

## Chapitre1 : Réalisation de la carte paléogéographique d'une région donnée

## الفصل الأول: إنجاز خريطة الجغرافية القديمة لمنطقة معينة

### Introduction

❖ Le paléogéographique fait partie de la géologie qui s'intéresse à la reconstitution théorique de la géographie d'une région donnée dans un temps géologique ancien.

Au cours des temps géologiques le volume et l'emplacement des sédiments continentaux et océaniques connaissent un changement progressif, ce changement provoque la modification de la géographie ancienne et donne lieu à des traces emmagasinées dans les sédiments. L'étude de ces dernières permet de reconstituer la carte paléogéographique ancienne d'une région donnée.

❖ **Quel est l'apport de l'étude des constituants des sédiments dans la reconstitution des anciens paysages sédimentaires ?**

### I. L'étude des roches sédimentaire.

#### 1. Les figures sédimentaires.(doc.1)

➤ les figures sédimentaires sont des structures visibles sur la face d'un banc sédimentaire, elles sont des indicateurs du dynamisme de la sédimentation. Les figures ci-contre montrent quelques figures sédimentaires.

1. Déterminez les figures sédimentaires représentées dans chaque figure ?

2. Montrez les caractéristiques des rides sédimentaires fossiles observées

3. Quelle information fournit la présence de fentes de dessiccation fossiles ?

4. Quelle est l'importance des traces fossiles des activités des êtres vivants



Image1: Rides du courant fossile

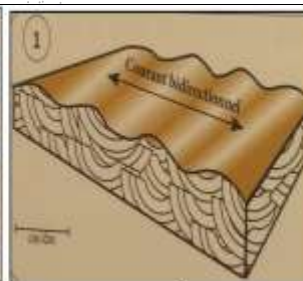


fig.1: Interprétation schématique des rides

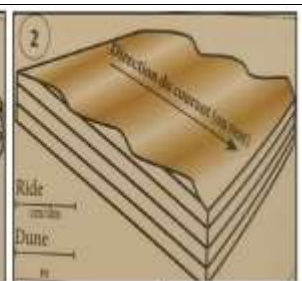


Image2: Fentes de dessiccation sur l'argile. anciennes.

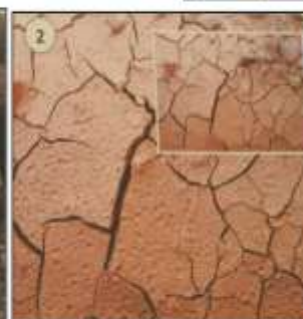


Image3: Fentes de dessiccation sur l'argile. actuelles



Image4: Traces de remobilisation laissées à la surface du sédiment

#### Document 1 :

#### ❖ **Éléments de réponse.**








- On peut distinguer les figures sédimentaires en fonction de leur genèse :
- ✓ Les rides ; sont des formes de dépôt essentiellement développées en contexte sableux, on distingue :
  - Les rides d'oscillation (ou ride de vague) (shéma.1) sont symétriques. Elles témoignent de courant bidirectionnel.
  - Les rides de courant (shéma.2) sont asymétriques. Elles témoignent de courant unidirectionnel.
- ✓ Les fentes de dessiccation ; sont des traces d'origine climatique, due à une augmentation de température pendant leur formation.
- ✓ Les traces d'origine biologique comme l'activité des êtres vivants ; elles renseignent sur la nature de vie et par conséquent le milieu de sédimentation.

❖ *Les figures sédimentaires permettent de savoir le facteur de transport, les conditions de sédimentation, de déterminer les limites des couches et même les conditions climatiques dominantes dans une période ancienne de sédimentation.*

## 2. L'étude statistique des constituants des sédiments.

### 2.1. Les composants des sédiments détritiques. (doc.2)

❖ un sédiment est un ensemble constitué de particules plus ou moins grosses ou de matières précipitées ayant, séparément, subi certain transport. Les matériaux des sédiments proviennent de l'érosion de roches antérieures (roches métamorphiques, magmatiques et même sédimentaires), les géologues ont divisés les constituants des sédiments détritiques selon leur diamètre et ont élaborés une échelle de classification des sédiments.

Diamètre	> 200mm	200mm-20mm	20mm-2mm	2mm-200µm	200µm-63µm	63µm-2µm	<2µm
Sédiments	Blocs	Galets ou cailloux	Gravillons	Sables grossiers	Sables fines ou sablons	Limons	Argiles
							

#### Document 2 :

❖ On choisit dans cette étude granulométrique le sable comme exemple de sédiment parce qu'il contient des particules de quartz qui est caractérisé par sa dureté élevée.

### 2.2. Préparation du sable pour l'étude granulométrique (doc.3)

❖ On distingue plusieurs types de sable en fonction de la taille des grains qui le constituent.

Tableau1	Type de sable	Sable très fin	Sable fin	Sable moyen	Sable grossier	Sable très grossier
	Taille des grains en mm		0,063 - 0,125	0,125 - 0,25	0,25 - 0,5	0,5 - 1

✓ Les étapes de l'étude statistique ou granulométrique d'un échantillon du sable sont les suivantes:

#### a: Préparation du sable :

- Mettre l'échantillon du sable à étudier dans un tamis dont le diamètre des mailles est 1/16 mm puis laver l'échantillon avec de l'eau courante pour éliminer l'argile et le limon.
- se débarrasser du calcaire en utilisant l'acide chlorhydrique (HCL) et de la matière organique en utilisant l'eau oxygénée (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>).

#### b: Tri des grains de quartz :

✓ Sécher l'échantillon du sable puis mettre 100 g de cet échantillon dans le tamis supérieur d'une série de tamis emboîtés les uns dans les autres (figure ci-contre). Les dimensions des mailles des tamis sont décroissantes du haut vers le bas (2 mm pour le tamis supérieur et 1/16 mm pour le tamis inférieur).

✓ Agiter les tamis par vibrations circulaires et verticales pendant 15 mm ce qui permet de répartir les grains de sable sur les différents tamis en fonction de leur taille.

✓ Peser le refus de chaque tamis et déterminer son pourcentage par rapport à la masse totale de l'échantillon étudié (le refus d'un tamis représente la partie de l'échantillon du sable qui n'est pas passée à travers les mailles du tamis).

✓ Déterminer le refus cumulé de chaque tamis, c'est la somme du refus du tamis lui-même plus tous les refus des tamis de maille plus grande (refus des tamis qui se trouvent au-dessus du tamis étudié).

▪ Les résultats concernant le refus et le refus cumulé des différents tamis doivent être présentés sous forme de tableau comme le suivant :

Diamètre des mailles en mm	2	1	1/2	1/4	1/8	1/16
Masse des grains en %	a	b	c	d	e	f
Masse cumulé en %	a	a + b	a + b + c	a + b + c + d	a + b + c + d + e	a + b + c + d + e + f



#### c: Exploitation des résultats

Elle se traduit par la réalisation de l'histogramme de fréquence, la courbe de fréquence, la courbe cumulative et par la détermination de l'indice de classement.

#### Document 3:

### 2.3. Représentation graphiques et indice de classement. (doc.4)

a. Comment réaliser l'histogramme et la courbe de fréquence ? (figure 1):

➤ Tracer un graphe à deux axes puis porter :

✓ En abscisse: les dimensions des mailles des tamis sur une échelle logarithmique d'une manière rétrograde.

✓ En ordonnée: les pourcentages pondéraux pour le polygone de fréquence (fig1, 2 et 3), et la masse cumulée pour la courbe cumulée (fig4)

➤ Réaliser l'histogramme en dessinant une suite de rectangles, chacun représente une "classe" de grains ayant un diamètre compris entre 2 tamis successifs, la hauteur de chaque rectangle doit correspondre au pourcentage de la classe qu'il représente pour l'histogramme de fréquence et aux masses cumulée pour la courbe cumulée.

➤ Dessiner la courbe de fréquence et la courbe cumulée en reliant successivement les médianes des rectangles.

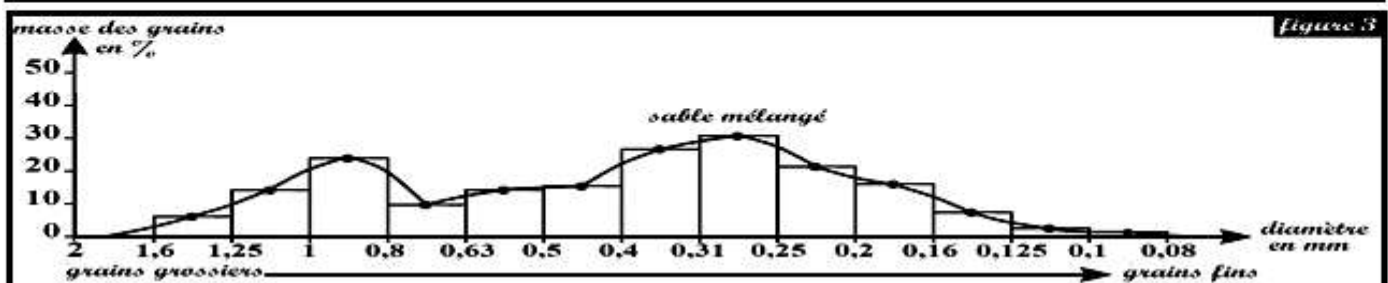
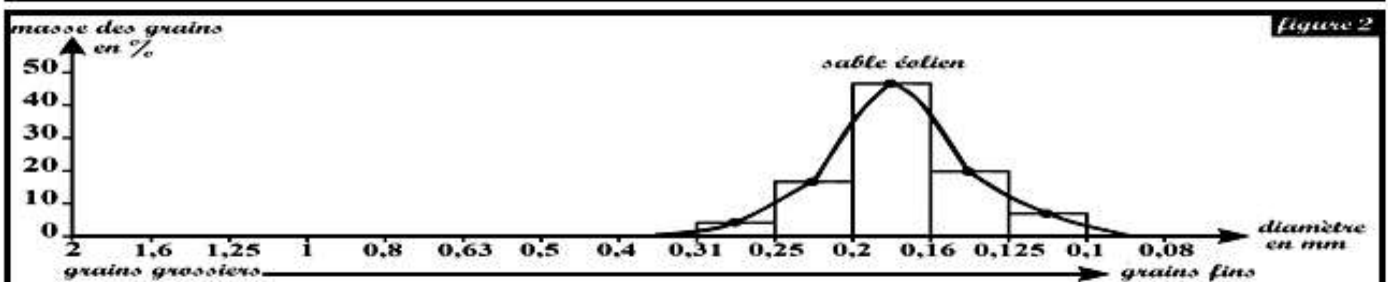
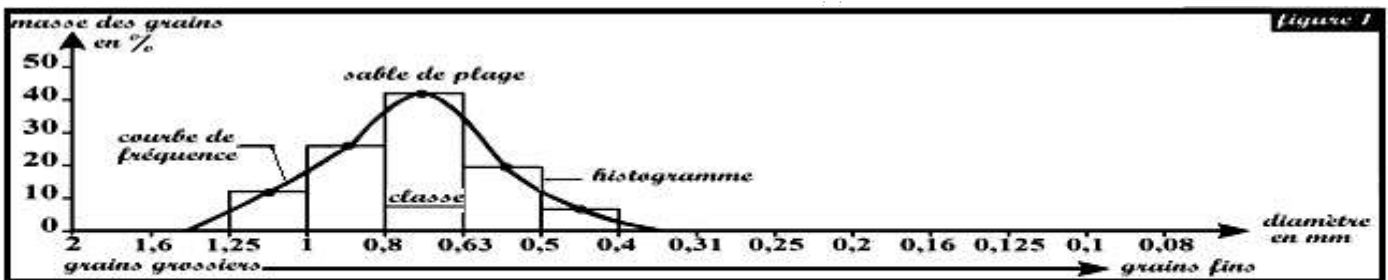
6. Importance de la courbe de fréquence.

L'analyse de la courbe de fréquence permet de tirer des informations sur l'origine du sable étudié (origine, agent de transport, et le milieu de sédimentation):

❖ Une courbe unimodale étroite indique un sable homogène et bien classé. Il s'agit d'un sable de plage s'il est constitué essentiellement de grains grossiers (figure 1). Par contre, si le sable étudié est constitué essentiellement de grains fins, il s'agit alors de sable saharien (figure 2).

❖ Une courbe unimodale large (sable constitué de grains grossiers et fins) indique un sable mal classé, il s'agit généralement de sable fluviatile.

❖ Une courbe plurimodale indique un sable hétérogène et non classé, c'est un sable mélangé, c.-à-d. un mélange de deux ou plusieurs sables ayant des origines différentes (figure 3). On peut rencontrer ce type de sable en milieu fluviatile.



**c. Importance de la courbe cumulative.** (figure 4)

- ❖ Sur la courbe cumulative rétrograde on détermine les quartiles : **Q<sub>1</sub>** (75% du poids) et **Q<sub>2</sub>** (25% du poids) et la médiane **Md** (50% du poids).
- ❖ Les valeurs de **Q<sub>1</sub>** et **Q<sub>3</sub>** sont utilisés pour calculer l'indice de classement **S<sub>0</sub>** selon la formule suivante:

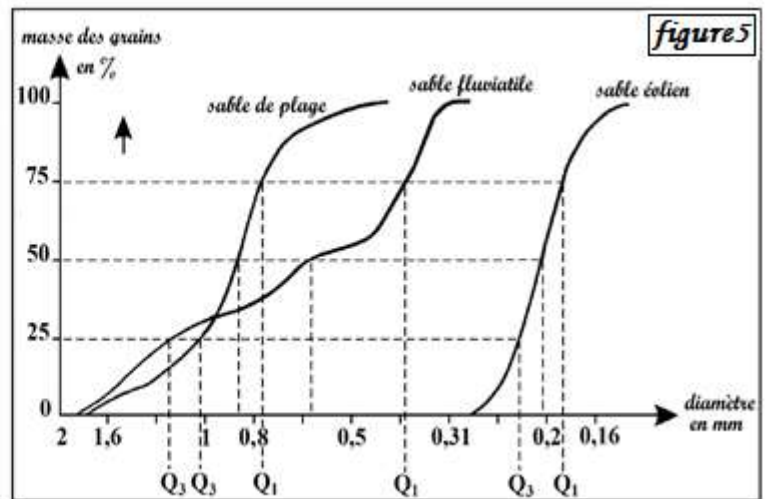
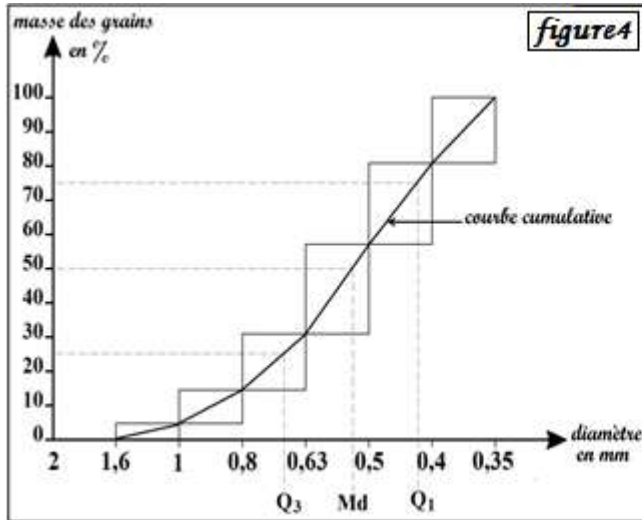
$$S_0 = \sqrt{\frac{Q_3}{Q_1}}$$

On utilise les valeurs de **S<sub>0</sub>** pour évaluer le classement du sable étudié:

Indice de classement de <b>S<sub>0</sub></b>	évaluer le classement du sable
$S_0 < 0,5$	Ultra classé
$0,5 \leq S_0 < 1,23$	Très bien classé
$1,23 \leq S_0 < 1,41$	Bien classé
$1,41 \leq S_0 < 1,74$	Classement moyen
$1,74 \leq S_0 < 2$	Mal classé
$S_0 \geq 2$	Non classé

**d. Détermination de l'origine du sable étudié.**

On peut déterminer l'origine du sable étudié en comparant sa courbe cumulative avec des courbes de référence de sables de milieux connus (figure 5).



**Document 4:**

- Le polygone de fréquence donne une idée sur le degré d'homogénéité du sable. Le sable est homogène, fin et bien classé si le polygone de fréquence est unimodal et décalé vers les petits calibres (sable éolien). Il est homogène, grossier et bien classé si le polygone de fréquence est unimodal et décalé vers les gros calibres (sable côtier). Il hétérogène et mal classé si le polygone est plurimodal (sable fluviale).
- La courbe cumulative, les quartiles et indice de Trask **S<sub>0</sub>** permettent de conclure le classement du sable. Tout cela permet d'avoir une idée sur l'origine de sable, le mode de transport et le milieu de sédimentation.

❖ **Exercice d'application** (doc.5)

➤ Le tableau ci-dessous représente les résultats de l'étude granulométrique de trois échantillons de sable dans trois localités.

Classes (diamètre des calibres) mm	Pourcentage pondéral des échantillons de sable dans 3 localités					
	Localité A		Localité B		Localité C	
2-1.60	0	0	0	...	0	...
1.60-1.25	0	0	0	...	0	...
1.25-1	0	0	0	...	1	...
1-0.80	0	0	0	...	2.6	...
0.80-0.63	1.5	1.5	0	...	8	...
0.63-0.50	4	5.5	0	...	15	...
0.50-0.40	9	14.5	0	...	26	...
0.40-0.315	10	24.5	1	...	27.5	...
0.315-0.250	9	33.5	5.5	...	16	...
0.250-0.200	9.5	43	12	...	2	...
0.200-0.160	11	54	41.5	...	1.5	...
0.160-0.125	15.5	69.5	25	...	0	...
0.125-0.100	15	84.5	10.3	...	0	...
0.100-0.080	9	93.5	3	...	0	...
0.080-0.063	5	98.5	1	...	0	...
0.063-0.050	1	99.5	0.5	...	0	...
0.050-0.040	0	99.5	0	...	0	...
<b>Cumulus</b>		<b>99.5</b>		<b>...</b>		<b>...</b>

1. Compléter le tableau en calculant le cumulus des sables des localités B et C.
2. Tracer sur papier millimétré, l'histogramme et le polygone de fréquence des sables des trois localités
3. Analyser chaque polygone, puis conclure le degré d'homogénéité du sable
4. Tracer sur papier millimétré, la courbe cumulative des sables des trois localités
5. Déterminer Q<sub>3</sub> et Q<sub>1</sub> de chacun des sables A,B et C, puis calculer l'indice du Trask S<sub>0</sub> et déduire le classement de chaque sable.

*Document 5:* Exercice d'application.

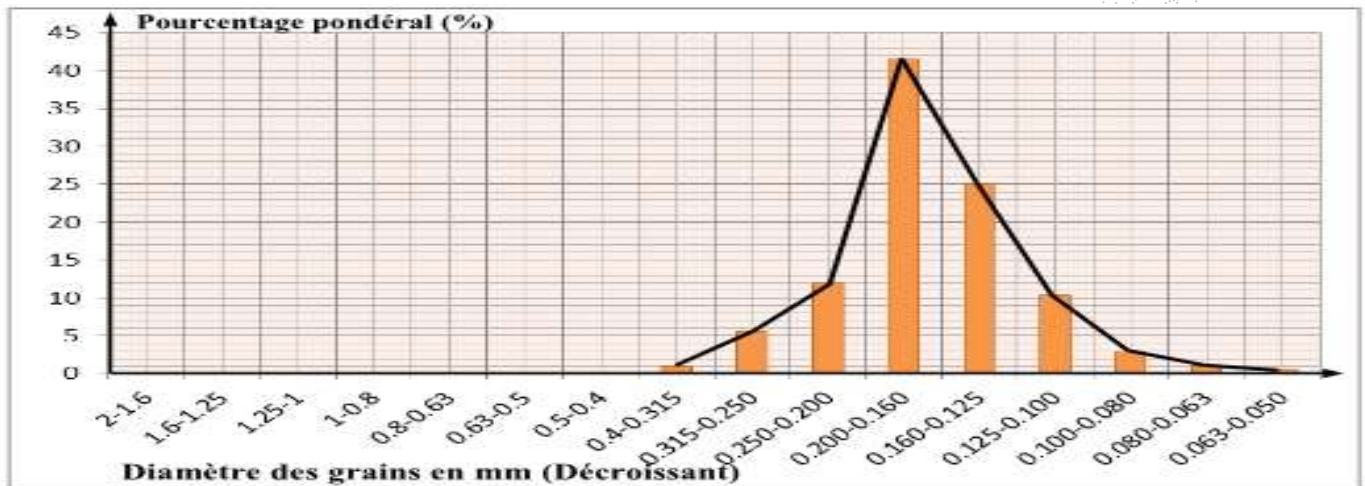
➤ **Éléments de réponse**

1. Compléter le tableau en calculant le cumulus des sables des localités B et C.

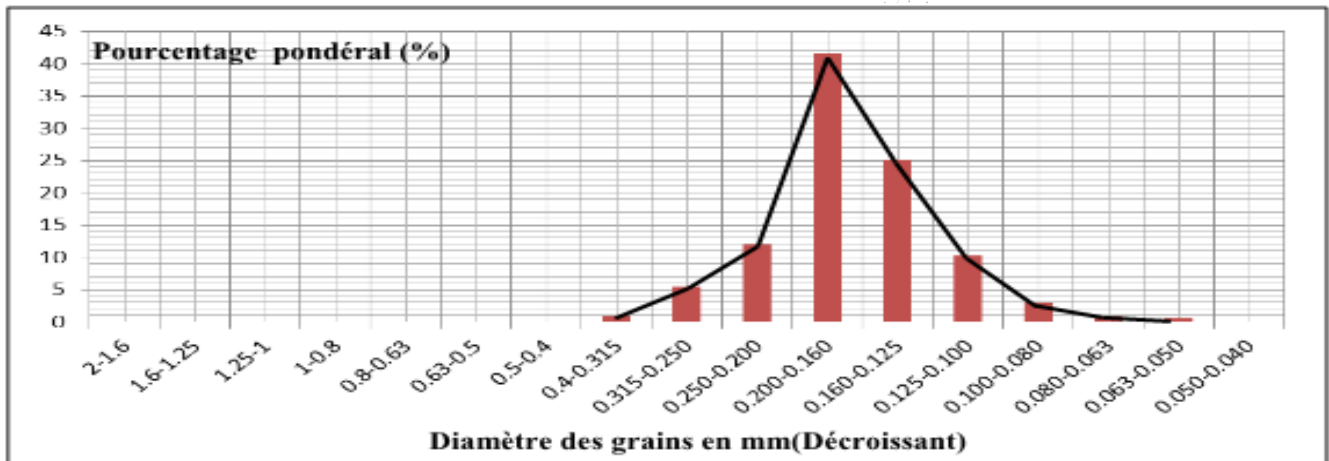
Classes (Diamètre des calibres) mm	Pourcentage pondéral des échantillons de sables dans trois localités.					
	Localité A		Localité B		Localité C	
2 - 1.60	0	0	0	0	0	0
1.60 - 1.25	0	0	0	0	0	0
1.25 - 1	0	0	0	0	1	1
1 - 0.80	0	0	0	0	2.6	3.6
0.80 - 0.63	1.5	1.5	0	0	8	11.6
0.63 - 0.50	4	5.5	0	0	15	26.6
0.50 - 0.40	9	14.5	0	0	26	52.6
0.40 - 0.315	10	24.5	1	1	27.5	80.1
0.315 - 0.250	9	33.5	5.5	6.5	16	96.1
0.250 - 0.200	9.5	43	12	18.5	2	98.1
0.200 - 0.160	11	54	41.5	60	1.5	99.6
0.160 - 0.125	15.5	69.5	25	85	0	99.6
0.125 - 0.100	15	84.5	10.3	95.3	0	99.6
0.100 - 0.080	9	93.5	3	98.3	0	99.6
0.080 - 0.063	5	98.5	1	99.3	0	99.6
0.063 - 0.050	1	99.5	0.5	99.8	0	99.6
0.050 - 0.040	0	99.5	0	99.8	0	99.6
<b>Cumulus</b>		<b>99.5</b>		<b>99.8</b>		<b>99.6</b>

2. Tracer sur papier millimétré, l'histogramme et le polygone de fréquence des sables des trois localités.

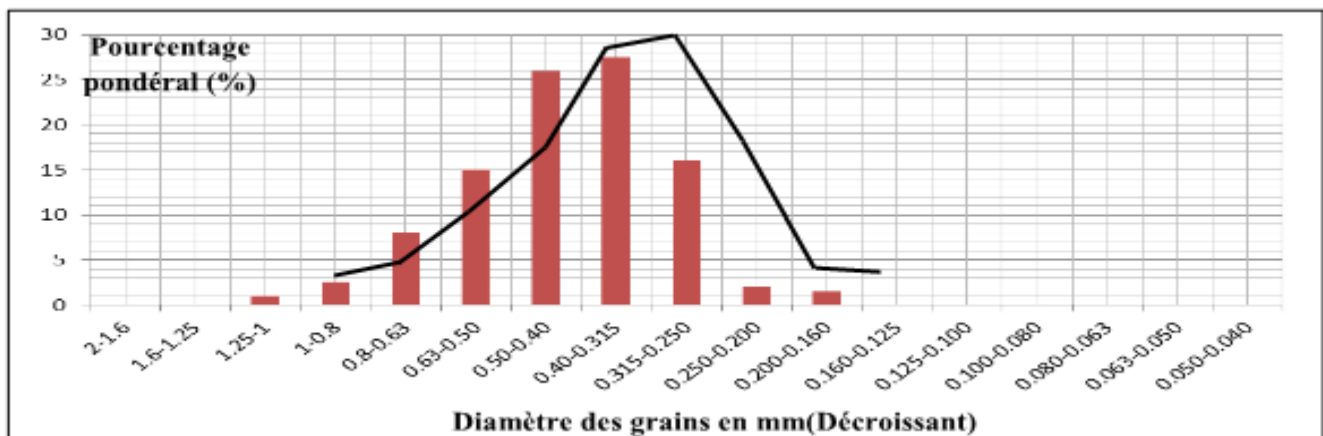
➤ L'histogramme de fréquence et le polygone de fréquence du sable de la localité A



➤ L'histogramme de fréquence et le polygone de fréquence du sable de la localité B



➤ L'histogramme de fréquence et le polygone de fréquence du sable de la localité C

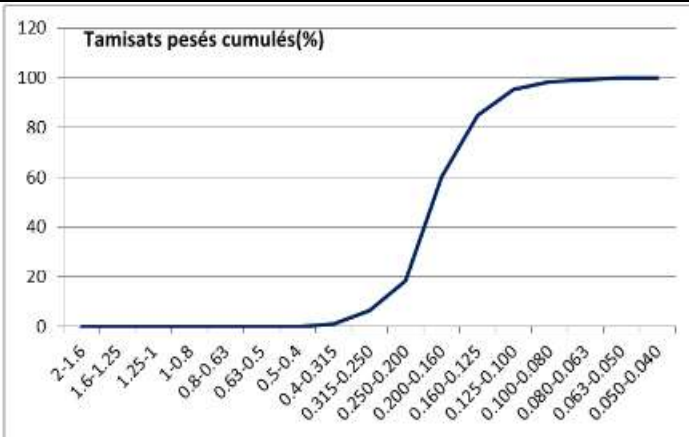


3. Analyser chaque polygone, puis conclure le degré d'homogénéité du sable

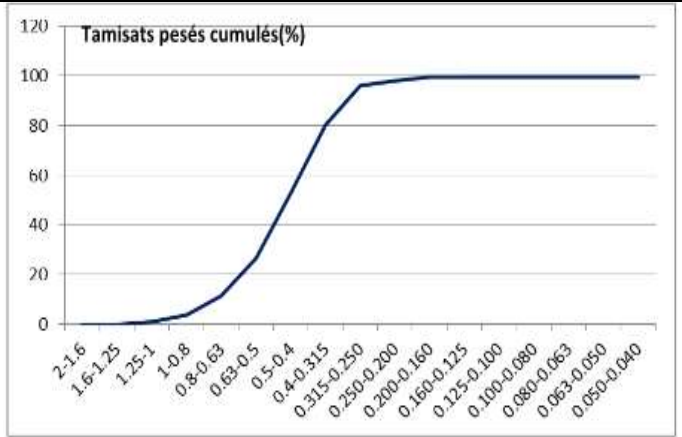
- **Localité A** : polygone de fréquence unimodale et se concentre dans les grains de petit calibre. C'est un sable fin homogène.
- **Localité B** : polygone de fréquence unimodale et se concentre dans les grains de petit calibre. C'est un sable fin homogène.
- **Localité C** : polygone de fréquence unimodale et se concentre dans les grains de moyen calibre. C'est un sable de taille moyenne et homogène.

4. Tracer sur papier millimétré, la courbe cumulative des sables des trois localités

➤ La courbe cumulative de sable de la localité B



➤ La courbe cumulative de sable de la localité C



5. Déterminer Q<sub>3</sub> et Q<sub>1</sub> de chacun des sables A, B et C, puis calculer l'indice du Trask S<sub>0</sub> et déduire le classement de chaque sable.

Sable A: Q<sub>1</sub> = 0.125; Q<sub>3</sub> = 0.357;  $S_0 = \sqrt{\frac{Q_3}{Q_1}}$  ;  $S_0 = \sqrt{\frac{0.357}{0.125}} = 1.689$

Sable B: Q<sub>1</sub> = 0.151; Q<sub>3</sub> = 0.206;  $S_0 = \sqrt{\frac{Q_3}{Q_1}}$  ;  $S_0 = \sqrt{\frac{0.206}{0.151}} = 1.167$

Sable C: Q<sub>1</sub> = 0.378; Q<sub>3</sub> = 0.532;  $S_0 = \sqrt{\frac{Q_3}{Q_1}}$  ;  $S_0 = \sqrt{\frac{0.532}{0.378}} = 1.18$

**Le classement de chaque sable :**

Sable A: S<sub>0</sub> = 1.689; 1.41 < S<sub>0</sub> ≤ 1.74 → Ce sable est moyennement classé ;

Sable B: S<sub>0</sub> = 1.167; S<sub>0</sub> < 1.23 → Ce sable est très bien classé ;

Sable C: S<sub>0</sub> = 1.18; S<sub>0</sub> < 1.23 → Ce sable est très bien classé ;

### 3. L'étude morphoscopique des constituants des sédiments.

➤ Les éléments détritiques subissent lors du transport des changements morphologiques qui modifient leur aspect d'origine. L'étude morphoscopique des éléments détritiques d'un sédiment donne une idée sur le degré du dynamisme qu'a subi un tel sédiment.

✓ Comment fait-on l'étude morphoscopique des constituants d'un sédiment.

✓ Comment peut-on exploiter l'étude morphoscopique des constituants d'un sédiment.

#### 3.1. Étude morphoscopique des grains de quartz d'un sable (doc.6)

□ **Éléments de réponse**

**Schémas et description des grains de quartz de chaque échantillon de sable.**



➤ L'étude morphoscopique d'un sable est l'examen par observation à la loupe et au microscope de la forme et de l'aspect de surface des grains de quartz de ce sable. En effet le quartz constitue le composant essentiel du sable car c'est l'élément qui résiste le plus aux agents de l'altération et de transport, ainsi la forme et l'aspect des grains de quartz varient en fonction de la nature, l'intensité et la durée d'action des agents de transport.

➤ Les étapes de l'étude morphoscopique d'un sable sont les suivantes:

- ✓ Préparation d'un échantillon de sable de la même manière utilisée dans l'étude statistique.
- ✓ Isolement par tamisage des grains de quartz ayant un diamètre compris entre 0,4 mm et 1,6 mm.
- ✓ Observation des grains isolés à la loupe binoculaire. Pour faciliter l'observation, on disperse les grains de quartz sur une surface noire en présence de lumière assez forte. Les photos ci-dessous représentent les principaux types de grains de quartz observés à la loupe binoculaire.



1) Dégager les principales catégories de grain de quartz et le mode de transport pour chaque catégorie.

➤ D'autre observation montre l'existence d'autres types du quartz avec des morphologies différentes, les images ci-dessous représentent les morphologies variées des grains du sable.






2) Montrer que ces sables ont subi des modes de transport différents.

**Document 6:**

**Description des grains de quartz de chaque échantillon de sable :**

- ◆ Grains à angles très marqués, appelés grains non usés ; N.U. : grains transparents anguleux, aux arêtes tranchants,
- ◆ Grains à angles émoussés et à éclat gras et luisants ; E.L. : grains transparents, luisants et très arrondis.
- ◆ Grains ronds à surface piquetée d'aspect mat ; R.M. : Grains arrondis dont la surface ressemble à du verre dépoli

**Les principales catégories des grains du quartz et le mode du transport ayant subi chaque catégorie.**

Grains	Caractéristiques	Aspect des grains.	Principales catégories.	Modalité et dynamisme du transport.
		Grains transparents anguleux, aux arêtes tranchants.	Grains non usés = N.U.	Sable ayant subi un transport de faible distance.
		Grains transparents, luisants et très arrondis.	Grains émoussés luisants = E.L.	Sable ayant subi un long transport par l'eau.
		Grains arrondis dont la surface ressemble à du verre dépoli.	Grains ronds mat = R.M.	Sable ayant subi un long transport par le vent: transport éolien.



➤ **Exercice d'application**

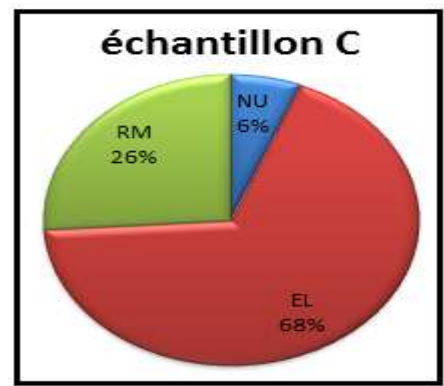
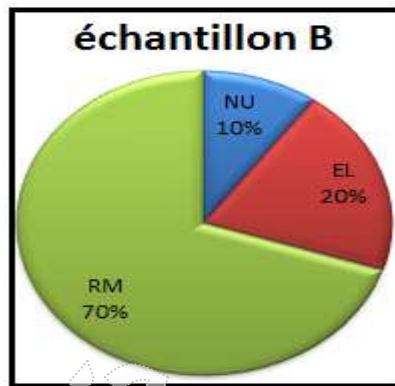
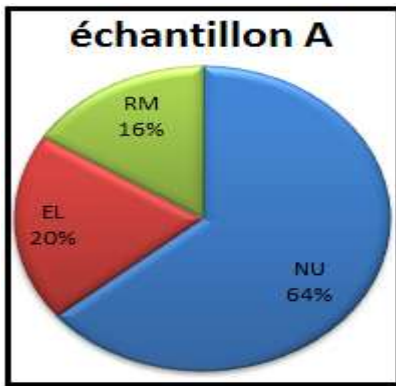
✓ l'étude statistique des grains de quartz de 3 échantillons de sable extrait de 3 couches distinctes a donné les résultats suivants

Grain de quartz	Échantillon A	Échantillon B	Échantillon C
NU	64%	10%	6%
EL	20%	20%	68%
RM	16%	70%	26%

1. Transformer ces résultats en un histogramme circulaire.
2. Que déduisez-vous d'après l'analyse de chaque histogramme.

➤ **Éléments de réponse**

1. **les histogrammes circulaires de 3 échantillons de sable.**







2. **Analyse et conclusion.**

- ✓ L'échantillon A est caractérisé par la dominance des grains de sable non usés (64%) ce qui permet de conclure que cet échantillon a subi un transport de faible distance (par eau ou par glace)
- ✓ L'échantillon B est caractérisé par la dominance des grains de quartz de type ronds mat (70%) donc cet échantillon a transporté par le vent à longue distance.
- ✓ L'échantillon C est représenté par une dominance des grains de sable de type émoussés luisants (68%) et une moyenne représentation des grains de quartz de catégorie ronds mat (26%) ce qui permet de déduire que ce type de sable a subi deux type de transport, transport par l'eau et par le vent.

**3.2.Étude morphoscopique des galets (Tbleau.1)**

❖ Les galets sont des cailloux arrondis par usure mécanique (éolienne, fluviatile, coutière, glaciaire). Leur diamètre varie entre 20 mm et 200 mm. Leur étude porte sur le degré d'arrondi, sur leur orientation liée aux courants, sur l'aspect de leur surface : ces éléments caractérisent les types d'érosion et de transport.

❖ Le tableau suivant représente les principales caractéristiques morphologiques des galets et le mode de transport qui a subi chaque type de galet.

Type de Galet	Aspect	Caractéristique
Galet fluvatile		Galet émoussé. Le degré d'émoussement témoigne de l'intensité, la durée et la distance du transport par l'eau des fleuves ou des rivières.
Galet de Plage		- Forme aplatie dans les plages plates et globulaire dans les plages rocheuses. - Présence de trous arqués, il s'agit de traces de chocs dus à la force des vagues.
Galet éolien		- Galet lisse présentant plusieurs facettes et arêtes. - Lignes fines et émoussées. - Surfaces gravées.
Galet glaciaire		Galet poli, très émoussé et présentant des stries qui témoignent des frottements avec les murs rocheux au cours du transport par les glaciers.

## II. Les conditions de sédimentation dans les principaux milieux de sédimentation actuels.

### 1. Les conditions de sédimentation dans les milieux continentaux.

#### 1.1. Les conditions de sédimentation dans les cours d'eau (doc.7)

❖ Une fois érodés, les éléments arrachés à la roche sont transportés par les courants d'eau pour être déposés par la suite dans des milieux de sédimentation bien déterminés, les figures suivantes représentent les principales structures sédimentaires du cours d'eau.



Figure1 :



Figure2 :

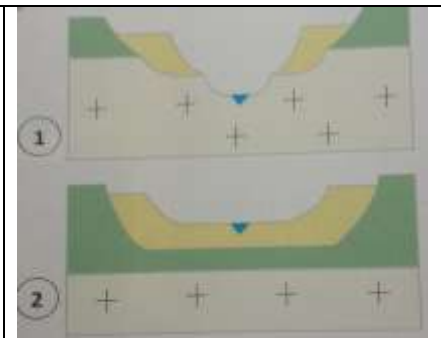


Figure3 :

➤ Décrire les structures sédimentaires du cours d'eau : les méandres et les terrasses fluviales.

#### Document 7.

➤ Les méandres sont des sinuosités décrites par les cours d'eau, chaque méandre est formé par une rive concave abrupte qui correspond à la zone d'érosion et une rive convexe en pente douce qui correspond à la zone de dépôt.

➤ Les terrasses fluviales sont des figures qui caractérisent la sédimentation en milieu fluvial, leur formation est liée à l'alternance de périodes de dépôts et d'érosions. Quand les phases érosives sont très importantes par rapport aux phases de dépôts, on parle de terrasses étagées (schéma 1). Dans le cas inverse on parle de terrasses emboîtées (schéma 2).

✓ **Quels sont les conditions ou les facteurs qui favorisent la phase érosive et la phase de dépôt**

1.2. La relation entre la vitesse du courant et la granulométrie. (doc.8)

□ Pour mettre en évidence la relation entre la granulométrie et la vitesse du courant, on propose la manipulation suivant :

✓ On applique un courant d'eau à un mélange de sédiments puis on observe le dépôt de différents sédiments sur le plancher en faisant varier la pente et le débit du courant d'eau. (voir la figure 1)



Figure1

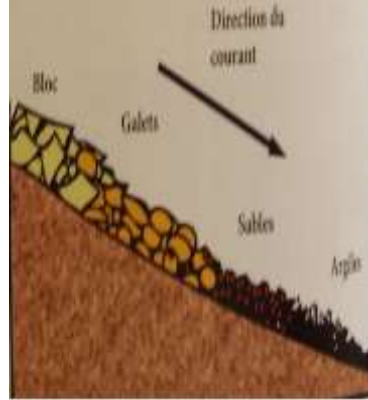


Figure2

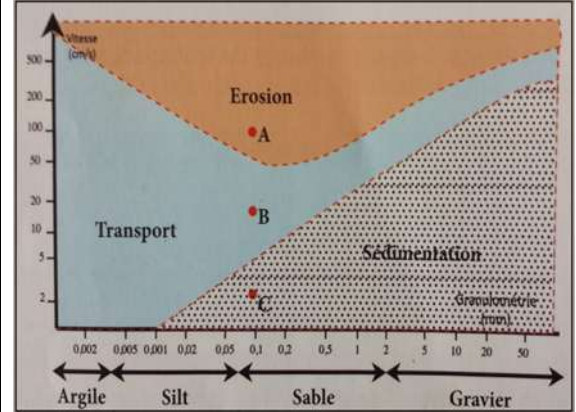


Figure3

1. Réaliser la manipulation précédente et décrire les résultats obtenus.

2. Que représente la figure 2.

□ La figure 3 représente le diagramme de Hjulstrom qui permet de relier la vitesse d'un courant à son action sur des matériaux de granulométrie variée.

3. Déterminez les vitesses correspondantes aux points A, B et C. Quelle vitesse est responsable du dépôt de particule dont le diamètre est 0,1 mm ?

4. Dégagez les conditions qui favorisent la sédimentation dans un cours d'eau.

**Document 8 :**

□ **Éléments de réponse**

1. **Résultats :** le transport des sédiments dans un cours d'eau dépend de la vitesse du courant d'eau qui dépend du débit et de la pente, ainsi de l'amont vers l'aval on va trouver des sédiments de taille décroissantes.

2. La figure 2 représente un granoclassement qu'on peut le trouver le long d'une rivière, il s'agit d'un granoclassement horizontal, en revanche on assiste aussi d'autre type de granoclassement vertical.

3. Les vitesses correspondantes aux points A, B et C sont respectivement : 100cm/s, 18cm/s et 2,5cm/s. La vitesse responsable du dépôt de la particule dont le diamètre est 0,1mm est une vitesse inférieure 5cm/s.

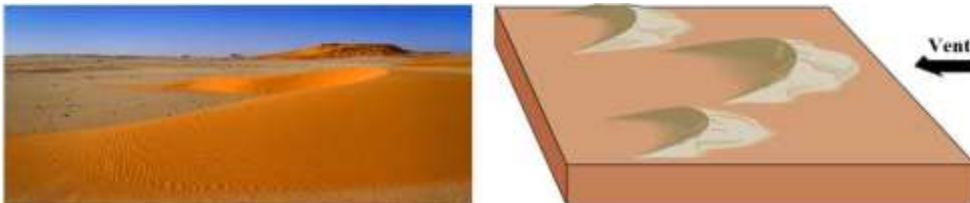
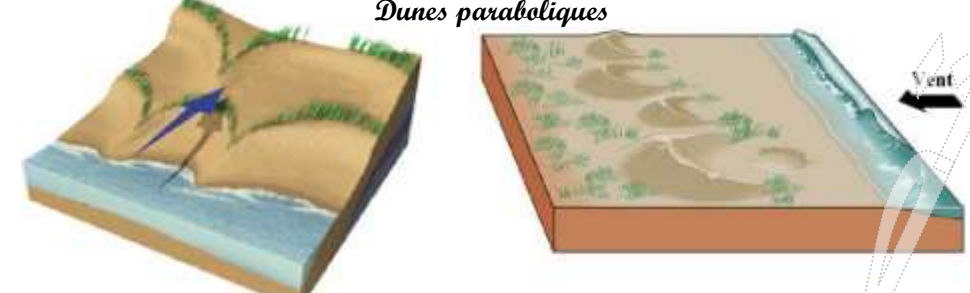
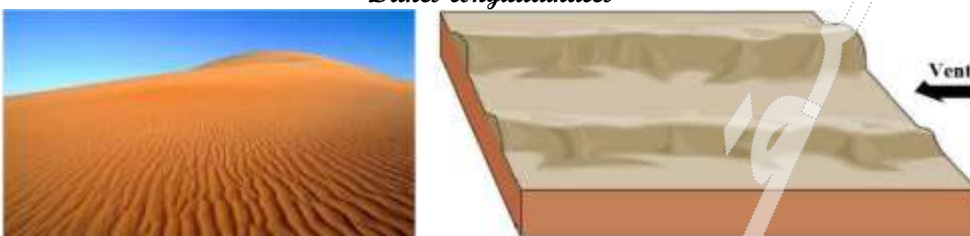
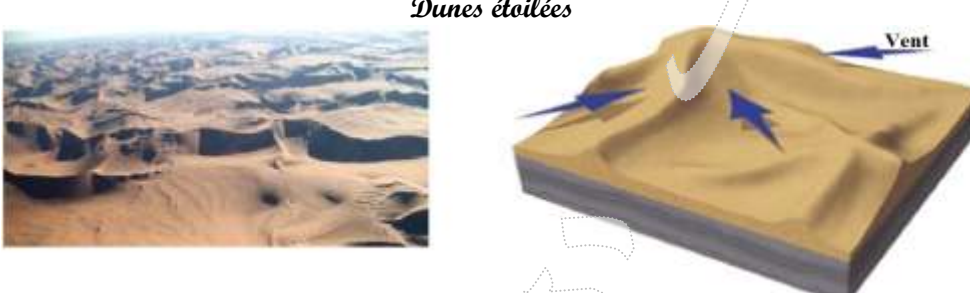
4. Les conditions qui favorisent la sédimentation dans un cours d'eau sont :

- ✓ La diminution de la vitesse du courant d'eau.
- ✓ L'augmentation de la taille des particules transportées.

1.3. Conditions de sédimentation dans les milieux désertiques et lacustres.

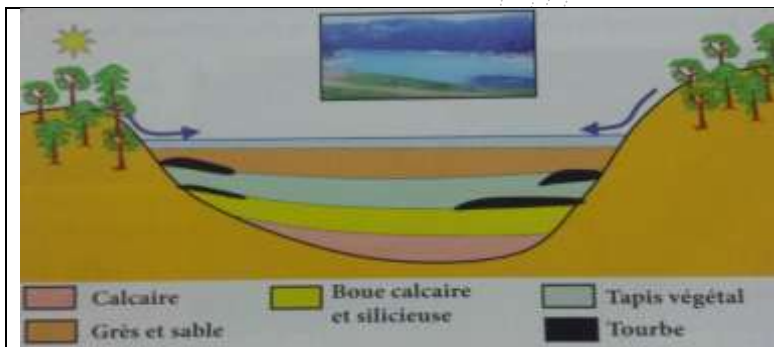
a) **Conditions de sédimentation dans les milieux désertiques** (doc.9)

□ Dans les milieux désertiques, la vitesse du vent, la quantité de sable transportée ainsi que la présence de certains obstacles sont des facteurs qui interviennent dans la formation des accumulations comme les rides et les dunes, les figures suivantes représentent les différents types des dunes et leurs caractéristiques.

Type de dunes	Caractéristiques
<p style="text-align: center;"><i>Barkhanes</i></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Forme en croissant convexe du côté du vent, cornes du croissant orientées dans le sens du vent.</li> <li>- Vent unidirectionnel.</li> <li>- Faible apport du sable.</li> </ul>
<p style="text-align: center;"><i>Dunes paraboliques</i></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Forme en croissant concave du côté du vent, cornes du croissant orientées dans le sens opposé à celui du vent.</li> <li>- Vent unidirectionnel.</li> </ul>
<p style="text-align: center;"><i>Dunes longitudinales</i></p> 	<p>Dune allongée parallèlement au vent</p>
<p style="text-align: center;"><i>Dunes étoilées</i></p> 	<p>Structure complexe reflétant le régime changeant des vents.</p>

Document 9:

**b) Conditions de sédimentation dans les milieux lacustres (doc.10)**



Les dépôts lacustres sont constitués de galets, de vase, de boues calcaires avec parfois des dépôts calcaires. Les varves sont formées par l'alternance des minces lits clairs et foncés ; les lits foncés se déposent en hiver, ils sont riches en matière organique, les lits clairs se déposent en été, ils sont plus carbonatés, donc la sédimentation lacustres variée en fonction du climat et la nature des bassins versants

Document 10:

## 2. Les conditions de sédimentation dans les milieux intermédiaires.

### 2.1. Les conditions de sédimentations dans les delta. (schéma)

Schéma à dessiner:



Figure 1: photo aérienne du delta du Nil

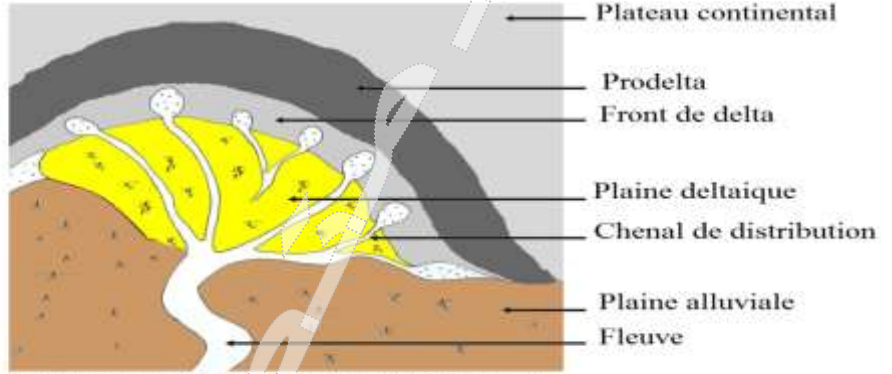


Figure 2: principales composantes morphologiques d'un delta

### 2.2. Nature des dépôts dans le delta. (Tableau 2)

Le tableau suivant présente la nature des sédiments dans les différentes zones du delta

Zones du delta	Chenaux de distribution	Plaine deltaïque	Front du delta	Prodelta
Nature des dépôts	Sable et galet semblables aux dépôts fluviaux.	Limons et argiles, riche en matière organique ou en évaporites selon le climat.	Sédiments dépend de la densité de l'eau du fleuve, de la charge et de la taille des particules transportées	Vase argileuse riche en matière organique.

### 2.3. Les conditions de sédimentations dans l'estuaire (doc.11)

les estuaires sont des milieux où les matériaux apportés par les fleuves s'ajoutent à ceux introduits par la mer. Ces matériaux sont surtout sous forme de vase. Dans la plupart des estuaires, il existe une zone où les sédiments fins en suspension sont fortement concentrés. Cette zone de turbidité maximale est appelée **bouchon vaseux**



Figure 1: estuaire du Bouregrag montrant l'influence de l'eau marine

Document 11: conditions de sédimentations dans l'estuaire

### 2.4. Les conditions de sédimentations dans le lagon (doc.12)

Les lagunes sont des plans d'eau peu profonds, allongés parallèlement au littoral et isolés de la mer par un cordon de sable et de galets. La communication avec la mer se fait par des ouvertures plus ou moins nombreuses dans le cordon. Les sédiments formés dans les lagunes sont essentiellement des sédiments carbonatés et des évaporites (roches salines).



Le lagon de Walidia au Maroc

Document 12: conditions de sédimentations dans le lagon

### 3. les conditions de sédimentations dans les milieux marins

❖ les milieux marins sont caractérisés par des conditions hydrodynamiques particulières, ce qui influence les conditions de la sédimentation dans ces milieux.

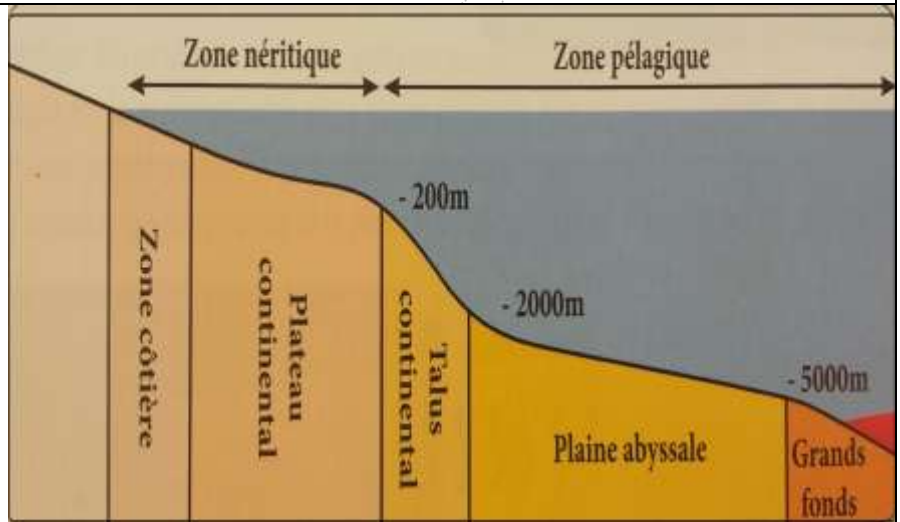
➤ Quelles sont les conditions de sédimentation dans ces milieux

#### 3.1. Les différentes zones de la sédimentation marine. (doc.13)

dans le domaine marin on distingue :

➤ **La zone néritique** qui s'étend du littoral jusqu'à une profondeur de -200 m, elle englobe la zone littoral et le plateau continental.

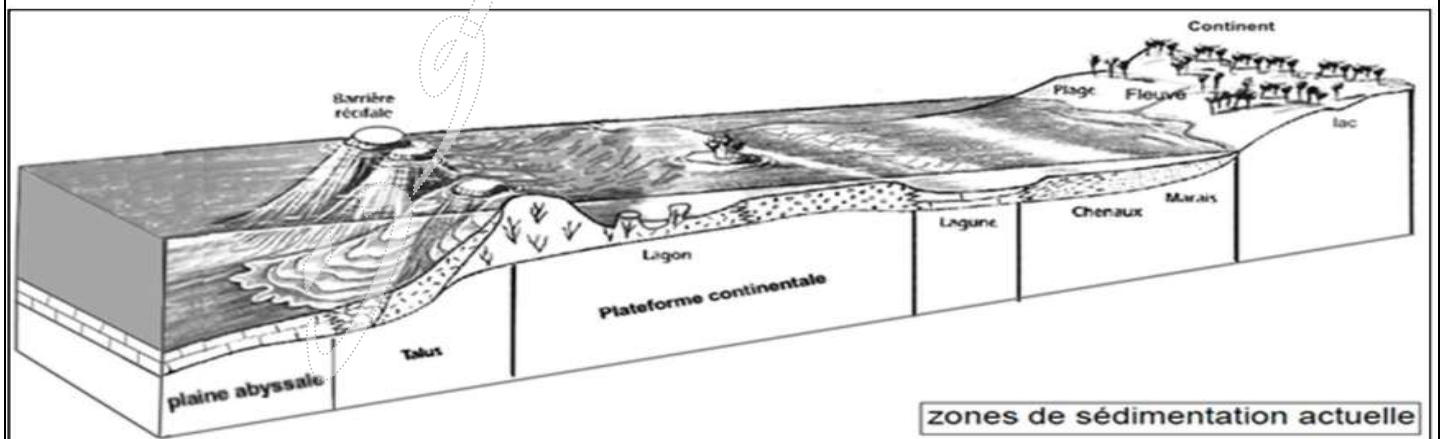
➤ **La zone pélagique** qui s'étend de -200m jusqu'à des profondeurs qui dépassent -5000 m, cette zone englobe la talus continental, la plaine abyssale et les grands fonds océanique. Chaque unité sédimentaire se caractérise par sa morphologie, son hydrodynamisme et sa sédimentation.



Document 13: relief du fond océanique

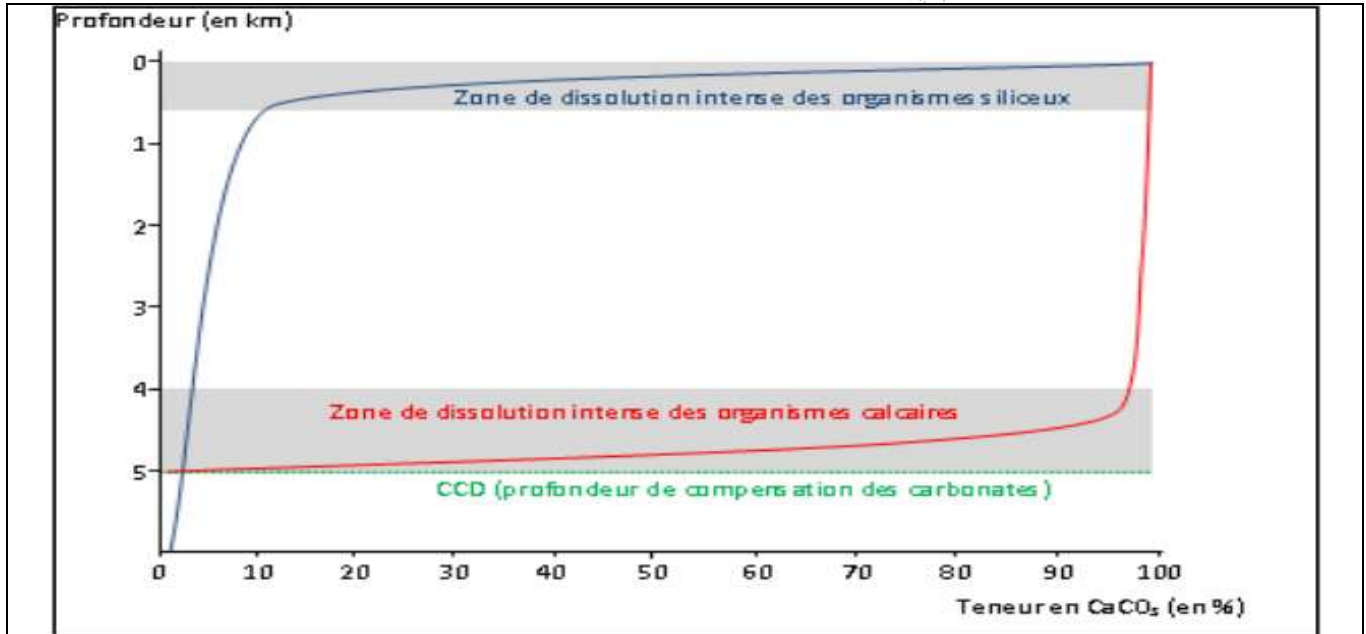
#### 3.2. Les conditions de la sédimentation dans le milieu marin. (tableau 3)

milieux marins	plage et plate-forme	<p><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 ;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- sédimentation à dominance siliceuse quand l'apport détritique est fort</li> <li>- sédimentation à dominance carbonatée là où l'apport détritique est faible et le climat favorable au développement des organismes constructeurs (coraux par exemple).</li> </ul>
	talus	<p><b>la pente continentale</b> (ou talus continental), large de 45 km en moyenne et dont la profondeur va de 200 à 4 000 m, entamée par des canyons sous-marins ;</p> <p>sédiments détritiques rythmés mis en place en bas du talus par les courants de turbidité.</p>
	plaine abyssale	<p>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 nageants).</p>
	Grands fonds	<p>A plus de 5000m de profondeur</p> <p>Argiles rouges, avec absence du calcaire sous le niveau 5000m de compensation des carbonates (Carbonate Compensation Depth)</p>



### ➤ Exercice

- Dissolution des tests siliceux ou calcaires en fonction de la profondeur océanique et CCD.
- ✓ Les microorganismes marins possèdent des squelettes siliceux (diatomées, radiolaires...) ou calcaires (foraminifères...) sont voués, après leur mort, à tomber dans les profondeurs océaniques ou ils participent à la constitution du sédiment. Les tests, les coquilles vont subir une dissolution qui est en fonction de la profondeur, comme le décrit très bien le document suivant.



Document 1

1. Comment évolue la solubilité des tests calcaire en fonction de la profondeur ?
2. Expliquer le fait qu'en dessous de la CCD, plus aucun organisme calcaire ne sera trouvé.
3. Écrire la réaction chimique de cette dissolution.
4. Définir donc le CCD ; le niveau de compensation des carbonates.
5. Qui ce que vous constatez en ce qui concerne la dissolution des tests siliceux.

### ➤ Élément de réponse

1. La dissolution du calcaire augmente avec la profondeur : ce phénomène est dû à la teneur en CO<sub>2</sub> qui est grande à basse température et sous une forte pression.
2. Au-delà d'une certaine profondeur, tous les débris carbonatés sont dissous et le sédiment ne contient pas de carbonate.
3. La réaction de la dissolution du calcaire :  $\text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{Ca}^{2+} + 2\text{HCO}_3^-$
4. Définition du CCD : il s'agit d'un niveau en milieu océanique, sous lequel le carbonate de calcium (CaCO<sub>3</sub>) se dissocie, c-a-d que lorsque des particules de CaCO<sub>3</sub>, comme celle qui viennent du plancton, atteignent ce niveau, elles sont dissoutes et se retrouvent dans l'eau sous leur forme ionique Ca<sub>2+</sub> et HCO<sub>3</sub><sup>3-</sup>.
5. La dissolution des tests siliceux est grande dans les eaux superficielles sous saturées en silice. Elle diminue en profondeur sous l'effet de la haute pression et de basse température. A grandes profondeurs au-dessous de CCD, la sédimentation siliceuse domine à condition que la production de silice par le plancton ait été suffisamment importante.

### III. Détermination des conditions de sédimentation dans un milieu ancien : Mer des phosphates.

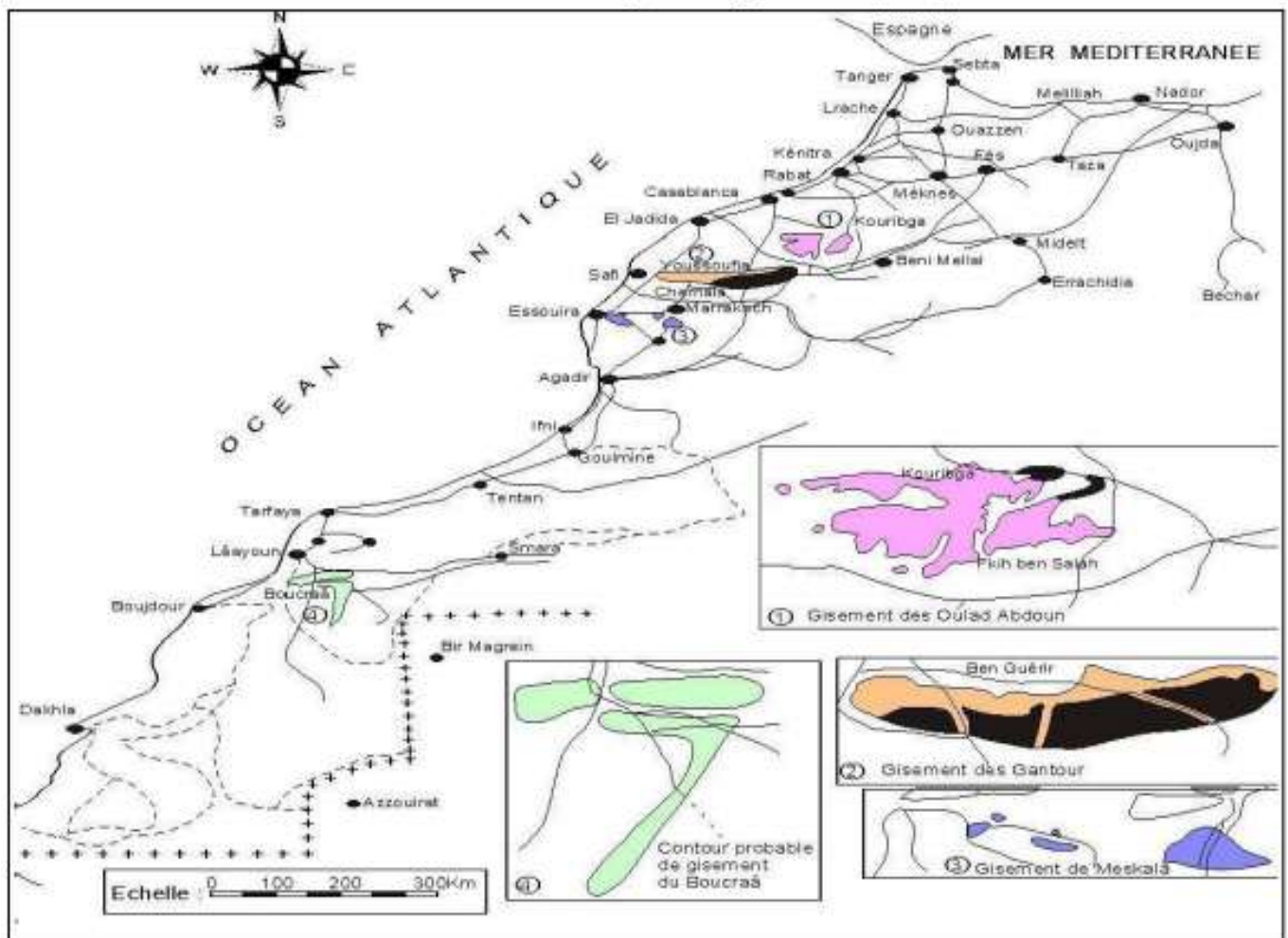
➤ Les réserves en phosphate au Maroc représentent près de 75% des réserves mondiale. Les phosphates sont des roches sédimentaires exploitées dans des gisements répartis au Maroc au niveau de bassins sédimentaires appelés bassins phosphatés.

- ✓ Quelles sont les caractéristiques des sédiments phosphatés ?
- ✓ Quelles sont les conditions de formations des sédiments phosphatés ?

#### 1. Les caractéristiques des sédiments phosphatés au Maroc.

##### 1.1. Les principaux domaines phosphatés au Maroc. (doc.14)

Lire la carte ci-dessous et localiser les différents gisements phosphatés au Maroc



**Document 14:** les principaux gisements de phosphate au Maroc

- ❖ les principaux bassins phosphatés au Maroc sont :
  - bassin d'Ouled Abdoun, à Khouribga.
  - bassin de Gantour, à Youssoufia.
  - bassin de Meskala, au domaine nord atlasique, à Chichaoua, s'étendant du jbillets jusqu'à le haut atlas Occidental.
  - Bassin Oued Eddahab au domaine Saharien. Gisement Boucraa.



### 1.2. Les formes des roches phosphatées au Maroc. (doc.15)

❖ les roches phosphatées sont des calcaires ou des grès phosphatés avec des débris d'ossements, des concrétions et des granulations de phosphate (jusqu'à 76%). Ce dernier provient de la décomposition d'organismes peuplant la mer, notamment des animaux suivants : Poissons (poissons osseux ; raies ; requins,...) reptiles marins et parfois d'origine continentale dont les animaux suivants : **Plésiosaures, Mosasaures, crocodiles et lézards**. Les chairs en se décomposant dans certaines conditions forment le phosphate, ce qui forme désormais la roche, qui contient les fossiles.

❖ On distingue parmi les sédiments phosphatés : le sable phosphaté, les calcaires phosphatés et les dents de requin.



Plésiosaure



Mosasaure



#### Document 15:

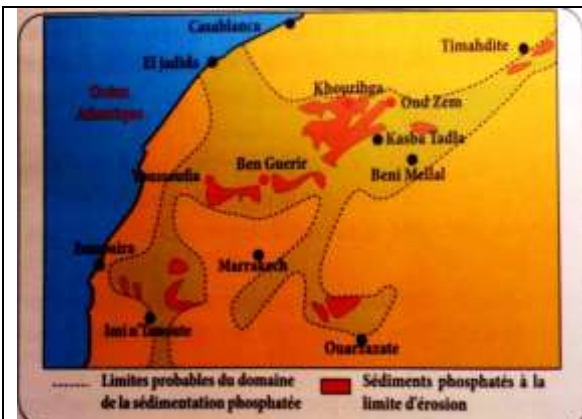
- Le gisement des phosphates au Maroc présente trois types essentiels de roches phosphatées (ou faciès phosphatés) ; le phosphate sableux granulaire, le calcaire phosphaté et le phosphate siliceux.
- Le phosphate granulaire est le plus répandu et le plus exploité actuellement. Il est constitué de grains phosphatés très fins comme :
  - ✓ Les oolites : structures résultant de la précipitation chimique des phosphates sous forme de couches successive autour d'un noyau siliceux (grain de sable) ou organique (micro algues, coquilles de plancton...)
  - ✓ Les tests de foraminifères complètement ou partiellement phosphatés
  - ✓ Les grains de glauconie : minéral riche en fer se formant en milieu marin (plateau continental).
- Le calcaire phosphaté est une roche compacte constituée d'éléments phosphatés cimentés par du calcaire cristallisé.

## 2. Les conditions de formations des sédiments phosphatés au Maroc.

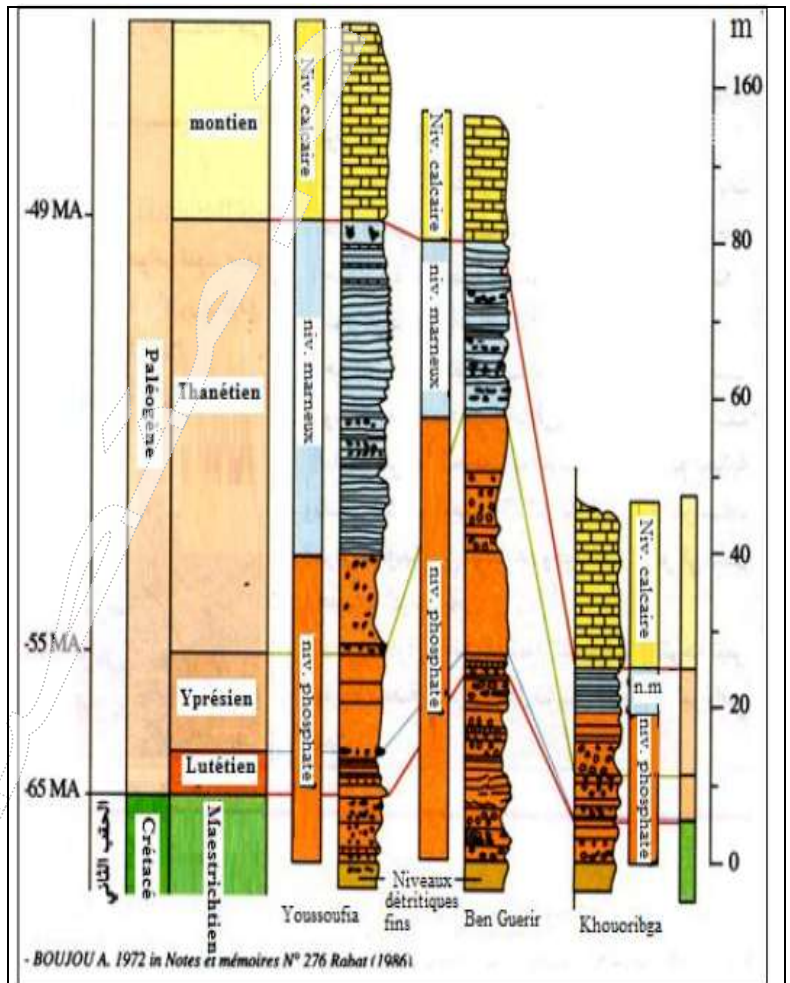
### 2.1. Répartition spatio-temporelle des sédiments phosphatés au sein du "bassin du nord". (doc.16)

➤ Les phosphates du Maroc ont été déposés, sur une très longue période allant du crétacé (étage du Maestrichtien, environ 80 Millions d'années), jusqu'au début de l'Éocène inférieur (40 Million d'année). Les colonnes stratigraphiques suivantes montrent la répartition des niveaux caractérisant les dépôts phosphatés selon les zones géologique de bassin du nord et leurs temps géologique de formation.

1. En se basant sur la figure 2 comparer ces trois colonnes stratigraphiques et déduire les différentes propriétés caractérisant les roches phosphatées au Maroc.



**Fig 1** : limites des dépôts phosphatés dans le bassin nord



**Fig 2** : colonnes stratigraphiques des sédiments phosphatés selon les régions et le temps géologique

**Document 16 :**

- La colonne stratigraphique est un schéma qui représente la succession des couches sédimentaires dans un milieu donné sous forme d'une coupe verticale qui prend en considération l'épaisseur de la couche et leurs positions les unes par rapport aux autres.
- L'analyse de certaines colonnes stratigraphique permet de déterminer certaines caractéristiques des couches phosphatées :
  - ✓ Forte condensations des séquences phosphatées dont les couches ne dépassent que les dizaines de mètres.
  - ✓ Apparition soudaine des faciès phosphatés.
  - ✓ La durée de sédimentation des roches phosphatés est relativement courte (moins de 20 millions d'années)
  - ✓ Les roches phosphatées s'alternent de façon rythmique avec d'autres roches.

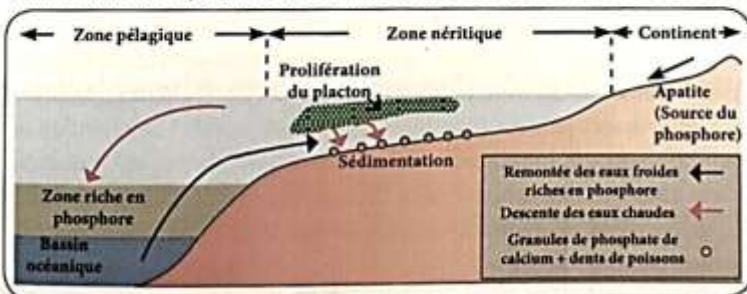
## 2.2. Conditions de sédimentation et de formation des phosphates

Plusieurs théories ont été avancées pour expliquer l'origine des sédiments phosphatés :

- **Théorie de l'origine minérale des phosphates** : L'origine du phosphore dans les roches phosphatées est due aux coulées volcaniques et aux eaux thermales sous-marines ainsi qu'à l'altération et au lessivage des roches volcaniques continentales riches en Apatite.
- **Théorie de l'origine biologique des phosphates** : Du fait de la richesse des sédiments phosphatés en fossiles de vertébrés, cette théorie considérait que l'origine du phosphore dans ses sédiments est due à l'altération chimique et biochimique des restes d'animaux au fond des bassins sédimentaires. Le phosphore libéré réagit avec d'autres minéraux pour donner le phosphate.
- **Théorie moderne - Théorie des courants ascendants ou Upwelling (KAZAKOV, 1937)** : La source principale du phosphore contenu dans les roches phosphatées est l'apatite, minéral présent en grandes quantités dans les roches éruptives. L'altération de ces roches par les eaux météoriques libère le phosphore minéral qui est transporté par les eaux superficielles vers la mer.

Au niveau des eaux marines, le phosphore est intégré dans le cycle biologique, essentiellement par le plancton qui, après leur mort, restituent le phosphore de nouveau aux eaux marines par l'action des bactéries qui minéralisent la matière vivante, ce qui assure la libération du phosphore et du CO<sub>2</sub>.

La sédimentation du phosphate nécessite la remontée des eaux profondes riches en phosphore et CO<sub>2</sub> vers la surface. Cette remontée permet la sédimentation du carbonate de calcium en premier lieu suivi du phosphate de calcium.



La phosphatogenèse se déroule à des profondeurs qui varient entre 50 m et 200 m à deux conditions :

- Présence de liaison directe entre les bassins continentaux et le milieu océanique ;
- Présence de courants marins ascendants (Upwelling) qui déplacent les eaux sous-marines riches en phosphore.

▲ Modèle explicatif de la phosphatogenèse selon la théorie des courants ascendants

**Document 17** : les théories sur la formation des roches phosphatées.

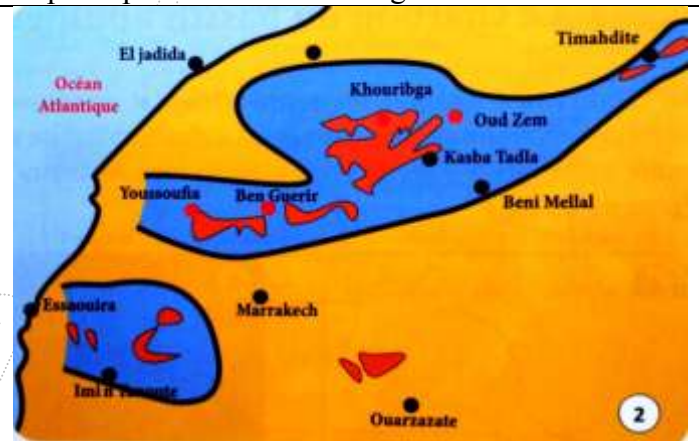
## 2.3. Deux explications pour la reconstitution de la paléogéographie des bassins phosphatés marocains (doc.18).

➤ L'étude des faciès minéraux et fossilifères des phosphates a permis de reconstituer l'environnements sédimentaires dans lesquels s'est formé le phosphate. la représentation de ces environnements ainsi que leur évolution au cours des temps géologiques se fait sous forme des cartes paléogéologique. L'importance de la période d'érosion qui a suivi la sédimentation des roches phosphatés a rendu très difficile la détermination avec précision les limites des bassins de phosphates, pour cela deux modèles théoriques ont été proposées pour la reconstruction de la géologie passée de ces bassins.

- ✓ **Trappe (1989-1994), Herbig (1986) (modèle1)** : le centre et l'Ouest Marocain étaient submergés par une mer épicontinentale en liaison avec l'Océan Atlantique. Les sédiments phosphatés se sont déposés sur des fonds de faible profondeur alors que les zones profondes ne connaissaient aucune sédimentation de phosphate.
- ✓ **Salvin (1960), Boujo (1976) (modèle 2)** : la mer de phosphate était sous forme de golfs de faible profondeur en liaison avec l'Océan Atlantique et séparés par des terrains émergents.



**Fig.1** : paléogéographie des bassins phosphatés du nord du Maroc selon Herbig



**Fig.2** : paléogéographie des bassins phosphatés du nord du Maroc selon Boujo

**Document 18** : les modèles théoriques de la carte paléogéographique du bassin nord

➤ Synthèse, schéma récapitulatif

