

Chapitre 4: Facteurs externes de la morphologie

Introduction :

La croûte terrestre subit des modifications latérales et verticales résultant de deux types de phénomènes. D'une part, la géodynamique interne englobe les mouvements profonds liés aux tensions orogéniques ou tectoniques. D'autre part, la géodynamique externe concerne les phénomènes érosifs ou sédimentaires. En géomorphologie, l'explication des formes du relief repose toujours sur une analyse, au moins qualitative, des processus d'érosion responsables de la sculpture des volumes rocheux et du transport des débris vers leurs lieux de dépôt définitifs, contribuant ainsi à la formation des plaines d'accumulation.

Définition de l'érosion

L'érosion est un phénomène physique qui modèle le relief, principalement par l'intermédiaire d'agents tels que le vent, l'eau, les variations de température et la gravité. En raison de la diversité des composantes structurelles, les réactions des roches face à l'érosion varient. Par exemple, les schistes sont fortement sujets à l'érosion régressive causée par l'eau, contrairement aux grès, roches poreuses qui facilitent l'infiltration de l'eau. Les calcaires, quant à eux, sont sensibles à la dissolution et, en cas de fractures, à la gélifraction, etc. Ces différences de réactivité à l'érosion en fonction des lithologies et des structures géologiques sont regroupées sous le terme d'érosion différentielle.

- Modalités de l'érosion

Les modalités de l'érosion englobent diverses manifestations du processus d'érosion sur le terrain. Les principales modalités incluent l'érosion hydrique, induite par l'eau à travers le ruissellement, l'érosion des rivières, et l'érosion côtière due aux vagues. L'érosion éolienne, provoquée par le vent, se caractérise par le déplacement de particules de sol, formant des dunes de sable et modifiant le paysage. L'érosion glaciaire, associée aux glaciers, sculpte le terrain en déplaçant des roches et en créant des formations glaciaires. L'érosion thermique, résultant de variations de température, peut provoquer l'exfoliation des roches. L'érosion anthropique, causée par les activités humaines comme la déforestation et l'urbanisation, modifie le couvert végétal et le paysage. Enfin, l'érosion chimique implique la dissolution des roches par des processus chimiques, comme la dissolution des roches calcaires par de l'eau acide. La compréhension de ces modalités est cruciale pour mettre en place des stratégies de conservation et de gestion durable des terres.

- Processus de l'érosion

Le processus de l'érosion est complexe et implique plusieurs étapes. Voici une description générale des principaux processus de l'érosion :

Détachement : Les particules du sol sont détachées de leur emplacement d'origine. Cela peut se produire en raison de divers facteurs tels que la pluie, le vent, les vagues ou le ruissellement de l'eau.

Transport : Les particules sont transportées vers d'autres endroits par des agents érosifs tels que l'eau, le vent, les glaciers ou les vagues. Le type de transport dépend du milieu, par exemple, le transport par l'eau peut se faire par ruissellement de surface ou à travers les cours d'eau.

Sédimentation : Lorsque les agents érosifs perdent leur énergie, les particules transportées commencent à se déposer. Ce processus de sédimentation peut se produire dans les rivières, les lacs, les océans ou même sur les pentes des collines.

Compaction : Les sédiments déposés subissent souvent un processus de compactage, où la pression exercée par les couches supérieures entraîne la réduction des espaces entre les particules.

Altération : Ce processus implique la désintégration ou la modification des caractéristiques des roches et des sols sous l'effet de divers agents tels que les changements de température, l'action chimique de l'eau ou d'autres substances.

Formation de caractéristiques géomorphologiques : Au fil du temps, l'érosion peut façonner le paysage en créant des caractéristiques géomorphologiques telles que les vallées, les canyons, les dunes, les falaises, etc.

1°. La désagrégation thermique

La désagrégation thermique résulte du réchauffement et du refroidissement inégaux des roches.

2°. La désagrégation mécanique

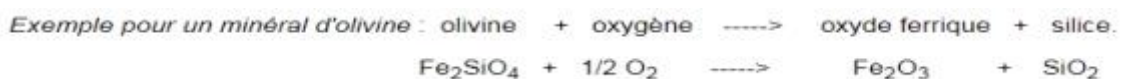
L'eau s'infiltre dans les diaclases, fissures de moindre résistance dont l'origine est liée aux variations de température et de pression pendant les mouvements tectoniques.

La désagrégation physique est toujours accompagnée d'une altération chimique dont les actions principales sont:

3°. L'oxydation

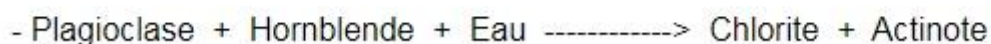
L'oxydation est due à la présence d'oxygène actif libre, d'autant plus efficace que son action se produit au sein d'un milieu aqueux.

Les phénomènes d'oxydation se produisent aux dépens de presque tous les minéraux ferromagnésiens.



4°. L'hydratation

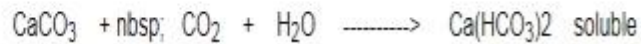
l'absorption de l'eau par les minéraux s'observe, notamment, dans les silicates et alumino-silicates et se traduit par une augmentation de volume.



5°. La dissolution

La dissolution complète des minéraux par l'eau, accompagnée de gaz carbonique qui augmente considérablement son pouvoir de dissociation, s'observe dans les bancs de sel, de gypse et surtout dans les calcaires. Ex: relief karstique.

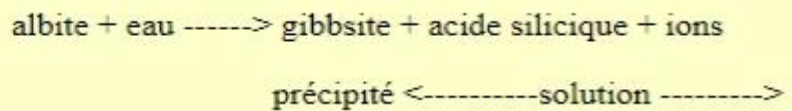
Elle produit la solubilisation des calcaires et des dolomies sous l'action du CO₂ dissous dans l'eau.



6°. L'hydrolyse

L'hydrolyse menée conjointement par l'eau chargée de gaz carbonique conduit à la décomposition des silicates, notamment des feldspaths, minéraux les plus répandus dans les roches plutoniques (magmatiques).

Les minéraux ferromagnésiens se décomposent plus énergiquement que les feldspaths.



7°. Le rôle des organismes vivants

Le rôle des organismes dans l'altération chimique n'est pas à négliger : les plantes exercent non seulement une action mécanique par l'intermédiaire des racines mais également une action chimique par dégagement d'acides organiques à partir des radicelles, par absorption des éléments minéraux nécessaires à leur développement, par émission d'oxygène et de gaz carbonique, et par dégagement d'acides humiques pendant leur décomposition.

Les différents types de l'érosion

a) L'érosion sur les interfluves, ou érosion aréolaire

L'érosion aréolaire, aussi connue sous le nom d'érosion en rillons, représente le stade initial de la dégradation des sols par érosion. Elle se manifeste par une détérioration étendue de la surface du sol, caractérisant une forme d'érosion diffuse qui n'est souvent pas très visible d'une année à l'autre. Les signes distinctifs de l'érosion aréolaire comprennent des zones dénudées affichant une couleur plus claire, ainsi que la remontée de cailloux à la surface à travers les outils agricoles. Ce type d'érosion affecte principalement des zones à faible pente, entraînant la disparition des éléments fins dans les couches superficielles du sol.

Le paysage résultant de l'érosion aréolaire se compose de surfaces érodées exposant la roche mère, entrecoupées de zones où des limons et des sables fins s'accumulent. Un réseau fréquent de petits chenaux anastomosés, caractérisés par un ruissellement en nappe d'une profondeur ne dépassant pas 1 cm, est souvent observé. Ce processus contribue de manière progressive à la dégradation du sol et peut avoir des répercussions significatives sur l'écosystème local.



Érosion éolienne

L'érosion éolienne est un processus géologique influencé par l'action du vent, qui transporte et érode les particules du sol, contribuant ainsi à la formation de caractéristiques géologiques distinctives. Un aspect clé de l'érosion éolienne est la déflation, un phénomène où le vent ne peut déplacer que des éléments fins, tels que les limons à une vitesse d'environ 3 m/s, tandis que les sables nécessitent une vitesse d'environ 10 m/s.

Dans le cadre de l'action érosive, il existe deux types d'érosion éolienne :

Exemples d'érosion éolienne par Corrosion

L'érosion éolienne par Corrosion : Les grains de quartz transportés par le vent polissent les cailloux résiduels, caractérisés par des facettes planes réunies par des angles émoussés.



L'érosion éolienne par abrasion : le vent transporte des éléments comme du sable par exemple, ce qui coupe et polit la surface de la roche exposée, générant ainsi des motifs éoliens à la surface. Ce processus génère des formes rocheuses caractéristiques connues sous le nom de ventifacts, yardangs, taffonis et roches fongiques.

Yardsangs :

Les yardangs sont des formations rocheuses résultant de l'érosion éolienne dans les régions désertiques. Ces structures, qui peuvent se présenter sous la forme de colonnes ou de piliers sculptés par le vent, sont des rides érodées dans des matériaux cohésifs. Plusieurs processus contribuent à la

formation des yardangs, notamment l'**abrasion éolienne**, la déflation, l'incision fluviale, les figures de dessiccation, l'altération, et les mouvements en masse.

L'abrasion est significative dans les parties inférieures des yardangs, indiquée par des pentes polies, des flûtes, des pentes décapées par le sable, et le sapement de la face sous le vent. La déflation et l'incision fluviale jouent également un rôle, créant des dépressions initiales canalisant le vent. Les pentes raides des yardangs favorisent les mouvements de masse le long de leurs flancs. Ces formations présentent un rapport spécifique de volume, longueur, largeur et hauteur.

Les yardangs varient en taille, allant de quelques centimètres à plusieurs dizaines de mètres de hauteur et plusieurs kilomètres de longueur. Formées par des vents forts et unidirectionnels portant des matériaux en suspension, les yardangs se caractérisent par des crêtes allongées, souvent composées de grès, de calcaire, ou de roches consolidées. Elles peuvent être isolées ou regroupées en champs, étant généralement plus grandes dans la partie exposée au vent et plus petites à l'abri.



La corrasion ; façonnage de roche par des grains de sable. La corrasion délimite des buttes allongées aux profils longitudinaux aérodynamiques, hautes parfois de plusieurs mètres appelées « yardangs »

Les déflations, un autre aspect de l'érosion éolienne, surviennent lorsque le vent enlève les particules fines du sol, créant des cuvettes déprimées. Ce processus élimine la fraction la plus fine du sol, laissant derrière un paysage désertique pavé de cailloux, également appelé **reg**. La déflation est responsable de la formation de vastes dépressions désertiques, telles que les chotts du Sahara ou les **playas** des déserts américains. Ce phénomène joue un rôle essentiel dans la morphologie des déserts et influence la répartition des matériaux sur ces surfaces désertiques.

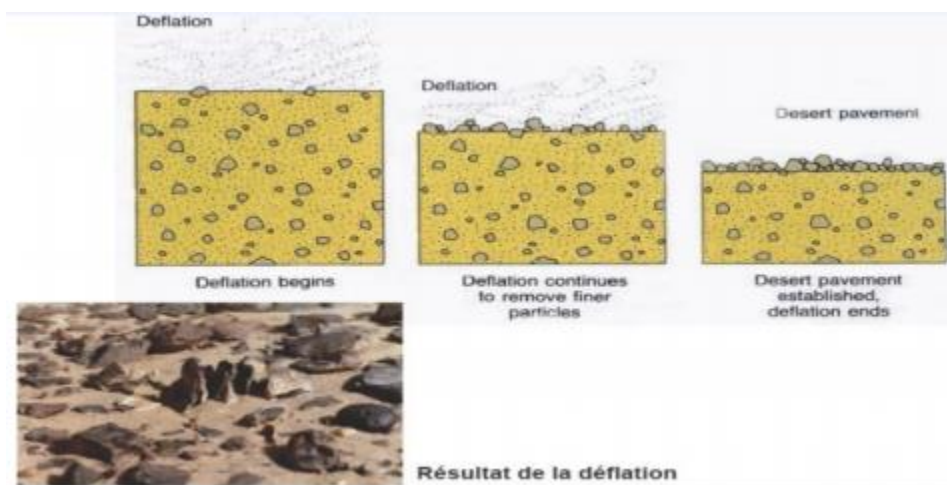
Érosion éolienne par déflation : le vent souffle et balaie, entraîne ou soulève les particules sur le sol. Il y a donc trois types de déflation ou de transport (expliqués ci-dessous) : la saltation, la suspension et le roulement. Avec ce type d'érosion éolienne, la chaussée désertique se forme et trois types de déserts peuvent être formés : le **Reg ou pierreux**, l'**erg** ou sablonneux et, enfin, le rocailleux ou montagneux.

Exemples d'érosion éolienne par déflation

Les hamadas sont des plateaux rocheux tabulaires dans les déserts, exposés par l'érosion éolienne résultant de la déflation, où le vent emporte les particules fines, laissant apparaître la surface rocheuse. Ces plateaux, souvent d'origine sédimentaire, sont principalement constitués de calcaire, parfois recouverts de grès, ce qui leur vaut le nom de tassilis. Un exemple notable est le Tassili N'Ajjer en Algérie. Ces hamadas présentent une surface lissée par l'érosion éolienne, créant un paysage lunaire caractérisé par des formations rocheuses fortement érodées, évoquant parfois les ruines de cités antiques.



Figure: Hammada de Taghit avec en arrière plan les monts d'aghlal



Le reg

Le reg est un type de désert résultant de la déflation qui élimine la fraction la plus fine du sol, laissant derrière un paysage désertique pavé de cailloux. Il est composé d'étendues de cailloux arrondis et de graviers, créant des conditions particulièrement inhospitalières. Ce type de désert, également appelé "serir" en Libye, est le plus répandu. Les régions de reg, telles que le Tanezrouft en Algérie, le Ténéré du Tafassasset au Niger, ou encore le reg libyen, ne sont propices à la survie que de quelques espèces très rares, comme l'addax et l'acacia épineux.



Figure : Reg à cailloux Anti-Atlas, Maroc

L'erg

L'erg, en opposition à un désert de sable, représente le stade final de l'érosion des reliefs et se compose d'un vaste ensemble de dunes constamment remodelées par le vent. Bien qu'il ne recouvre que 20% de la superficie du Sahara, les dunes dans l'erg sont généralement regroupées en cordons de quelques dizaines de mètres et peuvent atteindre plus de 300 mètres de hauteur. Ces dunes sont continuellement en mouvement, déplacées par le vent, avec leurs grains de sable se propageant par saltation. Certains des principaux ergs comprennent le Grand Erg oriental, le Grand Erg occidental, l'Erg de Mourzouk, l'Erg Admer, le Ténéré, l'Erg Oubari, l'Erg Mehediebat, entre autres.



Le Grand Erg Oriental de Tunisie



Les playas

La déflation, un processus éolien, est responsable de la formation de vastes dépressions désertiques telles que les chotts du Sahara ou les playas dans les déserts américains. Ce phénomène persiste jusqu'à ce que le niveau hydrostatique soit atteint. Les playas sont des zones plates qui se forment lorsque des sédiments éoliens recouvrent des surfaces basses.

Dans les déserts, les eaux permanentes sont rares. Lorsqu'il pleut, l'eau ruisselle des collines, créant des rivières temporaires dans les zones de faible altitude, avant de s'évaporer ou de percoler dans le sol en profondeur. Lorsque ces eaux atteignent des zones très plates, elles peuvent converger et s'accumuler dans une dépression, formant ainsi un petit lac qui peut subsister un certain temps. Ce qui reste après l'évaporation ou la percolation de l'eau, ce sont des sédiments tels que des argiles, des silts et du sel, qui créent une vaste surface craquelée appelée playa.



**Le Tassili du Hoggar
Algérie**



Le terme "Chott" en arabe désigne une terre salée qui entoure une dépression fermée abritant un lac temporaire. Cette dépression, également appelée sebkha, est le site de précipitations de sels et, par conséquent, de la formation d'évaporites. Les eaux qui contribuent à ce phénomène proviennent du ruissellement, des eaux souterraines ou même d'apports périodiques d'eau marine.



b) L'érosion linéaire (par les eaux courantes)

L'érosion linéaire se caractérise par la formation de creusements linéaires, tels que des griffes, des rigoles et des ravines, qui entaillent la surface du sol. Ce phénomène se produit lorsque le ruissellement en nappe se concentre, donnant naissance à des érosions en rigole, marquées par la concentration du ruissellement dans des dépressions. À ce stade, les rigoles se forment en ruisselets parallèles. Ce processus contribue à la création de caractéristiques linéaires dans le paysage, comme des ravins, des sillons et des canyons, résultant de l'effet concentré de l'eau s'écoulant sur le sol. L'érosion linéaire est influencée par divers facteurs, notamment la topographie, la nature du sol, les

précipitations et les activités humaines, et peut avoir un impact significatif sur la morphologie du terrain.

En résumé, l'érosion linéaire englobe les creusements linéaires qui se forment lorsque le ruissellement en nappe s'organise, avec des rigoles se transformant en ruisselets parallèles dans les dépressions du paysage..



érosion linéaire

Les principales érosion linéaire sont:

l'érosion par le ruissellement et l'érosion fluviale (calme)

l'érosion torrentielle (agressive)

Ruissellement et l'érosion fluviale

L'érosion par ruissellement et l'érosion fluviale sont deux processus distincts d'érosion, influencés par le type de sol. Dans les zones argileuses ou schisteuses, le ruissellement provoque la formation de chenaux parallèles qui fusionnent par éboulement des crêtes, créant ainsi des formations appelées "bad lands". Dans les zones calcaires, l'usure et la dissolution des roches par les eaux acides créent des lapiez, des surfaces creusées caractérisées par des rigoles et des lames tranchantes.

L'érosion par ruissellement se produit lorsque l'eau de pluie ou de fonte des neiges transporte des particules de sol et d'autres matériaux sur des terrains exposés et dépourvus de végétation protectrice. Elle peut causer des ravins, des sillons et altérer le paysage, entraînant le transport de sédiments vers les cours d'eau, lacs et océans.

L'érosion fluviale, quant à elle, résulte du mouvement de l'eau le long des rivières, emportant des matériaux des sols et des roches pour contribuer à la formation de vallées et de canyons. Des facteurs tels que la pente du terrain, la quantité d'eau en mouvement et les activités humaines comme la déforestation peuvent influencer ce processus. La construction de barrages et l'agriculture intensive peuvent également aggraver l'érosion fluviale. En résumé, ces deux processus façonnent le paysage en transportant des matériaux à travers l'action de l'eau, soulignant l'importance de la gestion responsable des terres et des ressources hydriques.

➤ *Creusement des vallées*



Figure : **Ruissellement et l'érosion fluviale (L'eau est l'agent principal)**

Les cheminées de fées, ou demoiselles coiffées, se forment en raison de la présence d'une roche très résistante au sommet, coiffant des roches plus tendres en dessous. L'érosion mécanique provoquée par le ruissellement altère les roches sous-jacentes plus tendres, créant ainsi des aiguilles caractéristiques. Ces formations sont fréquentes en montagne, surtout sur les versants abrupts constitués de moraines laissées par les glaciers. Ces dépôts hétérogènes contiennent des blocs résistants qui agissent comme un chapeau protecteur, comme c'est le cas pour les cheminées de fées du Colorado de Rustrel.

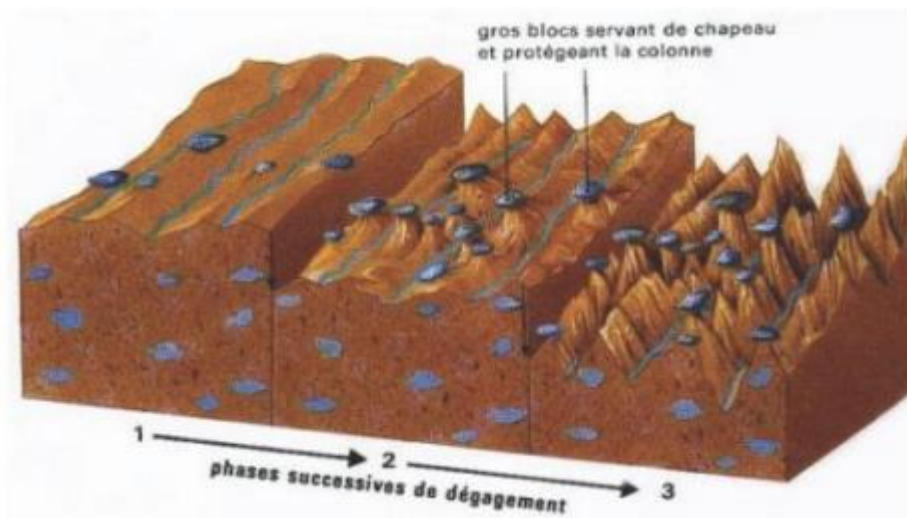




Figure : Cheminée de fées ou demoiselles coiffées (Erosion différentielle dans des terrains hétérogènes)

- Érosion périglaciaire

L'érosion périglaciaire est un type d'érosion qui se produit dans les régions périphériques des zones glaciaires, généralement dans des environnements froids où le pergélisol (sol constamment gelé) joue un rôle essentiel. Voici quelques caractéristiques et processus associés à l'érosion périglaciaire :

Contexte climatique : L'érosion périglaciaire se produit dans des régions où le climat est froid, avec des températures moyennes annuelles proches du point de congélation. Les régions subarctiques et les hautes latitudes sont souvent associées à ce type d'érosion.

Pergélisol : Le pergélisol est une composante clé de l'érosion périglaciaire. Il s'agit d'une couche de sol ou de sous-sol qui reste gelée en permanence. Le dégel périodique et le gel du pergélisol contribuent aux processus érosifs.

Gel-dégel du sol : Les cycles de gel et de dégel sont des processus essentiels. Lorsque l'eau présente dans le sol gèle, elle se dilate, exerçant une pression sur le sol environnant. Lors du dégel, cette pression diminue, ce qui peut entraîner la fragmentation du sol.

Gélivation : Il s'agit du soulèvement du sol causé par la congélation de l'eau dans les espaces intergranulaires. Ce processus contribue à la création de micro-reliefs et de formes caractéristiques appelées "polygones de gélivation".

Glissement de terrain cryogénique : Lorsque des masses de sol gelé glissent sur des surfaces inclinées, on parle de glissement de terrain cryogénique. Cela peut entraîner la dénudation de grandes surfaces et la création de dépôts caractéristiques.

Solifluxion : Il s'agit d'un mouvement lent du sol saturé en eau, généralement sous l'influence de la gravité, qui se produit sur des pentes douces. La solifluxion est particulièrement courante dans les régions périglaciaires.

Formation de gisements : Les matériaux érodés peuvent être transportés et déposés sous forme de gisements, tels que des dépôts alluviaux et des moraines périglaciaires.

Érosion du vent : Dans les régions périglaciaires, le vent peut également jouer un rôle en transportant les matériaux érodés sur de longues distances, contribuant ainsi à l'érosion.

L'érosion périglaciaire a des implications importantes pour la géomorphologie des régions froides et peut influencer la formation de caractéristiques du paysage telles que les collines, les ravins et les plaines alluviales. Elle joue un rôle crucial dans la dynamique des écosystèmes des régions subarctiques et arctiques.

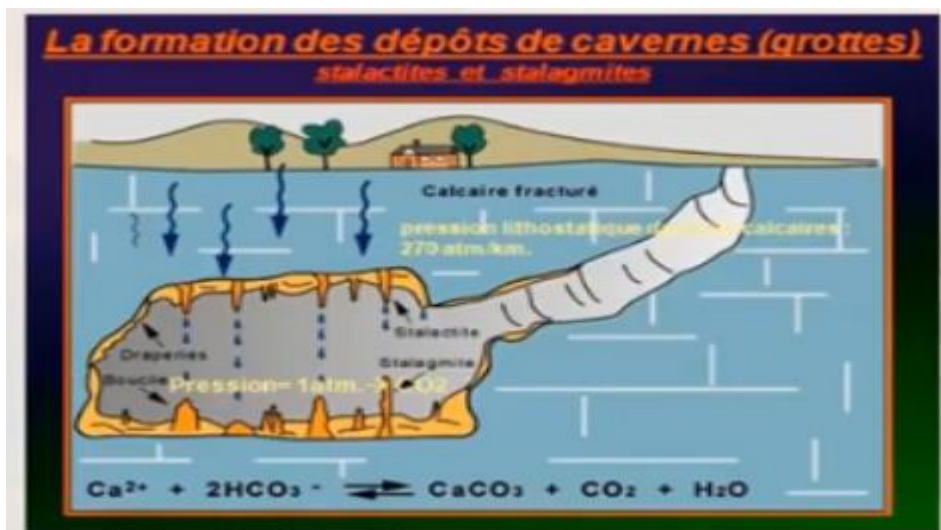
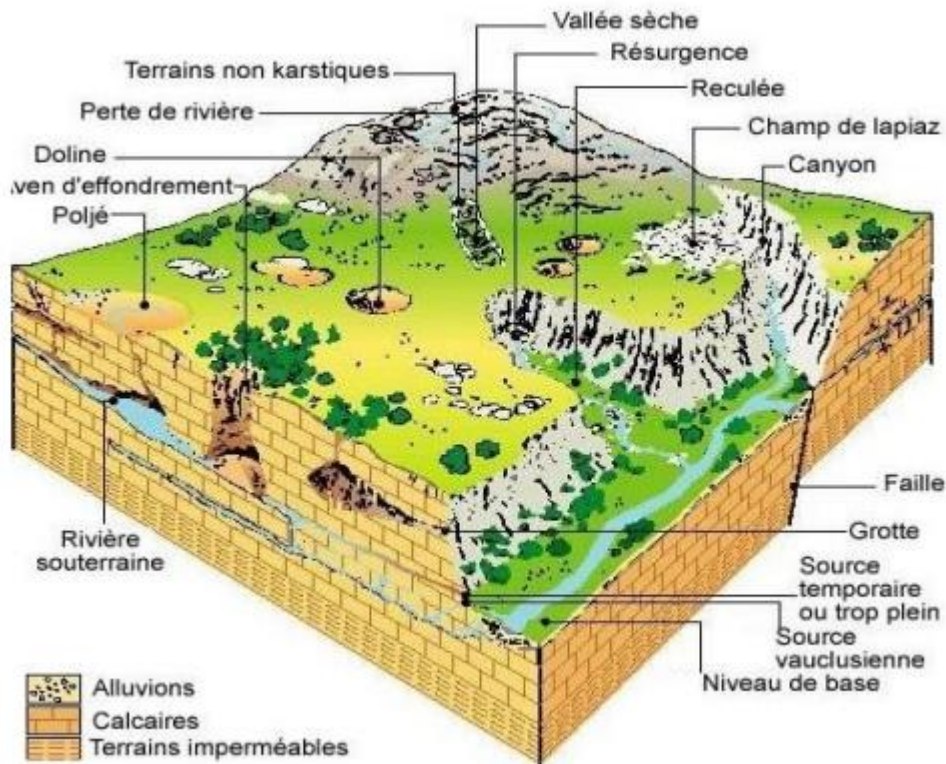


Le modèle karstique

Cette section explique le modèle karstique, un phénomène géologique lié à l'érosion par les eaux souterraines dans des roches solubles telles que le calcaire, la dolomie, et parfois le gypse. Les caractéristiques du karst comprennent un réseau souterrain (endokarst) influencé par des discontinuités géologiques, ainsi que des formes de surface (exokarst) comme les dolines, canyons, et avens. La formation du karst est guidée par des processus tels que la dissolution chimique des roches solubles par l'eau légèrement acide, formant des grottes, des réseaux de conduits, des rivières souterraines, des dépressions karstiques, et des formations speleothémiques.

Les éléments clés associés au modèle karstique incluent la formation géologique dans des régions où des roches solubles sont présentes, le processus de dissolution en raison de l'acide carbonique dans l'eau, la formation de grottes et de réseaux de conduits, les lapiaz résultant du ruissellement, les dépressions karstiques telles que les dolines, les rivières souterraines émergeant à la surface, et les formations speleothémiques comme les stalactites et stalagmites.

Le karst peut également se manifester à la surface avec des caractéristiques telles que des dolines, des poljés, et des rivières intermittentes. Les paysages karstiques sont variés et spectaculaires, influençant l'hydrologie régionale, la biodiversité, et les activités humaines, notamment l'approvisionnement en eau.



- Cuvettes hydro éoliennes: Daya

Les cuvettes hydro-éoliennes, également connues sous le nom de "dayas", sont des dépressions circulaires formées par la désagrégation des roches sur place ou par l'apport de matériaux par le ruissellement. Ces dépressions peuvent avoir un diamètre allant de quelques décamètres à plusieurs kilomètres. Dans le contexte des énergies renouvelables, les cuvettes hydro-éoliennes peuvent jouer un rôle important. Elles peuvent être remplies d'eau lors de précipitations, agissant comme des zones de captage d'eau dans les régions arides. De plus, elles peuvent être utilisées dans le stockage d'énergie

hydraulique, où l'eau est pompée dans une cuvette supérieure en période d'excès d'électricité pour être libérée ensuite afin de générer de l'électricité lors de pics de demande. L'interaction entre les processus naturels tels que la désagrégation des roches et l'accumulation éolienne, ainsi que l'action anthropique dans le contexte des énergies renouvelables, contribue à la morphogenèse des cuvettes hydro-éoliennes. Ces dépressions présentent un intérêt écologique, favorisant la croissance végétale et pouvant être exploitées pour l'agriculture avec des rendements satisfaisants, grâce à la présence d'une certaine humidité résultant de la convergence localisée des cours d'eau. Cependant, la déflation intense contribue au surcreusement de ces dépressions.

Cuvettes hydro-éoliennes ou cuvettes de déflation : dépressions circulaires fermées et souvent salées, dans lesquelles les matériaux fins produits par la météorisation (hydro- et haloclastie) sont exportés par déflation. Ex : sebkhas en Afrique du Nord et au Moyen-Orient.

- Action anthropique et morphogenèse

La dégradation du sol, par le biais de l'érosion et d'autres facteurs tels que la compaction, la réduction de la matière organique, la détérioration de la structure, le drainage insuffisant, la salinisation et l'acidification, constitue un problème majeur. L'érosion, provoquée principalement par l'eau et le vent, peut se dérouler de manière imperceptible ou prendre des proportions alarmantes, entraînant une perte significative de sol arable. Les activités humaines, telles que l'urbanisation, l'agriculture intensive et l'exploitation minière, accentuent la vulnérabilité des terres cultivées et pastorales. Les changements induits par l'homme, tels que la conversion des forêts en terres cultivées, la surcharge pastorale et la pollution anthropique, intensifient l'érosion aux dépens des surfaces utiles. La bioérosion des êtres vivants sur le substrat rocheux est relativement limitée. La pollution anthropique, avec ses émissions de gaz à effet de serre, contribue également à l'érosion des reliefs et à la dégradation de l'environnement. L'interaction entre l'action humaine et la morphogenèse, le processus de formation du paysage, est cruciale. Les activités humaines modifient la structure et l'apparence du milieu naturel, de la transformation locale du sol aux impacts globaux sur les écosystèmes. La compréhension de cette relation est essentielle pour une gestion durable de l'environnement.