

I. INTRODUCTION

Définition : La sédimentologie c'est l'étude des phénomènes et des roches sédimentaires. La pétrologie sédimentaire s'attache quant à elle à l'étude et la reconstitution des environnements de dépôt anciens, après que les sédiments ont été transformés en roches. Ceci comprend l'identification des processus sédimentaires, des milieux de dépôt, l'étude de leur évolution au cours du temps, la reconstitution de l'architecture des différents environnements au sein d'un bassin de sédimentation et aussi, il ne faut pas l'oublier, l'étude de l'évolution des sédiments au cours du temps (par compaction, diagenèse,...).

La sédimentologie peut s'appuyer sur plusieurs autres disciplines: la pétrographie, la stratigraphie (biostratigraphie, lithostratigraphie, stratigraphie séquentielle,...), la cartographie géologique, la géochimie et la géochimie isotopique, la géographie, la biologie, etc.

I.1. Importance de la sédimentologie

- ❖ Près de 90% de la surface terrestre est couverte de sédiments ou est constituée de roches sédimentaires, avec les proportions suivantes: argilites/siltites: 63%; grès: 22%; calcaires: 15% (chiffres basés sur des mesures directes, pondérées par des méthodes géochimiques)
- ❖ Elles contiennent le pétrole, le gaz naturel, le charbon et les fertilisants;
- ❖ Elles représentent un des principaux aquifères;
- ❖ Elles contiennent les fossiles, sur lesquels reposent notre connaissance de l'évolution de la vie sur Terre;
- ❖ Elles sont en relation avec l'atmosphère et l'hydrosphère (cycle du C, etc.);
- ❖ Elles permettent de reconstituer l'évolution de notre planète par les études paléogéographiques, paléoclimatiques, depuis l'échelle locale jusqu'à celle des bassins. L'enregistrement sédimentaire étant continu, cette reconstitution est elle aussi continue, au contraire des informations apportées par le magmatisme et le métamorphisme.

II. CYCLE D'UNE ROCHE SEDIMENTAIRE

Le cycle sédimentaire comprend deux grandes phases (**Fig.01**) :

1) **Glyptogenèse** : altération, érosion et transport.

2) **Lithogenèse** : sédimentation et diagenèse.

1) **La glyptogenèse** : elle détermine les types, les proportions et l'état des particules transportées qui permettront de constituer un dépôt d'origine détritique.

-Altération superficielle des matériaux qui produit des particules.

- Erosion : Ensemble des phénomènes externes qui, à la surface du sol ou à faible profondeur, enlèvent tout ou partie des terrains existants et modifient ainsi le relief.

-Transport par les cours d'eau, le vent, la glace...

2) **La lithogenèse** : Enregistre les conditions locales du lieu et du moment de dépôt (sédimentation), et modifications subies par le sédiment après son dépôt jusqu'à sa transformation en roche sédimentaire (**diagenèse**).

-La sédimentation qui fait que ces particules se déposent dans un milieu donné pour former un sédiment.

-La diagenèse qui transforme le sédiment en roche sédimentaire.

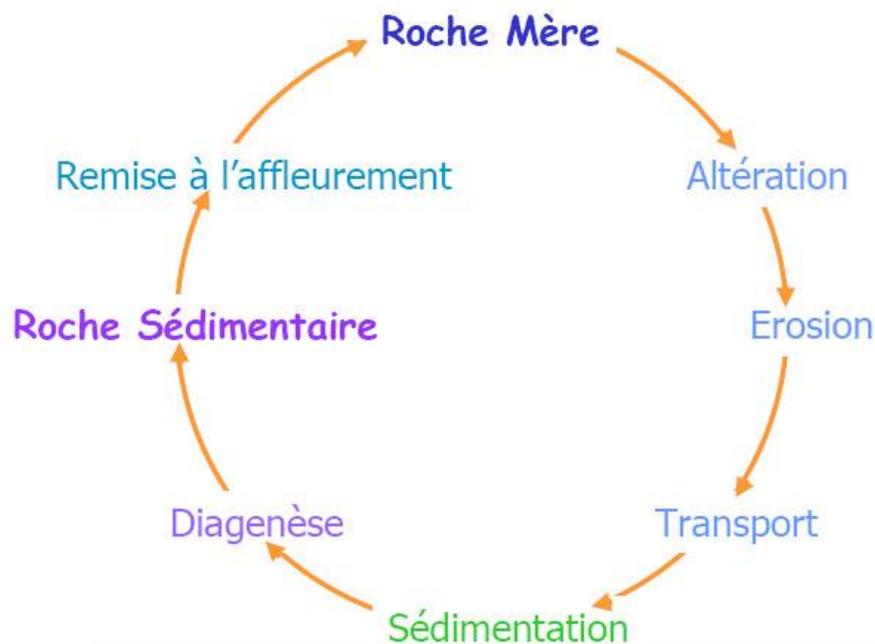


Fig.01. Le cycle sédimentaire

III. PRECESSUS DE FORMATION DES ROCHES SEDIMENTAIRES

Les roches sédimentaires se forment par **altération** et **destruction** de roches préexistantes, qu'elle soit magmatique, métamorphique ou sédimentaire affleurant dans les domaines continentaux soumis à l'altération superficielle et aux différents **processus érosifs**.

Une partie minime des produits de cette altération peut demeurer *in situ* et constituer les **dépôts résiduels** (ex : argiles rouges de décalcification) formés sur les surfaces aplaties par l'érosion (**Fig.02**).

La majeure partie des produits de l'altération superficielle est **transportée** par le **vent**, les **eaux courantes** ou les **glaciers** vers les parties déprimées des continents et finalement vers les mers et les océans.

L'accumulation des sédiments transportés à l'état solide sur le fond marin, donnera naissance aux **dépôts détritiques (clastiques)**. Quant à la matière mise en solution durant l'altération superficielle, elle est acheminée vers les lacs, les mers et les océans où elle peut être précipitée directement par des processus purement physico-chimique, elle donnera des **dépôts chimiques** ou à l'intervention indirecte d'organismes végétaux fixent le CO_2 des eaux marines en provoquant la précipitation du CaCO_3 , on obtiendra **des dépôts biochimiques**.

Les substances en solution dans les eaux fluviales et marines peuvent être aussi fixées dans le squelette des organismes. A la mort de ces derniers, coquille ou squelette interne s'accumulent sur le fond de la mer et finissent par constituer, en se mêlant aux dépôts détritiques, les **dépôts organo-détritiques**.

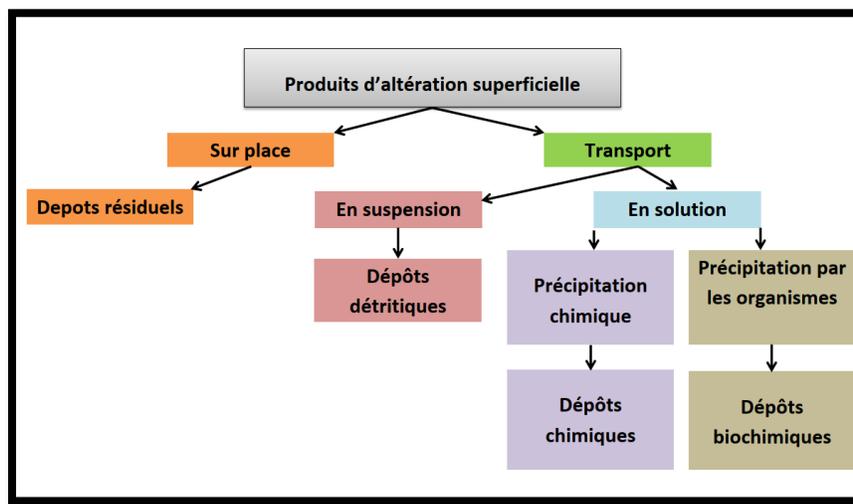


Fig.02. Processus de formation d'une roche sédimentaire

III.1. DESAGREGATION DES ROCHES

Les roches exposées à l'air sont décomposées sous l'influence de différents agents dont l'action est surtout importante lorsqu'il n'y a pas de couverture végétale et sous les climats extrêmes. Ces agents atmosphériques préparent le travail de l'érosion, mais donnent en outre lieu à certaines formes caractéristiques du relief. Les roches peuvent s'altérer selon deux processus différents :

- *Altération physique*
- *Altération chimique*
- *Altération biologique*

A. Altération physique ou mécanique :

Les roches soumises à des facteurs physiques tels que variations de températures, gel, dessiccation, décharges électriques répondent aux contraintes auxquelles elles sont soumises, du fait surtout de dilatations et de contractions en se fissurant, en éclatant.

- *Désagrégation mécanique dues aux variations de température*
- *Désagrégation mécanique liée à l'eau des roches*
- *Désagrégation mécanique dû à la pression*
- *Désagrégation mécanique liée à la cristallisation des sels*

A.1. Désagrégation mécanique dues aux variations de température :

1) Action de la foudre : La foudre peut faire éclater un rocher. C'est à elle que sont dus les éclatements en étoile observés en montagne sur les roches des sommets.

2) Insolation et variations de température diurnes et nocturnes (Thermoclastie)

- **Les roches hétérogènes**, le granite par exemple, se désagrègent par échauffement au soleil. Les différents minéraux, de teinte variable, ont en effet, non seulement une capacité calorifique, mais encore un coefficient de dilatation différents. De sorte que sous l'effet des changements de température diurnes et nocturnes (**de 50 à 60° dans le désert**), il se développe des tensions internes qui causent la destruction des roches cristallines par dislocation. La dilatation entraîne l'écaillage (des fragments aplatis se détachent de la surface des blocs, les arrondissant), la contraction provoque l'éclatement alors les grains s'accumulent et forment une arène (**Fig.03**).

- **Les roches homogènes**, subissent une véritable desquamation des lamelles superficielles s'en détachent par suite d'une dilatation plus rapide des couches externes, l'ensemble étant mauvais conducteur.

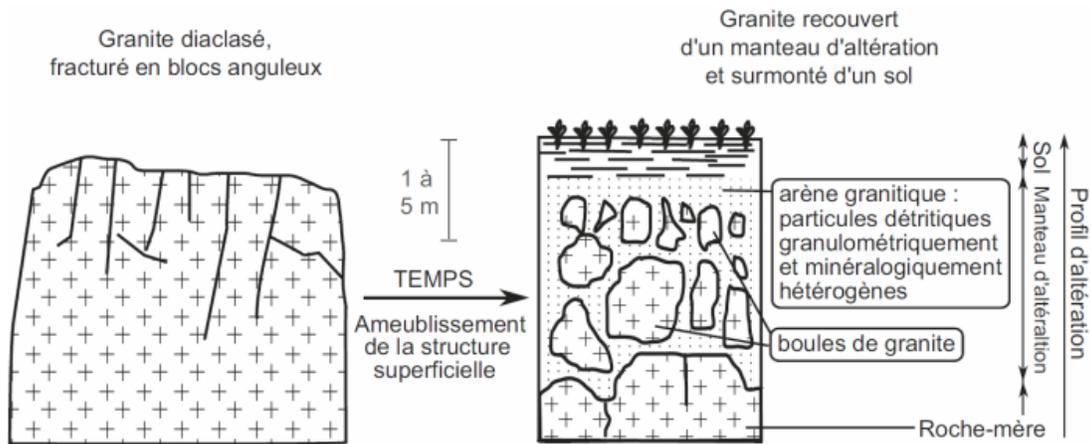


Fig.03. Arénisation du granite

A.2. Désagrégation mécanique liée à l'eau des roches :

1) Gel et dégel (Cryoclastie, gélivation, ou gélifraction) (Fig.04) :

- **les roches poreuses**, imbibées d'eau gèlent et éclatent ; au moment du dégel, elles se désagrègent. Ce phénomène est surtout effectif dans les pierres dites **gélives**, telles que la craie.

- **Dans les roches fissurées**, le glaçon qui se forme dans chaque fissure agit à la façon d'un coin (augmentation de volume de l'ordre de **10 %**) et en provoque l'éclatement. Les schistes, particulièrement sensibles, prennent un aspect hache (ex : Groenland). L'efficacité de ce facteur de désagrégation est fonction de la fréquence des périodes de gel et de dégel.

- **En pays tempéré froid** ; la gélivation se fait sentir l'hiver jusqu'à une profondeur de **20 cm à 01 m**. cette profondeur est fonction de la densité de la couverture végétale.
- **En pays arctique et haute montagne** : le sol, beaucoup plus profondément gelé, ne dégèle que sur une épaisseur de **50 cm à 2 m**.
- **En région désertique** : l'action du gel pour être plus rare n'en est pas moins parfois brutale.



Fig.04. Cryoclastie

2) Variation de la teneur en eau : par temps sec, des fentes de retrait apparaissent dans les argiles à cause des phénomènes d'hydratation-déshydratation (**Hydroclastie**) (**Fig.05**).

A.3. Désagrégation mécanique dû à la pression :

1) Décomposition et exfoliation : affecte des roches qui ont séjournées une très grande profondeur. Certaines roches, suite à des phénomènes de dénudation (Soulèvement par érosion), se dilatent par baisse importante de pression. Elles gonflent en formant un dôme et se débitent en feuilles ou en plaques (=décompression) (**Fig.06**).

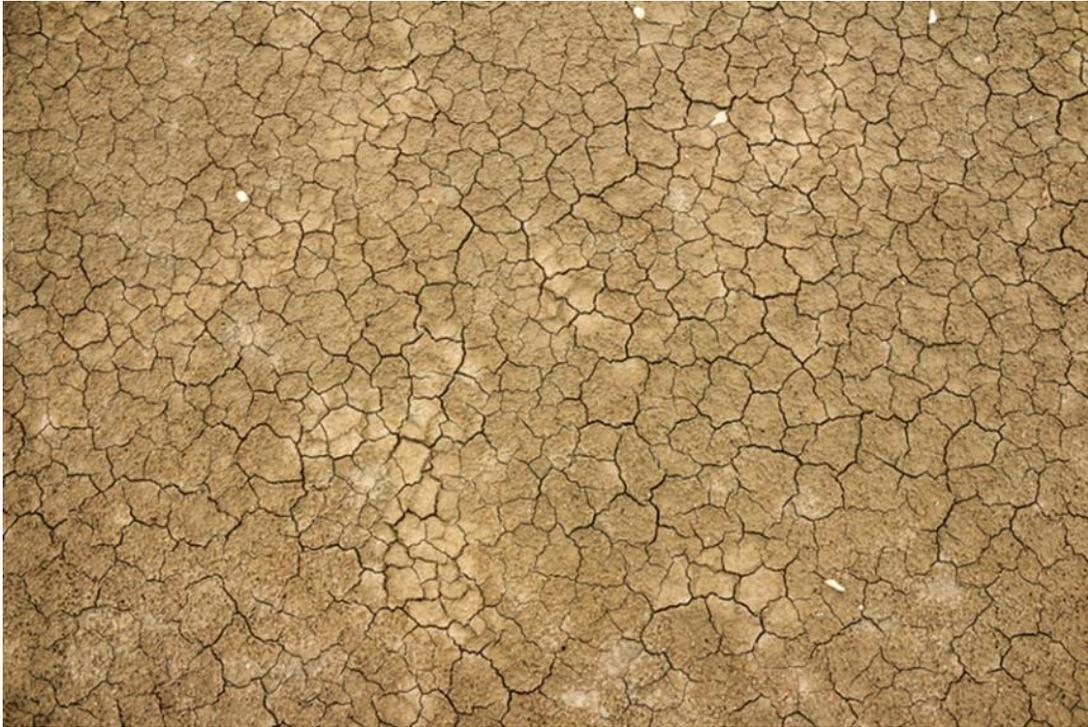


Fig.05. Fente de dessiccation, fente de retrait ou fissure de contraction (Mud Kraks)



Fig.06. Phénomène d'exfoliation

A.4. Désagrégation mécanique liée à la cristallisation des sels :

1) **Haloclastie** : Fragmentation d'une roche sous l'effet de la pression de cristallisation des sels dans ses fissures ou ses cavités. La présence de sels (notamment **NaCl**), notamment en **milieu marin ou littoral** qui peuvent pénétrer dans les roches ou s'adsorber à leur surface, conduisant à leur désagrégation (**Fig.07**).

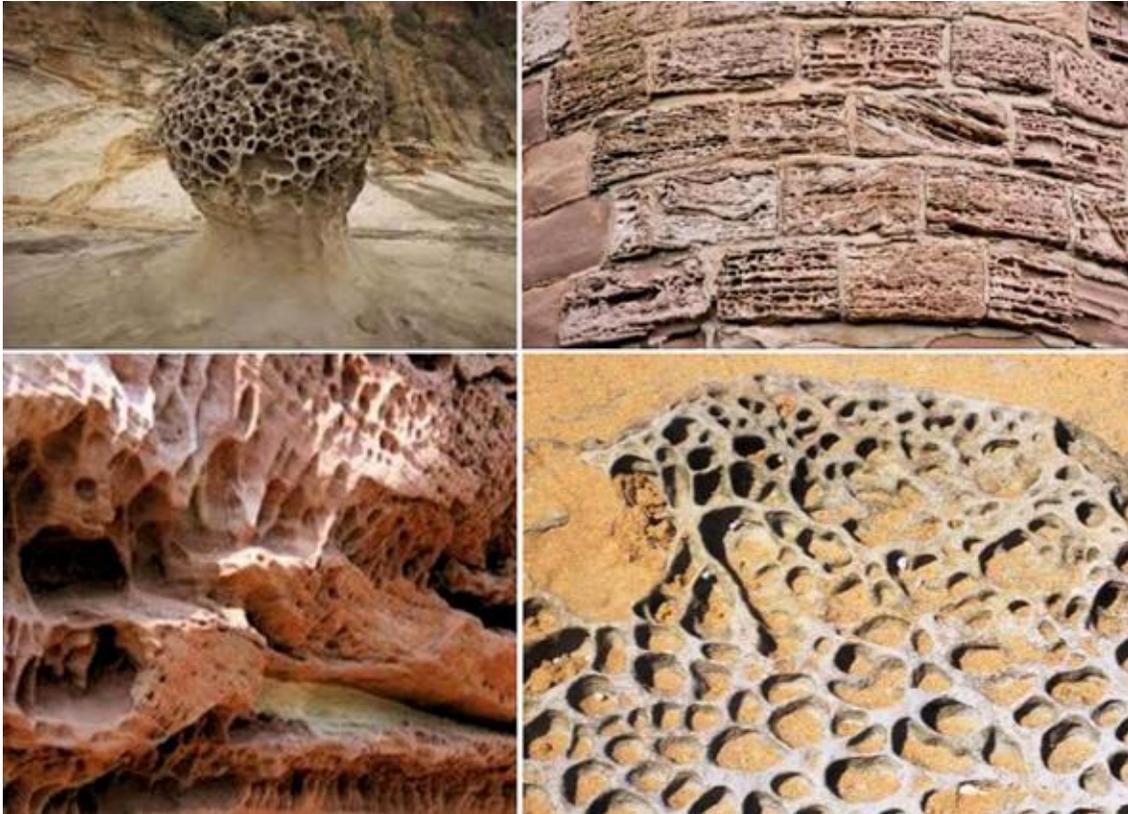


Fig.07. Haloclastie

Conclusion sur l'altération physique :

L'altération physique provoque la désagrégation de la roche en :

- Augmentant la surface de contact entre l'eau ou l'air et la matière minérale ;
- Préparant la roche à l'altération chimique
- Conservant la composition minéralogique et chimique de la roche
- Libérant des particules détritiques.

B. Altération biologique :

B.1. Action biophysique ou biomécanique :

1) Bioclastie : fragmentation de la roche par des éléments biologiques. Les racines des végétaux leur permettent de puiser l'eau et les sels minéraux indispensables à leur développement. En se développant, elles sont capables de fissurer les roches du sous-sol. Leur croissance provoque l'agrandissement de ces fissures et la désagrégation progressive de la roche (**Fig.08**).



Fig.08. Bioclastie

B.2. Action biochimique :

Elle Correspond à la destruction par processus chimiques des roches à cause des **acides secrétés** par les **bactéries** et les **lichens**. Les lichens qui poussent sur les surfaces des roches, produisent des **acides faibles** conduisant à l'**altération chimique** de ces roches (**Fig.09**).



Fig.09. Altération biochimique

B. Altération chimique :

Les roches soumises à des facteurs physiques tels que variations de températures, gel, dessiccation, décharges électriques répondent aux contraintes auxquelles elles sont soumises, du fait surtout de dilatations et de contractions en se fissurant, en éclatant.

B.1. Les facteurs de l'altération chimique des roches : ce sont essentiellement : l'eau (vapeur d'eau, rosée, pluie), le gaz carbonique, l'oxygène et divers facteurs biologiques. Dans la nature actuelle, il faut y ajouter l'influence grandissante des émanations ou des résidus corrosifs de l'industrie humaine.

- **L'eau** seule n'a aucune action notable que sur les roches salifères, qu'elle dissout plus ou moins rapidement.
- **l'eau chargée de gaz carbonique** a une action plus étendue, qui est fonction de la nature des roches et du climat. Elle dissout les calcaires après avoir transformé le carbonate de calcium en bicarbonate soluble.



- Sous un climat tempéré, les ions alcalins (Na^+ , K^+) alcalino-terreux (Ca^{++} , Mg^{++}) sont entraînés en solution (notamment sous forme de carbonates et bicarbonates), tandis qu'une partie de la silice, combinée à l'alumine, sous forme des silicates d'alumine hydratées qui donnent, sur place, des argiles résiduelles (fréquemment **kaoliniques**) (Fig.10).

- Sous un climat chaud et humide (régions équatoriales), les minéraux argileux sont eux-mêmes détruits. La silice est entraînée à l'état de solutions colloïdales tandis que le sédiment résiduel, fait d'alumine hydratée plus ou moins riche en fer, est à l'origine de **bauxite** ou de **latérite** (Fig.10)

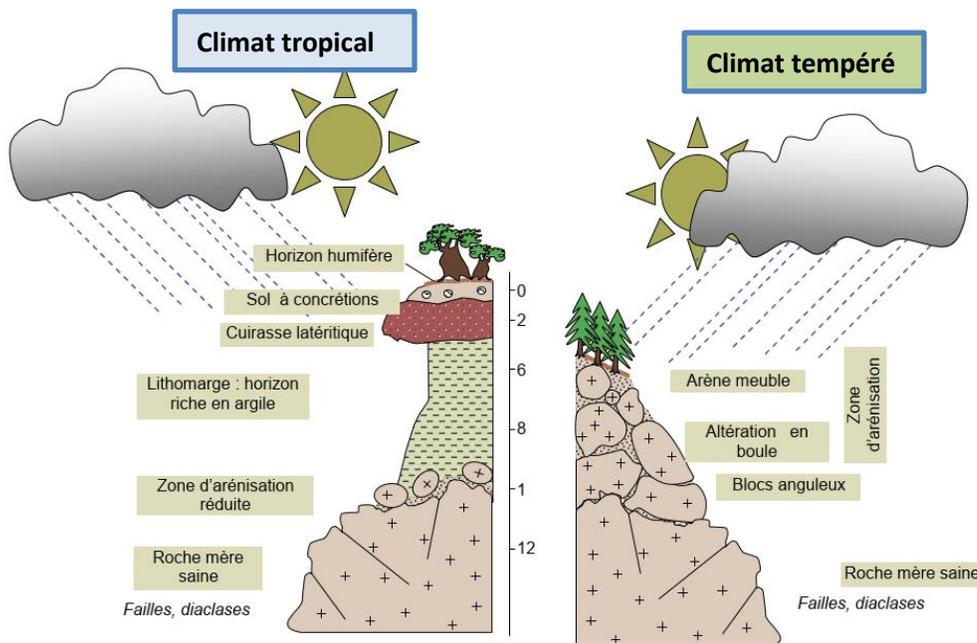


Fig.10. Altération d'une même roche-mère sous 2 climats différents

- **l'eau chargée de l'oxygène :** c'est le cas de l'eau de pluie ou, parmi les gaz dissous, l'oxygène est de 50 % plus abondant que dans l'air. Elle est responsable du phénomène de la "rouille des roches" qui traduit l'oxydation des sels de fer notamment de la pyrite qui, sous un état très divisée, confère une couleur bleutée aux roches sédimentaires fraîches. A la surface des roches magmatiques on observe de même la formation d'oxyde de fer dû à l'altération des minéraux ferromagnésiens au contact de l'oxygène.

- **l'eau chargée de sulfureux : (émanation industrielle, résidu de combustion)** est très corrosive, car en présence d'oxygène il s'y forme de l'acide sulfurique. Cette corrosion chimique a ses effets sur les roches et sur les édifices publics.
- **Les facteurs biologiques** : les plantes qui s'incrusteront à la surface des roches : Schizophytes qui pénètrent plus ou moins profondément dans les roches et les désagrègent. Lichens qui y creusent de petites cupules, racines des végétaux supérieurs et champignons qui y sculptent des racines ramifiées. Mentionnons aussi l'action des bactéries, notamment des bactéries de la nitrification.

B.2. L'influence des caractères des roches dans l'altération chimique : certains caractères des roches accélèrent ou retardent leur altération. Ce sont :

- l'hétérogénéité : l'élément le plus altérable est décomposé le premier.

- ❖ Ainsi dans la dolomie, le carbonate de calcium est entraîné avant le carbonate de magnésium : il reste un **sable dolomitique** ou une **cargneule**.
- ❖ Dans le granite, le mica est altéré le premier, le feldspath ensuite, il se forme une **arène granitique**.

- le grain : parmi les roches cristallines, les roches grenues s'altèrent plus vite que les roches à structure microlitique. Des venues rhyolitiques, par exemple, ont persisté dans des conditions où des granites auraient été complètement décomposés.

- la compacité : une roche compacte (quartzite) s'altère moins vite qu'une roche qui l'est peu (grès).

- la fissuration : dans un massif (granitique ou calcaire par exemple), l'altération est plus active le long des fentes : diaclases, joints de sédimentation.

B.3. Altérabilité des minéraux due à la nature des ions piégés dans le réseau cristallin : le diagramme de GOLDSCHMIDT (1934) :

L'agent principal de la dissolution est l'eau, autrement dit le phénomène d'hydrolyse. La solubilité dans l'eau varie d'un minéral à l'autre. Ces solubilités dans l'eau varient d'ailleurs avec la présence d'autres sels. C'est ainsi, que les solubilités dans l'eau de mer diffèrent beaucoup de celles d'eaux douces. L'hydrolyse des cations varie largement, en fonction du **pH** des eaux et de la température.

Lorsque le minéral est brisé, les cations des silicates associés aux tétraèdres de silice, et ou de l'alumine deviennent des accepteurs d'électron, et par conséquent, attirent les dipôles d'eau.

L'eau chargée en CO_2 accentue la solubilité des minéraux. Les eaux météoriques (des pluies) attaquent les minéraux. Elles les attaquent d'autant plus que leur agressivité est accrue par le contenu en CO_2 dissous, que celui-ci provienne directement de l'atmosphère, du lessivage des sols, de végétation ou des deux à la fois.

Les organismes, les bactéries en particulier, jouent un rôle important dans ces phénomènes de mise en solution. Elles favorisent la production d'acides organiques, de même que les échanges de base.

Le comportement des éléments chimiques pour les molécules d'eau est en fonction de leur potentiel ionique qui est le rapport : **charge ionique/rayon ionique (Z/r)**(Fig.11).

1. les cations anti -Stokes: Lorsque le ($Z/r < 1$, tel que K^+ , Rb^+ , Cs^+), ces ions n'ont aucune tendance à se solvater car leur surface est trop grande et leur charge est réduite. Donc, ils ne donnent pas une charge électrostatique suffisante pour attirer l'eau dipolaire. Lors de l'écoulement, ces ions hydratés sont repartis, très uniformément dans les milieux de sédimentation. Le potentiel ($Z/r < 1$) ne donne pas d'ions solvants, mais directement **des sels solubles**.

2. les cations solubles (Cations Stokes): dans le domaine des faibles potentiels ioniques ($1 < Z/r < 3$), on trouve des éléments qui attirent l'eau pour donner des ions solvates dont les sels sont très solubles. Ce sont les cations solubles **alcalins** et **alcalino-terreux (Na, K, Ca, Mg, plus Fe** et d'autres cations mono et bivalents). Ces cations dit "**migrateurs**", car ils sont intimement liés à l'eau et se déplacent avec celle-ci, lors de son écoulement.

Les cations Ca^{++} , Mg^{++} donneront des carbonates (CaCO_3) qui est le constituant principal des calcaires, alors que le MgCO_3 et CaCO_3 est le constituant des dolomies. Les ions solubles très mobiles aboutissent aux roches d'origine chimique : évaporite, calcaire, dolomie....

3. les cations des hydrolysats (Insolubles) : ions à potentiel ionique compris entre **3 et 10** ($3 < Z/r < 10$), on trouve Fe^{3+} , Al , Mn^+ , Si^{4+} , Ti^{4+} , qui avec l'eau donnent des **hydroxydes (hydrolysats) $\text{Fe}(\text{OH})_3$ et $\text{Al}(\text{OH})_3$** très peu solubles (peu stables). Ces hydroxydes se trouvent concentrés dans les formations résiduelles (aboutissent aux sols et à des gîtes métalliques) laissées par l'hydrolyse suivie du lessivage des éléments de faibles potentiels donne alors des précipitations.

Le **silicium** se trouve à la limite de ce domaine ($Z/r = 10$) peut être lessivé sous la forme Si(OH)_4 . Il n'est soluble qu'en **climat tropical humide** (Cette constatation est importante pour expliquer la présence de **roches siliceuses** comme les **silex** dont l'existence dans la **craie** est conditionnée par la présence d'un **arrière-pays** soumis à un **climat tropical**).

4. les cations des oxydats (Oxyanions solubles) : Ions à potentiel ionique ($Z/r > 10$). Il s'agit des espèces **C, P, N, S** qui dans les conditions naturelles, en présence d'eau forment des oxydats (oxyanions) complexes acides (ex. CO_3H^-), très solubles.

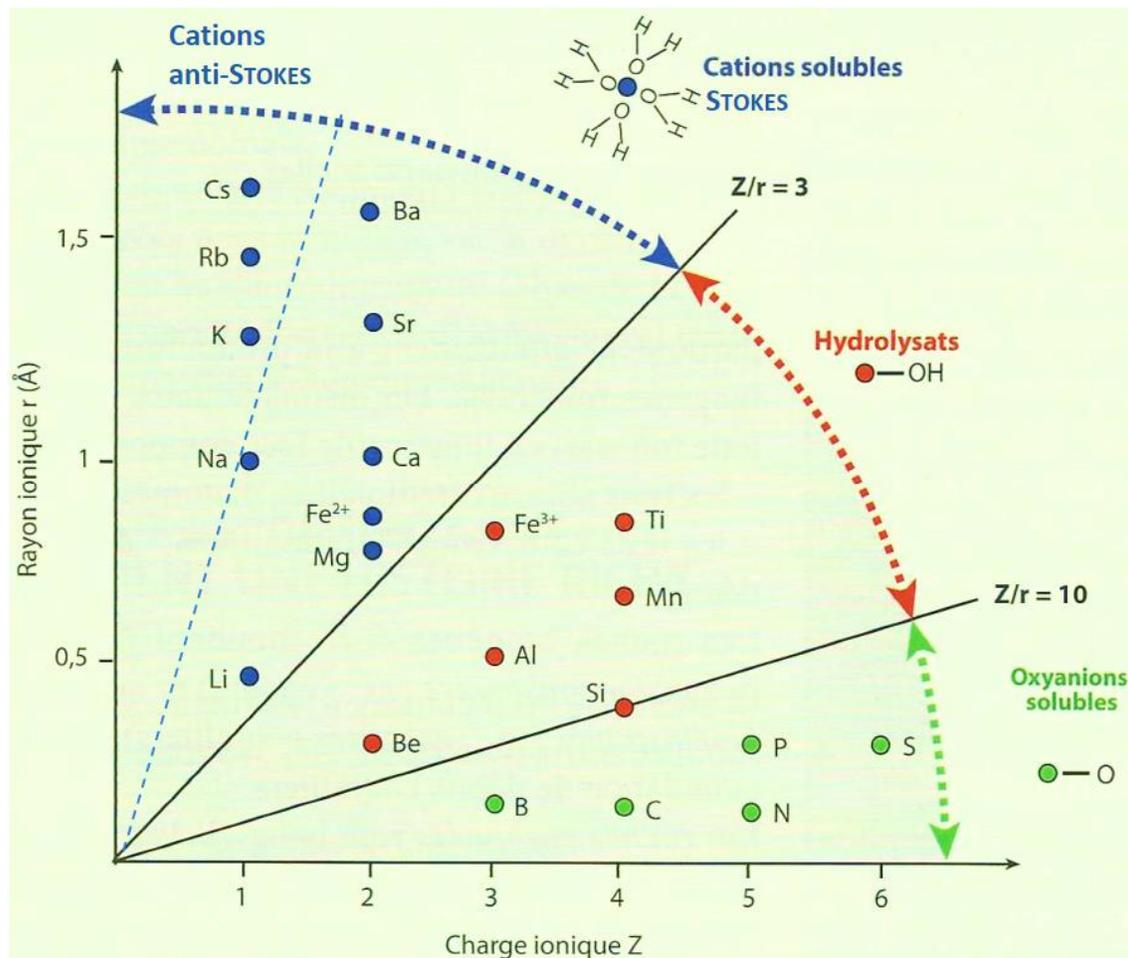


Fig.11. La classification établie par GOLDSCHMIDT d'ions d'après la valeur du potentiel ionique

B.4. Les différents types d'altérations chimiques :

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

La solubilité du quartz est très faible (**6 ppm**) dans les eaux de surface ; la réaction de mise en solution est la suivante :



La halite et les autres halogénures sont très solubles (solubilités de l'ordre du **millier de ppm**).

2) La décarbonatation : La solubilisation des calcaires et des dolomies sous l'action de **CO₂** dissous dans l'eau (**phénomène karstique**) (**Fig.12**).

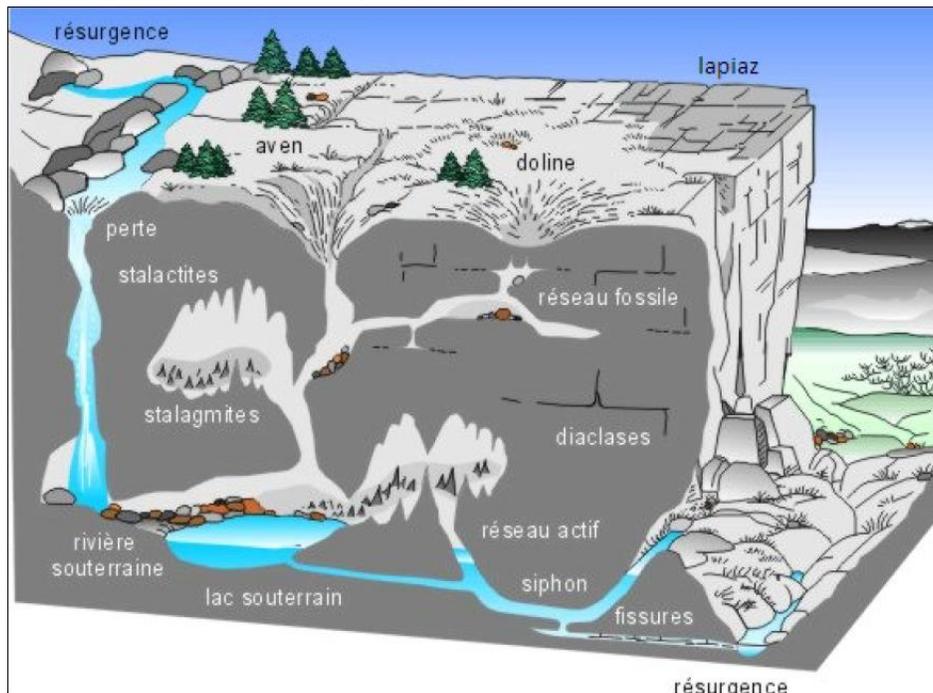


Fig.12. Paysage karstique

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 :



3) L'hydratation / déshydratation : Perte ou gain de molécules d'eau faisant partie de la structure du minéral.



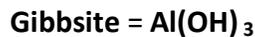
Silice et cations basiques ne sont pas totalement lessivés. On aboutit à des **phyllites 2/1** (**montmorillonite, illite, vermiculite**), caractérisées par la présence de cations basiques interfoliaires (K+, Na+). (Perte en silice: **60%**, perte en potassium: **67%**)

Intensité d'altération **FORTE**



Les **cations basiques** sont ici **totalement éliminés**, et une part encore supérieure de la silice : il se forme des **silicates argileux de type 1/1** :

Intensité d'altération **TRES FORTE**



C'est l'**hydrolyse totale**. Silice et cations échangeables sont **entraînés** tandis que l'**alumine précipite sur place**. Ces produits accumulés sur place correspondent couramment à des hydroxydes d'aluminium du type **gibbsite** ou **boehmite**. (**Gibbsite** c'est un minéral **non silicate** (Hydroxyde d'aluminium= $\text{Al}(\text{OH})_3$)

- L'altération **d'une roche acide**, comme **le granite**, donne plutôt de **la kaolinite**.
- L'altération **d'une roche basique**, comme le **basalte**, donne plutôt des **smectites**.

4.2. Répartition géographique des modes d'altération.

L'**altération des minéraux en argiles**, entre autre par l'**hydrolyse**, dépend des conditions climatiques : **chaleur**, qui accélère les réactions chimiques, **pluviosité**, **vent et autres agents mécaniques**. En conséquence, les minéraux argileux issus de l'altération et qui sédimentent, se

répartissent selon une disposition zonale latitudinale, superposée à celle des grands types de climats (Fig.13).

a. Aux hautes latitudes (climat glaciaire) : où l'eau est peu disponible et la température basse, l'altération physique prédomine, et donne des minéraux proches de ceux de la roche-mère (héritage) : Ce sont surtout des illites, du chlorite et des minéraux non argileux. Localement s'y ajoutent des minéraux hérités des couvertures sédimentaires anciennes démantelées, comme la kaolinite mésozoïque dans les mers arctiques.

b. Sous climat tempéré : l'hydrolyse dégrade et transforme partiellement les minéraux: les sols bruns qui s'y forment contiennent des illites ouvertes, des interstratifiés irrégiliers divers, à composition plus smectitique que vermiculitique plus l'humidité augmente, des vermiculites et des smectites de dégradation mal cristallisées (pseudobisillitisation). Si le drainage des solutions de lessivage est actif, le stade kaolinite, voire gibbsite, peut être atteint par les minéraux les plus fragiles, comme les feldspaths.

c. Sous les climats chauds et humides, tropicaux et équatoriaux : l'hydrolyse intense permet la formation de manteaux d'altération épais, dont le développement induit un nivellement des reliefs : Ce sont les sols rouges intertropicaux (latérites s.l.), souvent marqués par une cuirasse d'accumulation ferrifère. Les minéraux néoformés, surtout la kaolinite et les oxydes métalliques, plus ou moins hydratés (gibbsite, goethite), s'y développent, indépendamment ou presque de la nature de départ de la roche-mère. Allitisation et monosiallitisation dominant.



Fig.14. Traces d'oxydation sur une roche.

Les réductions interviennent dans les milieux hydromorphes et produisent le passage du fer ferrique (Fe^{+++}) en fer ferreux soluble (Fe^{++}) (Fig.15).



Fig.15. Traces de réduction sur un profil de sol.

6) L'oxydation de la matière organique : Une réaction importante est l'oxydation de la matière organique, produisant de l'eau et du CO₂ lui-même impliquée dans les réactions de mise en solution :



PRINCIPAUX PROCESSUS D'ALTERATION CHIMIQUE

Nom du processus	Nature du processus	Exemple	Principaux minéraux et roches affectées
Hydrolyse	Réactions entre les ions H ⁺ et OH ⁻ de l'eau et les ions des minéraux silicatés produisant des cations solubles, acides silicique et minéraux argileux (si Al présent)	$2\text{KAlSi}_3\text{O}_8 + 2\text{H}^+ + 9\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{Si}_2\text{O}_5\text{Al}_2(\text{OH})_4 + 4\text{Si}(\text{OH})_4 + 2\text{K}^+$ Orthose Kaolinite	Minéraux silicatés
Hydratation Déshydratation	Gain ou perte de molécules d'eau par un minéral conduisant à la formation d'un nouveau minéral.	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \longleftrightarrow \text{CaSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$ (Gypse) (Anhydrite) $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} \longleftrightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O}$ (Goethite) (Hématite) $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{O} \longleftrightarrow 2\text{Fe}(\text{OH})_3$ (Hématite) (Limonite)	Evaporites Oxydes de fer
Oxydation	Perte d'un électron par un élément (Fe ou Mn) d'un minéral, conduisant à la formation d'oxydes ou hydroxydes en présence d'eau.	$\text{Fe}^{+++} \text{ (ion ferrique)} + \text{e}^- \longleftrightarrow \text{Fe}^{++} \text{ (ion ferreux)}$ $4\text{FeS}_2 + 15\text{O}_2 + 8\text{H}_2\text{O} \longrightarrow 2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 8\text{H}_2\text{SO}_4$ Pyrite Acide sulfurique	Minéraux Ferreux Sulfures
Décarbonations Dissolution	Dissolution des minéraux solubles surtout en présence de CO ₂ , produisant des cations et anions en solution	$\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \longrightarrow \text{Ca}^{2+} + 2\text{HCO}_3^-$ Calcite bicarbonate $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{SO}_4^{2-} + \text{Ca}^{+2} + 2\text{H}_2\text{O}$ (Gypse)	Carbonates Evaporites

Conclusion sur l'altération chimique : Les produits de l'altération chimique:

Minéraux primaires	Feldspaths et micas (muscovite et biotite)
Constituants solubles	Na^+ , Ca^{2+} , K^+ , H_4SiO_4 , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^-
Minéraux résiduels	Quartz, zircon, magnétite, ilménite, rutile, grenat, sphène, tourmaline, monazite
Minéraux néoformées	Kaolinite, Montmorillonite, Illite, chlorite, Hématite, goethite, gibbsite, boehmite, diaspore, Silice amorphe, pyrolusite.
Constituants organiques	Acides organiques, acides humiques, Kérogène

III.2. EROSION

Les produits de l'altération sont des solutions plus ou moins riches en sulfates, carbonates, oxydes, chlorures.... Et des minéraux transformés ou non, plus ou moins désagrégés, constituant des fragments solides ou particules lors de l'action de l'érosion.

L'érosion c'est l'ensemble des phénomènes externes qui, à la **surface du sol** ou à **faible profondeur**, enlèvent tout ou partie des terrains existants et **modifient ainsi le relief**.

A. les agents de l'érosion :

Les agents de l'érosion sont variés :

- Les vents
- Les pluies et ruissellement
- La glace (rôle des grandes calottes glaciaires)
- Eaux continentales et océaniques (vagues, tempêtes, marrées)
- Les organismes vivants : **bioérosion** (ex : spongiaires, échinides, lithophages)
- La déflation éolienne
- L'abrasion sous glaciaire
- Le creusement de lits de rivières et chenaux de marée
- Glissements de pente.

B. les formes de l'érosion :

A différentes échelles, les formes de l'érosion sont parfois tenues et parfois spectaculaires : marques de courant, paléovallées, chenaux sous-glaciaires, paléofalaises, paléocanyons, surface de ravinement en domaine transgressif.

Conclusion sur l'altération et l'érosion :

Les produits finals des actions d'altération/érosion est d'une part la libération de **matériels terrigènes** (fragments solides, particules Silicoclastiques ou carbonatés, débris organiques), et de **solutions** (qui permettront ensuite des précipités) et d'autre part le **modelé de paysages (morphogénèse)**.

Selon la source, on peut distinguer deux types de sédiments :

1. **monogéniques** : particules provient d'une seule source.
2. **polygéniques** : particules provient de plusieurs sources.

III.3. TRANSPORT ET DEPOTS DES SEDIMENTS

A. Transport en solution :

D'amont vers l'aval, on trouve :

- Les cours d'eau actifs et concentration dans des bassins fermés (endoréiques), lacustres ou non et dans les plaines d'inondation alluviales.
- Les cours d'eaux actifs avec exutoires marins, deltas et estuaires.
- Les courants de marées (flot et jusant) et courant de dérive littorale, courants de houle.
- Les grands courants océaniques de surface liés à la circulation générale atmosphérique et courants **d'upwelling** (remontées d'eaux froides riches en nutriments).
- Les courants gravitaires, courants de fond et courants de contour.
- Les panaches hydrothermaux chauds ou froids.

B. Transport particulaire, progradation latérale, aggradation verticale :

Dans le cas de l'eau et du vent, une relation simple existe entre la **vitesse** de transport et la **taille granulométrique** des particules. Interviennent aussi la cohésion, les forces de frottement et la viscosité du milieu. Grâce à des dispositifs expérimentaux de faire varier la vitesse du courant et/ou la dimension des particules, **Hjulström** a établi un diagramme délimitant **trois domaines**. Celui de la **sédimentation** où le courant n'a pas l'énergie suffisante pour transporter les particules, celui de **transport** où cela devient possible et enfin celui de **l'érosion** où le courant est non seulement capable de transporter les particules de la taille concernée mais peut, de plus, les arracher et les remettre en suspension si elles ont été déposées précédemment (**Fig.16**).

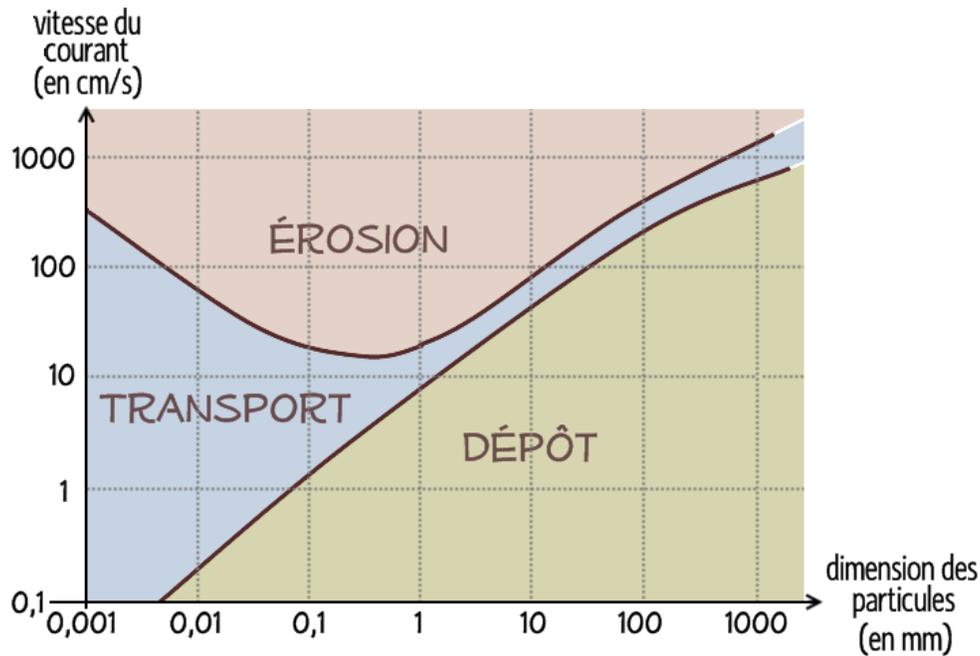


Fig.16. Le diagramme de Hjulström selon la taille des particules et la vitesse du courant.

B.1. Le transport tractif :

Par **charriage et saltation sur le fond**, avec en général une faible mise en suspension, peut être produits par le **vent (mode éolien)**, les cours d'eaux continentaux (fluviales, estuarien), les vagues de houle et de tempêtes (offshore peu profond), les courants de flot et jusant (domaine tidal), la veine d'eau profonde (courants de contour et de fond).

Les particules sont véhiculés sur ou à proximité immédiate du fond sur une hauteur qui dépend généralement de la **tranche d'eau**, mais surtout de la **vitesse**. Lorsque la **vitesse diminue**, l'énergie n'est plus suffisante et les particules se déposent selon des couches ou lits élémentaires obliques, c'est à dire avec une **progradation latérale (Fig.17)**.

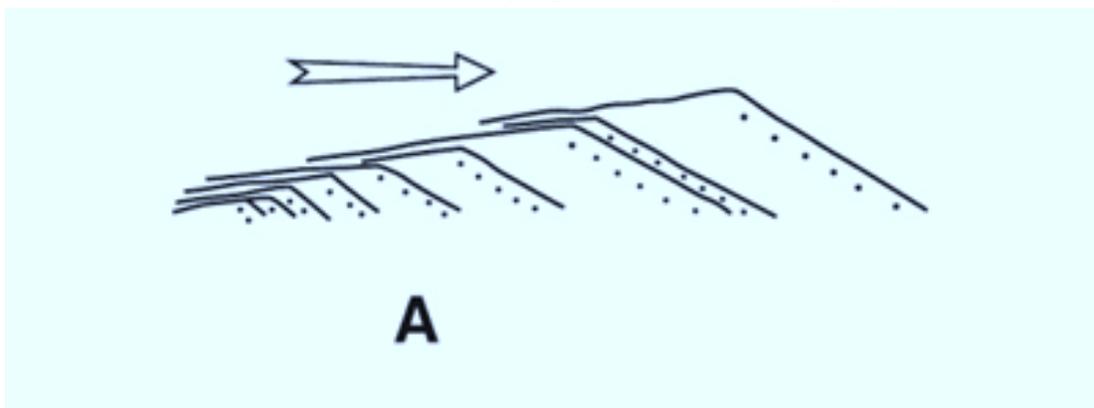


Fig.17. Le mécanisme principal est le transport sur le fond

Plus la **durée** et la **longueur du transport** augmentera, plus les particules seront triées, **émoussées** puis **arrondies** par effet **d'usure** et de **frottement**. On parle de sédiment **proximal** ou **distal**, **mature** ou **immature**, bien **classé** ou **non**.

Plus le courant tractif **sera énergique**, plus il engendra des **traces d'érosion** qui renseigneront sur le type et la rigueur du courant (chenalisation, marées, houle, tempêtes,...etc.) (**Fig.18**).

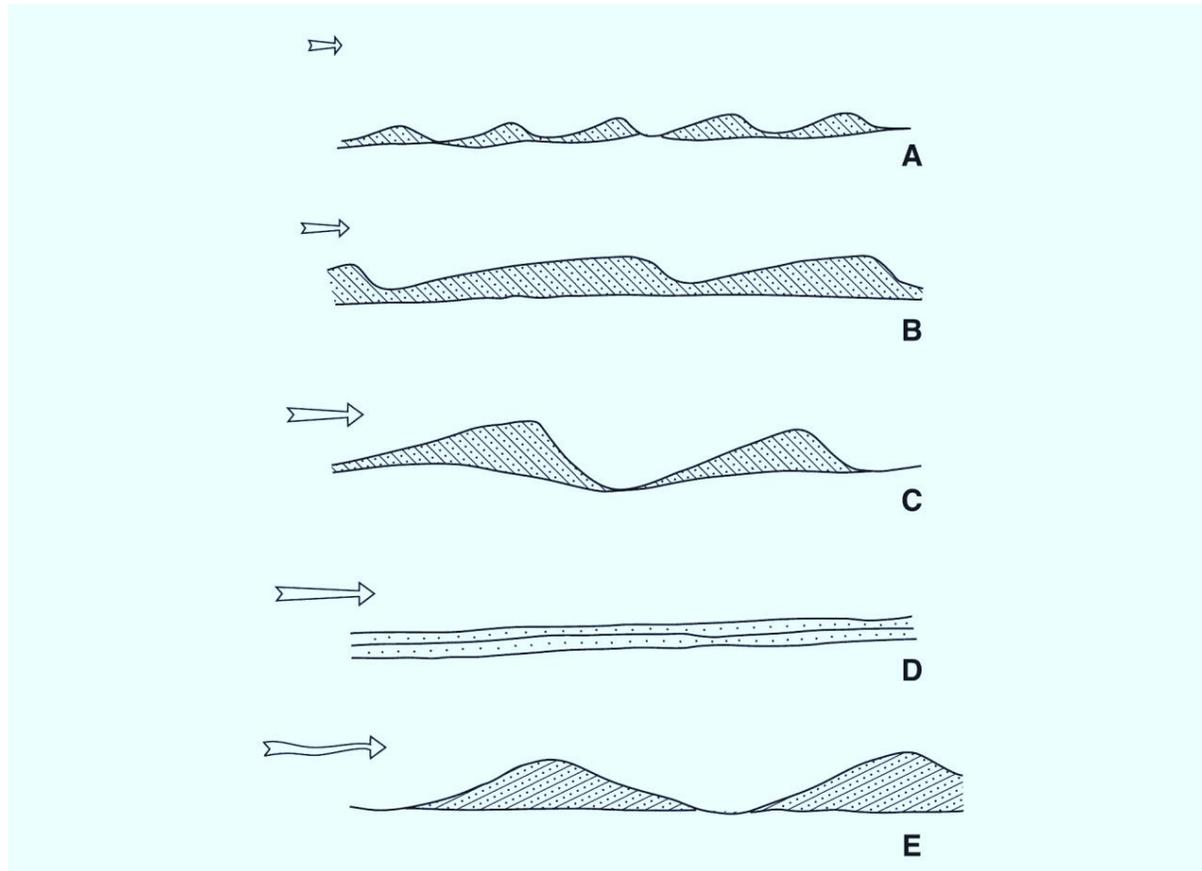


Fig.18. Différents types de dépôts progradants créés par des courants tractifs

- A. petites rides ou ripples ;
- B. vagues de sables ou sand waves ;
- C. dunes ou mégarides ;
- D. dépôts plans ;
- E. antidunes

B.2. Le transport en suspension :

En régime normal de suspension, les particules se déplacent en pleine eau. Le maintien en suspension suppose des mouvements ascensionnels provoqués par la turbulence du fluide. Lorsque la dynamique n'est plus suffisante pour maintenir les particules en suspension : les

dépôts de décantation (chute libre) s'effectuent (**Fig.19**). Ce mode de sédimentation concerne les particules terrigènes fines (argiles, silts) et les restes d'organismes planctoniques. À partir de cette chute lente et régulière se forme sur le fond :

- soit des **boues pélagiques** (dominance des tests d'organismes planctoniques)
- soit des **boues hémipélagiques** (dominance de matériel terrigène)

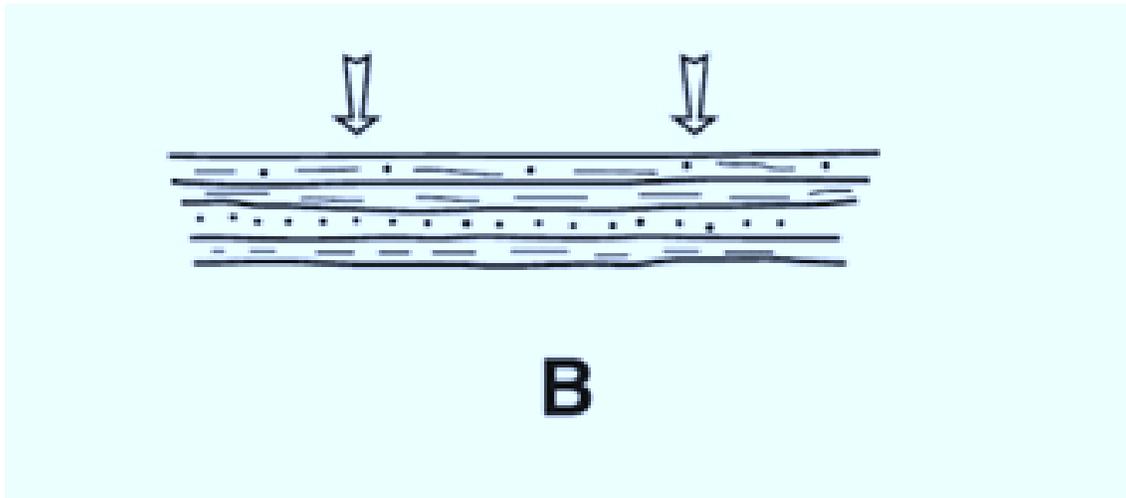


Fig.19. La décantation du matériel en suspension prédomine