

Introduction**I. L'attaque du sol en surface (l'eau en surface)****A. L'action des précipitations :**

- Relation établie par W.D.Ellison (Américain)
- Relation établie par Wischmeier et Smith (américain) :

B. L'action des eaux courantes (le ruissellement et l'écoulement) :**1) Le ruissellement :**

- a) Les types de ruissellement :
- b) Activité érosive du ruissellement :
- c) Action morphogénique du ruissellement:
- L'ablation
- Le transport
- L'accumulation :
- d) Les facteurs de l'érosion du sol par l'eau

2) L'écoulement :

- a. Les fleuves et les rivières :
- b. Les torrents et les oueds :
- c. Origine des cours d'eau :
- d. Notion hydrodynamique :
- e. Les différents types d'écoulement
- f. Ecoulement et transport des matériaux : l'activité des eaux courantes

3) L'action érosive des eaux courantes :

- L'action érosive des eaux de pluie et de ruissellement
- L'action érosive des cours d'eau :
- L'érosion par ces cours d'eau :
 - 1/ l'érosion verticale :
 - 2/ l'érosion régressive
 - 3/ l'érosion latérale

4) La sédimentation fluviale :

- Les différents stades d'un cours d'eau
- Ces dépôts ou ces accumulations se répartissent en :
 - A- cône de déjection
 - B- lobe convexe des méandres
 - C- les terrasses alluviales
 - D- les nappes alluviales
 - E- les estuaires et les deltas
- Caractères des dépôts fluviaux :

Introduction

Les roches se décomposent sous l'action d'agents atmosphériques ; la température et la pluie.

Les variations de température et d'humidité provoquent dans les roches des dilatations et des contractions dues à des alternances de gel et de dégel ou à des variations de la teneur en eau : c'est la désagrégation mécanique.

L'eau de pluie plus ou moins chargée de CO_2 (ainsi que d'autres éléments) en traversant la couche superficielle du sol, dissout une partie de leurs éléments minéraux ; c'est l'altération chimique. Le résultat de ces deux phénomènes (désagrégation mécanique et altération chimique) est le démantèlement des éléments rocheux. Ils sont réduits jusqu'à la taille des sables, limons ou argiles.

En se formant le sol (produit né de la décomposition des roches plus la matière organique + micro-organismes) s'expose à l'action des agents atmosphériques qui ont une action érosive assez puissante : le vent et l'eau de pluie.

L'eau de pluie lorsqu'elle tombe et ruisselle après sa chute, déplace, entraîne des éléments terreux et les transporte sur des distances plus ou moins grandes (souvent jusqu'à la mer). Ce phénomène constitue la phase première du processus par lequel se forme le relief à travers les temps géologiques (façonnement des versants).

Lorsque la vitesse d'usure du sol est lente, le phénomène est normal, un équilibre s'établit (un équilibre entre la vitesse de formation par décomposition des roches et la perte des éléments par l'usure) c'est une érosion lente.

Lorsque l'équilibre est rompu, les actions érosives deviennent plus importantes, c'est l'érosion accélérée.

L'érosion du sol par l'eau présente sous deux formes :

L'eau de surface : l'eau attaque le sol en sa zone superficielle (les éléments terreux entraînent séparément les uns des autres).

L'eau infiltrée : l'eau attaque le sol sur toute épaisseur de son profil (entraînement de toute une masse de terre).

I. L'attaque du sol en surface (l'eau en surface)

L'eau de pluie tombée sur le sol est d'abord absorbée par la terre. Sur une formation meuble l'absorption est importante. Sur une roche cohérente peu perméable (ex granite) l'absorption faible.

L'absorption est aussi faible quand la terre est imperméabilisée en cas de formation d'une croûte de battance liée au splash ou dans les régions à faible couvert végétal où les pluies sont très irrégulières.

Le splash : est dû à l'impact des gouttes d'eau sur le sol. Certain gouttes des régions tropicales ont une énergie cinétique importante. Leur rôle sur les roches dures est négligeable. En revanche les roches meubles ou les sols de toutes les régions du monde sont concernés par le splash.

En particulier dans les régions de culture intensive ; les labours laissent le sol entièrement dénudé. Les gouttes de pluie provoquent le tassement et l'étalement du niveau superficiel du sol meuble. Après quelque pluie le sol est imperméabilisé. La croûte superficielle s'appelle la croûte de battance ; l'eau ne s'infiltré plus dans le sol mais elle ruisselle.

Cette forme d'érosion est quasi générale à la surface du globe et comporte deux actions :

1- L'action des précipitations

2- L'action du ruissellement

A. L'action des précipitations :

Les gouttes de pluies qui s'écraser au sol possèdent une énergie cinétique qu'est d'autant plus élevée que la taille des gouttes, par conséquent leurs vitesses de chute sont plus grandes. Elles exercent ainsi (à leur chute) un effet mécanique qui se complétera après, par un effet physico-chimique. (Ainsi les précipitations se caractérisent par le diamètre des gouttes de pluie et l'intensité des pluies)

Si les gouttes sont petites et le sol relativement sec il se produit un choc mou ((pas de destruction mécanique)

Ce phénomène qui est l'action des gouttes de pluies est appelé splash.

L'étude de l'action des gouttes d'eau a été étudiée en France et aux Etats-unis.

Il en résulte les relations suivantes :

1- Celle établie par W.D.Ellison (Américain)

$$E = K \cdot V^{4.33} \cdot D^{1.07} \cdot I^{0.65}$$

E : poids (gamme) de terre déplacé en 30 minutes

K : coefficient dépendant du sol

V : vitesse de chute des gouttes en pied-seconde (grande vitesse)

D : diamètre des gouttes en mm

I : intensité de la précipitation en pouces par heures.

1pied = 12 pouces.

Cette relation montre l'influence qu'exerce la vitesse de chute, la taille des gouttes d'eau sur dispersion mécanique du sol. Ce sont les pluies violentes qu'ont un pouvoir destructeur. Les pluies fines et lentes sont très peu érosives.

Le diamètre des gouttes de pluies varie de 0.5 mm pour les pluies fines à plus de 3 mm pour les grosses pluies.

Les facteurs de l'érosion selon cette relation (Ellison)

Ainsi la quantité de terre déplacée par la pluie dépend de l'intensité de la pluie (I), l'influence du sol (K), la pente et la végétation.

- 1- **L'intensité des précipitations (I)** est un facteur très important de l'érosion du sol. Elle est à l'origine de la formation du matériau entraînable en priorité par le ruissellement.
- 2- **Nature du sol (K)** : ce coefficient s'exprime par la détachabilité du sol. C'est-à-dire sa sensibilité à l'action des gouttes de pluie. Cette détachabilité des sols va à l'inverse de leur cohésion. Elle dépend de leur texture et la stabilité de leur structure.
 - Détachabilité très forte lorsque la cohésion est très faible. Exemple sol sableux, détachabilité élevée : cohésion faible parce que les particules sont séparées les unes des autres)
 - Détachabilité faible : exemple l'argile à cohésion très grande.

La nature du sol apparaît ainsi comme un second facteur de son érosion par l'eau.

3- La pente et la végétation (V) :

Si le terrain est horizontal, les transports qui s'effectuent en tous sens sous l'action des gouttes d'eau se compensent mutuellement, l'acte ne s'exprime pas d'une façon nette. Si au contraire, le terrain est incliné le parcours de l'eau qui rebondit est plus grand dans le sens de la pente qu'en sens inverse. Le résultat est un transport de terre vers le bas.

Pente %	Déplacement vers le haut %	Déplacement vers le bas %
0°	50	50
8%	35	65
15%	24	76
30%	15	85
40%	10	90

La végétation joue un rôle protecteur vis-à-vis du sol en interceptant les gouttes d'eau. Celle-ci ne touche pas le sol avec leur force vive. Elles s'égouttent d'une faible hauteur sans produire un effet mécanique marqué.

Celle établie par Wischmeier et Smith (américain) :

Elle vise à relier les transports solides à l'importance relative des différents facteurs mesurables.

E : R.K.SL.C.P

E : signifie que l'érosion mesurée ou prévisible (E en t/ha).

Est une fonction multiplicative de cinq facteurs :

R : indice d'agressivité climatique

K : érodibilité du sol

SL : indice topographique (inclinaison et longueur de la pente).

C : couverture du sol et techniques culturales utilisées.

P : pratiques antiérosives classiques.

L'intensité et le paramètre principal qui lie la pluie à l'érosion. Elle intervient de deux façons :

- Par la saturation momentanée de la porosité du sol
- Par l'énergie cinétique que dissipent les gouttes de pluie, qui détruit la structure de la surface du sol.

Le ruissellement ne peut se produire que lorsque le débit de la pluie dépasse les possibilités d'absorption du sol.

Le diamètre des gouttes donc ; leur masse, leur vitesse et leur énergie cinétique augmentent avec l'intensité des précipitations.

Les fortes intensités aboutissent à des phénomènes d'engorgement et de battance (formation de croûtes de quelque cm ou des pellicules de quelque mm très peu perméables).

Importance de l'intensité maximale des pluies sur l'érosion des sols nus ou peu couverts.

Pluies de forte intensité qui durent peu de temps sur un sol sec = érosion faible.

Lorsque se conjuguent une fréquence élevée des précipitations, un sol humide, des pluies importantes (100-250 mm /24 h) et de forte intensité sur de longues périodes ; on observe des phénomènes d'érosion catastrophique (peuvent dépasser le total des pertes durant le reste de l'année).

Wischmeier a retenu l'intensité maximale en 30mm (I30). Comme l'une des caractéristiques de la pluie les mieux liées aux phénomènes d'érosion.

1- L'indice d'agressivité climatique (R)

$$R = E_c \cdot I_{30} \quad R = 1 \text{ à } 10$$

Ou E_c : énergie cinétique des pluies unitaires. I_{30} : intensité maximale durant 30 mn (mm/h)

2- L'érodibilité du sol (K) :

$$K = E / R \cdot SL \cdot 2.24 \quad K = 1 \text{ à } 12$$

E : érosion en tonne /ha/an

R : indice d'agressivité climatique

SL : le facteur topographique

2.24 : coefficient pour passer des unités décimales (t/ha) à l'unité anglaise.

3- inclinaison et longueur de la pente (SL) :

Tous les auteurs s'accordent pour reconnaître le rôle important de la pente sur les phénomènes d'érosion.

$$SL = \sqrt{L} / 100 \cdot (0.76 + 0.53 S + 0.076 S^2)$$

L: longueur de pente exprimée en pied (1pied = 30.48cm)

S : la pente en %

Pour les pentes courantes (0.1 à 15%) d'une longueur de 60m. la variabilité de SL se situe de 1 à 25.

4- **Couverture du sol (C)** : Assuré par végétaux (ou cailloux). A une importance sur celle de tous les facteurs qui conditionnent l'érosion. Quels que soit l'agressivité du climat, la pente et le type de sol. Les phénomènes d'érosion seront médiocres si le sol est couvert à plus de 90%. Variabilité de C = 1 à 1000.

5- **Les pratiques antiérosives classiques (P)** : Qui tentent de limiter mécaniquement la longueur de la pente et d'augmenter l'infiltration. (banquettes, terrasses et fossés de diversion etc ...) peuvent contribuer à réduire l'érosion au cas où la végétation est peu rigoureuse. P= 1 à 10

B. L'action des eaux courantes (le ruissellement et l'écoulement) :

L'eau, sous toutes ses formes, est l'agent d'érosion le plus actif et le plus efficace. Le plus souvent, l'érosion du relief est le résultat du travail de l'eau courante, c'est-à-dire de l'eau animée d'un mouvement. Ce type de transformation du relief sous l'action des eaux courantes est **l'érosion fluviale**.

Pour bien comprendre ce phénomène, il faut savoir que toutes les eaux de la Terre ont tendance à retourner à la mer. A partir du moment où les précipitations atteignent le sol, l'eau parcourt, sous forme de torrents, de rivières et de fleuves, un long chemin au cours duquel elle ruisselle, creuse, arrache, transporte et dépose de grandes quantités de débris de toutes sortes, **les alluvions**. Parvenue à la mer, elle s'évapore, se condense sous forme de nuages et retombe au sol, puis **le cycle de l'eau** recommence.

Selon **la pente du terrain** (raide ou douce) et **sa nature** (perméable ou imperméable), **la vitesse de l'eau** (rapide ou lente) et **son volume** (fort ou faible), les cours d'eau ont des effets différents sur le paysage.

1) Le ruissellement :

Le ruissellement consiste en un écoulement d'eau de pluie ou de fusion nivale (ou glaciaire) à la surface des versants.

On le qualifie d'élémentaire en raison de son développement sur des espaces restreints (réduits) et du caractère discontinu de son activité.

Après sa chute, l'eau de pluie peut s'infiltrer, s'évaporer ou rester à la surface du sol.

L'état de perméabilité du sol règle la répartition entre l'eau qui s'infiltré et l'eau qui s'écoule (abstraction de l'eau évaporée).

Le ruissellement se produit lorsque la perméabilité du sol (roche) et sa teneur en eau intérieur ne lui permettent pas d'accueillir toutes les précipitations tombées. L'excès d'eau ruisselle.

a) **Les types de ruissellement :**

➤ **le ruissellement concentré :**

Caractérisé par un écoulement linéaire de l'eau. Le ruissellement concentré construit aussi **des petits cônes d'accumulation** aux débouchés des ravins. Ils comportent des **lentilles de cailloux** peu façonnés, dont le calibre moyen décroît vers l'aval. Il se caractérise par un écoulement linéaire de l'eau et par l'aptitude des filets d'eau à inciser la surface du sol, à y sculpter des talwegs en **miniature, ravineaux et rigoles**.

Les formes issues du ruissellement concentré sont des incisions locales, linéaires, de petits lits à écoulement intermittent, généralement sporadique.

- **Le ruissellement diffus** : l'eau se partage en minces filets anarchique (changement de cours lors des différentes périodes d'écoulement).
 - Lorsque ces filets se multiplient et s'étalent au point de fusionner sur un large espace, il y a formation d'un écoulement en nappe (aléatoire). L'écoulement prend la forme d'une mince pellicule d'eau ruisselant.
 - La fusion lente de la neige ou de la glace favorise le ruissellement diffus.
 - La raideur de la pente favorise sa concentration (vu la vitesse qu'elle lui impose).

b) Activité érosive du ruissellement : le ruissellement est un agent d'attaque du sol et un agent transporteur des éléments arrachés.

- **Agent d'attaque** : en détruisant la roche ou le sol à l'aide de sa charge solide. Les particules qu'il transporte heurtent le sol avec une force vive. Elles exercent sur lui un effet mécanique qui permet le détachement d'autres particules. (l'usure peut être forte).
 - cette action du ruissellement s'ajoute à celle de la pluie et du gel. C'est la phase première du mécanisme d'attaque du sol en surface : la formation d'éléments susceptible d'être entraînés.
 - **Agent transporteur** : c'est la seconde phase du phénomène d'érosion du sol : le transport des éléments.
 - Les plus faibles irrégularités du terrain provoquent la formation d'une multitude de filets d'eau qui s'écoulent suivant la ligne de plus grande pente.
 - Ces filets sont des veines liquides ayant en tout point : une densité, une épaisseur et une pente. L'épaisseur et la pente déterminent une vitesse. Ils possèdent donc une capacité d'entraînement et une puissance de transport d'éléments solides.
 - Le ruissellement transporte des particules qui ne dépassent guère la taille des graviers. Les plus fines (argileuse, limoneuse) sont transportées (déplacées) en suspension, les sables par saltation et les graviers par traction (roulement) sur le sol.

Dans les régions sèches, arides et méditerranéennes ; les coefficients d'écoulement atteignent des valeurs élevées.

- Le ruissellement se développe sous toutes ses formes.
- La rapidité des pluies empêche l'infiltration et l'évaporation.
- Ailleurs le ruissellement entre en concurrence avec les mouvements de masse.
- Le ruissellement ne peut se déclencher que si le bilan hydrique présente un excédent après les prélèvements de l'infiltration et de l'évapotranspiration. exemple : forêts tropicales humides.
- Le ruissellement est diffus (pluie abondantes, sol engorgé).

Dans les milieux froids des hautes latitudes : blocage de l'infiltration des eaux nivales et glaciaires dû à la présence d'un sol gelé (ruissellement diffus).

c) Action morphogénique du ruissellement :

Elle s'exprime par l'ablation, le transport et l'accumulation.

1. **L'ablation** : résultent de l'enlèvement des éléments des roches meubles et des formations superficielles.
 - **Avec le ruissellement concentré** elle s'exerce linéairement. Elle crée des ravineaux, des ravines ou des ravins selon la profondeur de l'entaille.
 - **Rigoles** lorsque la profondeur est de l'ordre du décimètre.
 - **Ravineaux** lorsqu'elle est un peu plus grande.
 - **Ravines** lorsqu'elle est de l'ordre du mètre.
 - **Ravins** qui ont plusieurs mètres de profondeur, parfois une dizaine. Le ravin a une forme particulière, avec des berges abruptes et un fond étroit, entièrement occupé par l'écoulement en période de fonctionnement.



Le ravin des balcons du Ghouffi (Batna-Algérie)

Le recoupement vif des versants détermine un modelé de dissection en crêtes aigues régulièrement espacées (bad-land). **En terrain argileux ou schisteux**, après une forte pluie, les eaux empruntent les fissures du sol, les élargissent progressivement en chenaux parallèles.

En même temps, les têtes des chenaux reculent vers l'amont (érosion régressive).



Formation de "bad lands" par érosion régressive dans un versant

- avec le **ruissellement diffus** : action exercée en surface. Elle est la conséquence de l'instabilité de ses filets d'eau qui se traduit par des réseaux dense de rainures (profondeur centimétrique).
- 2. **Le transport** : s'effectue par suspension, saltation ou par traction. Les forces qui interviennent dans le transport de la charge solide sont : **la gravité, la force du courant, et les turbulences** liées au fond. Ces forces déclenchent des **processus divers** selon leur **intensité** et le **calibre** des particules transportées.

On distingue 3 modes de transport des sédiments :

Le charriage

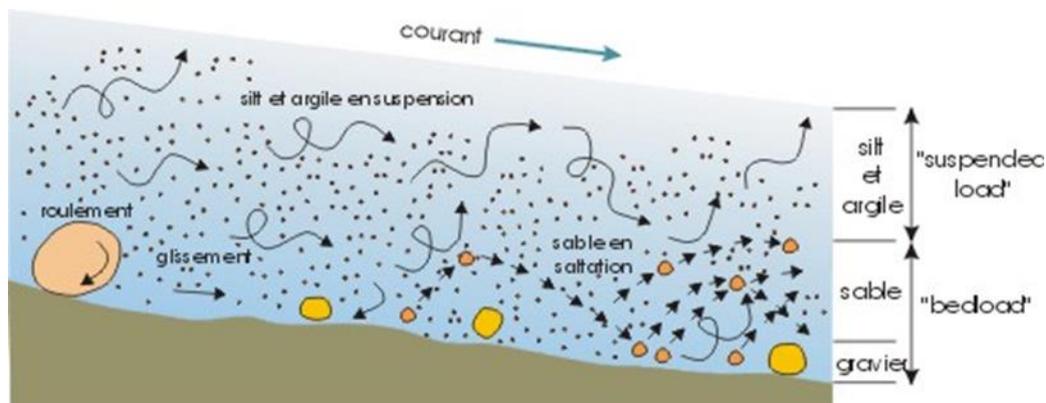
Il désigne en géomorphologie un processus de déplacement des sédiments sous l'effet du vent ou de l'eau. Il affecte les particules les plus massives qui restent en contact avec le sol, se déplacent de manière relativement lente et discontinue.

La saltation

La saltation est un processus de transport de sédiment par l'eau ou par le vent. Entraînées par le fluide, les particules (de la taille de sable ou de gravier) se déplacent par sauts.

La suspension

La suspension est le transport des sédiments dans la masse du flot.



Les modes de transport des sédiments dans un cours d'eau

3. L'accumulation :

- Le ruissellement concentré construit de petits cônes d'accumulation aux débouchés des ravins et ravines.
- Le ruissellement diffus étale sa charge en glacis de colluvions argileuses et sableuses.

d) Les facteurs de l'érosion du sol par l'eau :

- ✓ **Le climat** : les précipitations interviennent par leur intensité dans la formation du ruissellement.
- Précipitation intense : tombe dans un temps bref, une hauteur d'eau élevée, pénétration de l'eau dans le sol est toujours insuffisante dans ces conditions pour assurer son infiltration, le ruissellement apparaît en un temps très court.

- La durée et l'intensité de la pluie règlent l'importance du ruissellement une fois que celui-ci est établi. Il sera d'autant plus abondant qu'il sera alimenté. L'épaisseur des filets d'eau est facteur de leur vitesse qui est elle-même un facteur de leur capacité d'entraînement.
- La fréquence précipitations : elle s'épare à l'action exercée par la durée des pluies.
- Lorsqu'une pluie de longue durée sature le sol, la réduction et l'annulation de l'infiltration provoque le ruissellement.
 - ✓ **Le sol** : c'est le coefficient K qui conditionne le ruissellement, plus le sol est poreux (il possède des espaces pénétrables par l'eau) plus la valeur de K est grande, dans ce cas il faut que les pluies aient un niveau d'action très élevé pour que le ruissellement se produise. Lorsqu'au contraire la structure et la porosité du sol sont mauvaises, la valeur de K faible et le ruissellement se produit facilement.
 - ✓ **Le relief** : la vitesse du ruissellement est étroitement liée au degré de pente. Lorsque celui-ci augmente, l'érosion s'accroît toujours. La longueur de la pente est un facteur de l'érosion par l'eau, plus la longueur de la pente est grande plus la quantité d'eau qui peut parvenir de l'amont est importante.

2) L'écoulement :

Les eaux courantes se concentrent linéairement ou s'étalent en surface, soit pérennes, intermittentes ou spasmodique, on distingue respectivement les fleuves et rivières, les torrents et les oueds, et le ruissellement diffus.

L'écoulement superficiel est conditionné par saturation du sol superficiel, sinon il y a infiltration qui dépend de :

- L'importance en masse et l'intensité des précipitations.
- La saturation du sol dépend de la taille des débris, de la quantité d'argile continue, de la plasticité et de la perméabilité du sol. On distingue des seuils de saturation pour chaque type de sol végétal.
- La végétation y joue un grand rôle sur un sol nu, le ruissellement se fait plus rapidement, il reste difficile dans les prairies.

Dans un bassin versant donnée, la quantité d'eau tombée en précipitation n'est pas la même que la quantité d'eau qui s'écoule. L'eau est utilisée par l'évaporation, les végétaux et l'infiltration.

g. **Les fleuves et les rivières :**

Ils correspondent à **des écoulements pérennes concentrés** dans un lit et souvent organisés en réseaux dont le dessin est parfois déterminé par la structure géologique.

En s'enfonçant par érosion, les cours d'eau creusent des vallées qui possèdent un profil caractéristique en "V".

En terrain massif et dur (granite), la tendance est à l'enfoncement vertical (gorges).

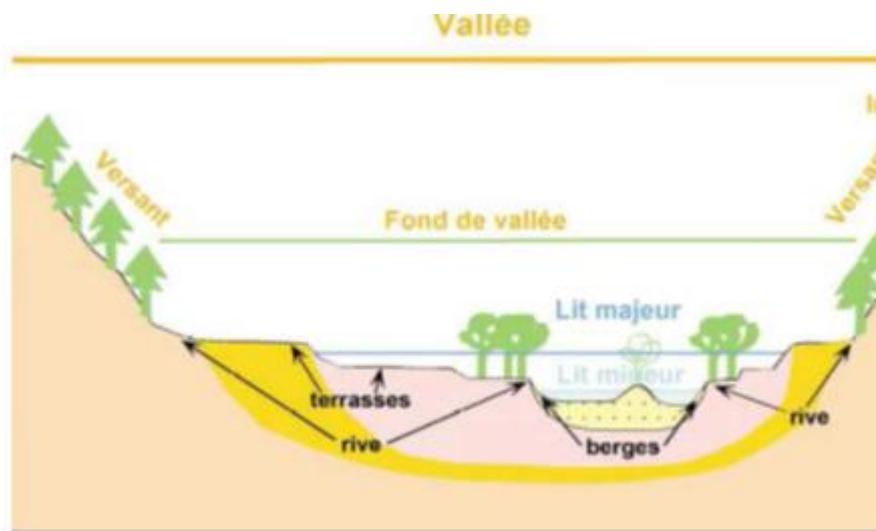
Dans la plupart des cas, le lit des cours d'eau est délimité par **des berges**, définissant **le lit mineur**.

Au-delà des berges se situe la plaine d'inondation ou **lit majeur**.

Dans certains cas, un **chenal d'étiage** apparaît dans le lit mineur

Une terrasse se forme chaque fois que le cours d'eau s'encaisse dans ses propres alluvions (reprise d'érosion): la surface du lit majeur est alors suspendue au-dessus du cours d'eau.

Si le phénomène se reproduit à **plusieurs reprises**, on a formation de **terrasses étagées** ou **emboîtées**. La terrasse la **plus basse** est toujours la **plus récente**.



Unités morphologique associées à un cours d'eau au sein de son bassin versant

h. Les torrents et les oueds :

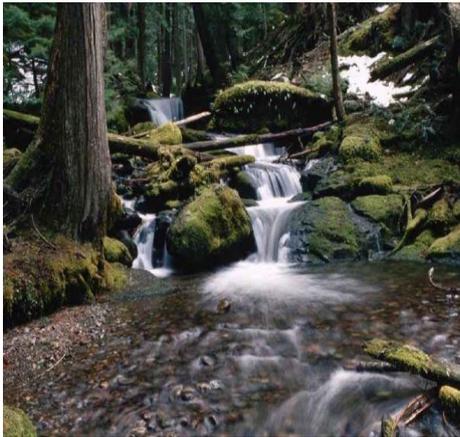
En l'absence d'alimentation par les sources, entre les pluies, l'écoulement linéaire devient très discontinu. Le torrent et l'oued appartiennent à cette catégorie.

Le torrent est un cours d'eau épisodique de montagne.

Un torrent de montagne, dont les eaux coulent avec **violence** à cause de la **forte pente** du terrain, arrache et transporte une grande quantité d'alluvions, creusant une vallée en V, étroite et profonde, parsemée de rapides, de cascades et de chutes.

Le torrent est un agent d'érosion fluviale très important parce qu'il exerce des frictions sur les côtés et au fond des cours d'eau.

L'oued correspond à un écoulement spasmodique de région aride, temporaire ou saisonnier.



Un torrent



Un oued saharien

i. Origine des cours d'eau :

Leur origine est liée aux précipitations atmosphériques d'une façon directe ou indirecte :

- D'une façon direct : par le ruissellement pendant ou après les pluies et la fonte des neiges. Le phénomène devient très important dans les régions sans couverture végétale.
- D'une façon indirect : par les eaux infiltrées dans le sous-sol, dont les sources assurant un régime régulier aux écoulements. Et les glaciers dans les régions à neiges pérennes qui favorisent le torrent glaciaire.

j. Notion hydrodynamique :

Après le ruissellement, les eaux de pluies se rassemblent dans un chenal et s'écoulent vers des cours d'eau plus importants.

- Ils se dirigent généralement vers la mer, on parle alors **d'exorésisme**.
- Ils se dirigent vers des lacs ou des lagunes (dans des dépressions fermées), on parle alors **d'endorésisme**.
- Lorsqu'une région est dépourvue de réseau hydrographique organisé, on parle **d'arésisme** (région aréique).
- Les pays humides se caractérisent par l'exorésisme et les pays aride par l'endorésisme et l'arésisme.
- L'activité géologique d'un cours d'eau est déterminée par le débit maximum le plus fréquent. exemple : lors des crues exceptionnels, l'érosion et la sédimentation sont plus active on peu de temps (quelques heures) qu'an long des quelques années qui les avaient précédées.

k. Les différents types d'écoulement

Il existe dans les cours d'eau plusieurs types d'écoulement. Selon leur vitesse on a :

- **Le flux ou l'écoulement laminaire :**

Les filets d'eau se déplacent parallèlement, c'est-à-dire qu'ils glissent en lames d'eau les unes sur les autres. Ce type s'effectue surtout dans les rivières tranquilles.

- **Le flux ou l'écoulement turbulent :**

De manière générale, les eaux courantes sont toujours caractérisées par une certaine agitation. Ce mode d'écoulement se développe lors des crues. Les filets d'eau décrivent des trajectoires compliquées (en forme de tourbillon). Leurs axes sont verticaux le long de berges et horizontaux au voisinage du fond.

C'est la turbulence qu'on doit la totalité du travail érosif des eaux courantes.

I. Ecoulement et transport des matériaux : l'activité des eaux courantes

L'activité des eaux courantes réside dans le transport des matériaux.

- ❖ **La compétence** de l'écoulement se définit par la masse des plus gros éléments qu'il réussit à déplacer.

- ❖ **La charge** : c'est-à-dire les matériaux transportés

Elle se définit par la masse des matériaux et leur calibre (diamètre). La charge limite d'un courant est le poids maximum qu'il peut transporter.

C'est-à-dire c'est le débit solide **maximum**. La charge solide (maxima que peut transporter un cours d'eau en un point donné par unité de surface et pendant l'unité de temps (40 kg / m²/ s).

Le débit solide ou charge (**moyenne**) : la quantité de matériel qui traverse la section moyenne pendant l'unité de temps (40kg /s).

- ❖ **La puissance :**

Toute masse d'eau en mouvement représente une certaine puissance. C'est la puissance brute.

$P = s \cdot v^2$ (s : la section mouillée, v : la vitesse d'écoulement).

La puissance nette : est la puissance brute – (puissance absorbée par les frottements + puissance absorbée par le transport de la charge).

1- Si la puissance absorbée par les frottements et la puissance absorbée par le transport de la charge sont inférieures à la puissance brute, **la puissance nette est positive**.

Cela veut dire que le cours d'eau peut creuser au point donné.

- En creusant : le cours d'eau arrache des matériaux à son lit pour les prendre en charge. Donc sa charge augmente cela veut dire que l'énergie dépensée pour le frottement augmente aussi.
- En creusant : le cours d'eau tend à diminuer sa pente à l'aval par conséquent sa vitesse diminue ainsi que sa puissance brute.

- Il arrive un moment où **la puissance nette sera nulle**. Parce que toute l'énergie est dépensée par les frottements et le transport de la charge. on a alors :

Puissance brute = puissance absorbée par les frottements + puissance absorbée par le transport de la charge.

Puissance nette = 0 (le cours d'eau ne creuse plus, mais il est capable d'assurer tout le transport de sa charge et ne dépose rien).

- 2- Si la puissance absorbée par les frottements et la puissance absorbée par le transport de la charge (en un point) dépassent la puissance brute, **la puissance nette sera négative**. cela veut dire que le cours d'eau doit alors abandonner sur place une partie de sa charge.
 - ❖ **Travail** : le rapport entre puissance et charge, nous permet de caractériser le travail de l'eau qui s'écoule.
 - Si la puissance est supérieur à la charge le lit est creuse.
 - Si la puissance équilibre la charge, le lit reste inchangé.
 - Si la puissance est inférieure à la charge, le lit est remblayé.
 - ❖ **Transport** : nous distinguons quatre modes de transport par les cours d'eau :
 1. Traction ou roulement des débris sur le fond (généralement des graviers et des sables).
 2. Suspension des grains fins (limons).
 3. Colloïdes (gels des minéraux).
 4. En solution vrais (chlorures bicarbonates).

Tous les transports des différents types de rivières sont favorisés par la présence de tourbillons à axe vertical horizontal ou oblique, causés par la forme du lit.

C'est à la turbulence qu'on doit la quasi-totalité du travail érosif accompli par les eaux courantes.

3) L'action érosive des eaux courantes :

L'érosion par les eaux courantes est un phénomène très complexe qui dépend de nombreux facteurs. Leur action comporte à la fois l'érosion, le transport et la sédimentation. Mais la destruction par l'érosion et l'édification par la sédimentation interviennent pour créer des formes morphologiques nouvelles.

➤ L'action érosive des eaux de pluie et de ruissellement

Leur rôle est très important car sont responsables du modelé des versants des vallées. L'action des eaux de ruissellement est variable suivant qu'on a affaire :

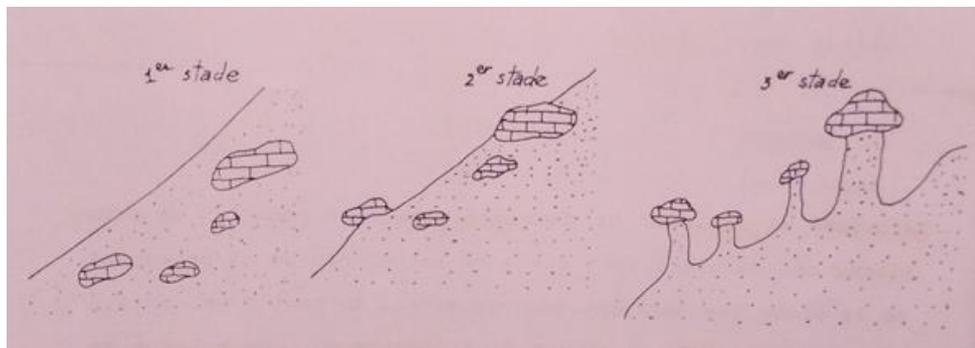
- ✓ **A une roche insoluble et dure (exp : granite)** : l'eau de ruissellement ne fait que déblayer une partie des matériaux fins résultant de l'altération de la roche.

- ✓ **A une roche plus ou moins soluble (exp : calcaire) :** les eaux de ruissellement attaquent le calcaire en l'usant et en le dissolvant par suite de leur richesse en gaz carbonique. On obtient ainsi des Lapièz qui se présentent sous forme de plateaux rocheux découpés en tous sens par de profonds sillons. Structures verticales suivant les lignes de plus grande pente. Les eaux courantes peuvent former des cupules de dissolution.



Lapièz = figures de dissolution sur calcaire pur

- ✓ **A une roche tendre (exp : argile) :** la roche est profondément attaquée et ravinée. Si dans l'argile sont réparties de gros blocs, ces derniers sont mis à nu par l'érosion et protègent de la pluie les terrains sous-jacents. Au bout d'un certain temps chaque bloc se trouve ainsi perché sur une colonne de terre. Ce sont **les cheminées de fées**. **Dans des dépôts très hétérogènes**, la présence de blocs très lourds rend l'argile sur laquelle ils reposent plus compacte et la protège du ruissellement.

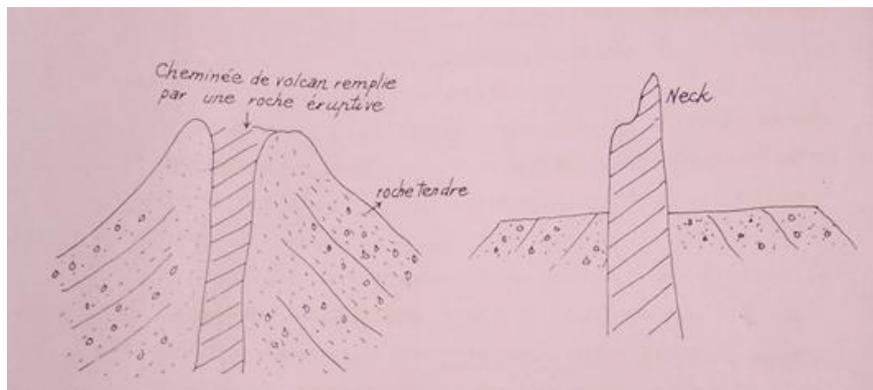


Formation de cheminées de fée



Cheminée de fée formée dans un éboulis (Haut Atlas, Maroc).

On explique de la même façon la formation des necks qui sont d'anciennes cheminées volcaniques dégagées par eaux de ruissellement.



Formation d'un neck

- ✓ **Dans 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.

En avant du front, il arrive que des reliefs isolés témoignent de l'ancienne extension de la formation résistante : ce sont des buttes-témoins.

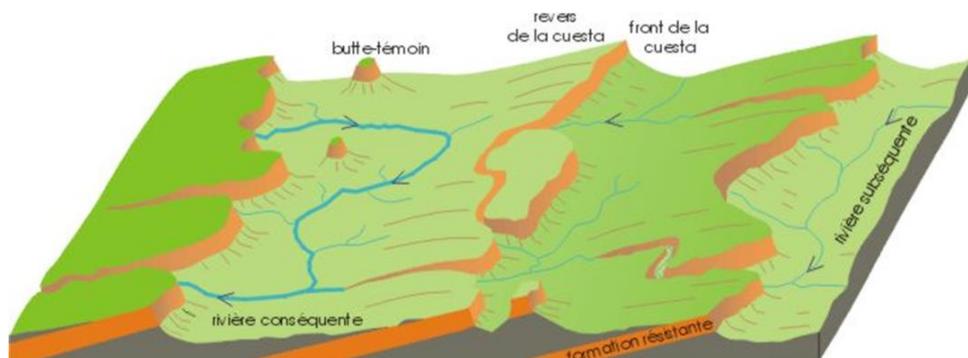


Schéma montrant la disposition théorique des cuestas et de leur réseau hydrographique.



Cuesta formée par les grès de la Formation reposant sur les argilites et siltites rouges plus tendres

Les conditions pour le développement d'un relief de cuesta sont les suivantes :

- Existence d'un **dispositif monoclin** (les couches ont le même pendage)
- **Alternance de roche de dureté différente** (roche dure au sommet, roche tendre en dessous)
- Attaque par un **agent d'érosion** (réseau hydrographique qui forme une cuesta par l'érosion)



Une cuesta vue d'avion (Utah, USA). Remarquer le réseau conséquent qui entaille profondément le front de la cuesta.

➤ **L'action érosive des cours d'eau :**

1- Les torrents :

Ce sont des cours d'eau temporaires, à pente rapide existant dans les régions montagneuses. Leur débit peut être très important en cas d'orage ou de fonte de neige.

Le lit fluvial diffère selon qu'on se trouve en amont ou en aval, selon que la rivière est importante et renforcée par de nombreuses confluences.

Les torrents sont des laboratoires naturels pour l'étude de l'érosion fluviale car il réunit toutes les conditions d'érosion maximum : ils creusent, transportent et déposent beaucoup.

Un torrent se divise en 3 parties :

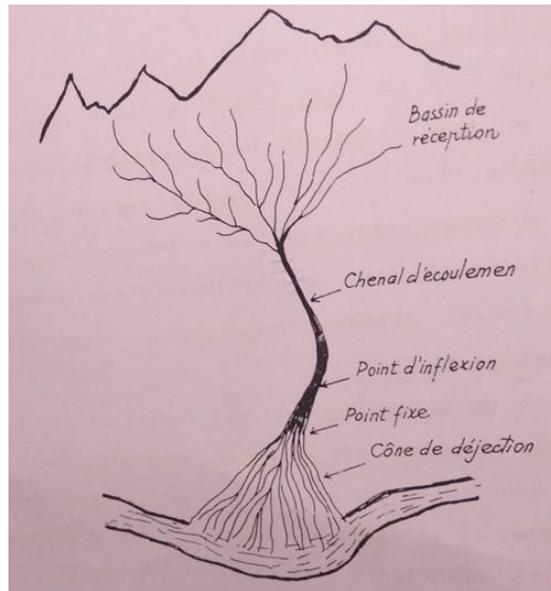
1/ le bassin de réception : il constitue le cours supérieur. C'est la zone de ravinement intense où se concentrent les eaux de nombreuses rigoles à la base du versant, formant un torrent à vitesse rapide. L'ensemble a une forme générale d'entonnoir.

2/ le chenal d'écoulement : c'est le lit du torrent, creusé dans la roche en place, quelque fois en gorge, il se trouve en bas du bassin de réception, souvent rectiligne, encaissé et possède une pente rapide. On y observe une active érosion verticale. Dans les roches dures, l'érosion

tourbillonnaire (les tourbillons d'eau chargée de sable, gravier etc... creusent des trous), provoque la formation de marmite de géants.

3/ cône de déjection : il est constitué par l'accumulation en bas de la pente, des matériaux entraînés par le torrent.

Il se construit où le torrent arrive dans la vallée principale, où il finit son cours (c'est le niveau de base).



Les différentes parties d'un torrent

La vallée principale est souvent de pente transversale faible. Aussi la pente du torrent a-t-elle été brusquement affaiblie et la vitesse de l'eau brusquement freinée.

Incapable de les transporter plus loin, (diminution de sa puissance) le torrent dépose les matériaux charriés. A la moindre crue ou orage, le torrent abandonne ce lit et crée un autre. Ainsi se forme un cône de déjection.

Les torrents sont dangereux par leurs crues subites pouvant provoquer des inondations catastrophiques.

Les moyens mis en œuvre pour lutter contre les torrents sont :

- Construction des barrages successifs dans le chenal d'écoulement pour briser la force du courant.
- Reboisement qui a pour effet de gêner le ruissellement empêchant ainsi le développement de bassin de réception.
- Percement de tunnels détournant les torrents dans des vallées adjacentes.

2- Les rivières et fleuves :

Comme nous l'avons déjà cité, on y distingue 3 parties :

1/ le cours supérieur : où la rivière possède une pente forte, une vitesse élevée (2 à 3 m/s). L'érosion y est active et les vallées encaissées.

2/ le cours moyen : où la pente et la vitesse sont plus faibles, l'érosion moins active et les vallées plus larges.

3/ le cours inférieur : la pente et la vitesse y sont très faibles et la rivière circule dans une large vallée à fond plat en décrivant de nombreux méandres, il se termine par un estuaire ou par delta.

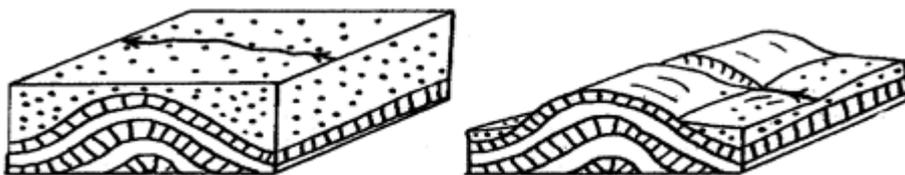
➤ **L'érosion par ces cours d'eau se manifeste de manière différente :**

1/ l'érosion verticale : tout creusement en un point du lit d'un cours d'eau a pour effet d'augmenter la pente vers l'amont (point haut) et de la diminuer vers l'aval (point bas). Par ablation et par dépôt, les eaux courantes façonnent le profil longitudinal de leur lit. Ce profil tend ainsi vers une courbe concave vers le haut, où la pente diminue de l'amont vers l'aval. La pente est telle que le fleuve ne creuse, ni n'alluvionne sensiblement. Cette courbe régulière est le profil d'équilibre, vers lequel tend le cours d'eau, sous l'effet de l'érosion verticale. Le profil d'équilibre est une courbe idéale réalisée sur les sections inférieures des cours d'eau vers les plaines de niveau de base.

Lorsque les cours d'eau s'enfoncent dans leur substrat, **deux mécanismes** sont possibles :

- **la surimposition** correspond au déblaiement progressif d'une couverture meuble par érosion.

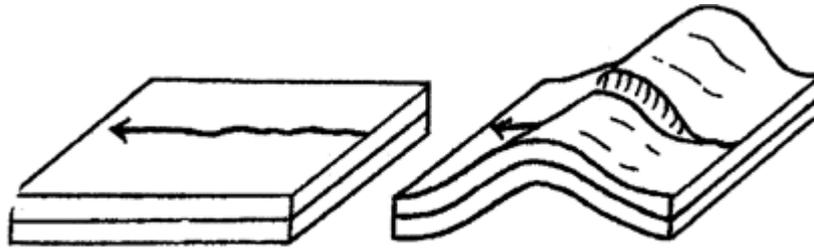
Rivière surimposée : la rivière s'écoule sur des sédiments récents ; lors de son approfondissement elle garde sa direction d'écoulement. Ce dernier reste non influencé par la nature des formations qui forment le substratum plissé.



Surimposition

- **l'antécédence** est le résultat de l'encaissement d'un réseau déjà formé par remontée progressive du substrat.

Antécédence : la rivière à garder sa direction d'écoulement telle qu'elle était avant la phase de plissement



Zone d'altération préférentielle (**faille**) : la présence d'une faille engendre une zone de plus faible résistance à l'érosion qui va se marquer par une dépression au niveau de la topographie, cette dépression pouvant être empruntée par un cours d'eau.

Si la faille est perpendiculaire aux structures plissées (faille transversale) la vallée constitue **une cluse**.

Cluse : lieu où une rivière recoupe perpendiculairement l'axe d'un pli.



L'érosion verticale de l'oued Ouacifs (Tizi Ouzou)

Tout **écoulement** d'eau possède une certaine **énergie**. Cette énergie dépend du débit et **de la vitesse**.

La vitesse est elle-même fonction de la **pente longitudinale du lit**.

Une partie de l'énergie du cours d'eau est utilisée par **le transport de la charge** (sable, galets,...); une autre partie est consommée par **les frottements internes** entre les filets d'eau, surtout si le régime est turbulent. Le surplus est disponible pour éroder.

En s'enfonçant par érosion, les cours d'eau creusent des vallées qui possèdent un profil caractéristique en "**V**".

2/ l'érosion régressive : L'action érosive de l'eau tend à remonter le long de la pente, de l'aval vers l'amont, c'est-à-dire dans le sens inverse de l'écoulement de l'eau.

Cet équilibre peut être brisé par l'enlèvement d'un obstacle (naturel ou artificiel) sur le cours d'eau ou par l'abaissement du lit de la rivière en aval pour différentes causes.

Les ouvrages artificiels tels que les barrages, les ponts, etc. sont susceptibles d'être affectés voire détruits par ce phénomène d'érosion régressive.

3/ l'érosion latérale : la formation des méandres et des plaines alluviales

En plus de l'érosion verticale, se produit dans les rivières une érosion latérale, conduisant à la formation d'une plaine alluviale.

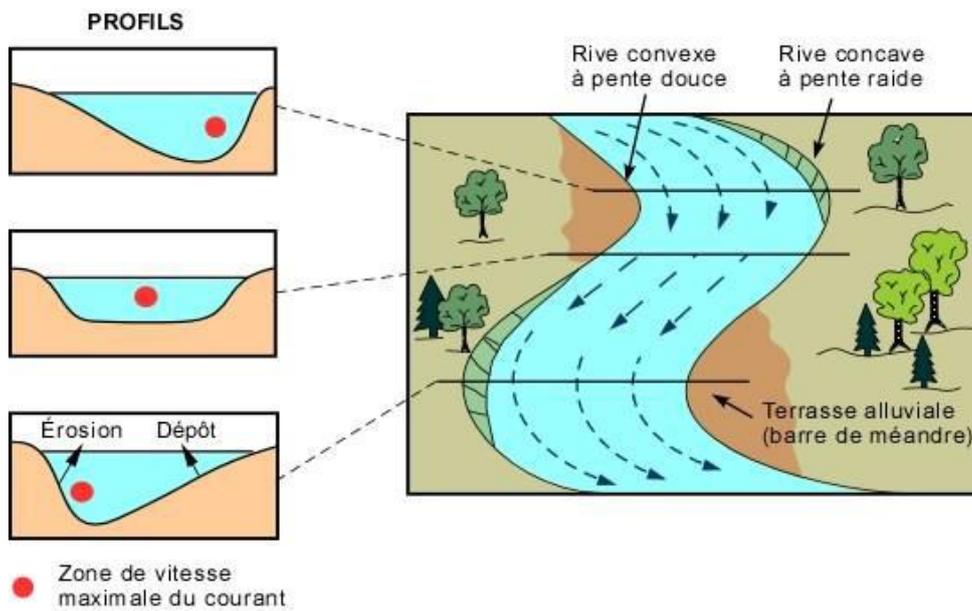
Le mécanisme de l'érosion latérale est lié principalement au développement des méandres.



Les méandres dans la vallée de la Soummam (Béjaia-Algérie)

Dans un méandre, **l'érosion se fait sur la rive concave**, à pente raide, là où la vitesse du courant est la plus grande, alors que **le dépôt se fait sur l'autre rive, convexe**, là où la vitesse du courant est plus faible, formant une terrasse alluviale ou barre de méandre .

Le couple érosion-dépôt entraîne une migration latérale du méandre, causant un élargissement de la vallée.



La formation des méandres est beaucoup plus répandue dans les plaines, là où la vitesse des eaux diminue et les écoulements divaguent.

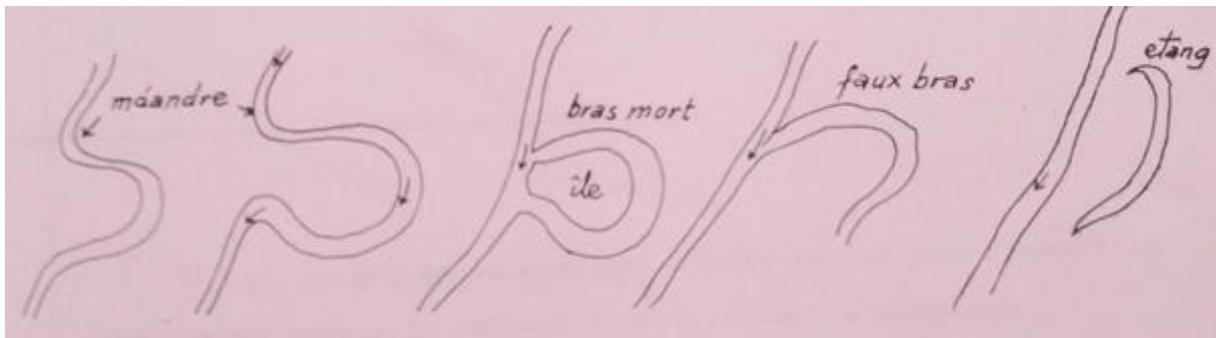


Formation des méandres par érosion de la rive concave et sédimentation sur la rive convexe. L'ensemble se déplace vers l'aval.

Recoupement de méandre et développement d'un méandre abandonné.



Exemple de méandre recoupé



Formation d'un étang à partir d'un méandre

4) La sédimentation fluviale :

C'est l'accumulation ou remblaiement. Le travail des cours d'eau s'achève par l'accumulation des matériaux transportés. Les dépôts qui s'accumulent dans les vallées fluviales ont une structure particulière qui les rend différents des autres dépôts (éoliens ou marins).

Les dépôts fluviaux sont appelés alluvions comme les limons, sable, graviers, galets, c'est une sédimentation détritiques.

➤ **Les différents stades d'un cours d'eau**

Le stade de jeunesse

Le stade de jeunesse d'une vallée fluviale se caractérise par du creusement qui conduit à la formation d'une vallée étroite en forme de V; les reliefs sont accentués le long du cours d'eau et on retrouve chutes, cascades et rapides.

Le stade de maturité

A l'étape de la maturité, le cours d'eau aplanit ses reliefs et diminue son gradient de pente; il commence alors à éroder latéralement, élargissant la vallée et créant, par ses dépôts, une plaine d'inondation. Cette dernière se construit par l'apport constant de sédiments issus de l'érosion en amont et par l'épandage dans la vallée de ces sédiments durant les périodes de débordement dues aux crues.

C'est l'étape où le cours d'eau élabore son profil d'équilibre et où l'érosion latérale succède à l'érosion verticale. Les vallées s'élargissent (en U) en formant des méandres.

Le stade de vieillesse

Le stade de vieillesse de la vallée est atteint lorsque celle-ci est beaucoup plus large que les plus larges méandres du cours d'eau. Les dépôts s'accumulent et le coefficient de sinuosité atteint sa valeur maximale.

C'est trois stades sont rarement atteint dans la nature à cause du rajeunissement des reliefs par les mouvements tectonique.

Ces dépôts ou ces accumulations se répartissent en :

- A- cône de déjection** : constitués, par l'accumulation en bas de la pente des matériaux entraînés par les torrents.
- B- lobe convexe des méandres** : qui peuvent être instables et emportés par les crues.
- C- les terrasses alluviales** : une terrasse est un gradin sur les versants d'une vallée suspendu au-dessus du lit par un talus plus ou moins raide formé d'une surface plane et d'un talus. (Du point de vue topographique).

Leur étude permet de reconstituer l'évolution du cours d'eau. Elles résultent des variations du rapport puissance charge, ces variations elles même résultent le plus fréquemment des changements de climats, comme elles peuvent être dues à des mouvements tectoniques et variations du niveau de base. Elles définissent une alternance de dépôts et creusement d'où des terrasses étagées ou emboîtées.

L'alternance des phases de creusement et d'alluvionnement est à l'origine de la formation des terrasses alluviales ou fluviales, qui matérialisent la position des anciens lits et leur approfondissement progressif.



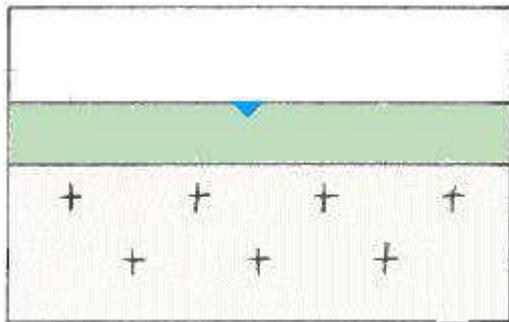
Une ancienne terrasse alluviale

1. Les terrasses étagées

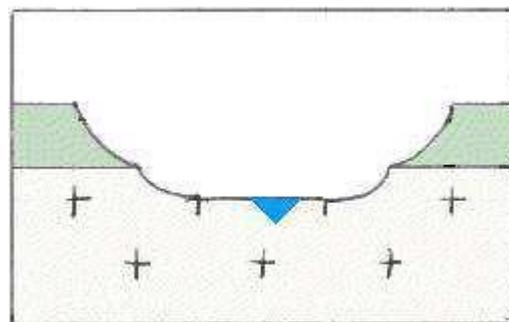
Ce type de terrasses implique des alternances de phases érosives très importantes et des phases de sédimentation moins importantes. Elles suggèrent une nette dominance de l'érosion.

Les terrasses étagées se forment avec l'encaissement du cours d'eau.

Au départ, le cours d'eau dépose ses alluvions sur sa **plaine d'inondation**.



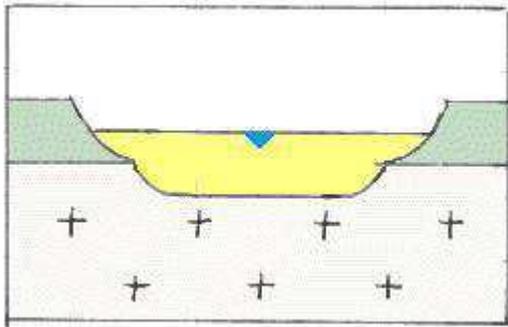
Dépôt dans la plaine d'inondation



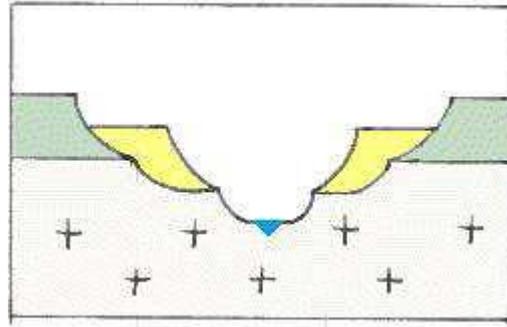
Incision du dépôt et du substratum

La dynamique du cours d'eau change, (**le débit augmente**) le cours d'eau incise le dépôt n°1 sur toute son épaisseur, ainsi que **le substratum**.

Un nouveau changement de dynamique (**baisse du débit**) amène le cours d'eau à déposer de nouvelles **alluvions**, dans l'incision du **substratum**.

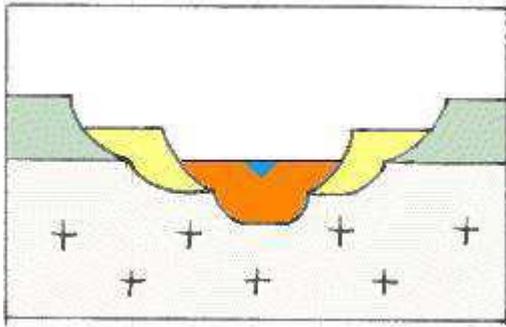


Dépôt dans l'incision



Erosion du dépôt et du substratum

Suite à un autre changement de dynamique, le cours d'eau se met à inciser le dépôt n°2 sur toute son épaisseur, et atteint le **substratum**, qu'il incise également. Par la suite, il dépose de **nouvelles alluvions** dans cette incision.

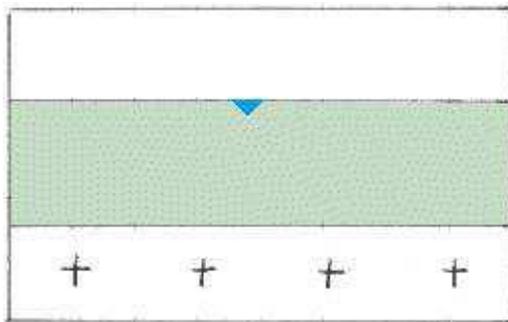


Dépôt dans l'incision

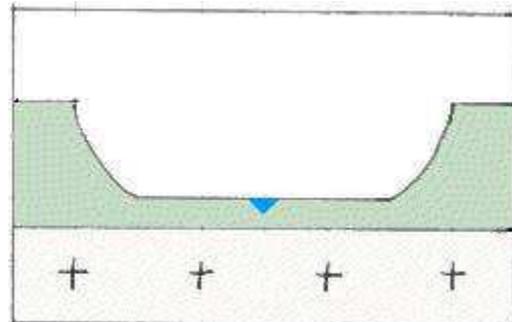
2. Les terrasses emboîtées

Lors de la formation de terrasses emboîtées, l'érosion ne se fait pas jusqu'au **substratum**.

Au départ, le cours d'eau dépose une grande quantité d'alluvions dans sa **plaine d'inondation**.

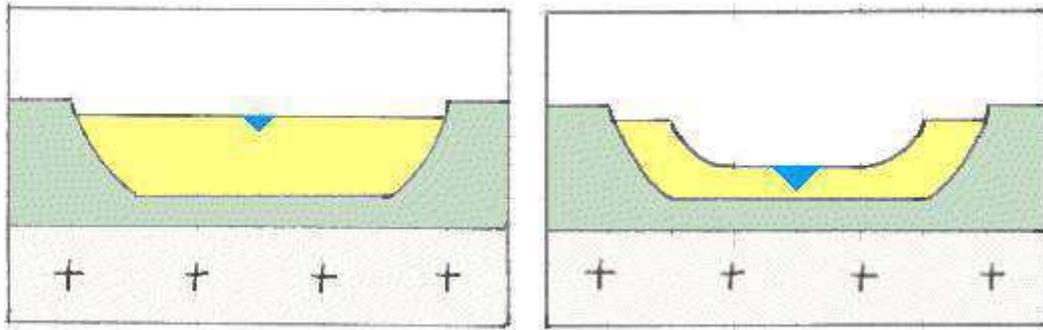


Dépôt d'alluvions Creusement des alluvions



Suite à un changement de dynamique, ce même cours d'eau se met à **creuser ses alluvions**.

La dynamique du cours d'eau change, l'érosion faiblit, et la sédimentation prend le dessus

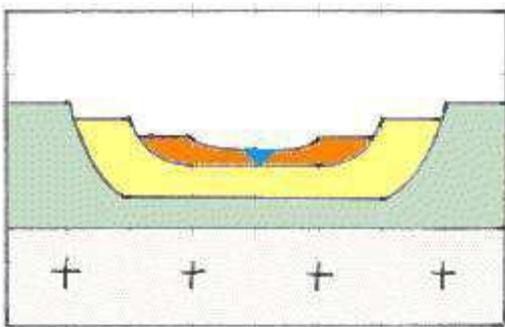


Dépôt dans l'incision

Erosion

La dynamique change à nouveau, **l'érosion** reprend, mais avec une intensité plus faible : le cours d'eau **creuse ses alluvions**, mais n'est pas assez érosif pour creuser sur toute leur épaisseur. **L'érosion** ne se fait pas jusqu'au **substratum**.

Ces alternances de **phases d'érosion** et de **sédimentation** se poursuivent, pour donner des terrasses emboîtées les unes dans les autres, sans jamais atteindre le **substratum**.



Dépôt dans l'incision



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

D- les nappes alluviales : engendrées par le ruissellement diffus des piémonts

E- les estuaires et les deltas, sont des dépôts d'embouchures.

- Les estuaires : embouchures large où les eaux marines pénètrent.
- Les deltas se forment à l'embouchure de toutes les rivières, de formes grossièrement triangulaires. Leur élaboration est favorisée si la mer est sans marée

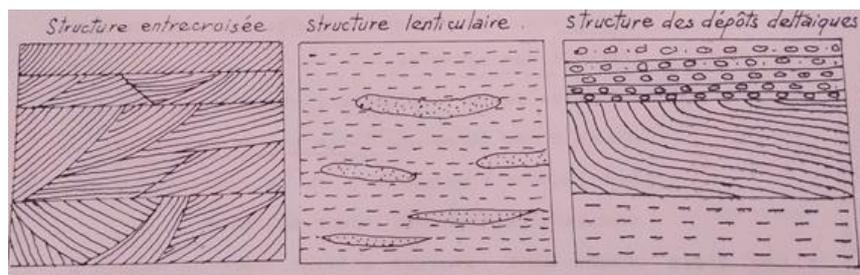
➤ **Caractères des dépôts fluviaux :**

Toutes ces accumulations offrent des caractéristiques significatives des modalités de leur réalisation. D'une manière simplifiée, ces dépôts fluviaux se caractérisent par :

1/ une stratification lenticulaire qui peut être entrecroisée ou litée.

2/ un matériel émoussé et arrondi c'est-à-dire, le degré de leur usure, qui est fonction du caractère lithologique, de la durée et la distance parcourues.

3/ un certain classement du matériel sédimentaire, c'est-à-dire, un certain tri ou sélection dimensionnelle des éléments qui est fonction des caractères hydrodynamiques tel que la compétence.



Structure des dépôts fluviaux

Conclusion : l'érosion fluviale semble mieux développée dans les régions où les conditions bioclimatiques et structurales sont contrastées, deux exemples nous permettent de bien saisir ceci :

1/ en bordure des déserts tropicaux : l'alternance d'une période humide et d'une période sèche donne une érosion très active.

2/ en forêt tropicale humide et forêt tempérée : le régime des précipitations continues, favorise l'altération chimique, qui impose un transport des matériaux à l'état dissout plus important, mais l'érosion apparente semble faible.