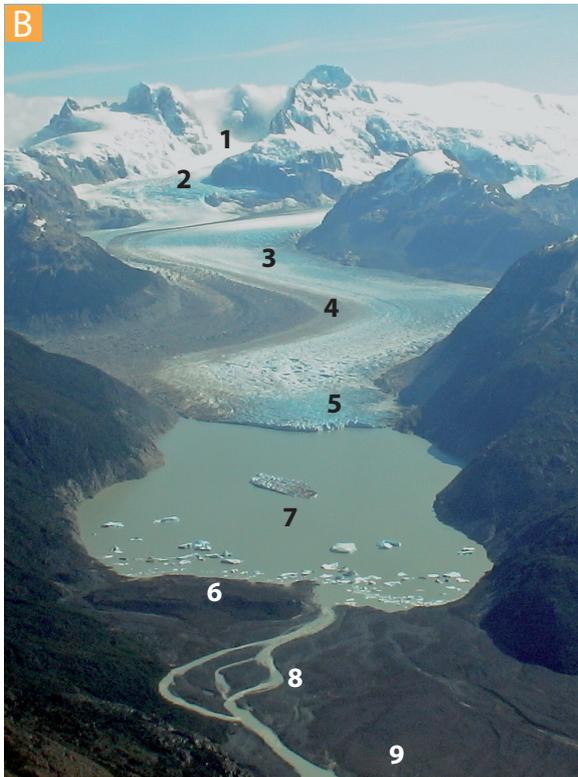


Glacier blanc et Pelvoux (Ecrins, Alpes)

👉 Légènder la photo



Lateral and terminal moraines of a valley glacier, Bylot Island, Canada.



👉 Compléter les légendes

- 1 :
- 2 :
- 3 :
- 4 :
- 5 :
- 6 :
- 7 :
- 8 :

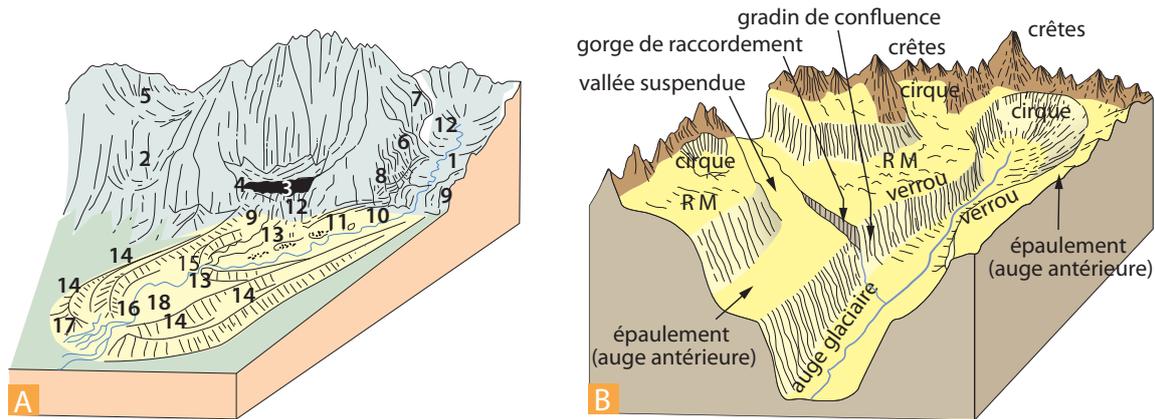


Figure 26.32 Vallées glaciaires.

A. Vallée alpine après la fonte des glaciers : 1 : auge glaciaire, 2 : cirque, 3 : lac de cirque ou d'ombilic, 4 : verrou, 5 : limite de polissage du glacier, 6 : paroi de vallée en U, 7 : épaulement (en cas de vallées emboîtées), 8 : cannelures, 9 : gradin, ressaut de vallée, 10 : terrain glaciaire, 11 : drumlin, 12 : roche moutonnée, 13 : moraine de fond, 14 : moraine de « poussée » et vallum morainique, 15 : moraine de « retrait » ou moraine terminale, 16 : gorge, 17 : esker, 18 : kames.

B. Schéma en perspective d'une ancienne vallée glaciaire. Remarquer la présence de roches moutonnées (RM, voir fig. 26.31) sur les épaulements qui correspondent à l'auge d'une glaciation antérieure. Les ombilics des cirques d'anciens glaciers suspendus sont occupés par des lacs (d'après Derruau, modifié).

Figure 10 : vallée en U et vallée en V

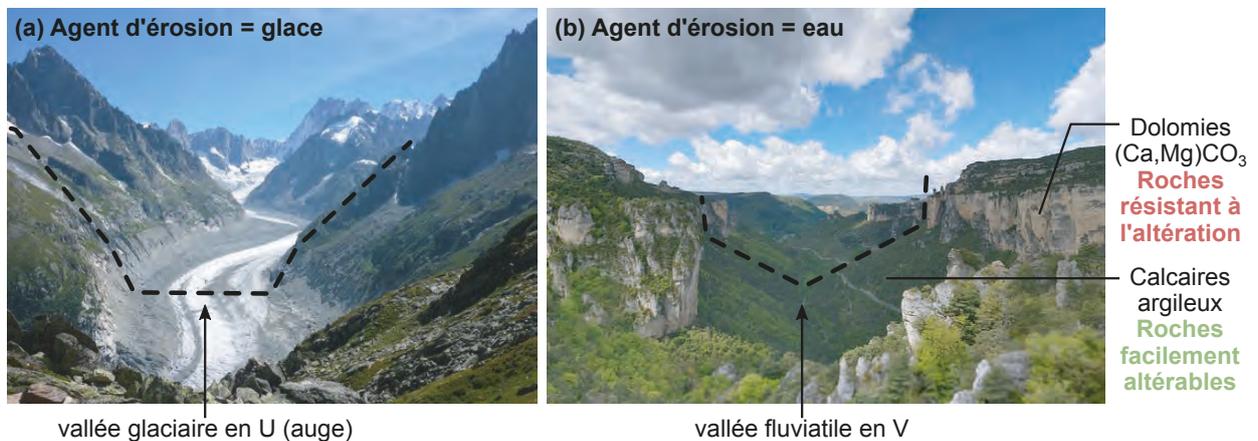


Figure 25.2 Comparaison de la morphologie de vallées glaciaires et fluviales selon le type d'agent d'érosion.

(a) Mer de glace, Haute-Savoie ; (b) vallée de la Jonte, Lozère. L'altération différentielle entre dolomite $[(Ca,Mg) CO_3]$ et calcite $(CaCO_3)$ influence aussi la morphologie du paysage.

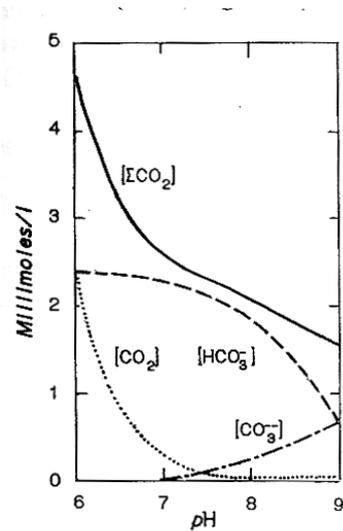
Figure 11 : dissolution du CO₂ dans l'eau

a. Equation de dissolution du CO₂ :



Avec : $\text{H}_2\text{CO}_3 \leftrightarrow \text{HCO}_3^- + \text{H}^+$ pKA = 6,1
 $\text{HCO}_3^- + \text{H}^+ \leftrightarrow \text{CO}_3^{2-} + 2\text{H}^+$ pKA = 10,3

b. Influence du pH sur les formes du CO₂ (in Cojan et Renard, Dunod, 2006)



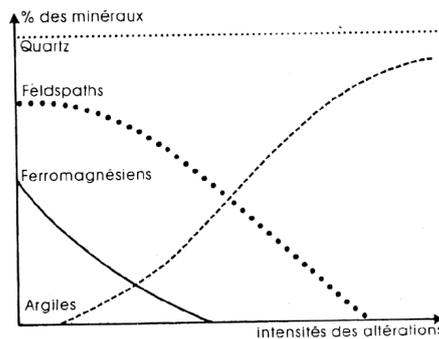
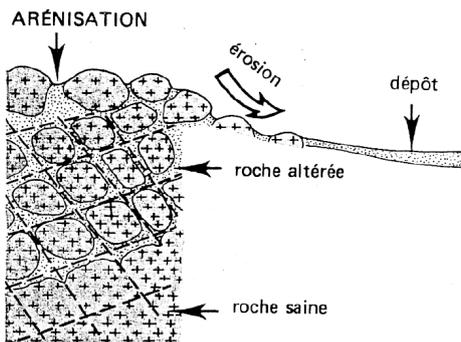
Forme majoritaire à pH acide :

Forme majoritaire à pH basique :

Formes majoritaires dans les océans (pH ~ 8) :

Variations des teneurs des différentes formes du CO₂ (gaz carbonique libre, bicarbonates, carbonates et gaz carbonique total) en fonction du pH, à 20 °C et à la pression atmosphérique, dans une eau de mer de chlorinité 19 ‰ (d'après Sverdrup et al., 1963).

Figure 12 : altération d'un granite : disparition des feldspaths et apparition d'argiles (in Nathan, 1ère S)



Modification de la composition minéralogique d'un granite par altération croissante, sous climat tempéré; les ferromagnésiens, puis les feldspaths, disparaissent, alors que les argiles s'accumulent; le quartz n'est pas modifié. Quartz et argiles constituent l'arène granitique.

👉 Décrire le graphe et l'interpréter

Figure 13 : Bilan de l'altération du granite en climat tropical (chaud, humide et drainant).
(in Dunod)

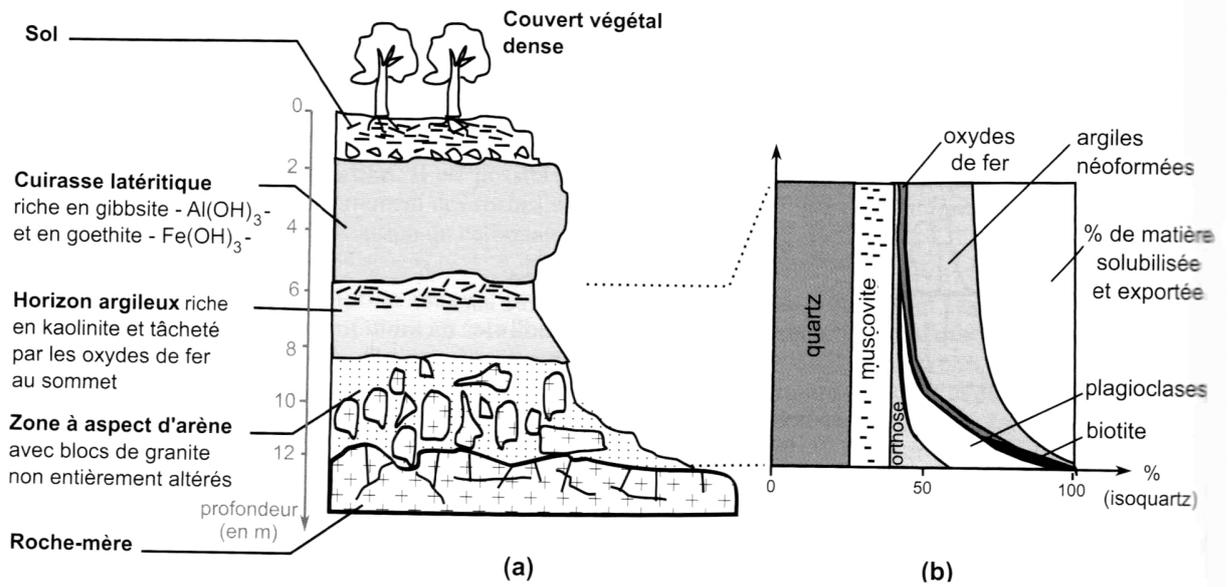
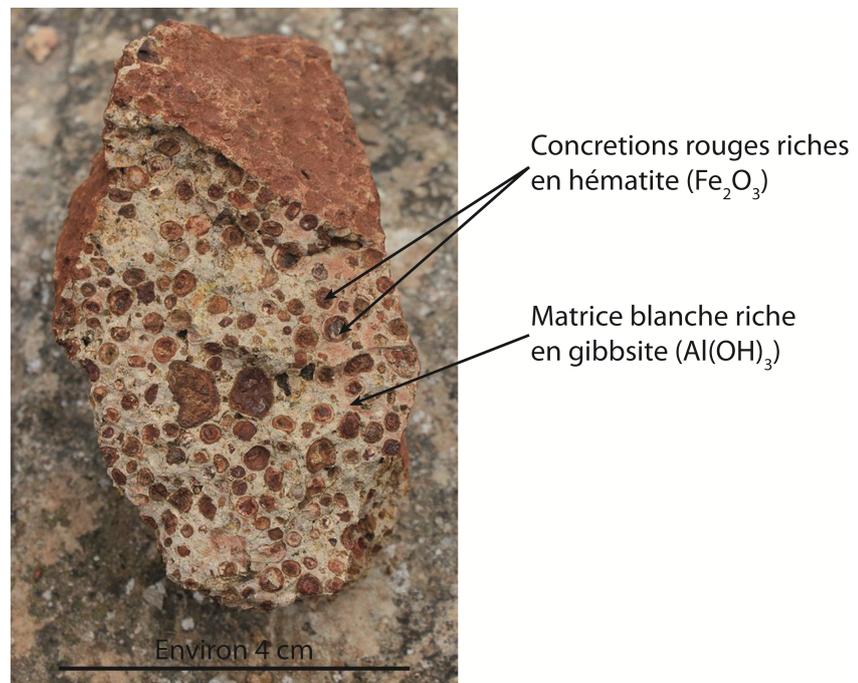


Figure 14 : Photographie d'une bauxite des Baux de Provence (Bouches-du-Rhône)
(Ellipses, à paraître)



Document 15 : Comportements des ions dans l'eau : A SAVOIR par ♥!!!

L'eau est un solvant puissant car la molécule constitue un dipôle électrique capable de créer des liaisons avec les ions. Lorsqu'un minéral silicaté est brisé, les cations deviennent des accepteurs d'électrons et attirent les dipôles d'eau.

L'attraction des cations pour les dipôles H₂O est proportionnelle au **potentiel ionique Q** :

$$Q = Z / r$$

avec Z = charge électrique et r = rayon ionique

En fonction de leur potentiel ionique, on distingue **3 grandes catégories d'ions** :

➤ **les ions à potentiel ionique faible : $Z/r < 3$** : c'est le domaine des **cations solubles** .

On distingue deux classes : ceux dont $Z/r < 1$ et ceux dont $1 < Z/r < 3$.

Ceux dont $1 < Z/r < 3$ sont entraînés avec les molécules d'eau et passent en solution : $[X, nH_2O]^{n+}$ avec n, valence de X
C'est notamment le cas de Na (principal constituant de l'eau de mer), de Ca et de Mg qui seront évacués vers les océans où ils (bio)précipiteront.

Ceux dont $Z/r \leq 1$: ce sont les ions antistoke. Leur taille étant trop grande par rapport à leur charge, ils ont peu d'attraction pour la molécule d'eau et **ne s'hydratent pas**.

➤ **les ions à potentiel ionique moyen : $3 < Z/r < 10$** : c'est le domaine des **hydrolysats** = domaine des **précipitations d'hydroxydes sous la forme $X(OH)_n$** . Les cations sont plus attractifs vis à vis de la molécule d'eau : un proton est arraché, l'ion OH⁻ se fixe au cation.

Exemple : Al(OH)₃, Fe(OH)₃ etc...

Les cations précipitent à l'état **d'hydroxydes insolubles** à l'origine des **gîtes métallifères** résiduels (bauxite pour l'aluminium par exemple)

➤ **les ions à potentiel ionique élevé : $Z/r > 10$** : c'est le domaine des **oxyanions**. Du fait de sont potentiel ionique élevé, l'ion exerce une forte attraction sur le pôle négatif de la molécule d'eau : il y a rupture du dipôle et libération de protons.

Exemple : les carbonates CO₃²⁻, des sulfates SO₄²⁻, des phosphates PO₄³⁻. Ces oxyanions seront évacués par les eaux vers l'océan où ils se combineront avec les cations solubles (Ca²⁺) pour donner les roches sédimentaires classiques.

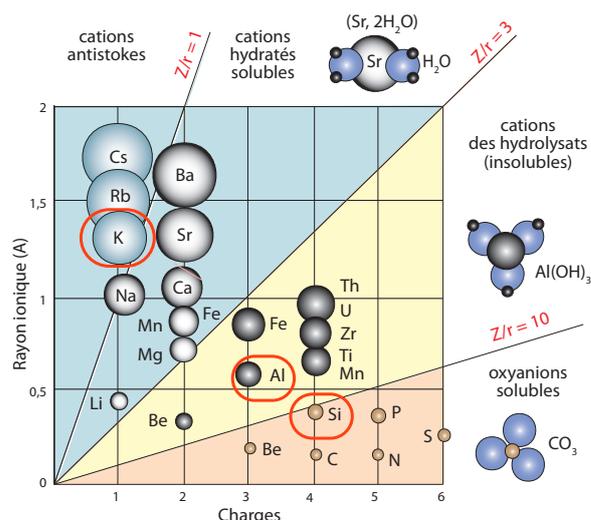
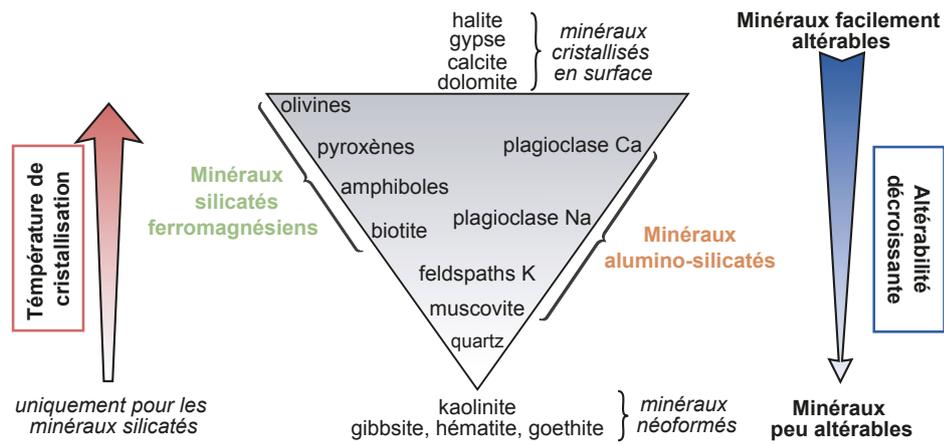


Diagramme de Goldschmidt
(in Renard et al., 2016)

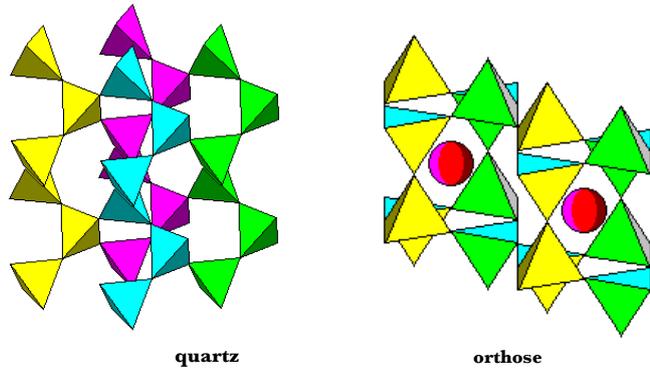
Figure 16 : stabilité des minéraux communs au cours de l'altération
(in Dunod, 2021)



Quartz et feldspaths : ce sont tétraèdres liés par leurs 4 sommets (tectos = charpente). La formule structurale contient le motif [SiO₂].

Dans le cas du quartz, **neutralisation** est **complètement assurée par la polymérisation** : il n'y a pas de cations compensateurs.

Dans le cas des **Feldspath** : différence avec le quartz = certains tétraèdres voient leur Si substitué par Al qui a une charge + en moins d'où la nécessité d'ions K⁺ entre les tétraèdres.



☞ Faites un lien entre les structures cristallines de l'orthose et du quartz et leur altérabilité.

☞ Est ce cohérent avec la composition du sable analysé en Provence ? (<https://www.alpes-maritimes.gouv.fr/content/download/30621/243880/file/annexe%201.pdf>)

	Silice non réactive			TOTAL
	Quartz massif	Quartz ondulant	Quartz polygonisé	
Compte	0	254	0	254
Teneur (%)	0,0	84,7	0,0	84,7

	Silicates				TOTAL	
	Feldspath sain	Feldspath altéré	Amphibole	Mica sain - Argile		Mica altéré
Compte	0	25	0	2	0	27
Teneur (%)	0,0	8,3	0,0	0,7	0,0	9,0

Figure 17 : Altération chimique des minéraux silicatés : exemple des feldspaths
A SAVOIR par ♥!!!

Rappel de minéralogie

Les Fd sont des tectosilicates comme le quartz. L'orthose est formée par une charpente de tétraèdres à coeur de silice et d'alumine (1 Si sur 4 est substitué par Al), soutenue par des K⁺ qui compensent le déficit de charge dû au remplacement de Si⁴⁺ par Al³⁺. Chaque cation K⁺ placé à l'intérieur du réseau de tétraèdre n'est pas fortement retenu dans le treillis et sa disparition fera s'effondrer l'édifice.

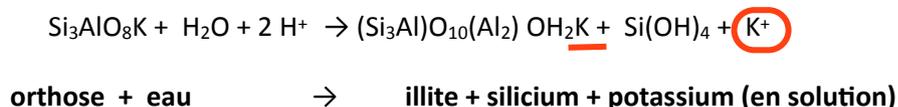
Effet de l'eau sur le réseau cristallin :

Lorsqu'un film d'eau se dépose sur un cristal dont la charge est négative (O⁻ à valence non satisfaite en surface), les molécules d'eau orientent leur charge + vers le cristal. Or les ions H⁺ ont une taille suffisamment petite pour pénétrer dans les interstices du réseau cristallin : ce qui amène un excès de charge positive. L'équilibre est établi par l'expulsion de K⁺, qui reste facile tant que la concentration en K⁺ reste faible à l'extérieur (donc s'il y a un drainage). La réaction d'échange se poursuit avec les Si (suite à la déstabilisation des cristaux par perte des K⁺) et enfin avec les ions Al qui forment des précipités. Ainsi, la dégradation des silicates dépend du taux de remplacement de Si par Al. L'anorthite (2 Si sur 4 sont remplacées par Al) est plus fragile que l'orthose (1 Si sur 4 sont remplacées par Al).

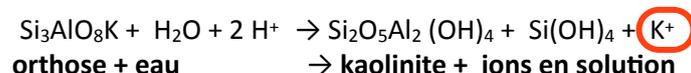
Altération de l'orthose

On distingue 3 modes d'altération des feldspaths (orthose Si₃AlO₈K), déterminés par le climat : la **bisiallittisation**, la **monosiallittisation** et l'**allittisation**.

➤ la **bisiallittisation** : en climat tempéré, un feldspath subit une dégradation partielle avec lessivage de la plupart des **cations extérieurs aux tétraèdres** et de 60% des ions Si. Le réseau en charpente des feldspaths (**tectosilicates**) se **transforme** en un réseau à tétraèdres en feuillets (**phyllosilicates**) caractéristique des argiles. La composition initiale AlSi₃ (+ O + cations extérieurs) devient AlSi₂ et correspond à une **argile 2/1** de type **illite**. Sa maille est de type **TOT** (deux feuillets de tétraèdres (à centre Si) séparés par un feuillet d'octaèdres (à centre Al)). C'est une **altération ménagée**.



➤ la **monosiallittisation = kaolinisation** : un **climat plus humide et plus chaud** provoque une altération plus intense. **Tous** les cations extérieurs aux tétraèdres (**K⁺**) et 2/3 des ions Si sont lessivés. La composition initiale AlSi₃ devient AlSi et correspond à une **argile 1/1** de type **kaolinite**. Sa maille comporte un feuillet de tétraèdres (à centre Si) et un feuillet d'octaèdres (à centre Al). C'est une **altération moyenne**.



➤ l'**allittisation = latérisation**: un climat très humide et aux températures élevées provoque une destruction totale du feldspath par lessivage totale du silicium. **Tous les cations** extérieurs aux tétraèdres et **tous les Si sont lessivés**. Il ne reste que les **cations insolubles Al** qui précipitent sous forme d'hydroxyde (**gibbsite**) dans laquelle le rapport Si/Al est nul. C'est une **altération forte**.



Figure 18a: influence de la latitude sur l'altération des sols, diagramme de Pedro
(in Dunod, 2021)

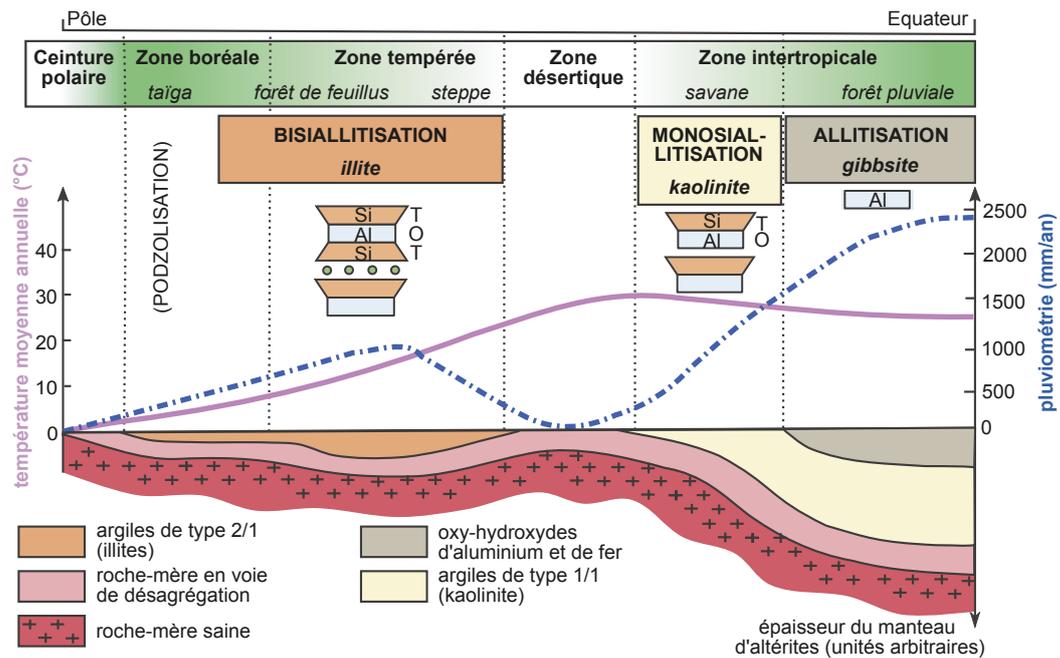


Figure 25.5 Les grands types d'altération potentielle sur substratum cristallin granito-gneissique selon la latitude.
(D'après Pedro, 1975).

Figure 18b : répartition géographique des différents sols
(in Cojan et Renard, Dunod, 2006)

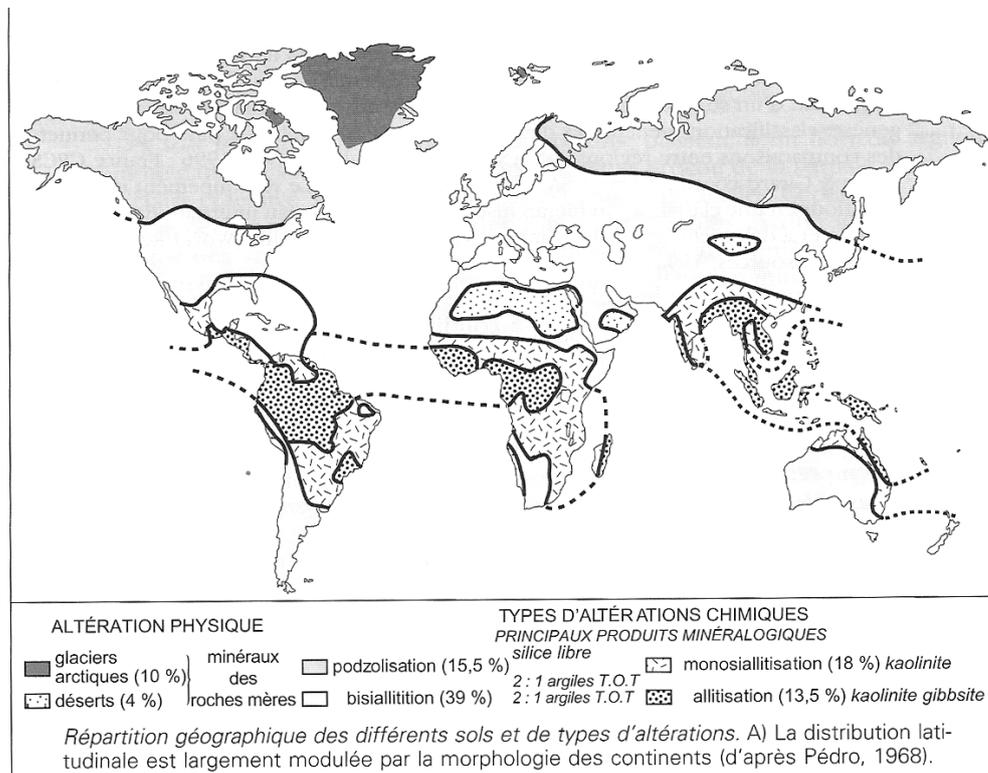


Figure 19 : Bilan : arénisation et latérisation
(in Renard, 2016)

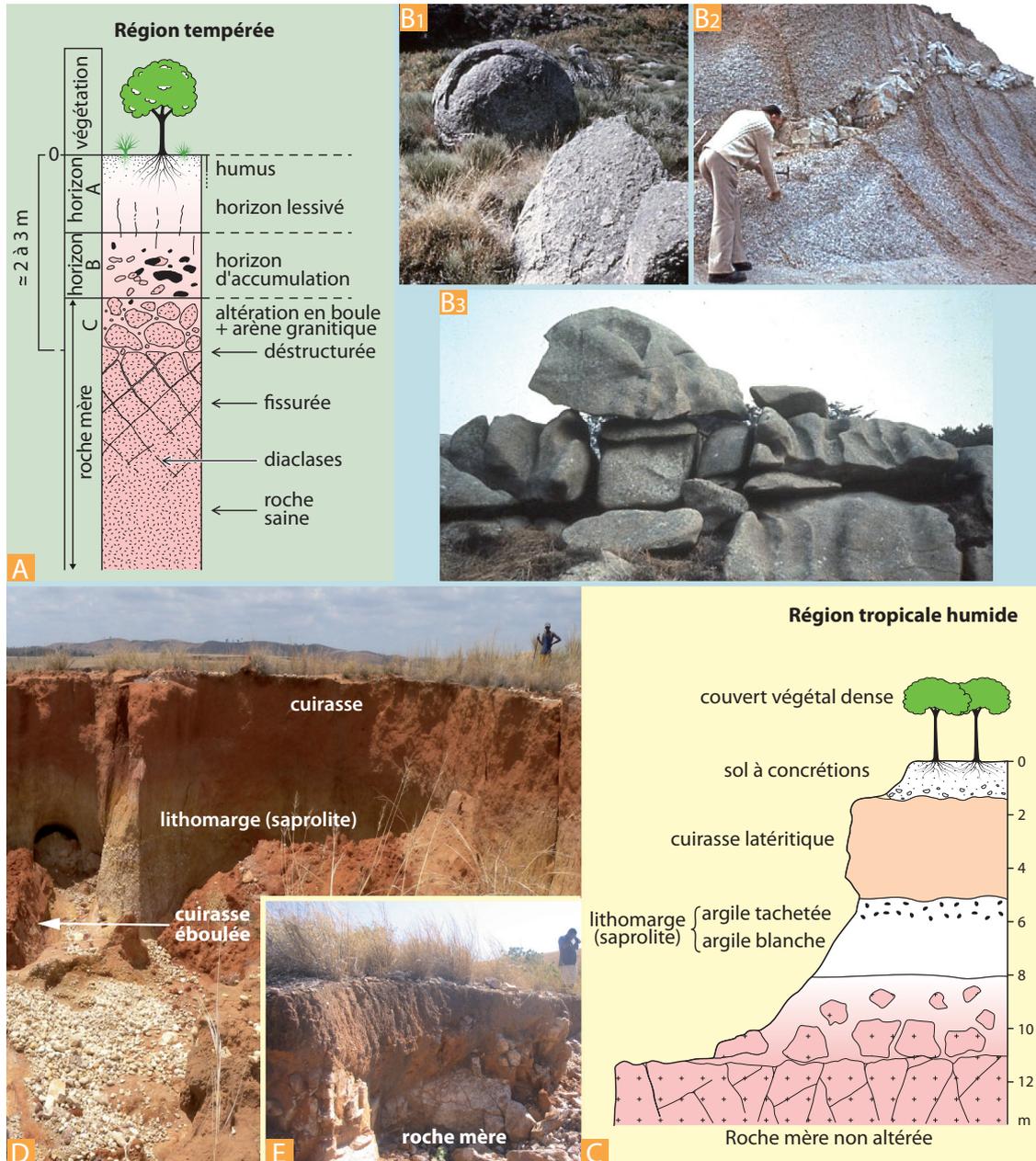


Figure 27.8 Altérations d'un massif granitique : arénisation et latérisation.

A et B. En climat tempéré : l'arénisation du granite se développe dans le sol sur quelques mètres (B2) et s'insinue le long des diaclases. Plus intense à l'intersection des plans de diaclases, elle aboutit à la formation de boules qui demeurent hypogées (B1) ou forment des chaos si les produits meubles de l'arène sont évacués par le ruissellement (B3).

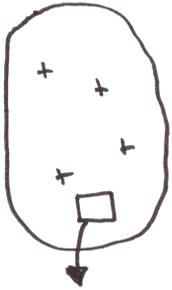
B1 : altération en boule du granite (Mont Lozère, France) ; B2 : arénisation complète d'un granite, on remarquera que le filon d'aplite (roche à grain fin) a résisté à l'altération (Saulzet-le-Chaud, Puy-de-Dôme) ; B3 : chaos granitique (Ploumanach, Côtes d'Armor). (Photos M. Renard.)

C. En climat tropical humide : la latérisation (cuirasse et saprolite) peut se développer sur des dizaines de mètres.

D. Profil latéritique à Madagascar et **E** : transition entre la roche mère (quartzite aurifère) en voie de décomposition et la base du profil latéritique (les personnages donnent l'échelle (photos R. Razafimbe-lo).

ALTERATION PHYSIQUE ET CHIMIQUE DU GRANITE

Roche saine



Altération physique

- T
- eau (glace)
- fissures, diaclases
- gravité

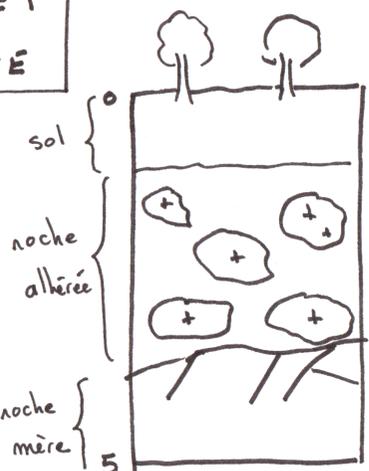


Altération chimique

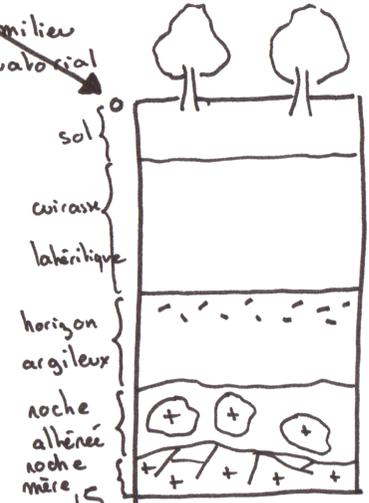
(ex: orthox)
= HYDROLYSE

- bisialitisation
- monosialitisation
- alitisation

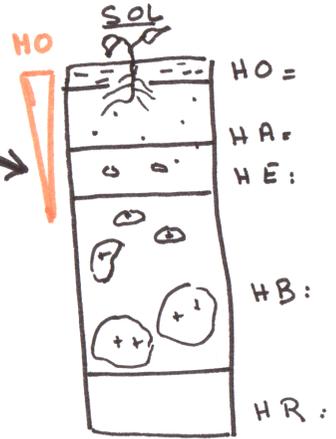
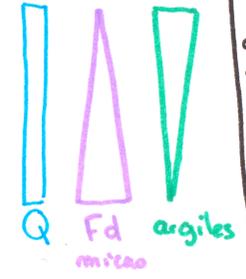
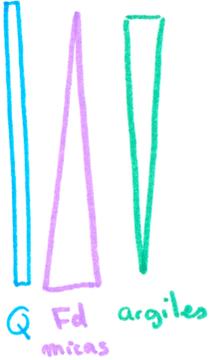
T, pluies



milieu tempéré
Profondeur (cm)



milieu équatorial
Profondeur (cm)



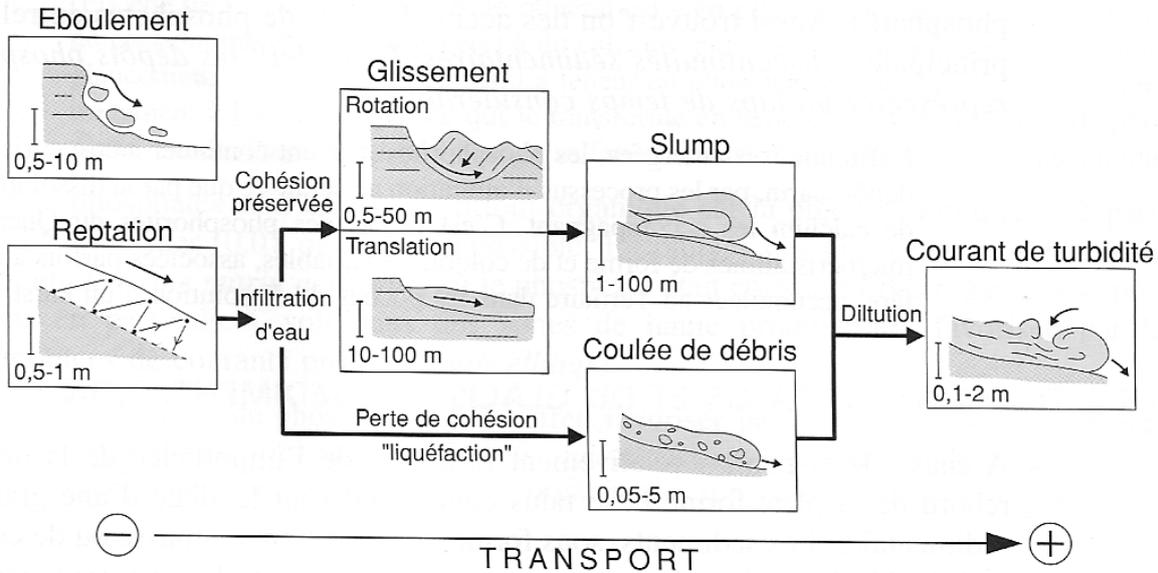
ALTERATION CHIMIQUE DU CALCAIRE (CaCO₃) = DISSOLUTION



Paysage = karst

Structures : doline, lapiez, canyons.

Figure 20 : Processus gravitaires (in Cojan et Renard)

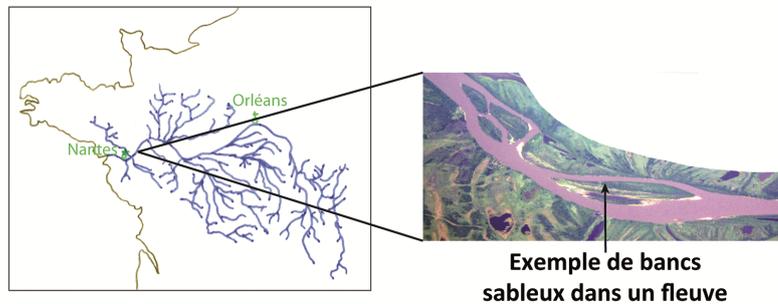


Les différents processus gravitaires.

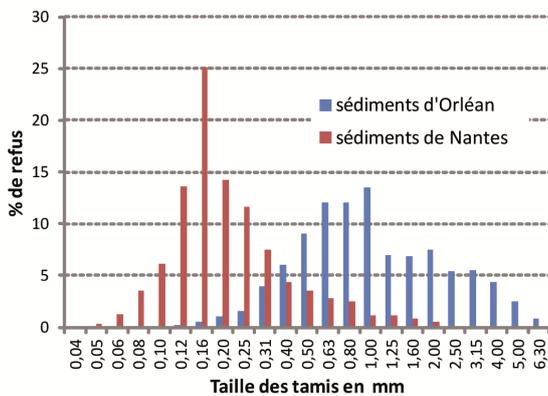
Figure 22 : Représentation des différentes classes granulométriques de deux sables de Loire, échantillonnés vers Orléans et vers Nantes (in Segarra et al., Ellipses, à paraître)

Le pourcentage de refus correspond à la quantité de sédiment bloqué par les mailles d'un tamis.

Localisation du bassin versant de la Loire



Histogrammes du pourcentage de refus par tamis pour deux sables de la Loire



Courbes cumulatives des tailles de particules pour deux sables de Loire

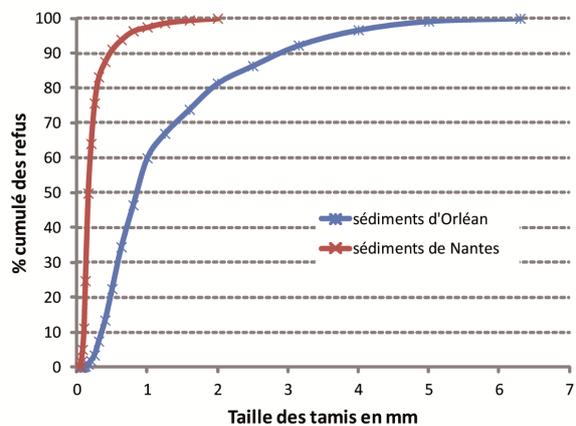


Figure 21 : influence de la lithologie du bassin versant sur la charge ionique des rivières
(d'après Sujet TB AGRO 2014)

On étudie deux affluents d'une rivière himalayenne, la rivière Sėti, qui prennent leur source dans deux régions de l'Himalaya.

Paramètres chimiques des deux affluents

Les concentrations ioniques sont données en $\mu\text{mol/L}$.

	Ca^{2+}	HCO_3^-	Si^{4+}
Dhung Gad	906	2849	152
Kali Gad	123	525	377

Localisation des deux affluents sur la carte géologique simplifiée de la région

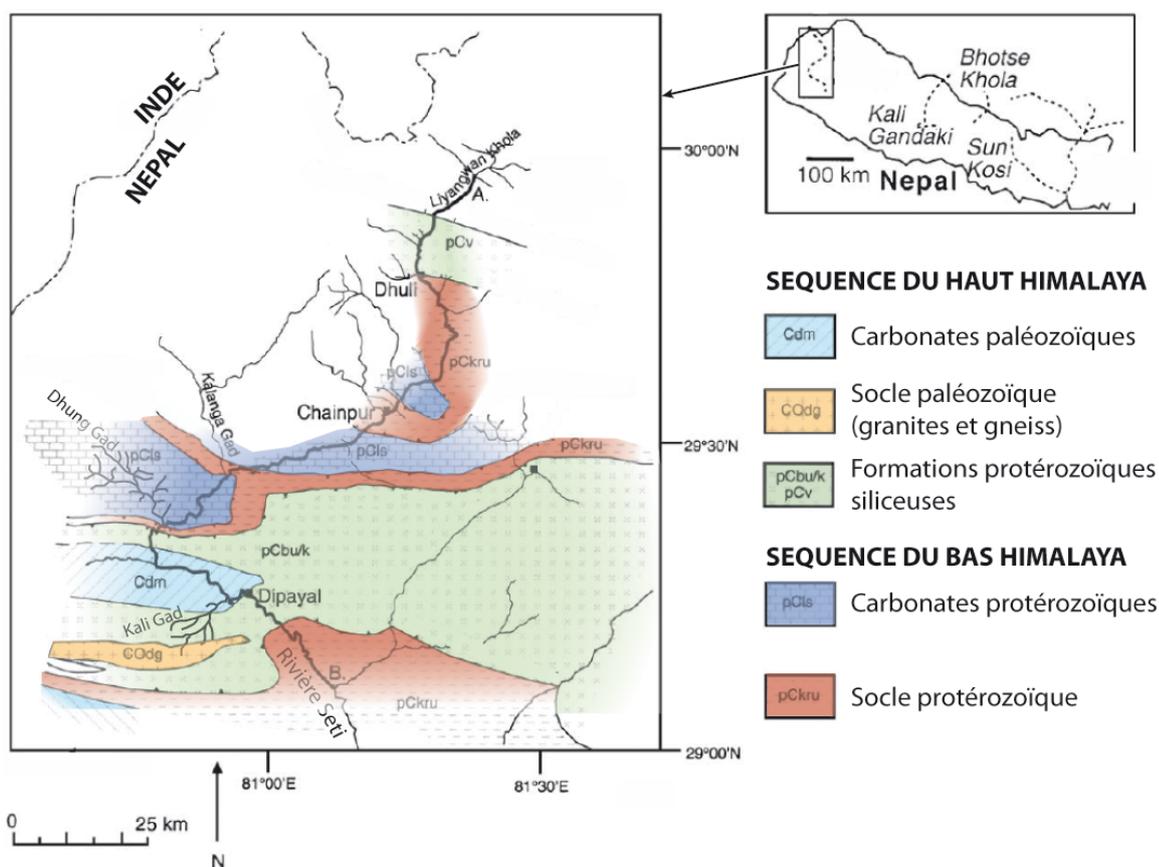
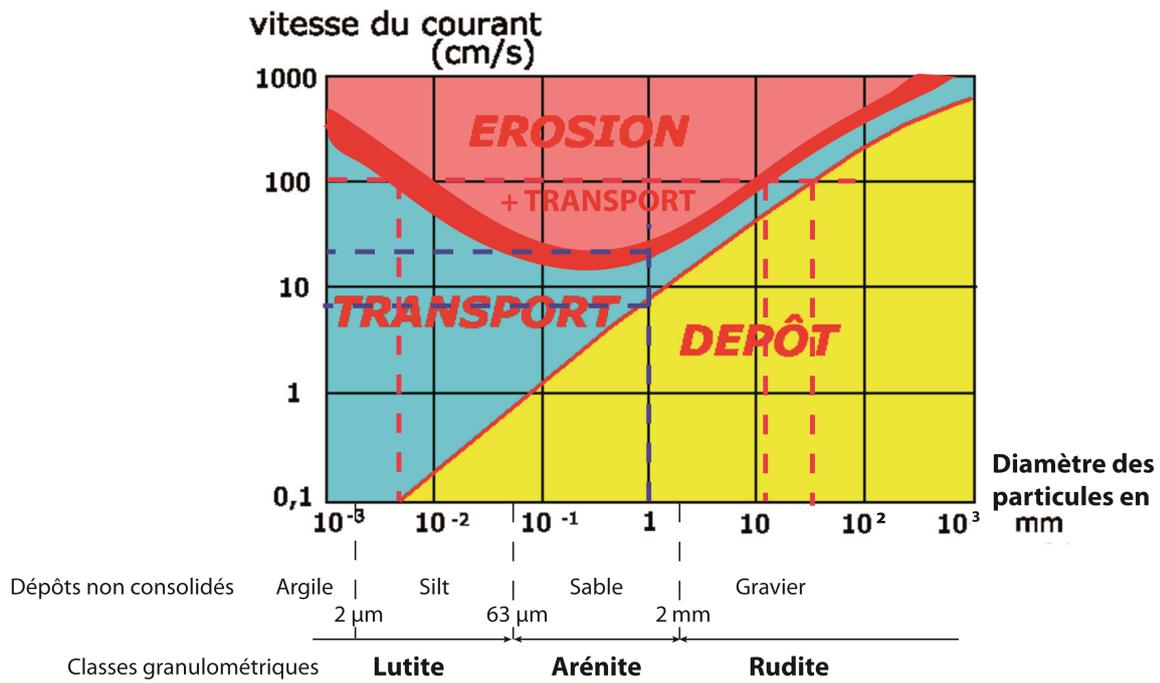
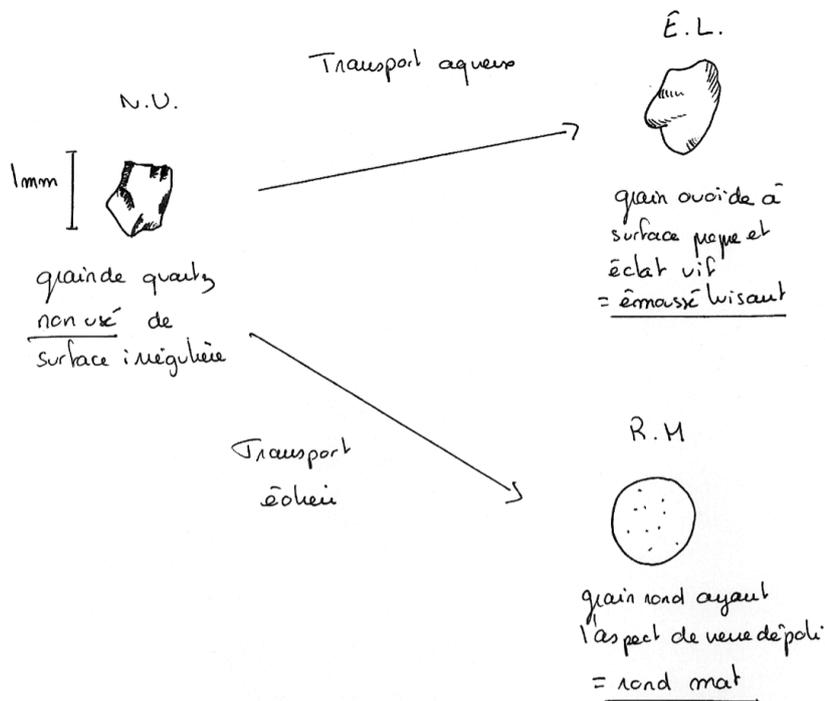
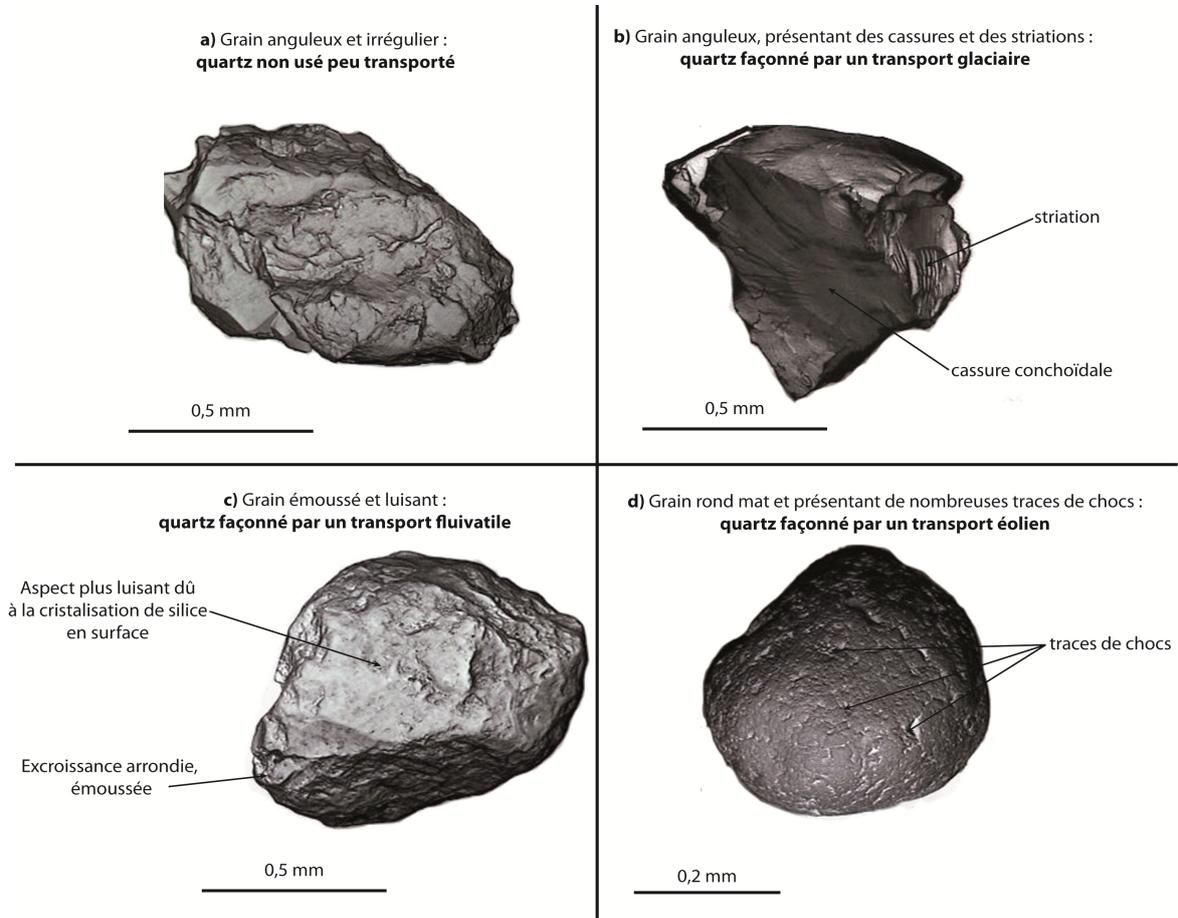


Figure 23 : Diagramme de Hjulström
A SAVOIR EXPLOITER!!!



Conglomérat de Valensole
(Les Mées) : poudingue

Figure 24 : usure d'un grain de quartz
(in Segarra et al., Ellipses, à paraître)



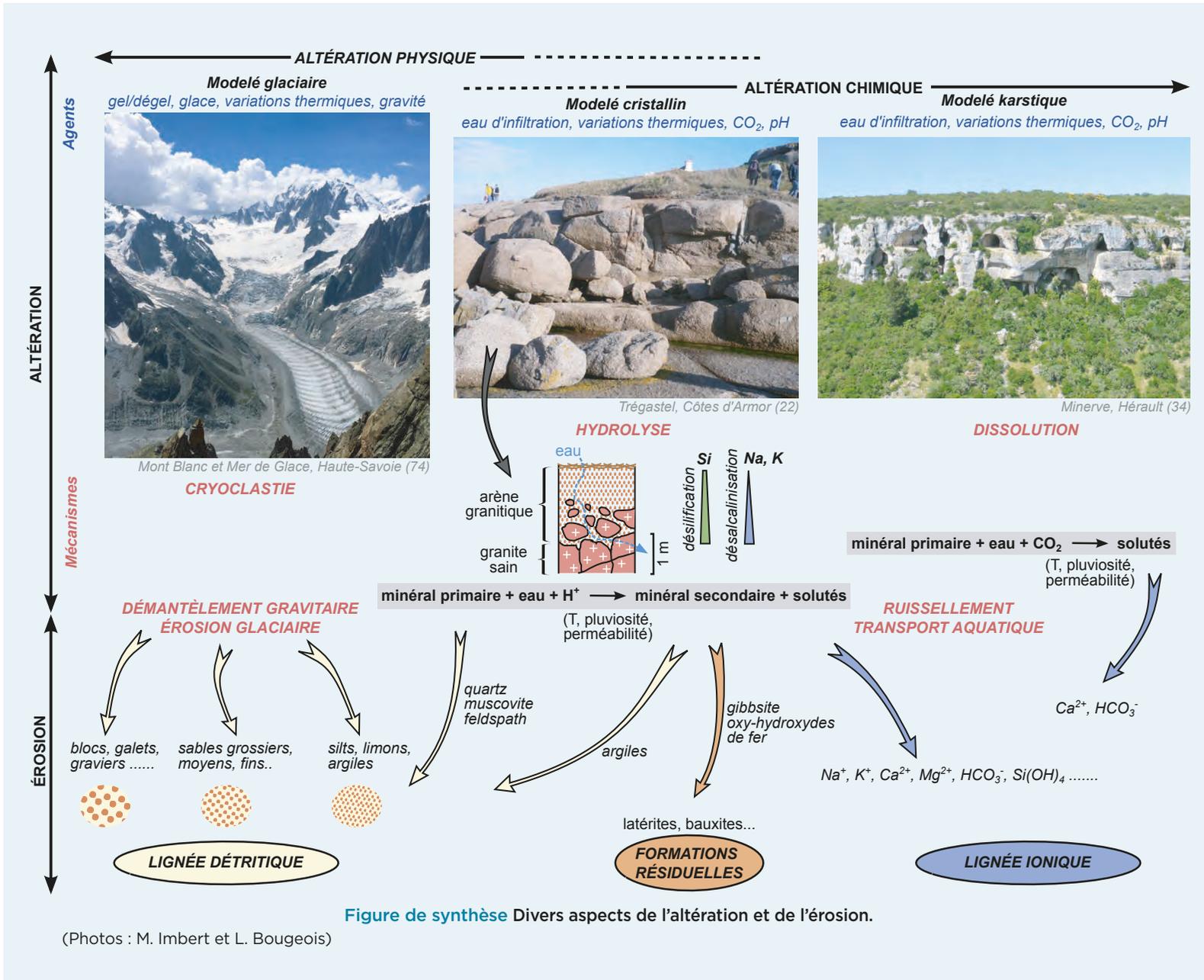


Figure 25 : BILAN
(in Dunod, 2021)