

LE PHÉNOMÈNE KARSTIQUE : (RELIEFS KARSTIQUES)

1- DÉFINITION :

- En géologie et géomorphologie, le karst est caractérisé par des formes souterraines (grottes) et des structures de surface (karst de surface (fig.1)).
- Le mot **Karst** est le nom allemand de la région des plateaux calcaires à l'est de Trieste, en Slovénie.
 - **Un calcaire: (la roche) : limestone**
 - **Un sol calcaire : chalky soil ou calcareous soil**
 - **Une eau calcaire : hard water**

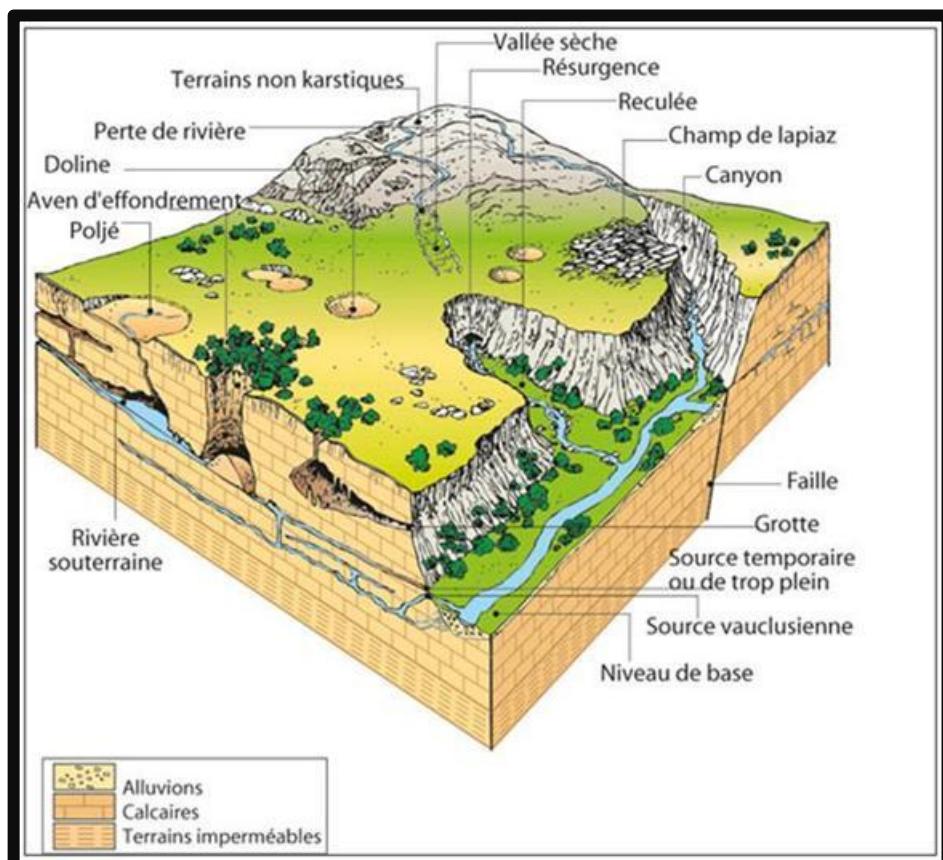


Figure 1. Représentation synthétique d'un système karstique [Source : D'après Bakalowicz, M. (1999). Connaissance et gestion des ressources en eaux]

- Eric Gilli (professeur au département de géographie de l'université Paris 8), a élargi la définition à tous les roches solubles (craie, marbre, travertin, gypse,...) dans lesquelles l'eau peut s'infiltrer, poursuivre son action de dissolution profonde et produire des cavités durables.
 - **Un karst est formé avec des niveaux élevés de carbonate de Calcium (CaCO_3).**
 - **Le karst est toujours défini, comme un type particulier de morphologie.**
 - **Or le paysage du karst résulte des écoulements souterrains particuliers qui se mettent en place progressivement dans les roches carbonatées (calcaires et dolomies) et dans les roches salines (gypse et parfois sel gemme).**
- Le karst est aussi considéré comme un aquifère, car l'eau souterraine joue un rôle essentiel dans sa création et son fonctionnement.
- Le karst est donc composé d'une variété de structures souterraines et de surface, ainsi que de conditions d'écoulement souterrain (photo.1.), qui sont en interaction constante entre elles.

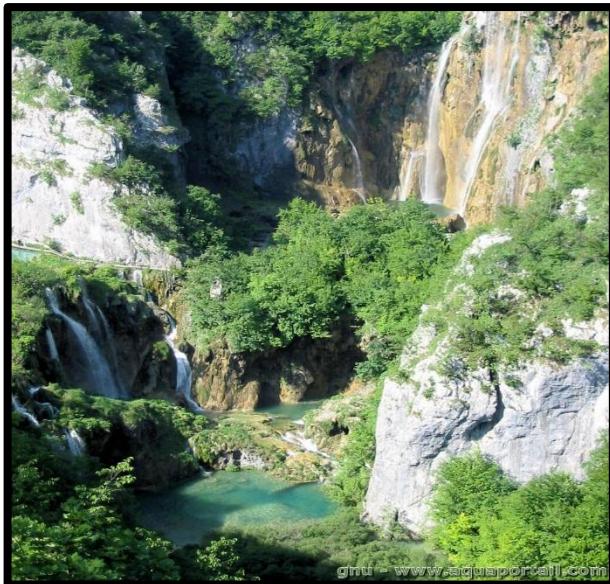


Photo-1 Ce paysage de cascades(chute d'eau) et de lacs karstiques se situe dans le karst du Parc National des lacs de Plitvice en Croatie.

2- DANS QUELLES CONDITIONS SE FORME UN KARST ?

- Le karst est une région de calcaires et dolomites ayant une topographie souterraine particulière due à la dissolution de certaines parties du sous-sol et de l'écoulement des eaux à travers les cavités naturelles créées.
- ❖ Pour rassembler les actions précédemment citées précédemment (une topographie souterraine particulière + un écoulement des eaux à travers les cavités naturelles) , il est nécessaire de :
 - que la roche possède une résistance mécanique suffisante pour éviter le foisonnement (croissance) immédiat des vides,
 - Que les produits issus de la dissolution puissent être transportés hors du système.



Photo.2.. Empreintes(Effets) de racine dans le calcaire, par dissolution dans la zone de production de CO_2 .

- ❖ Ainsi, pour que se forme le karst, il faut que soient réunies les conditions suivantes :
 - a. 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 (photo.2)

- b. Il est essentiel que l'eau puisse circuler à travers la roche, ce qui implique que le mouvement souterrain doit prédominer sur le mouvement de surface.
- 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'il 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.

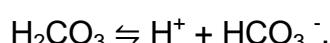
3- MÉCANISME ET PROCESSUS KARSTIQUE : Les mécanismes en jeu sont :

- a) *la dissolution de la roche,*
- b) *l'écoulement souterrain, qui évacue au fur et à mesure les matières dissoutes.*

➤ *La dissolution des roches carbonatées (calcaire et dolomie) est un ensemble complexe de réactions mettant en jeu trois phases :*

- **solide (la roche, CaCO₃ ou CaMg(CO₃)₂),**
 - **liquide (l'eau et ses substances en solution),**
 - **et gazeuse (le CO₂ produit dans les sols).** Il s'agit des réactions se produisant entre l'eau et l'air (dissolution ou évaporation du CO₂), entre l'eau et la roche (dissociation des minéraux carbonatés) et à l'intérieur de la solution (combinaison des différents ions entre eux).
 - **Carbonate de calcium (calcaire).** Formule : CaCO₃ (O = 47,96 %, C = 12 %, Ca = 40,04 %) Masse molaire = 100,087 ± 0,006 g·mol⁻¹.
 - **Le carbonate de calcium (CaCO₃)** est composé d'ions carbonate (CO₃²⁻) et d'ions calcium (Ca²⁺). Cette substance blanche a une masse molaire de 100,1 g/mol.
 - **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.
- Ca²⁺ + CO₃²⁻ → CaCO₃.
- **Le carbonate de calcium** cristallise naturellement avec deux formes cristallines principales : l'aragonite et la calcite.
 - *L'aragonite est un minéral composé de carbonate de calcium CaCO₃ (avec des traces de Sr, Pb et Zn), c'est donc un polymorphe de la calcite et de la vaterite.*

❖ Équation générale de la dissolution du CO₂ dans l'eau :



❖ Équation de la dissolution de la calcite (CaCO₃) :



➤ *Comme ces réactions (CaCO₃) ne sont pas immédiates, et se déroulent à des vitesses différentes, la dissolution de la roche se produit soit :*

- En surface,
- Cela dépend de la profondeur, car l'eau y circule plus ou moins lentement.
- *Quand une fissure est élargie par la dissolution, le débit qui la traverse augmente aux dépens des fissures voisines ; elle prend alors de plus en plus d'importance et*

devient progressivement un conduit. Toutes les fissures voisines cessent de s'élargir, puisque toute l'eau passe par le conduit.

A- Les mécanismes physico-chimiques à l'origine d'un karst :

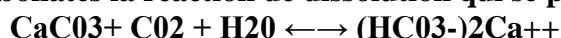
❖ Deux mécanismes, susceptibles de se manifester, sont à la base des réseaux karstiques :

- Un phénomène chimique : la karstification
- et un phénomène physique : la suffosion.

a- la karstification :

- La karstification est le phénomène de dissolution de roches carbonatées (carbonate de Calcium, CaCO₃), de gypses (CaSO₄, 2H₂O) ou de sels par des eaux chargées en dioxyde de carbone (CO₂).
- Cette dissolution peut donc engendrer des cavités souterraines que l'eau aura tendance à (modifier) emprunter, ce qui est connu sous le nom de réseau karstique.

- Pour les carbonates la réaction de dissolution qui se produit est la suivante :



b- La suffosion

- La suffosion (fig.2 et photo.3) est un phénomène mécanique, contrairement à la karstification qui est un processus chimique.
 - ✓ Elle correspond à l'érosion interne générée par des circulations d'eaux souterraines.
 - ✓ Dans les formations sédimentaires meubles, des écoulements d'eaux souterraines peuvent dans certains cas provoquer l'entraînement des particules les plus fines (marnes, schistes, sables fins, silts, ...), favorisant ainsi le développement des vides (fig.2).
 - ✓ Les matériaux entraînés sont évacués soit par les fissures ouvertes d'un horizon rocheux à proximité, soit dans une cavité avoisinante (vide karstique, grotte,....).

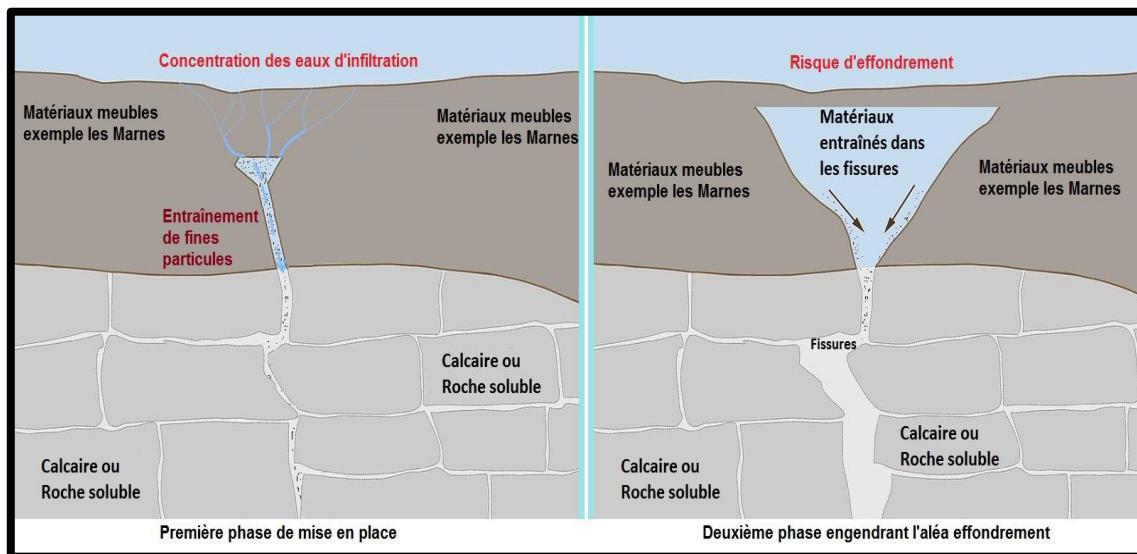


Figure .2 : Schéma du principe d'entraînement de particules fines par suffosion



Photo .3: suffosion karstique

4- LE SYSTÈME UNAIRE ET BINAIRE KARSTIQUE :

❖ Le système karstique :

- est un système de canaux souterrains formés par la dissolution des roches carbonatées (telles que le calcaire) sous l'effet de l'eau de pluie acide.
- Ce processus, connu sous le nom de karstification, engendre diverses formations en surface telles que les dolines et les poljés, sans négliger un réseau souterrain de cavernes (grottes), gouffres et aquifères.
- Ces systèmes sont essentiels pour le cycle de l'eau, car ils stockent et transportent l'eau souterraine jusqu'aux sources, souvent avec des débits considérables

Souvent, Il existe deux système karstique : Unaire et binaire(fig.3) :

- ✓ **Le système karstique unaire** est un environnement dans lequel l'ensemble de la zone d'écoulement (l'impluvium) est constitué de roches susceptibles d'être karstifiées, facilitant une infiltration et circulation de l'eau uniforme(régulière) sur toute sa superficie.
- ✓ **le système binaire** se caractérise par un impluvium (**bassin de rétention**) mixte : une section est constituée de terrains susceptibles de former un karst, tandis qu'une autre section, qui ne forme pas de karst, recueille et concentre les eaux superficielles avant de les diriger vers des points d'infiltration spécifiques dans la zone karstique.

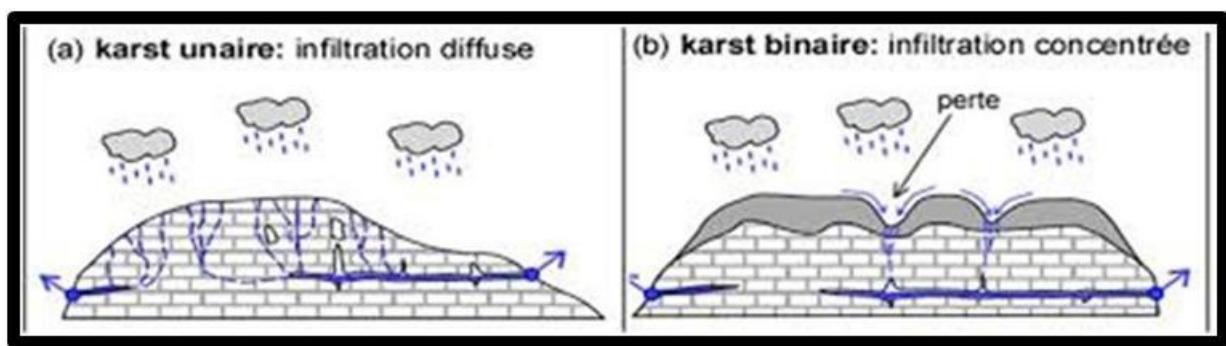


Figure.3: Système karstique unaire ou binaire (Marsaud, 1996)

5- INTENSITÉ KARSTIQUE : *L'intensité de phénomène de dissolution est dépend de plusieurs paramètres:*

- **la nature de la roche :** il existe différents types de roches carbonatées possédants différentes caractéristiques physiques, chimiques et morphologiques les rendant plus ou moins vulnérables au phénomène de dissolution
- **la teneur en CO₂ dans l'eau :** car les eaux fortement chargées en CO₂ vont avoir un PH faible et vont plus facilement venir attaquer les carbonates de calcium ;
- **la température de l'eau :** car plus une eau est froide plus elle est capable de contenir des éléments dissous (CO₂, CaCO₃, ...) ce qui jouera un rôle important dans le transport vers l'extérieur du système des carbonates ;
- **la pression :** car elle joue également un rôle dans la dissolution des éléments, plus la pression est forte plus il est possible de dissoudre des éléments ;
- **l'abondance en eau :** car elle va jouer sur la surface de contact et permettre le transport des éléments dissous ;
- **Le temps de contacts de l'eau :** car il faut un minimum de temps de contact entre le soluté (substance dissoute) et le solvant (liquide majoritaire, substance qui dissout.) pour que la dissolution se fasse de façon optimum.
- **La stratification et la tectonique des terrains :**
 - ✓ La formation des cavités est généralement précédée d'une phase tectonique, car l'ouverture des discontinuités est indispensable pour permettre l'infiltration de l'eau.
 - ✓ De plus, les alternances stratigraphiques et les failles sont des zones de faiblesses de la roche, car elles sont le siège de variations des caractéristiques physiques et chimiques.
 - ✓ Ces zones deviennent des orientations préférentielles pour les écoulements d'eau et pour la création de réseaux karstiques. Il est donc important d'estimer le pendage des couches ainsi que les orientations de fracturations afin d'estimer le cheminement des eaux.
 - ✓ Ces zones se transforment en directions favorisées pour les flux (écoulement) d'eau et pour l'établissement de réseaux karstiques. Il est donc essentiel d'évaluer l'inclinaison des strates et les directions de fracturation pour **déterminer la trajectoire des eaux.**

6- MORPHOLOGIE KARSTIQUE :

- ❖ **La morphologie karstique** (fig.4 , 5 et 6) fait référence aux modélées géomorphologiques et paysagères qui résultent de la dissolution de roches solubles, principalement le calcaire, par l'eau.
 - Elle possède des caractéristiques de surface comme les dolines, les poljés, les ouvalas et le lapiaz, ainsi que des formations souterraines telles que les grottes, les galeries(couloirs) et les réseaux de conduits.
- ***La karstification est un phénomène permettant la mise en place de faciès (structures) particuliers :***
 - ✓ **En milieu souterrain (endokarst)** : sous forme de réseaux actifs (rivières souterraines) et de réseaux fossiles (stalagmites..)
 - ✓ **En surface (exokarst)** sous forme de dolines, avens, gouffres, pertes, épikarst, puits, lapiaz..etc.)

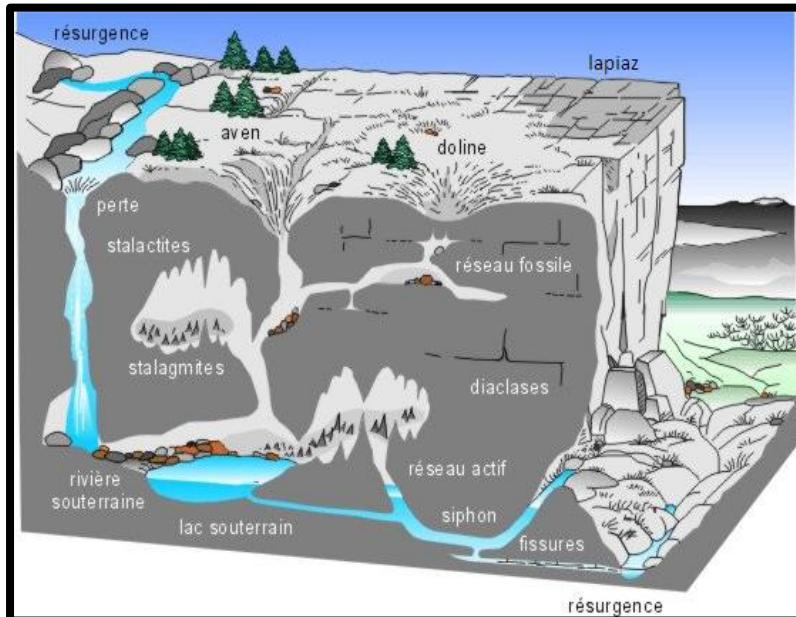


Figure .4: Paysage karstique schématisé

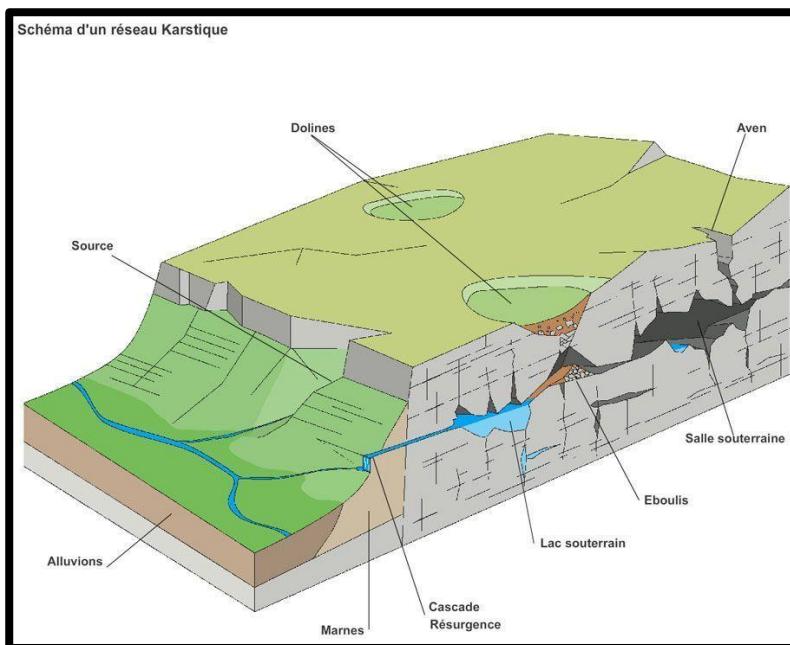


Figure .5. Paysage karstique schématisé

- **Un épikarst :** désigne une couche superficielle d'un karst, qui possède un système de fissures et de cavités contribuant à la collecte et au transport de l'eau de surface en profondeur. En moyenne, l'épaisseur peut varier de 15 à 30 mètres. Il a été formé suite au processus de karstification.

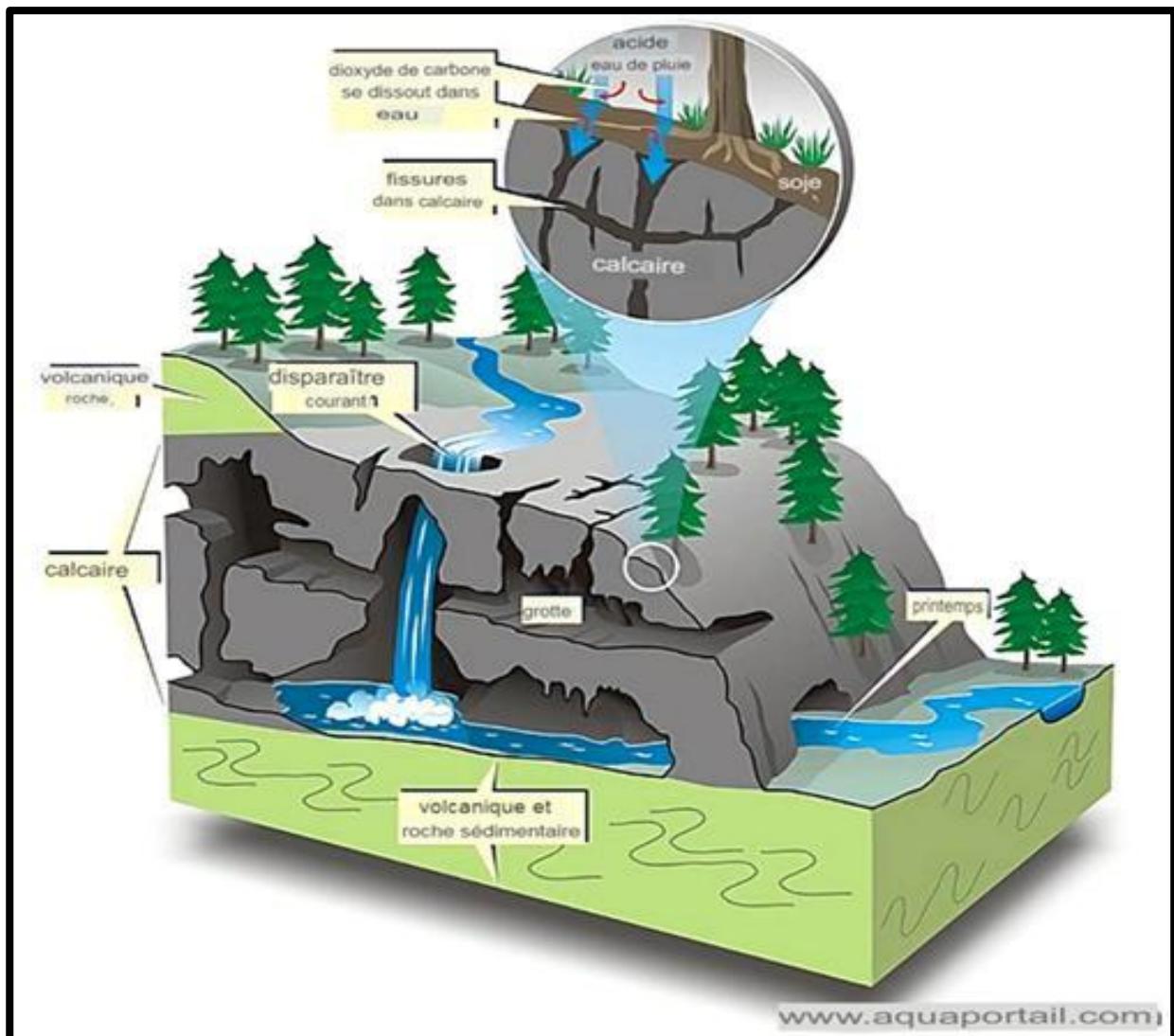


Figure .6.Un épikarst (*karst superficiel*)

- **Puits karstique :** le terme « puits karstique » fait référence soit à une ouverture naturelle créée par l'effondrement de la voûte d'une caverne (cavité) souterraine, soit plus couramment à un aven ou un gouffre, qui représente une profonde dépression ou un abîme circulaire, fréquemment relié aux paysages karstiques constitués de roche calcaire.



Photo.4... puits karstique

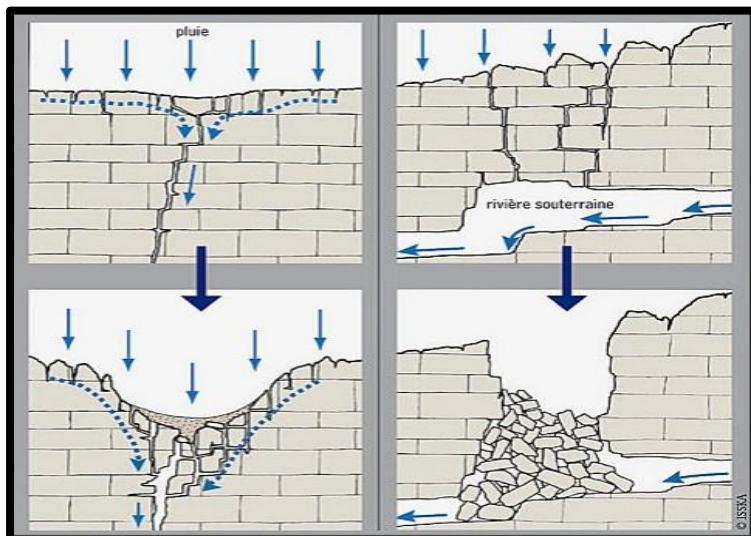


Figure 7.: Dolines de dissolution et d'effondrement

- **Une rivière souterraine (photo.5):** est un cours d'eau qui coule en partie ou totalement sous la surface du sol. Les rivières souterraines peuvent avoir une origine naturelle, en coulant à travers des réseaux de grottes.



Photo 5: Paysage karstique endokarst schématisé(rivière souterraine)

- **Les dolines (photo.6) :** Ce sont des dépressions plus ou moins arrondies de la surface dans laquelle le calcaire a été dissout par l'eau de pluie, provoquant l'affaissement du sous-sol. Les argiles de décalcification (résidus de la dissolution chimique du calcaire) s'accumulent au fond de ces dolines, retenant l'eau et rendant ces surfaces fertiles et cultivables.



*Photo 6: Paysage karstique schématisé exokarst(**doline**)*

- **Aven (photo.7):** Sorte de puits d'une profondeur parfois considérable, aux parois abruptes, ouvert par l'érosion à la surface d'un terrain calcaire. Donnant accès aux chenaux de circulation des eaux souterraines, il se ramifie et communique avec des grottes.



*Photo 7: Paysage karstique schématisé exokarst(**Aven**)*

- **Un gouffre ou abîme (fig.8)** (géomorphologique) désigne généralement une cavité souterraine souvent d'origine karstique dont l'entrée généralement est verticale.

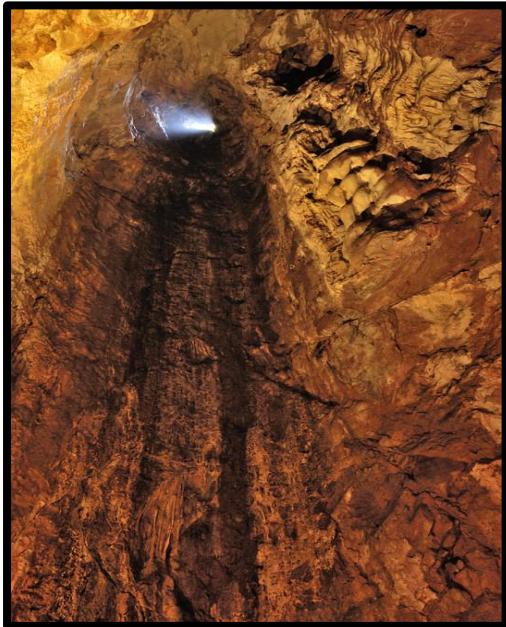
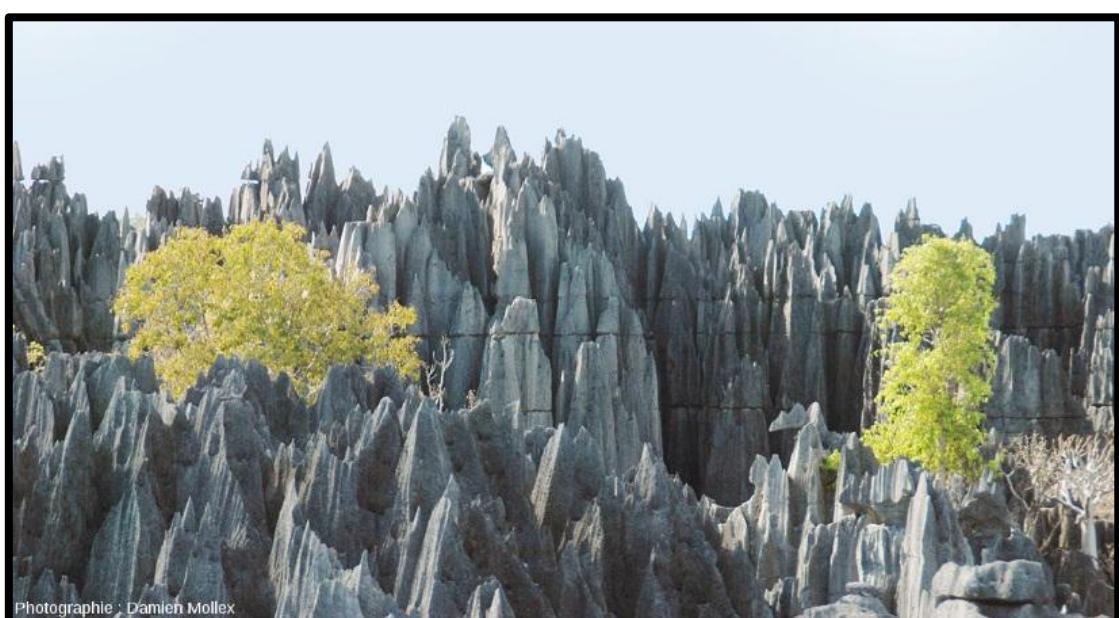


Photo 8: Paysage karstique schématisé exokarst(**gouffrel ou abîme**)

- **Le lapiaz (photos 8,9 et 10) :** c'est un processus géomorphologique observé dans les roches calcaires et dolomitiques, résultat du ruissellement des eaux de pluie qui provoque la dissolution (ou dissociation) de la roche ou encore de la cryoclastie. Cela donne naissance à un vaste plateau rocheux strié (ou feuilletté) par des réseaux de diaclases ou fissures.
 - ✓ **La gélification ou cryoclastie**, est un processus géomorphologique de météorisation des roches, provoqué par les cycles de gel et de dégel de l'eau.



Photographie : Damien Mollex

Photo 8: Paysage karstique schématisé exokarst(**lapiaz**)



Photo 9 et 10: Paysage karstique schématisé exokarst(lapiaz)

- **Les tsingy**

- ✓ Les tsingy, typiques de Madagascar, sont des structures karstiques se présentant sous forme de massifs calcaires façonnés en aiguilles (pics) aiguës et canyons (couloirs) profonds, résultant de millions d'années d'érosion par l'eau.

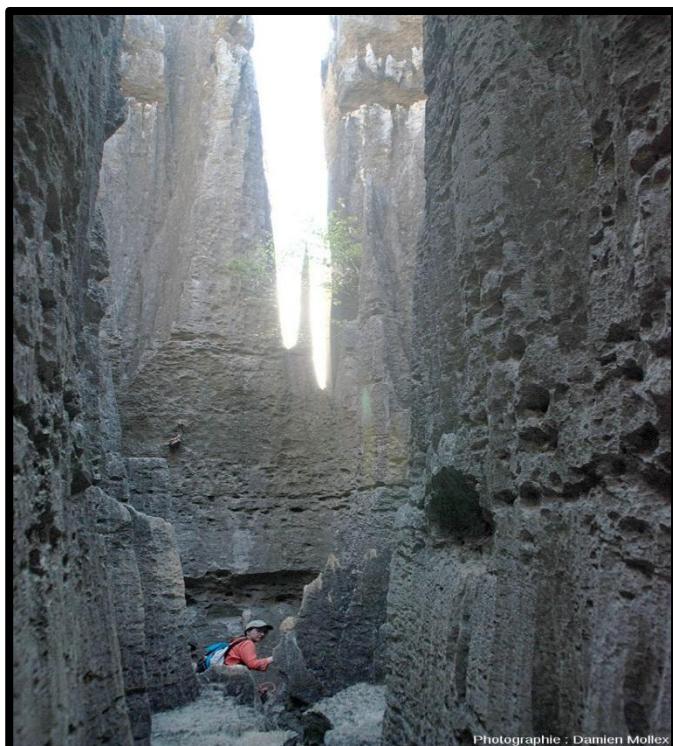


Photo 11: Paysage karstique schématisé exokarst(Tsingy)

- ✓ Ce paysage unique, souvent surnommé "forêt de pierre", résulte de la dissolution du calcaire, créant un dédale minéral complexe.

7- L'INTÉRÊT ÉCOLOGIQUE

- La diversité géomorphologique du karst fait de ces lieux d'importants sites de biodiversité.
- Certaines formes karstiques comme les tsingys, les dolines et les lapiazs constituent des habitats spécifiques.
- Les cavités karstiques hébergent elles aussi une flore et une faune.
- En ce qui concerne les dolines, elles constituent un apport vital d'oxygène et de nutriments par les dépôts de matières entraînés depuis la surface.
- Certains spéléologues (**spéléologues** : Science qui étudie les cavernes, les gouffres, les cavités souterraines (étude des eaux, de la flore, de la faune, de l'archéologie préhistorique, etc.) affirment que « les dolines sont les poumons du karst ». figure.9.

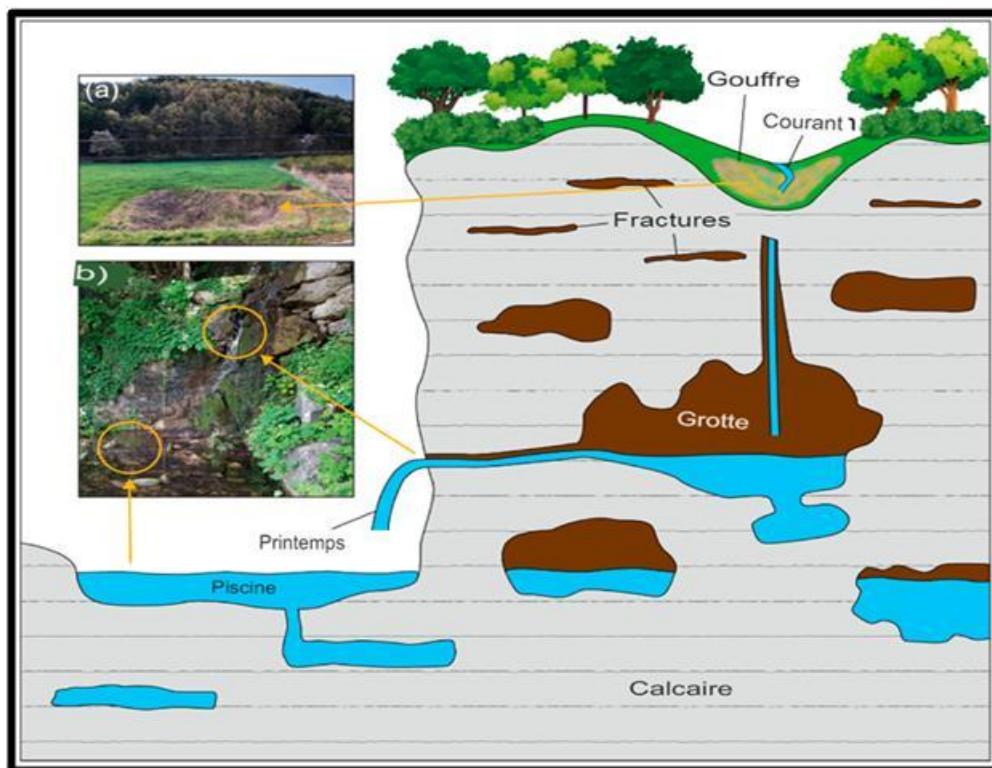


Figure.9. Caractéristiques hydrogéologiques uniques d'une région karstique.

✓ Comment se forme une stalactite et stalagmites (photo.11)?

- L'eau qui circule au sein des massifs calcaires érode les roches et se charge petit à petit en calcaire dissous.
- Arrivée au plafond de la grotte, la goutte d'eau perd une partie de son calcaire qui cristallise, formant ainsi, goutte après goutte, une stalactite.
- A la verticale de la stalactite, sur le plancher de la grotte, la goutte qui tombe dépose encore un peu de calcaire ce qui, avec le temps, fabrique une stalagmite.

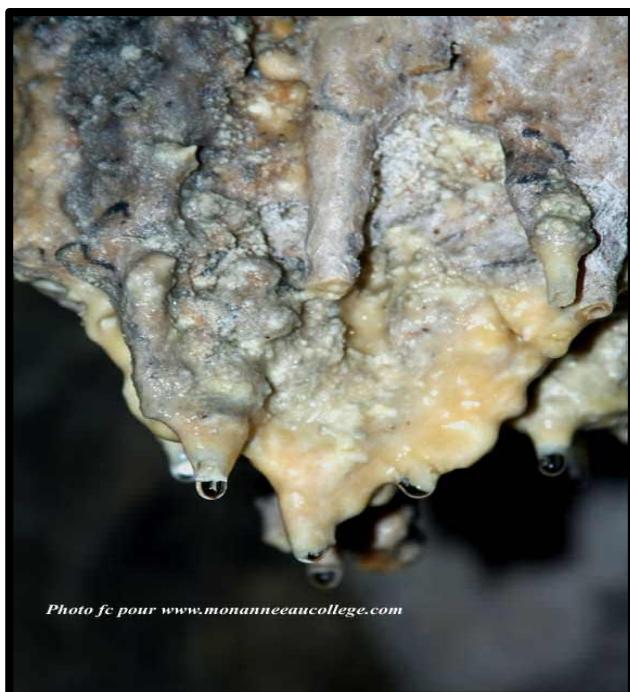
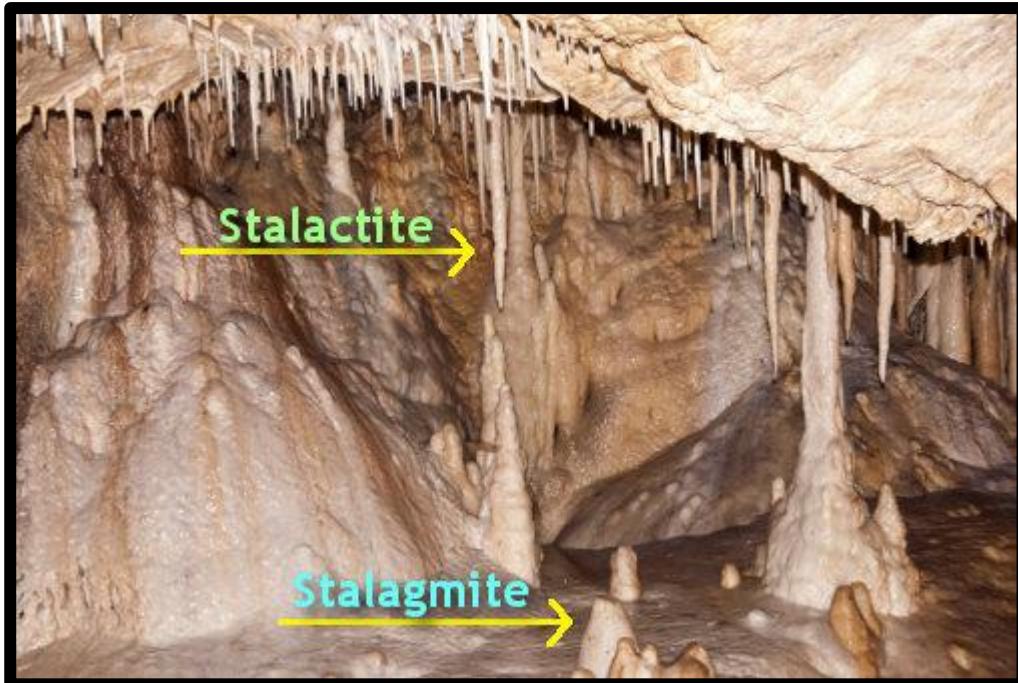


Photo 12et 13: Paysage karstique schématisé
(stalactite et stalagmites)

8- LES ALÉAS LIÉS AU PHÉNOMÈNE KARSTIQUE

❖ *Les formes géomorphologiques karstiques occasionnent de nombreux aléas naturels, tels que :*

- les effondrements ;
- les affaissements ;
- les glissements (dolines en bordure de marnes) ;
- les inondations ;
- les coulées boueuses ;
- les chutes de blocs ;

- les pollutions ;
- le retrait-gonflement des argiles.

➤ *Le croisement de ces aléas sur les sites karstiques sera identifié comme étant l'aléa karistique.*

Dr : Hamadou Noureddine

BIBLIOGRAPHIE

- *M. Bakalowicz (1999) Connaissance et gestion des ressources en eaux souterraines dans les régions karstiques. Guide technique n°3, SDAGE Rhône - Méditerranée - Corse. Agence de l'Eau Rhône - Méditerranée - Corse, Lyon, 40 p.*
- *Rapport établi par : Nejema Zergaoui et Sylvain Haussard Vu et vérifié par M. Aubagnac Directeur adjoint Chef du groupe OAGR Cartographie de l'aléa karstique Commune de Saint Vit mars 2016*
- *Source : SVT 5eme C. Lizeaux / R.Tavernier, édition Bordas*
- <https://www.aquaportal.com/definition-4948-karst.html>

Dr : Hamadou Noureddine