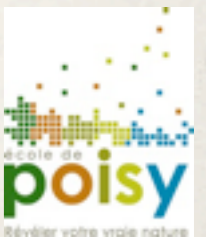


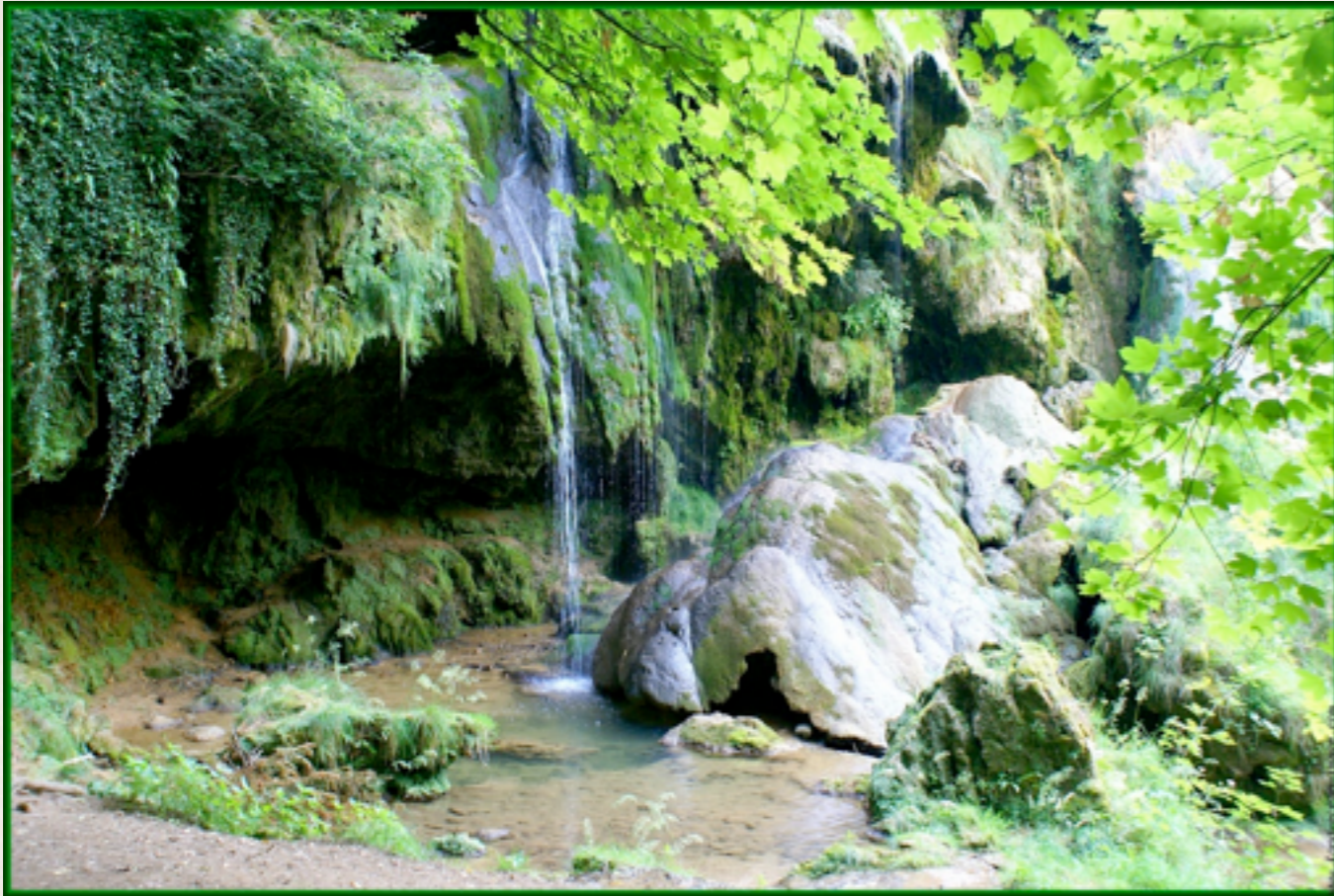


Les équilibres carbonatés

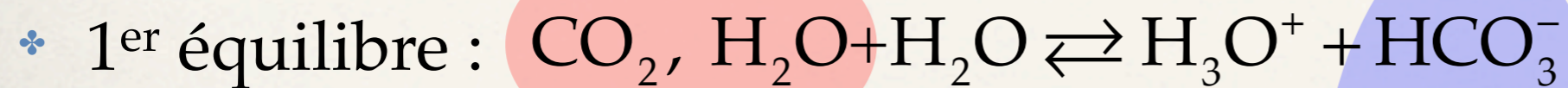
Solutions acido-basiques



BTSA GPN, Chimie Des Eaux Naturelles - B. Presson, 2012-2013



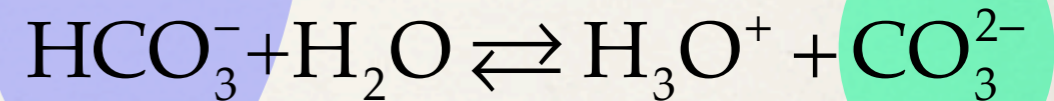
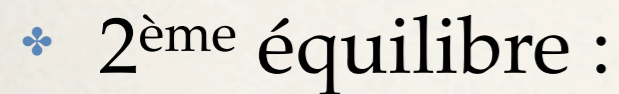
Les équilibres dans l'eau



$$pK_{A1} = 6,52$$

dioxyde de carbone
dissout

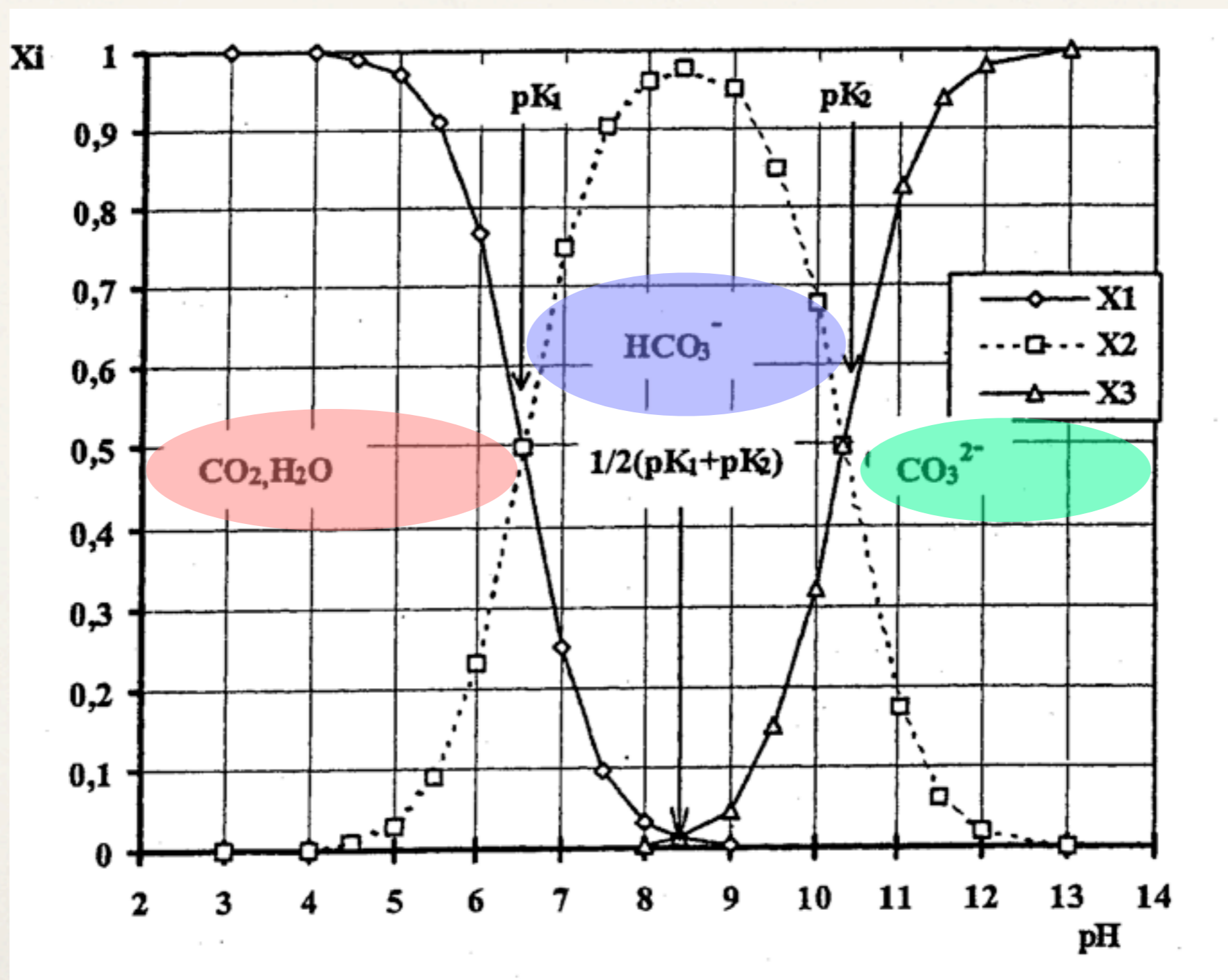
ion
hydrogénocarbonate



$$pK_{A2} = 10,32$$

ion carbonate

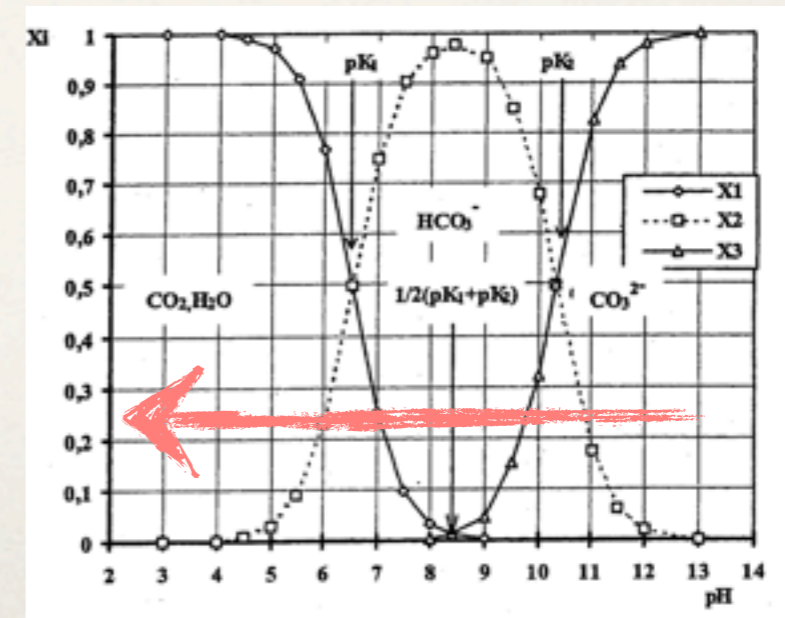
Diagramme de prédominance



Acidification du milieu

- * Les roches carbonatées sont très sensibles à l'eau : Les calcaires (au - 50% calcite) sont peu solubles dans l'eau pure, mais ils se dissolvent facilement si l'eau contient du CO_2 (eau de pluie : 60 à 80 mg/L, eau de source 200 mg/L)
- * L'action dissolvante de l'eau augmente quand la température diminue et la pression augmente (loi de Henry) : la dissolution est la plus forte sous les climats tempérés à froid et pluvieux. Dans des sédiments, il y a dissolution de la calcite en dessous d'une certaine pression : on délimite une profondeur de compensation des carbonates.
- * La **respiration** tend à augmenter la quantité de CO_2 dans l'eau.
- * Décalcification des roches calcaires → **argiles de décalcification** : accumulation sur place des fractions silicatées insolubles et des oxyhydroxydes de fer (argiles à silex, argiles à chailles)

Dissolution de la calcite CaCO_3 par apport de CO_2

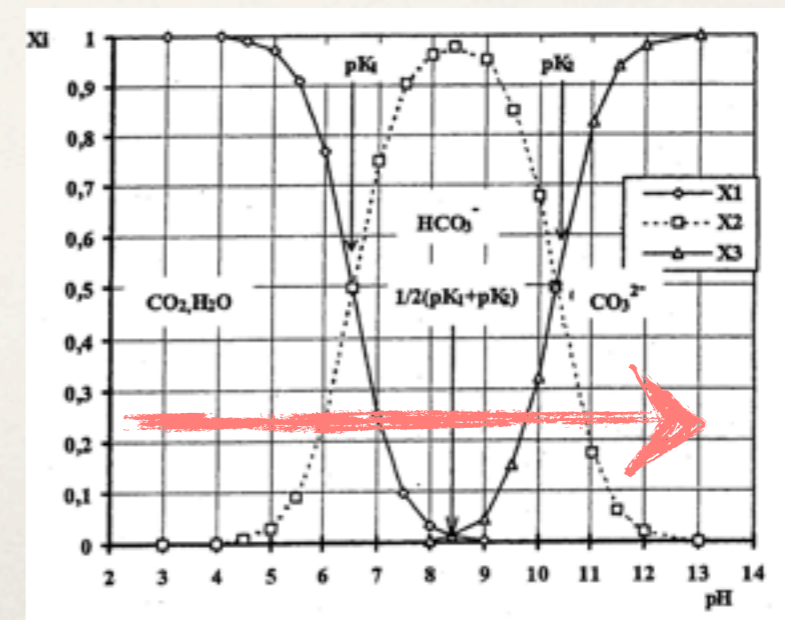


Alcalinisation du milieu

- * Facteurs entraînant le départ de CO_2 :
 - * Augmentation **température** (dépôt de calcaires dans les sources pétifiantes, tartre bouilloire)
 - * Diminution de **pression** (stalactites, travertins des sources pétifiantes)
 - * Absorption de CO_2 par l'activité **chlorophyllienne** des plantes vertes, par les bactéries (tufs au niveau des sources)
- * Départ de H_2O : **Evaporation** (concrétions calcaires dans les grottes)

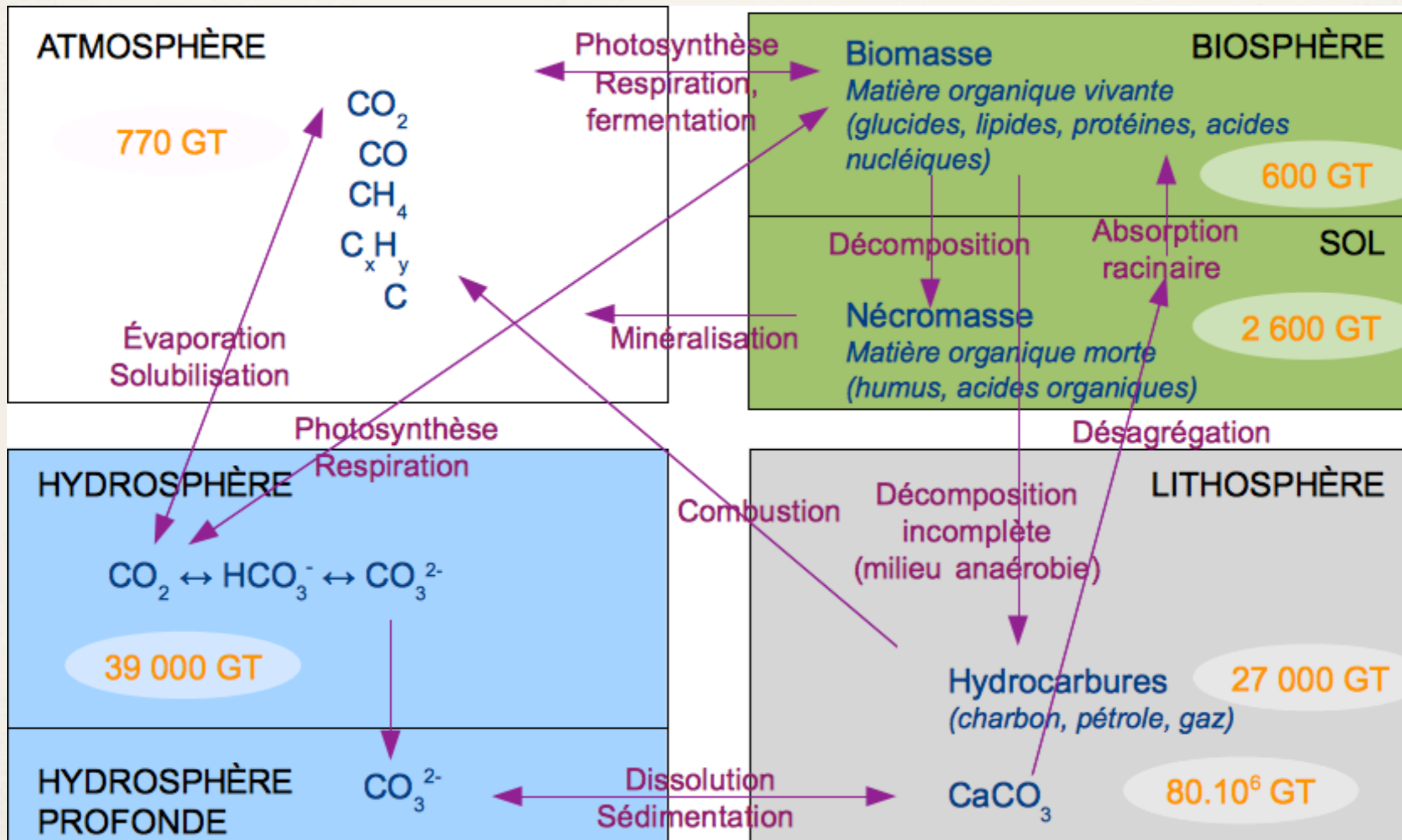
Plus l'eau est chaude et plus l'activité chlorophyllienne est forte, et moins il y a de CO_2 dans l'eau : plus la calcite reste stable.

Précipitation de la calcite CaCO_3 par départ de CO_2 ou H_2O



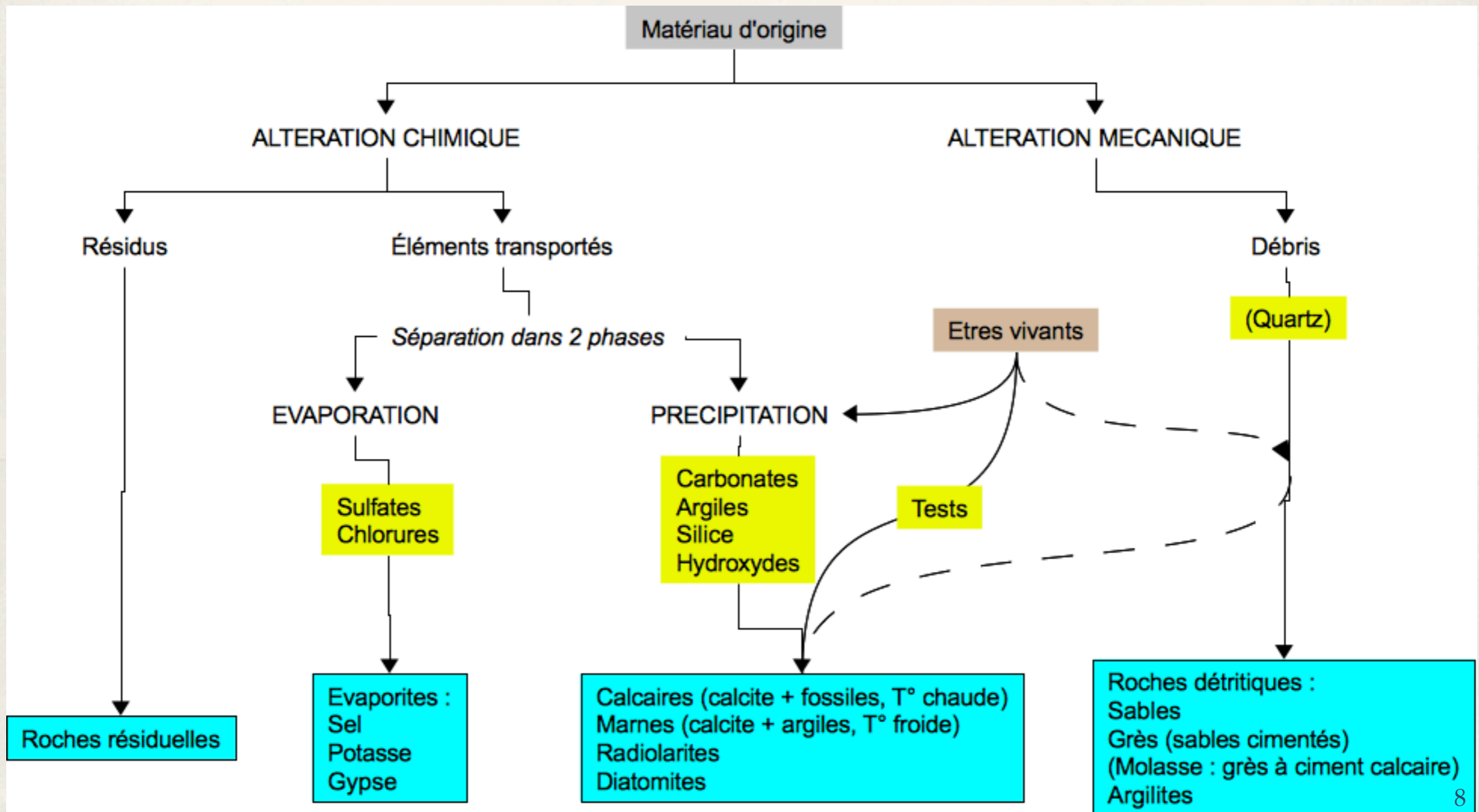
Cycle du Carbone

Réservoirs



Géologie

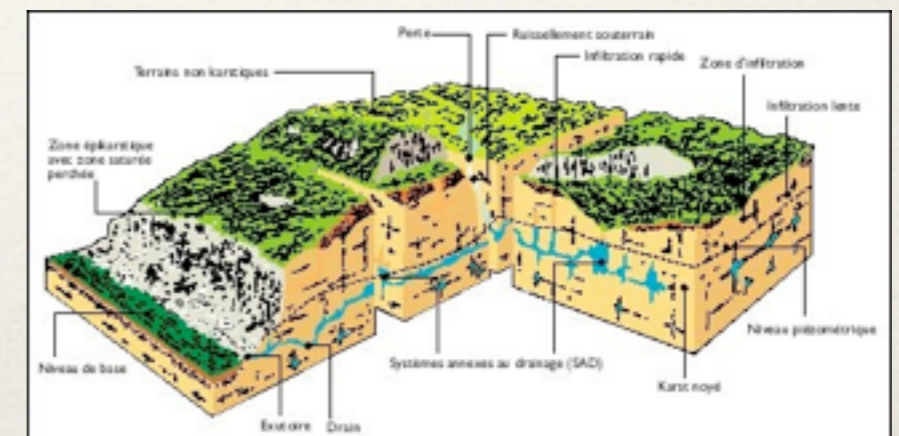
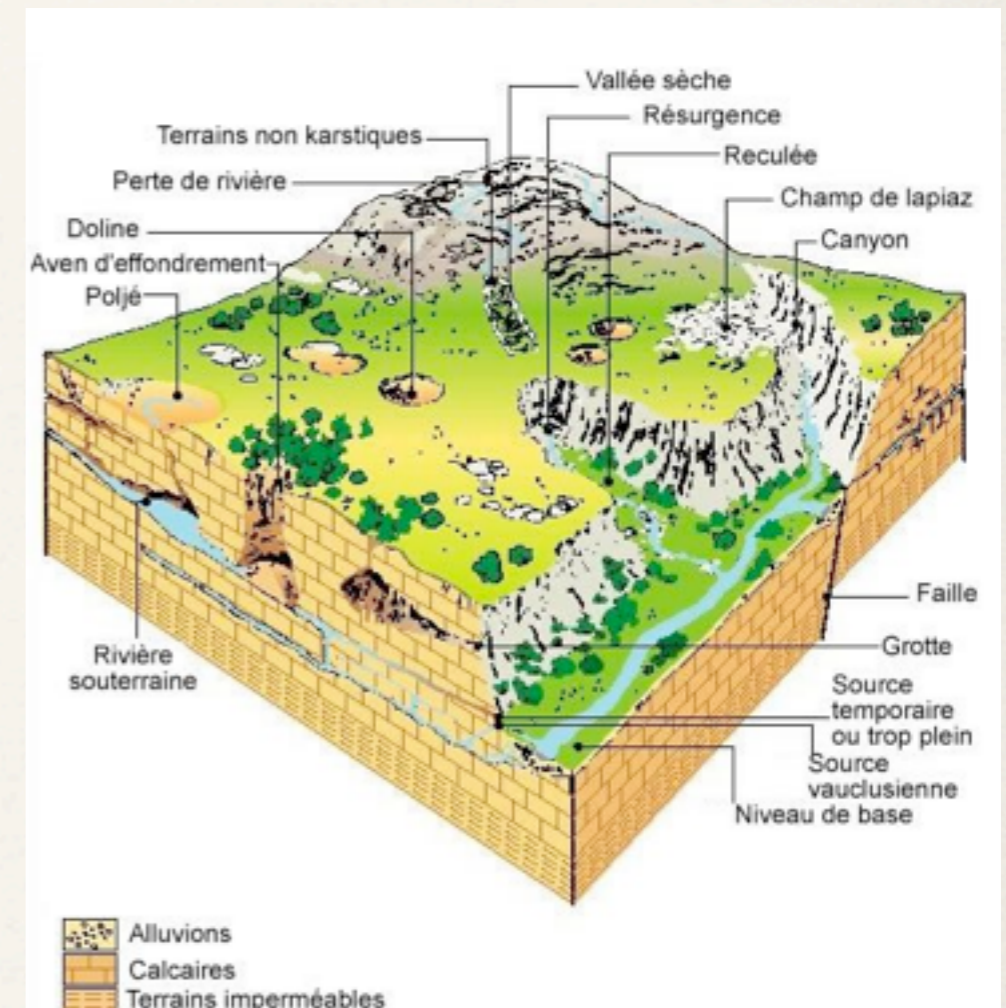
Sédimentation



Géologie

Le karst

- ❖ Le karst est constitué par un ensemble de formes souterraines et de surface et de conditions d'écoulements souterrains, qui interagissent les unes sur les autres.
- ❖ Dans ces roches, la dissolution et l'écoulement souterrain créent des conduits parfois pénétrables par l'homme ; ces conduits sont organisés en réseau hiérarchisé de l'amont (les points d'infiltration d'eau dans la roche) vers l'aval (la source).
- ❖ En dehors du réseau karstique, les vides dans la roche sont constitués par des cavités et par les discontinuités de la roche (fissures, fractures et plans de stratification plus ou moins élargis par la dissolution) ; tous ces vides sont mal connectés hydrauliquement aux conduits. Cette organisation (= réseau karstique ou réseau de drainage) se fait à la manière de celle des fleuves et des rivières, en fonction de la pente générale et de la résistance opposée par la roche (perméabilité) ; elle peut être plus ou moins linéaire et simple, ou très complexe.



Géologie

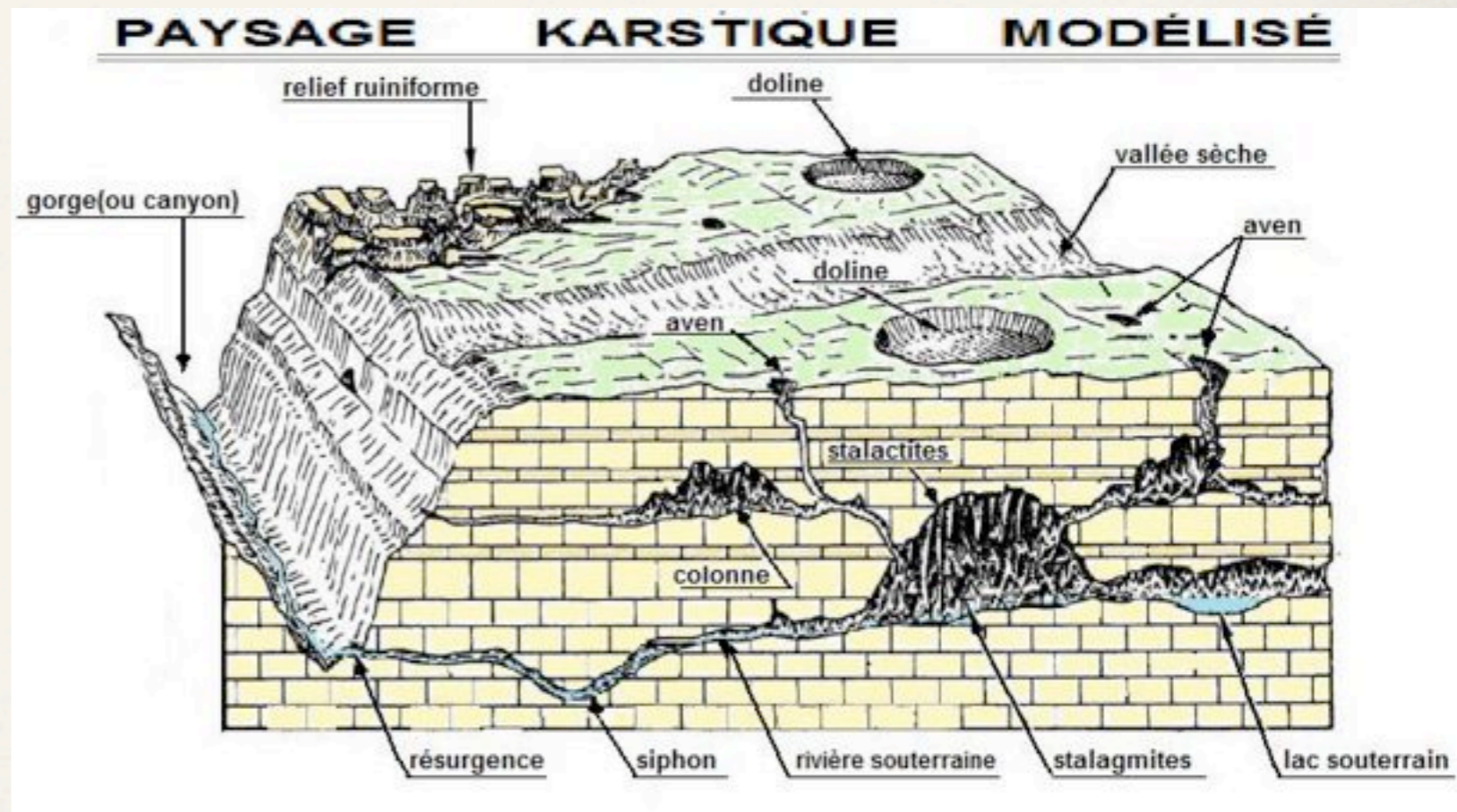
Le karst - formation

- ❖ Le processus de mise en place du karst (= la karstification) est rapide, en temps géologique évidemment ; pour qu'un réseau se mette en place, il suffit de quelques dizaines de milliers d'années au maximum. Un réseau souterrain se met en place en se « calant » **sur le niveau le plus bas des calcaires dans le paysage** : c'est le **niveau de base**, où apparaît la source. Mais les écoulements peuvent se produire à des niveaux inférieurs à celui de la source, en profondeur dans la formation géologique.
- ❖ Ainsi, pour que se forme le karst, il faut que soient réunies les conditions suivantes :
 - L'eau doit pouvoir **dissoudre la roche**, donc contenir un acide. L'acide le plus commun résulte de la dissolution du dioxyde de carbone (CO_2) produit par la végétation dans les sols
 - L'eau doit pouvoir **s'écouler à l'intérieur de la roche** (et évacuer les espèces dissoutes), c'est-à-dire que l'écoulement souterrain doit se produire, de préférence à l'écoulement superficiel. Comme les vides de la roche (fissures, fractures et joints de bancs) possèdent à l'origine une très faible largeur pour la plupart, la roche présente une faible perméabilité, c'est-à-dire qu'elle oppose une forte résistance à l'écoulement souterrain. Il faut donc qu'existe une charge suffisante d'eau souterraine, soit une hauteur suffisante par rapport au point de sortie. Cette condition est remplie lorsqu'il existe un relief bien marqué, comme en montagne ou dans les régions de plateaux traversés par des gorges (canyons).

Géomorphologie

Le karst

- * Doline : dépression fermée et circulaire creusée par l'infiltration d'eaux acides dans les fissures de la roche calcaire.
- * Gélifraction : fragmentation des roches par alternance de phases de gel et de dégel.
- * Lapiaz : surface de roche calcaire incisée de rigoles et cannelures dues à la dissolution par les eaux de ruissellement de surface (l. à crêtes aiguës) ou sous le sol forestier (l. arrondi).
Quand des argiles issues de la décarbonatation (argiles de décalcification) s'accumulent dans les creux du lapiaz, une végétation peut s'y installer. Dans le cas contraire, le lapiaz est complètement stérile.
- * Marmite : trou circulaire formé par des tourbillons d'eau chargée de sables et galets.
- * Tanne : nom savoyard donné aux grottes et gouffres.



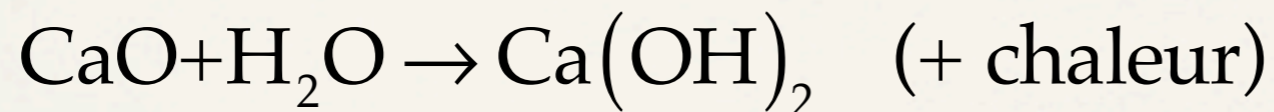
Hygiénisation Chaulage des boues de station

Chaulage des boues : on ajoute de la chaux vive aux boues

⇒ augmentation de la température

⇒ hygiénisation + amélioration siccité des boues

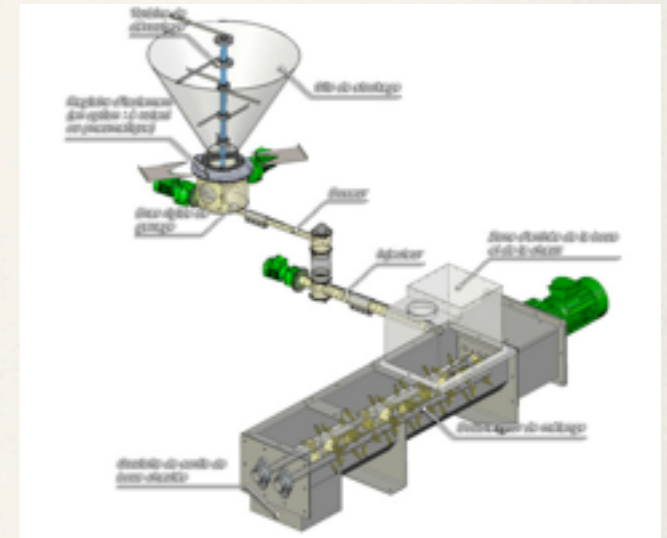
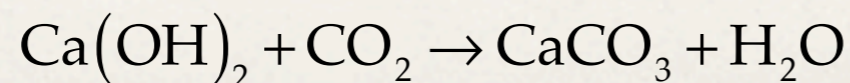
En effet, la chaux vive réagit violemment avec l'eau, en dégageant de la chaleur.
La chaux vive CaO est obtenue par calcination du calcaire CaCO₃.



chaux vive =
oxyde de
calcium

chaux éteinte
= hydroxyde
de calcium

Enduits à la chaux : réaction spontanée de carbonatation de la chaux aérienne



Qualité de l'eau

Alcalinité - TA et TAC

- ❖ L'alcalinité correspond à la quantité d'acide qui peut être captée par les ions présents dans l'eau.
Elle exprime sa teneur en anions : OH^- , CO_3^{2-} , HCO_3^- , PO_4^{3-} , SiO_4^{2-} ... Ces ions sont liés principalement à des ions alcalins (Na^+ , K^+) ou alcalino-terreux (dureté de l'eau : Ca^{2+} , Mg^{2+}).
- ❖ Titre alcalimétrique : $\text{TA} = [\text{OH}^-] + [\text{CO}_3^{2-}]$
Titre alcalimétrique complet : $\text{TAC} = \text{TA} + [\text{HCO}_3^-]$
- ❖ *Méthode de référence pour l'analyse pour les TA et TAC :*
Dosage par addition de solutions diluées d'acide fort, en présence d'indicateurs colorés, nécessaires pour neutraliser le volume d'eau à analyser.
- ❖ Le TA et le TAC s'expriment en degrés français ($^\circ\text{F}$) ou en milliéquivalent par litre (mé/L), avec la correspondance suivante : $1^\circ\text{F} = 0,2 \text{ mé/L}$ ou $1 \text{ mé/L} = 5^\circ\text{F}$

Qualité de l'eau

Dureté totale - TH

- * La dureté d'une eau exprime sa teneur en métaux alcalino-terreux : essentiellement en ions calcium (Ca^{2+}) et magnésium (Mg^{2+}) dissous dans l'eau sous forme de carbonates (peu solubles, CaCO_3 , MgCO_3), de bicarbonates ou hydrogénocarbonates (solubles, $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$), chlorures, sulfates...
- * Dureté totale (titre hydrotimétrique) : **TH** = dureté calcique + dureté magnésienne
- * Les sels de calcium et de magnésium précipitent avec le **savon**, qui perd ainsi son pouvoir détersif, et ne mousse plus.
Des eaux dures peuvent, dans certaines conditions de pH et de température, former des dépôts de carbonates et **entartre** les canalisations.
Par contre, une faible dureté ne permet pas l'élaboration d'une couche carbonatée assurant le plus souvent une **protection** des canalisations contre certains risques de corrosion.
- * 1°F correspond à la formation possible d'un dépôt de 10 mg/L de CaCO_3 .
 $1^\circ\text{F} = 0,2 \text{ mé/L} = 0,1 \text{ mmol/L}$ d'ion alcalino-terreux (X^{2+})

