

Mesures en géosciences : Cours Dynamique fluviale

Albane Saintenoy, maîtresse de conférence
Géosciences Paris Saclay, Bâtiment 504

albane.saintenoy@universite-paris-saclay.fr

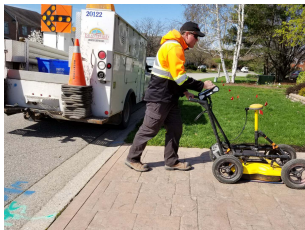
Deux paramètres - deux méthodes géophysiques

Densité ρ \rightarrow Gravimétrie

$$\rho = \frac{M_v(\text{roche})}{M_v(\text{eau})}$$

M_v : masse volumique

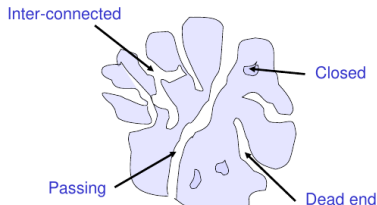
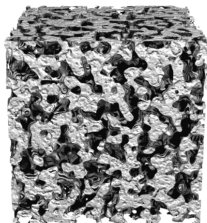
Permittivité diélectrique ε \rightarrow Radar de sol



Relation densité et porosité

$$\Phi = \frac{V_p}{V_t} = 1 - \frac{\rho_a}{\rho_s}$$

avec Φ la porosité, V_p le volume des pores et V_t le volume total, ρ_a la densité apparente de l'échantillon et ρ_s la densité de la partie solide



Voir TP mesure de porosité

Exemple d'un sable de Fontainebleau

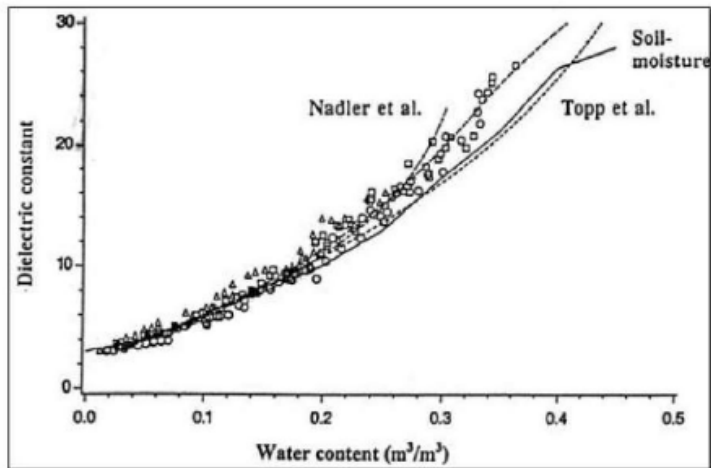
Calculer la porosité Φ d'un sable sec de Fontainebleau constitué de grains de silice pur de densité $\rho_s = 2.65$ quand la densité apparente de l'échantillon vaut $\rho_a = 1.7$.

Que devient la densité apparente de 100 cm^3 de ce sable s'il est saturé en eau ?

$$\rho_a(\text{échantillon saturé}) = \frac{M(\text{échantillon saturé})}{V(\text{échantillon})}$$

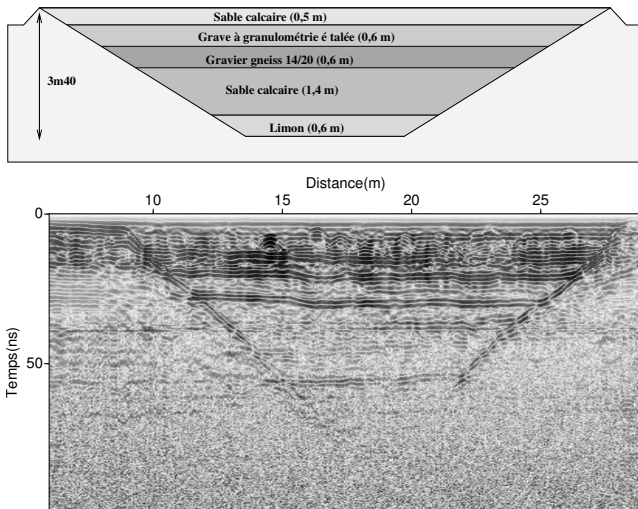
Réponse : $\Phi = 0,358 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ et $\rho_a(\text{échantillon saturé}) = 2,058$

Relation permittivité diélectrique et teneur en eau



→ Cause des réflexions radar de sol

Relation permittivité/teneur en eau/réflexion signal radar



→ Relation teneur en eau et granulométrie

Classification granulométrique

Maxi	Appellation	Mini
200 mm	cailloux	20 mm
20 mm	graviers	2 mm
2 mm	sables grossiers	0,2 mm
0,2 mm	sables fins	20 μm
20 μm	limons	2 μm
2 μm	argiles	

Voir TP Granulométrie.

D'où provient la distribution granulométrique des dépôts sédimentaires ?

Transport dissous et particulaire (solide)

Trois types de processus :

- ▶ glissements en masse par gravité en l'absence de fluides (avalanches de débris, glissements de terrain);
- ▶ écoulements gravitaires en présence de fluides ("debris flows", "grain flows", "mudflows", turbidites);
- ▶ écoulements d'eau, d'air ou de glace.

Quatre vecteurs/agents de transport :

- ▶ gravité
- ▶ les glaciers
- ▶ le vent
- ▶ les cours d'eau

Exemples de transport par gravité



Solifluxion



Éboulis

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Solifluxion>

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Éboulis>

Exemples de transport par les glaciers



Moraine et blocs erratiques

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Moraine>

https://fr.wikipedia.org/wiki/Bloc_erratique

Exemples de transport par le vent

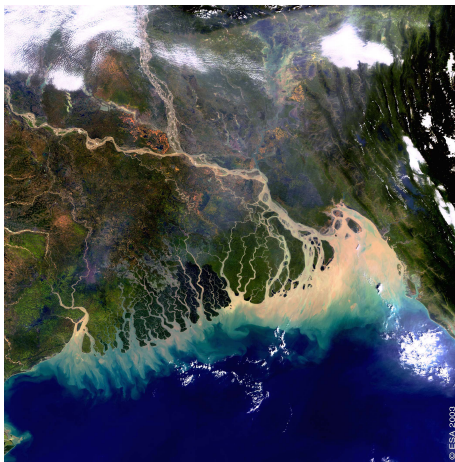


Dunes

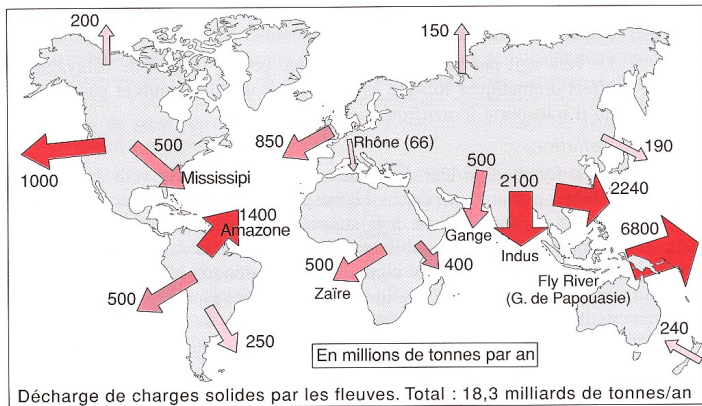


Tempête de sable

Delta du Gange



Exemples de transport par les cours d'eau



Pour comparaison, l'homme déplace 30 milliards de tonnes/an
 Voir onglet "Environnement", "les sols" du site
<https://www.planetoscope.com/>

Énergie d'un cours d'eau

Le rapport entre la vitesse d'une particule et la force de pesanteur qui s'exerce sur celle-ci est définie par **le nombre de Froude**, noté F_r ,

$$F_r = \frac{v}{\sqrt{gh}}$$

avec

v la vitesse du fluide (m/s),

g l'accélération de la pesanteur ($= 9.81 \text{ m/s}^2$),

h , l'épaisseur de la lame d'eau (m).

- ▶ les rapides ont $F_r > 1$
- ▶ les rivières calmes ont $F_r < 1$

Comportement de l'écoulement

La transition entre un écoulement laminaire ou turbulent est caractérisé par **le nombre de Reynolds**, noté R_e ,

$$R_e = \frac{M_v v L}{\eta}$$

avec

M_v , la masse volumique du fluide (kg/m^3),

v , sa vitesse (m/s),

L , une distance (m)

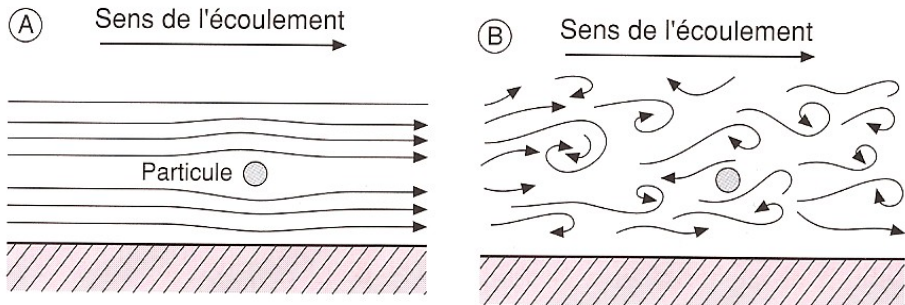
η , sa viscosité ($\text{kg}/\text{m}/\text{s}$).

Masse volumique et viscosité

fluide	Masse vol. M_v (kg/m ³)	Visco. dynamique η (g/m/s)	Visco. cinématique η/M_v (m ² /s)
eau de mer	1030	1,07	$1,05 \cdot 10^{-6}$
eau douce	1000	1	10^{-6}
glace	900	~ 2	$\sim 2,2 \cdot 10^{-6}$
air	1	~ 0.02	$\sim 15,6 \cdot 10^{-6}$

Dans une rivière, le comportement de l'écoulement dépend principalement des variations de vitesse de l'eau.

Écoulement laminaire / turbulent



source : "Éléments de géologie" - Ch. Pomerol-Y.Lagabrielle-M.Renard (Ed. Dunod)

- ▶ Si $Re < 500$: écoulement laminaire
- ▶ Si $500 < Re < 2000$: écoulement turbulent

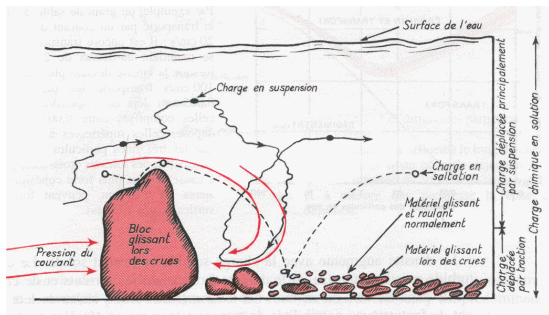
Voir application en TD sur le calcul de débits de rivière

Exemple d'écoulement turbulent



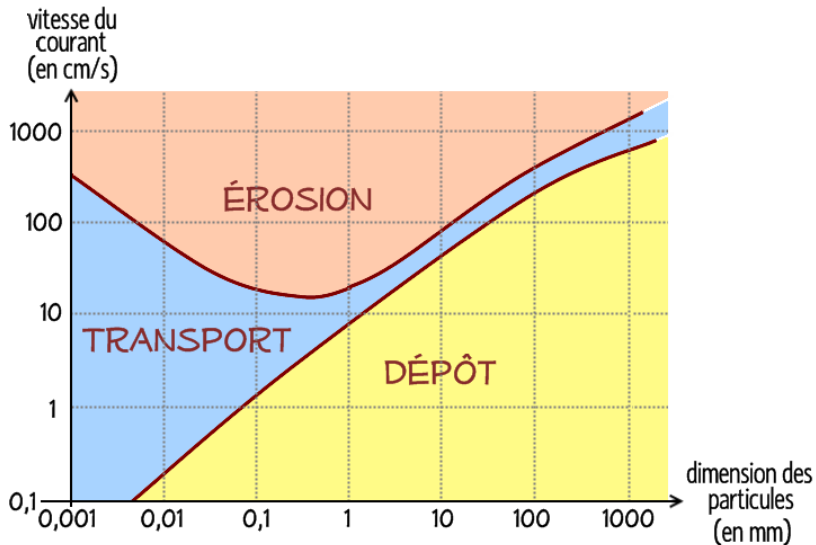
Effet sur le transport des sédiments

Ces deux nombres, Froude et Reynolds, caractérisent la faculté d'une rivière à transporter ou déposer des sédiments de différentes granulométries.



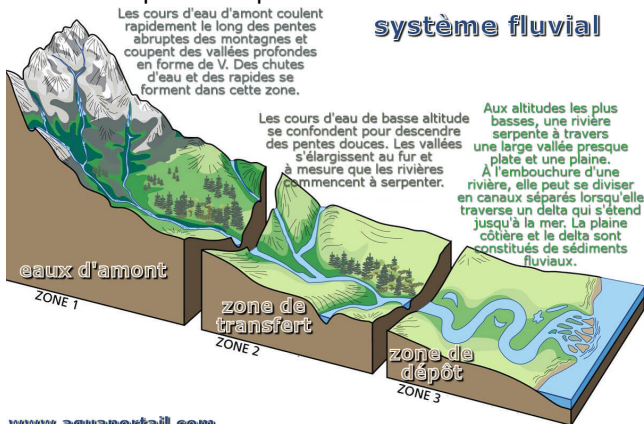
Maxi	Appellation	Mini
200 mm	cailloux	20 mm
20 mm	graviers	2 mm
2 mm	sables grossiers	0,2 mm
0,2 mm	sables fins	20 μ m
20 μ m	limons	2 μ m
2 μ m	argiles	

Diagramme de Hjulström

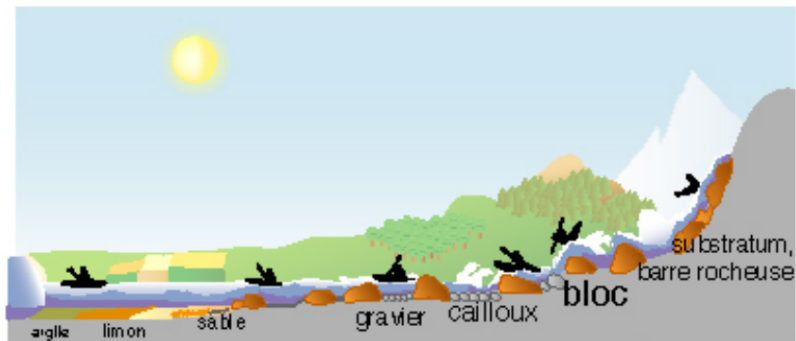


Facteurs influant sur la vitesse d'une rivière

- ▶ la forme de son chenal (plus rapide sur l'extérieur des virages)
- ▶ la pente de la rivière
- ▶ le volume d'eau transporté par la rivière (débit)
- ▶ la friction causée par les aspérités du lit de la rivière



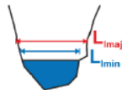
Variations avec la pente et le débit



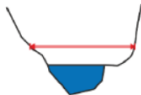
Incision : évolution morphologique

$$I = L_{maj} / L_{min}$$

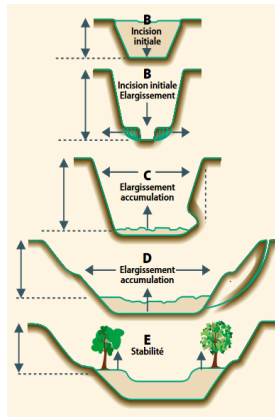
Incisé
($I < 1.4$)



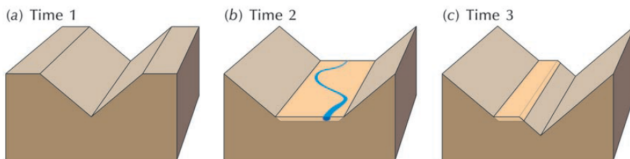
Modérément incisé
($I = 1.4-2.2$)



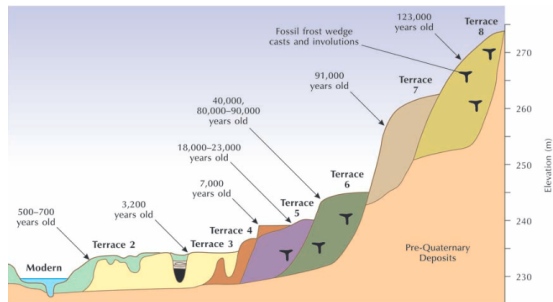
Faiblement incisé
($I > 2.2$)



Dépôt : terrasses alluviales

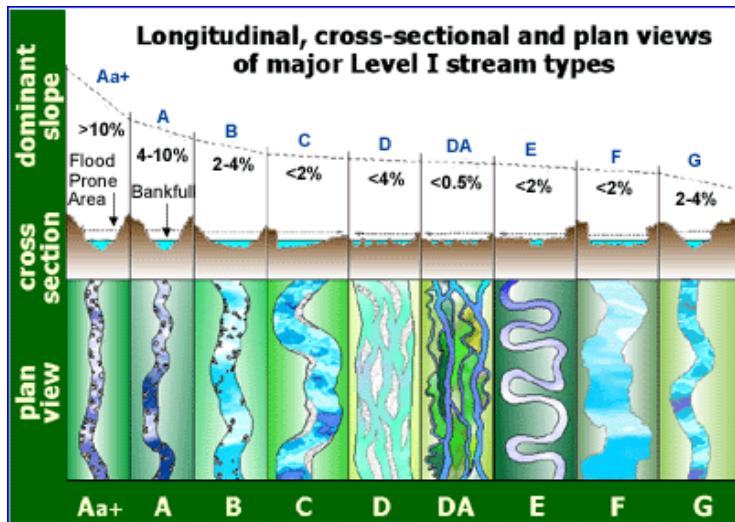


Photograph by Marli Miller, Kyrgyzstan



Colls et al. (2001)

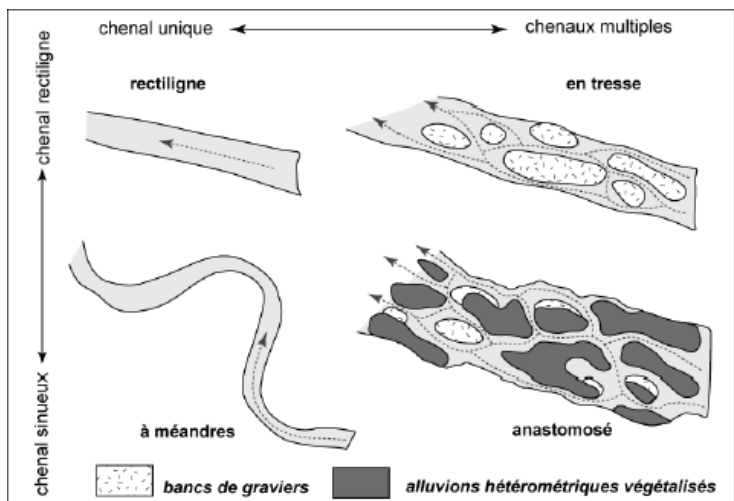
Nombreuses morphologies en fonction de la pente



Différents types de chenaux

	← élevée stabilité du chenal → basse	rapport l/h d'un chenal
rectiligne (étroit et profond)	<p><i>faible apport fluvial solide en charge de fond</i></p> <p>simple à barres latérales</p>	$l/h \ll 10$
à méandres	<p>simple à barres de méandre</p>	$l/h < 10$
en tresse (large et peu profond)	<p><i>fort apport fluvial solide en charge de fond</i></p> <p>à barres de chenal</p>	<p>$l/h > 10$</p>
	<p>limites du chenal écoulement barres</p>	

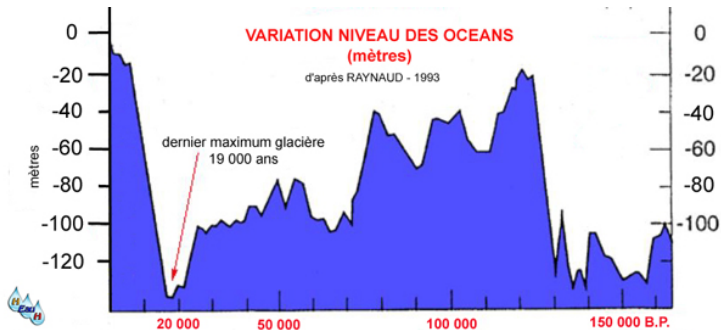
Différents types de chenaux



en tresse ou anastomosé ?

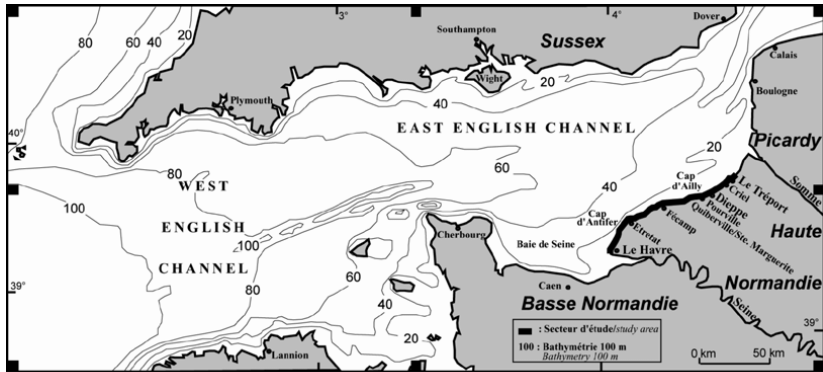


Dynamique des rivières et niveau de la mer

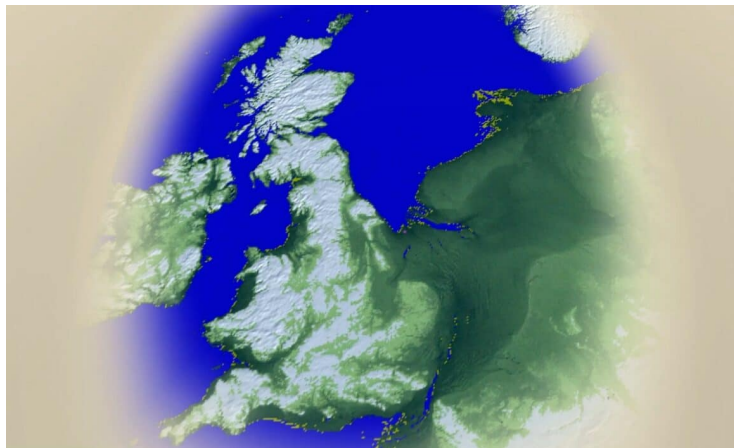


Quand le niveau de la mer change, le gradient topographique change.

Exemple pour la manche



Exemple de Doggerland en mer du Nord



<https://sciencepost.fr/doggerland-fascinante-histoire-terre-disparue-sous-mer-du-nord>

Conclusion de ce cours

- ▶ la porosité des roches joue sur leur densité
- ▶ la taille des grains (granulométrie) joue sur de nombreux autres paramètres physiques en augmentant la surface de contact possible (surface spécifique).
- ▶ la granulométrie des dépôts fluviatiles dépendent de la dynamique de la rivière qui transporte les sédiments
- ▶ deux TD/TP concernent ce sujet
 - ▶ TD mesures de débits de rivière
 - ▶ TP granulométrie et porosité
- ▶ la dynamique fluviale est un sujet qui touche de nombreuses disciplines des sciences de la Terre : Géomorphologie, Sédimentologie, Hydrologie, Géochimie, Climatologie et même Archéologie...

Prochain cours : Outils de géochimie (Cécile Quantin)