

Phénomènes géologiques externes



1 - Rappels

Roches sédimentaires sont des roches **exogènes** (formées à la surface de la terre). Elles résultent des dépôts des sédiments. Les étapes de leur formation sont : **l'altération (l'érosion)**, le transport des sédiments, la sédimentation et la **diagenèse** (le processus qui transforme les accumulations de sédiments en roches sédimentaires).

Caractéristiques des roches sédimentaires

- Ces roches sont déposées en strates ou couches sur la terre ou au fond de l'eau.
- Ces roches renferment des **fossiles** (restes ou empreintes des êtres vivants).
- Ces roches sont plus fragiles que les autres roches.

Types des roches sédimentaires : **Détritique** : Sous le poids de multiples couches accumulées, il y a compactage des sédiments. Exemple : grès, conglomérat.
Chimique : Lors de la précipitation des substances présentes dans l'eau ou de son évaporation. Exemple : Calcaire, gypse.

Chapitre 1

Réalisation d'une carte paleogéographique d'une région sédimentaire

L'objectif de l'étude de la sédimentation actuelle est d'identifier les facteurs intervenant dans la genèse des roches sédimentaires.

En supposant que les processus géologiques passés soient identiques à ceux que l'on observe actuellement (principe d'actualisme) on peut reconstituer les conditions d'altération, de transport, et de dépôt des sédiments anciens, aujourd'hui observés sous forme de roches sédimentaires.

I- Etudes statistique et morphologiques des sédiments

I- Les figures sédimentaires

- Les dunes. Ce sont des formes de dépôt sableux qui peuvent atteindre plusieurs mètres et sont souvent en croissant dont la partie concave est orientée vers le sens des courants éoliens dominants.

- Les rides sont des dépôts de petite taille caractérisant les rivages et la surface des dunes, l'asymétrie qui les caractérise permet de déduire le sens du courant *pende forte en*
- Les fentes de dessiccation sont des fissures s'ouvrant dans un sédiment fin qui se dessèche. La présence de fentes de dessiccation fossilisées témoigne l'érosion d'un sédiment
- Stratification entrecroisée. Elles sont caractérisées par la superposition de strates obliques de sens opposés (*cette structure est produite au moment où le courant change de direction*)

2- Analyse granulométrique d'un sable

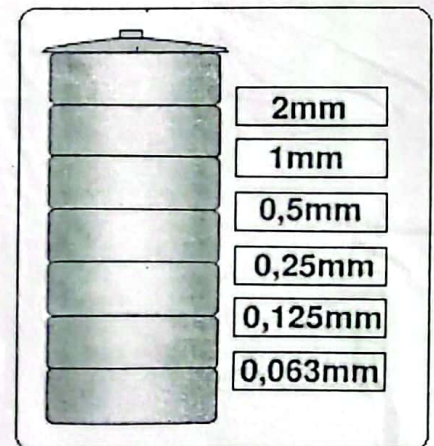
2-1 classification des sédiments

La classification des sédiments est basée sur la taille des grains. On distingue ainsi :

Diamètre (mm)	>200	20-200	2-20	1/16 - 2	<1/16
sédiments	blocs	graviers	gravillons	sables	Argiles

2-2 Protocole expérimental

- Laver à l'eau l'échantillon de sable dans un tamis de 0,05mm pour le débarrasser de l'argile
- Ajouter de l'eau oxygénée pour éliminer la matière organique, et de l'acide chlorhydrique pour éliminer le calcaire
- Tamiser 100g de sable bien sec dans une colonne de tamis superposés dont le diamètre des mailles est décroissant du haut vers le bas
- Peser les fractions retenues pour chacun des tamis
- Calculer le pourcentage de chaque fraction ainsi que son taux cumulé en suivant la démarche suivante

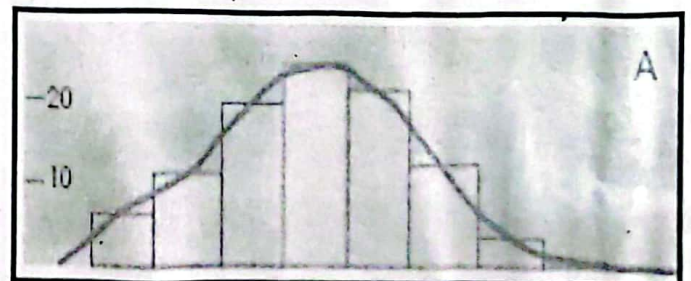


diamètre	4-2	2-1	1-1/2	1/2 - 1/4	1/4 - 1/8	1/8 - 1/16
Pourcentage	a	b	c	d	e	f
Taux cumulé	a	a+b	a+b+c	a+b+c+d	a+b+c+d+e	a+b+c+d+e = 100%

2-3 Représentations graphiques des résultats

A / histogramme et courbe de fréquence

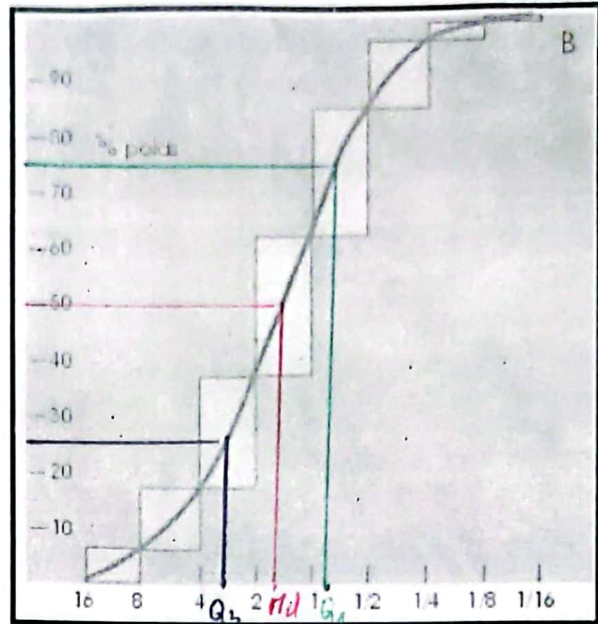
C'est la représentation des pourcentages pondéraux en fonction de la taille des particules. Le pourcentage pondéral de chaque fraction (classe granulométrique) est exprimé par une barre verticale, et pour tracer la courbe de fréquence on trace la ligne qui passe par les centres des barres.



- Si la courbe de fréquence est unimodale le sédiment est homogène
 - Si la courbe de fréquence est plurimodale le sédiment est hétérogène
- Le mode c'est la taille des grains qui a le plus grand pourcentage.*

B/ courbe cumulative et indice de classement

La courbe cumulative, c'est la représentation des taux cumulés en fonction de la taille des particules (en mode décroissant).
 La forme de la courbe cumulative permet de déterminer si le sédiment est classé ou non classé. (Si la courbe a une forme sigmoïde le sédiment est classé et lorsque la courbe est étendue le sédiment est non classé).
 à partir de la courbe cumulative on peut aussi déterminer le degré de classement des sédiments en calculant l'indice de classement S_o (l'indice de Trask) selon la formule $S_o = \frac{d_{75}}{d_{25}}$
 Le quartile Q_3 est la valeur du diamètre des grains à 75% de la courbe.
 La médiane M_d est la valeur du diamètre des grains à 50% de la courbe.
 Le quartile Q_1 est la valeur du diamètre des grains à 25% de la courbe.



Indice de Trask

Valeur	Classement	Interprétation (courant)
$1 < S_o < 1,2$	Homogène	Très régulier
$1,2 < S_o < 1,6$	Bien classé	régulier
$1,6 < S_o < 2$	Classement médiocre	peu régulier
$2 < S_o$	Hétérogène	irrégulier

Application 1

Le tableau suivant représente les résultats du tamisage d'un sable.

1/ calculer le pourcentage de chaque fraction du sable, et tracer l'histogramme et la courbe de fréquence. que peut on déduire à propos du sable étudié ?

2/ calculer le taux cumulé de chaque fraction ; et tracer la courbe cumulative.

3/ calculer l'indice de Trask, et déduire le degré de classement du sable étudié.

Résultats d'une analyse granulométrique correspondant à un sable

Maille des tamis en (mm)	Le refus	
	En poids (g)	En (%)
8	2000	
5	1920	
2,5	1740	
1,25	1300	
0,63	860	
0,315	500	
0,16	200	
0,08	40	

remarque

Les sédiments éoliens sont très bien classés, alors que les sédiments glaciaires sont non classés. Les sédiments fluviaux sont très peu classés à cause du changement du débit en fonction des saisons.

Exercice d'application n° 1

Calcul des pourcentages pondéraux et des taux cumulés

1 et 2.

Fractions (mm)	Pourcentages pondéraux (%)	Taux cumulés (%)
$\phi \geq 9$	$P = \frac{P_9}{P_E} \times 100 = \frac{200}{8560} \times 100 = 23,36\%$	23,36%
$5 < \phi < 9$	$P = (1920/8560) \times 100 = 22,42\%$	45,78%
$2,5 < \phi < 5$	$P = (1740/8560) \times 100 = 20,32\%$	66,11%
$1,15 < \phi < 2,5$	$P = (1300/8560) \times 100 = 15,18\%$	81,28%
$0,63 < \phi < 1,15$	$P = (860/8560) \times 100 = 10,04\%$	91,32%
$0,35 < \phi < 0,63$	$P = (500/8560) \times 100 = 5,84\%$	97,16%
$0,16 < \phi < 0,35$	$P = (200/8560) \times 100 = 2,33\%$	99,49%
$0,08 < \phi < 0,16$	$P = (40/8560) \times 100 = 0,46\%$	99,95%

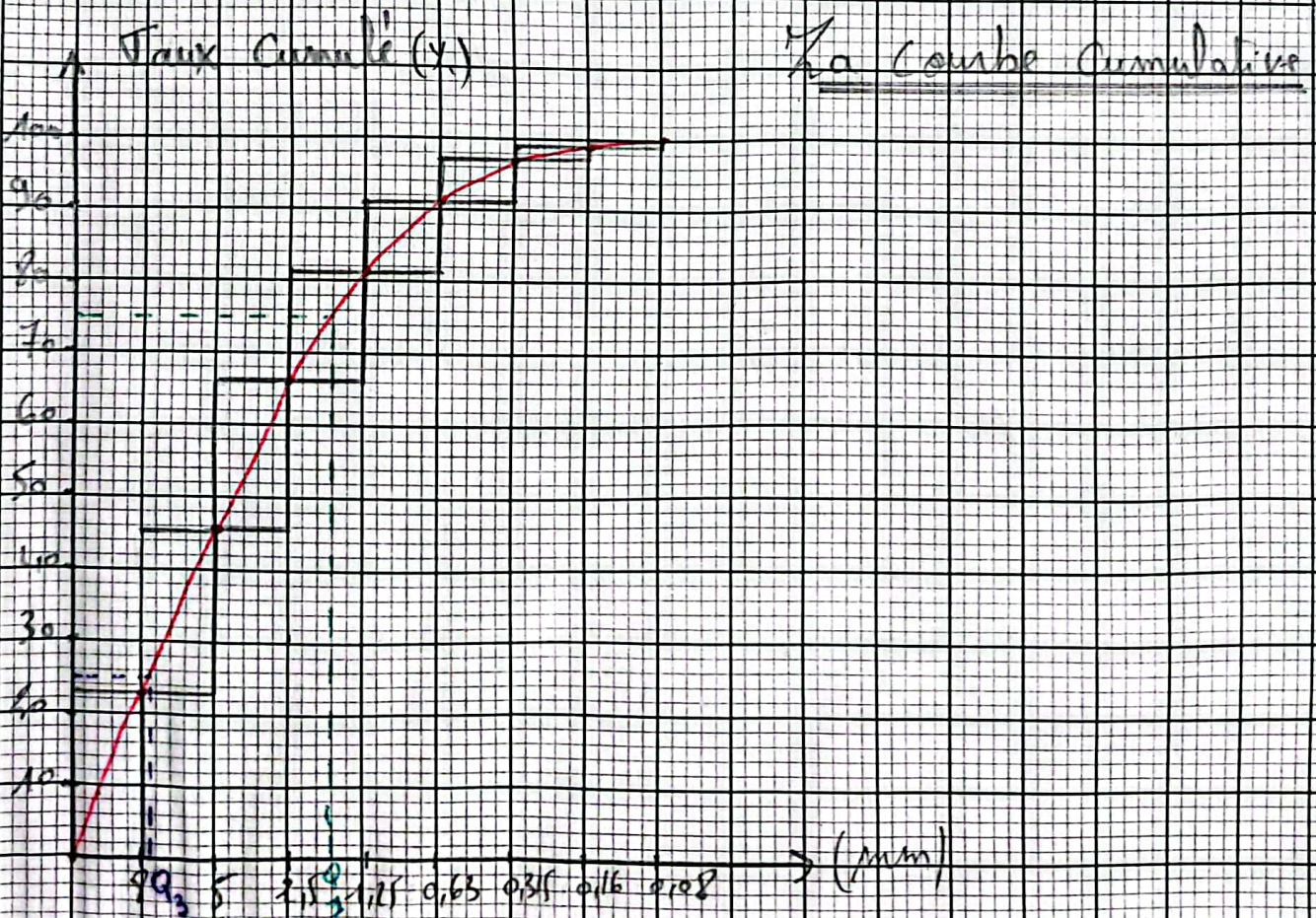
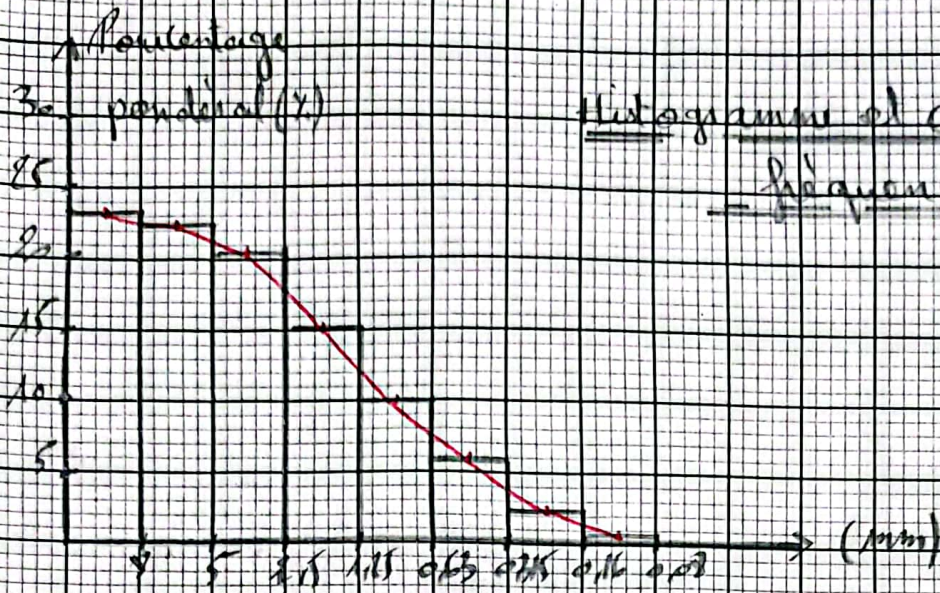
On remarque que la courbe de fréquence est unimodale d'où le sable étudié est **homogène**.

3 - On a : $Q_1 = 1,75$
 $Q_3 = 7,7$

$$S_0 = \sqrt{\frac{Q_3}{Q_1}} = \sqrt{\frac{7,7}{1,75}} = 2,09$$

D'où le sédiment étudié est **hétérogène**





Application 2

Le tableau suivant représente les résultats d'analyse granulométrique d'un sédiment

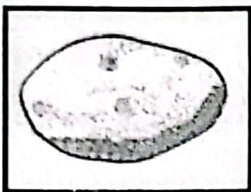
Tamis (mm)	Refus (g)	Refus cumulés (g)	Refus cumulés (%)
5	000.0	000.0	00.00
2.5	161.0	161.0	16.10
1.25	136.0	297.0	29.70
0.63	177.0	474.0	47.40
0.315	304.0	778.0	77.80
0.16	152.0	930.0	93.00
0.08	054.0	984.0	98.40
fond	007.5	991.5	99.15

1/ tracer l'histogramme et la courbe de fréquence, ainsi que la courbe cumulative.

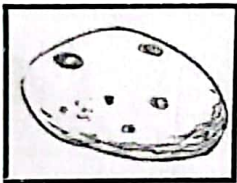
2/ calculer l'indice de classement, et déduire le degré de classement du sédiment étudié.

3/ étude morphologique des sédiments

3-1 /étude morphologique des galets



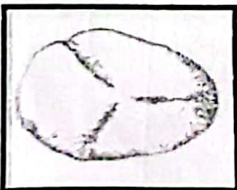
Galets fluviaux: **émoussés** (sans angles), de forme ovale et une surface polie. Ils sont formés suite à un transport fluvial.



Galets marins. On y distingue deux types:
 * **Galets ronds**: avec des traces de choc dans les plages rocheuses.
 * **Galets plats**: dans les plages sableuses.



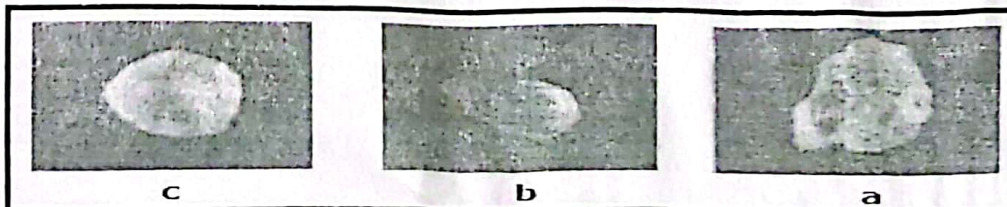
Galets glaciaires: caractérisés par des stries longitudinales dues aux frottements avec les bords rocheux.



Galets éoliens: caractérisés par plusieurs facettes.

3-2 /étude morphoscopiques des sables

La forme et l'aspect des grains de quartz d'un sable observé à loupe binoculaire témoignent la nature, l'intensité et la durée du transport auxquels ils ont été soumis.



c

b

a

Exercice d'application n° 2

Calcul du pourcentage pondéral et des taux cumulés

1-

Fraction (mm)	Pourcentage pondéral (%)	Taux cumulés (%)
$\phi > 5$	$P = (0/991,5) \times 100 = 0\%$	0%
$2,5 \leq \phi < 5$	$P = (161/991,5) \times 100 = 16,23\%$	16,23%
$1,25 \leq \phi < 2,5$	$P = (136/991,5) \times 100 = 13,71\%$	29,94%
$0,63 \leq \phi < 1,25$	$P = (177/991,5) \times 100 = 17,85\%$	47,79%
$0,315 \leq \phi < 0,63$	$P = (304/991,5) \times 100 = 30,66\%$	78,45%
$0,16 \leq \phi < 0,315$	$P = (152/991,5) \times 100 = 15,33\%$	93,78%
$0,08 \leq \phi < 0,16$	$P = (54/991,5) \times 100 = 5,44\%$	99,22%
$\phi < 0,08$	$P = (7,5/991,5) \times 100 = 0,75\%$	99,97%

On remarque que la courbe de fréquence est plurimodale d'où le sédiment est **hétérogène**

2- Nous avons :

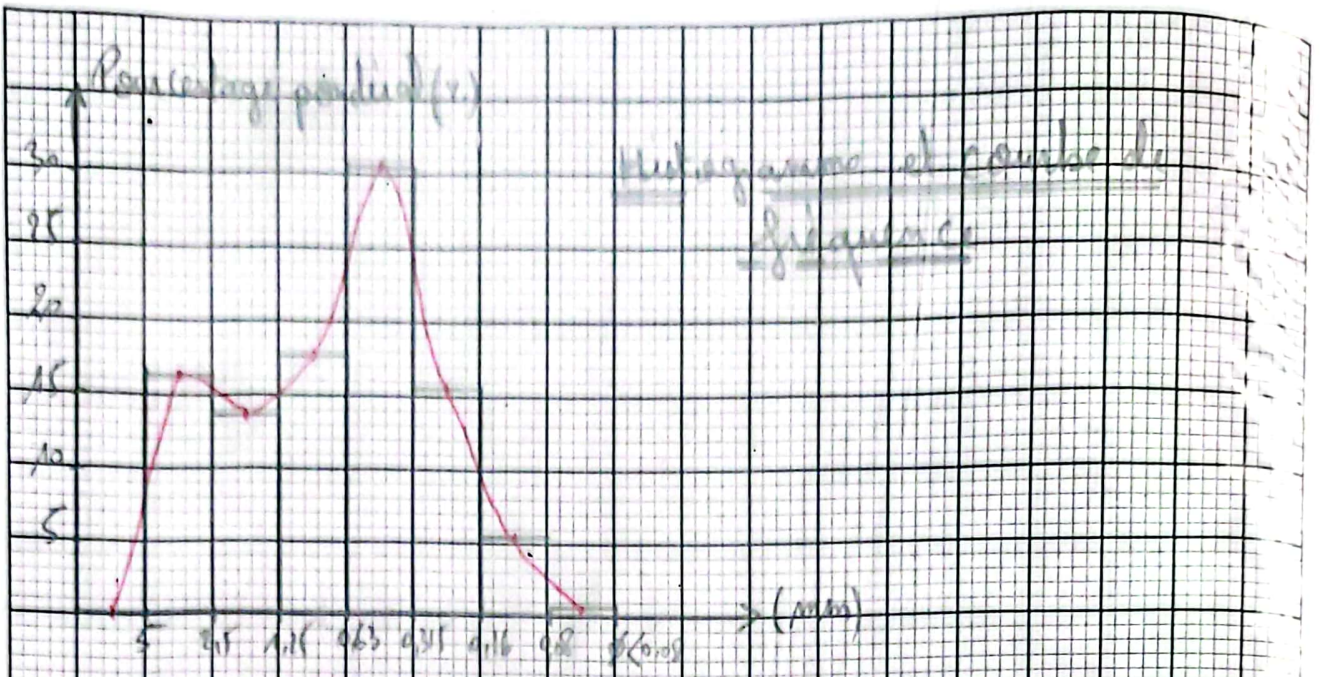
$$Q_1 = 0,4 \quad \text{et} \quad Q_3 = 1,65$$

$$S_0 = \sqrt{\frac{1,65}{0,4}} = 2,03$$

Alors le sédiment étudié est hétérogène et de courbe inégale $S_0 > 2$

⇒ On déduit que le sédiment étudié est non classé







Grains non usés (NU):
 transparents, anguleux à arêtes tranchantes. Ils se trouvent dans les rochers sédiments (détritus non transportés) ou les sédiments glaciaires.

Grains empoussiés luisants (EL):
 transparents, brillants à arêtes et angles usés. Ils sont dus à des frottements prolongés dans un milieu aquatique. On les trouve dans les plages marines et les embouchures des fleuves.

Grains ronds mats (RM):
 Semi-transparent, de forme arrondie à facettes dépolies. Ils sont dus à des chocs dans un milieu aérien. Ils sont fréquents dans les sables éoliens.

Application 3

Le tableau suivant représente les résultats d'une étude morphoscopique d'un sable.

Types de grains	NU	EL	RM
Nombre	15	25	80

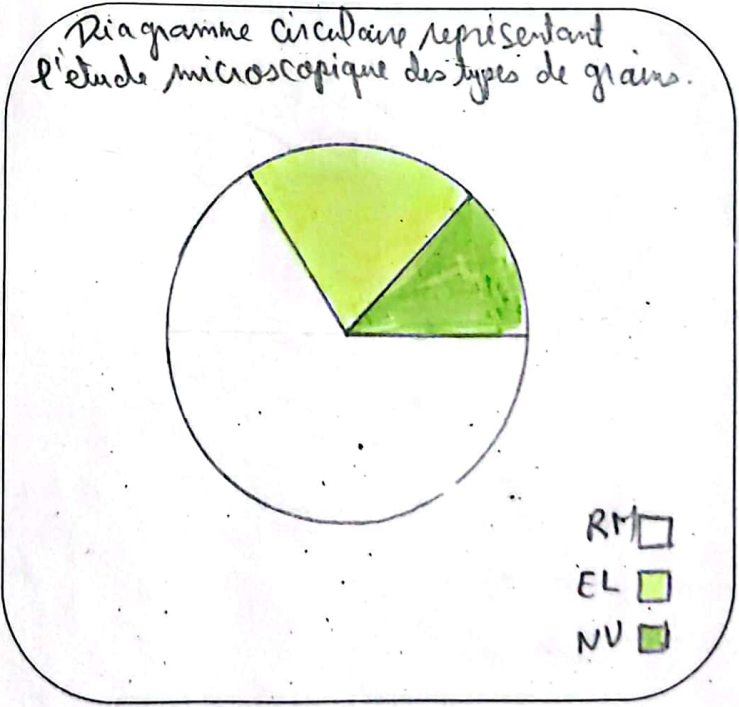
1/ calculer le pourcentage de chaque type de grains et représenter les résultats sous forme de diagramme circulaire.

2/ déterminer le mode de transport subi par ce sable.

1- % EL = $\frac{nbr\ EL}{nbr\ total} \times 100 = \frac{25}{120} \times 100 = 20,8\%$
 % NU = $\frac{15}{120} \times 100 = 12,5\%$
 % RM = $\frac{80}{120} \times 100 = 66,67\%$

(Conversion des pourcentages en degré)
 $20,8 \times 3,6 = 75,08^\circ$
 $12,5 \times 3,6 = 45^\circ$
 $66,67 \times 3,6 = 240,01^\circ$

2- On remarque que le sable étudié est caractérisé par la dominance des grains RM. On déduit que le sable a été transporté par le vent (transport éolien).



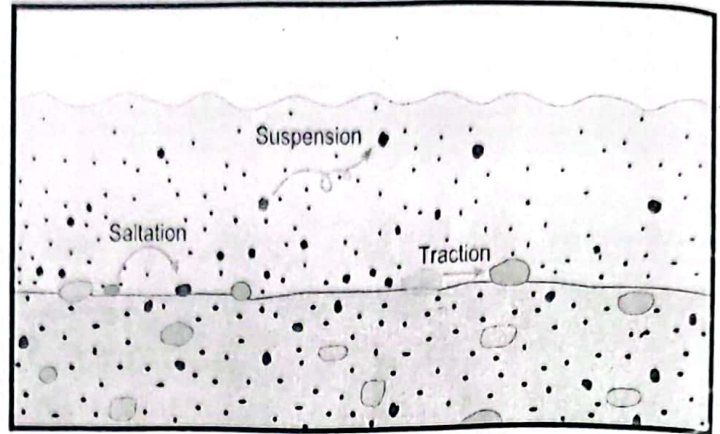
remarque: Il y a des types de grains de quartz intermédiaires, par exemple des grains RL (ronds luisants). Elles sont dues à un transport éolien suivi d'un transport aquatique. Des grains EL (empoussiés mats) ils sont dus à un transport aquatique suivi d'un transport éolien.

II / dynamique de transport des sédiments

1/ modes de transport des sédiments

Il y a plusieurs modes de transport

- roulement et traction (charriage) le long du fond.
- saltation ou transport par bonds
- transport en suspension



- Déterminer pour chaque mode de transport, la nature et la taille des sédiments concernés

Les éléments transportés en suspension sont les particules argileuses, alors que les grains de sable sont transportés par saltation. Les éléments transportés par traction (charriage) ou roulement sont les galets et les blocs.

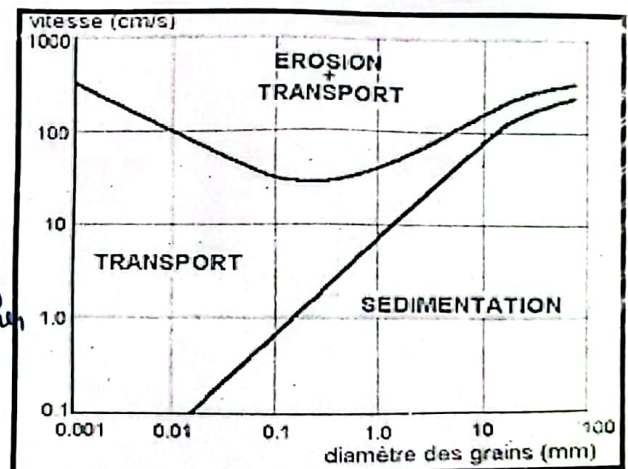
2/ diagramme de Hjulstrom

Le diagramme de Hjulström illustre le comportement des particules en fonction de leur taille et de la vitesse du courant.

1/ à l'aide du diagramme, indiquer le sort d'une particule de 1mm pour des courants de vitesses :

- a / 1cm/s → la sédimentation
- b / 10 cm/s → transport si la particule est libre, mais si elle se trouve au fond, le courant ne peut pas l'arracher et la transporter
- c / 100cm/s → Erosion + transport

2/ qu'est ce qu'on remarque pour les particules de



Taille inférieure à 0,1mm. comment peut on expliquer cette particularité ?

On remarque que les particules ayant une taille inférieure à 0,1 mm nécessitent une grande vitesse pour être érodées et transportées. On explique ça par le fait que ces particules sont des argiles qui ont une structure compacte (les molécules argileuses se collent les unes aux autres).

III PRINCIPAUX MILIEUX DE SEDIMENTATION

Sur les glaciers : ce sont les moraines (ou tills) qui sont caractéristiques. Il s'agit de dépôts très hétérogènes riche en particules fines mais aussi en gros blocs, le tout non classé.

Dans les milieux désertiques, ce sont les dépôts éoliens qui constituent la majeure partie des sédiments actuels. Les roches sédimentaires d'origine désertique sont caractérisées par des grains sableux arrondis et dépoli (rond-mat) bien classés et à matrice argileuse et des galets à trois faces dépolies. Les dépôts de sables forment les dunes. Les régions d'accumulation des sables alternent avec des régions dénudées. L'accumulation, en périphérie des régions désertiques, des fines poussières forment également des loëss.

Les dépôts fluviatiles torrentiels sont hétérogènes et sont caractérisés par une stratification croisée. Les dépôts de fleuves sont constitués de limons, déposés de part et d'autre du lit lors des crues.

Pour les lacs : Chaque année on peut observer une alternance dans la sédimentation. Les varves permettent de dater (relativement) les terrains où elles se trouvent. Dans les parties profondes du lac, se déposent des turbidites contenant des éléments grossiers.

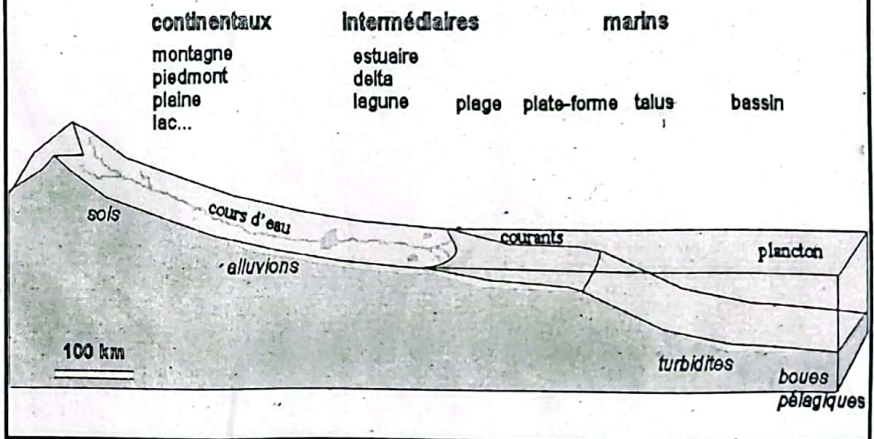
Dans les lacs chaud, suite à l'évaporation, des sursaturations peuvent avoir lieu entraînant des dépôts par précipitation de calcite (si l'activité organique est suffisante il y a libération de CO_2). On peut noter également des dépôts chimiques et biochimiques (évaporites)

Document1 :Sédimentation dans les milieux continentaux

La lagune est un bassin cotier comminquant avec l'eau de la mer par un canal. les dépôts lagunaires peuvent être carbonaté (concentration en Calcium après évaporation, puis précipitation de $CaCO_3$) ou gypseux (la concentration est plus poussée, du gypse, $CaSO_4 \cdot 2H_2O$, se dépose puis si le phénomène continue il peut se déposer du $NaCl$).

Lorsque l'effet du fleuve l'emporte sur l'effet de la mer, il ya formation d'un delta au niveau de l'embouchure. Les dépôts de la plaine deltaïque sont constiués de boues (riches en argiles et limons et en matières organique). le front du delta et caractérisé par des dépôts de sables. alors que le pro-delta est caractérisé par des dépôts d'argiles

PRINCIPAUX MILIEUX DE SEDIMENTATION



Document2 :Sédimentation dans les milieux intermédiaires

Le milieu littoral : zone de sédimentation exposée aux courants, permettant le transport et le dépôt d'éléments grossiers (sables, bioclastes, graviers, galets, blocs...) riches en restes de coquilles

Les dépôts détritiques de plateforme sont classés, répartis, étalés par les marées, les vagues et les courants littoraux. On y trouve les dépôts amenés par les fleuves, le vent mais aussi des sédiments biochimiques et biologiques ainsi que des constructions d'organismes (récifs correspondant à des températures de 20 à 35 et à des profondeurs faibles mais à eaux agitées permettant une bonne oxygénation).

Les dépôts au niveau du talus et sont principalement détritiques (mais également planctoniques et biochimiques). C'est à ce niveau qu'ont lieu les slumps et les arrachages par courants de turbidités donnant naissances à des turbidites.

Au niveau des bassins(plaine abyssale) la sédimentation détritique devient plus localisée (selon les courants marins et éoliens). La sédimentation chimique, biochimique et biologique est de type carbonatée dans les eaux peu profondes (-4000 m maximum) ou chaudes, en effet en eaux froides la dissolution de calcaire est plus facile, et au delà de -4000m (limite de compensation des carbonates) il y a dissolution, en raison du froid. A ce niveau ce sont des sédiments siliceux qui se déposent (radiolaires, diatomées en zone froide).

Document3 :Sédimentation dans les milieux océaniques



1/ A l'aide des documents 1, 2, et 3 et vos connaissances, résumer sous forme de tableau les caractéristiques des différents milieux de sédimentation actuels.

2/ définir, à l'aide du document 3, la limite de compensation des carbonates (CCD).

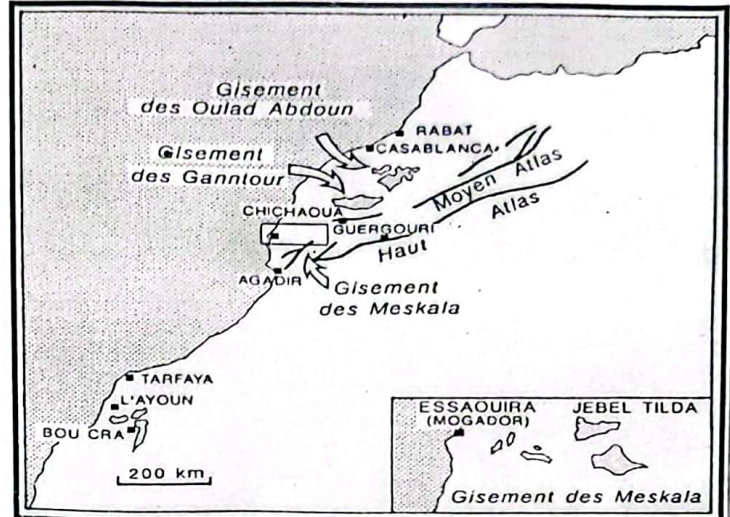
Milieux sédimentaires		Conditions de sédimentation	Nature des sédiments
Milieux continentaux	Milieu glaciaire	- La glace est l'agent de transport - Les dépôts sédimentaires sont des moraines	- Sédiments non classés (hétérogènes) avec présence de galets striés et de grains NU
	Milieu désertique	- Le vent est l'agent de transport - Les dépôts sédimentaires sont des dunes	- Sédiments sous forme de sable bien classés. - Dominance des grains RM, les galets à plusieurs faces dépolies
	Milieu fluvial	- La sédimentation dépend de la vitesse du courant qui est liée à la pente et les saisons.	- Sédiments non classés - Galets émoussés et grains de types EL surtout en embouchure
	Milieu lacustre	- La sédimentation dépend du climat et de la profondeur du lac.	- Alternance des sédiments grossiers et de sédiments fins - Parfois des sédiments calcaires et des évaporites
Milieux intermédiaires	Milieu lagunaire	- Dominance de l'évaporation	- Les sédiments sont des évaporites. Ex: le gypse.
	Le delta	- L'effet du fleuve domine l'effet de la mer (la sédimentation est plus importante que l'érosion)	- Des dépôts constitués principalement de particules fines (argiles et limons) - Riche en matière organique
Milieux océaniques	Milieu littoral	- Action des vents et des marées	- Galets et sables riches en restes des coquilles
	Plateau continental	- Profondeur de 10 à 200m - Action des marées et des courants littoraux	- Éléments détritiques et des sédiments biogéniques (précipitation des carbonates par les êtres vivants)
	Talus continental	- Profondeur de 200 à 2000m - Courants de turbidité	- Des turbidités (boues silicieuses et carbonatées)
	Plaine abyssale	- Profondeur de 2000 à 4000m	- Argiles riches en débris calcaires planctoniques
	Grands fonds	- Profondeur de plus de 4000m	- Argile rouge - Absence totale de sédiments calcaires

C.C.D. c'est la profondeur à partir de laquelle il y a dissolution des carbonates (absence des sédiments carbonatés)

IV - Détermination des conditions de sédimentation dans un milieu ancien (mer de phosphate)

1- Localisation des gisements phosphatés au Maroc :

Selon la carte, on remarque que les gisements phosphatés marocains se trouvent dans des zones continentales situées à des dizaines de kilomètres du littoral.



2/ faciès des roches phosphatés :

Faciès : C'est l'ensemble des caractéristiques pétrographiques (nature de la roche) et paléontologiques (contenu fossilifère) permettant de déterminer le milieu et les conditions de sédimentation (paléogéographie).

Au Maroc les phosphates se trouvent à une profondeur de 100m à 160m, sous différentes formes :

Document1

Sables phosphatés : c'est le type le plus dominant, formés de grains fins et contenant des foraminifères (protozoaires marins)

Calcaire phosphaté : sous forme d'une roche compacte constituée de calcaire à ciment phosphaté

Silex phosphaté : contient un faible taux de phosphate et caractérisé par des couleurs très variées.

Document2

Les études paléontologiques des gisements phosphatés marocains ont montré l'existence de fossiles marins, par exemple : Rhombodus binkhorsti (raies) ; Squalicorax pristodontus (requins) ; Corax bassanii (requins) ; Pycnodus sp (Poissons osseux) ; Dyrosaurus paucidens (reptils marins) ; **Hemitherisea arambourgi (gastéropodes)**

➤ Quels sont les renseignements qu'on peut tirer des données apportées par ces documents ?

On peut conclure que les phosphates marocains sont formés dans des milieux marins peu profonds avec des eaux chaudes (climat tropical).

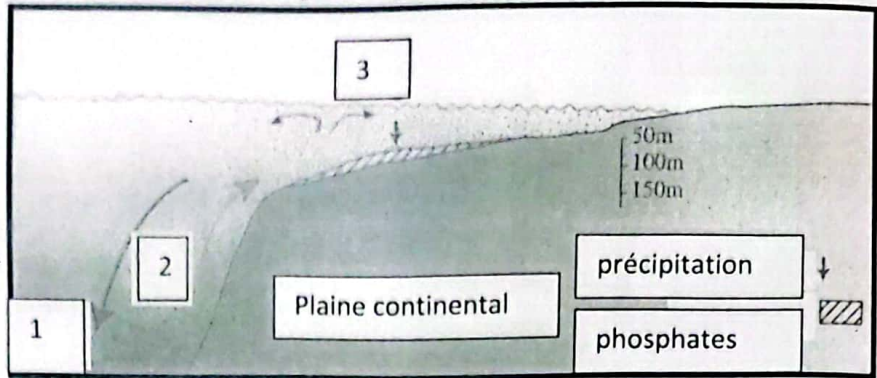
3/ Conditions de sédimentation des phosphates :

Selon la théorie de Kazakov (1937), le phosphore serait apporté par les remontées d'eau (up wellings) côtières. En effet, ces zones sont riches en phosphates solubles ou insolubles (en suspension).

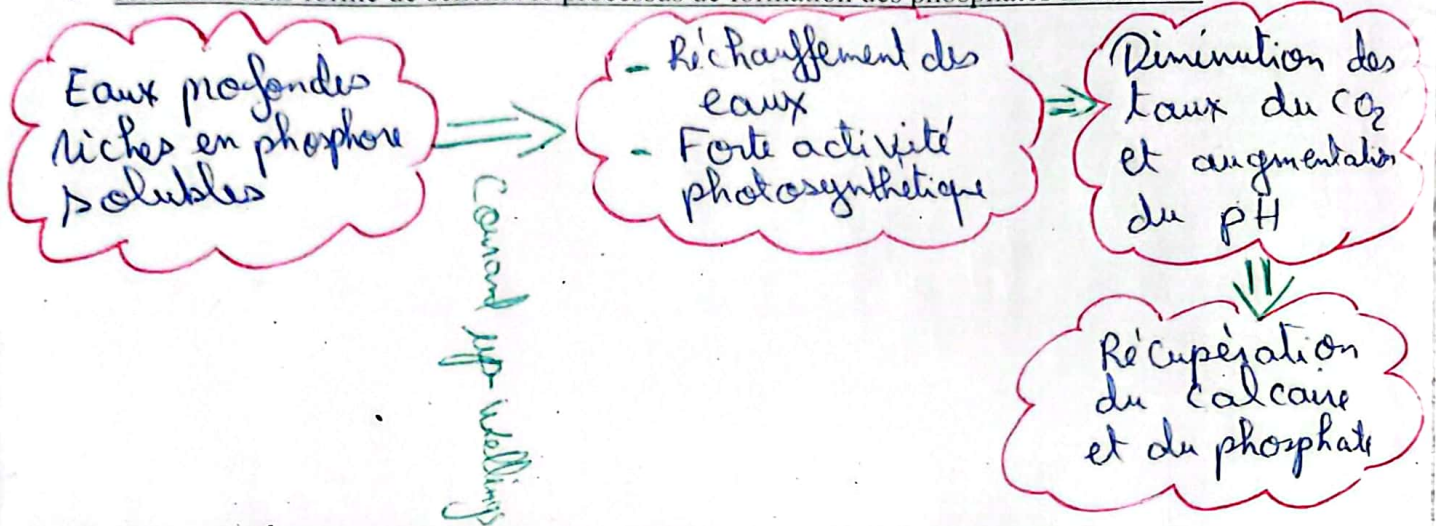
coastal

Avec l'échauffement des eaux, et la forte activité photosynthétique au niveau de la plaine océanique, il y a diminution de la pression partielle en CO_2 et augmentation du pH, ce qui donne une précipitation du calcaire ($CaCO_3$) et des phosphates.

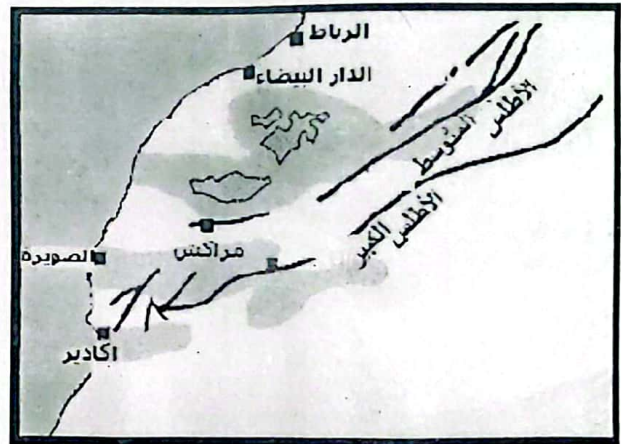
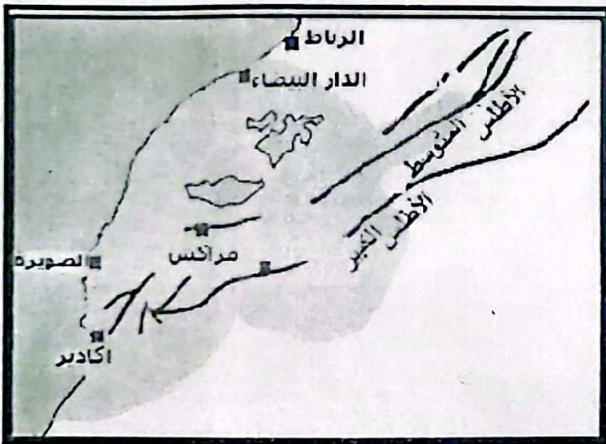
- 1 : fond océanique
- 2 : courants up wellings
- 3 : activité photosynthétique



➤ Résumer sous forme de schéma le processus de formation des phosphates marocains.



4/ Réalisation de la carte paléogéographique de la mer des phosphates :



Le modèle propose que la zone centrale du Maroc était une mer profonde à une **transgression marine** avec des endroits à fond surélevé où il y a absence des conditions favorables à la **phosphatogénèse**.

Le modèle propose un ensemble de golfes communiquant avec l'océan. Les golfes sont caractérisés par les conditions favorables à la **phosphatogénèse**.