

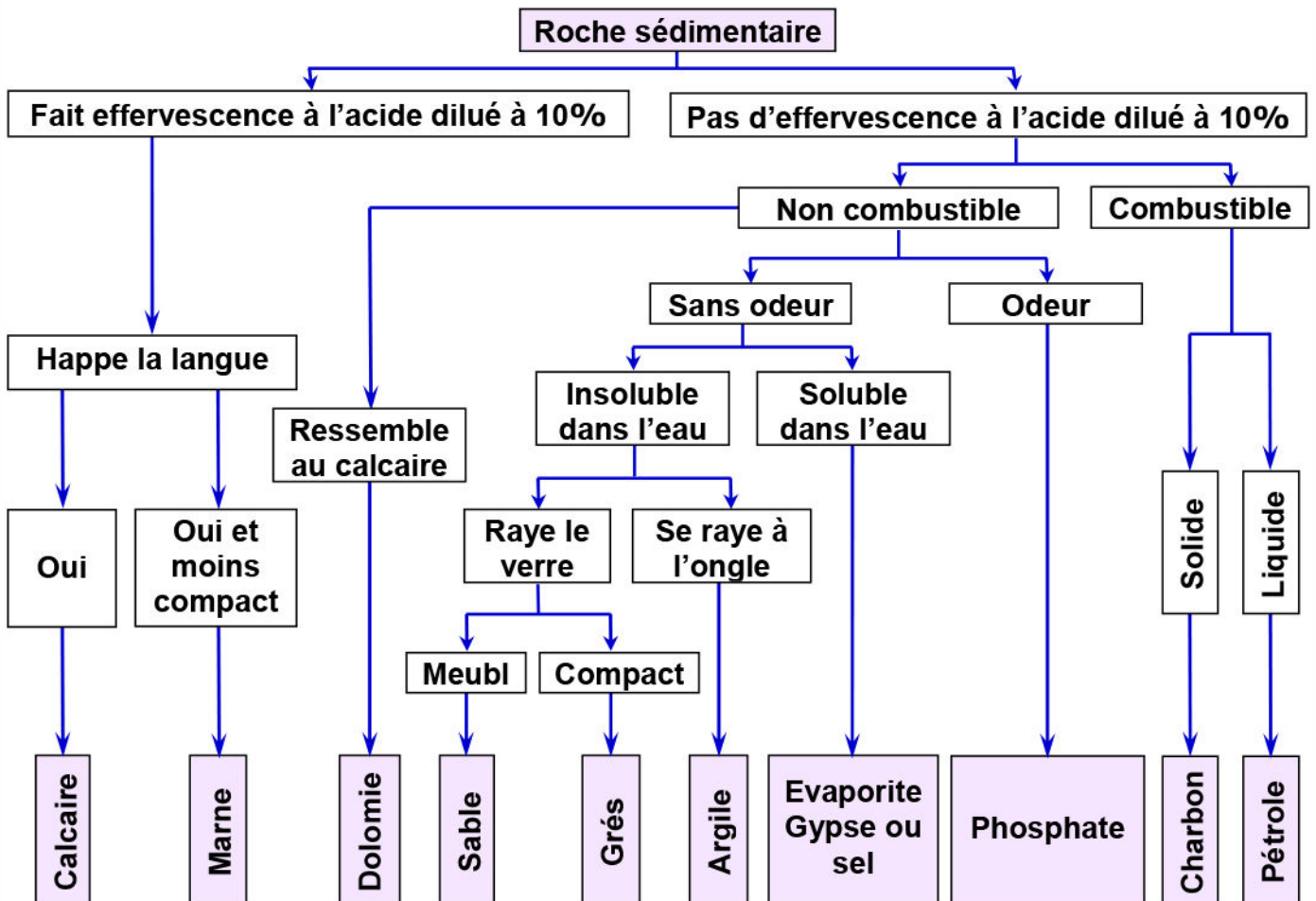
# Unité 1:

## Phénomènes géologiques externes

### Chapitre 1: Réalisation de la carte paléogéographique d'une région

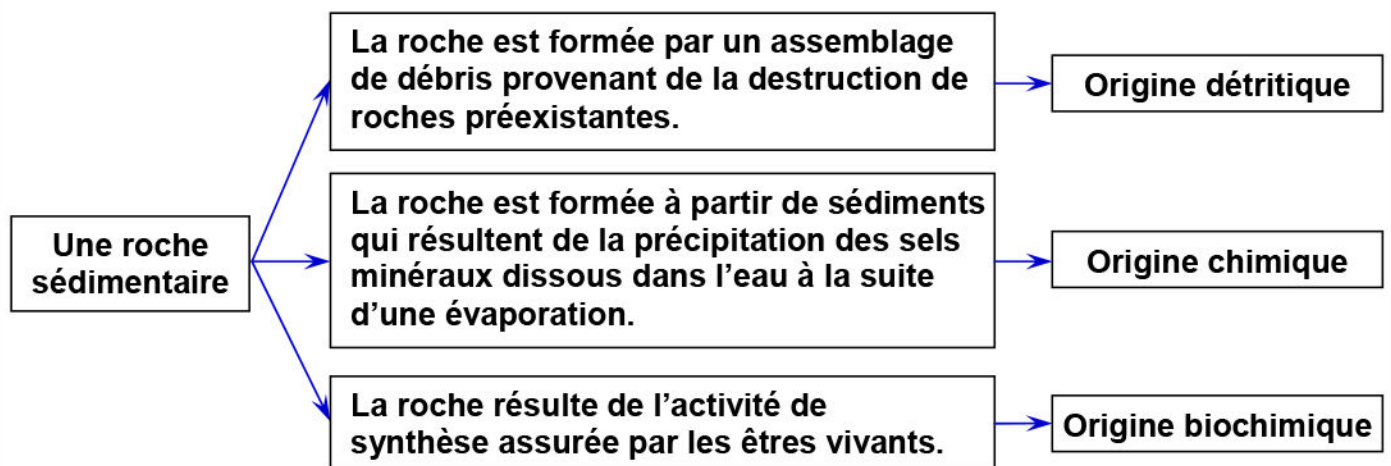
#### Document 1 : Classification des roches sédimentaires :

⇒ Figure 1 : Clé d'identification d'une roche sédimentaire :



⇒ Figures 2 : Classification des roches sédimentaires :

❶ Classification selon l'origine des éléments qui les constituent :



## Document 1 (Suite): Classification des roches sédimentaires :

### ❷ Classification simplifiée des roches détritiques:

Nom de la particule	Taille de la particule	Nom du sédiment	Nom de la roche solide	classe
Blocs	> 256 mm	Graviers	Conglomérats (Poudingues si les particules sont arrondies, si non c'est des brèches)	Rudites
Gros cailloux	64-256 mm			
Petits cailloux	2-64 mm			
Sable	1/16-2mm	Sables	Grès	Arénites
Silt	1/256-1/16mm	silts	Siltites	Lutites (pélites)
argile	< 1/256 mm	argiles	argiles	

### ❸ Classification selon leur composition chimique:

Composition chimique	Classe de roche	Exemple de roche
Silice	Siliceuse	Le silex
Silicate d'alumine	Argileuse	L'argile
Carbonate de calcium	Carbonatée	Calcaire, marne, dolomie
Phosphate de calcium	Phosphatée	Le phosphate
Matière organique	Carbonée	L'anhracite
Chlorure, potassium, sodium	Evaporitique	Le sel

En se basant sur les données de ce document et vos connaissances, dégager les critères de classification des roches détritiques.

## Document 2: Les figures sédimentaires:

Le document présente des photos de quelques figures sédimentaires :



Figure 1: Rides actuelles (Ripple-marks).



Figure 2: Rides anciennes (ripple-marks) (-200Ma).



Figure 3: Fentes de dessiccation (Mud-cracks)



Figure 4: Fentes de dessiccation anciennes



Figure 5: stratification entrecroisée (Cross-bedding)



Figure 6: Terriers à la surface d'un banc.

Décrivez les différentes formes sédimentaires et montrez leurs intérêts dans la connaissance des dynamiques des milieux sédimentaires



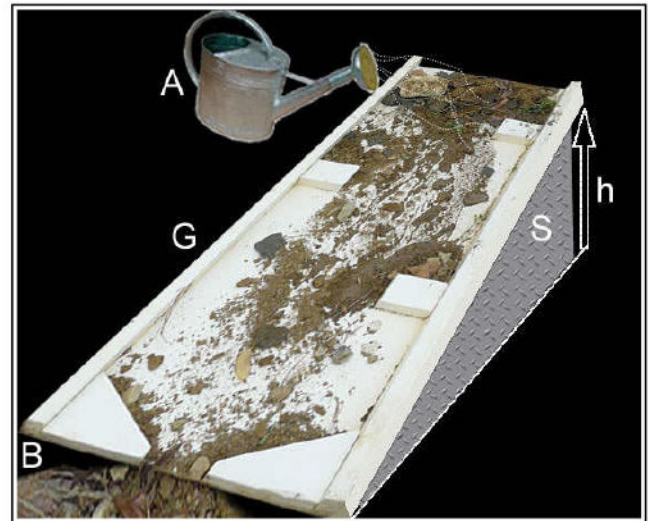
### Document 3: Relation entre le courant et les particules transportées:

On dépose dans la partie supérieure de la gouttière (G), un mélange de 500g de sable, 500g de graviers et 500g de cailloux. On verse sur ces éléments une quantité d'eau par l'arrosoir (A).

Le bassin (B) sous le bord inférieur de la gouttière, reçoit les éléments transportés par l'eau. Le tableau résume les résultats de deux manipulations effectués pendant la même durée, avec l'utilisation d'un support (S) de hauteur (h) respectivement 30cm et 50 cm.

1) A partir de l'analyse des résultats de ces manipulations, déterminer la relation qui lie la hauteur (h) et la vitesse du courant dans la gouttière, la vitesse du courant et la quantité de matière transportée, la vitesse du courant et la taille des éléments transportés.

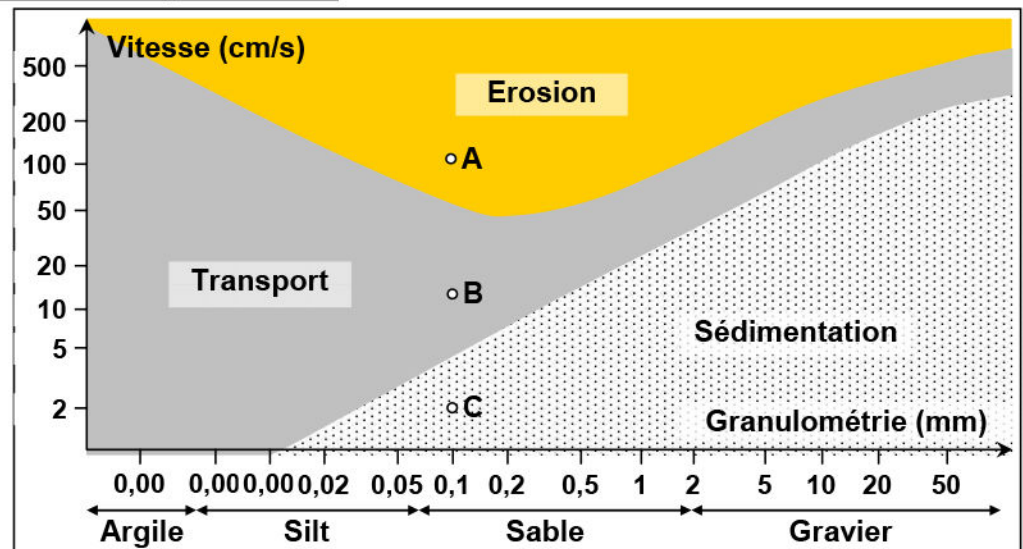
2) Faites le lien entre le modèle expérimental et la pente de la vallée dans la nature.



	h = 30cm	h = 50cm
Sable	344	484
Graviers	28	185
cailloux	0	46
total	372	705

### Document 4: Diagramme de Hjulström :

Le diagramme de Hjulström permet de relier la vitesse d'un courant à son action sur des matériaux de granulométrie variée. Le fond d'un chenal est tapissé de particules dont les diamètres sont connus et on observe leur comportement lorsque la vitesse du courant varie.



A partir de l'analyse du diagramme de Hjulström, indiquer l'attitude des particules de 0,1mm de diamètre, en A, B et C.

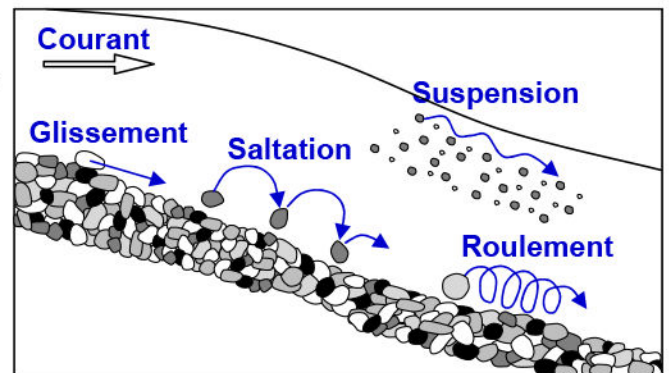
Pour un courant de vitesse égale à 100 cm/s, quel est le diamètre maximal des particules qui peuvent être transportées?

### Document 5: Modes de transport des particules dans un courant:

La vitesse du courant d'eau augmente du fond vers la surface, ce qui constitue un gradient de vitesse.

Le dessin ci contre présente les différentes modalités de transport des sédiments par un courant d'eau.

En exploitant les données de ce document, décrire les différentes modes de transport des sédiments par les courants d'eau.



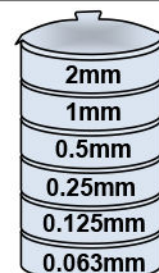


## Document 6: Analyse granulométrique du sable:

L'analyse granulométrique nécessite l'utilisation d'une série de tamis emboîtés les uns sur les autres dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas.

Étapes :

- Prendre un échantillon de sable ;
- Dans un tamis de 0.063mm de diamètre de mailles, laver le sable par l'eau pour se débarrasser de l'argile et du limon ;
- Traiter le sable par l'HCl pour éliminer le calcaire, puis l'eau oxygénée pour éliminer la matière organique ;
- Rincer le sable et le sécher ;
- Déposer une quantité de 100g de chaque échantillon de sable dans une colonne de tamis ;
- Mettre à vibrer la colonne sur la tamiseuse pendant 15mn ;
- Peser les fractions retenues par les tamis successifs (Refus).



Réaliser la manipulation décrite par ce document et déterminer le pourcentage de chaque fraction.

## Document 7: Représentation des résultats de l'analyse granulométrique:

Les résultats de l'analyse granulométrique sont représentés graphiquement par un histogramme et une courbe de fréquence.

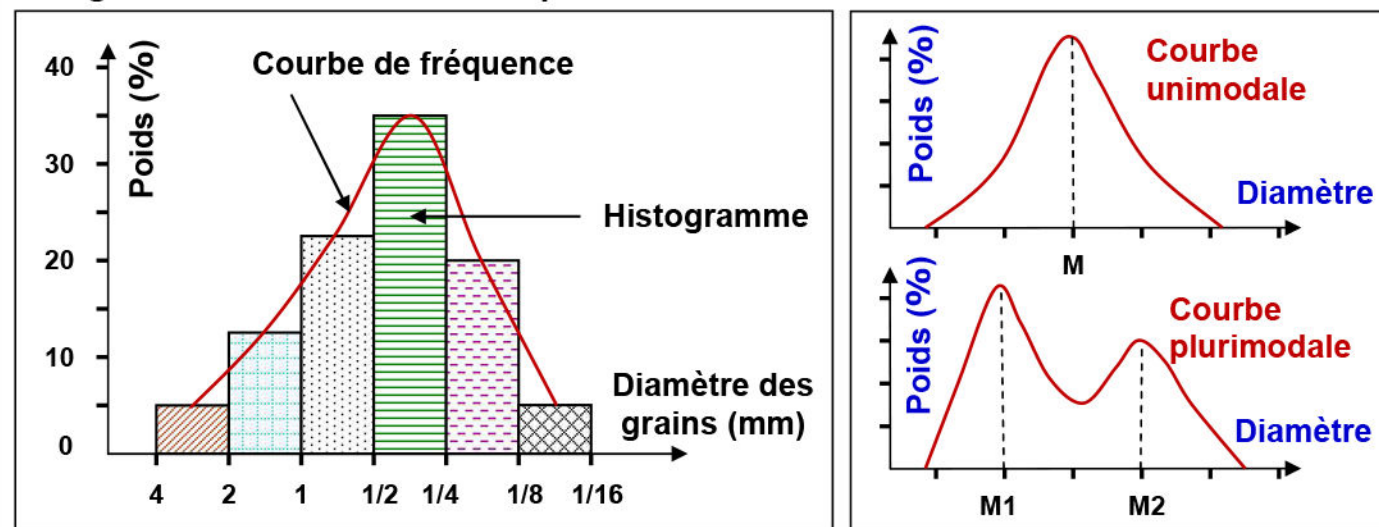


Figure 1 : Histogramme et courbe de fréquence

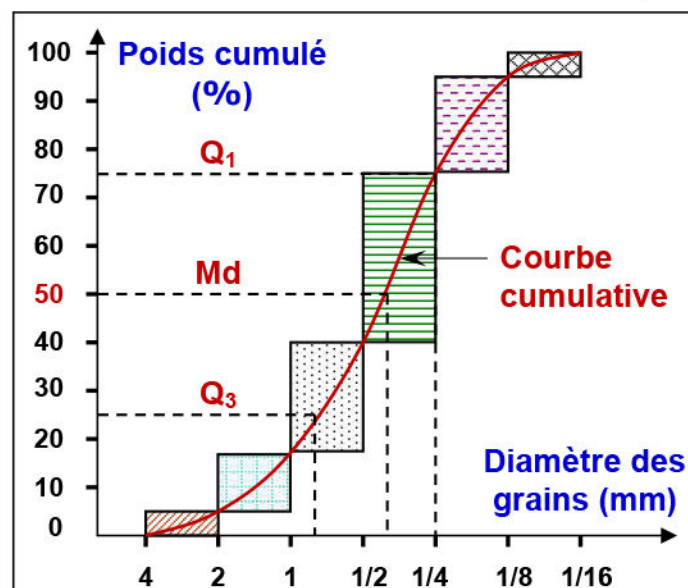


Figure 2 : Diagramme et courbe cumulative.

A partir de l'analyse de la courbe de fréquence on déduit que:

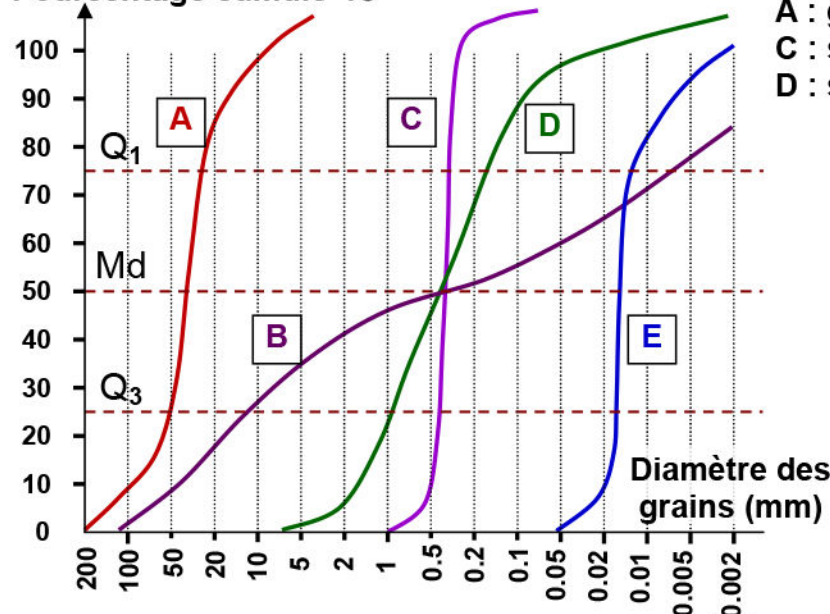
- ✓ Si la courbe de fréquence est unimodale (Un seul pique), le sable est homogène (Plage, éolien ou fluviatile).
- ✓ Si la courbe de fréquence est plurimodale (Deux ou plusieurs piques), le sable est hétérogène (mélange de plusieurs sables).

Afin de caractériser les sables analysés, on trace une courbe cumulative du poids de diverses fractions en additionnant successivement les fractions obtenues.

La courbe des fréquences cumulées croissantes nous permet de retrouver les quartiles  $Q_1$  et  $Q_2$  et la médiane  $M_d$ .

## Document 8: Courbes granulométriques cumulatives de quelques sédiments:

Pourcentage cumulé %



A : gravier fluviatile ; B : moraine ;  
C : sable marin côtier ;  
D : sable fluviatile ; E : loess

Degré de classement	Indice de $S_0$ de Trask
Très bon	< 1.23
Bon	1.23 à 1.41
Moyen	1.41 à 1.74
Mauvais	1.74 à 2.00
Très mauvais	> 2.00

Figure 2: Classement des sédiments selon l'échelle de Fuchtbauer (1959).

Figure 1: Courbes granulométriques cumulatives

## Document 9: Exercice 1:

Le tamisage d'un échantillon de sables anciens a donné les résultats indiqués dans le tableau suivant :

N° du tamis	1	2	3	4	5	6	7
Diamètre des mailles	0.4	0.31	0.25	0.20	0.16	0.125	0.1
Refus	0.6	12.8	69.8	23.8	20.9	0.3	0.4
Pourcentage							
Pourcentage cumulé							

- 1) Complétez le tableau puis construisez sur le même graphique, l'histogramme et la courbe de fréquence. En utilisant les données du tableau, tracer la courbe de fréquence cumulée.
- 2) Retrouver les quartiles  $Q_1$ ,  $Md$  et  $Q_3$  puis calculer l'indice de Trask  $S_0$ .
- 3) Quelle conclusion peut-on tirer sur le classement de cet échantillon de sable ?

## Document 10: Exercice 2:

Le tableau suivant présente les résultats granulométriques de trois échantillons  $E_1$ ,  $E_2$  et  $E_3$  de sables (100g) prélevés de trois milieux sédimentaires différents:

Diamètre (mm)	2	1.6	1.25	1	0.8	0.63	0.5	0.4	0.31	0.25	0.2	0.16	0.125	0.1	0.08	0.063
$E_1$	0	3.4	5.7	14.5	31.4	23.4	16.3	3.8	1.2	0.3	0	0	0	0	0	0
% cumulé																
$E_2$	0	4	9.3	11.6	5	4.7	8	9.3	11.4	14	10	6.5	3.2	2.5	0.5	0
% cumulé																
$E_3$	0	0	0	0	0	0	0.4	1.2	5.1	26.1	47.4	12.1	5.6	1.5	0.6	0
% cumulé																

- 1) Complétez le tableau puis construisez l'histogramme et la courbe de fréquence. Pour chaque type de sable.
- 2) En utilisant les données du tableau, tracer sur le même graphique les courbes cumulatives des trois types de sable.
- 3) A partir des représentations graphiques précédentes, quelle conclusion peut-on tirer sur le classement de ces trois types d'échantillon de sable ?

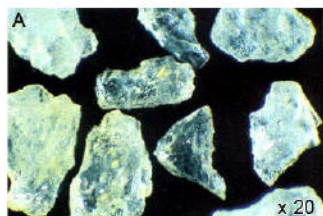
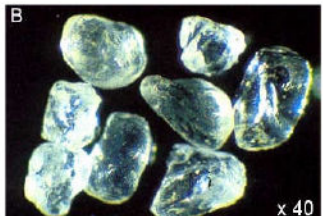
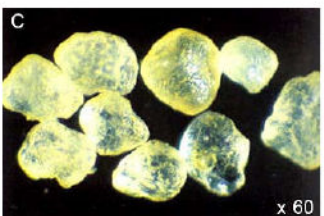
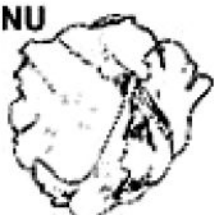
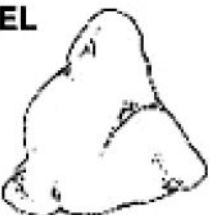
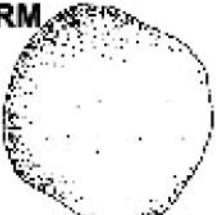


## Document 11: Etude morphoscopique des grains de sable:

Pour observer les grains de quartz d'un échantillon de sable ayant reçu au préalable à une étude granulométrique, on suit les étapes suivantes :

- ✓ On lave le sable avec de l'eau pour éliminer les éléments argileux ;
- ✓ On lave le sable avec de l'acide chlorhydrique pour éliminer les grains de calcaire ;
- ✓ On lave le sable avec de l'eau oxygénée diluée pour éliminer les éléments organiques ;
- ✓ On observe le sable à l'aide d'une loupe binoculaire.

L'observation permet de distinguer trois types de grains :

	Echantillon A	Echantillon B	Echantillon C
			
			
Aspect des grains	Transparents, anguleux à arêtes tranchantes	Transparents, facettes brillantes à arêtes usées	Translucides, facettes dépolies
Types de grains	Non usés (NU)	Emoussés luisants (EL)	Ronds mats (RM)
Mode de transport	Altération physique Transport glaciaire ou fluvial (Faible transport)	Transport prolongé dans l'eau (plage marins, cours inférieurs des fleuves)	Un long transport par le vent

L'étude statistique des grains de quartz de trois échantillons de sable (A, B et C) extrait de trois couches distinctes a donné les résultats du tableau ci-dessous:

	Forme des grains de sable		
	% NU	% EL	% RM
Echantillon A	64	20	16
Echantillon B	10	20	70
Echantillon C	6	68	26

- 1) Présentez les résultats du tableau sous forme d'un diagramme circulaire « en camembert »
- 2) Interprétez ces résultats et déterminez le mode de transport subi par ces échantillons de sable.

## Document 12: Principaux milieux de sédimentation actuels:

Le tableau suivant présente quelques caractéristiques des différents milieux de sédimentation actuels.

Milieux de Sédimentation		Types de sédiments
milieux continentaux	Vallées torrentielles	Alluvions (Dépôt de débris (sédiments))
	Milieux glaciaires	Moraines (accumulations de blocs éboulés sur le glacier ou arrachés et transportés par lui)
	Dépôts éoliens	dunes de sables, loess (dépôt sédimentaire détritique meuble, non stratifié, argilo-calcaire et silteux, à grain inférieur à 62,5µm)
	Plaines alluviales	(grandes rivières permanentes): granulats (sables, graviers et galets)
	Lacs et marécages	Détritiques sables, galets et vases
		Chimiques gypse, l'halite, la sylvite, calcaires rares.
		Organiques roches carbonées (charbon, hydrocarbure), des diatomites.
Milieux intermédiaires	Estuaire	Embouchure d'un fleuve et où l'influence de la mer est prépondérante : dépôt essentiel est la vase formée de sable quartzueux ou calcaire.
	Delta	Embouchure d'un fleuve qui a une action dominante sur les marées; sédimentation abondante : dépôts formés de sables surmontés par des argiles.
	Lagune	Étendue d'eau plus ou moins salée séparée de la mer par un cordon littoral. Evaporites (gypse, l'halite, la sylvite), calcaires dolomitiques, dolomies, marnes
milieux marins	Plage et plate-forme	<b>le plateau continental</b> , zone plane, légèrement inclinée vers la mer, large en moyenne de 80 km, profonde de 200 m tout au plus; - sédimentation à dominance siliceuse quand l'apport détritique est fort ; - sédimentation à dominance carbonatée là où l'apport détritique est faible et le climat favorable au développement des organismes constructeurs (coraux par exemple).
	Talus	<b>la pente continentale</b> (ou talus continental), large de 45 km en moyenne et dont la profondeur va de 200 à 4000m, entamée par des canyons sous-marins ; sédiments détritiques rythmés mis en place en bas du talus par les courants de turbidité.
	Plaine abyssale	détritiques fins (argiles) venant du talus auxquels s'ajoutent les particules fines calcaires tombant de la surface: débris planctoniques,... dépôt de boues pélagiques (des êtres flottants ou nageant).
	Grands fonds	A plus de 5000m de profondeur Argiles rouges, avec absence du calcaire sous le niveau 5000m de compensation des carbonates.

En se basant sur les données de ce tableau et les figures des documents 7, 8, 9 et 10, décrire les caractéristiques des milieux de sédimentation.



# Document 13: Principaux milieux de sédimentation actuels:

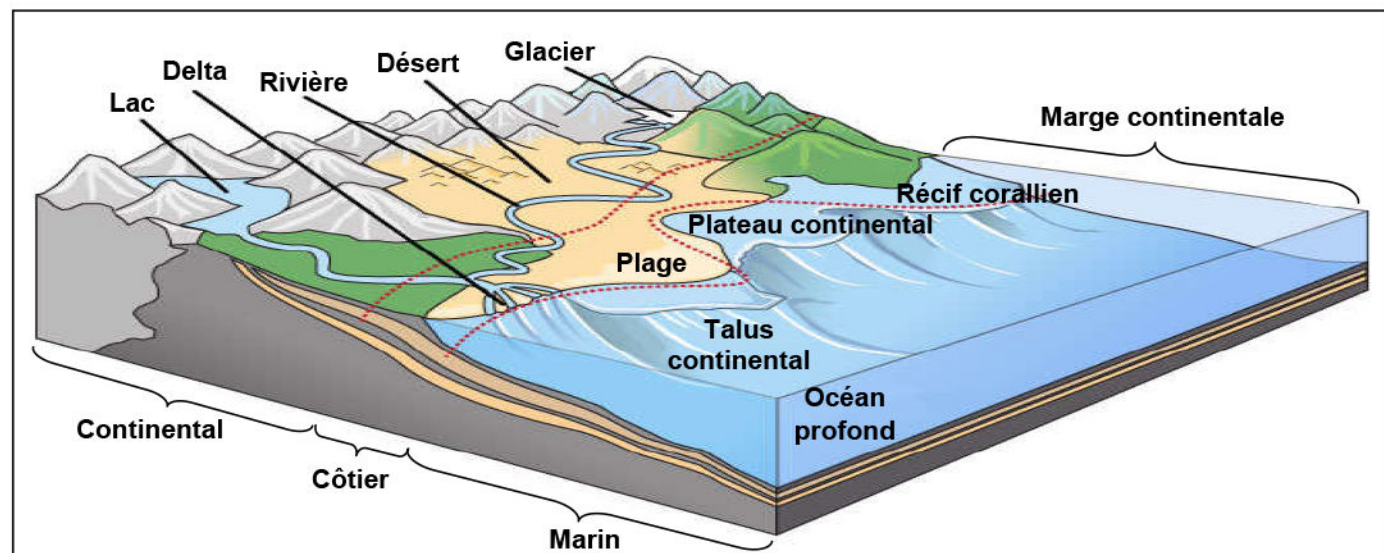


Figure 1: Principaux milieux de sédimentation.

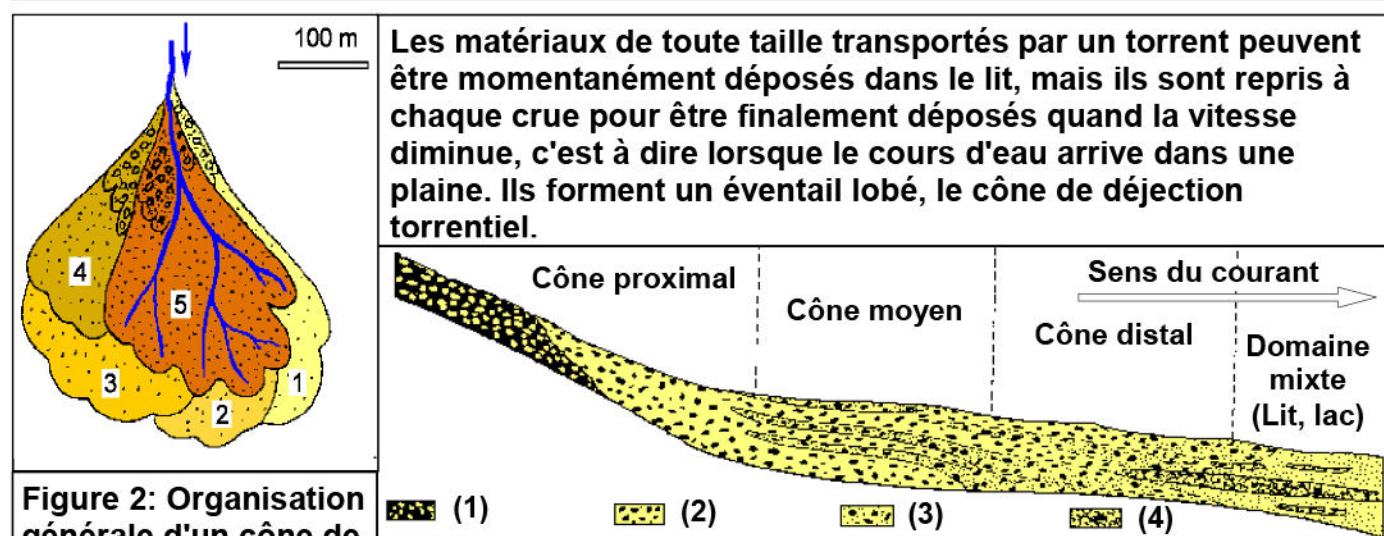


Figure 2: Organisation générale d'un cône de déjection torrentiel; les chiffres désignent les lobes successifs.

Figure 3: coupe longitudinale simplifiée dans un cône de déjection: (1) coulées boueuses, (2) galets, (3) sables et graviers, (4) limons.

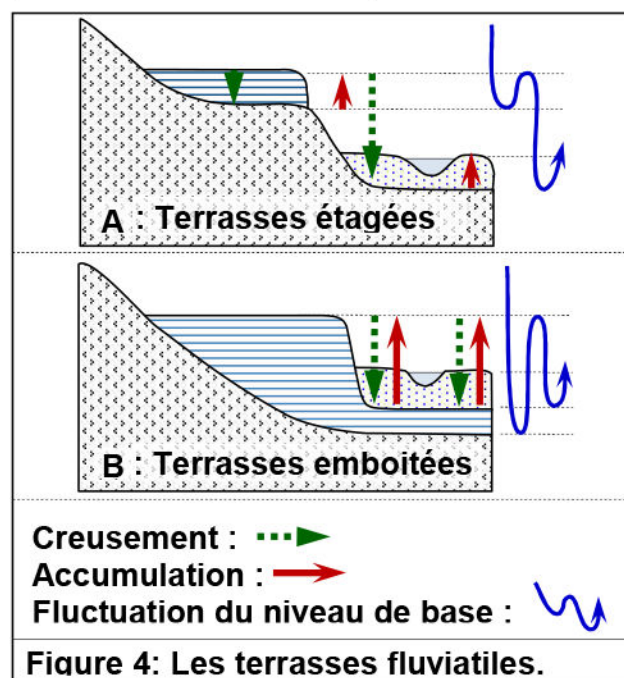


Figure 4: Les terrasses fluviales.

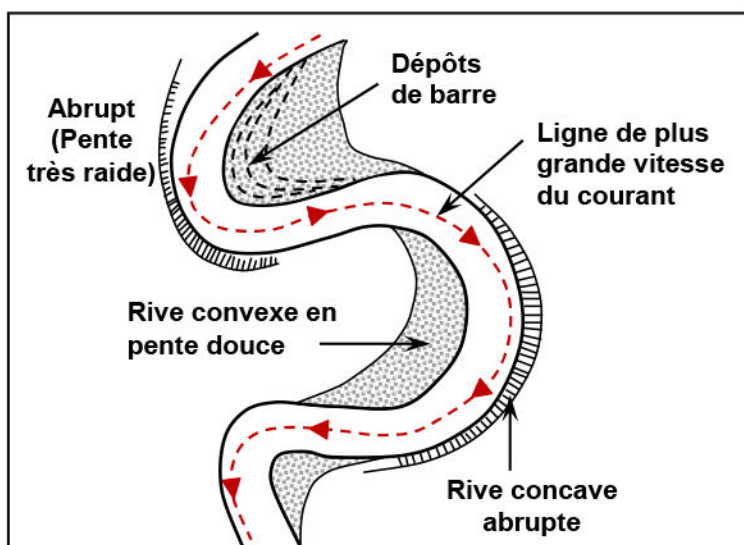


Figure 5: Sédimentation dans les lits sinueux des fleuves



# Document 14: Principaux milieux de sédimentation actuels:

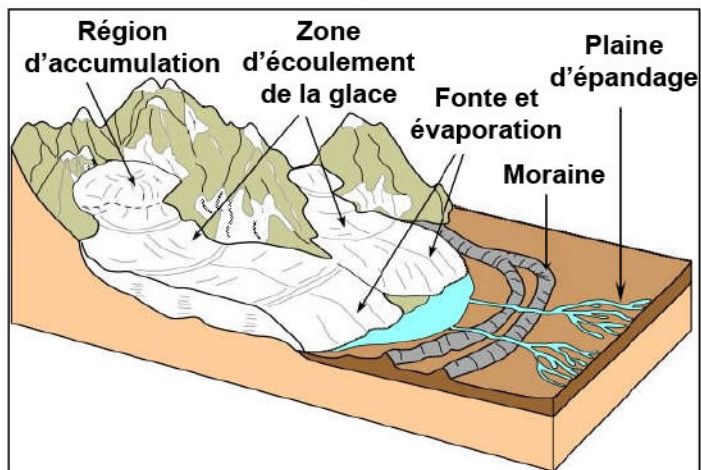


Figure 1: La sédimentation dans les milieux glaciaires.

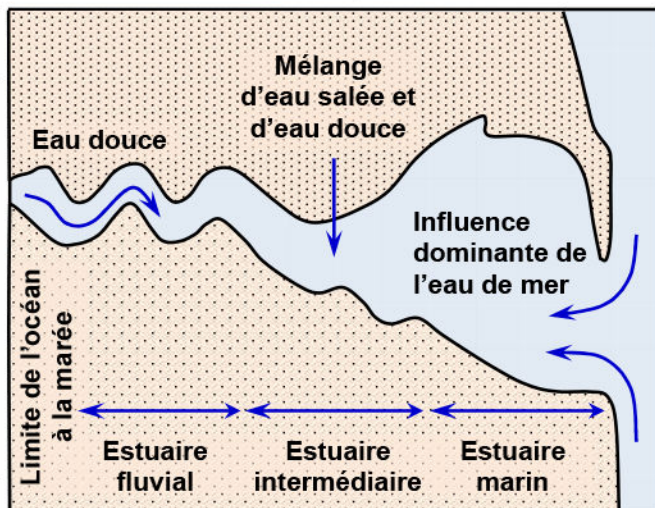


Figure 2 : Sédimentation dans l'estuaire

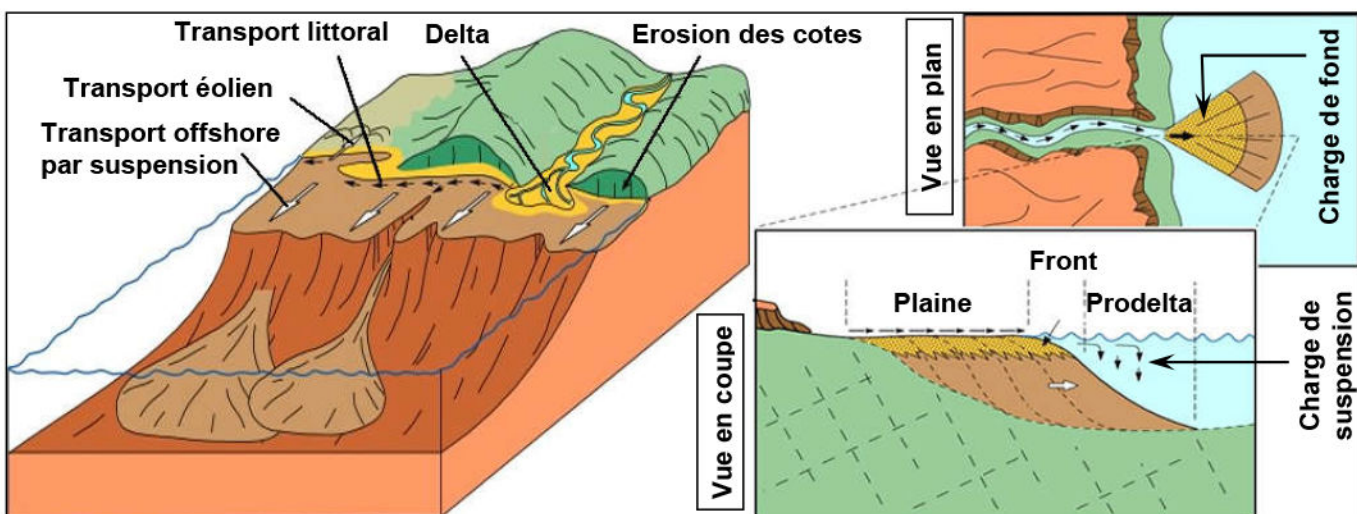


Figure 3: Sédimentation dans un delta

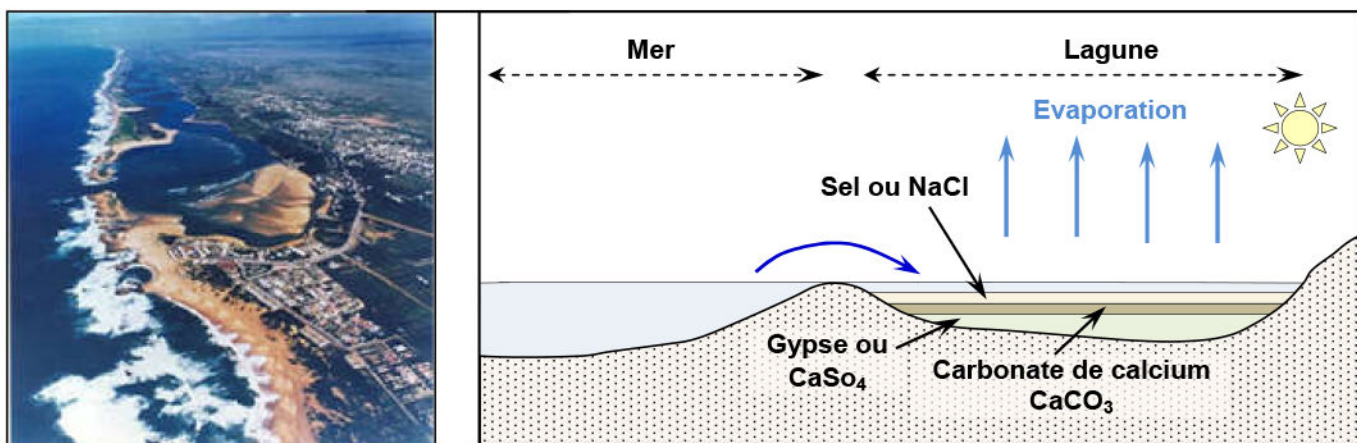


Figure 4: Sédimentation dans La lagune (Exemple Oualidia à El-Jadida, Maroc)

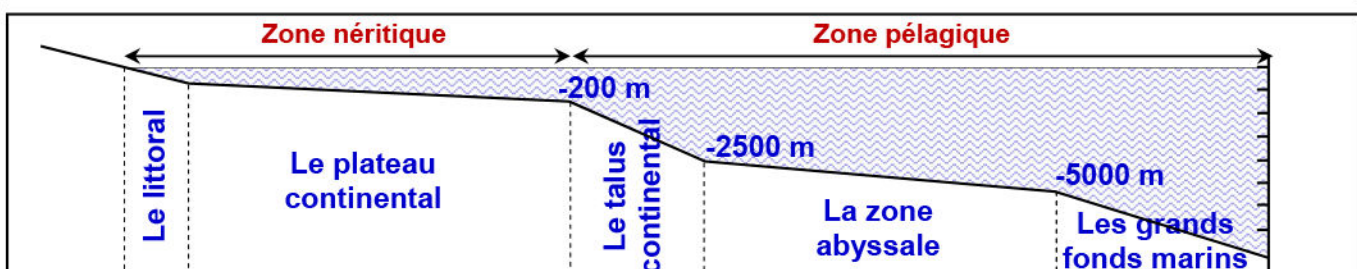


Figure 5: Morphologie du milieu marin et zones de sédimentation.



## Document 15: Les conditions de sédimentation dans le milieu marin:

Un récif corallien est une structure naturelle qui résulte de l'activité d'êtres vivants fixés : les coraux, capables d'utiliser le calcium dissous dans l'eau pour édifier leur squelette.

Pour se développer, les coraux ont besoin de conditions de vie précises :

- Eau claire bien oxygénée.
- Température supérieure à 20°C.
- Profondeur inférieure à 100m (plateforme).



Figure 1 : les récifs coralliens

Les courants de turbidité sont des écoulements gravitaires dans lesquels le sédiment est maintenu en suspension par la turbulence du fluide interstitiel. Ce mélange d'eau et de sédiment possède une densité plus grande que celle de l'eau et se déplace vers le bas sous l'effet de la gravité.

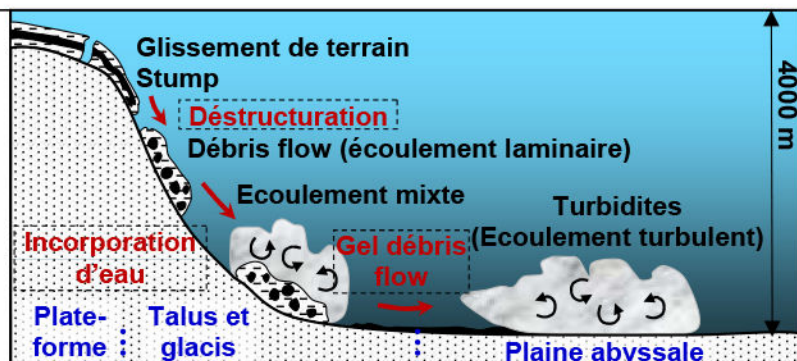
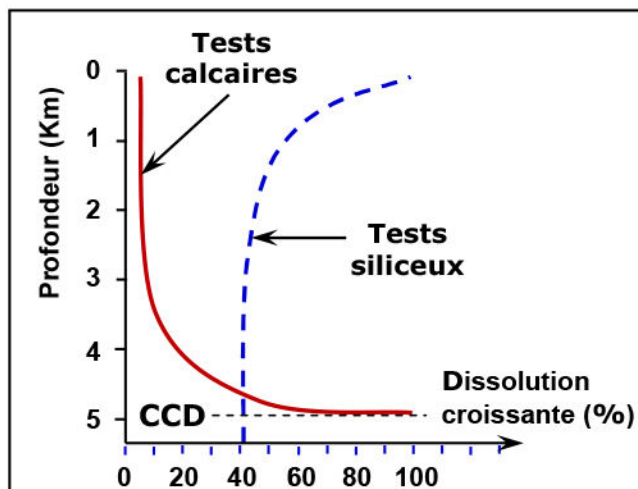
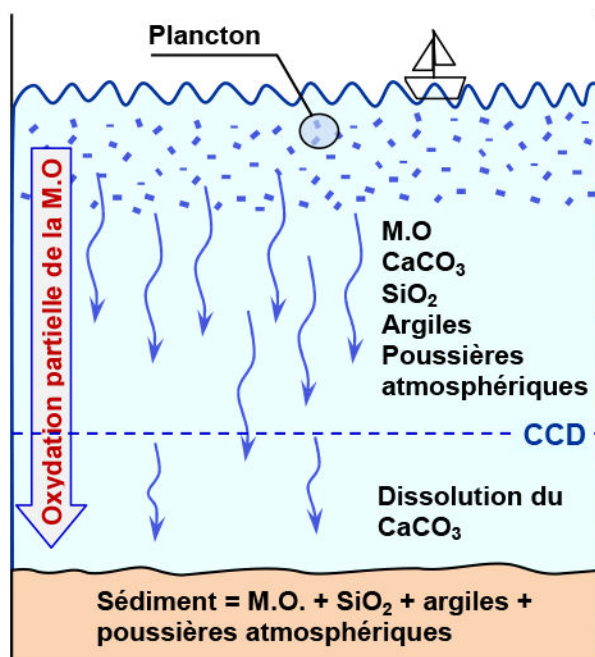


Figure 2 : Glissement de terrain dans la partie supérieure du talus continental.

La CCD est un niveau en milieu océanique, sous lequel le carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ) se dissocie, c'est-à-dire que lorsque des particules de  $\text{CaCO}_3$ , comme celles qui viennent du plancton, atteignent ce niveau, elles sont dissoutes et se retrouvent dans l'eau sous leur forme ionique  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{HCO}_3^-$ . Ce niveau est contrôlé par la température de l'eau. Il se situe à des profondeurs variables selon la latitude et la nature de la circulation océanique.



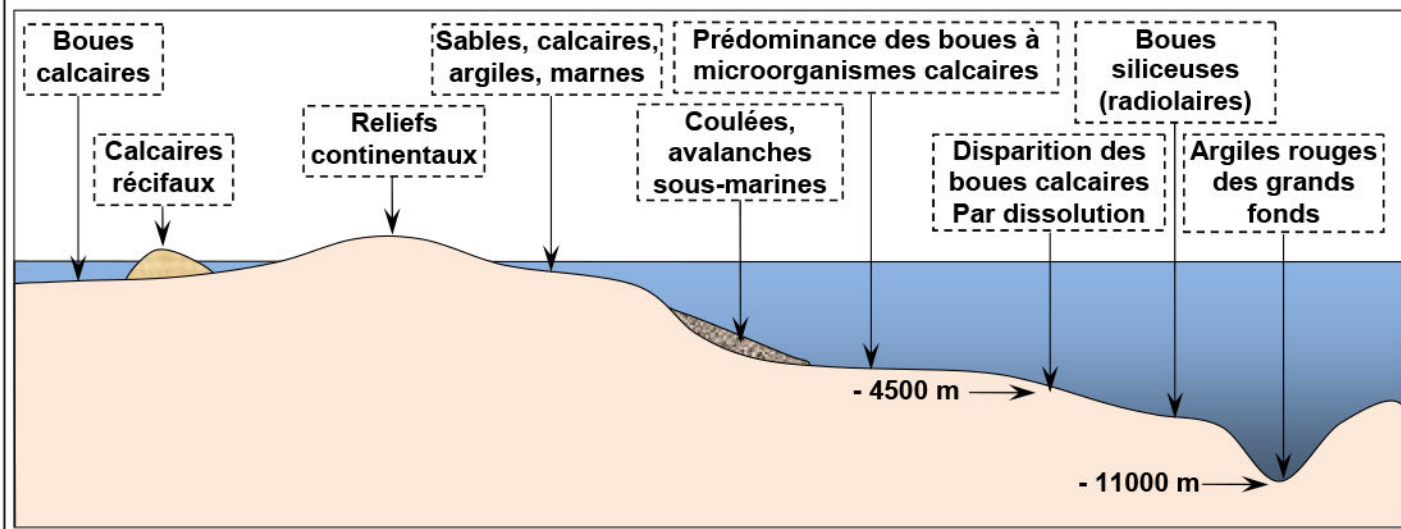
Courbes de dissolution des tests siliceux et calcaires en fonction de la profondeur.

La CCD exerce donc une influence sur la composition des sédiments des fonds océaniques. Les couches supérieures de la surface océanique produisent une pluie de matériaux fins composés de matières organiques, de  $\text{CaCO}_3$ , de  $\text{SiO}_2$ , ainsi que d'une certaine quantité d'argiles décantées de la sédimentation terrigène et de poussières atmosphériques qui se déposent à la surface des océans.

Figure 3 : Le niveau de compensation des carbonates (CCD)



## Document 16: Répartition des principaux types de sédiments marins:



## Document 17 : Répartition des gisements de phosphate au Maroc:

Le Maroc contient 75% des réserves mondiales en phosphates. Il dispose de plusieurs gisements (Figure 1):

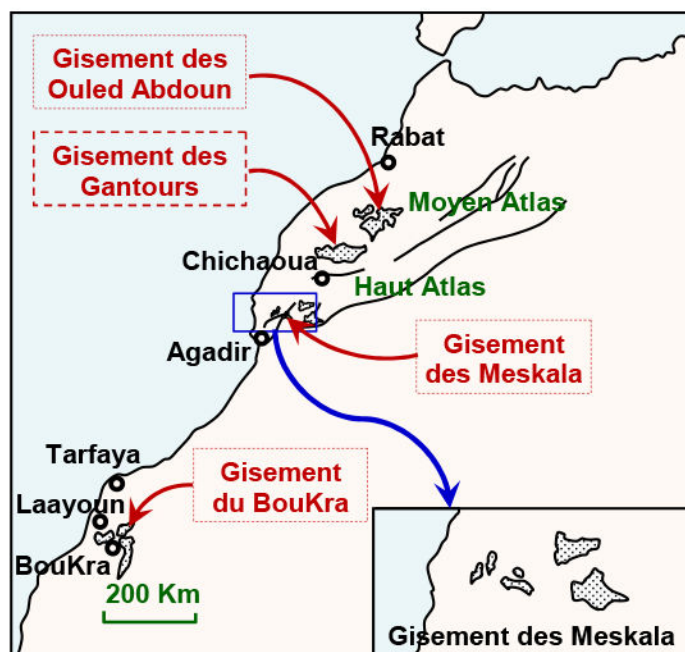


Figure 1 : Répartition géographique des principaux bassins phosphatés marocains

- ✓ Bassin d'Ouled Abdoun: à Khouribga. C'est le plus important (9000 Km<sup>2</sup>).
- ✓ Bassin de Gantours, près de Youssoufia;
- ✓ Bassin de Meskala: à l'ouest de Marrakech;
- ✓ Bassin d'Oued Eddahab: Au sud dans la région du BouKraa (sud de laayoun).

Au Maroc les phosphates se trouvent à une profondeur de 100 à 160 m et sous différentes formes (Sable phosphaté; Silex phosphaté et calcaire phosphaté). La série phosphatée d'Ouled Abdoun (Figure 2), débute du Maastrichtien par des dépôts phosphatés marneux et se termine au Lutétien par une dalle à thersités (Gastéropodes).

A partir de l'analyse des données de ce document, dégager les caractéristiques des faciès phosphatiques (Ensemble des caractères lithologiques ou paléontologiques d'une roche qui témoignent de l'environnement de sa formation).

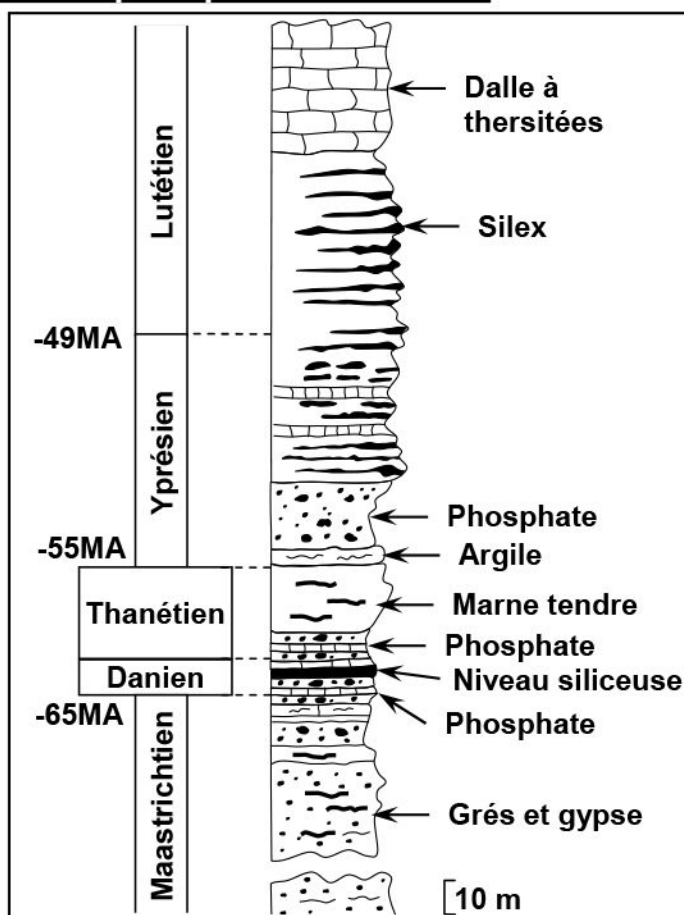


Figure 2 : Colonne stratigraphique typique des formations phosphatées (Khouribga)



## Document 18: Nature et composition des roches phosphatées marocaines:

La roche de phosphate a l'aspect d'un sable fin, assez compact. Elle forme des couches horizontales de faible épaisseur. On distingue entre trois types de faciès: le phosphate sableux, le calcaire phosphatique et le silex phosphatique. Les roches de phosphate sont caractérisées par la diversité de leurs composés minéralogiques et paléontologiques.



Figure 1 : Sable phosphaté dans une carrière

Composants	Pourcentage
Phosphate tricalcique	75 %
Carbonate de calcium	8.5 %
Fluorure de calcium	6.5 %
Sulfates de chaux	3 %
Eau combinée et matières organiques	2.5 %
Matières siliceuses	2 %
Oxyde de fer et d'alumine	0.5 %
Sels alcalins et magnésiens	2 %
Uranium	Traces

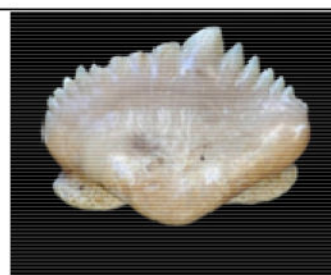
Figure 2 : principaux composants chimiques des roches de phosphate du gisement d'Ouled Abdoun



Humérus (Reptile)  
Maastrichtien  
Hauteur : 240mm



Enchodus (Genre de poisson préhistorique)  
Maastrichtien  
Longueur : 100 mm ; Hauteur dent : 15mm



Nebrius (Requin)  
Yprésien  
Hauteur : 10mm

Figure 3 : Quelques fossiles du gisement de phosphate d'Ouled Abdoun

En se basant sur les données de ce document, déterminer les différentes formes de roches phosphatées et leurs composition minéralogiques et paléontologiques.

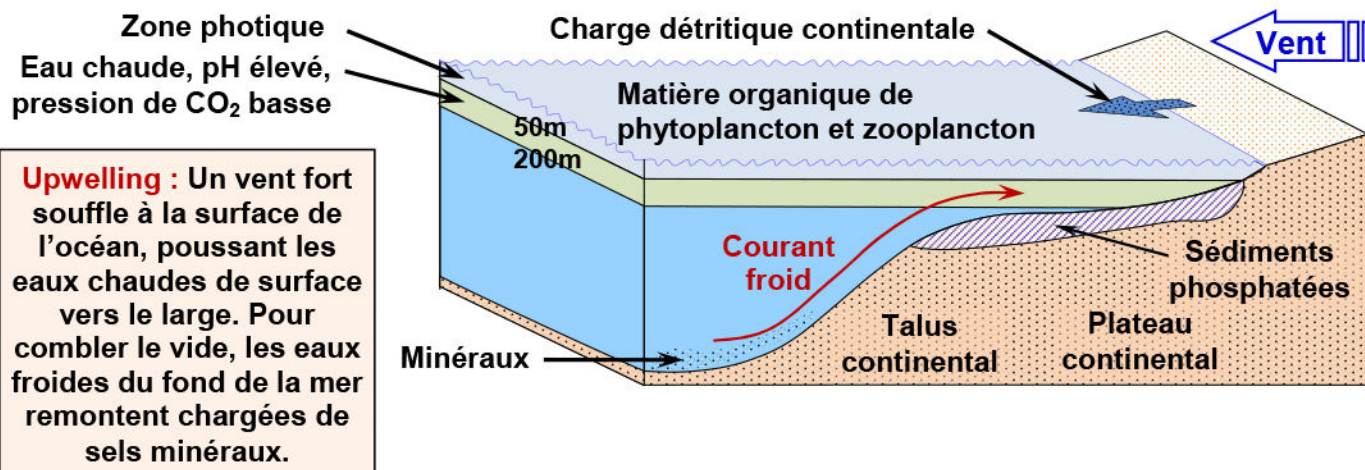
## Document 19: Conditions de sédimentation des roches phosphatées:

Pour expliquer la formation des phosphates, plusieurs théories ont été émises:

- 1) Théories minérales (1952): les phosphates sont le résultat de précipitation des composés phosphatés directement de l'eau de mer.
- 2) Théories biolithiques (1936): l'accumulation des phosphates est le fait d'êtres vivants par fixation du phosphore dans les squelettes des vertébrés ou par les algues.
- 3) Théories de Kasakov (1937): (Voir figure ci-dessous) la teneur en  $P_2O_5$  de l'eau de mer augmente avec la profondeur, le minimum se trouve dans la zone de photosynthèse (Zone photique) où le phosphore est consommé et le maximum se trouve vers 500m. selon cette théorie, le phosphore précipiterait chimiquement sur les bords du plateau continental, après y avoir été amené par des courants froids ascendants (Upwelling). Avec échauffement des eaux, il y a augmentation du pH et diminution de la pression partielle de  $CO_2$ , ce qui amène à une précipitation de  $CaCO_3$  puis de phosphates.



## Document 19 (Suite): Conditions de sédimentation des roches phosphatées:



A partir de l'analyse des données de ce document, déterminer les conditions de formation des roches phosphatées au Maroc.

## Document 20: Reconstitution de la paléogéographie de bassins de phosphate Marocains:

Pour expliquer la genèse des phosphates au Maroc, plusieurs théories ont été présentées, nous citons les deux plus connues:

- La théorie d'une transgression au centre et à l'ouest du Maroc d'une mer épicontinentale formant un plateau continental qui conditionne la phosphatogenèse et avec des endroits à fond surélevés où il y a absence de ces conditions (Herbig 1986 et Trappe 1989).
- La théorie du bassin fermé en communication restreinte avec la haute mer (Boujo, 1976), ce modèle propose un système de golfs et prévoit que le phosphore et les autres minéraux des eaux froides profondes, nécessaires à la formation des phosphates, seront distribués par l'intermédiaire des courants de distribution dans des cuvettes peu profondes protégées des courants forts venus du large.

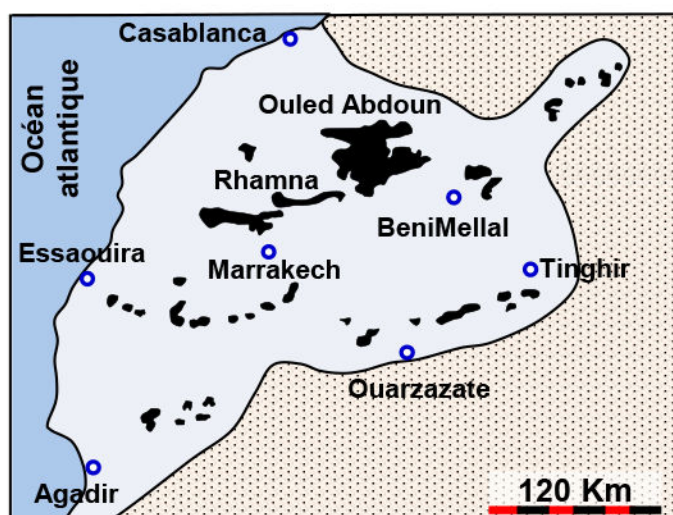


Figure 1: Modèle d'une mer épicontinentale (Modèle de Trappe 1989)

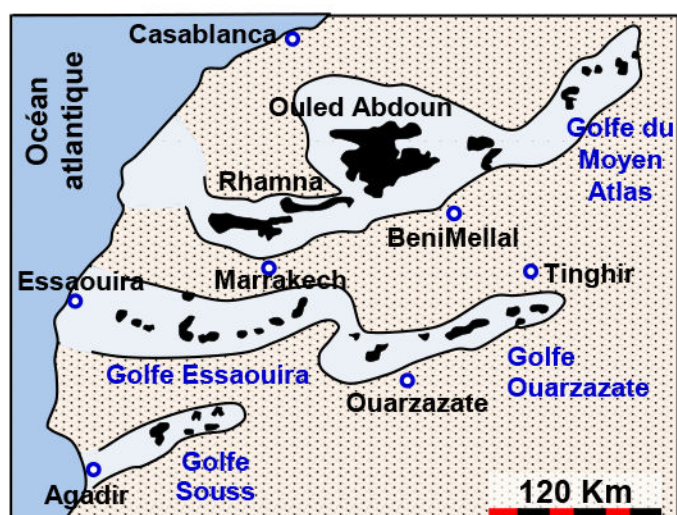


Figure 2: Le modèle des bassins fermés (Golfs) (Boujo 1976)

En exploitant les données de ce document, discuter la reconstitution de la paléogéographie de bassins de phosphate Marocains.