

LE TRANSPORT SOLIDE

INTRODUCTION

La matière première du débit solide est **l'érosion continentale**, c'est-à-dire la **désagrégation**, sous toutes ses formes, du sol par les **agents atmosphériques** : **le gel** qui fait éclater les roches par congélation de l'eau absorbée, Soit en petit dans la structure de la pierre, soit en grand dans les fissures, **l'impact des gouttes de pluie** : érosion fluviatile surtout active sur les sols meubles, **le vent, les variations brutales de température**, les **actions chimiques** de l'eau et de l'air, **le ruissellement** et enfin **l'érosion fluviatile**.

Le transport solide s'effectue généralement sous deux formes : le charriage et la suspension. Avant d'aborder l'étude proprement dite de chaque type de transport, nous tenterons de présenter la(les) provenance(s) du matériel transporté, les différentes phases que subissent ces matériaux, ainsi que les conséquences engendrées quant au modelage du relief.

1 – MECANISMES DE L'EROSION.

Dans les processus d'érosion, on distingue généralement trois phases distinctes

- **Destruction du matériel rocheux (ablation du matériel)**

L'érosion implique une désagrégation superficielle de la roche ou du sol appelée : **Météorisation** (Altération météorique, Altération atmosphérique ou altération climatique). Il existe trois familles de processus d'altération :

- Les processus chimiques entraînent une modification de la composition chimique ou une dissolution des minéraux de la roche.
- Les processus physiques provoquent une fragmentation mécanique de la roche sans affecter la composition des minéraux.
- Les processus biologiques conduisent également à une fragmentation ou à une détérioration chimique des roches par l'action d'organismes vivants (animaux, plantes, bactéries).

Elle se produit sur place, et produit des débris. Le degré d'érosion dépend des caractéristiques de la roche.

****de la dureté** (voir échelle de Mohs) et de la **cohésion** de ses minéraux ;

Tab 1 : **ECHELLE DE MOHS**

Dureté	Minéral	Composition chimique	Structure cristalline
1	Talc, friable sous l'ongle	$Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$	triclinique
2	Gypse, rayable avec l'ongle	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	monoclinique
3	Calcite, rayable avec une pièce en cuivre	$CaCO_3$	rhomboédrique
4	Fluorine, rayable (facilement) avec un couteau	CaF_2	cubique
5	Apatite, rayable au couteau	$Ca_5(PO_4)_3(OH-, Cl-, F-)$	hexagonale
6	Orthose, rayable à la lime, par le sable	$KAlSi_3O_8$	monoclinique
7	Quartz, raye le verre	SiO_2	rhomboédrique
8	Topaze, rayable par le carbure de tungstène	$Al_2SiO_4(OH-, F-)_2$	orthorhombique
9	Corindon, rayable au carbure de silicium	Al_2O_3	rhomboédrique
10	Diamant, rayable avec un autre diamant	C	cubique

****La cohésion** d'éléments physiques similaires de matière est la résultante de l'ensemble des forces^{1,2} qui les unissent, qui maintient ces éléments ensemble.

****de sa dilatation thermique** (la dilatation thermique est l'expansion à pression constante du volume d'un corps occasionné par son réchauffement, généralement imperceptible).

****des réactions chimiques** (Une réaction chimique est une transformation de la matière au cours de laquelle les espèces chimiques qui constituent la matière sont modifiées : les espèces qui sont consommées sont appelées réactifs. Les espèces formées au cours de la réaction sont appelées produits de réaction.) possibles entre ses minéraux et le milieu (milieu réactionnel ou milieu de réaction dans lequel a lieu une ou plusieurs réactions chimiques).

- Transport

Le lit des cours d'eau naturels est constamment formé et déformé par les sédiments en mouvement. Dans les cours d'eau alluviaux, les mouvements des sédiments sont variables dans le temps et dans l'espace, et s'adaptent aux changements de l'écoulement, modifiant la morphologie du lit.

Le transport des sédiments par les cours d'eau peut être divisé en trois types :

****le transport en solution,**

****le transport en suspension** (qui peut être divisé en suspension uniforme et suspension graduelle)

****le transport de fond ou transport par charriage.**

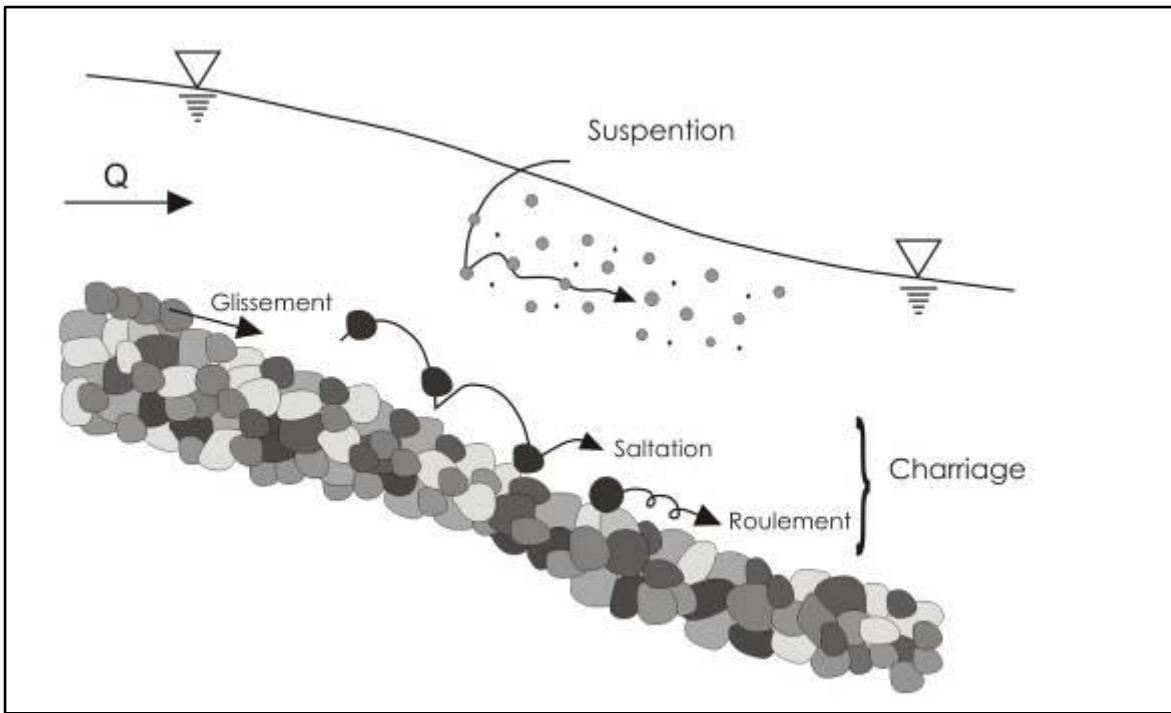


Fig. : 1 - Modes de transport des particules dans un chenal

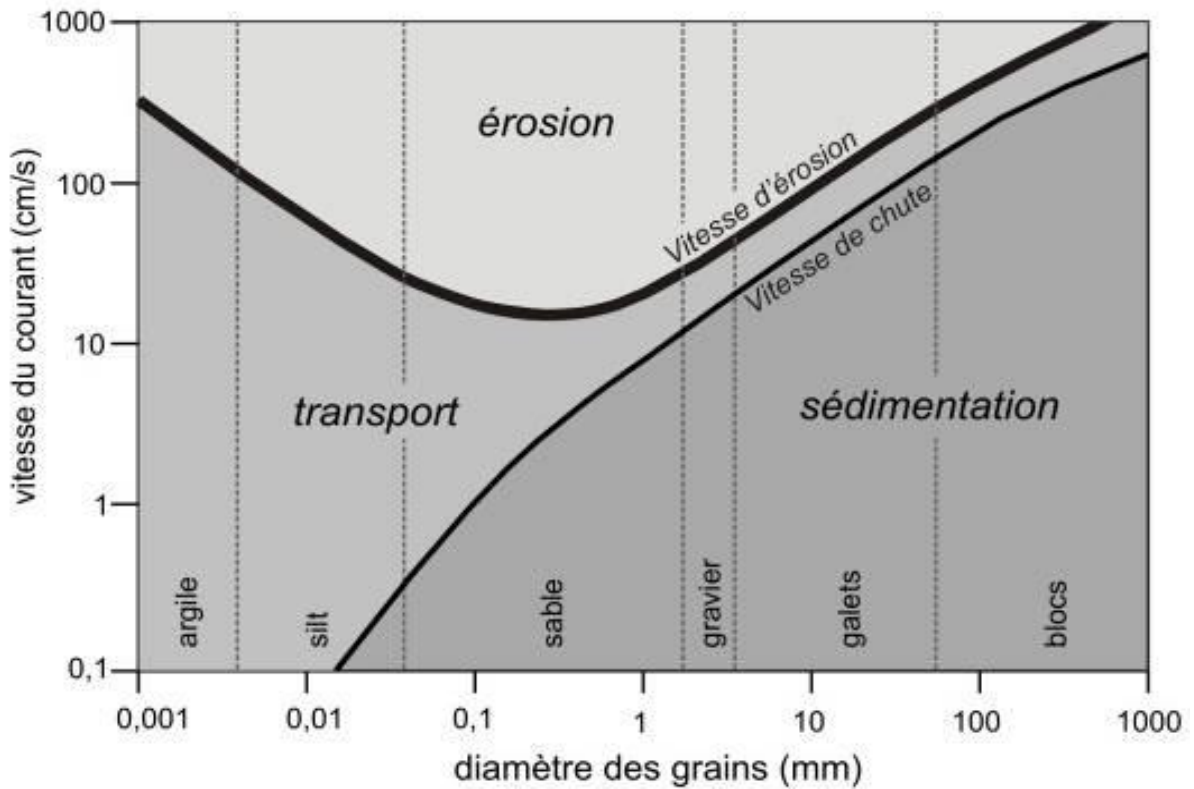


Fig. : 2 - Diagramme classique de Hjülstrom(1935).

La distinction entre charriage et suspension pour un même écoulement liquide dépend de la taille et de la densité des particules, et de la structure d'écoulement. Le diagramme de Hjulström (1935) illustre bien le comportement des particules en fonction de leur taille et de la vitesse du courant.

Accumulation des débris (dépôt du sédiment)

Le dépôt des sédiments a lieu lorsque la vitesse de l'agent de transport diminue ou lorsque cet agent de transport disparaît (fonte de la glace). La granulométrie des particules, la texture des sédiments, la géométrie des dépôts sont d'importants indices sur l'agent de transport, sa vitesse au moment du dépôt, sa direction, etc.

2 – MODALITES DE TRANSPORT DES SEDIMENTS

Les matériaux arrachés atteignent le réseau hydrographique et sont transportés par le courant, si ce dernier est suffisant ; sinon, ils seront déposés Lelong du profil en long. Selon les caractéristiques de la charge solide et celles du lit de la rivière, le phénomène transport va dépendre surtout de la répartition des vitesses au niveau de la section considérée, c'est à dire finalement du débit liquide. Deux cas peuvent se présenter :

- Charge solide < débit liquide :

La rivière dispose d'un reliquat d'énergie pour affouiller son lit et transporter les sédiments arrachés : il y a donc affouillement et transport des sédiments.

- Charge solide > débit liquide :

La capacité de transport de la rivière étant réduite (faible débit, énergie insuffisante), celle-ci a tendance à déposer le surplus de la charge transportée. Il y a donc dépôt (alluvionnement) et transport des sédiments

CONCLUSION :

Lelong d'un profil en long d'un cours d'eau, on rencontre les deux phénomènes : affouillement et alluvionnement, En général l'affouillement a lieu en hautes eaux (crue) et l'alluvionnement en basses eaux (décru).

3 – THEORIE DU TRANSPORT SOLIDE

α) - Divers modes de transport

Soit un canal régulier, de longueur infinie et de granulométrie hétérogène, parcouru par un courant de vitesse suffisante. Dans une première approche, on constate :

a) - Les matériaux fins sont transportés sans jamais toucher le fond : C'est le transport par **suspension**.

b) – Les matériaux les plus grossiers roulent et sautent sur le fond sans jamais le quitter : C'est le transport par **charriage**.

Les matériaux de granulométrie intermédiaire, (entre fin et grossier), progressent par bonds successifs, tantôt dans la masse liquide, tantôt sur le fond : C'est le transport par **saltation** .

Remarque : Il n'existe pas de théorie propre au transport par saltation, vu son état transitoire entre la saltation et le Charriage

β) – Caractéristiques des matériaux

- Dimensions des particules :

La dimension d'une particule est définie par son diamètre apparent mesuré au tamis (si $\varnothing > 0,1\text{mm}$), au microscope ou à l'aide de la formule de STOCKES (si $\varnothing \approx 1$ micron), (Fig.10).

Principe de la courbe granulométrique

Soit un matériau hétérogène, on définit les diamètres des particules le constituant au moyen de la courbe granulométrique (Fig.11).

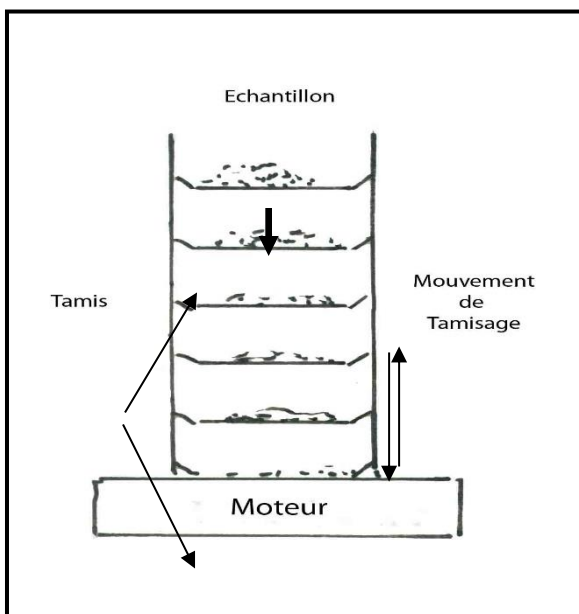


Fig. : 3 - Dispositif de tamisage

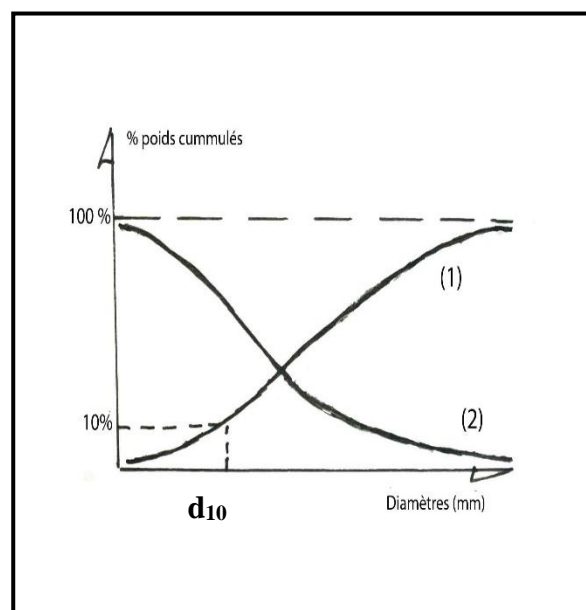


Fig. : 4 - Courbes granulométriques

- 1: Cumul des tamisages des diamètres fins vers les diamètres grossiers
2: Cumul des tamisages des diamètres grossiers vers les diamètres fins

Suivant les dimensions des particules qui composent ce matériau, on le désigne (repère) sur une échelle granulométriquement.

Exemple d'échelle granulométrique (American géophysical union)

- Galets : 64 mm - 400 mm
- Graviers : 2 mm - 64 mm
- Sables : 62 μ - 2000 μ
- Limons : 4 μ - 62 μ
- Argiles : 0,24 μ - 4 μ

Les sédiments naturels sont hétérogènes, c'est pourquoi on détermine un diamètre caractéristique différent d'un auteur à l'autre

Einstein : D_{35} ou D_{40} (35% en poids sec $\leq D_{35}$)

Klinske : D_{50}

Meyer – Peter : $D_m = \sum d_i \cdot \Delta p_i$, avec $\Delta p_i = \% \text{ en poids du matériau relatif à } d_i$

Le diamètre d'une particule ne reste pas constant Lelong d'un profil en long d'une rivière, surtout lorsque celle-ci est transportée sur le fond (charriage). En effet le frottement des particules les unes contre les autres se traduit par une usure : c'est le phénomène d'abrasion.

La perte de poids par une particule est proportionnelle à son poids et la distance parcourue par Celle-ci. (H ; STERNBERG). Elle est quantifiée par :

dp = C x p x dl, avec : **dp** = perte de poids par la particule ; **C** = coefficient d'abrasion ; **P** = poids de la particule ; **dl** = distance parcourue

A un instant donné, le poids de » la particule peut être mis sous la forme : **P = P₀ e^{-cl}** et en introduisant le diamètre de la particule, **d = d₀ e^{1/3 cl}**, **SCHOKLITSCH**, propose

d'exprimer : **C = C₁V^{1/4} ($\frac{d+15}{15}$)**

Avec : **V** = vitesse de la particule (m/s) ; **D** = diamètres caractéristiques des particules du lit de la rivière ; **C₁** = Coefficient d'abrasion d'une particule se déplaçant avec **V = 1m/s**. Sa valeur dépend de la nature pétrographique de la particule considérée.

- **Forme des particules**

Sphéricité : C'est le rapport de la surface d'une sphère (de même volume que la particule) à la surface de la particule

Rondeur : C'est le rayon moyen des angles, au rayon moyen du cercle inscrit dans le maître couple

y) – Vitesse de sédimentation

Lorsque la vitesse limite de chute (chute laminaire) est lente, pour les faibles valeurs de R_e rapportées à la particule, on peut appliquer la formule de STOCKES qui relie le diamètre à la vitesse de chute :

$$V_2 = Ax \frac{1}{C_d} x \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} x g x D \text{ avec : } A = \text{constante (forme...)} ; D = \text{diamètre de la}$$

particule ; (ρ_s, ρ_w) : densités du solide et de l'eau ; C_d = coefficient de traînée

Si la chute est turbulente, (grosse particule), C_d n'est plus constant il peut être évalué alors par la formule :

$$C_d = \frac{24}{R_e} = \frac{24xv}{\nu x D} \text{ et la vitesse de chute devient alors : } V = \frac{A}{24} x \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} x \frac{1}{\nu} x g x D^2$$

4 - Conséquences du transport solide

Introduction

Au cours de son histoire, un cours d'eau érode, transporte et dépose des sédiments. Les morphologies anciennes et actuelles témoignent d'une suite de cycles : Erosion, transport, dépôts

Le profil d'équilibre

Le profil d'équilibre d'un écoulement est la succession continue des pentes longitudinales qui font que cet écoulement ni ne creuse ni ne dépose dans le substrat.

Dans un profil d'équilibre, la pente du fond diminue progressivement de l'amont vers l'aval et la courbe est concave vers le haut. Au fur et à mesure de l'érosion des reliefs, le profil d'équilibre des rivières tend à se rapprocher du niveau de base (Fig. 5).

L'évolution du profil d'équilibre d'un cours d'eau est fonction de la pente de son lit et de son niveau de base

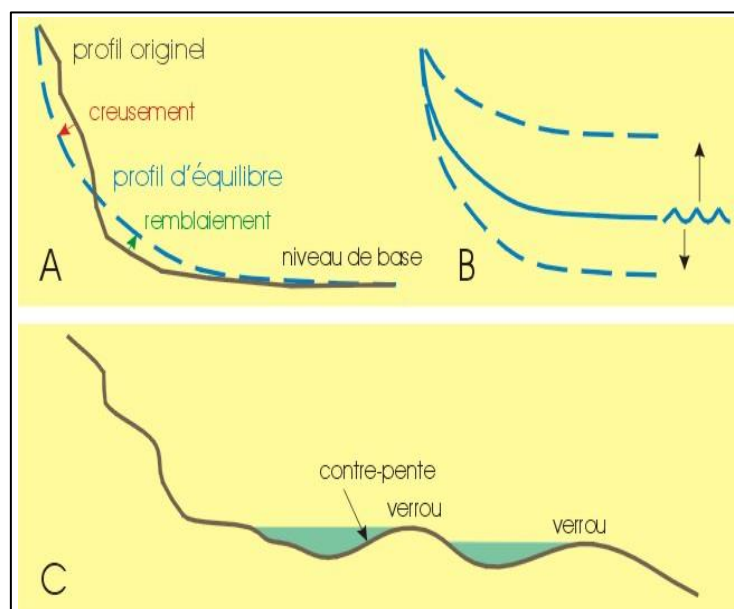


Fig. : 5 - Evolution du profil d'équilibre

A : acquisition du profil d'équilibre par un cours d'eau.

B : modification du profil d'équilibre lors d'une montée ou d'une baisse du niveau de base.

C : profil longitudinal d'une vallée glaciaire ; après disparition du glacier, les parties de la vallée situées en amont d'un verrou peuvent abriter un lac.

L'érosion et la sédimentation sont fonction de la pente du lit d'un cours d'eau et du niveau de base du lieu où se jette ce dernier. En effet, au cours de son histoire, un cours d'eau a tendance à travailler en vue d'atteindre son profil d'équilibre par rapport à un niveau de base pouvant être : un lac, une Mer ou un océan. On rencontre généralement deux cas de figure : (Fig.6)

a) - Le niveau de base descend : le cours d'eau doit affouiller son lit pour rétablir son profil d'équilibre.

b) – le niveau de baes monte : le cours d'eau doit déposer des sédiments pour rétablir son profil d'équilibre.

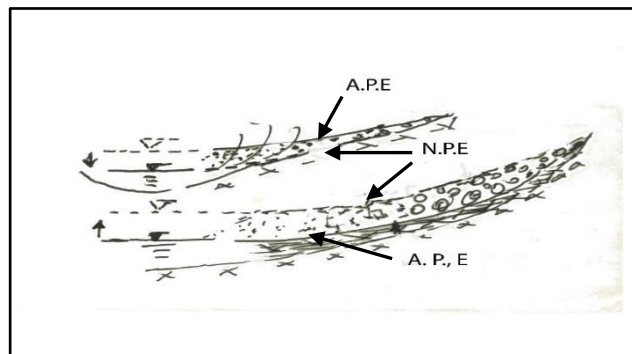


Fig. :6 - Reconstitution du profil d'équilibre.

1) – Etablissement d'un granoclassement d'amont en aval d'un cours d'eau

Les diamètres des grains décroissent d'amont en aval du profil en long. Les petits diamètres sont entraînés le plus loin possible en aval et les gros diamètres sont abandonnés parfois sur le lieu même de l'érosion. (Fig.7)

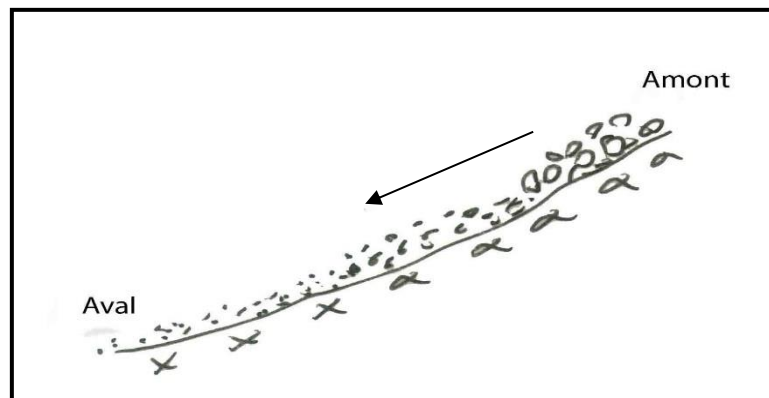


Fig. :7 - Etablissement d'un granoclassement d'amont en aval du profil en long

2) – Dépôts selon des séquences à polarité normale

En un point donné du profil en long, si l'on effectue une coupe transversale au lit du cours du cours d'eau, on observe une séquence sédimentaire détritique (succession de dépôts alluvionnaires) à polarité normale, c'est-à-dire les plus gros diamètres se retrouvent à la base

de la séquence et les plus fins au sommet de la séquence (Fig.8) conformément à la théorie de la sédimentation.

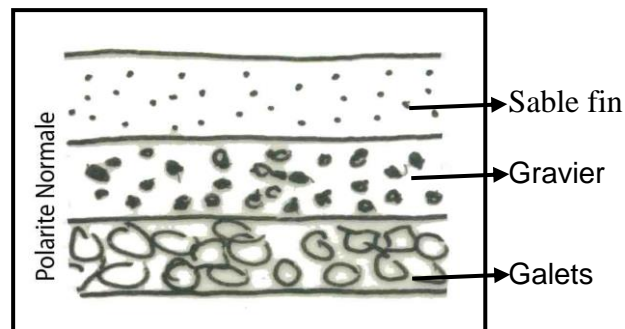


Fig. : 8 – Séquence sédimentaire en un section transversale d'un cours d'eau

3) – Disposition des dépôts

Au cours d'un cycle hydrologique, un cours d'eau affouille son lit, transporte et dépose les éléments arrachés. la succession des phases : Erosion, transport, dépôt, engendre en une section transversale de ce dernier des séquences sédimentaires emboîtées (entrecroisées) et/ou étagées): Ce sont les terrasses alluviales anciennes et actuelles Que l'on observe dans les vallées de ces cours d'eau.(Fig.9 ,10)

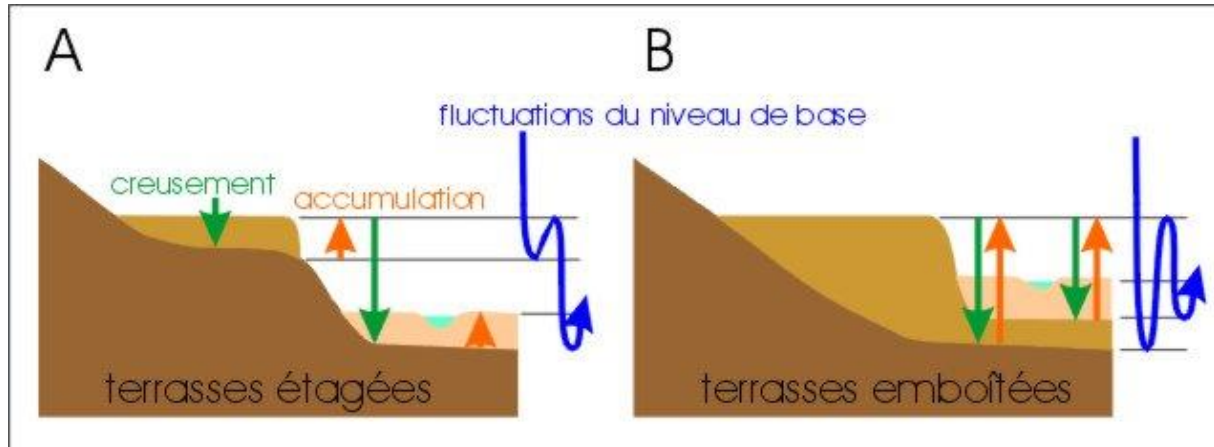


Fig. :9 - Terrasses étagées et terrasses emboîtées.

A: les chutes du niveau de base provoquent un encaissement successif avec des terrasses de plus en plus jeunes vers le bas;

B: la première chute du niveau de base est très accentuée, provoquant un profond encaissement; par la suite, les chutes du niveau de base ne sont plus aussi fortes et n'entament plus que la terrasse la plus ancienne.



Fig. : 10 - Nombreuses terrasses étagées à Pokhara (Népal). La terrasse t1 est la plus ancienne et la terrasse t5 est la plus récente

Références Bibliographiques

<https://hydrologie.org/BIB/Roche/Chapitre11.pdf> :

Transports solides.

<http://www.geolsed.ulg.ac.be/processus/processus.htm>:

Une introduction aux processus sédimentaires , Univ. de Liège Fac. des Sces, Dépt. de Géologie

<https://www.u-picardie.fr/beauchamp/cours-sed/sed-5.htm>

Dépôts continentaux

<http://p.21-bal.com/doc/1485/index.html?page=3>:

Une introduction aux processus sédimentaires