

L'altération et l'érosion de roche

L'altération est l'ensemble des phénomènes qui libèrent les particules d'une roche. C'est la modification des propriétés physico-chimique des minéraux. Ces agents sont de deux types: atmosphériques (vent, glace, température, eau) et les eaux souterraines et thermales. Elle dépend du climat, de la température des eaux et de la nature de la roche et son degré de fracturation. Les mécanismes responsables de l'altération sont l'altération physique, l'activité organique et l'altération chimique.

□ **Altération physique.**

Conduit à la fragmentation d'une roche (dégradation ou désagrégation mécanique). Elle prédomine dans les régions à fort écart de température et d'humidité. Les facteurs de la désagrégation sont : **l'alternance du gel et du dégel** qui conduit à la dissociation de la roche lorsque la glace se forme; **la cristallisation des sels (halite, gypse)** qui conduit à des phénomènes d'expansion et de dissociation des roches poreuse; **l'activité biologique (terriers d'animaux fouisseurs, croissance des racines de végétaux)** qui conduit à la dissociation des formations.

L'altération physique s'effectue plus facilement le long des plans de faiblesse (discontinuités, joints de stratification, joints de contrainte ou diaclase). Il existe plusieurs mode de fragmentation selon le comportement particulier de la roche, on parle de **disjonction en blocs** (selon un réseau de fissures ou diaclases exemple boules de granites); **de débitage en prisme** (orgues des roches volcaniques: prisme hexagonaux perpendiculaire à la surface de la coulées) ; **de fragmentation liée à la structure de la roche sous l'action du gel** (gelifraction ou cryoclastie)

□ **Altération biologique.**

Au niveau des sols, l'activité végétale maintient une teneur en dioxyde de carbone trois à cinq fois plus élevée que dans l'atmosphère; ceci rends les eaux d'infiltration en acide carbonique. L'élargissement des racines des végétaux supérieur ont une action mécanique, en provoquant la fissuration des roches et chimique en sécrétant des substances acides qui peuvent hydrolyser les minéraux. Les actions des végétaux inférieurs (bactéries et lichens), sont également importantes. Les lichens par exemple décomposent directement la roche, obtenant ainsi l'essentiel de leur alimentation en sels minéraux. La plupart des minéraux y compris le quartz, sont ainsi attaqués chimiquement.

□ **Altération chimique.**

L'altération chimique agit de deux façons: certains minéraux (halite, calcite) sont dissous totalement et leurs ions sont évacués en solution. D'autres minéraux (micas, feldspaths) sont transformés en d'autres espèces minérales (surtout en argiles), souvent de granulométrie plus fine et plus facilement mobilisables par l'érosion. La plupart des réactions impliquées dans l'altération nécessitent la présence d'eau et d'air. Dans la nature, il existe quatre mécanismes d'altération, selon la nature de la solution d'attaque:

	ph < 5	5 < ph < 9.6	Ph > 9.6
Solutions diluées en éléments salins (... N/1000)	ACYDOLYSE Eaux chargées en acides organiques solubles	HYDROLYSE Eaux pures ou chargées en CO ₂	
Solutions concentrées en éléments salins (Na, k, Ca....)		SALYNOLYSE Eaux chargées en sels d'acides forts (chlorures, sulfates)	ALCALYNOLYSE Eaux chargées en sels d'acides faibles (carbonates et bicarbonates)

A- Principales réactions chimiques impliquées dans l'altération.

1 Mise en solution: c'est la réaction la plus simple, faisant intervenir de l'eau, ou un acide. Quelques cas concrets:

- la solubilité du quartz est très faible (6 ppm dans les eaux de surface); la réaction de mise en solution est la suivante: $\text{SiO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_4\text{SiO}_4$
- la calcite, par contre est beaucoup plus soluble, parce que l'eau de pluie se charge en CO₂ et agit comme un acide faible lors de sa mise en contact avec la calcite (environ 2000 ppm). La réaction est la suivante: $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{Ca}^{++} + 2 \text{HCO}_3^-$ (bicarbonate en solution).
- la halite et les autres halogénures sont très solubles (solubilités de l'ordre du millier de ppm).

2Hydratation et déshydratation : minéral + eau = nouveau minéral hydraté. La déshydratation est le processus inverse. Les réactions les plus importantes sont:

- la déshydratation du gypse pour produire de l'anhydrite: $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CaSO}_4 + 2 \text{H}_2\text{O}$;
- l'hydratation de l'hématite pour produire de la limonite: $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3 \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2 \text{Fe}(\text{OH})_3$;
- l'hydratation de la kaolinite pour produire de la gibbsite.

3 Hydrolyse : cette réaction est le processus par lequel un cation d'un minéral est remplacé par le H^+ d'une solution acide. Cette réaction a pour conséquence de détruire le minéral (mise en solution complète) ou de le convertir en une nouvelle espèce. A titre d'exemple, l'olivine et le pyroxène se dissolvent complètement, alors que les feldspaths se dissolvent partiellement, produisant de la silice en solution et des minéraux argileux. Exemples:

- $Mg_2SiO_4 + 4 H^+ \rightarrow 2 Mg^{++} + H_4SiO_4$;
- $2 CaMgSi_2O_6 + 16 H^+ \rightarrow 2 Ca^{++} + 2 Mg^{++} + 4 H_4SiO_4$;
- $KAlSi_3O_8 + H^+ \rightarrow Al_2Si_2O_5(OH)_4 + K^+ + H_4SiO_4$

4 l'oxydation-réduction : le processus d'oxydation le plus connu est la transformation de Fe^{2+} en Fe^{3+} ; le Mn se comporte de la même manière que le fer, avec la pyrolusite (MnO_2) et la manganite ($Mn_2O_3 \cdot H_2O$) comme principaux produits d'oxydation.

- $(Fe^{2+})_2SiO_4 + 1/2 O_2 + 5 H_2O \rightarrow 2 Fe^{3+}(OH)_3 + H_4SiO_4$;
- $4 FeS_2 + 15 O_2 + 8 H_2O \rightarrow 2 Fe_2O_3 + 8 H_2SO_4$

5 Réactions impliquant la matière organique : une réaction importante est l'oxydation de la matière organique, produisant de l'eau et du CO_2 , lui-même impliquée dans des réactions de mise en solution:

- $C_6H_{12}O_6 + 6 O_2 \rightarrow 6 CO_2 + 6 H_2O$

constituants solubles	Na^+ , Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , H_4SiO_4 , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^-
minéraux résiduels	quartz, zircon, magnétite, ilménite, rutile, grenat, sphène, tourmaline, monazite
minéraux néoformés	kaolinite, montmorillonite, illite, chlorite, hématite, goethite, gibbsite, boehmite, diaspore, silice amorphe, pyrolusite
Constituants organiques	Acides organiques, acides humiques, kérogène

Tableau : produits les plus courants de l'altération chimique.

L'ordre de stabilité des minéraux des roches silicatées est l'ordre inverse de cristallisation à partir d'un magma. **Les verres sont les premiers matériaux à subir l'altération, puis les minéraux qui cristallisent à haute température (olivine, puis pyroxènes, amphiboles, biotite d'une part et plagioclases Ca vers plagioclases Na d'autre part). Les minéraux les plus résistants sont les feldspaths potassiques, la muscovite et surtout le quartz.**

L'altération a pour effet de décomposer une roche en (1) des ions solubles et des grains qui vont être mobilisés par l'érosion et (2) un dépôt résiduel, demeurant sur place.

B- Les paramètres qui contrôlent l'altération chimique.

1 Le climat est probablement le facteur le plus important dans le contrôle de l'altération chimique. Si l'on considère en effet l'aspect cinétique des réactions chimiques, il est clair qu'une température élevée va les favoriser. L'humidité est également importante, puisque beaucoup de réactions se passent en milieu aqueux. **L'altération chimique est donc active en climat chaud et humide. En climat froid, même si les précipitations sont abondantes, l'eau est à l'état de neige ou de glace, favorisant plutôt l'altération physique** (fig. II.1). D'autres facteurs occupent également une place importante, quoique plus indirecte: c'est par exemple le cas du drainage. Si les ions mis en solution ne sont pas évacués, un équilibre chimique sera atteint et les réactions d'altération vont s'arrêter. Le relief, également, contrôle la pente des réseaux fluviaux et la rapidité des courants, donc l'intensité de l'évacuation des ions: on a pu montrer par exemple que pour des circulations faibles, l'albite est transformée en kaolinite, alors qu'avec une circulation plus rapide, elle est transformée en gibbsite (car l'acide silicique est évacué).

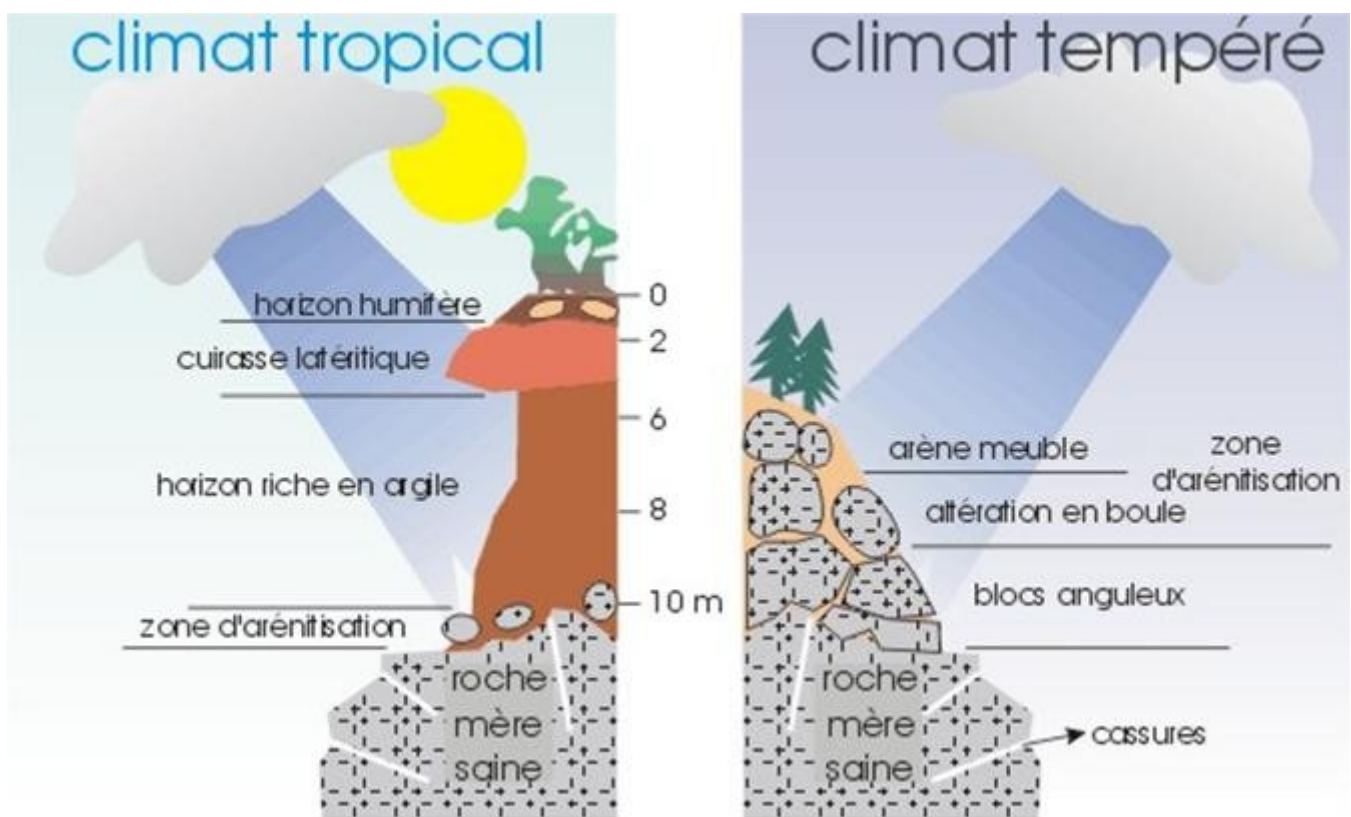


Fig. 8: influence du climat sur le profil d'altération. En climat tempéré, l'altération est surtout mécanique. L'altération chimique est faible et consiste surtout dans le départ de cations très solubles comme Na^+ et Ca^{++} des minéraux les moins stables; une arène est créée. En climat tropical, l'altération est surtout chimique. L'eau abondante et chaude provoque une mise en solution de la plupart des minéraux, avec reprécipitation des ions Fe, Al, Si sur place (cuirasse). L'horizon riche en argile résulte de processus de néoformation à partir des minéraux de la roche mère et à partir des ions venant des horizons supérieurs. Enfin, à la base du profil, on retrouve la roche-mère avec une zone d'arénitisation très peu développée.

2 L'acidité-alcalinité et le degré d'oxydo-réduction des eaux sont également des paramètres importants contrôlant l'altération chimique. Dans la relation de l'Eh en fonction du pH pour des environnements

naturels variés (fig. 9), on constate que l'eau pluviale est légèrement acide, comme les sols. Ce sont deux environnements où dissolution et hydrolyse vont jouer un rôle dominant. Par contre, le pH de l'eau de mer est de l'ordre de 8: peu de réactions d'hydrolyse ont donc lieu en milieu sous-marin. On observe aussi que la plupart des environnements en contact avec l'atmosphère sont oxydants. Des conditions réductrices ne sont observées que dans des milieux isolés de l'atmosphère (bassins stratifiés, nappes profondes,...) ou des milieux dont tout l'oxygène est consommé (par exemple suite à l'oxydation de la matière organique).

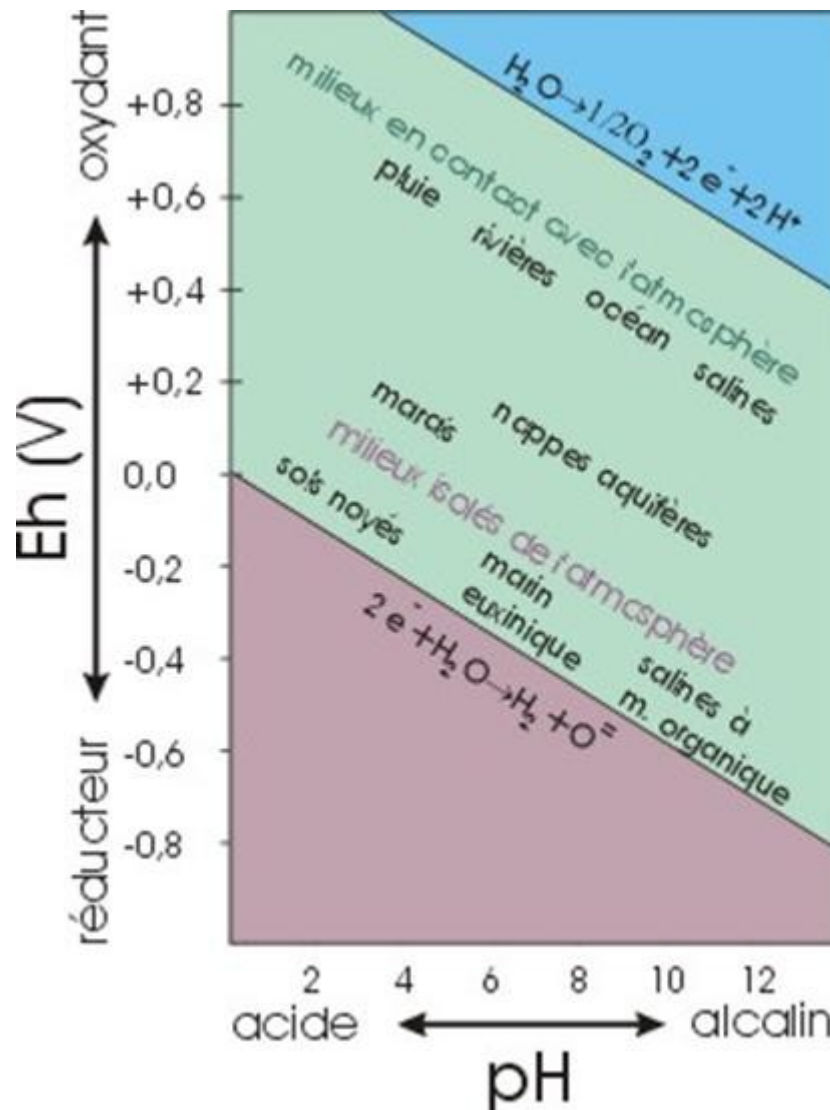


Fig. 9- graphique des propriétés Eh/pH des principaux environnements naturels.