

# Géologie

## ST-E. Le phénomène sédimentaire

### ST-E1- Modelés des paysages et transferts de matériaux en surface + TP associé

ST-E-1 Modelés des paysages et transferts de matériaux en surface	
<b>ST-E-1-1 Les facteurs d'altération</b>	
<p>Les matériaux en surface sont soumis à de multiples processus d'altération, qui engendrent des formations résiduelles, et d'érosion, avec en particulier l'entraînement de produits par les eaux. La diversité des modelés des paysages est liée à l'action relative de différents facteurs : des facteurs intrinsèques (lithologie, relief) et des facteurs externes (climat, végétation).</p> <p>Les principaux processus d'altération chimique par l'eau sont l'hydrolyse et la dissolution. L'altérabilité des silicates est due à la structure des cristaux et à la nature des ions présents dans le réseau cristallin qui interagissent avec les molécules d'eau. L'hydratation des ions est proportionnelle à leur charge ionique et inversement proportionnelle à leur rayon atomique. Cette propriété est illustrée par le diagramme de Goldschmidt.</p> <p>L'hydrolyse des silicates conduit à la formation d'argiles dont la nature est en relation avec l'intensité de l'altération, qui elle-même dépend du climat (bisiallisation, monosiallisation, allitisation). Les produits de l'altération sont différemment mobilisables, en particulier en fonction de leur solubilité.</p>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Analyser le modelé d'un paysage à partir de documents photographiques et cartographiques.</li><li>- Identifier les principaux processus d'altération et d'érosion déterminant l'évolution d'un paysage.</li><li>- Proposer des hypothèses sur l'influence possible des différents facteurs structuraux, lithologiques et climatiques dans l'évolution du paysage.</li><li>- Caractériser le phénomène d'altération à partir de données de l'échelle du paysage à celle du minéral (sur l'exemple du granite).</li><li>- Relier la diversité des produits d'altération aux conditions d'altération (climat et végétation).</li><li>- Utiliser le diagramme de Goldschmidt afin de distinguer les éléments lessivés et les produits insolubles.</li><li>- Analyser l'altération des roches carbonatées en s'appuyant sur l'équilibre des carbonates et ses éléments de contrôle.</li><li>- Interpréter la présence éventuelle d'oxydes et d'hydroxydes de fer et d'aluminium (latéritisation) dans les formations résiduelles (exemple des bauxites).</li></ul>
<b>ST-E-1-2 Érosion et entraînement de matière</b>	
<p>En surface des continents, l'érosion se traduit par des flux de matières en solution (solutés) ou en suspension (particules).</p> <p>Ce flux conduit à un tri minéralogique et chimique qui préfigure la formation de nouveaux matériaux.</p>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Expliquer le comportement des particules détritiques en fonction de la vitesse du courant et de la granulométrie par le diagramme de Hjulström.</li></ul>

## I. La diversité des modelés des paysages et les facteurs de leur évolution

**Modelé** : ensemble des formes de la surface topographique qui s'expliquent par l'action de l'érosion, indépendamment des structures\* des roches. Le modelé se distingue ainsi du relief structural\*.

**Formations superficielles** : synonyme de **dépôts superficiels** : Terme général désignant communément les formations quaternaires continentales telles que les limons, les alluvions, les moraines, les éboulis, ect. (Plus spécialement utilisé pour désigner les dépôts glaciaires et fluvio-glaciaires).

**Relief structural** : forme de la surface topographique contrôlée par la structure des terrains (soit par édification active de reliefs, soit par le jeu de l'érosion sur des roches de duretés diverses).

## A. Le modelé karstique et les formations superficielles associées

**Modelé karstique** : type de relief affectant les pays calcaires, et principalement dû à la dissolution de leurs roches par les eaux météoriques chargées de gaz carbonique.

Formule de dissolution des carbonates de calcium



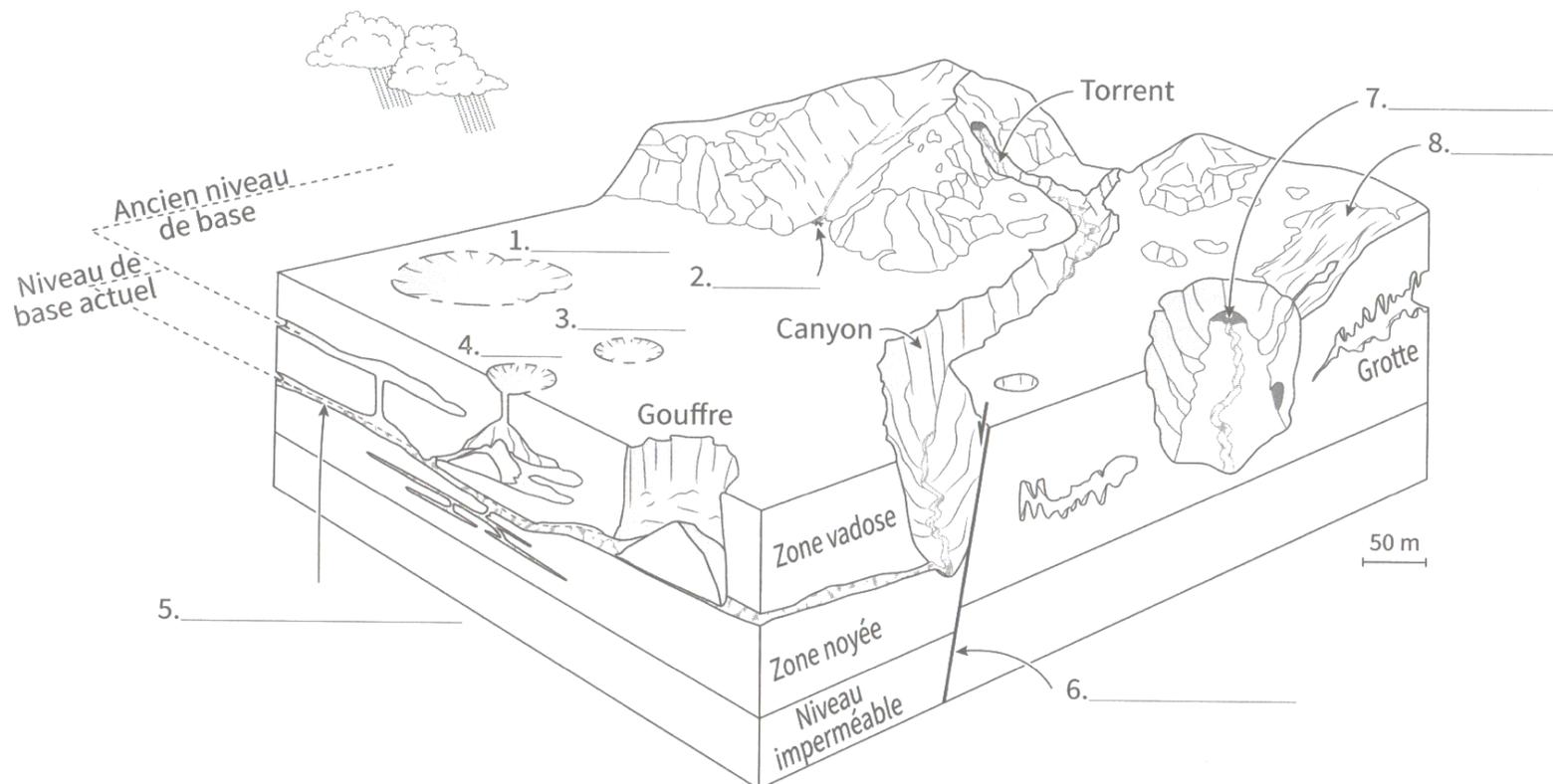
On peut distinguer les formes des surfaces et les formes souterraines :

### Formes de surface :

- **Le lapiaz** (= lapiez= lapiés) = surface creusée de trous, de cannelures ou de rigoles larges de 1cm à 1m, séparées par des lames tranchantes.
- **Le relief ruiforme** : blocs bizarrement sculptés par la dissolution séparés par des couloirs qui forment parfois d'inextricables labyrinthes
- **La doline** : dépression circulaire dont le fond plat est occupé par un résidu d'argile rouge issu de la dissolution des calcaires.
- **Les vallées sèches** : elles sont fréquentes et dues à l'enfoncement souterrain d'une grande partie du réseau hydrographique, les rivières aériennes ayant creusé de profonds canyons.
- **Les avens** : sont des gouffres qui s'ouvrent sur les profondeurs
- Les cours d'eau peuvent disparaître soudainement formant des **pertes**, et réapparaître localement au niveau de **résurgences**.

### Formes souterraines :

- les cavités sont essentiellement creusées par les **rivières souterraines**
- **Grotte** : cavité souvent ornée de concrétions de calcite (stalactites, stalagmites ...)



Travail à faire

Retrouvez les noms des formes de surface et des formes souterraines du modelé Karstique.

→ A partir de l'analyse de la carte de Bourg Saint Andéol

→ A partir de l'analyse des photographies.

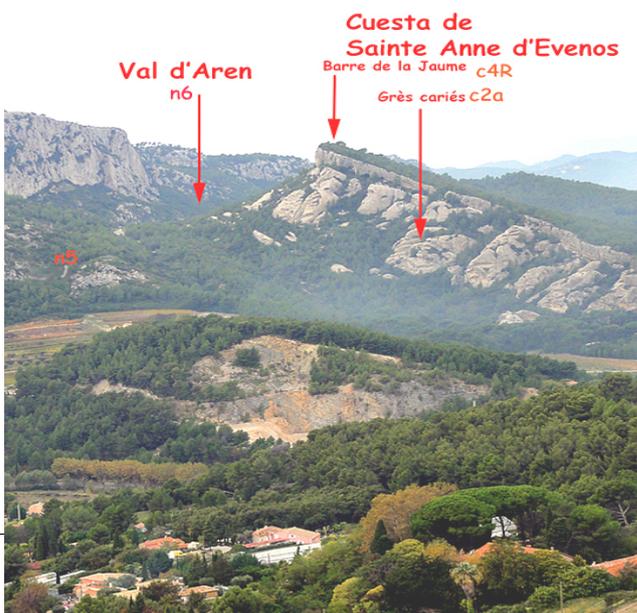
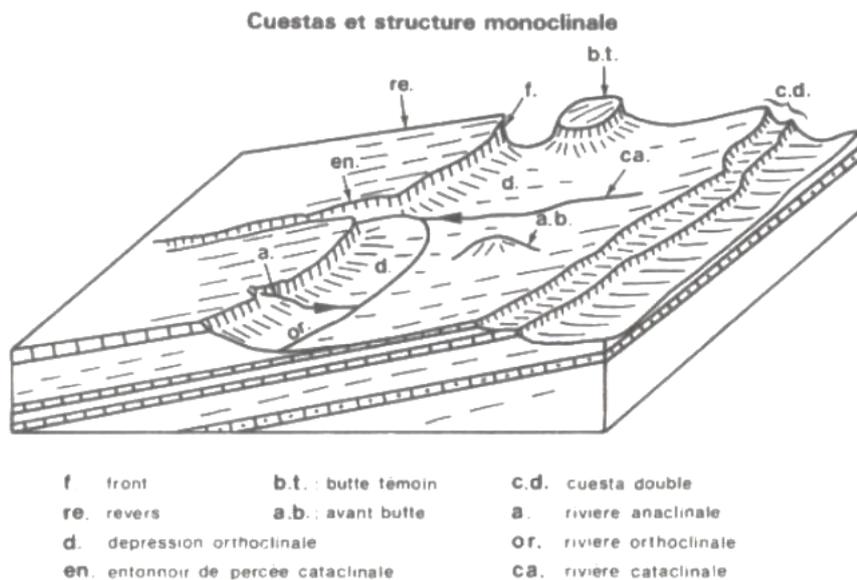
## B. Érosion différentielle et exemples de reliefs associés

### 1) Le relief de type Cuesta et de buttes témoins

**Les buttes témoins** (collines isolées) et **les cuestas** (plateaux faiblement inclinés) sont fréquentes dans les régions tabulaires à monoclinales et résultent de processus **d'érosion différentielle**.

**Cuesta** → relief caractéristique de la bordure des bassins sédimentaires peu déformés et qui comprend une pente raide : **son front**, et un plateau légèrement incliné : **son revers**.

**Érosion différentielle** : l'intensité de l'érosion dépendant de la nature lithologique des roches. L'érosion se différencie donc selon les roches qu'elle affecte.



### Schéma d'interprétation

c2a = Grès et sables. Cénomaniens inférieurs

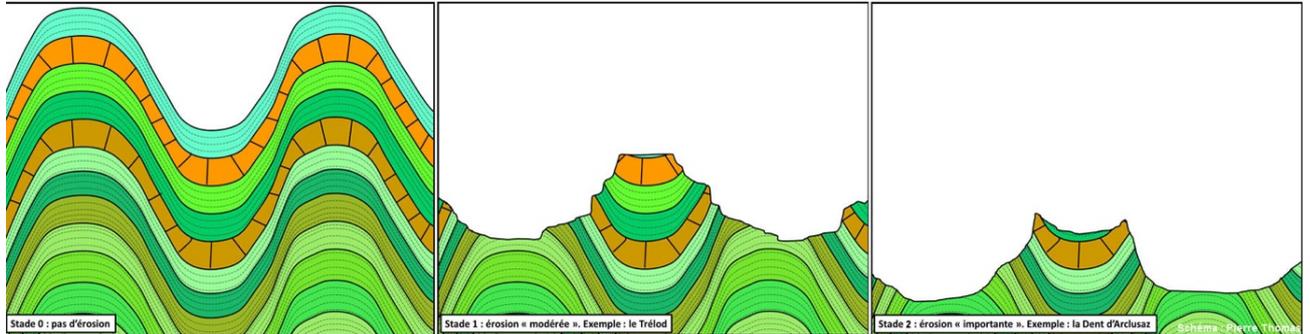
n6 = Calcaire marneux à silex et Céphalopodes.  
Aptien inférieur

n4U = Calcaire à Rudites. Barrémien à faciès urgonien

## 2) Un exemple de relief inversé : le synclinal perché

**Synclinal perché : pli synclinal porté en altitude par l'érosion différentiel et conduisant à une inversion de relief.**

Image Pierre Thomas (ENS Lyon)

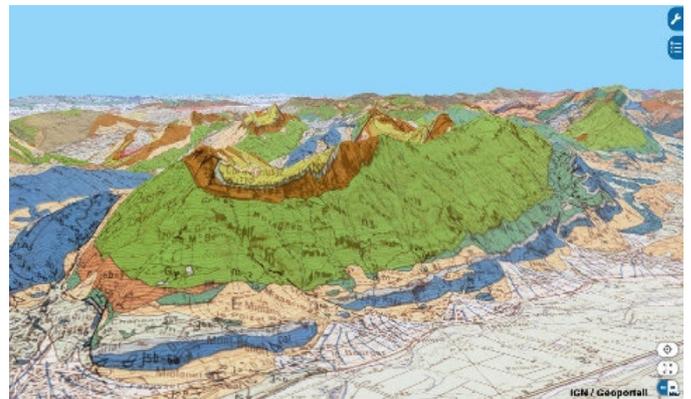


Au stade 0, on a supposé que la région était constituée d'un empilement de séries marneuses (représenté en vert et bleu) comprenant 2 barres calcaires (marron et orange, avec un figuré en moellon). La série a subi un plissement (supposé non accompagné d'érosion, ce qui est un cas très théorique) générant 2 anticlinaux encadrant un synclinal.

Au stade 1, l'érosion a "attaqué" les reliefs que constituaient les anticlinaux et a transformé les monts anticlinaux en vallées. Au centre du schéma, le synclinal, non érodé, se trouve mis en relief : c'est un synclinal perché. Dans ce schéma, nous avons supposé que les deux barres calcaires avaient été épargnées par l'érosion au niveau du synclinal. Le Trélod correspond à peu près à ce stade 1.

### La Dent d'Arclusaz, 2041 m (Savoie), un parfait exemple de synclinal perché

Baptiste Journaux



#### Travail à faire

Retrouvez les cuestas et les reliefs inversés :

→ A partir de l'analyse de cartes géologiques (ex Vittel – Clermont ferrant – Pontoise – Lavelanet...)

→ A partir de l'analyse des photographies.



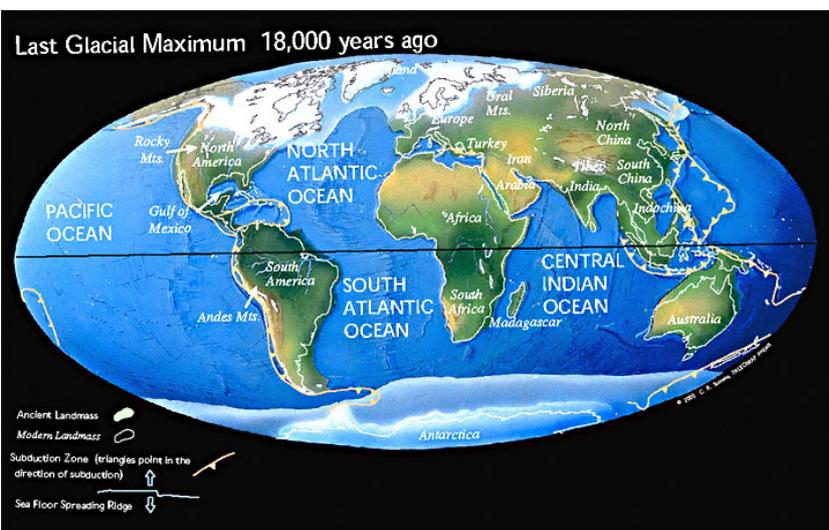
**L'alternance de périodes glaciaires et de périodes interglaciaires au sein de la grande glaciation du quaternaire et ses effets sur le modelé glaciaire.**

On s'intéresse à la distribution des dépôts quaternaires qui révèlent les manifestations en domaine continental des variations climatiques récentes caractérisées par des périodes glaciaires (glaciations) et interglaciaires (voir stratigraphie ci-dessous).

**STRATIGRAPHIE PLIOCENE et QUATERNAIRE**

	1,8 Ma	1,6 Ma	1,4 Ma	1,2 Ma	1 Ma	900 000	800 000	700 000	600 000	500 000	400 000	350 000	300 000	200 000	120 000	100 000	80 000	50 000	10 000	1 000	ÂGES
	PLIOCENE		PLEISTOCENE INFÉRIEUR				PLEISTOCENE MOYEN					PLEISTOCENE SUP		HOLOGÈNE	EPOQUES						
	Villafanchien inférieur		Villafanchien supérieur				Sous-étages														
	BIBÈR	DONAU		Interglaciaire Donau / Günz		GÜNZ		G M	MINDEL		M R	RISS		Inter RW	WÜRM		Post-Glaciaire	Glaciations			
	MATUYAMA							BRUHNES													Paléomagnétisme

Selon la chronologie de A. Penck et E. Bruckner, les noms des glaciations - dont on remarquera qu'ils se succèdent dans l'ordre alphabétique - sont ceux de rivières bavaroises, affluents du **Danube**, auquel s'ajoute ce fleuve lui-même (**Donau**).



## D Les formations superficielles fluviales

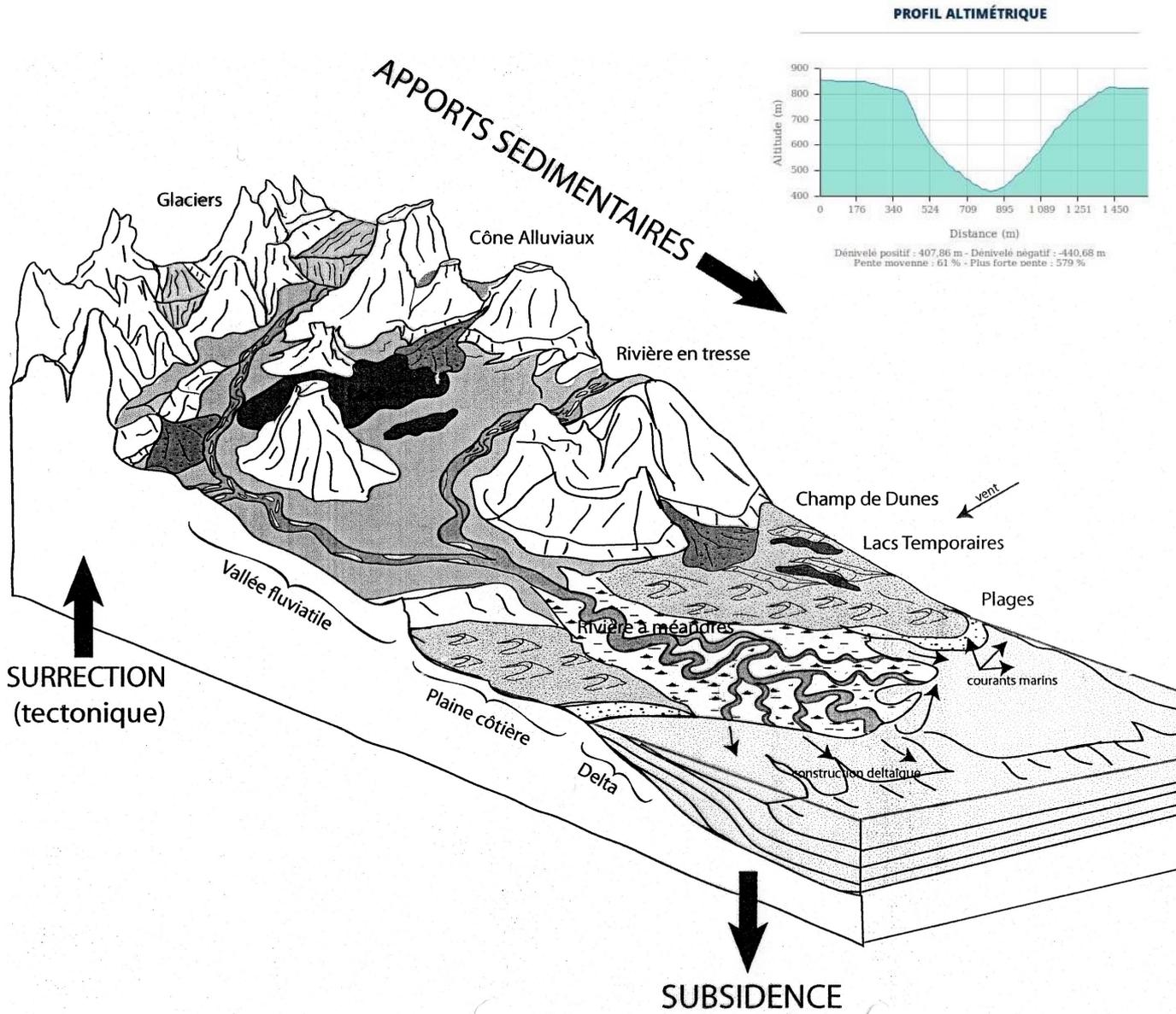
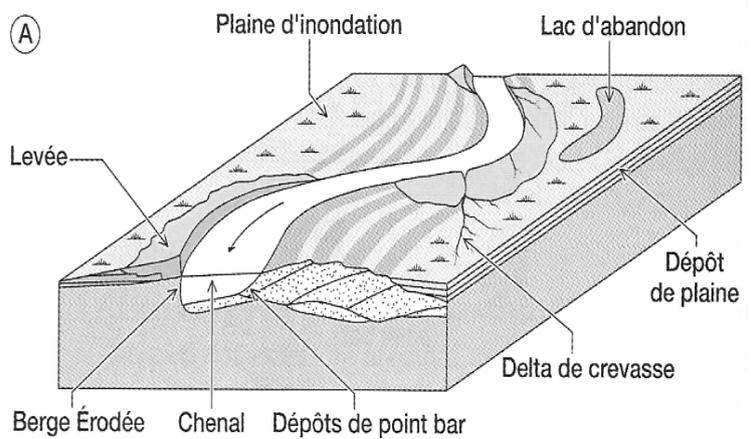
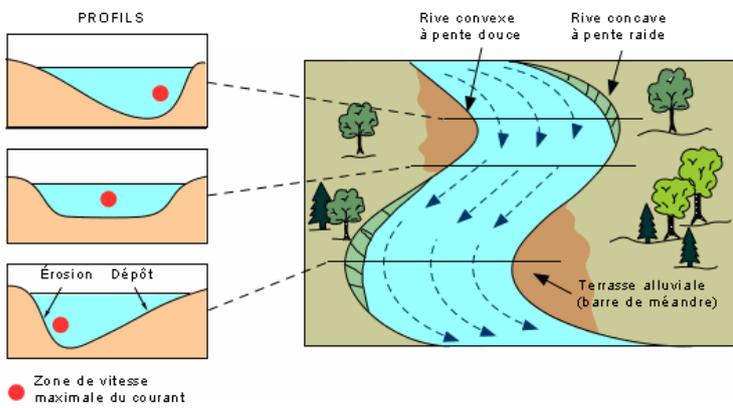
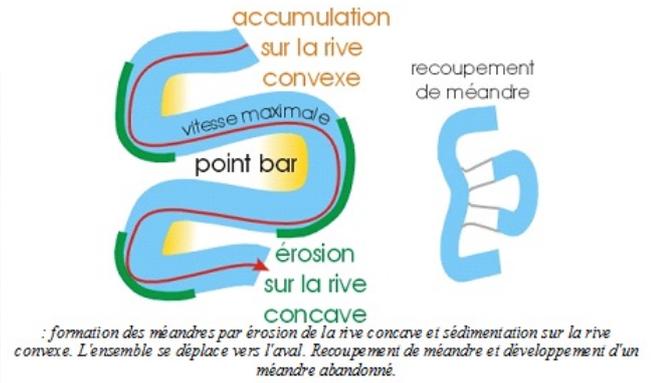


Fig : système fluviale, un méandre



## Méandre du Gardon

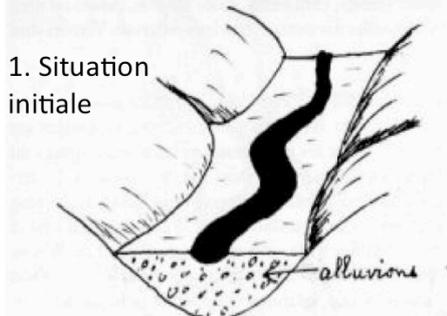


## Cirque de Navacelles

**La formation de terrasses alluviales :** conséquences des variations de l'hydrodynamisme dues aux variations climatiques et aux variations du niveau marin.

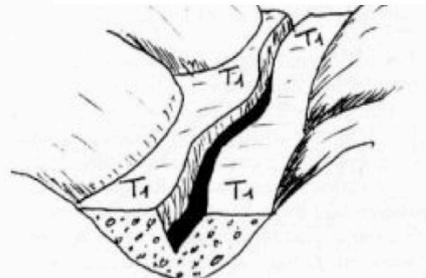
### Formation des terrasses fluviales

1. Situation initiale



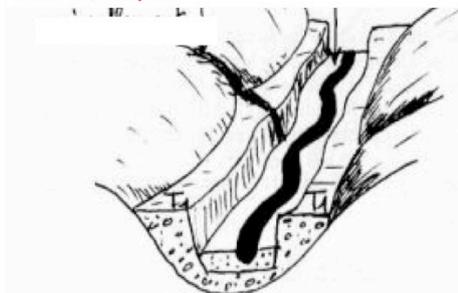
Le cours d'eau d'eau serpente dans son lit et dépose des alluvions sur une grande largeur

2. Refroidissement, baisse du niveau marin : creusement



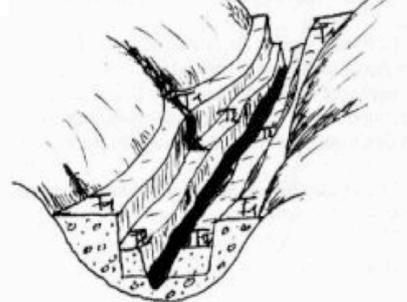
Le cours d'eau d'eau surcreuse ses propres alluvions: la première terrasse T1 se forme

3. Réchauffement, hausse du niveau marin, dépôt



La pente étant devenue plus faible, le cours d'eau dépose à nouveau des sédiments. Les anciennes alluvions forment deux terrasses T1

4. Nouveau refroidissement, baisse du niveau marin : creusement



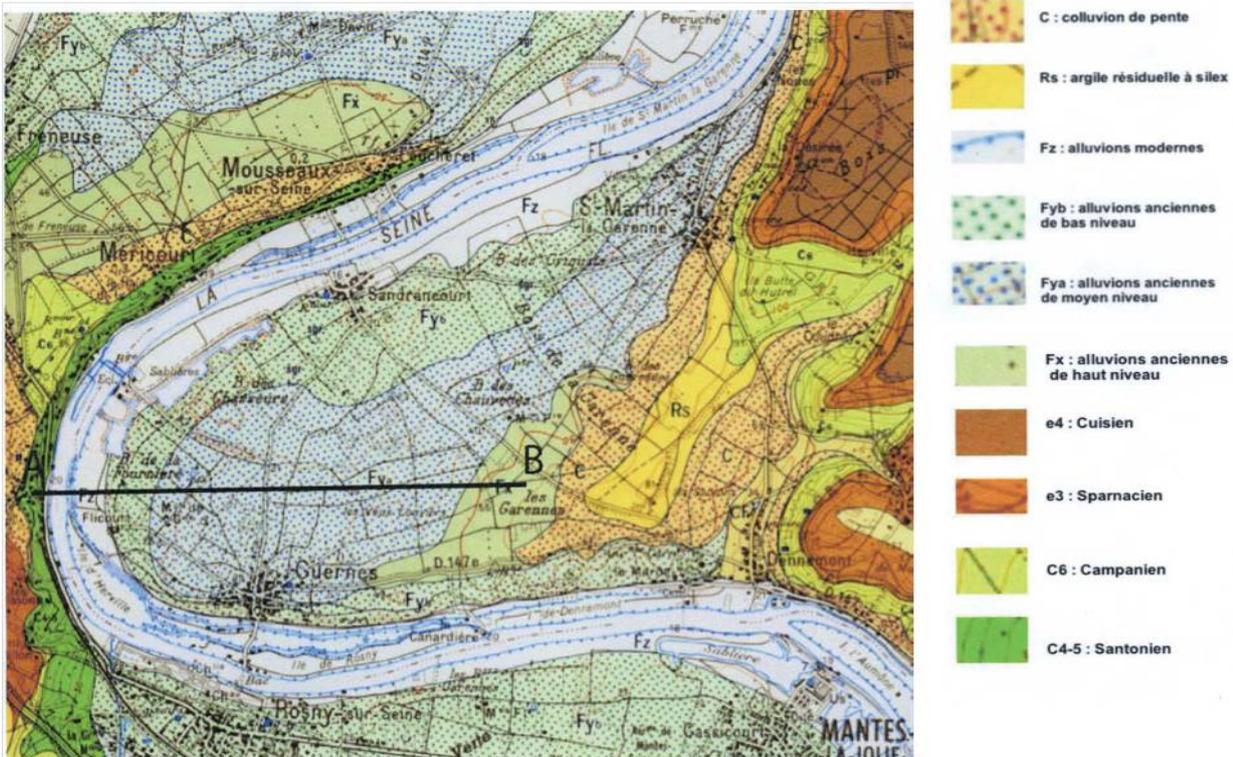
Le cours d'eau recreuse ses deuxièmes dépôts, ce qui forme deux nouvelles terrasses T2



## Exercice d'application : Un méandre de la Seine près de Mantes-la-Jolie

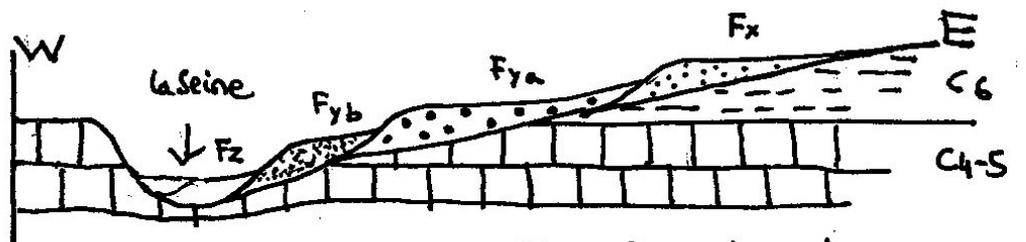
Réalisez une coupe à main levée suivant le trait AB. La précision du relief n'est pas attendue, et l'échelle verticale peut être exagérée.

A l'aide d'une série de schémas, expliquez comment la nature et la disposition des dépôts observés renseignent sur les variations climatiques du Quaternaire.

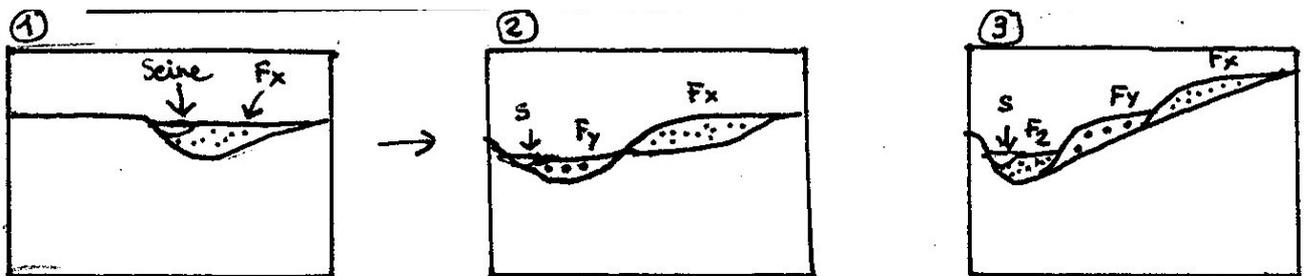


### Corrigé : Un méandre de la Seine près de Mantes-la-Jolie

- Il s'agit de terrasses alluviales dans un méandre. Les deux rives sont asymétriques : érosion côté rive concave (à l'W) et dépôt rive convexe (à l'E) où se forment les terrasses.



- Des variations climatiques entraînent des modifications de débit et de vitesse de courant, donc des capacités de transport et d'érosion (cf Hjulstrom).



- La Seine coule sur ses alluvions Fx (dépôt rive convexe du méandre)
- Refroidissement d'où baisse de niveau marin et du niveau de base du fleuve, d'où creusement. La Seine s'enfonce dans ses alluvions, puis réchauffement et dépôt Fy
- Refroidissement, d'où creusement de Fy, puis réchauffement et dépôt Fz : actuel

Bilan :

La diversité des modelés des paysages est liée à l'action relative de différents facteurs :

- **Des facteurs intrinsèques**
  - Facteurs de modelé des paysages : **LA LITHOLOGIE**
    - **Érosion différentielle** selon le type de roches, le type de minéraux
      - **Buttes témoins**
      - **Cuesta**
    - Cas du modelé karstique en terrains calcaires // cas des paysages granitiques
  - Facteurs de modelé des paysages : **LE RELIEF**
    - Plis /failles/bassins d'effondrement
    - Reliefs conformes/reliefs inversés
- **Des facteurs externes (climat, végétation).**
  - Facteurs de modelé des paysages : **LE CLIMAT**
    - Modelé glaciaire
    - Différence de profil d'altération du granite en climat tempéré et climat tropical humide
    - Paysage désertique
  - Facteurs de modelé des paysages : **LA VÉGÉTATION**
    - **Altérations mécanique et chimique par l'action des racines**
    - Effet de protection contre l'érosion des sols végétalisés

## II. Les principaux processus à l'origine de l'évolution des paysages

**Altération** : ensemble des processus physiques et chimiques intervenant à l'échelle du minéral ou de la roche, induisant une **perte de cohésion** de celle-ci et aboutissant à la production de **2 phases** :

- **phase migratrice** formée d'**éléments en solution**
- **phase résiduelle** restante = à l'origine des **sols** et des **sédiments**.

**l'altération est la transformation sur place des roches du sous-sol**

**Érosion** : Ensemble des phénomènes à plus grandes échelles permettant la mobilisation et le transport des produits de la phase d'altération -> **érosion = ablation (action d'enlever) + évacuation (transport) des matériaux altérés ou non**

• Dans un certain nombre de cas, altération et érosion se superposent : l'exportation des solutés coïncide avec la dissolution ; l'action des glaciers conjugue fragmentation et transport.

### A. L'altération du granite

#### 1. ... dans différentes conditions climatiques

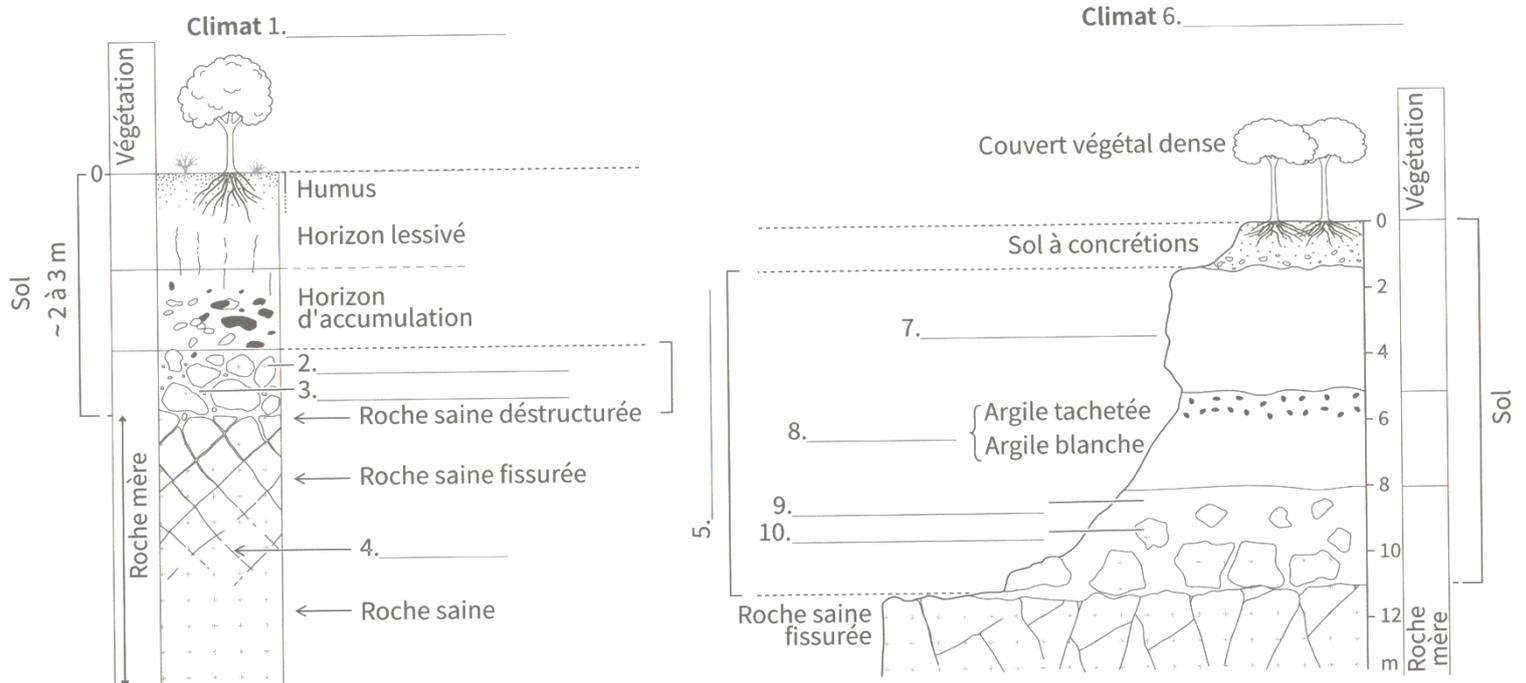
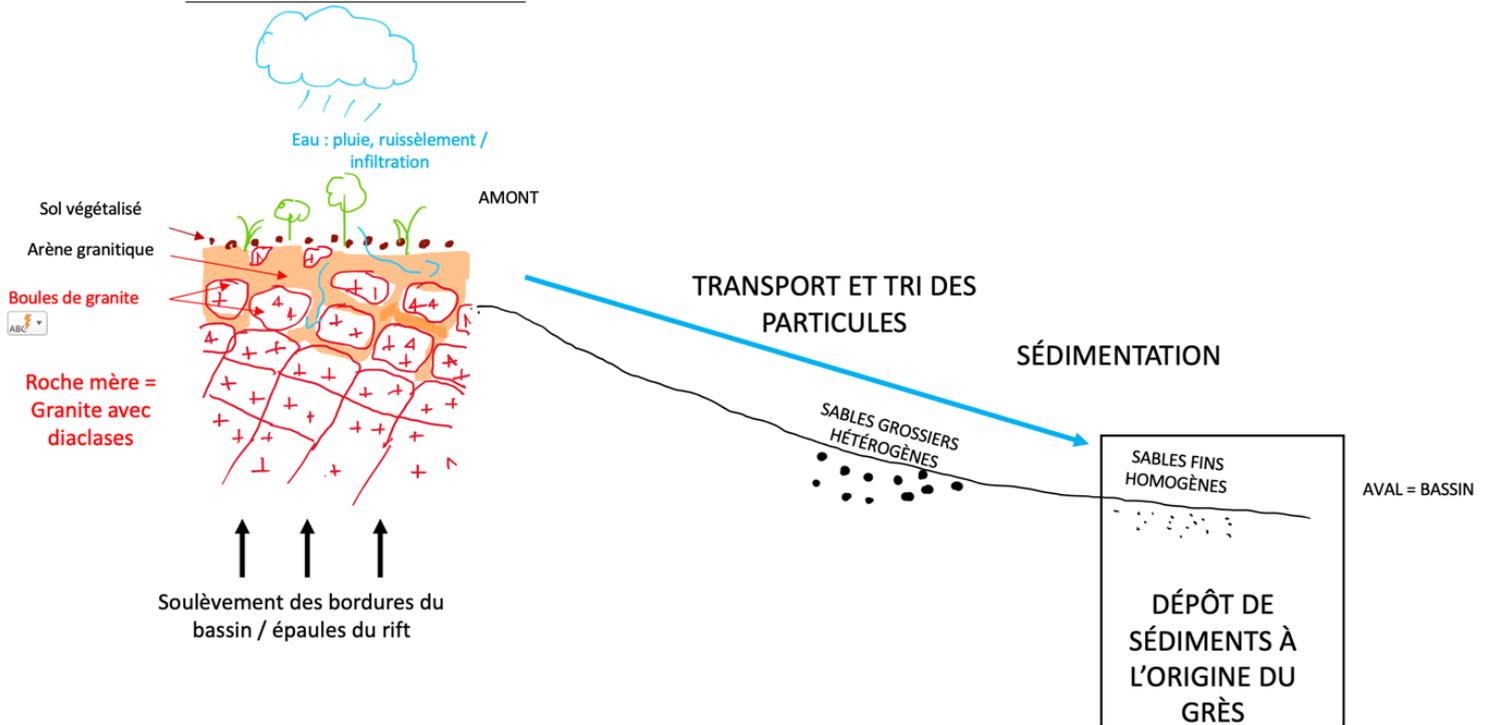


Photo de profils d'altération de granite

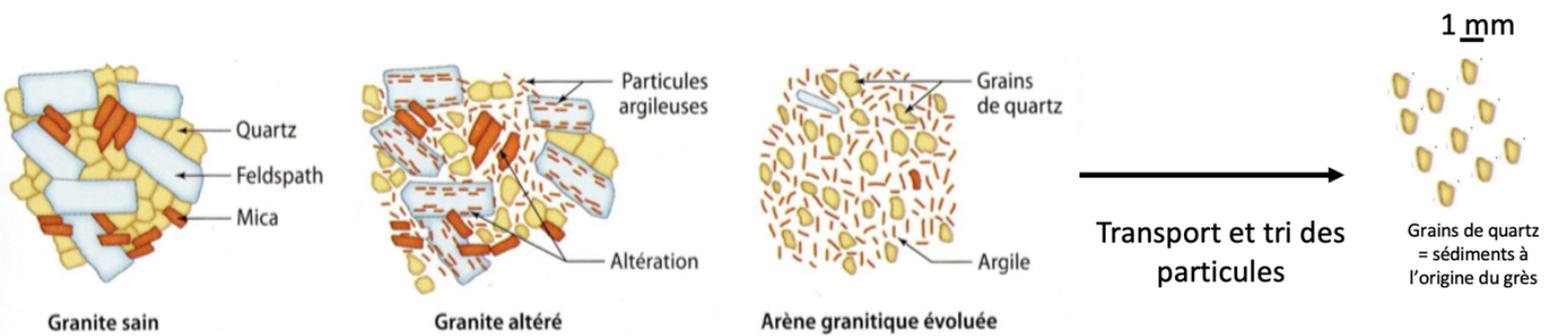


## 2. De l'altération du granite au dépôt de sédiments à l'origine du grès.

### a) A l'échelle du paysage



### b) Schéma à l'échelle des minéraux



### c) Formations résiduelles selon le climat : le chaos granitique ou la cuirasse latéritique

Schéma d'un chaos granitique

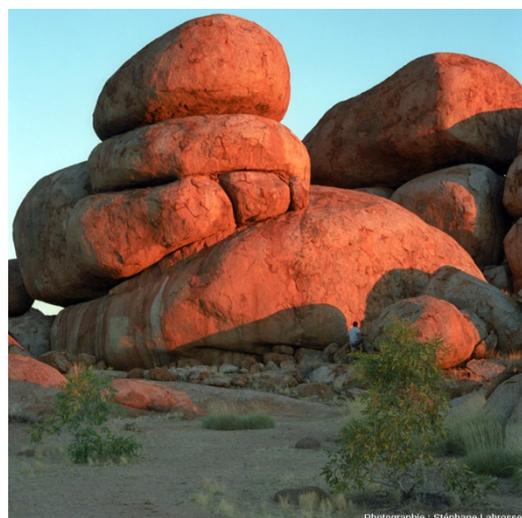
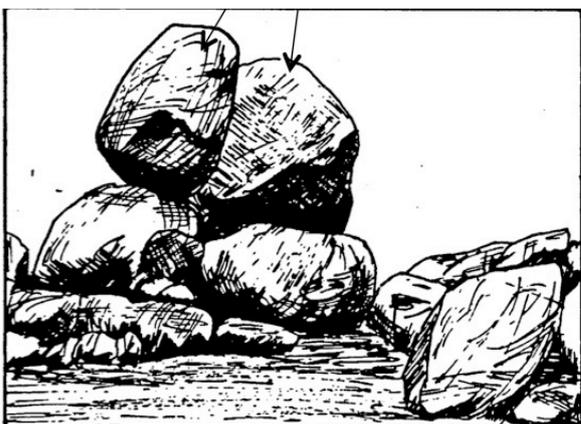
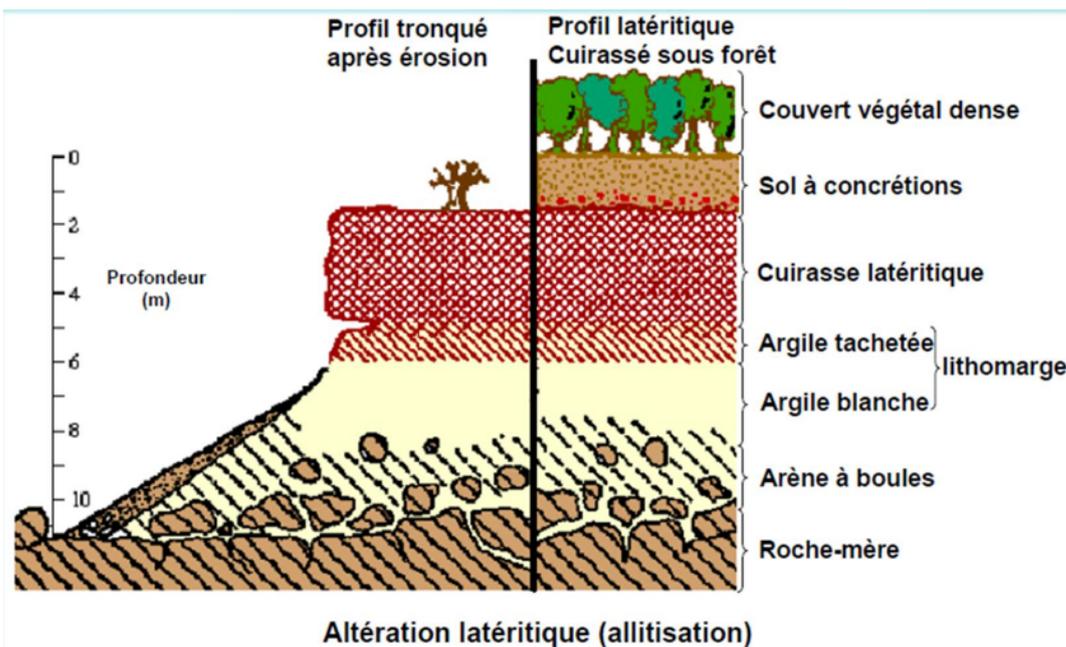


Schéma : cuirasse latéritique, un exemple de formation résiduelle et roche associée



<p><u>Aspect macroscopique</u></p>		<p>:</p>
<p><u>Composition chimique</u> d'une roche représentative des gisements du Var :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : 60 %</li> <li>- Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : 20 %</li> <li>- SiO<sub>2</sub> : 5 %</li> <li>- H<sub>2</sub>O (combinée) : 15 %</li> <li>- Autres (TiO<sub>2</sub>, CaO, C organique...)</li> </ul>	<p><u>Composition minéralogique</u> par ordre de prédominance dans la roche :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Gibbsite Al(OH)<sub>3</sub> et autres oxydes ou hydroxydes d'aluminium</li> <li>- Goethite FeO(OH), hématite Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et autres oxydes ou hydroxydes de fer</li> <li>- Kaolinite Si<sub>2</sub>O<sub>5</sub>Al<sub>2</sub>(OH)<sub>4</sub>, calcite CaCO<sub>3</sub>, rutile TiO<sub>2</sub>...</li> </ul>	

## B. Processus d'altération physique et chimique

### 1. Processus d'altération physique : la fragmentation et ses conditions

### 2. Processus d'altération chimique

- le rôle de l'eau

- Comparaison eau de pluie/de rivière

**Fig : Composition moyenne de l'eau des rivières et de l'eau de pluie**

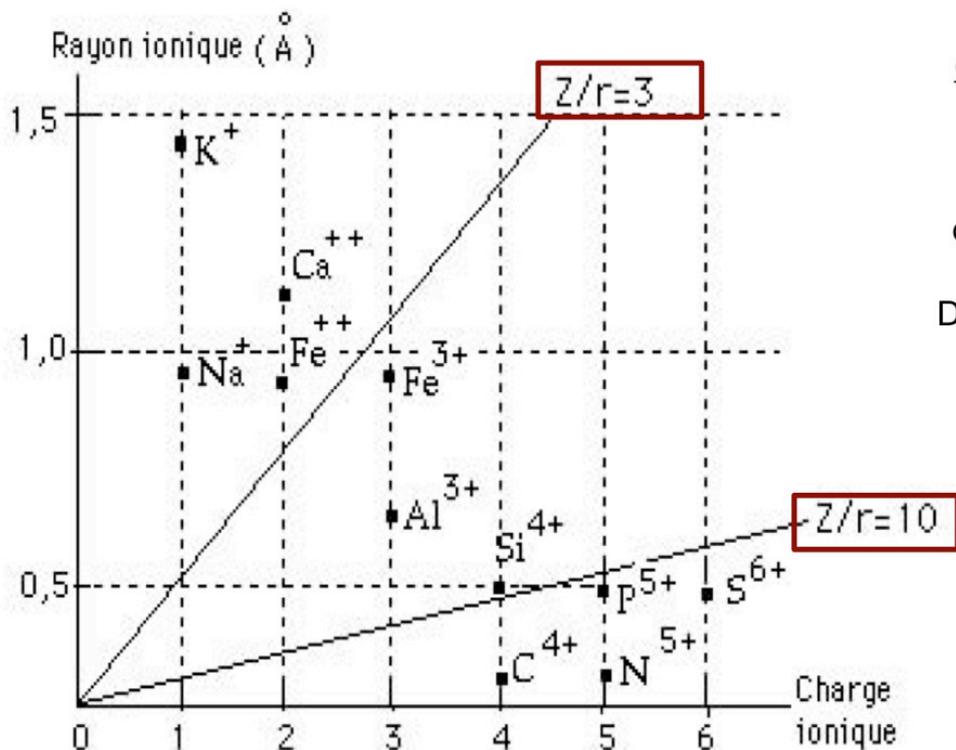
Élément en $\mu\text{M}$	$\text{SiO}_2$	$\text{HCO}_3^-$	$\text{Cl}^-$	$\text{Na}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{K}^+$
Eaux des rivières	610	860	40	425	110	130	70
Eaux de pluie	0	1	40	40	16	5	5



## 2. Le diagramme de Goldschmidt : la solubilité des cations dans l'eau

Fig : Diagramme de Goldschmidt : solubilité des cations dans l'eau

### Comportements des ions vis-à-vis de l'eau : diagramme de Goldschmidt



#### Comportement des cations dans l'eau :

→ dépend de la force d'attraction de l'eau sur l'ion

Dépend du **potentiel ionique**

$\frac{z}{r}$  ← rayon ionique

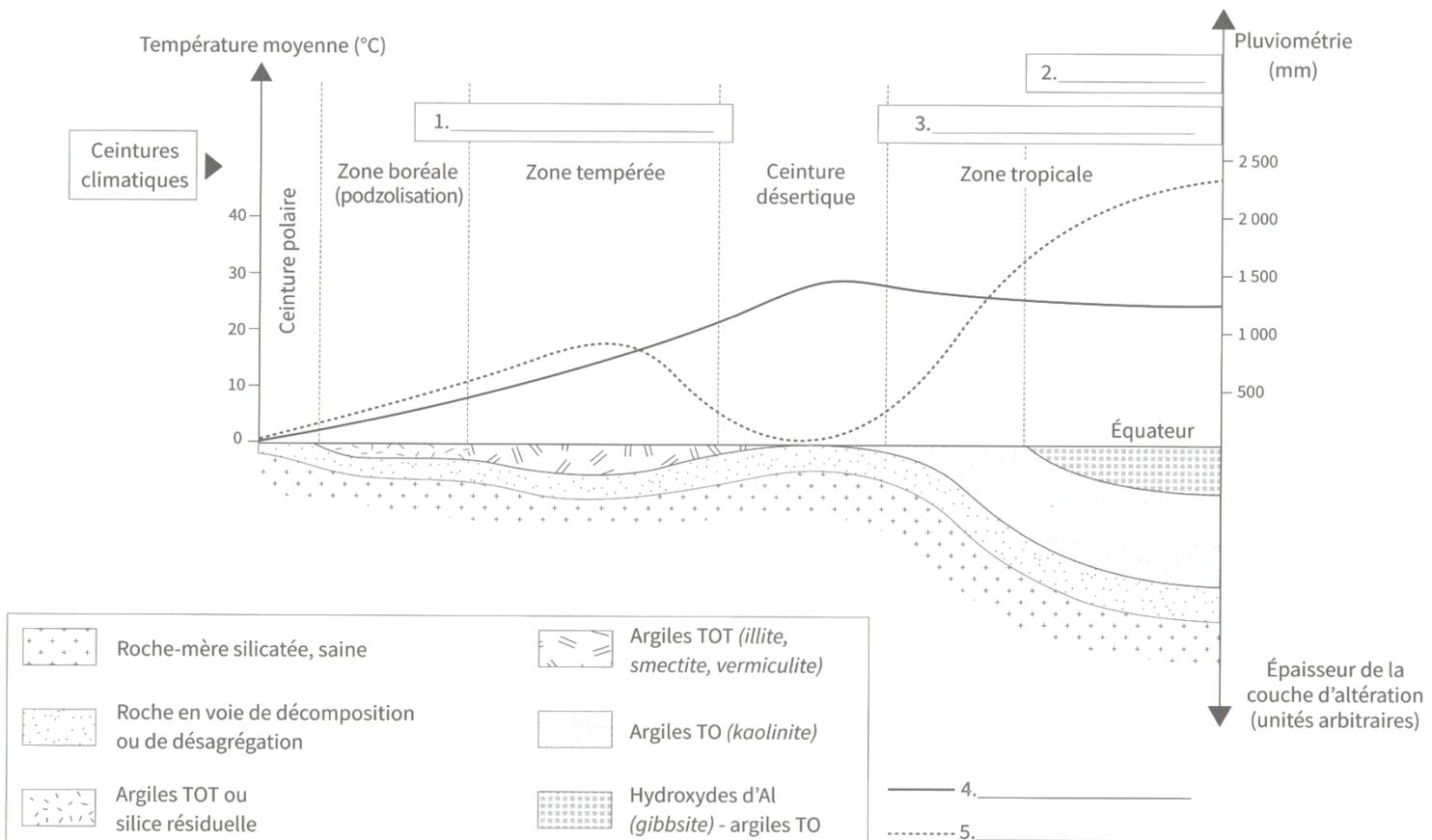
$z$  = charge de l'ion



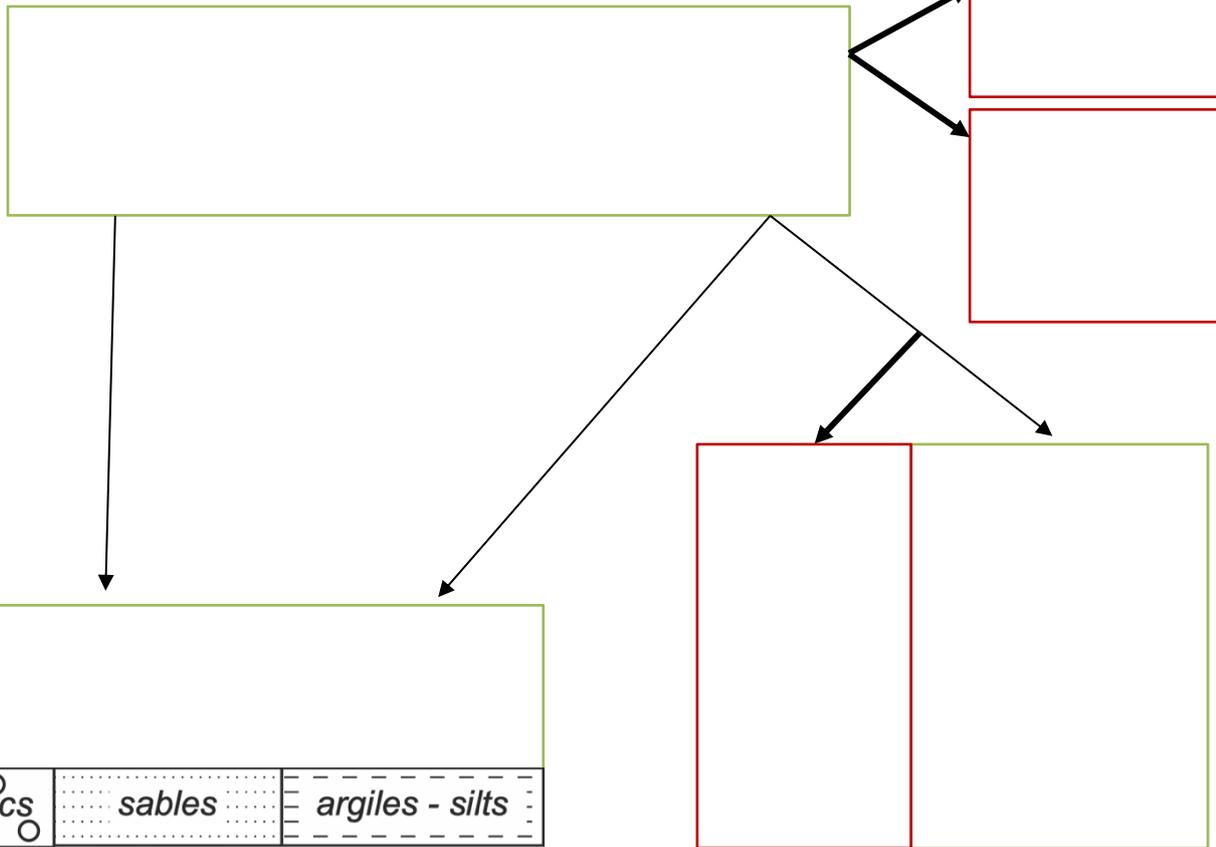
## b. Néoformation d'oxydes et hydroxydes des latérites

## c. Ceintures climatiques et produits d'altération

Fig : Ceinture climatique et types d'altération = diagramme de Pedro



## IV. Érosion et entraînement de matière



Le résultat de l'altération est la production de particules (minéraux résiduels ou néoformés) et de solutés dissous que l'érosion entraîne sous forme de flux de matière en solution ou en suspension. Ce flux érosif associe ainsi deux lignées : la lignée détritique et la lignée ionique. Il conduit à un tri minéralogique et chimique des matériaux transportés.

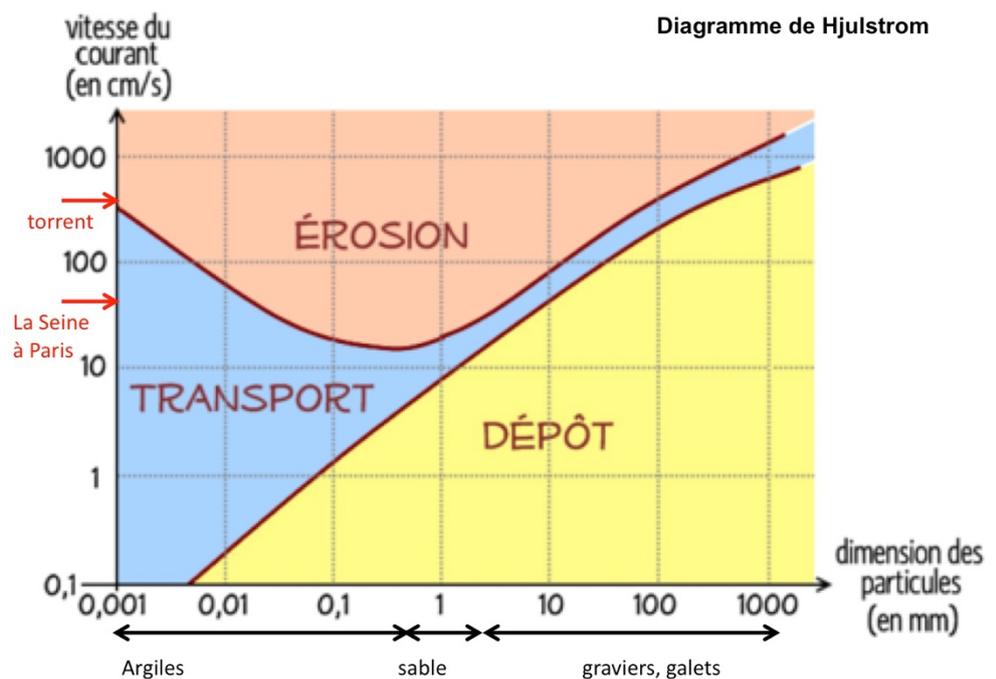
### A. Comportement des particules détritiques

#### 1. Déterminé par le diagramme de Hjulström

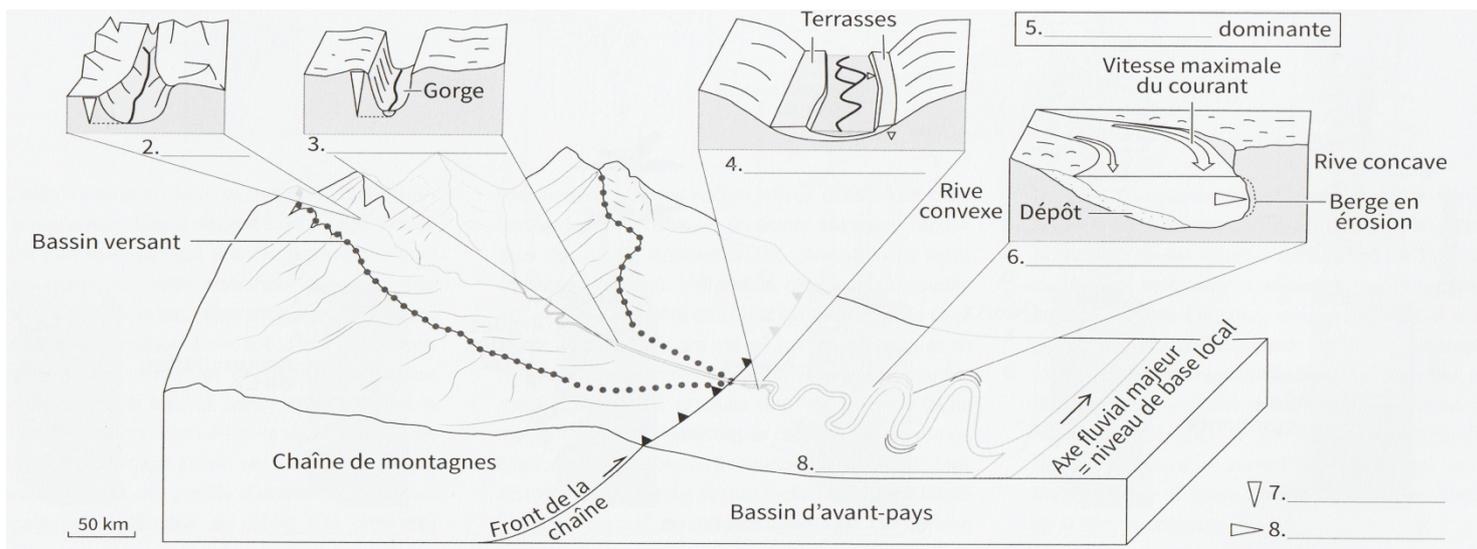
Le **diagramme de Hjulstrom** met en relation la vitesse d'écoulement du fluide et l'état d'une particule (érosion-transport-sédimentation) suivant son diamètre.

**Fig : Diagramme de Hjulstrom**

*Rmq : Les argiles résistent à l'érosion à cause du fort degré de cohésion entre les feuillets.*



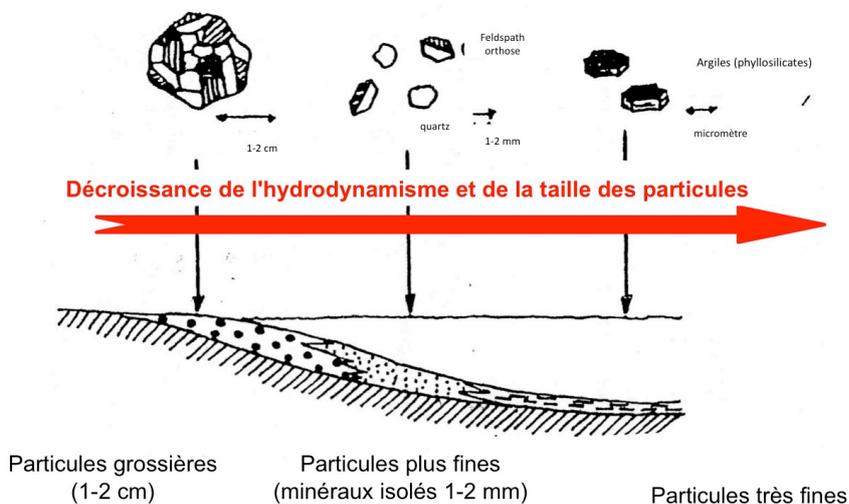
## Érosion fluviale, transport des particules et dépôt.



## 2. Le tri granulométrique des particules : une conséquence de l'hydrodynamisme.

Fig : Granoclassement horizontal et hydrodynamisme

Type de particules lorsque l'on s'éloigne du rivage :



## B. Tri géochimique au cours du transport des solutés

Les ions mis en solution peuvent être dissous ou précipiter selon l'attraction qu'ils exercent sur les molécules dipolaires d'eau qui dépend du potentiel ionique de l'élément selon sa charge ( $z$ ) et son rayon ionique ( $r$ ). Le **diagramme de Goldschmidt** distingue différents comportements des cations.