

LES ENVIRONNEMENTS SEDIMENTAIRES

NOTIONS DE BASE

MILIEU DE DEPOT : Il résulte d'un ensemble de **conditions physico-chimique, biologiques et topographiques** qui ont existées durant un **temps** bien déterminé et dans un **espace donnée**.

NOTION DE FACIES : C'est une notion fondamentale dans la reconstitution des milieux de dépôt. C'est l'ensemble des caractères lithologiques (***lithofaciès***), paléontologiques (***biofaciès***) et sédimentologique d'un dépôt sédimentaire. Leur **association latérale** ou **verticale** reflète un **environnement sédimentaire** ou un **processus sédimentaire spécifique**. Cette notion fait donc appel à l'observation:

- de critères lithologiques tels que la composition pétrographique, la minéralogie, la granulométrie et la texture (*lithofaciès*) ;
- d'indicateurs biologiques comme les assemblages de fossiles ou la présence de bioturbations (*biofaciès*) ;
- de marqueurs hydrodynamiques enregistrés par des *structures sédimentaires* comme *les litages* ou *les laminations*.
- ❖ **Lithofaciès** : lorsque ce sont les caractères lithologiques qui sont déterminants (ex : faciès gréseux, faciès calcaire).
- ❖ **Biofaciès** : lorsque ce sont les caractères paléontologiques qui sont déterminants (ex : faciès de marnes à Ammonites)
- ❖ **Echelle** : microfaciès (microscope optique), macrofaciès (à l'œil nu) et nanofaciès (MEB, microscope électronique à balayage).

LOI DE CORRELATION DES FACIES (LOI DE WALTHER 1893) : les faciès superposés d'une série géologique étaient juxtaposés dans le paysage au moment de leur dépôt. Autrement dit la superposition des milieux de dépôts résulte d'une migration progressive de ces milieux au cours de processus de transgression ou de régression.

SEQUENCE SEDIMENTAIRE : une suite de termes qui s'enchainent et se superposent sans interruption majeure de sédimentation. Elle est encadrée par deux surfaces de discontinuités sédimentaires, une à la base et une au sommet.

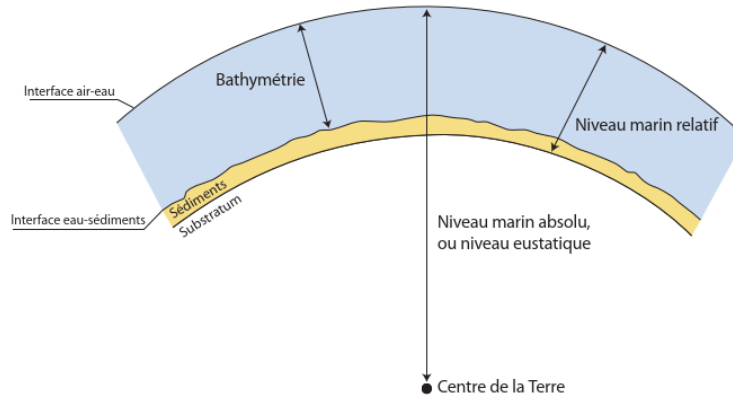


Fig. 4.2: Eustatisme, niveau marin relatif et bathymétrie. Modifié d'après Posamentier et al. [1988].

SYNONYME D'UNE SEQUENCE SEDIMENTAIRE :

- 1) Séquence sédimentaire
- 2) Séquence lithologique
- 3) Lithocline
- 4) Séquence de faciès
- 5) Séquence de dépôt
- 6) Paraséquence de dépôt

GROUPEMENT DES SEQUENCES

- 1) Séquence unité
- 2) Séquence élémentaire ou séquence de faciès
- 3) Mésoséquence
- 4) Mégaséquence : une séquence sédimentaire constituée par l'empilement de deux ou plusieurs mésoséquences.

POLARITE DES SEQUENCES

En terme d'énergie du milieu de dépôt : une séquence est dite **positive** lorsque (par exemple, un **grainstone** à la base évoluant à un **mudstone**).

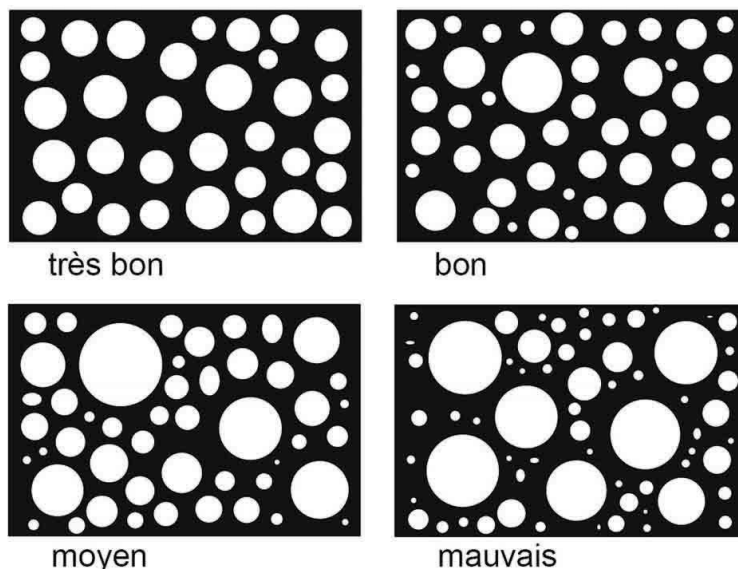
En terme de dynamique sédimentaire : Une *séquence de fermeture ou de comblement* montre des faciès **plus marins à la base** et **moins marins au sommet** ; dans le cas d'une évolution inverse, on parlera de *séquence d'ouverture ou d'approfondissement*.

Séquence d'approfondissement d'ouverture ⇒ **essentiellement stratodécroissante**
Séquence de comblement ou de fermeture ⇒ **essentiellement stratocroissante**

LE TRANSPORT DES SEDIMENTS

- Le transport provoque un changement des caractéristiques du sédiment (forme, taille, composition). On observe ainsi :
- Une évolution du classement (= du tri) des grains, depuis des sédiments mal triés (ou mal classés), caractéristiques d'un transport court, jusqu'aux sédiments bien triés (ou bien classés), caractéristiques d'un transport long
- Un tri minéralogique des grains, en fonction de leur résistance et de leur densité (les éléments les plus denses se déposent les premiers), ce qui peut entraîner la formation de gisements minéraux de type 'placer' (ex : gisements d'or)
- Une usure des grains, à cause des chocs intergranulaires : plus le transport est long et plus le grain est arrondi.

CLASSEMENT DES GRAINS



- Un mauvais classement correspond à un transport court (avec un sédiment hétérogène, composé d'éléments de taille et de nature variée)

- Un très bon classement au contraire indique un long transport (= un sédiment homogène).

MORPHOSCOPIE, MORPHOMETRIE EXOSCOPIE

1. Morphoscopie : Examen *de la forme et l'aspect des* éléments détritiques (**galets, grains de sable**). Elle permet de rechercher le *mode transport* au travers de l'identification des critères *d'usure* des grains.

LE SABLE

- Classement de l'état du sable :
- Très anguleux ; anguleux ; sub anguleux ; sub émoussé ; émoussé ; très émoussé.

Parmi ceux-ci, on distingue, notamment d'après **A. Cailleux** :

Les grains non usés (NU) : anguleux ; traces de chocs, indiquent **un transport nul ou faible** ; (dépôts de glaciers, de rivières, cavités, de petites plages et de petites dunes).

Les grains émoussés luisants (EL) : brillants, transparents, polis, indiquent **un transport dans l'eau** où les grains se polissent en frottant les uns sur les autres (usure aquatique au cours d'un *long transport fluvial* ou *une plage de haute énergie*).

Les grains ronds mats (RM) sphériques, pas transparents, indiquent un **transport par le vent**, où les grains sont projetés les uns sur les autres, piquetant leur surface (*chocs dans l'air, sous l'effet du vent*).

CARACTERES GENERAUX :

- Sable **marin** anguleux, luisant, calibré
- Sable **fluvial** anguleux amont émoussé aval peu luisant mal classé.
- Sable **glaciaires** très anguleux broyés aucun calibrage
- Sable **éolien** très arrondis rond mat.

2. Exoscopie : Étude **microscopique** (généralement au microscope électronique à balayage) **de la surface des grains détritiques**, quartz surtout, pour en déterminer l'histoire sédimentaire (différents modes de transport, altérations,...). Observation de :

- Traces de transport
- Trace de choc : énergie du transport
- Trace de dissolution: altération.

3. Morphométrie : Mesure des dimensions des grains de sable et des galets permettant de calculer divers indices (d'aplatissement, de dissymétrie, d'émoissé,...) dont la connaissance donne des informations sur leur milieu de formation. Le but est de chiffrer le galet pour trouver quel a été *son transport* et *la durée de ce transport*.

LES GALETS

Les galets sont caractérisés par trois dimensions : L, l et e

L'indice d'aplatissement est $a = (L+l)/2e$

Si $a = 1$ le galet est une sphère.

Lorsque a devient de plus en plus grand que **01** le galet est de plus en plus plat.

III. MILIEU FLUVIATILE ET TORRENTIEL

III.1. INTRODUCTION : Les **cours d'eau** représentent les principaux agents de transport des sédiments depuis le continent vers les domaines aquatiques (océans, mers et lacs). Cependant, **tout le sédiment** produit par l'altération et l'érosion n'aboutit pas à l'océan : une partie s'accumule sur le continent soit au pied des grands reliefs avec le développement de larges cônes alluviaux, soit dans la plaine alluviales dans la partie distale des cours d'eau. Les rivières constituent donc à la fois un agent d'érosion, de transport mais également d'accumulation.

En fonction de la taille, du mode d'alimentation ou du débit, on distingue différents types de cours d'eau :

- **Torrent** : cours d'eau à forte pente, à écoulement spasmodique (alimentation liée aux précipitations liquides ou à la fonte des neiges/glaces), situé en zone montagneuse ou accidentée.
- **Ruisseau** : petit cours d'eau à écoulement pérenne, peu profond et à faible débit (débit annuel moyen généralement inférieur à **100 l/s**).

- **Rivière** : cours d'eau de moyenne importance s'écoulant de manière continue dans un chenal naturel.
- **Fleuve** : cours d'eau important, à écoulement continu, formé par la réunion d'un certain nombre de rivières et finissant, en principe, dans la mer ou l'océan.

III.2. L'ÉROSION FLUVIATILE REGRESSIVE :

Par un processus d'incision – appelé mécanisme **d'érosion régressive** – et par leur tendance à rechercher un **profil d'équilibre** concave, les réseaux fluviaux ont un effet morphogénétique essentiel dans le façonnement des paysages. Lorsqu'un cours d'eau érode en un point un profil d'équilibre réel du cours d'eau, la pente augmente directement à l'amont et la vitesse du courant s'accélère. Il en résulte une **érosion qui se propage** de proche en proche **de l'aval vers l'amont** (c'est-à-dire dans le **sens inverse de l'écoulement de l'eau**). Le **profil d'équilibre** étant conditionné par le point le plus bas du bassin versant – appelé **niveau de base (local, régional ou ultime)** – une modification (abaissement ou relèvement) de ce niveau de base va provoquer une augmentation, respectivement une diminution de l'érosion régressive.

III.3. NOTION DE NIVEAU DE BASE OU NIVEAU D'ÉQUILIBRE :

C'est une surface théorique définie comme étant la surface au-dessus de la quelle survient le phénomène **d'érosion**, au niveau de la quelle se produit **le transport** des produits d'érosion, et en dessous de la quelle survient le phénomène de **sédimentation** (Fig.76 et Fig.77).

D'une manière générale, le **niveau de base** correspond à la surface d'équilibre des cours d'eau en **domaine terrestre**, et correspond au **niveau marin en domaine océanique**.

Le niveau de base correspond au niveau de la mer dans le **cas des fleuves**. Dans le cas des **rivières**, il correspond à la confluence avec une **rivière plus grande**;

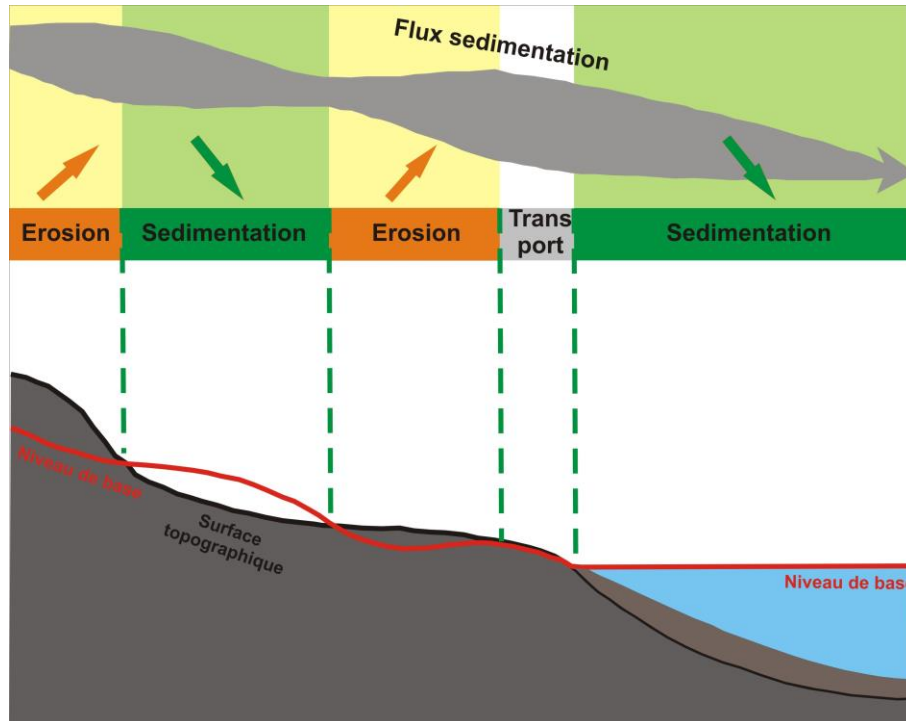


Fig.76. Schéma montrant la disposition théorique des cuestas et de leur réseau

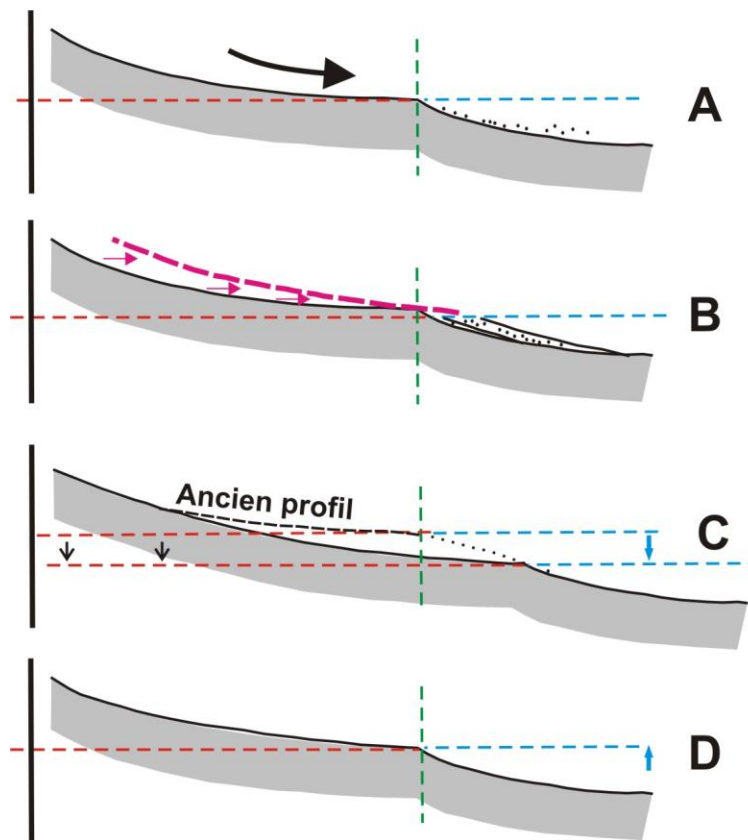


Fig.77. Variation théorique du profil d'équilibre

A : Situation initiale, érosion des fleuves et accumulation dans la zone littorale.

B : progradation d'un prisme, recul du niveau de la mer et migration du profil d'équilibre (petites flèches).

C : Creusement du profil des fleuves (petites flèches grasses) pour compenser une baisse du niveau général des mers (tiret)

D : Diminution de la pente des fleuves lors d'une remontée de la mer.

III.4. FORMES DE RUISSELLEMENT ET EROSION FLUVIATILE :

Le ruissellement se déclenche si les précipitations sont supérieures à la capacité d'infiltration.

Ruissellement = agent d'érosion (Précipitation > Infiltration)

Il existe plusieurs formes dus à la érosion fluviales ou par ruissellement :

1. Les bad lands (mauvaise terre): Le ruissellement se déclenche si les **précipitations** sont **supérieures** à la **capacité d'infiltration**. Dans les terrains argileux ou schisteux (terrains imperméables) : après une forte pluie, les eaux empruntent les fissures du sol, les élargissent progressivement en chenaux parallèles qui fusionnent par écroulement des crêtes qui les séparent. En même temps, les têtes des chenaux reculent vers l'amont (**érosion régressive**). Ce processus est responsable de la formation des "**bad lands**". Le refus d'infiltration peut aussi provenir de l'affleurement d'une nappe d'eau ou encore de la formation d'une croûte imperméable par l'impact des gouttes de pluie (**Fig.78**).



Fig.78. Formation de "bad lands" par érosion régressive dans un versant

2. Les lapiez : Ce sont des **rigoles de dissolution** plus ou moins parallèles, tracées sur **les roches calcaires** par l'action de l'eau (**ruissellement**) ou par les alternances de **gel et de dégel (Fig.79)**.



Fig.79. Formes de dissolution par les eaux de ruissellement dans un massif calcaire (les lapiez)

3. Les demoiselles coiffées : Dans des dépôts très hétérogènes (moraines), la présence de blocs très lourds rend l'argile sur laquelle ils reposent plus compacte et la protège du ruissellement: c'est de cette façon que naissent **les cheminées de fées** ou **demoiselles coiffées (Fig.80)**.



Fig.80. Cheminée de fée (aussi appelée demoiselle coiffée)

4. Les paysages ruiniformes : Ce paysage, **typique des régions karstiques** présente un **aspect de ruines** (d'où son nom). Il s'agit de formes dues à l'érosion lorsque **le sous-sol est hétérogène** (calcaires et dolomies par exemple, ou grès et calcaires). L'action de l'érosion est inégale, les roches les plus résistantes (aux agressions physiques ou chimiques) formeront des reliefs alors que les roches les moins résistantes disparaîtront et formeront des parties en creux (**Fig.81**).



Fig.81. Un autre exemple célèbre de paysage ruiniforme: Bryce Canyon, Utah, USA. Il s'agit de grès et d'argiles tertiaires.

6. Les cuestas : Des successions sédimentaires faiblement inclinées, formées d'alternances de couches tendres et de couches résistantes à l'érosion peuvent donner naissance à un relief en cuestas (**Fig.82**). La cuesta comprend un front, plus ou moins abrupt, dû à l'interruption de la couche résistante, une dépression longeant le pied de l'abrupt et creusée dans les couches tendres et un revers qui correspond à peu près au dos de la couche résistante inclinée.

En ce qui concerne le réseau fluvial, **il est soit conséquent** (et il suit le pendage général des formations en entaillant la cuesta, sans que la dureté relative des roches intervienne), **soit subséquent** et longe le front de la cuesta en respectant les couches les plus résistantes.

7. Les buttes témoins : Les buttes témoins sont des collines formées de sédiments horizontaux protégés par une couche résistante. Dans l'histoire de l'évolution du paysage où on les trouve, les buttes témoins sont donc des zones qui ont résisté à l'érosion qui les a isolées d'un massif plus ancien, parfois complètement disparu (**Fig.82**).

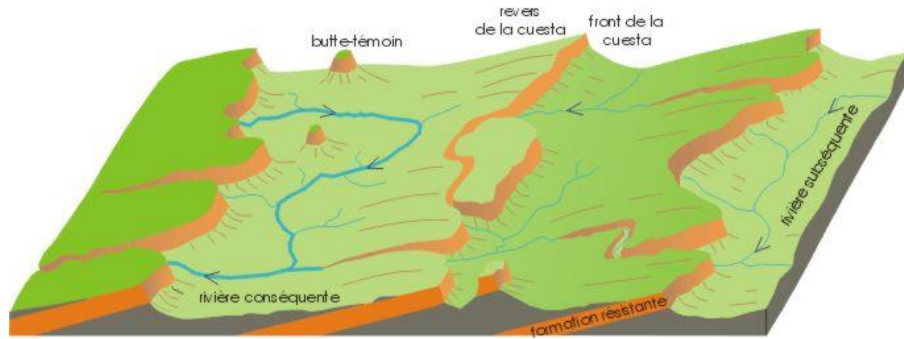


Fig.82. Schéma montrant la disposition théorique des cuestas et de leur réseau hydrographique.

III.5. DIFFERENTS TYPES DE PRODUITS D'EROSION :

La zone d'altération formée dans des conditions de mouvements très lents de l'écorce terrestre est constituée de reliefs peu découpés (Fig.83).

- Lorsque le relief est très découpé, une grande partie des produits d'altération meubles est lessivée des zones élevées, et disposée en partie sur les versants, engendrant des produits **diluviaux (diluvions)**.
- Par contre, l'autre partie est déposée dans les vallées par de cours d'eau qui d'amont en aval donneront dans des cônes de déjection de torrents, des produits **proluviaux (proluvions)**.
- Alors que, dans les parties fluviales, nous aurons des produits **alluviaux (alluvions)**. Et lorsque, les cours d'eaux grâce à leurs embouchures se jettent en milieu marin donneront des produits deltaïques qui peuvent isolés des lacs et des lagunes.

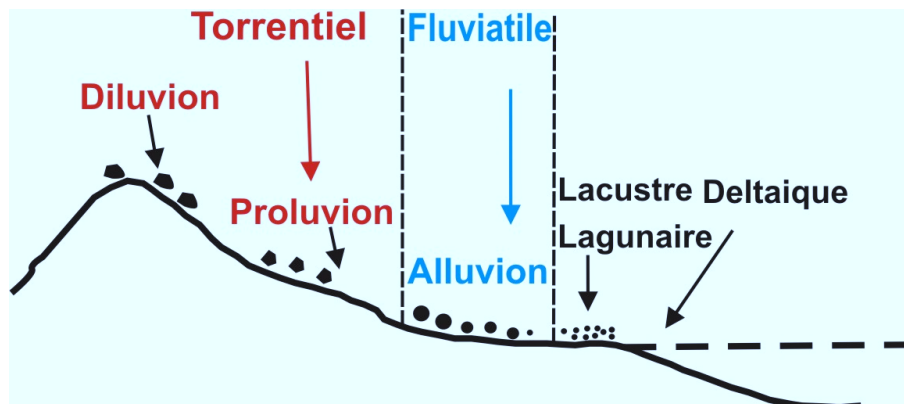


Fig.83. Schéma montrant la disposition théorique des cuestas et de leur réseau hydrographique.

III.5.1. Formations diluviales (diluvions) : Ce sont des produits d'altération variés transportés par des eaux de pluies et des neiges des sommets sur les versants, et portent le nom de *diluvions*.

La nature de ces diluvions est fonction de la roche-mère du substratum :

1. lorsqu'un relief formé de **sables et grès**, les diluvions correspondent à un **produit sablo-argileux ou argilo-sableux**.
2. Lorsque le relief, formé par **des argiles, des schistes argileux et marnes** ; les diluvions sont en **majorité argileuses**.
3. Lorsque le relief est formé par des **calcaires**, des **dolomies** ou la **craie**, les diluvions sont de nature **argilo-carbonatées**.

La répartition des diluvions est fonction de la pente :

1. Lorsqu'elle est **douce**, les diluvions sont argileuses avec des petits fragments.
2. Lorsque la pente est **abrupte**, les diluvions sont argileuses, mais elles s'enrichissent de fragments de roches plus grands et beaucoup plus altérés. La caractéristique principale de ces diluvions c'est qu'elles ne possèdent **ni stratifications, ni de triages nets**.

Ces diluvions est en fonction de la nature du climat :

1. Lorsque le **climat est sec**, les diluvions sont **carbonatées**, riches en fragments de roches et en poudres de calcite, qui parfois peuvent donner des nodules de calcite (poupée).
2. Lorsque le **climat est humide**, les diluvions sont peu développées et avec peu de fragments et elles sont beaucoup plus **argileuses** avec des **carbonatés disséminés**.

Colluvion : dépôt de bas de pente, relativement fin et dont les éléments ont subi un faible transport à la différence des **alluvions**.

Alluvions : sédiments de cours d'eau et des lacs composé selon les régions traversées et la force du courant, pour la fraction grossière de galets, de graviers et de sables en dépôts souvent lenticulaires et, pour la fraction fine, de limons et d'argiles (c'est elle qui domine dans les zones inondables).

III.5.2. Formations proluviales (= milieux torrentiels) : Ces formations proluviales est fonction du climat :

Dans les **régions sèches** :

- Les torrents sont temporaires.
- La végétation peu développée.
- Les sols sont mal protégés.
- Le lessivage est très important.
- La terre arable est emportée par les torrents.
- L'érosion se caractérise par des eaux très turbides, riches en colloïdes et de gros produits détritiques ; elle provoque une **coulée boueuse** qui transporte de grands blocs.
- Les **courants** sont **unidirectionnels**.
- Les blocs sont **anguleux** au **sommet**, pour devenir **subanguleux** en **aval** du torrent.
- Le **ciment** est généralement **argileux**.
- La **stratification** est **peu développée**.

Dans les **climats humides**, il n'y a pas de torrents, c'est **les fleuves** permanents qui prédominent.

Cône de déjection = cône alluvial = cône d'épandage = dépôts torrentiels = dépôts de piedmont

III.6. TRANSPORT PAR L'EAU

Modalité du transport par les cours d'eau :

1. En solution : correspond aux ions qui sont transportés en solution dans l'eau.

2. **En suspension** : est constituée par des particules argileuses et limoneuses dont la densité leur permet, dans des conditions d'écoulement déterminées, de se déplacer sans toucher le fond du lit.

3. **La charge de fond** : est formée de matériaux trop grossiers pour être mis en suspension à cause de leur densité et de la vitesse du courant. Ces particules **glissent, roulent ou se déplacent par saltation** sur le fond du chenal (**Fig.84**).

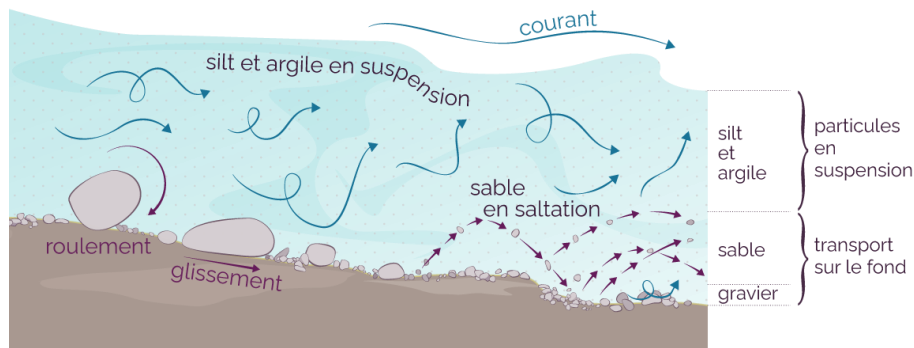


Fig.84. Modalité du transport des sédiments par les cours d'eau

L'action de la vitesse du courant d'un cours d'eau sur les berges et sur le fond d'une rivière dépend de sa morphologie.

La vitesse de l'eau dans une rivière varie depuis le fond jusqu'à la surface et depuis les berges jusqu'au milieu. Cependant les sections sont diverses depuis l'amont vers l'aval (**Fig.85**):

- En montagnes les cours d'eau **sont des torrents**,
- À la sortie des montagnes ce sont **des chenaux anastomosés**
- Plus loin les cours d'eau sont **soit droit rectiligne** ou sur des pentes plus faibles **sont à méandres**.
- Au niveau de l'embouchure, il devient des estuaires où l'action de la mer domine ou des **chenaux en tresse** au niveau des deltas.

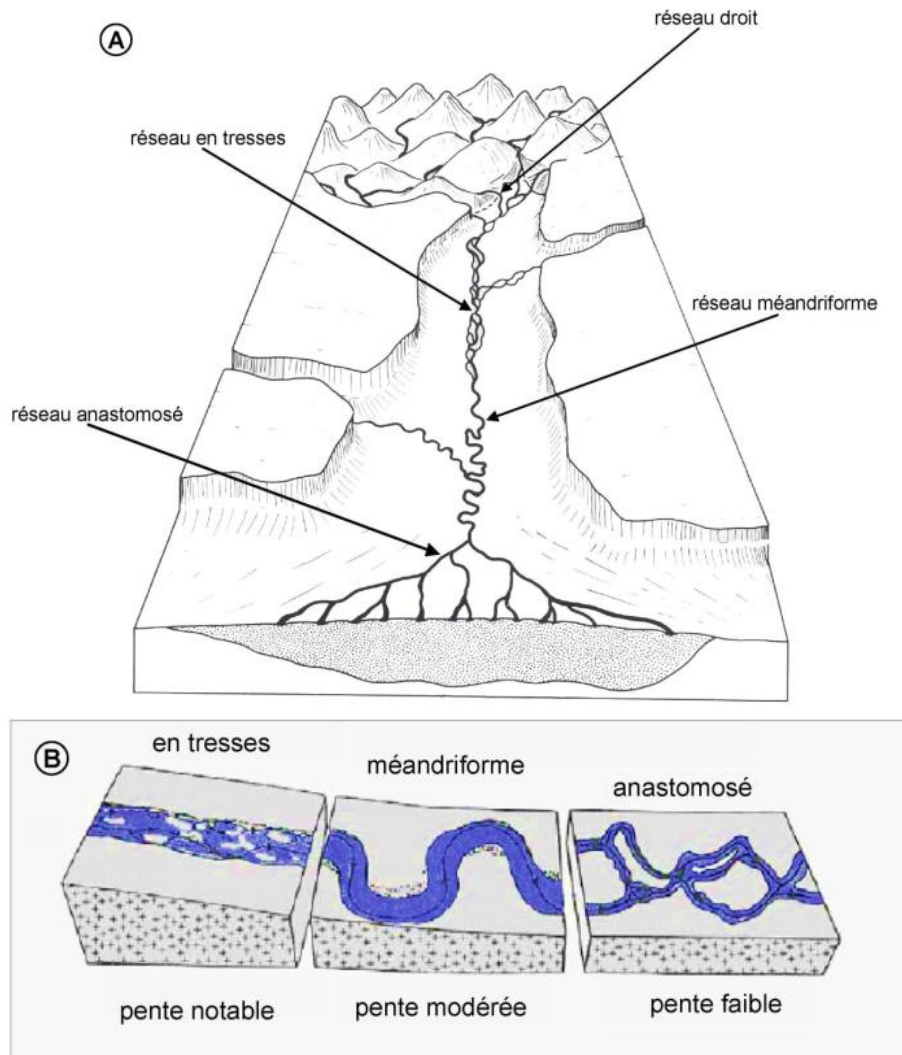


Fig.85. Les styles fluviaux

A) différentes sections d'un cours d'eau (d'après Campy et Macaire, 1989)

B) relation entre la pente et les styles fluviaux

A la sortie des montagnes, la pente est plus faible tous les éléments grossiers se déposent sous forme de barre. Le chenal est anastomosé, la vitesse est irrégulière, et dépend du largeur des sous chenaux.

Plus en aval, la pente est encore plus faible. Le chenal peut être droit et rectiligne à section symétrique. La vitesse du courant croit en allant depuis le fond vers la surface et depuis la rive vers le centre (Fig.86).

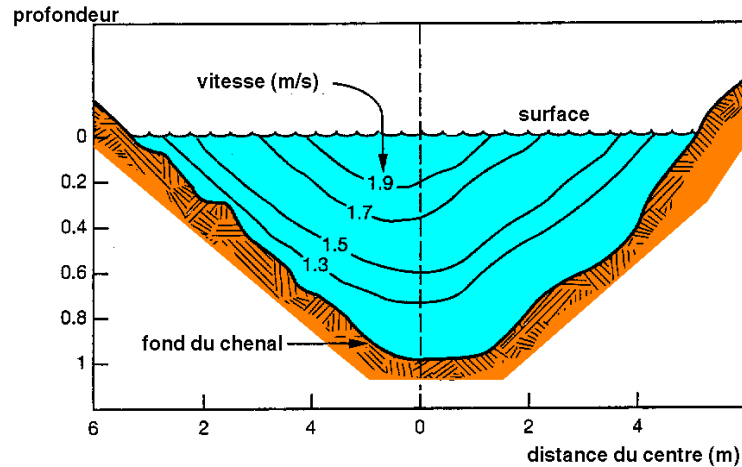


Figure.86. Variation de vitesse dans une rivière

Pour des **pent**es encore plus faibles, le chenal est à méandres. La **vitesse** sur la rive concave est la plus élevée : elle est érosive alors qu'elle est quasi nulle sur la rive convexe (zone de dépôt) (Fig.87).

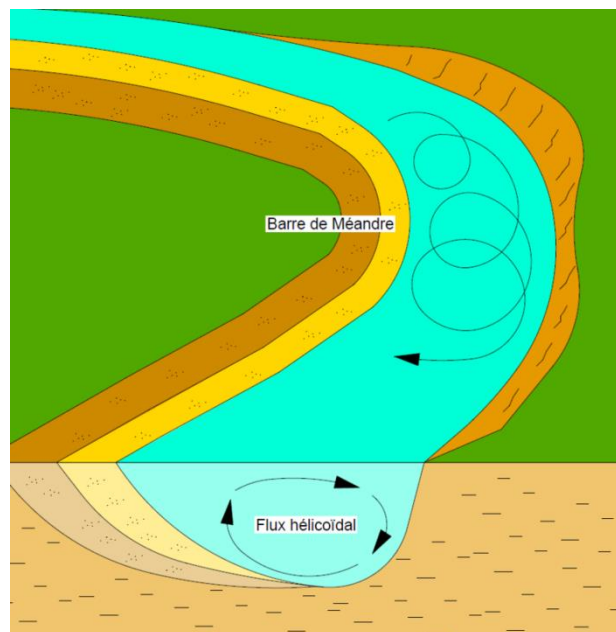


Fig.87. Écoulement hélicoïdal dans un méandre de rivière.

A. LE SYSTEME TORRENTIEL

Les torrents sont des cours d'eau à forte pente, se trouvent en haute montagne, sur la partie amont des fleuves. En cas de forte pluie ou de brusque fusion de neige, leur débit devient très important avec une grande capacité de transport (**lave torrentielle**).

Le bassin versant torrentiel comporte trois parties bien distinctes (**Fig.88**):

1. Le bassin de réception (Stade d'érosion): il est situé à l'amont, présente une forme en entonnoir. Les eaux de pluie ou de fonte des neiges y sont recueillies et s'y concentrent dans de multiples talwegs qui suivent la pente pour rejoindre le chenal principal.

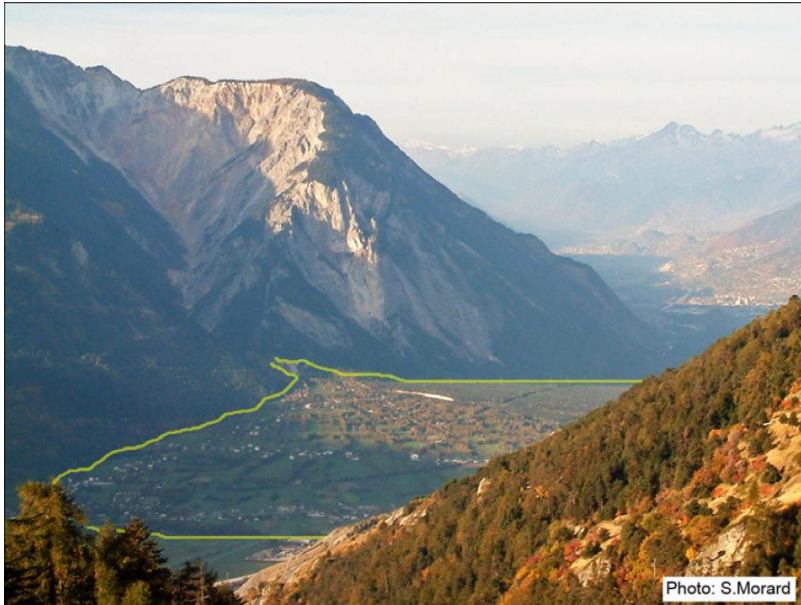


Fig.88. Cône de déjection forme une plaine alluviale d'importance nationale.

2. Le canal (ou chenal) d'écoulement (Stade de transport), étroit et souvent encaissé, où toutes les eaux récoltées au niveau du bassin de réception se rassemblent pour s'écouler vers l'aval.

3. Le cône de déjection (Stade de sédimentation), situé à l'aval, à l'endroit où la pente diminue provoquant une diminution de la compétence du cours d'eau et donc le dépôt de la charge sédimentaire transportée depuis l'amont. Il présente une forme en éventail, bombé et élargi vers le bas (**fig.89**). Lorsque le cours d'eau se termine dans un lac, il pourra former un "delta".

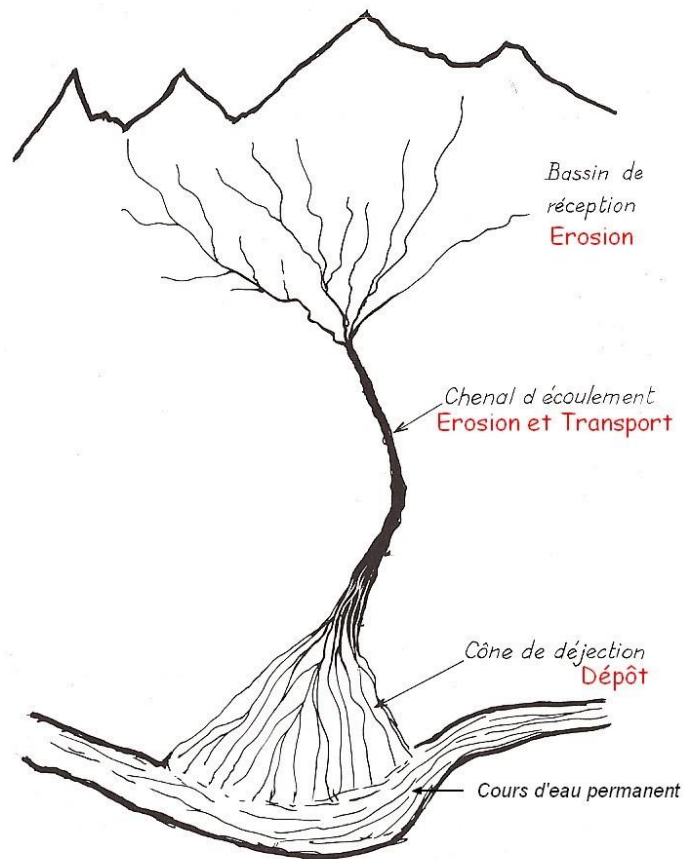


Fig.89. Les composants d'un système torrentiel

A.1. Les cônes alluviaux ou cônes de déjection (alluvial fan) :

a. Description et sédimentation :

a.1. Les accumulations des sédiments :

Dépôts : En forme d'éventail : ces corps sédimentaires correspondent à des accumulations de sédiments grossiers au pied des reliefs, souvent à la faveur d'une rupture de pente. Ces cônes alluviaux sont rarement isolés et leur coalescence donne naissance à un large système le piémont. Ils se forment en général dans des zones tectoniquement actives, par exemple montagnes en surrection en bordure d'une zone subsidence.

Position : Le cône alluvial, à la forme d'une portion de cône, se développe vers l'aval à partir de l'apex, point où l'écoulement chenalisé débouche de la montagne. La principale raison du dépôt de telles quantités de sédiments grossiers est la diminution de la puissance de l'écoulement

suite à la réduction de son épaisseur et de sa vitesse en réponse à son étalement à partir de l'apex.

a.2. Environnements associés : Ils sont associés aux rivières **en tresse** dans les **régions montagneuses**, mais on trouve également ces **cônes dans des régions désertiques** comprenant dunes éoliennes et **playa**, et dans **les environnements glaciaires** en relation avec **les moraines**.

a.3. La morphologie du cône est souvent régulière, la taille peut aller de quelques centaines de mètres à quelques centaines de kilomètres. La pente peut être divisée en plusieurs portions de pente uniforme. Cette allure générale est amplement modulée :

a. par la nature des sédiments : les cônes dominés par des sédiments fins sont plus pentés et environ deux fois plus grands que ceux constitués de dépôts de granulométrie moyenne,

b. le régime climatique : les **pentés les plus fortes** s'observent sous **les climats secs (désert, climat arctique)**. Il semble même que de fortes précipitations empêchent le développement des cônes.

a.4. Géométrie générale des cônes :

- Les cônes sont constitués de sédiments **mal triés (mal classés)**, immatures et de forte granulométrie dont la composition dépend uniquement de la source locale de sédiments.
- La Taille des éléments et épaisseur des couches diminuent rapidement lorsqu'on se déplace de l'apex vers le pied du cône.
- Les dépôts, organisés en **couches plus ou moins parallèles**, s'accumulent soit pendant des crues éphémères, soit par l'activité des cours d'eau qui développent des systèmes **de chenaux en tresse** profondément incisés dans le cône et qui occasionnellement donnent de dépôts de débordement de crue. Cette accumulation peut encore résulter de **coulée de débris ou de boue**. Ce dernier processus domine dans la partie supérieure de cône alors que vers l'aval c'est le transport par un courant qui est prépondérant. Accumulés dans des conditions très oxydantes, ces dépôts ne contiennent que rarement des fossiles ou de la matière organique **(Fig.90 et Fig.91)**.

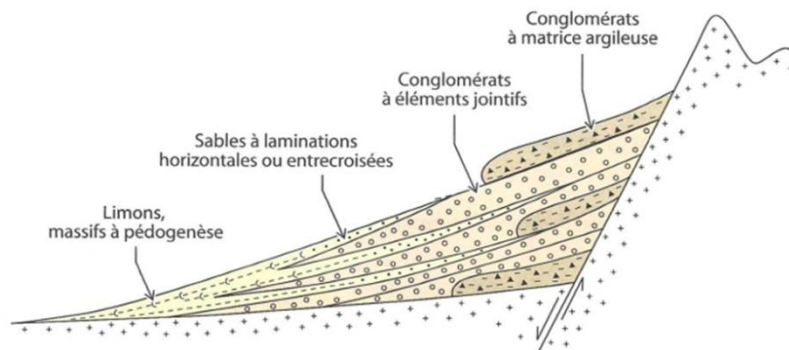


Fig.90. Coupe schématique d'un cône alluvial

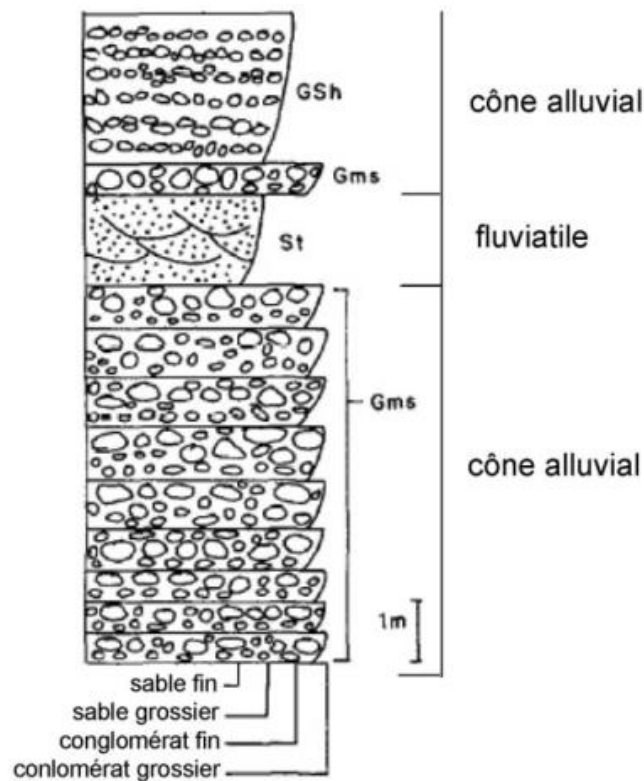


Fig.91. Exemple de coupe verticale dans un cône alluvial

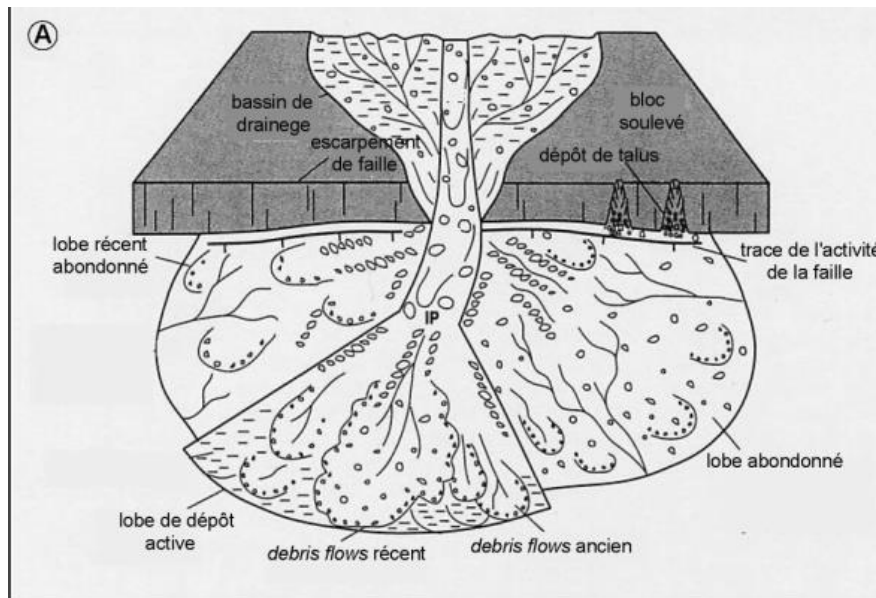
b. Classification des cônes alluviaux :

Deux types de cônes alluviaux ont été identifiés en se basant sur les morphologies, les processus hydrologiques et sédimentaires (Bull (1977) puis Blair et McPherson (1994)) :

- Cônes où le processus de debris flow (**flots de débris**) est prédominant.
- Cônes où le processus d'écoulement en nappes (**sheetflood**) est prédominant.

b.1. Cônes avec des coulées de débris (*debris flows*) prédominants (Fig.92) :

- Les conglomérats désorganisés avec une matrice mal triée, et localement avec un classement inverse sont interprétés comme des coulées de débris subaériennes.
- Dans ce type de cônes alluviaux, les sédiments sont mobilisés par des écoulements gravitaires en masse (***debris flow***) présentant souvent un caractère catastrophique, et transportant des blocs de plusieurs tonnes. Il déplace des débris hétérométriques avec des vitesses de propagation pouvant atteindre une centaine de **km/h** sur des versants à forte pente.
- Les sédiments sont mal classés, non stratifiés et emballés dans une matrice argilo-silteuse.
- Les lithofaciès dominants sont de type **Gcm** et **Gmm** (Reineck et Singh, 1973 ; Miall, 1978).
- Le profil longitudinal des cônes alluviaux présentant des debris flow prédominants est rectiligne, sa pente est constante, avec des valeurs comprises entre **05** et **15°**.



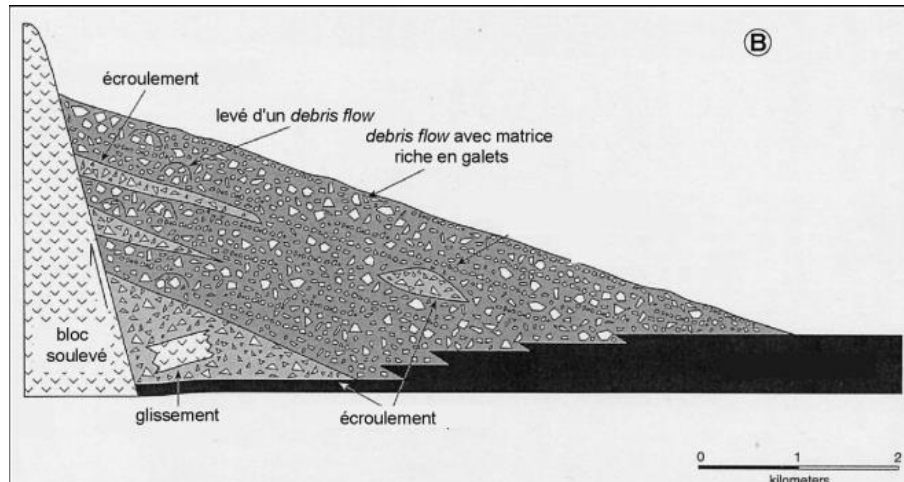


Fig.92. Cônes alluviaux présentant des debris flow prédominants (d'après Blair et McPherson, 1994, simplifié),

A : bloc diagramme,

B : coupe transversale du cône

b.2. Cônes présentant des processus d'écoulements en nappes prédominants (Sheetflood) (Fig.93) :

- Les cônes caractérisés par un mécanisme **d'écoulement en nappe** prédominant présentent un profil longitudinal concave dans sa partie distale avec une pente plus faible et varie de **2 à 8°**.
- Les sédiments sont **parfois stratifiés** et leur taille diminue progressivement de l'amont vers l'aval du cône.
- Les **faciès sédimentaires dominants** sont de type **Gh**, associés à des faciès fluviaux de type **Gp et Gt**.
- Les parties proximale et médiane des cônes se caractérisent généralement par la présence de quelques **barres fluviales** sableuses et conglomératiques, alors que l'aval est dominé par des faciès sableux mieux organisés.

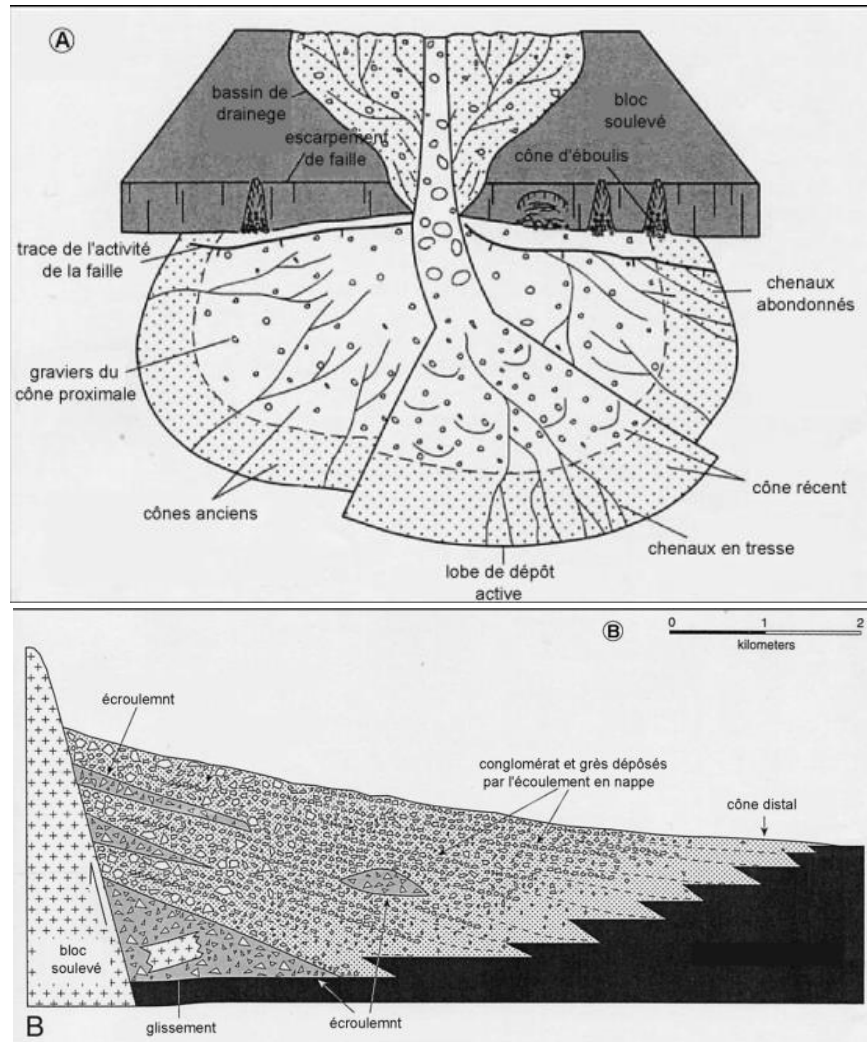


Fig.93. Cônes alluviaux dominé par les sheetflood (d'après Blair et McPherson, 1994, simplifié),

A : bloc diagramme,

B : coupe transversale du cône

Caractéristiques	Cônes alluviaux à dominance de <i>debris flows</i>	Cônes alluviaux à dominance de <i>sheetflood</i>
Taille et tri des sédiments	Sédiments très mal triés, argiles, cailloux, galets et graviers	Sédiments mal triés, de sables et galets jusqu'aux graviers
Taille maximale des grains de l'amont à l'aval du cône	Relativement constante	Granulométrie décroissante, de blocs jusqu'aux cailloux ou sables
Forme des grains	anguleux	Anguleux a subanguleux
Mode de stratification	Non stratifié	Mieux stratifié
Présence des barres sableuses et conglomératiques	absentes	abondantes
Présence des facies sableux dans la partie distale du cône	absentes	abondantes
Présence d'une matrice sableuse	abondante	rare
Taille du bassin de drainage	Petite à modérée	Petite à grande
Longueur du chenal principal	Courte à modérée	Modérée à longue
Valeur de la pente du cône	5 à 15°	2 à 8°

Fig.94. Principales caractéristiques des cônes alluviaux dominés par les mécanismes de debris flow et sheetflood (Blair et McPherson, 1994)

B. LE SYSTEME FLUVIATILE

Lorsque les fleuves et les rivières sont **des cours d'eau permanents** (différents de ruissellement et de torrents).

- ❖ Lorsque les fleuves et les rivières se jettent dans **les mers et les océans** : le drainage fluvial est dit "**exoréique**".
- ❖ Lorsque les fleuves et les rivières vont vers des **dépressions fermées (lacs)** : le drainage fluvial est dit "**endoréique**".
- ❖ Lorsque une région est **dépourvue de réseau hydrographique** : on appelle région "**aréique**" (ex : les régions désertiques)

B.1. Formations alluviales ou alluvions (= milieux fluviaux) :

On regroupe sous le terme de **dépôts alluviaux** ou **dépôts fluviaux** ou **alluvions** les sédiments déposés en **régime d'eaux courantes continentales** depuis la zone d'origine, source, jusqu'à débouché dans un bassin, en général marin, mais parfois lacustre. On parle **d'éluvions** pour désigner des **sédiments très peu transportés** par le **ruissellement** et le glissement le long des

reliefs, stade initial rarement conservé des sédiments alluviaux. Les **colluvions** sont également utilisées pour les dépôts de bas de pente à transport très limité, le processus d'accumulation étant le **colluvionnement**.

Plusieurs paramètres contrôlant les systèmes fluviaux sont : *la pente, la dimension du réseau de drainage, le climat, la tectonique, la charge sédimentaire, la végétation*. **La géométrie** et la **structure interne** des **corps sédimentaires fluviaux** sont fonction du **style fluvial**.

B.2. Types d'organismes hydrographiques :

Distinction et aspect hydrographique (Fig.95) : on distingue

1. le lit mineur, zone dénudée, délimitée par des berges abruptes à laquelle appartient le chenal (lit ordinaire ou lit apparent est le chenal où l'eau s'écoule en temps normal).

2. le lit majeur généralement couvert d'arbres tolérant une submersion temporaire. Il s'étend au-delà des levées naturelles et qui est régulièrement inondé par les crues ordinaires. On parle aussi de lit majeur pour la zone qui fonctionne uniquement lors des crues exceptionnelles (c'est la zone d'expansion des crues).

3. La berge : elle sépare le lit mineur et majeur. On peut y trouver du sable, de l'argile, des roches et un peu de végétation.

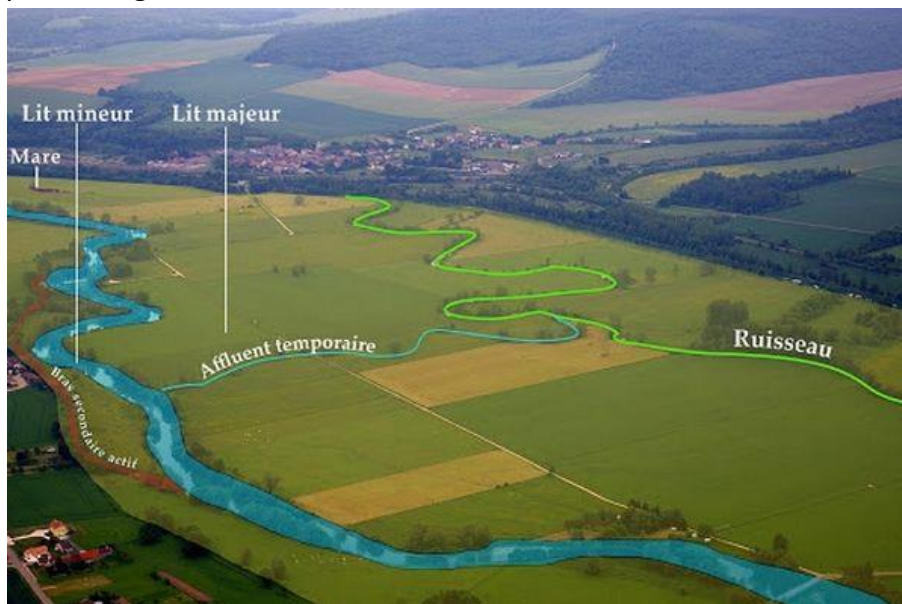


Fig.95. Géomorphologie d'un cours d'eau

B.3. Morphologie d'un réseau hydrographique

Les **systemes linéaires** se regroupent pour former des réseaux hydrographiques. Tout réseau comprend (**Fig.96**) :

- a. un bassin versant qui assure la collecte des eaux de ruissellement et des sédiments
- b. un cours d'eau qui véhicule les sédiments et les eaux de ruissellements.
- c. un bassin de sédimentation ou le réceptacle le cours d'eau voit le développement de la plaine alluviale et la construction de bancs sableux dans le lit de la rivière.



Fig.96. Vue aérienne du bassin versant de bas Chélif

B.4. Principaux types de chenaux

La forme des chenaux varie le long du cours d'eau. En fonction **de la sinuosité** et du **nombre de bancs ou îles** qui les divisent, on distingue **quatre grands types (Fig.97)**:

1. Les chenaux rectilignes :

Caractéristiques : C'est un chenal unique dont **la sinuosité est inférieure à 1,05**. Ils sont rarement observés dans la nature. Le talweg du chenal dessine une ligne sinueuse le long de laquelle alternent seuils (*raffles*) et mouilles (*pools*). Ces chenaux se développent essentiellement dans **les zones à forte pente topographique**.

Dynamique : Les bancs (seuils) sont régulièrement répartis le long du chenal selon une longueur d'onde qui représente **2 à 4 fois la largeur** du chenal (**L**). Ceux-ci migrent vers l'aval avec le temps sous l'action érosive du courant. L'érosion des berges ne se produit que lorsque le courant est dévié avec suffisamment de force, le tracé devient alors sinueux

2. Le chenal en méandres :

Caractéristiques : C'est un **chenal unique, très sinueux**, encadré par **des levées, des plaines d'inondation** et caractérisé par **une sinuosité supérieure à 1,5** et se développent dans des zones à **pente modérée ou à faible charge**. La **vitesse d'écoulement est faible** et la **charge sédimentaire fine transportée est importante**.

Dynamique : Les rivières **méandriformes** divaguent latéralement en **érodant leur rive concave et en déposant du matériel, sur la rive convexe**. **Quatre types** principaux de dépôt sont observés : *chenaux, barres de méandres, levées naturelles et plaines d'inondation*.

3. Les chenaux en tresse :

Caractéristiques : Ce sont des chenaux multiples mais à faible sinuosité. Les chenaux sont très **dynamiques latéralement** et sont séparés par des **bancs vifs ou faiblement végétalisés**, le tout faisant partie du lit mineur à l'intérieur duquel de petits chenaux dessinent un motif autour de **petits îlots**. Ils se développent essentiellement dans **les zones montagneuses avec une pente topographique forte ou une charge importante**.

Dynamique : Le réseau en tresses se marque par des chenaux d'eau qui se divisent et se rejoignent en contournant des barres longitudinales, transversales et obliques par rapport à la direction du courant. Les barres qui séparent les chenaux sont le plus souvent submergées lors des crues et sont composées par des sédiments grossiers qui ne peuvent plus être transportés. Lors des crues, les barres formées, sont stabilisées par des dépôts fins et pouvant être couverts de végétation. Les eaux sont temporairement abondantes et chargées de sédiments généralement grossiers. Les rivières en **tresses** se caractérisent par des chenaux larges qui changent rapidement de position. On utilise le terme de **rivière anastomosée** pour décrire **les chenaux qui se divisent et se réunissent dans la plaine alluviale**.

4. Les chenaux anastomosés :

Caractéristiques : et de chenaux sinueux, étroits et profonds. Des sous-types rendent compte de la nature plus ou moins clastique ou organique des dépôts.

Dynamique : Le lit se divise en plusieurs bras, sinueux et étroits, relativement peu dynamiques, séparés par **des îles végétalisées** dont le niveau topographique est celui de la plaine alluviale. Les anastomoses **sont des formes fluviales du lit majeur**.

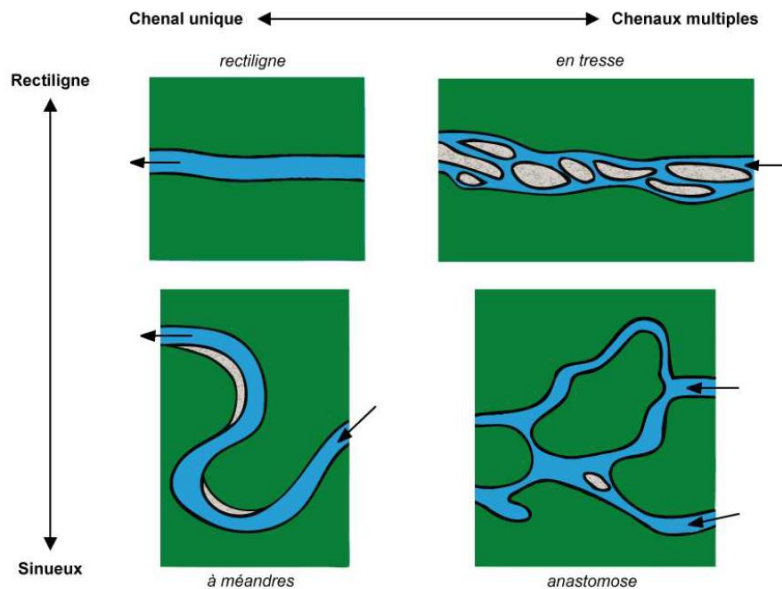


Fig.97. Différents formes des chenaux d'un système fluviales

B.4.1. Le coefficient de sinuosité:

Selon la méthode **d'Allen (1984)**, le coefficient de sinuosité est défini par le **ratio entre la longueur développée du lit et la ligne passant par tous les points d'inflexions des méandres du tronçon** ($SI = d/f$) (**Fig.98 et 99**).

d : axe du lit mineur

f : la ligne passant par les points d'inflexion des méandres.

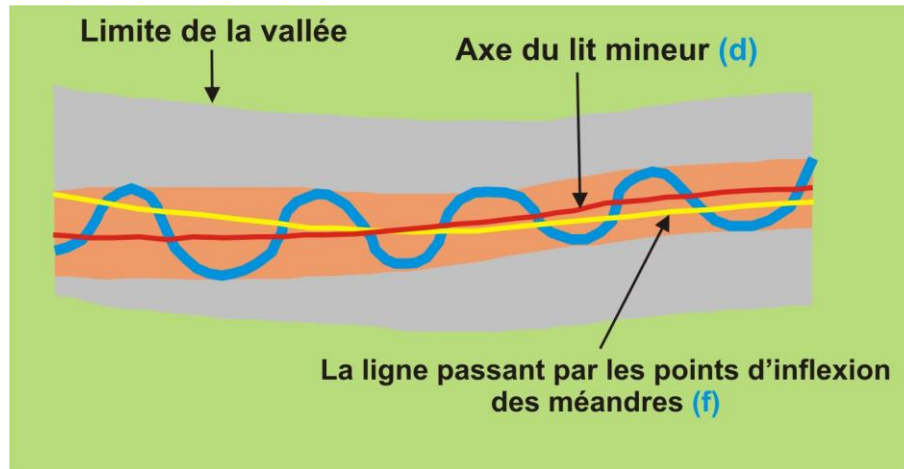


Fig.98. Mesure du coefficient de sinuosité en suivant l'axe de l'enveloppe de méandrage.

Indice ou coefficient de sinuosité	Classe de sinuosité du cours d'eau
$SI < 1,05$	Rectiligne
$1,05 < SI < 1,25$	Sinueux
$1,25 < SI < 1,5$	Très sinueux
$SI > 1,5$	méandrique

Fig.99. Classe de sinuosité des cours d'eau (Allen, 1984)

B.5. Méthodes d'analyse des faciès sédimentaires fluviaux

L'étude des dépôts fluviaux s'appuie sur les modèles de faciès qui ont été construits à partir des cours actuels. Ceux-ci sont fiables et sont facilement utilisables pour la reconstitution des séries anciennes. Une étude de dépôts fluviaux suppose en premier lieu :

- L'identification et la description des **lithofaciès** principaux et secondaires.
- Puis la détermination des principales successions de lithofaciès.
- Et enfin, la caractérisation de la géométrie et l'orientation des structures des unités de dépôts.

Les codes des faciès utilisés par Miall (1985, 1996) comprennent deux ou trois lettres (Fig.100, 101 et 102) :

- La première lettre majuscule (**G, S et F**) indique la classe **granulométrique du faciès** (conglomérat, sable, silts, fines),

- Alors que le reste des lettres minuscules (**mm, cm, t, h...**), désignent la **structure sédimentaire physique ou biologique prédominante**.

Code	Désignation	Interprétation des lithofaciès
Gmm	Conglomérats massifs organisés, à matrice prédominante et des grains non jointifs. Le classement médiocre des éléments grossiers est la principale caractéristique sédimentaire.	écoulements gravitaires de type debris flow
Gcm	Conglomérat massif non classé, avec galets jointifs	écoulement gravitaire sous forme de coulées boueuses (debris flow)
Gh	Conglomérats présentant un litage horizontal et pouvant montrer une imbrication des galets.	Écoulement hydrodynamique unidirectionnel de très forte énergie
Gt	Conglomérat présentant un litage oblique en auge . L'énergie de l'écoulement unidirectionnel diminue par rapport au précédent lithofaciès Gh	écoulement hydrodynamique unidirectionnel de forte énergie
Gp	Conglomérat stratifié à litage oblique plan. L'énergie diminue encore plus par rapport aux précédents lithofaciès conglomératiques.	écoulement hydrodynamique unidirectionnel de moyenne énergie
Sh	Sable moyen à grossier, parfois caillouteux, présentant un litage horizontal.	L'énergie de l'écoulement hydrodynamique est forte
St	sables fins à très grossiers avec des cailloux dispersés, organisés en litages obliques en auge	L'énergie de l'écoulement est plus faible que le lithofaciès Sh
Sp	Sable à litage oblique plan	L'énergie de l'écoulement diminue encore plus.
Sr	Sable très fin à grossier présentant un litage de rides de courant	régime d'écoulement hydrodynamique faible
Sm	sable fin à grossier, d'aspect massif ou présentant un litage frustré	écoulement gravitaire
Fi	sable, silt et argile montrant un litage fin ou de très petites rides	dépôt d'inondation ou de débordement
Fsm	argilite et siltite massives, présentant des fentes de dessiccation	marécage alluvial, chenal abandonné
Fr	argile et silt avec bioturbation	remplissage de racines
P	paléosol et traces de pédogenèse	paléosol

Fig.100. Description des principaux lithofaciès définis par Miall (1996)

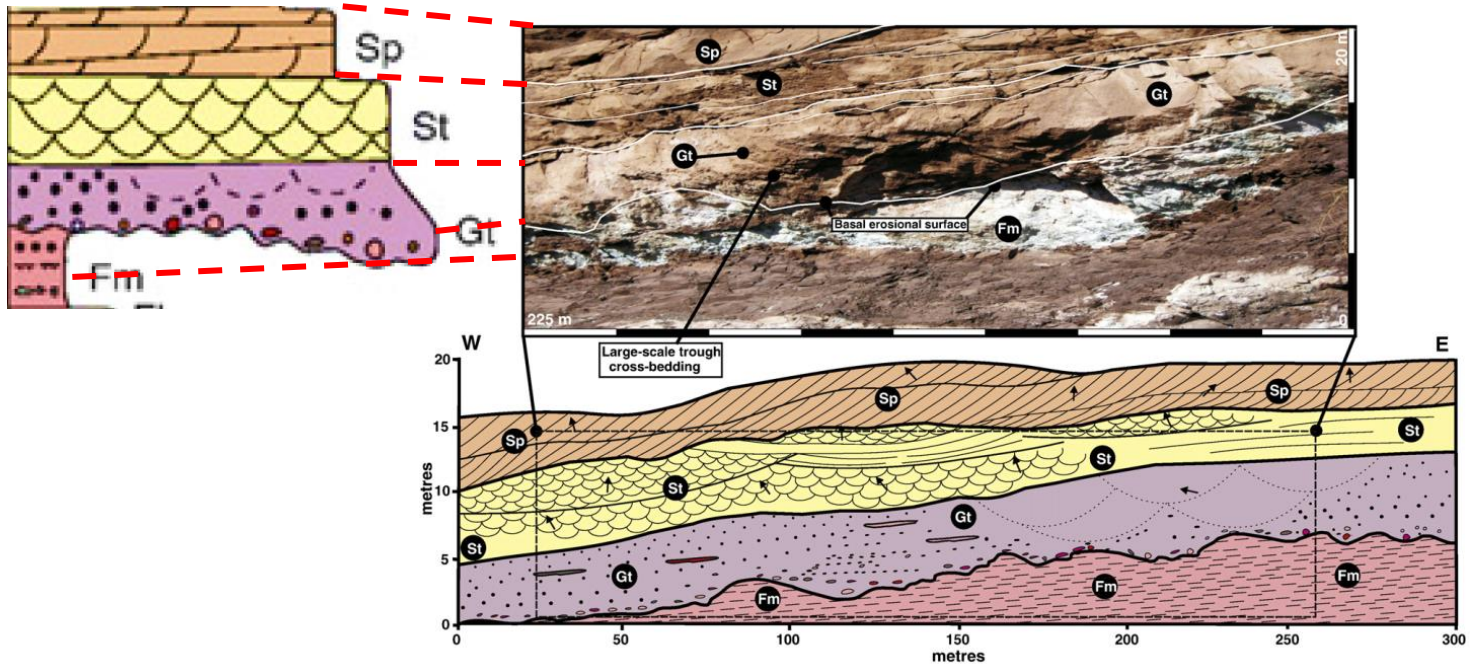


Fig.101. Dépôts fluviaux (d'après Ghazi et Mountney, 2009)

Gt : conglomérat à litage oblique en auge
St : grès grossier à litage oblique en auge
Sp : grès à litage oblique plan
Fm : argile et silt massifs

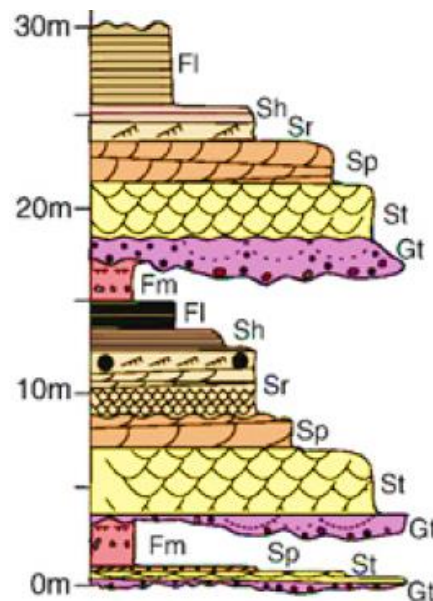


Fig.101. Succession des séquences fluviales (d'après Ghazi et Mountney, 2009)

Gt : conglomérat à litage oblique en auge.

St : grès grossier à litage oblique en auge.

Sp : grès à litage oblique plan.

Sr : grès à litage de rides.

Sh : grès à litage horizontal.

Fi : silt et argile à litage fin.

Fm : argile et silt massifs.

Debris flows et mudflows : Les mudflows sont des *écoulements de boue sous l'action de la gravité. Si on a de gros éléments (galets, blocs), on l'appelle debris flow*. Ces écoulements ont l'aspect du béton frais et se mettent en mouvement lorsque de fortes pluies ont saturé d'eau leur fraction fine. Leur vitesse de propagation peut atteindre une **centaine de km/h** et ils provoquent le déplacement de blocs de taille parfois considérable. **Ces unités sont mal classées avec localement un granoclassement inverse à la base.**

La succession de lithofaciès identifiée permet alors :

- De définir les principales relations cycliques présentes ;
- La détermination de la nature des contacts entre lithofaciès constitue un autre point important de la démarche : changement graduel de l'environnement ou évolution brusque (ravinement).
- La détermination des **paléocourant** se fait à partir des structures sédimentaires : ceux-ci permettent de restituer les **paléopentes**, de compléter les données de faciès et les cartes d'isopaques (**même épaisseur**)

B.6. Les environnements fluviaux actuels

L'étude des environnements actuels a permis de caractériser en détail les séries fluviales qui sont essentielles par le volume de sables qu'elles contiennent et les ressources naturelles qui y sont associées (eau, pétrole, charbon, gîtes minéraux).

Plusieurs approches et classifications sont possibles certaines s'appuient sur la distinction entre les dépôts d'accrétions latérale et verticale. Les premiers marquent une distribution des sédiments et les seconds une accumulation verticale (**Fig.102**).

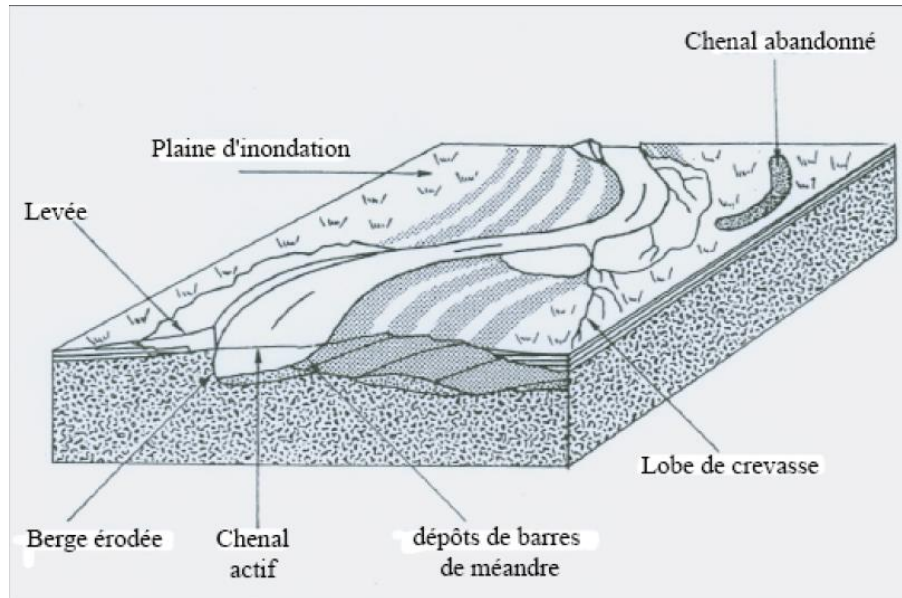


Fig.102. Représentation schématique des différents types de dépôts associés au milieu fluvial ; exemple d'un cours à méandres

a. réseaux fluviaux méandriformes

Elle comprend dans sa partie inférieure **des stratifications entrecroisées** et **des mégarides** dont la taille décroît en allant vers la partie médiane. Dans celle-ci les structures dominantes sont **des rides** : **rides grimpantes** recouvertes par **les litages plans des faciès argilo-sableux** sommitaux. La partie inférieure de la séquence représente la construction dans le chenal **d'étiage**, les structures sont alors grossièrement orientées parallèlement à l'axe du chenal. La partie supérieure correspond à **l'accrétion latérale** lors des crues et donne des **directions perpendiculaires**.

Trois types principaux de dépôt sont observés : *chenaux, berges et plaines d'inondation* :

1. Les dépôts associés aux chenaux :

1.1. Les dépôts à l'intérieur des Chenaux (channel lag) : une géométrie lenticulaire et une base érosive. Les dépôts sont peu épais (1 à 2 m), discontinus, de faible mobilité, composés d'éléments grossiers (galets, graviers et sables) et sont fréquemment préservés car rapidement recouverts par des sédiments fins. Les **faciès dominants sont Gh et Gt**.

1.2. Les dépôts de barres de méandres ou barres de méandres (point bar) : dans les dépôts anciens, elles représentent la partie la plus importante des séquences fluviales

méandriques. Les **barres de méandre** se construisent **sur la berge de la rive convexe**, par un mécanisme **d'accrétion latérale**. Leur **épaisseur peut atteindre 10 à 20 mètres**. Elles sont formées **de sables à la base**, avec un **faciès St**, traduisant le maximum de la crue. Ce faciès est surmonté par des **faciès moins grossiers de type Sr** intercalés avec des **faciès St** marquant le début de la décrue. Au sommet, la fin de la crue correspond à des **faciès fins de très faible énergie de type Fi (Fig.102)**.

Les **barres de méandres (bancs d'accrétion latérale ou point bar)** représentent certainement l'un des traits caractéristiques des méandres actuels et la majeure partie de la séquence fluviale préservée dans les séries anciennes. Leur taille et leur morphologie sont directement liées à la dimension du cours d'eau **(Fig.103)**.

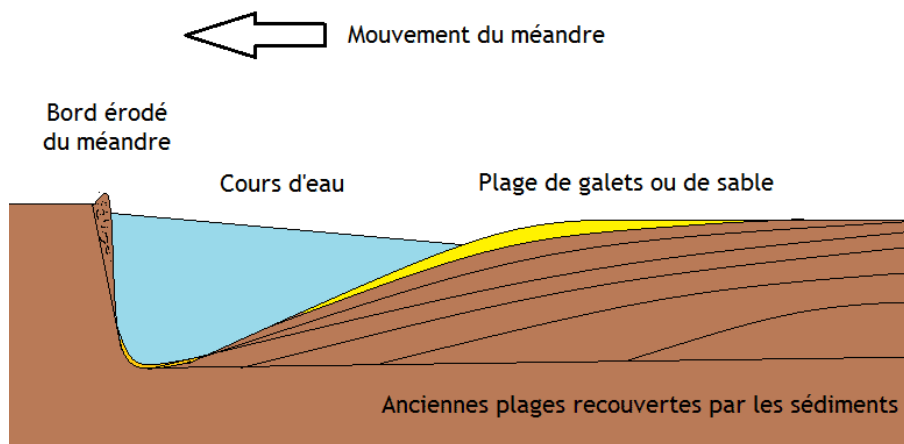


Fig.103. Accrétion latérale ou point bar

2. Les dépôts des berges :

2.1. Les dépôts de berges : ils sont sédimentés lors des crues. Ils sont caractérisés par les dépôts de levées qui bordent les chenaux et ceux de **crevasses** lors des **ruptures de levées**.

2.2. Les dépôts de levées naturelles : accumulations de sédiments qui bordent les chenaux et sont recouvertes lors de crues successives. Leur **épaisseur est décimétrique à métrique**, et leur **largeur est généralement métrique**. Elles sont composées de sédiment fins, la base avec **des sables à stratification oblique en auge (St)**, surmontés par des **faciès plus fins de types Sh, Fi et Fsm** (Miall 1985 et 1996 ; Campy et Macaire, 1989 ; Adams et al. 2004).

2.3. Les lobes de crevasse (crevasse splay): ce sont **des dépôts sableux** qui se déposent dans la plaine d'inondation après la rupture d'une levée durant une crue de débordement. Les dépôts de crevasse sont généralement plus grossiers que ceux des levées auxquelles ils sont associés.

Les structures dominantes sont de taille réduite, petites rides grimpantes, stratifications entrecroisées et quelques litages plans. La séquence se termine par des sédiments fins, limons sur lesquels les traces d'érosion et d'implantation de végétation sont fréquentes. Dans les séries anciennes, les dépôts de crevasse peuvent être identifiés par le contraste granulométrique qu'elles présentent par rapport au dépôt des levées ainsi que par leur forme en aile dont l'orientation est généralement bien distincte de celle des chenaux principaux.

Certains dépôts particuliers correspondent au comblement de chenaux abandonnées (**bras mort, oxbow lake**) par des phénomènes d'**avulsion** ou de **recouplement** (Fig.104 et 105). L'**avulsion** désigne un **déplacement** de l'ensemble du cours d'eau, le **recouplement** implique une **diminution de la sinuosité** par incision de la partie étroite qui sépare deux boucles adjacentes ou par migration dans un des chenaux de crue entre les croissants d'alluvionnement.



Fig.104. Exemple de l'évolution du cours de l'Udon entre 1947 et 2016

Certains la portion de chenal abandonnée est rapidement isolée du cours principal par l'accumulation de dépôts sableux en ses extrémités. Souvent, elle donne naissance à un lac de bras mort (**Oxbow lake**) dans lesquels le taux de sédimentation est très faible. (Fig.106).

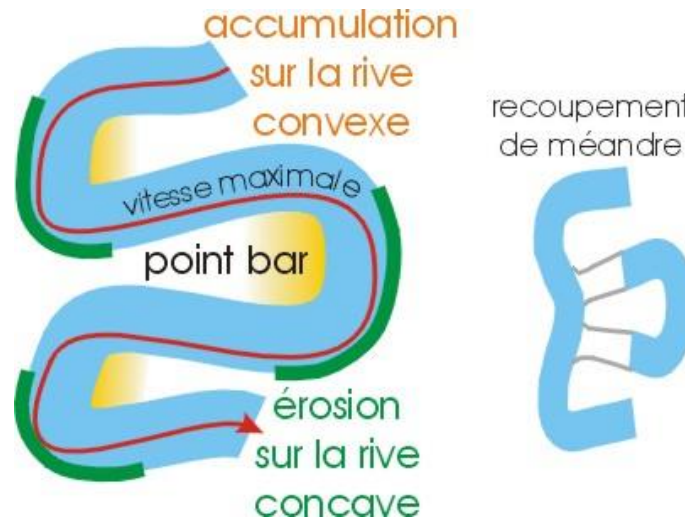


Fig.105. Formation des méandres par érosion de la rive concave et sédimentation sur la rive convexe. L'ensemble se déplace vers l'aval. Recoupement de méandre et développement d'un méandre abandonné.

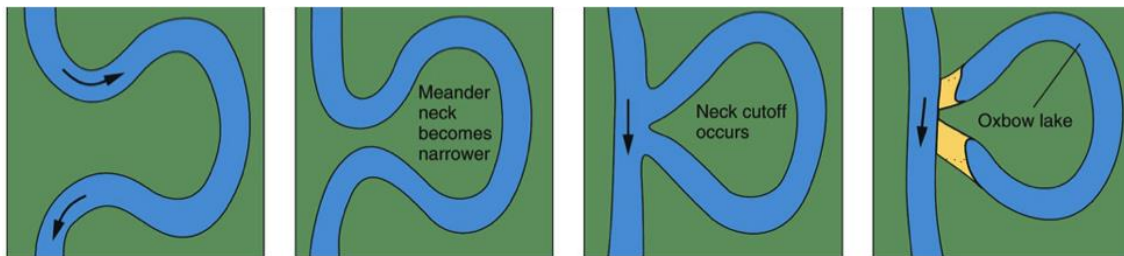


Fig.106. Etape de formation d'un méandre abandonné (Bras mort)

3. Les dépôts de plaine d'inondation : lors des crues qui débordent les levées, les eaux envahissent la plaine d'inondation, et se réalise une décantation des sédiments très fins, qui présentent **les faciès Fi et Fsm**. Ces dépôts peuvent être le **siège d'une pédogenèse** si les conditions le permettent.

La coupe verticale typique des rivières à méandres montre la superposition de plusieurs séquences, à la base les dépôts de remplissages de chenaux très grossiers surmontés de barres de méandres, par-dessus se déposent des levées naturelles et au sommet on trouve les dépôts les plus fins de plaine d'inondation (**Fig.107 et 108**).

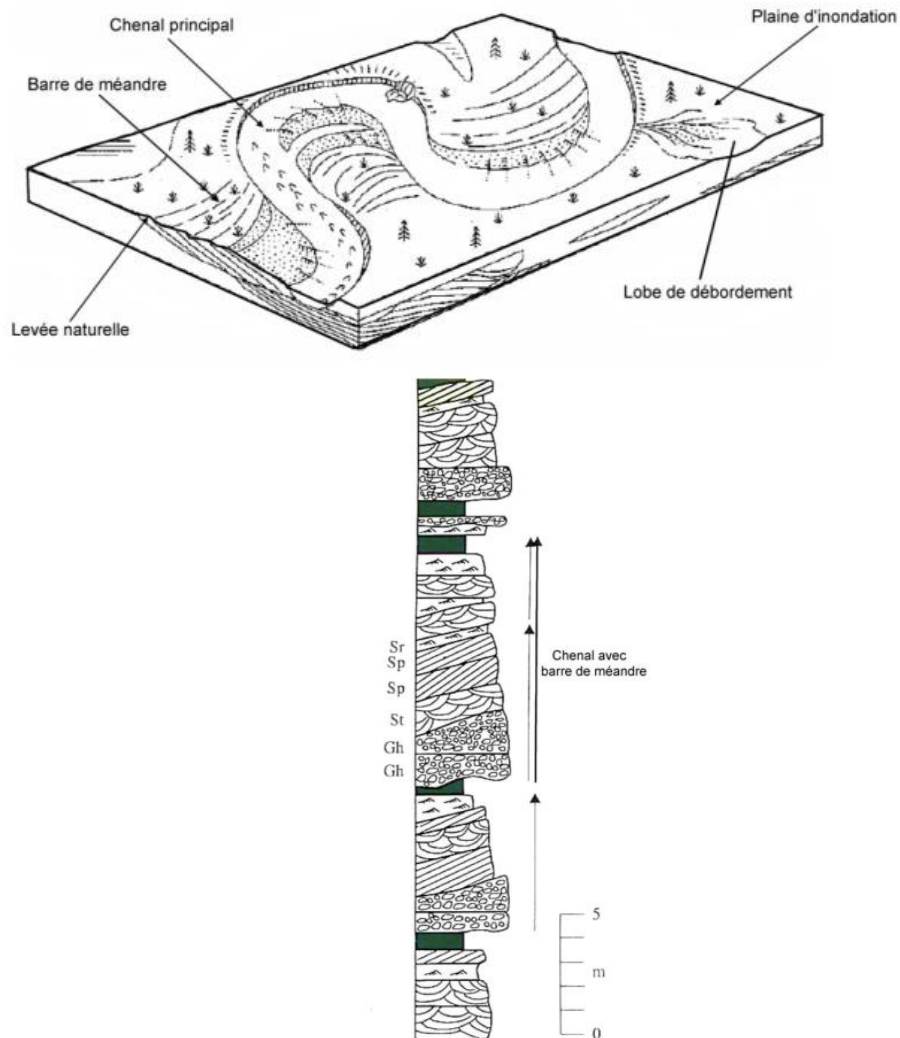


Fig.107. Caractéristiques morphologiques et sédimentologiques des systèmes fluviaux méandriformes et Exemple de séquence verticale (Miall, 1996)

- Gt** : conglomérat litage oblique en auge ;
- St** : grès grossier à litage oblique en auge ;
- Sp** : grès à litage oblique plan ;
- Sr** : grès à litage de rides ;
- Sh** : grès à litage horizontal ;
- Fi** : silt et argile à litage fin ;
- Fm** : argile et silt massifs.

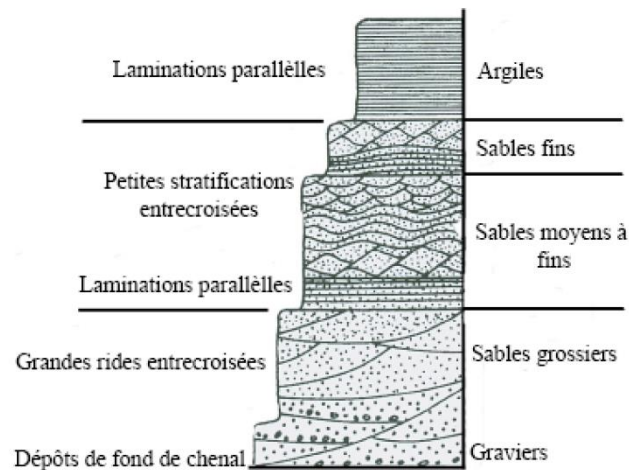


Fig.108. Séquence idéale de dépôts d'un système fluvial méandrique.

Remarque : ce profil idéal n'est pas toujours complètement exprimé car la partie supérieure peut être érodée avant le dépôt de la séquence suivante. Il peut être compliqué à cause de fluctuations de vitesse de l'écoulement, très fréquentes au cours des crues.

b. Dépôts des chenaux en tresse



The Waimakariri River with Christchurch in the background, Canterbury, New Zealand.

Fig.109. Exemple d'un chenal en tresse

b.1. Séquence sédimentaire en tresse :

La séquence verticale typique d'un système fluvial en tresses se compose par la succession de plusieurs faciès : Gh, Gt, St, Sr et Fi (Fig.111). Ces faciès s'organisent en séquences à base érosive, et représentent le remplissage de chenaux avec stratification en auges (Fig.110 et

112), surmontés par les dépôts de **barres à stratifications planes ou obliques**. Les sédiments déposés encore **immatures** avec une séquence **granddécroissante**. Les fossiles sont rares ou absents, hormis des traces de plantes. Elle est courte et amalgamées

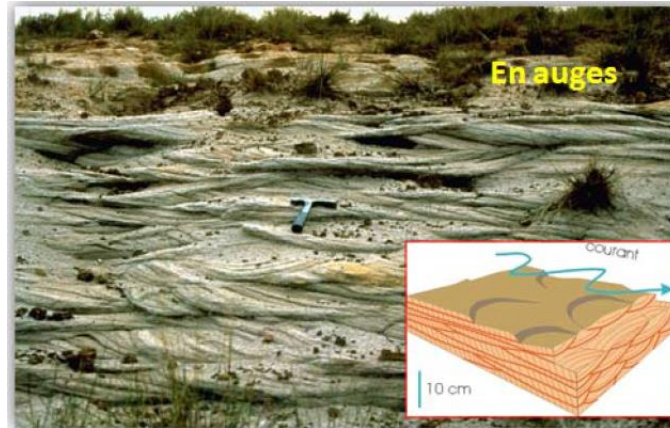
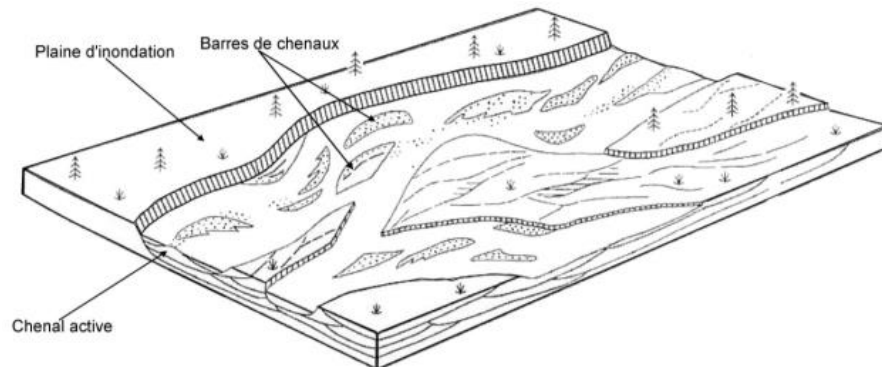


Fig.110. Stratification en auges



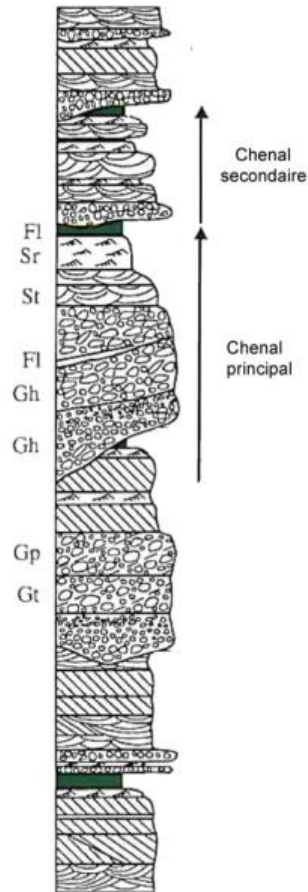


Fig.111. Caractéristiques morphologiques et sédimentologiques des systèmes fluviaux en tresses et Exemple de séquence verticale (Miall, 1996)

- Gt** : conglomérat litage oblique en auge ;
- St** : grès grossier à litage oblique en auge ;
- Sp** : grès à litage oblique plan ;
- Sr** : grès à litage de rides ;
- Sh** : grès à litage horizontal ;
- Fi** : silt et argile à litage fin ;
- Fm** : argile et silt massifs.

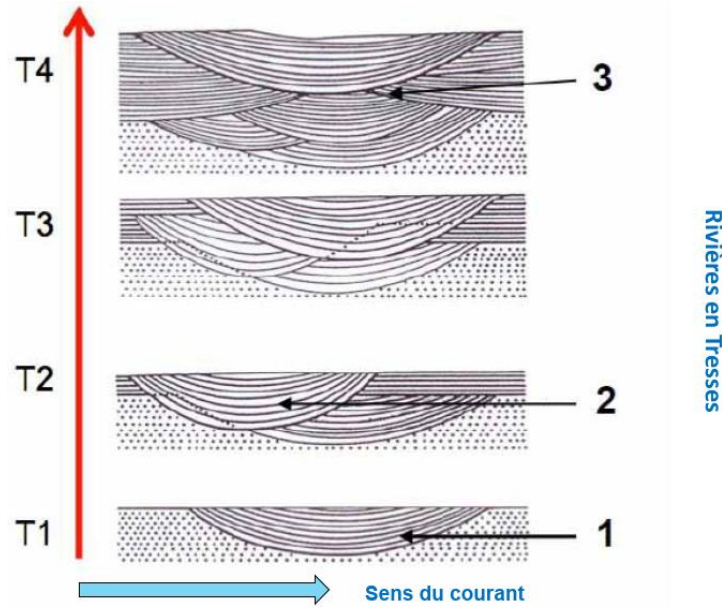


Fig.112. Formation des structures en auges

1. Creusement puis comblement d'un chenal
2. Formation d'un nouveau chenal sécant
3. Recoupement des strates plus anciennes par les plus jeunes

c. Dépôts de chenaux rectilignes



Fig.113. Cours d'eau rectiligne

c.1. Caractéristiques des chenaux rectilignes :

- Les chenaux rectilignes sont rares.
- Ils existent seulement en courtes distances. Ils présentent une sinuosité faible.
- Leurs courants et mode de dépôt sont similaires à ceux du système fluvial à méandre; le dépôt se fait par accrétion latérale et donne naissance à des barres sédimentaires.

d. Dépôts de chenaux anastomoses

Le terme d'anastomose est introduit par (**Schumm, 1968**) pour décrire des formes et des processus distincts du tressage. Les réseaux anastomosés caractérisent des zones à pente faible, notamment à proximité des niveaux de base des rivières. Ils ont un indice de sinuosité élevé ($> 1,5$) et sont composés d'au moins deux chenaux, interconnectés, délimitant des plaines d'inondation (**Makaske, 2001**). La vitesse de l'écoulement est faible, les sédiments sont fins et peuvent être riches en matière organique. Les chenaux anastomosés divaguent peu dans la plaine alluviale qui est fréquemment inondée, cette dernière est couverte de marécages et de végétation (**Fig.114**).



Fig.114. Fleuve à chenaux anastomosés

Les chenaux se déplacent peu, ils s'organisent **de la base au sommet** en faciès **Gt, St, Sp, et Sr**. Dans la **plaine d'inondation** s'y déposent **des limons** et des **vases organisés en faciès Fi, Fsm et Fr**. Des traces de **paléosols** sont parfois observées.

Dans une coupe verticale, à la différence des systèmes en tresses et méandriformes, le style anastomosé présente des séquences de galets et de graviers formant des corps à aggradation verticale, de plus, les séquences de dépôts de plaine d'inondation sont plus épaisses. Les **barres** sont **souvent absentes** (Fig.115).

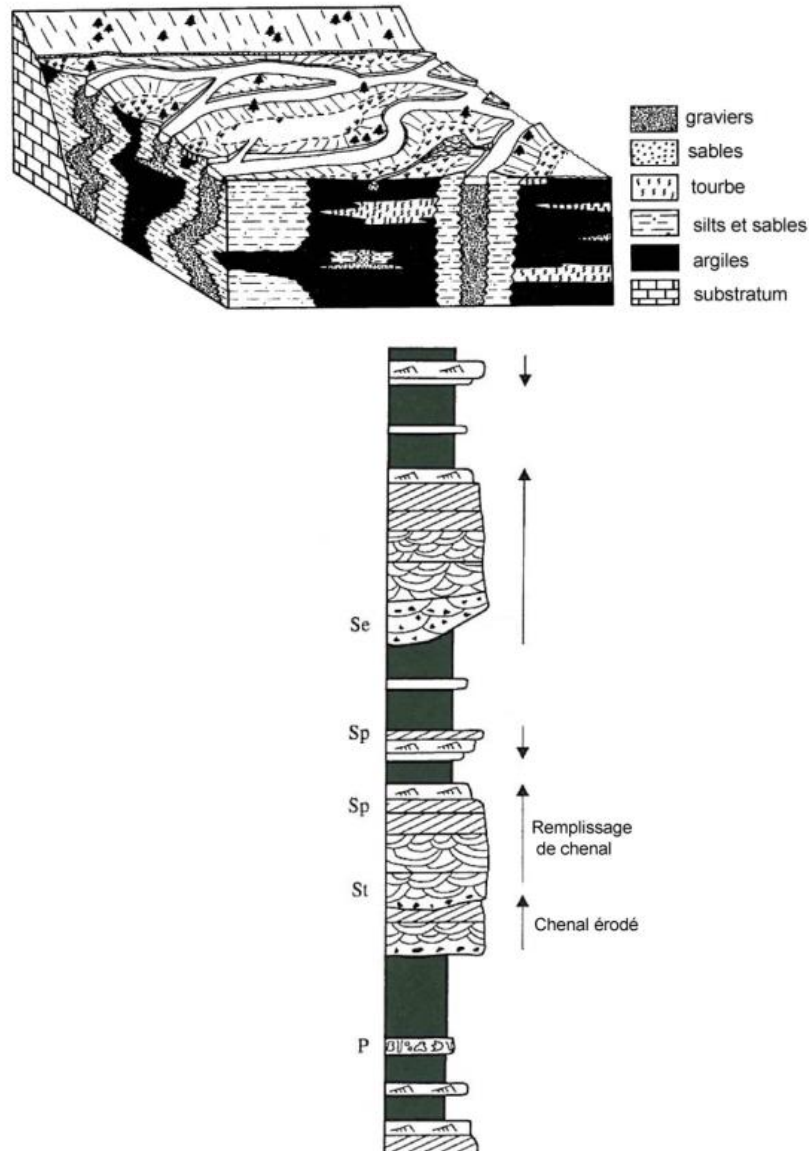


Fig.115. Caractéristiques morphologiques et sédimentologiques des systèmes fluviaux anastomosés et Exemple de séquence verticale (d'après Smith, 1980 in Makaske, 2001 ; Miall, 1996)

- Gt** : conglomérat litage oblique en auge ;
- St** : grès grossier à litage oblique en auge ;
- Sp** : grès à litage oblique plan ;
- Sr** : grès à litage de rides ;

Sh : grès à litage horizontal ;

Fi : silt et argile à litage fin ;

Fm : argile et silt massifs.

d.1. Caractéristiques des chenaux anastomosés :

- Chenaux séparant des îlots stabilisés par une certaine couverture végétale.
- Les chenaux se divagent peu.
- La vitesse de l'eau est faible, les sédiments sont fins et riches en matière organique.
- Les remplissages de chenaux se distinguent par des galets et des graviers formant des corps à accrétion verticale.

B.7. Les terrasses fluviales

Les terrasses fluviales renseignent sur l'évolution morphodynamique d'une rivière. Elles sont couramment utilisées comme des marqueurs morphotectoniques enregistrant les mouvements tectoniques (**Fig.116**).

Les terrasses sont étroitement associées à l'évolution du relief. Elles sont édifiées soit sur une **nappe alluviale** qui témoigne **d'une période d'alluvionnement**, et dont les matériaux sont déplacés par une rivière, **on parle de terrasses de comblement ou d'aggradation**. En revanche, lorsque **la terrasse est édiflée directement sur le substratum**, on parle **de terrasse d'érosion**.

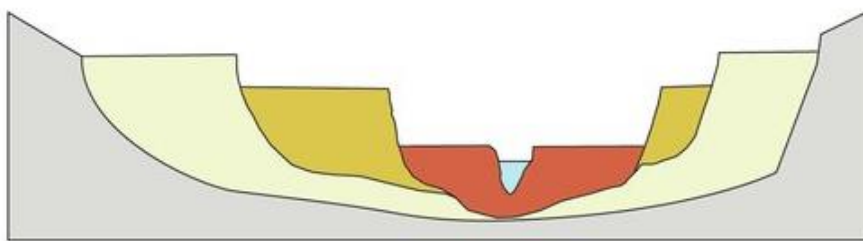
La nappe alluviale est constituée par des **orthoconglomérats** d'épaisseur variable (**de 10 à 200 cm**). Le corps principal de la nappe est composé de **sables et graviers**, marqués par des figures sédimentaires (**imbrication des galets, litage oblique en auge...**).



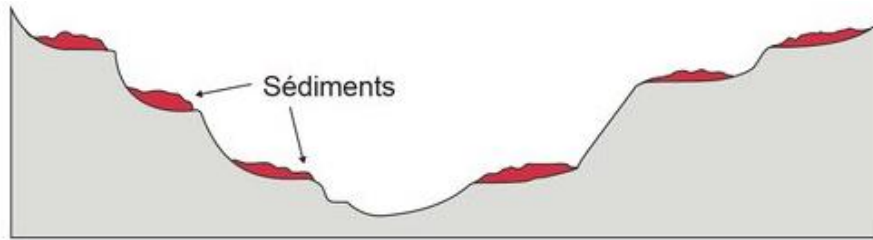
Fig.116. Nombreuses terrasses étagées à Pokhara (Népal). La terrasse t1 est la plus ancienne et la terrasse t5 est la plus récente.

On distingue classiquement **deux types de terrasse** : les **terrasses emboîtées** se forment lorsque **l'érosion de la nappe alluviale ne se fait pas jusqu'au substratum**. Alors que, **celles étagées**, se forment **lorsque l'érosion gagne le substratum**.

1. Les terrasses emboîtées : les alternances de phases d'**érosion moins importantes** et de **sédimentation** se poursuivent, pour donner des **terrasses emboîtées** les unes dans les autres, sans jamais atteindre le substratum. La rivière creuse et s'enfonce dans ses propres alluvions ou plus profondément dans le substrat



2. Les terrasses étagées : Si les phases **érosives très importantes** et des phases de **sédimentation moins importantes**. Les **terrasses étagées** se forment avec l'encaissement du cours d'eau dans le substratum. Au cours de cette période les fleuves déposent ses sédiments. Les dépôts des terrasses peuvent s'emboîter ou s'étagier.



B.7.1. Théorie de Bio-Rhexistase d'ERHART, 1951 :

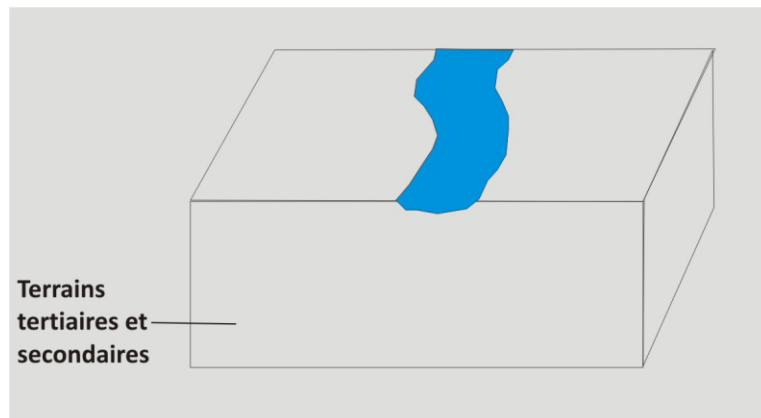
Les terrasses fluviales résultant des changements climatiques qui engendrent une alternance du comportement du cours d'eau passant par des périodes de creusement et périodes de dépôt.

Biostase : période de creusement	Rhexistase : période de dépôt
Les précipitations sont abondantes et régulières.	Climat plus sec.
Une forte pédogenèse caractérisée par une forte altération des substrats	Des précipitations irrégulières induisent une forte érosion des sols.
Un tel climat favorise aussi la végétation qui protège les sols de l'érosion.	Une végétation dégradée ne protégeant pas les manteaux d'altération.
Les fleuves ne sont pas très chargés en sédiments, ils utilisent donc l'énergie de l'écoulement surtout pour creuser.	Une sédimentation fluviale détritique importante. L'énergie du fleuve est utilisée pour le transport de la charge solide.

B.7.2. Formation des terrasses alluviales

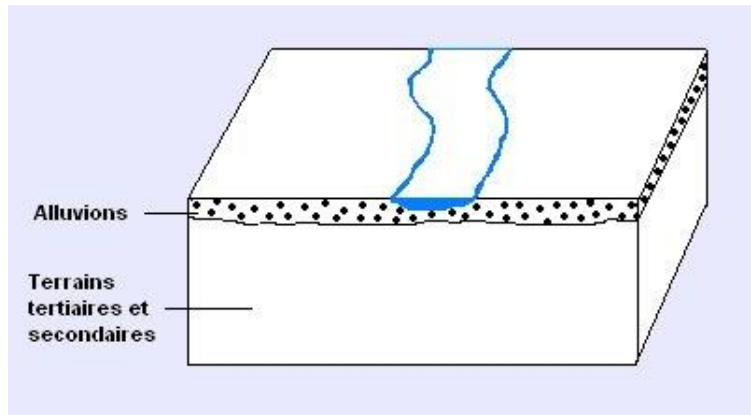
1^{er} stade - Période froide et humide (Biostase):

La rivière creuse son lit sur des terrains d'un substrat ancien



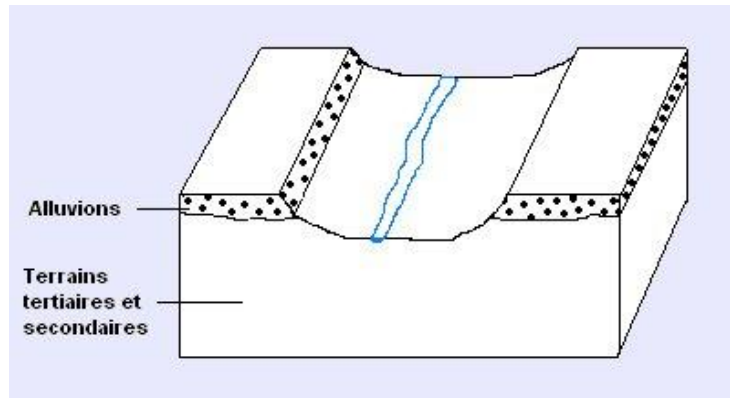
2^{ème} stade - Période froide et humide (Rhexistisie):

La rivière **comble** les dépressions creusées par des **dépôts T3** (l'alluvionnement est supérieur au transport)



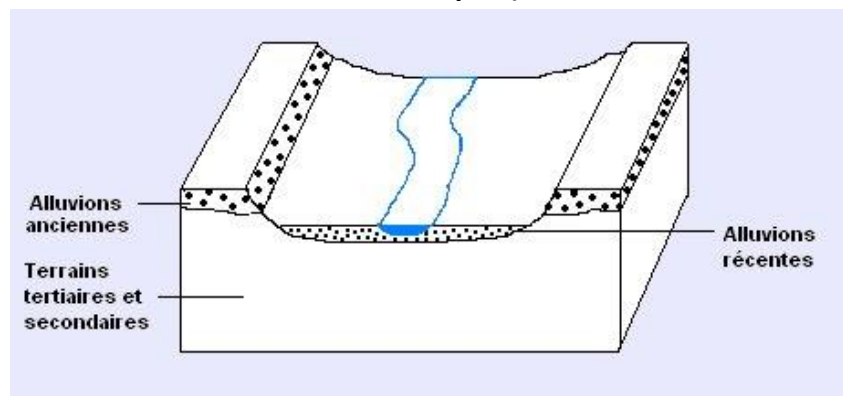
3^{ème} stade - Période chaude et sèche (Biostasie) :

La rivière **creuse** les **dépôts T3** et s'enfonce dans les terrains du substrat

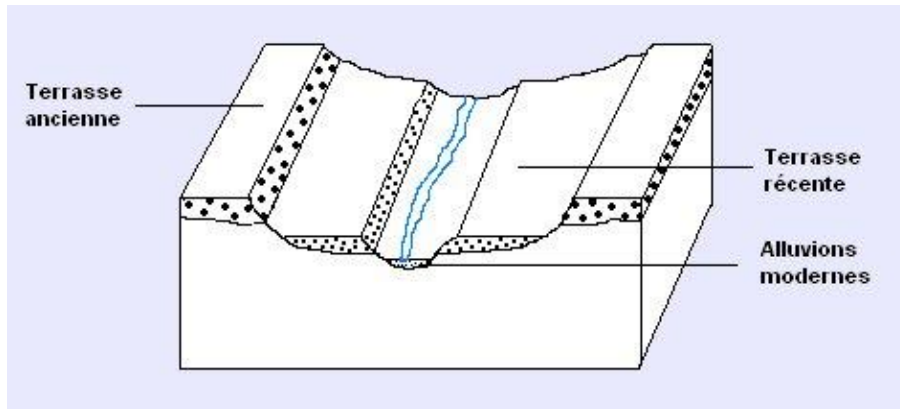


4^{ème} stade - Période froide et humide (Rhexistisie):

La rivière **comble** les dépressions creusées par **les dépôts T2** (l'alluvionnement est supérieur au transport)



5^{ème} stade - Période chaude et sèche (Biostasie) :
La rivière creuse les **dépôts T2** et s'enfonce dans les terrains du substrat



C. Différences sédimentologiques entre les cônes alluviaux et les dépôts fluviaux

Les **dépôts sédimentaires fluviaux** peuvent être distingués de ceux des **cônes alluviaux** par :

1. Dépôts fluviaux :

1) présence de **chenaux de géométrie lenticulaire** et **comblés** par les **faciès grossiers passant latéralement**, le plus souvent, à des **argiles de plaine d'inondation**. Les principaux faciès fluviaux rencontrés dans ces dépôts sont les **conglomérats et sables à litage oblique plan (Gp)**, à **litage oblique en auge (Gt et St)**, à **litage plan horizontal (Gh et Sh)**, à **litage de rides de courant (Sr)** et les **argiles et silts de débordement du chenal principal dans la plaine d'inondation (Fi)**.

2) les éléments sont généralement **arrondis** et souvent **imbriqués selon des plans plongeant vers l'amont du chenal (Fig.117)**.

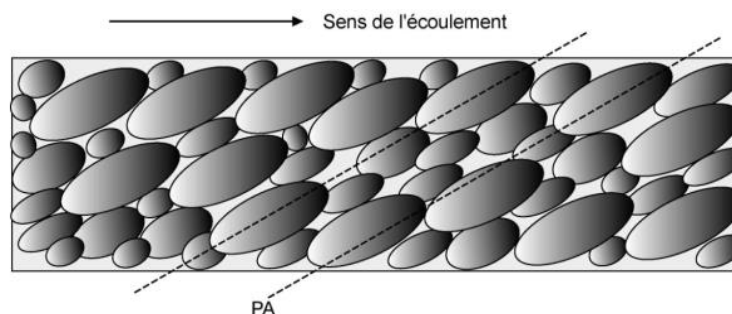




Fig.117. Galets imbriqués

PA : plans de l'imbrication

2. Cônes alluviaux :

Les cônes alluviaux sont soumis à un écoulement gravitaire lié à la présence de pentes ou d'une surcharge sédimentaire. Ces écoulements gravitaires de blocs et galets ne permettent pas la formation des structures sédimentaires physiques (c'est le cas également dans des systèmes fluviaux conglomératiques). En conséquence, les chenaux lenticulaires et leurs séquences granoclassées sont absentes dans les cônes alluviaux. Leur morphologie conique ne favorise pas le développement des plaines d'inondation. Les éléments détritiques sont généralement anguleux. Les faciès présents dans les cônes alluviaux sont de type **Gcm** et **Gmm**.

Caractéristiques	Cônes alluviaux	Système fluviaux
Cadre géomorphologique	piedmont	Tous les environnements continentaux
Valeur de la pente longitudinale	1,5° à 25°	< 0,5°
Sédiments caractéristiques	Cailloux et blocs	Argiles et silts
Taille du bassin de drainage	Très petite à petite	Modéré à grande
Conditions de l'écoulement	Supercritique	Subcritique
Compétence de l'écoulement	Très élevée	Faible à modéré
Compétence de l'écoulement de l'amont vers l'aval	Diminution rapide	Diminution lente

III.7. CONCLUSION :

a. Critères de reconnaissance de dépôt fluviatiles anciens : Les sédiments fluviatiles sont caractérisés par :

- Une forme **lenticulaire**.
- Les **galets** sont **usés et aplatis**, on admet néanmoins que leur **aplatissement** est **moins grand** que dans le cas des **galets littoraux** ;
- Les **sables** sont **mal ou bien classés, selon la longueur du transport**.
- Les **grains** sont **peu usés ou anguleux** et montrent des **traces de chocs**.
- La proportion d'argile est toujours notable. Les conglomérats et les grès contiennent une fraction de matrice.
- Les siltites et argilites présentent souvent des horizons de **paléosols** avec des **traces de racines**.
- Les **séquences fluviatiles** sont généralement **granodécroissantes** (elles sont dites **positives**), avec un niveau de **galets à la base** et des **limons au sommet**.
- Parmi les structures sédimentaires, on trouve en particulier des **rides lingoïdes** (en forme de langue) et **des grands litages obliques** quand le réseau est méandrique.
- Les structures orientées (**litage oblique, imbrication**) montrent un courant en moyenne **unidirectionnel**.
- Les **fossiles** sont généralement **absents**, on observe seulement des **traces d'activité organique** dans les limons.

b. Intérêt économique :

b.1. Les dépôts torrentiels :

- Les lobes torrentiels se collent ou s'anastomosent pour former un grand éventail aux débouchés des vallées. Ces éventails forment une plaine d'alluvions qui **vont être propice à la culture**.

- De point de vue pétrolier, **les cônes alluviaux souvent mal classés** ne constituent pas toujours **de bons réservoirs**.

b.2. Les dépôts fluviaux :

- Les dépôts fluviaux fournissent des **bons réservoirs hydrocarbures**.
- Les **dépôts en tresse** correspondent généralement à **d'excellents réservoirs** si les sables n'ont pas été cimentés lors de la diagenèse.
- Dans **les systèmes méandriformes** les qualités pétrophysiques et les dimensions des appareils vont beaucoup varier dans l'espace.
- Le milieu fluvial peut aussi constituer, **en plaine alluviale**, un **milieu générateur de matière organique in situ** comme **les charbons**.
- Il est le **vecteur de transport vers le milieu marin** des **debris végétaux** terrestres qui vont constituer une des grandes classes des **kérogènes**.

Exemples en Algérie (Fig.118):

Bassin de Berkine : Le réservoir d'hydrocarbure du **Trias Argilo Gréseux Inférieur** de Hassi Berkine Sud (**TAGI-HBNS**) est marqué par les **dépôts de nature fluviale**.

Bassin d'Illizi : Le **Cambro-Ordovicien** est représenté principalement par des dépôts **fluvio-deltaïques** pour le **Cambrien** et de **quartzites** pour l'**Ordovicien**.

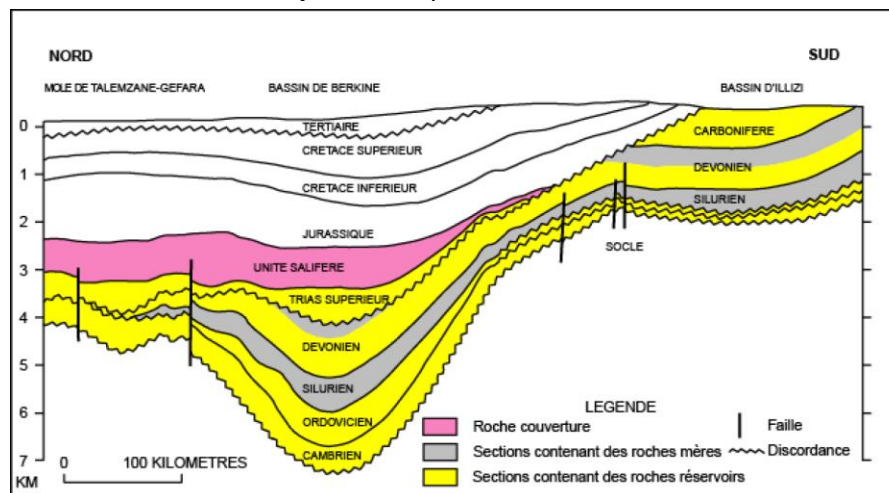


Fig.118. Coupe géologique Nord-Sud à travers les bassins de Berkine et d'Illizi

- **Les placers alluviaux** : Le courant violent déplace les alluvions, un brusque ralentissement du courant les dépose en les classant selon **leur densité** et **leur volume**. L'or se trouve déplacé, classé et déposé en même temps que des graviers ou des grains de sable beaucoup plus volumineux (**Fig.119**).

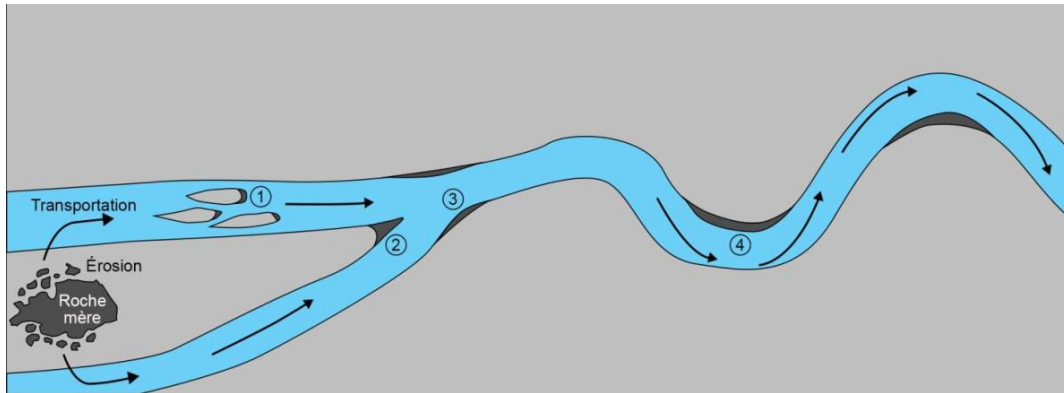


Fig.119. Les lieux de sédimentation préférés des placers fluviaux

- 1** : Derrière les bancs longitudinaux (îlots) (les obstacles).
- 2** : Chenal d'écoulement.
- 3** : Bancs latéraux.
- 4** : Dépôts de point bar (Courbure intérieure d'une rivière).