

Les roches détritiques

Laurie BOUGEOIS

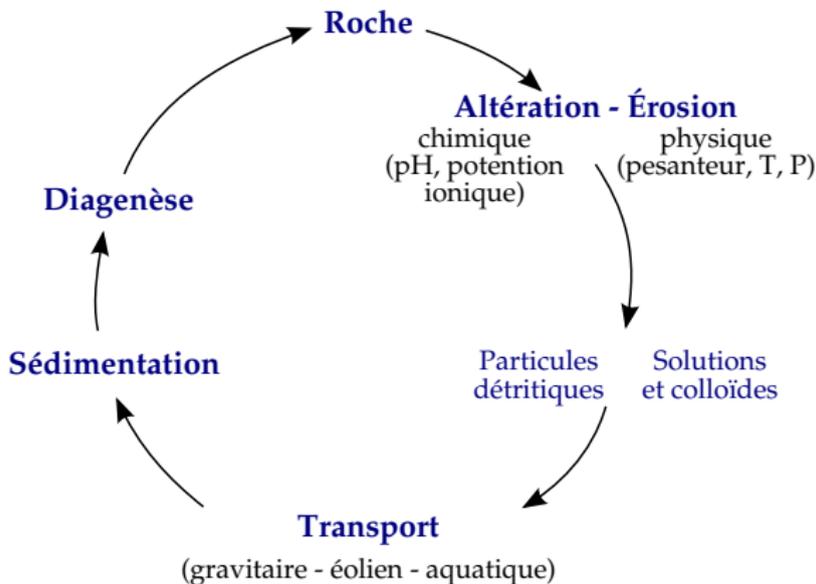
ST3 - Polytech' Paris UPMC

10 avril 2015

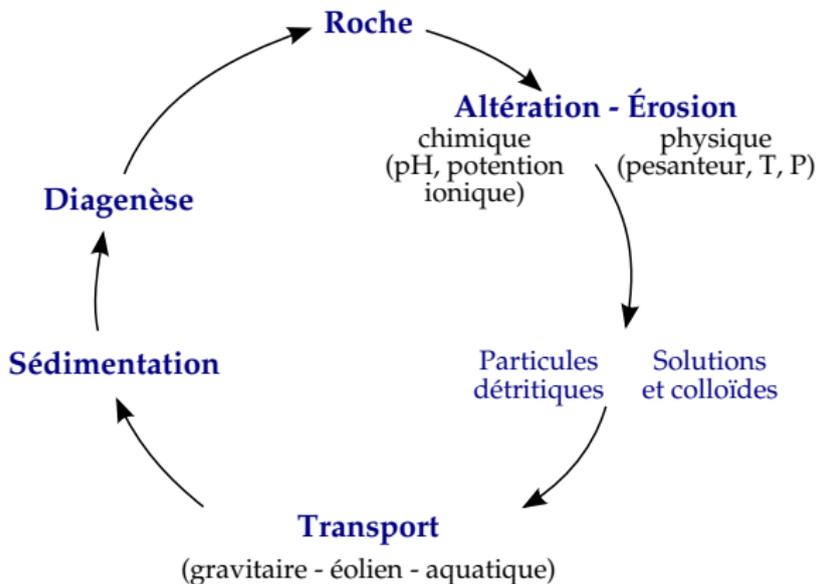


1. Différents types de roches détritiques
2. Environnements de dépôt des roches détritiques
3. Notion de porosité des roches sédimentaires
4. Étude granulométrique des arénites

Rappel : cycle des roches sédimentaires



Rappel : cycle des roches sédimentaires

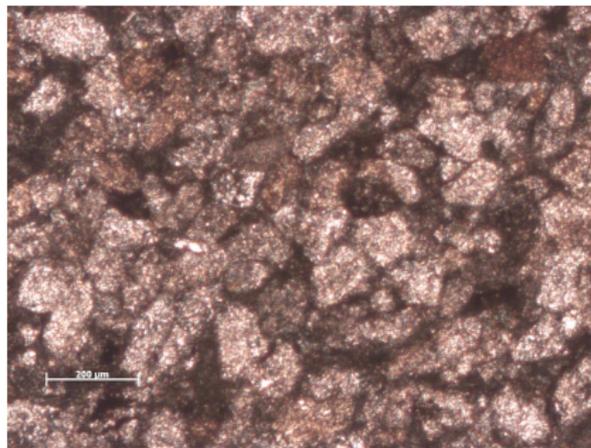


Roches détritiques

Proviennent principalement de la destruction de roches pré-existantes

Différents types de roches détritiques

- ▶ Roches détritiques **silico-clastiques** terrigènes
- ▶ Roches détritiques **carbonatées** terrigènes



Différents types de roches détritiques



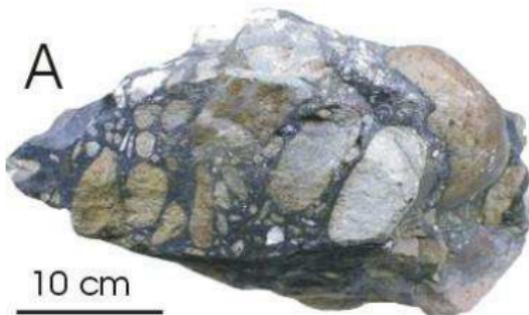
Galets



Graviers



Sable



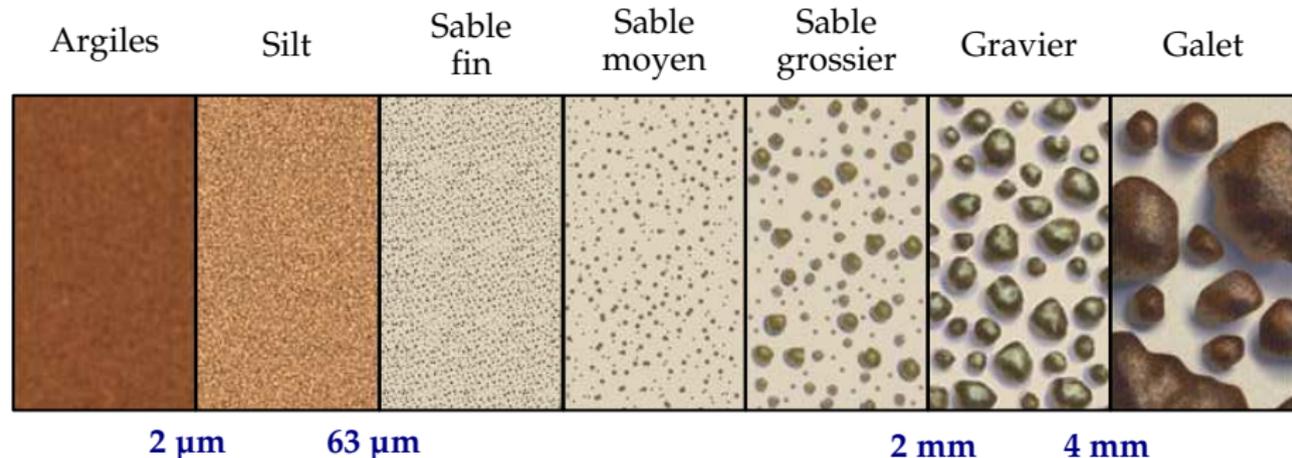
Conglomérat



Grès

Classification des roches détritiques

Critère majeur : la **granulométrie**



Classification des roches détritiques

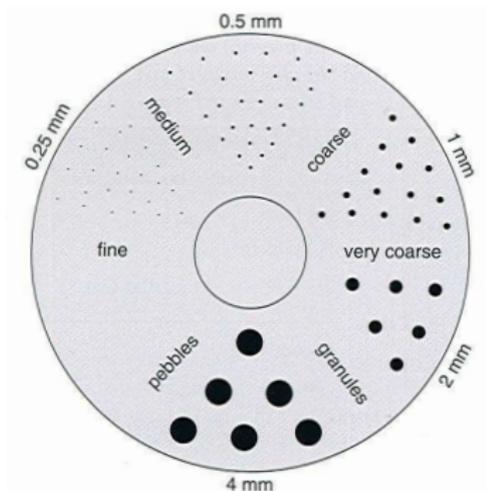
Critère majeur : la **granulométrie**

Classe granulométrique	Taille des éléments	Éléments	Roche non consolidée	Roche consolidée
Rudites	> 256 mm	Blocs	Cailloutis	Conglomérat
	4 à 256 mm	Galets		
	2 à 4 mm	Graviers	Gravier / Grave	Micro-conglomérat
Arénites	63 μ m à 2 mm	Sable	Sable	Grès
Lutites	2 à 63 μ m	Particules silteuses	Silts	Siltite
	< 2 μ m	Argiles (granulométrique)	Argiles (granulométrique)	Argilite

Propriétés des éléments

- ▶ Les propriétés des grains des roches détritiques sont précieuses pour définir l'environnement de dépôt :

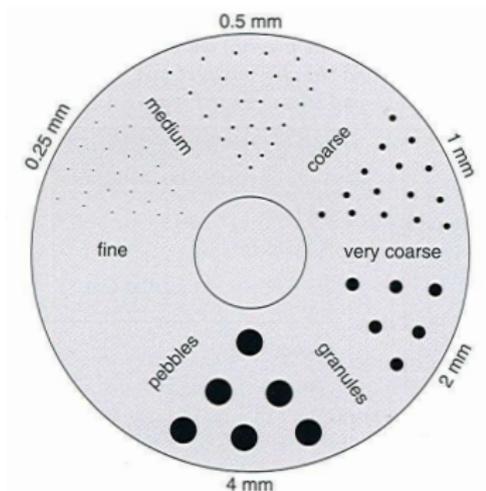
↪ **taille des éléments**, gros vs petits



1.0 mm	very coarsely crystalline
0.5 mm	coarsely crystalline
0.25 mm	medium crystalline
0.125 mm	finely crystalline
0.063 mm	very finely crystalline
0.004 mm	microcrystalline
	cryptocrystalline

Propriétés des éléments

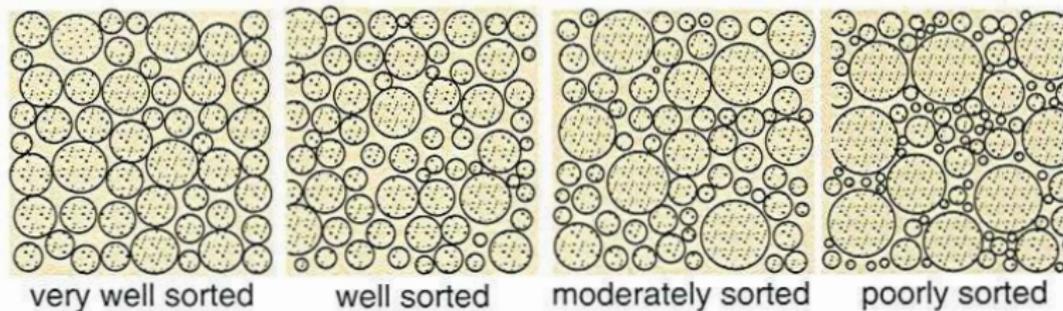
- ▶ Les propriétés des grains des roches détritiques sont précieuses pour définir l'environnement de dépôt :
 - ↪ **taille des éléments**, gros vs petits



cryptocrystalline

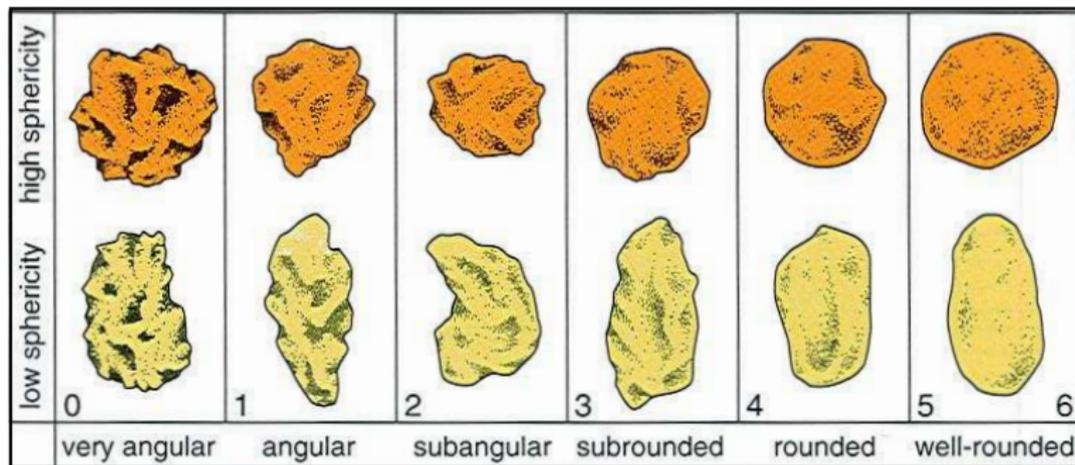
Propriétés des éléments

- ▶ Les propriétés des grains des roches détritiques sont précieuses pour définir l'environnement de dépôt :
 - ↪ **taille des éléments**, gros vs petits
 - ↪ **granulométrie**, homogène vs hétérogène



Propriétés des éléments

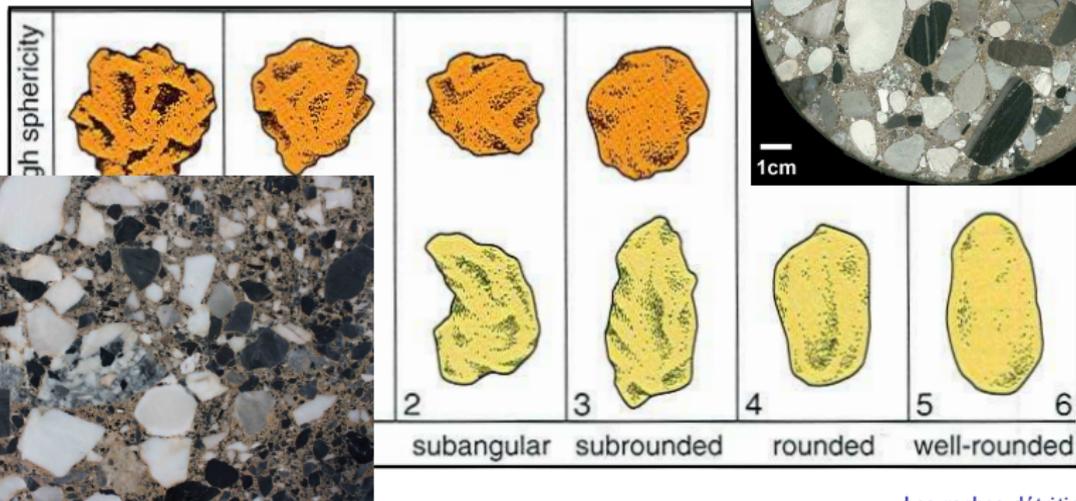
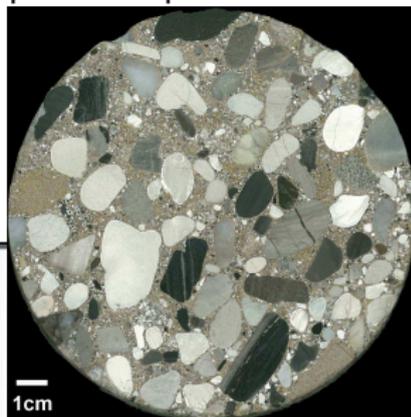
- ▶ Les propriétés des grains des roches détritiques sont précieuses pour définir l'environnement de dépôt :
 - ↪ **taille des éléments**, gros vs petits
 - ↪ **granulométrie**, homogène vs hétérogène
 - ↪ **usure**, arrondis vs anguleux



Propriétés des éléments

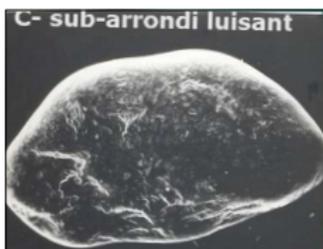
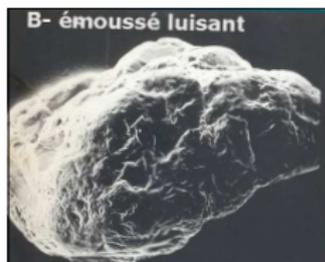
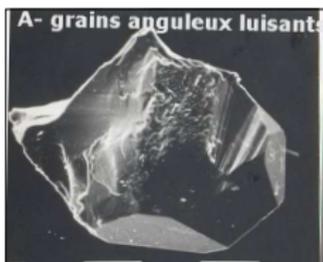
- ▶ Les propriétés des grains des roches détritiques sont précieuses pour définir l'environnement de dépôt :

- ↪ **taille des éléments**, gros vs petits
- ↪ **granulométrie**, homogène vs hétérogène
- ↪ **usure**, arrondis vs anguleux



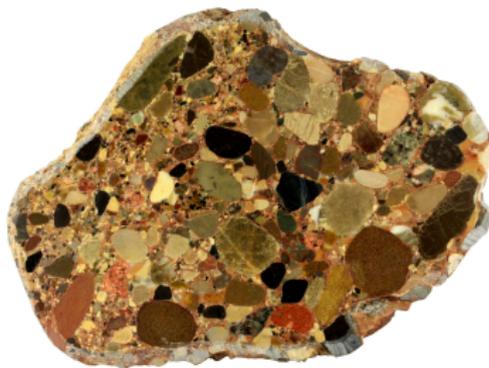
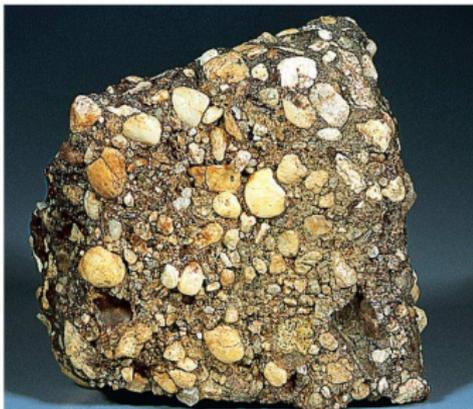
Propriétés des éléments

- ▶ Les propriétés des grains des roches détritiques sont précieuses pour définir l'environnement de dépôt :
 - ↪ **taille des éléments**, gros vs petits
 - ↪ **granulométrie**, homogène vs hétérogène
 - ↪ **usure**, arrondis vs anguleux



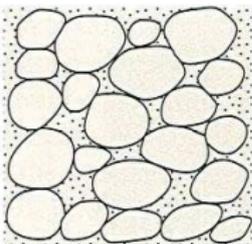
Propriétés des éléments

- ▶ Les propriétés des grains des roches détritiques sont précieuses pour définir l'environnement de dépôt :
 - ↪ **taille des éléments**, gros vs petits
 - ↪ **granulométrie**, homogène vs hétérogène
 - ↪ **usure**, arrondis vs anguleux
 - ↪ **nature des grains**, monogénique vs polygénique

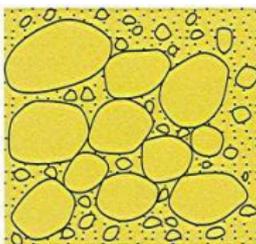


Propriétés des éléments

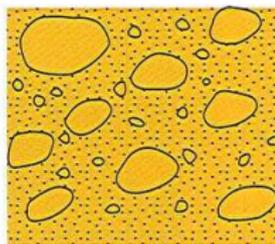
- ▶ Les propriétés des grains des roches détritiques sont précieuses pour définir l'environnement de dépôt :
 - ↪ **taille des éléments**, gros vs petits
 - ↪ **granulométrie**, homogène vs hétérogène
 - ↪ **usure**, arrondis vs anguleux
 - ↪ **nature des grains**, monogénique vs polygénique
 - ↪ **éléments jointifs ou non**



Clast-supported,
bimodal,
matrix well sorted



Clast-supported,
polymodal,
matrix poorly sorted



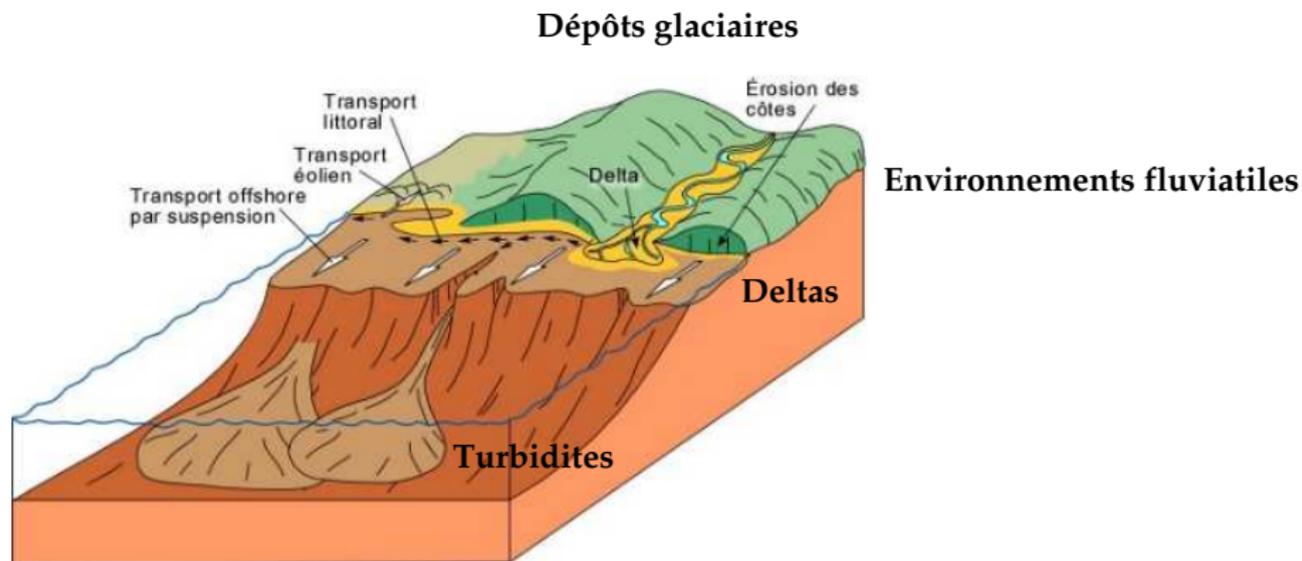
Matrix-supported,
polymodal,
poorly sorted

Propriétés des éléments

- ▶ Les propriétés des grains des roches détritiques sont précieuses pour définir l'environnement de dépôt :
 - ↪ **taille des éléments**, gros vs petits
 - ↪ **granulométrie**, homogène vs hétérogène
 - ↪ **usure**, arrondis vs anguleux
 - ↪ **nature des grains**, monogénique vs polygénique
 - ↪ **éléments jointifs ou non**
 - ↪ **nature du ciment** siliceux, calcaire, argileux

1. Différents types de roches détritiques
2. Environnements de dépôt des roches détritiques
3. Notion de porosité des roches sédimentaires
4. Étude granulométrique des arénites

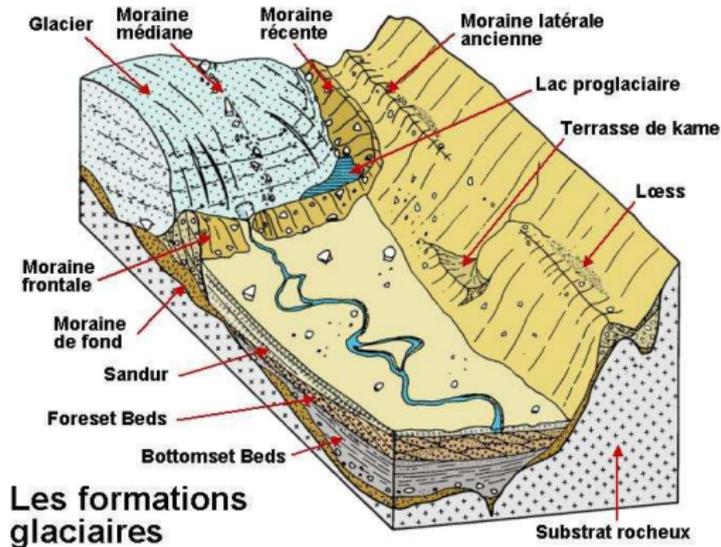
Sédimentation détritique : du continent à l'océan



Dépôts glaciaires

► Matériaux transportés par les glaciers

- ↪ accumulation à proximité du glacier ⇒ **dépôts glaciaires**
- ↪ remaniement par les eaux puis déposés ⇒ **sédiments fluvio-glaciaires** et **glacio-marins**



Dépôts glaciaires

- ▶ Moraines et galets striés

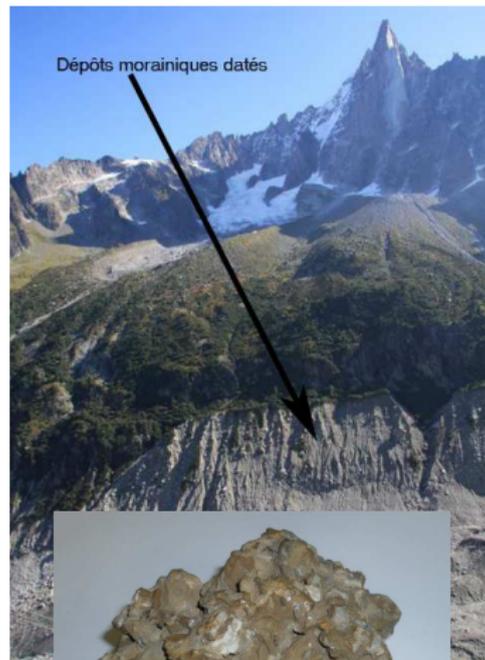


Dépôts glaciaires

► Moraines et galets striés



Laurie Bougeois - collection ENS Lyon



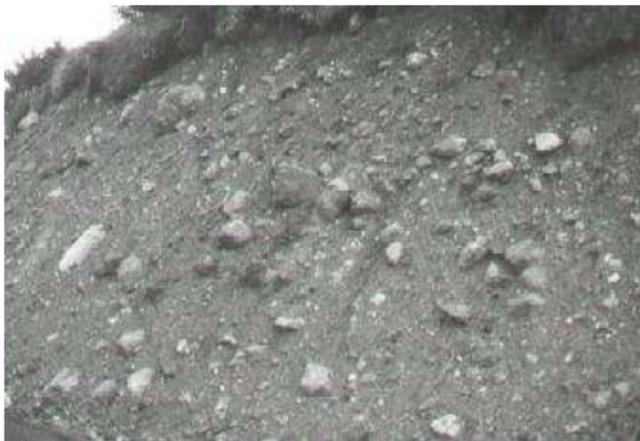
Laurie Bougeois - collection ENS Lyon

Les roches détritiques

Dépôts glaciaires

► Les moraines

- ↪ dépôts **hétérométriques** : argiles ⇒ gros blocs
- ↪ dépôts **non classés** et comportant beaucoup de matrice
- ↪ blocs et galets **anguleux**, striés parfois.
- ↪ pas ou peu de litage (couches de sédiments superposés).



Dépôts fluviaux



Dépôts fluviaux

Cône alluvial

Tresse

Le type de système fluvial est globalement fonction de la **pente** mais aussi du **débit**, du **régime des crues** et du **type de charge solide**

cônes alluviaux

système en tresse

système méandrique

système anastomosé

Méandrique

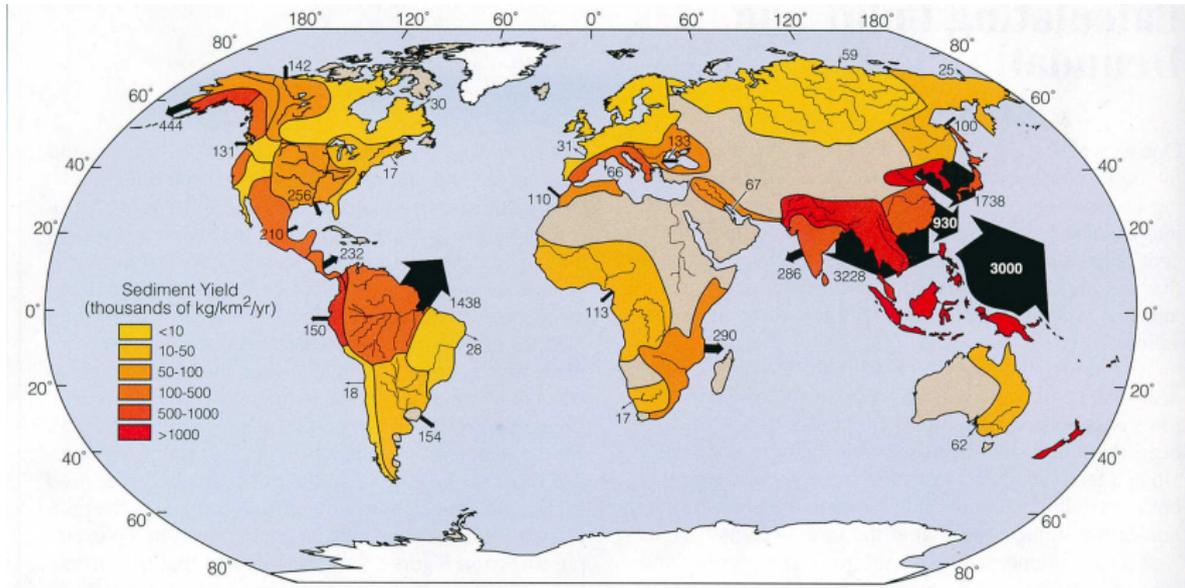
Anastomose

pente

Sédimentation continentale

► Les systèmes fluviaux

↪ apports continentaux fluviaux résultent de la combinaison entre **surface érodable** (relief) et **climat**



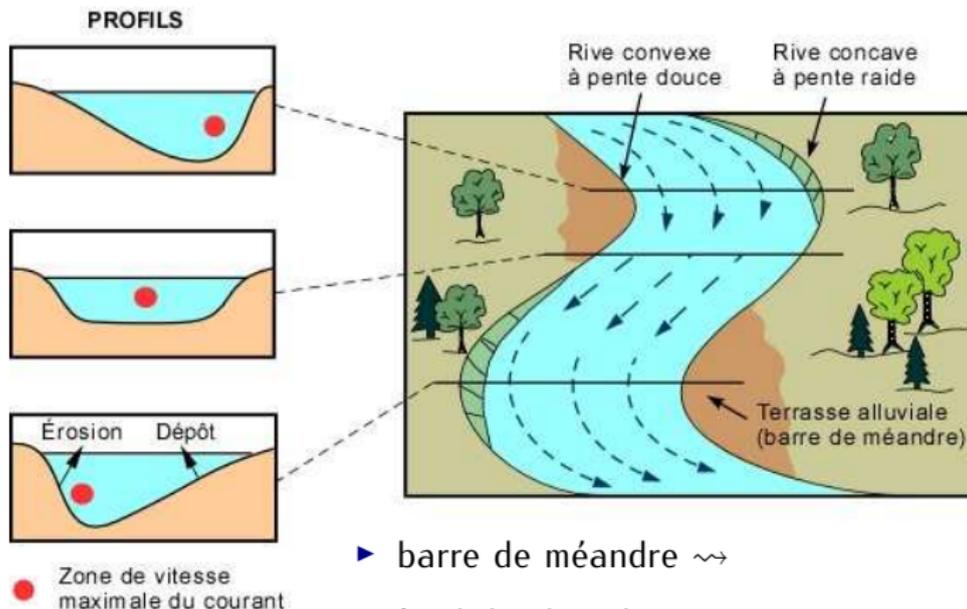
Sédimentation continentale

► Les systèmes fluviaux

- ↪ apports continentaux fluviaux résultent de la combinaison entre **surface érodable** (relief) et **climat**

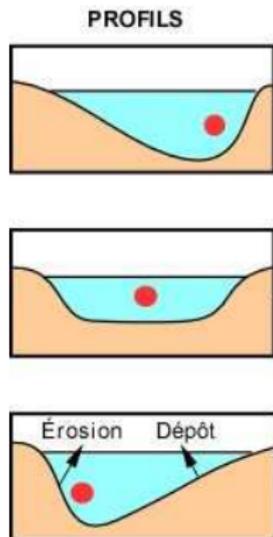


Dépôts fluviatiles

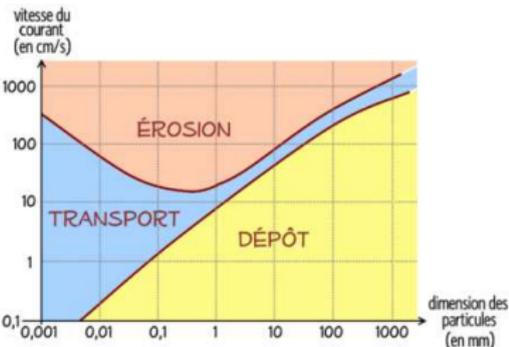
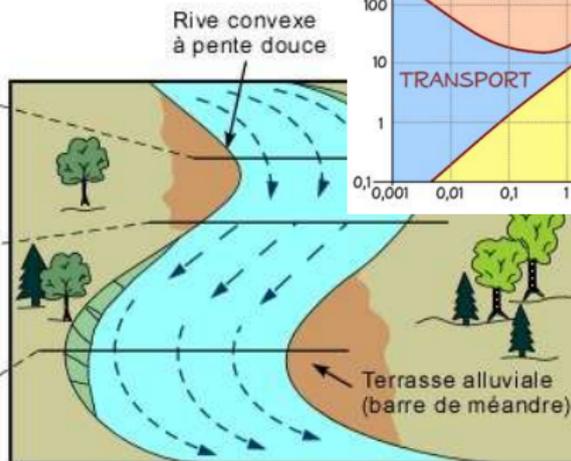


- ▶ barre de méandre ~>
- ▶ fond du chenal ~>
- ▶ plaine d'inondation ~>

Dépôts fluviaux

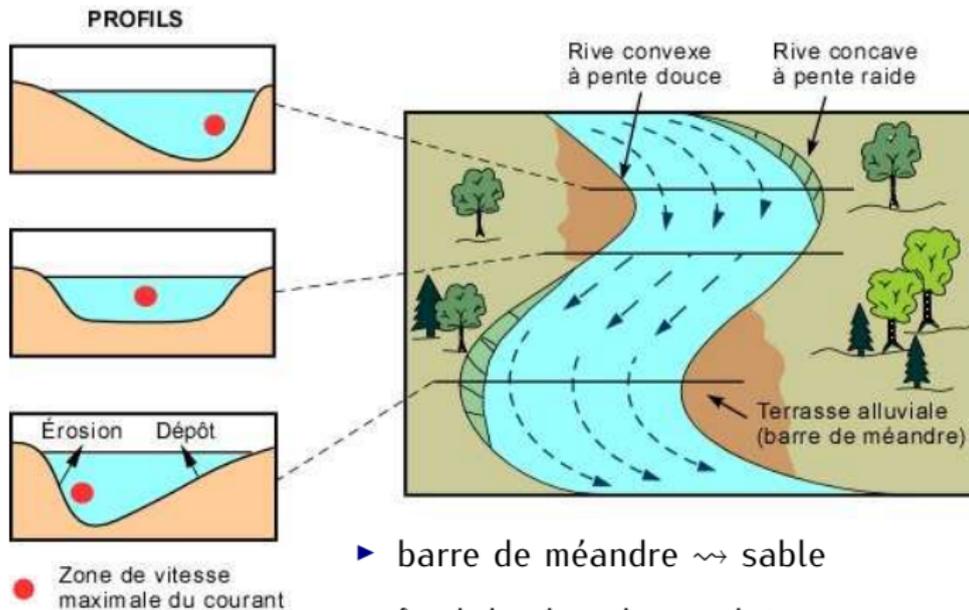


● Zone de vitesse maximale du courant



- ▶ barre de méandre ~>
- ▶ fond du chenal ~>
- ▶ plaine d'inondation ~>

Dépôts fluviatiles

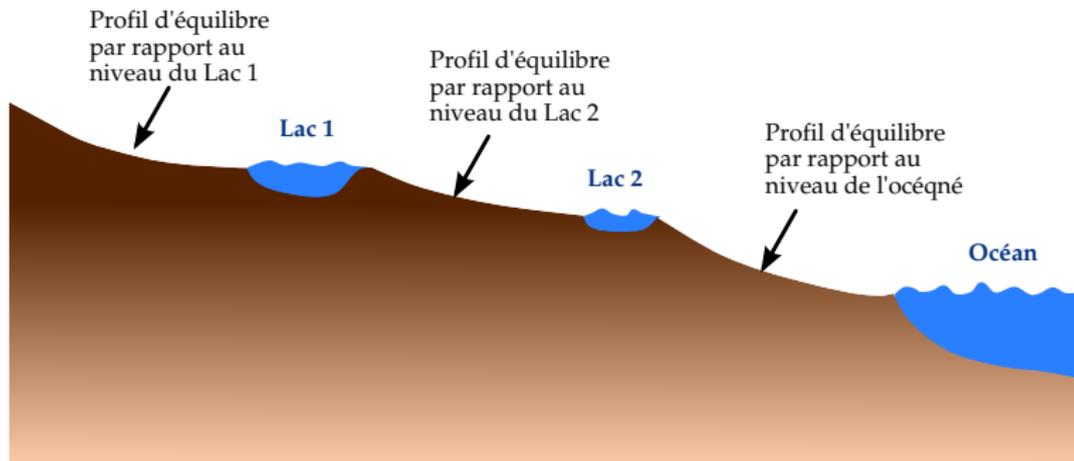


- ▶ barre de méandre \rightsquigarrow sable
- ▶ fond du chenal \rightsquigarrow galets
- ▶ plaine d'inondation \rightsquigarrow dépôts fins (limons, argile)

Dépôts fluviaux

► notion de niveau de base et de profil d'équilibre

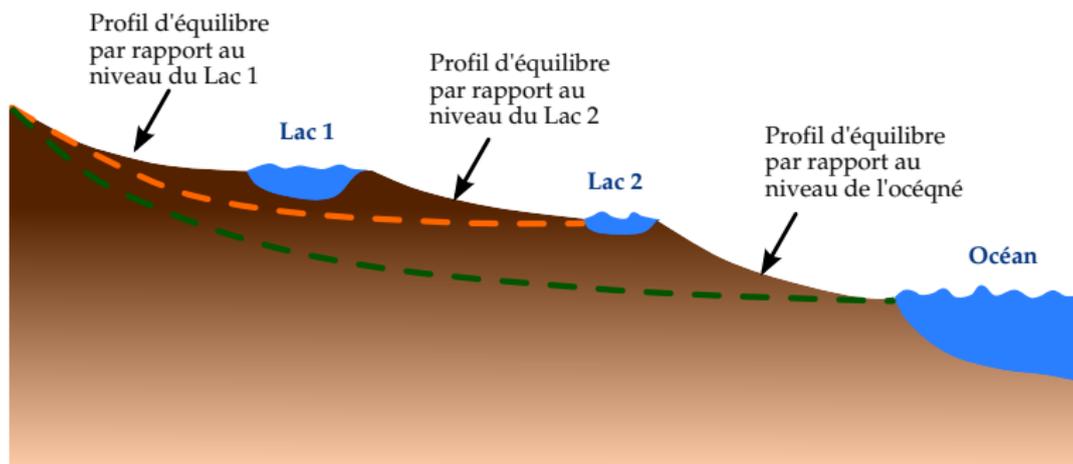
- ↪ **Niveau de base** : niveau d'eau du réservoir dans lequel se jette le cours d'eau (autre cours d'eau plus important, lac, mer, etc.).
- ↪ **Profil d'équilibre** s'établit par l'ajustement à un niveau de base.



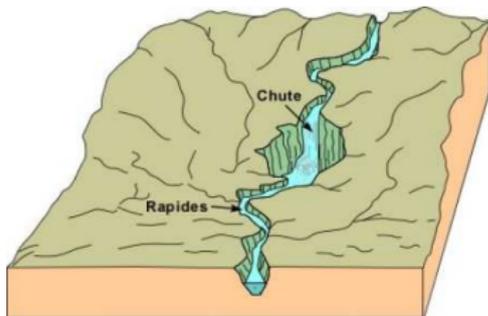
Dépôts fluviaux

► notion de niveau de base et de profil d'équilibre

- ↪ **Niveau de base** : niveau d'eau du réservoir dans lequel se jette le cours d'eau (autre cours d'eau plus important, lac, mer, etc.).
- ↪ **Profil d'équilibre** s'établit par l'ajustement à un niveau de base.

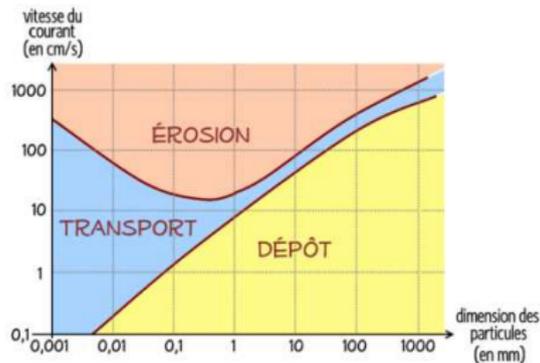


Dépôts fluviaux

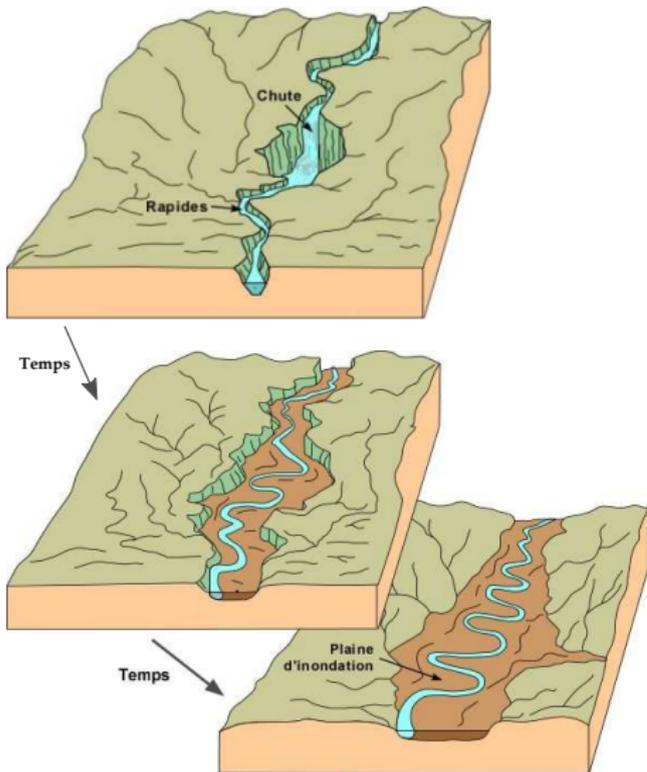


► Rivières ⇒ surtout des **agents de transport**

- ↪ dépôts aux endroits où l'énergie diminue
- ↪ creusent des **vallées en "V"**



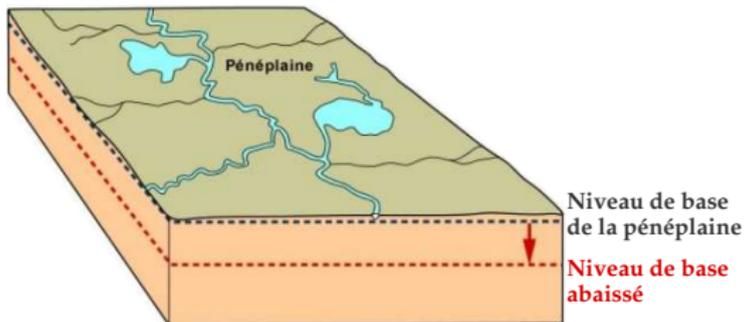
Dépôts fluviaux



- ▶ Rivières ⇒ surtout des **agents de transport**
 - ↪ dépôts aux endroits où l'énergie diminue
 - ↪ creusent des **vallées en "V"**
- ▶ À maturité ⇒ aplanissement des reliefs et diminution de la pente
 - ↪ **érosion latérale**
 - ↪ élargissement de la vallée et création, par ses dépôts, d'une **plaine d'inondation** (périodes de débordement dues aux crues)

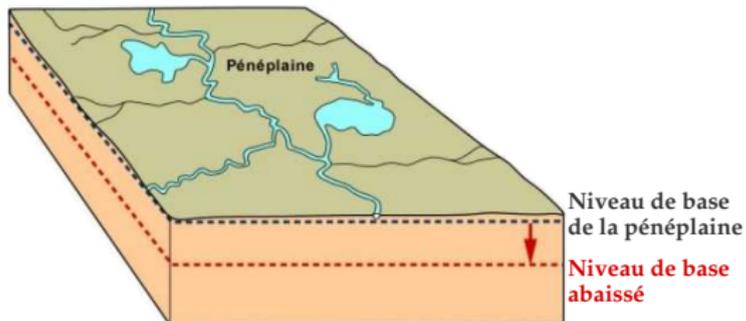
Dépôts fluviaux

1. Abaissement du niveau de base

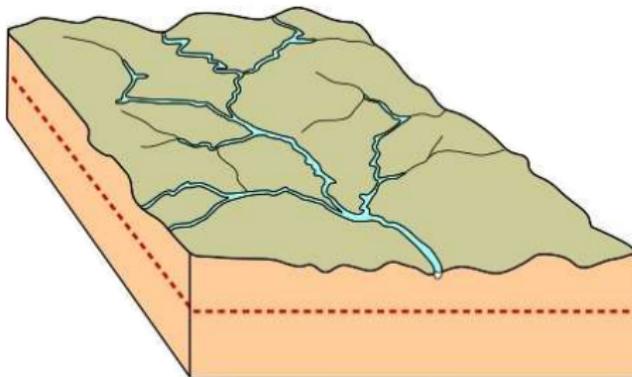


Dépôts fluviaux

1. Abaissement du niveau de base

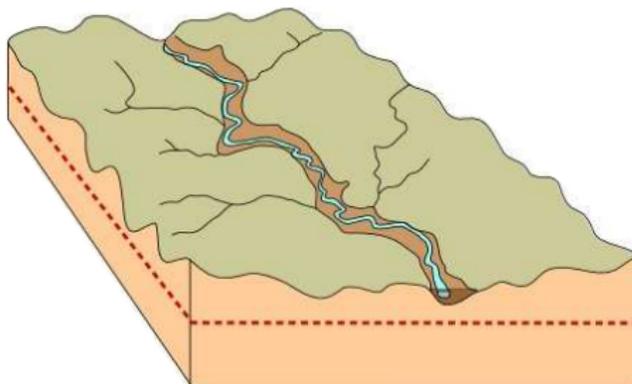


2. Creusement



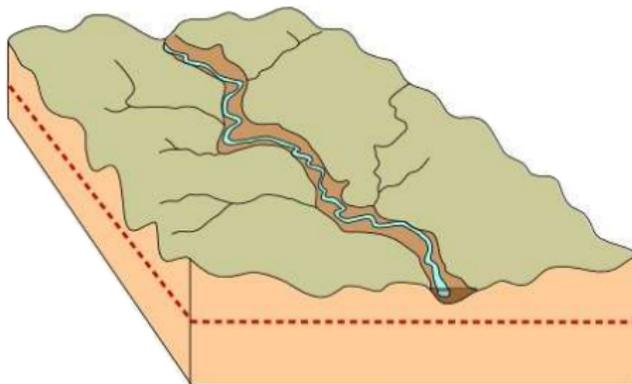
Dépôts fluviaux

3. Érosion, ravinement

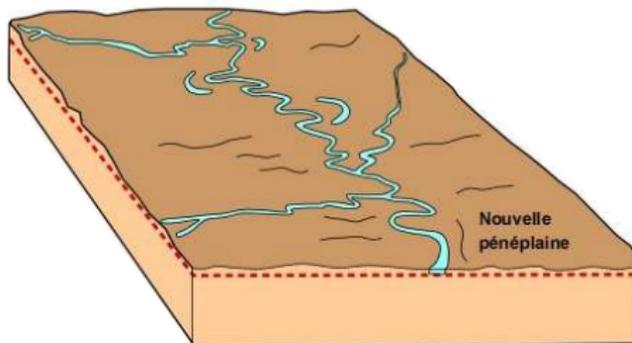


Dépôts fluviaux

3. Érosion, ravinement



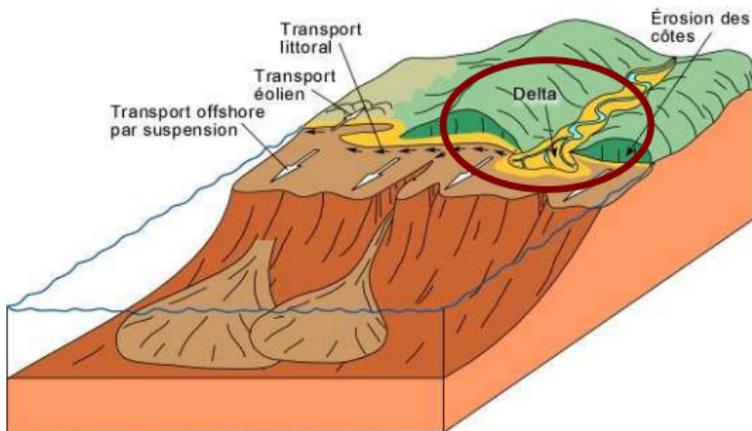
4. Nouvelle pénéplaine



Dépôts deltaïques

Sédimentation littorale

- ▶ Littoral = zone tampon entre continent et océan
- ▶ Sédimentation soumise à deux ensembles de processus :
 - ↪ continentaux
 - ↪ marins
- ▶ **Deltas** = zone de décharge des grands cours d'eau



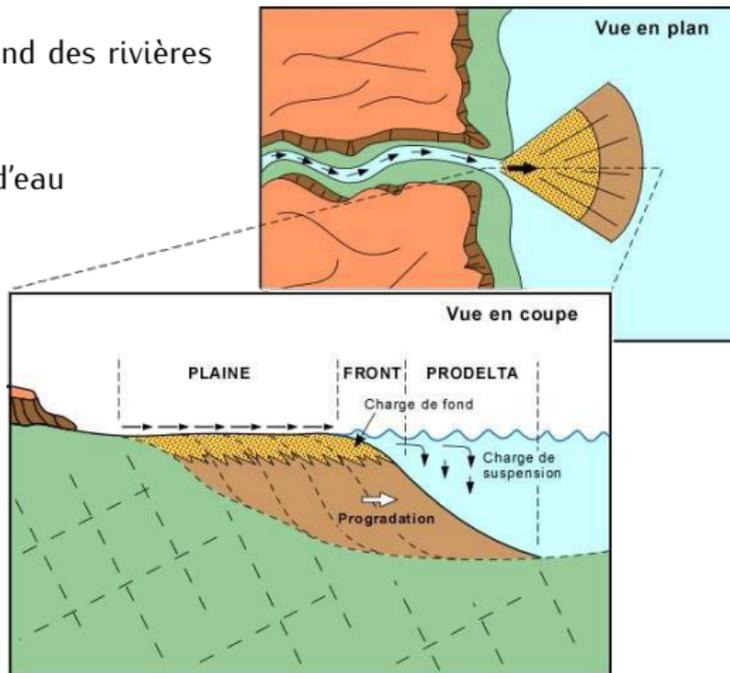
Dépôts deltaïques

► Front delta

↪ sables + graviers ⇔ fond des rivières

► Pro delta

↪ sédiments fins gorgés d'eau



Dépôts deltaïques



Delta du Nil

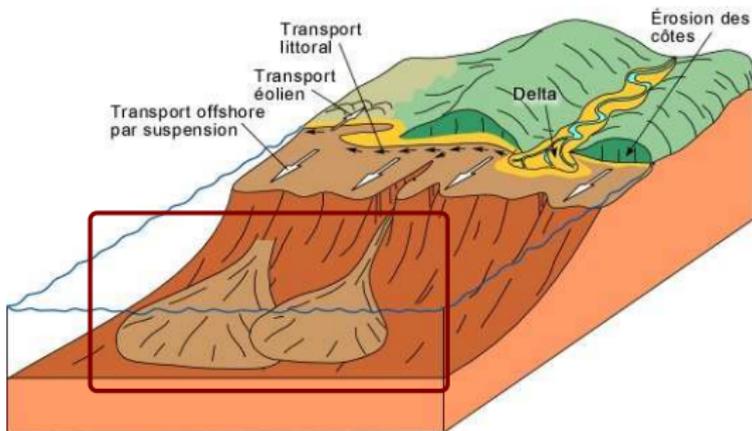


Delta du Mississipi

Dépôts turbiditiques

Sédimentation en bas de talus

- ▶ Fraction fine de la charge sédimentaire du littoral (boues et sables très fins)
 - ↪ transportée vers le large par suspension
- ▶ Sédiments plus grossiers (sables et graviers)
 - ↪ chenalisés dans les canyons sous-marins



Dépôts turbiditiques

Sédimentation en bas de talus

- ▶ Mécanismes de transport de la fraction grossière :
 - ↪ avalanches
 - ↪ courants de turbidité
 - ↪ reptation (glissement très lent de la masse sédimentaire)
- ▶ Cônes sédimentaires très volumineux à l'embouchure des canyons
 - ↪ deltas des grandes profondeurs



1. Différents types de roches détritiques
2. Environnements de dépôt des roches détritiques
3. **Notion de porosité des roches sédimentaires**
4. Étude granulométrique des arénites

Définitions

Porosité

Ensemble des volumes de petite taille pouvant être occupés par des fluides à l'intérieur d'une roche

- ▶ **Porosité primaire** : liée aux espaces intergranulaires dans une roche incomplètement cimentée
- ▶ **Porosité secondaire** : liée par ex. à une dissolution

Définitions

Porosité

Ensemble des volumes de petite taille pouvant être occupés par des fluides à l'intérieur d'une roche

- ▶ **Porosité primaire** : liée aux espaces intergranulaires dans une roche incomplètement cimentée
- ▶ **Porosité secondaire** : liée par ex. à une dissolution

Perméabilité

Aptitude d'un milieu à se laisser traverser par un fluide.

- ▶ **Perméabilité en petit** : terrains ne présentant que des pores de petites tailles
- ▶ **Perméabilité en grand** : correspond aux terrains fissurés, diaclasés ou même creusés de cavités

Porosité

Roches meubles

ex : alluvions, éboulis

- ▶ Grains indépendants \Rightarrow érodabilité, instabilité sur les pentes
 - \rightsquigarrow grande porosité
 - \rightsquigarrow perméabilité variable (ex : argiles imperméables)
- ▶ Formations à grains fins gorgées d'eau \Rightarrow fluide visqueux qui peut s'écouler
- ▶ Généralement bons aquifères (sauf argiles = horizons imperméables)

Porosité

Roches meubles

ex : alluvions, éboulis

- ▶ Grains indépendants \Rightarrow érodabilité, instabilité sur les pentes
 - \rightsquigarrow grande porosité
 - \rightsquigarrow perméabilité variable (ex : argiles imperméables)
- ▶ Formations à grains fins gorgées d'eau \Rightarrow fluide visqueux qui peut s'écouler
- ▶ Généralement bons aquifères (sauf argiles = horizons imperméables)

Roches consolidées

ex : grès, calcaire massif

- ▶ grains soudés entre eux par un ciment
 - \rightsquigarrow ensemble compact et rigide
 - \rightsquigarrow porosité par les espaces inter-granulaires et les surfaces de stratification

Facteurs affectant la porosité des roches

► Porosité :

↪ caractère important pour la recherche de nappes souterraines de vapeur géothermique, d'exploration et de production de pétrole et de gaz

► majeure partie des réserves mondiales de pétrole et de gaz se trouve dans les **grès** ⚠

► Facteurs intervenant dans la porosité globale de la roche :

↪ **répartition granulométrique** des grains de sable » la **taille des grains**

↪ **processus de dépôt** affectant le degré de porosité, l'épaisseur du dépôt ou de la couche de sable

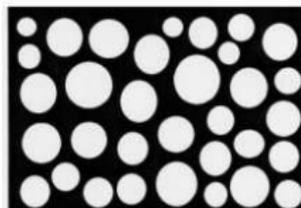
↪ **nature des fluides** s'écoulant à travers la roche

↪ **stabilité chimique des grains**

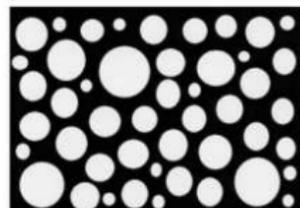
Tri granulométrique et porosité

- ▶ sable uniforme ou bien réparti
 - ↪ beaucoup plus poreux qu'un sable avec des grains mal répartis
- ▶ petits grains de limon ou d'argile contenus dans le sable : néfastes pour la porosité car remplissent les espaces qui pourraient être des pores.

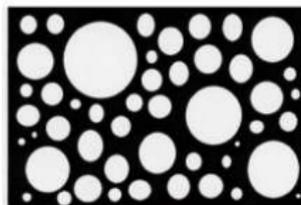
classement



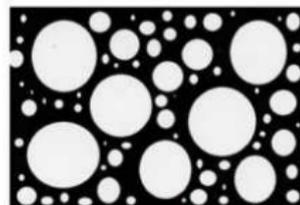
très bon



bon



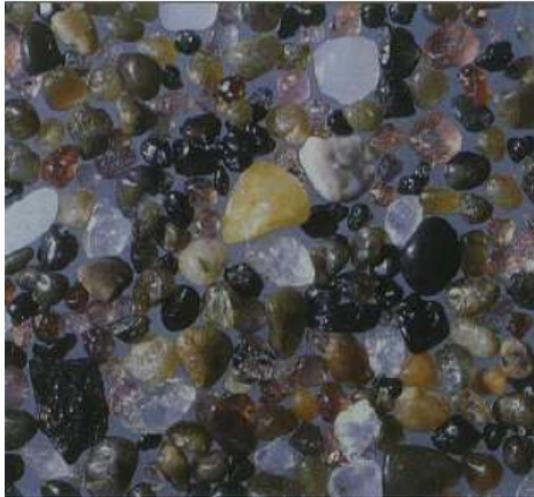
modéré



faible

1. Différents types de roches détritiques
2. Environnements de dépôt des roches détritiques
3. Notion de porosité des roches sédimentaires
- 4. Étude granulométrique des arénites**

Les arénites

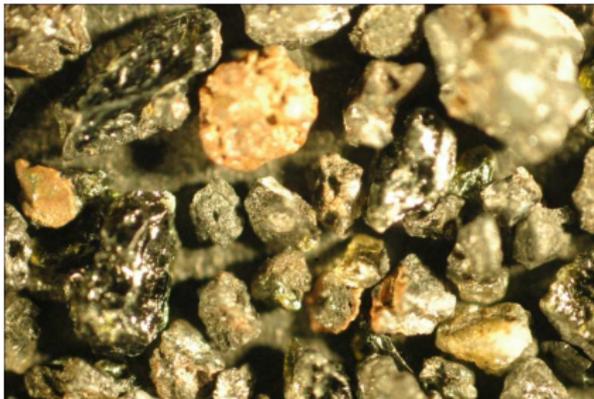


Définition

Roche sédimentaire détritique meuble ou consolidée dont les éléments ont une taille comprise entre $63\mu\text{m}$ et 2mm .

Les arénites

Sable du Stromboli



Sable à grenats (Groix)



Sable oolithique



Sable de la Réunion



Granulométrie des arénites

Échantillon brut

Sable : particules comprises entre 63 μm et 2 mm



Étude de la dimension des grains et des variations de ces dimensions



Qualité du tri

Hydrodynamisme

Granulométrie des arénites

► Méthode de tri : le **tamissage**

- ↪ taille des tamis successifs (norme AFNOR) : $T1 = T2 \times 1,2589$
- ↪ chaque refus de tamis est pesé
- ↪ résultats en % du poids total



Tamis mm	Refus	% cumulé
2		
1.6		
1.25		
1		
0.8		
0.63		
0.5		
0.4		
0.315		
0.25	0.1	100
0.2	0.2	99.9
0.16	0.8	99.7
0.125	7.1	98.9
0.1	57	91.8
0.08	28.3	34.8
0.063	6	6.5
0.05	0.5	0.5

Granulométrie des arénites

MOYEN D'ÉTUDE	AFNOR α	UNITÉS Φ	CLASSIFICATION Wentworth	CLASSIFICATION Cailleux	
mesure directe	-24	250-256	-8	BLOCS (BOULDERS)	BLOCS
	-18	63-32	-5	GRAVE (COBBLE)	GALETS
	-6	4	-	CAILLOUX (PEBBLE)	GRAVILLONS
	-3	2	1	GRANULES	2 mm
tamisage	-2	1,6-		TRÈS GROSSIER	SABLES
	-1	1,25-			
	0	1	0		
	1	0,8-		GROSSIER	
	2	0,63-			
	3	0,5	1	MOYEN	
	5	0,315-			
		0,25	2		
		0,125	3	TRÈS FIN	
		0,0625-1/16	4		
microscope binoculaire	14	0,04-		GROSSIER	SABLONS
	17	0,031-1/32	5		
	20	0,02-1/64	6	MOYEN	
	24	0,01-1/128	7	FIN	
		0,004-1/256	8	TRÈS FIN	
tube de sédimentation					LIMONS
pipette					PRE COLLOIDES
		0,00006	14		

Granulométrie des arénites

► Présentation des résultats

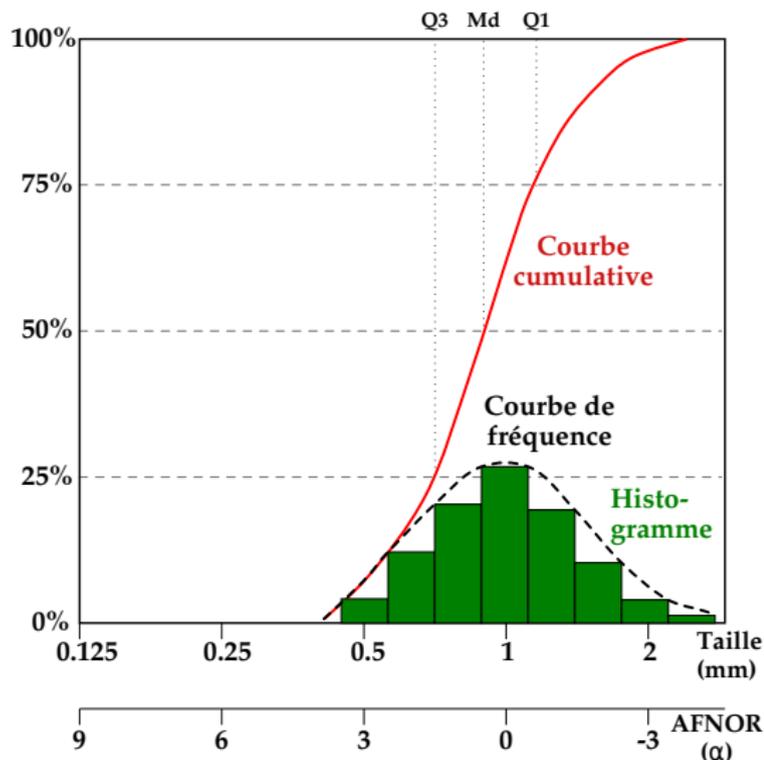
Médiane (Md)

Valeur pour 50% en poids

Quartiles

$$Q_{25} = 25 \% = Q_3$$

$$Q_{75} = 75 \% = Q_1$$



Granulométrie des arénites

▶ **Médiane** (Md ou Me)

↪ indique la grossièreté d'ensemble du sédiment

▶ **Hétérométrie interquartile de Pomerol**

$$Hq = \frac{Q_3 - Q_1}{2}$$

↪ plus Hq est élevé plus le classement est mauvais

▶ **Coefficient d'asymétrie de Pomerol**

$$Asq = \frac{Q_3 + Q_1 - 2Md}{2}$$

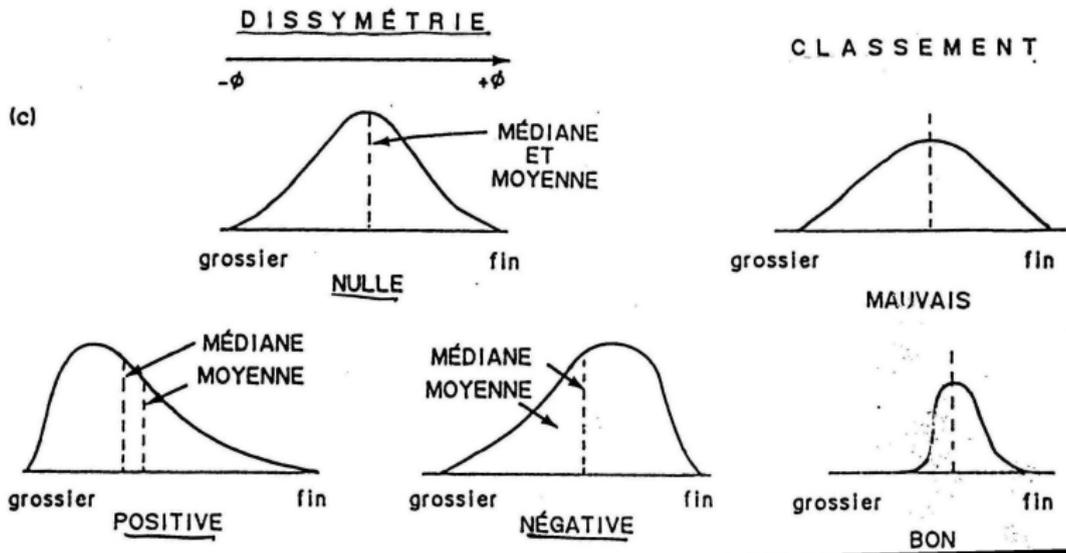
↪ $Asq = 0 \Rightarrow$ distribution symétrique du sable de part et d'autre de la médiane (autant de particules fines que grossières)

↪ $Asq < 0 \Rightarrow$ classement meilleur du côté des particules fines

↪ $Asq > 0 \Rightarrow$ classement meilleur du côté des particules grossières

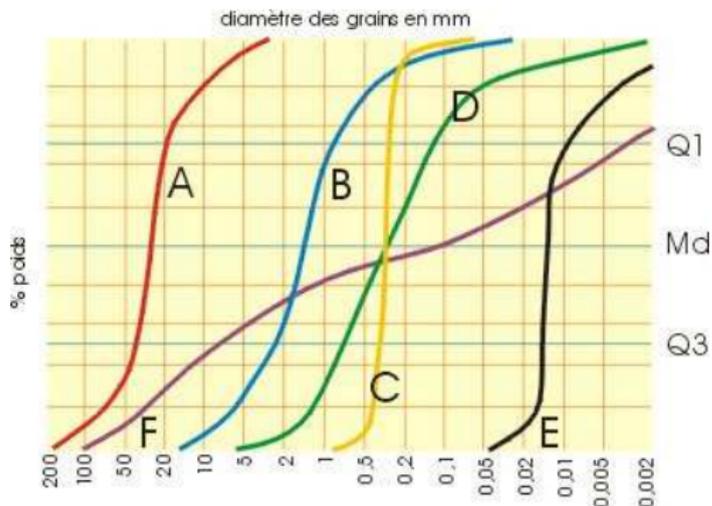
Granulométrie des arénites

Exemples de courbes de fréquences



Granulométrie des arénites

Exemples de courbes cumulatives



- A : gravier fluvatile ;
- B : gravier ;
- C : sable marin côtier ;
- D : sable fluvatile ;
- E : loess ;
- F : argile à blocs.

A, B, C, D et E : Courbes sigmoïdes (dépôts fluvatiles, sables de plage, dunes)

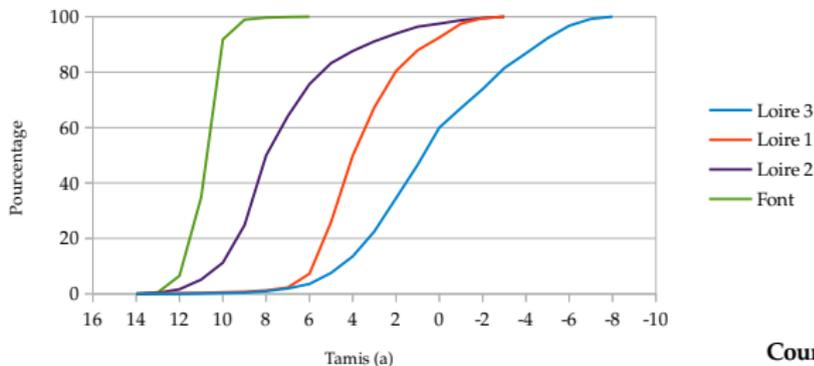
F : Courbe logarithmique (pente faible, tri mauvais, dépôts en vrac ⇒ Moraines ou coulées boueuses)

Exercice

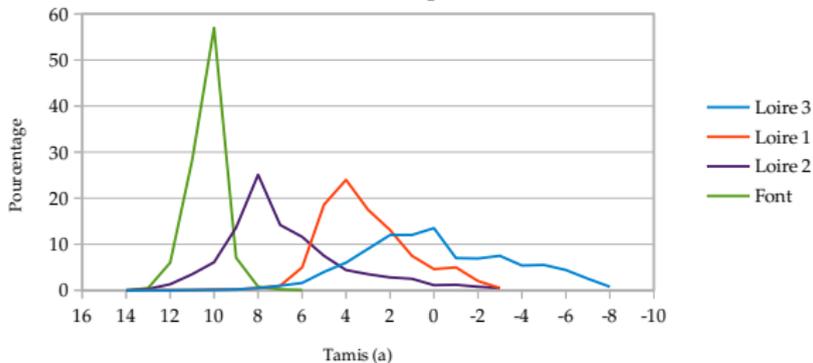
Tamis (mm)	Loire 1		Loire 2		Loire 3		Ech. 4		Tamis (a)
	refus	%cumul	refus	%cumul	refus	%cumul	refus	%cumul	
0.04	0	0	0	0	0	0	0	0	14
0.05	0.1	0.1	0.3	0.3	0	0	0.5	0.5	13
0.06	0.1	0.2	1.3	1.6	0	0	6	6.5	12
0.08	0.1	0.3	3.5	5.1	0.1	0.1	28.3	34.8	11
0.1	0.2	0.5	6.1	11.2	0.1	0.2	57	91.8	10
0.12	0.2	0.7	13.6	24.8	0.2	0.4	7.1	98.9	9
0.16	0.5	1.2	25.1	49.9	0.5	0.9	0.8	99.7	8
0.2	1	2.2	14.2	64.1	1	1.9	0.2	99.9	7
0.25	5	7.2	11.6	75.7	1.6	3.5	0.1	100	6
0.31	18.6	25.8	7.5	83.2	4	7.5			5
0.4	24	49.8	4.4	87.6	6	13.5			4
0.5	17.5	67.3	3.5	91.1	9	22.5			3
0.63	13.1	80.4	2.8	93.9	12	34.5			2
0.8	7.5	87.9	2.5	96.4	12	46.5			1
1	4.6	92.5	1.1	97.5	13.5	60			0
1.25	5	97.5	1.2	98.7	7	67			-1
1.6	2	99.5	0.8	99.5	6.9	73.9			-2
2	0.5	100	0.5	100	7.5	81.4			-3
2.5					5.4	86.8			-4
3.14					5.5	92.3			-5
4					4.4	96.7			-6
5					2.5	99.2			-7
6.3					0.8	100			-8

Exercice

Courbes cumulatives



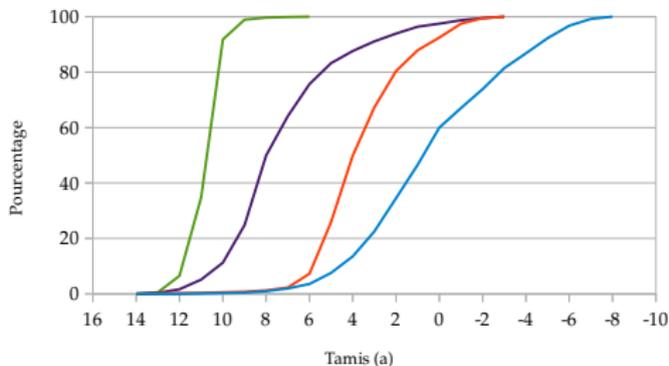
Courbes de fréquences



Exercice

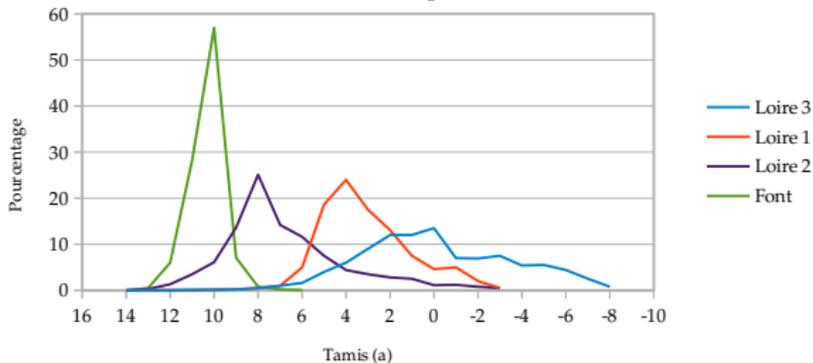
	Loire 1	Loire 2	Loire 3	Ech. 4
Md =	4	8	0.8	10.7
Q3 =	5	9	3	11.2
Q1 =	2.5	6	-2	10.3
Hq =	1.25	1.5	2.5	0.45
Asq =	-0.25	-0.5	-0.3	0.05

Courbes cumulatives



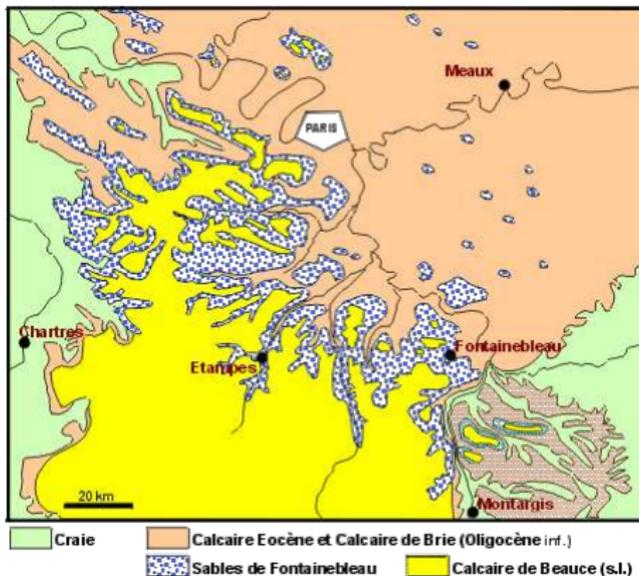
Loire 3
Loire 1
Loire 2
Font

Courbes de fréquences



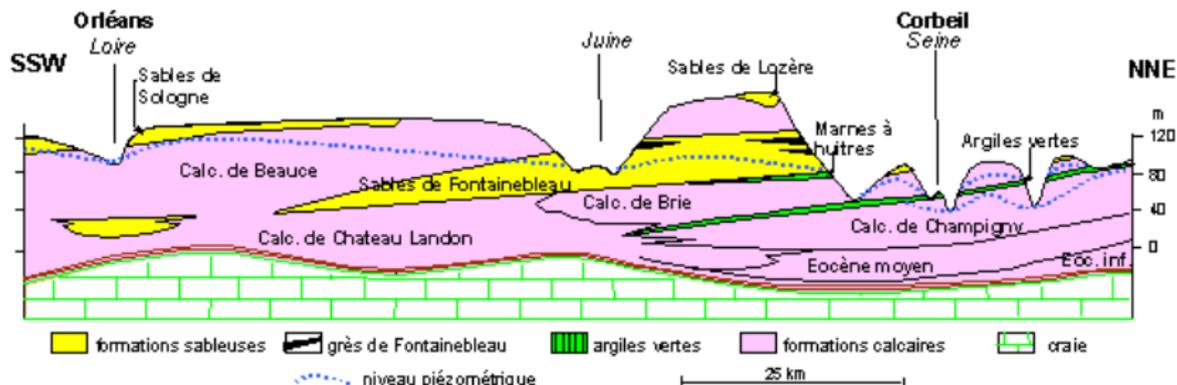
Exercice

- ▶ Les sables de Fontainebleau affleurent largement au Sud de la Seine. Ils constituent une puissante couche meuble, facilement érodable, comprise entre les assises de calcaires durs des plateaux de Brie et de Beauce. Ils forment des talus raides, de plus de 50 m de dénivelé, sur les rebords du plateau de Beauce.

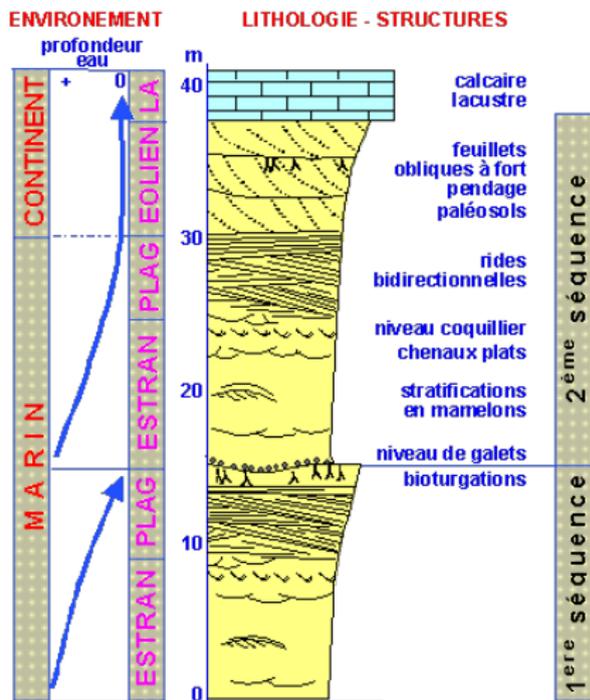


Exercice

- Les sables de Fontainebleau affleurent largement au Sud de la Seine. Ils constituent une puissante couche meuble, facilement érodable, comprise entre les assises de calcaires durs des plateaux de Brie et de Beauce. Ils forment des talus raides, de plus de 50 m de dénivelé, sur les rebords du plateau de Beauce.



Exercice



- ▶ Les Sables de Fontainebleau marquent une grande transgression dont les dépôts marins s'organisent en 2 séquences qui correspondent à des enfoncements rapides de la plateforme ou à des remontées du niveau marin.
- ▶ Les séquences de dépôt sont dites "régressives", avec diminution de la profondeur de dépôt au fur et à mesure que l'espace disponible se comble.
- ▶ Les figures sédimentaires permettent de remonter aux milieux de dépôt.