



*Ministère de l'éducation nationale, de la
formation professionnelle, de
l'enseignement supérieur et de la
recherche scientifique*

Livre de l'enseignant

Partie 1

1^{ÈRE} ANNÉE SCIENCES

LES PHÉNOMÈNES GÉOLOGIQUES EXTERNES

Pr : EL MADANI

ANNÉE SCOLAIRE 2020 / 2021

Plan du cours

Première année du baccalauréat Série sciences mathématiques

Unité 1 : phénomènes géologiques externes (géodynamique externe)

➤ *Première partie : paléogéographie d'une région sédimentaire*

I- Les études granulométriques et morphoscopiques des sédiments

- * les formes sédimentaires
- * dynamique des agents du transport des sédiments ;
- * Etude morphoscopique et statistique des sédiments.

II – les milieux sédimentaires actuels

- * les milieux de sédimentation marins
- * les milieux de sédimentation continentaux
- * les milieux de sédimentation mixtes

III – les conditions de sédimentation dans un milieu ancien et sa paléogéographie (cas du bassin du phosphate)

- * Répartitions géographique et origine pétrographique des gisements des phosphates au Maroc
- * Théories scientifiques expliquant la formation des phosphates

➤ *Deuxième partie : Histoire géologique d'une région sédimentaire tabulaire*

I- Principes de stratigraphies et datation relatives

- * Principes stratigraphiques géométriques
- * le contenu paléontologie

II- cycle sédimentaire et échelle stratigraphique

- * Bases et règle de mise en place d'une échelle stratigraphique
- * autres éléments essentiels à la mise en place d'une échelle stratigraphique

III- carte géologique ; bilan des études stratigraphiques

- * la carte géologique
- * la coupe géologique
- * restitution de l'histoire géologique du bassin des phosphates

Unité 2 : Nature de l'information génétique et le mécanisme de son expression – Le génie génétique

➤ *Première partie : Notion de l'information génétique et le mécanisme de son expression*

I- Localisation de l'information génétique

- * Mise en évidence de la localisation de l'information génétique
- * Rôle des chromosomes dans la transmission de l'information génétique d'une cellule à une autre :

II- La nature chimique du matériel génétique

- * composition et structure des chromosomes
- * structure de la molécule d'ADN
- * Mécanisme de la duplication de l'ADN

III - Expression de l'information génétique

- * notion du gène, caractère, allèle et la mutation
- * mécanisme de l'expression de l'information génétique

➤ *Deuxième partie : le génie génétique*

I- Principes du génie génétique

II- Quelques domaines d'applications du génie génétique

 Unité1

Phénomènes géologiques externes (géodynamique

Introduction générale

L'étude des phénomènes actuels d'érosion, de transport et de sédimentation fournit les « clés » permettant d'analyser les phénomènes anciens : l'idée que ces phénomènes se sont déroulés autrefois suivant les mêmes règles qu'actuellement est un des principes de base de la géologie.

Toute roche sédimentaire conserve une multitude d'indices qui renseignent le spécialiste sur l'origine de cette roche, ses conditions de formation, de dépôt, les altérations qu'elle a pu subir, etc. Il est donc possible de reconstituer, pour une région donnée, une histoire : invasions marines, émerSIONS, périodes d'altération continentale et d'érosion... On peut ainsi retrouver les paléogéographies et les paléoclimats d'une région.

- Qu'est-ce que les phénomènes géologiques externes ?*
- Qu'appelle-t-on éléments significatifs d'un paysage ?*
- comment un paysage peut-il être modifié au cours du temps ?*
- comment se forment les roches sédimentaires et que nous apportent-elles comme information sur leur époque de formation ?*
- Quels sont les indices et les techniques de base utilisés dans la reconstitution des paysages anciens ?*

Paléogéographie d'une région sédimentaire

Cours :1

Introduction :

Les paysages géologiques varient à la surface de la terre d'une région à l'autre. Au Maroc, par exemple nous avons des régions marines et des régions continentales. Ces dernières se caractérisent par la diversité du relief : montagnes ; plateaux ; plaines ; vallées....

Actuellement le plateau des phosphates, à titre d'exemple, est une région continentale à relief plat. Il regorge de précieuses couches sédimentaires. Ce sont les couches de phosphates riches en dents de requin. Ce qui montre qu'il s'agit d'une région qui a été submergée par la mer à une époque géologique donnée.

- comment peut-on décrypter le contenu des couches sédimentaires, pour reconstituer les paysages géologiques anciens, qui se sont succédés dans une région ?
- Quelles sont les caractéristiques sédimentologiques utilisées à cette fin ?
- Comment peut-on exprimer cette évolution géologique à travers un document cartographique de synthèse ?

I- Caractères des sédiments dans les paysages sédimentaires

Les paysages sédimentaires sont caractérisés par des conditions de sédimentation variées qui permettent la formation de sédiments à caractères variés.

- Quels sont les caractères des sédiments présents dans les différents paysages sédimentaires ?

1- Caractères des sédiments en montagne

Doc 1 : Dans les vallées montagneuses s'accumulent des fragments rocheux d'une grande variété lithologique et de différentes tailles. Ces fragments déplacés par gravité et de forme généralement béchique (anguleuse), sont appelés les éboulis. On trouve également des argiles qui sont des produits de l'altération.

- à partir de l'image ci-contre Dégager les caractères des sédiments dans une région montagneuse ?



Réponse :

Les sédiments sont arrachés des roches et s'accumulent en bas sous forme d'éboulis. Ils sont formés de brèches (éléments anguleux) généralement de tailles différentes.

2- Caractères des sédiments au bord d'une rivière

Doc 2 : Les matériaux provenant de l'érosion et de l'altération des roches sont transportés par les eaux de ruissellement (torrents, rivières et fleuves). Ces eaux transportent :

- des substances dissoutes ;
- des particules très fines, les argiles et les limons ;
- des particules plus grosses de tailles différentes (sable, graviers et cailloux) ;

Sur le bord de la rivière peuvent se déposer

les particules de différentes tailles. (Image ci-contre).

- Proposer une explication concernant la diversité des sédiments déposés au bord d'un cours d'eau



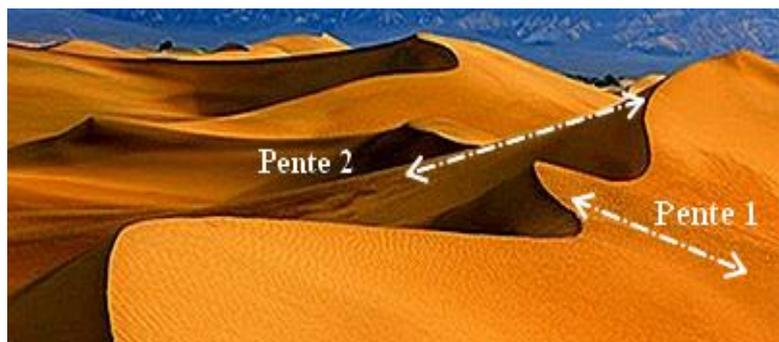
Réponse : La pente 1 est douce (faible), elle constitue une zone d'accumulation des sables éoliens et la pente 2 plus abrupte (forte) constitue une zone de dépôt des sables éoliens. L'étude des caractères des sédiments des dunes désertiques permet de déduire les facteurs et les conditions de leur sédimentation tels que le sens et la direction des courants.

3- Caractères des sédiments dans des dunes désertiques

Doc 3 : Les dunes sableuses sont formées de sable désertique transporté par le vent.

L'accumulation des sables présente généralement des formes en croissant qui peuvent atteindre plusieurs mètres de haut.

Les deux pentes asymétriques d'une dune de sable indiquent la direction du vent : la pente la plus faible est celle qui est exposée au vent.



- Déterminer la direction dominante

du vent. Montrer l'importance de l'étude des caractères des sédiments des dunes désertiques.

Réponse : Sur une plage, on peut observer les roches d'un paysage géologique en voie de désagrégation, des fragments de roches de différentes tailles allant des blocs jusqu'aux grains de sable. Les roches au niveau de la plage subissent en permanence l'action des vagues et par fois l'action du vent. Ils se désagrègent en place, c'est ce qui permet d'observer des sédiments de différentes tailles (hétérogènes).

4- Caractères des sédiments sur une plage

Doc 4 : Au niveau de la plage, les sédiments subissent l'action des vagues et du vent ainsi que l'influence des marées (marées hautes et marées basses). Les sédiments sont hétérogènes, leur nature dépend essentiellement des apports détritiques et de la production biologique. La plage constitue une zone de rencontre entre la mer et la terre ferme.



● Dégager la diversité des sédiments déposés au niveau de la plage. Proposer une explication concernant l'hétérogénéité des sédiments dans ce milieu ?

Réponse : Sur une plage, on peut observer les roches d'un paysage géologique en voie de désagrégation, des fragments de roches de différentes tailles allant des blocs jusqu'aux grains de sable. Les roches au niveau de la plage subissent en permanence l'action des vagues et par fois l'action du vent. Ils se désagrègent en place, c'est ce qui permet d'observer des sédiments de différentes tailles (hétérogènes).

II- Les formes (= les figures) sédimentaires

Les figures sédimentaires représentent l'architecture précise du dépôt des sédiments. Elles sont des indicateurs du dynamisme de la sédimentation étant donné que les éléments sédimentaires s'organisent selon les agents de leur transport.

● Comment les figures sédimentaires permettent-elles de reconstituer les milieux sédimentaires ?

1- Rides (ripples)

Doc 4 : Les rides sont des formes de dépôt essentiellement développées en contexte sableux

On peut distinguer :

☒ Les **rides de courant** (Fig : 1) sont asymétriques. Elles sont engendrées par un courant unidirectionnel. En plan la direction du courant est perpendiculaire à l'orientation générale des lignes de crête.

☒ Les **rides d'oscillation** (ou rides de vagues) (Fig : 2) sont symétriques avec une crête relativement rectiligne entre de larges creux arrondis. Le courant est bidirectionnel et d'orientation perpendiculaire à la ligne de crête.

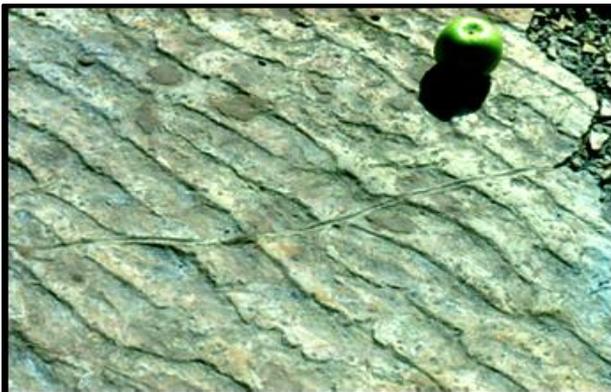


Fig 1: ride de courant



Fig 2: ride de vagues

L'étude des rides permet de déduire le dynamisme du milieu de sédimentation et le sens du paléocourant (Fig : 3) et (Fig : 4)

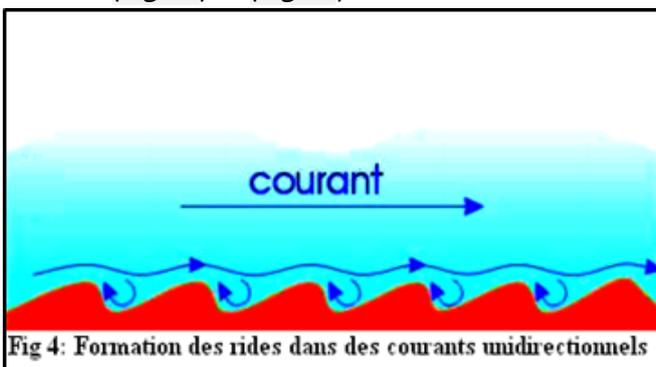


Fig 4: Formation des rides dans des courants unidirectionnels

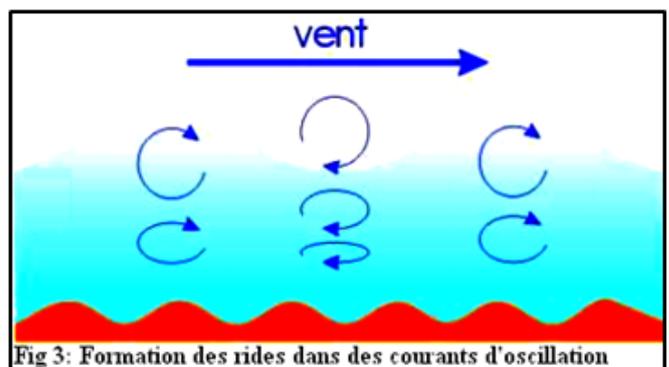


Fig 3: Formation des rides dans des courants d'oscillation

La migration latérale des dunes et des rides donne naissance à différents types de stratifications obliques.

- 1- En vous basant sur les **figures 1 et 2**, montrer les caractéristiques des rides sédimentaires fossiles observées ?
- 2- A partir des données des **figures 3 et 4**, expliquer la relation entre la direction des courants et les deux types de rides ?

Réponse :

1- Les rides de courant observées sont allongées et parallèles. Elles présentent une pente douce et une pente abrupte, elles sont donc asymétriques. En effet les rides, qui se forment par l'action des vagues, (en générale sur une gamme des sables fins) ont une coupe transversale typiquement symétrique,

2 - Lorsque le courant de transport est dans un seul sens (unidirectionnel), les éléments transportés se déposent surtout du côté du courant, il se forme alors des rides asymétriques (Fig : 4) Lorsque le courant de transport oscille dans deux sens opposés, (bidirectionnel), les éléments transportés se déposent de façon égale des deux côtés, il se forme alors des rides symétriques ou d'oscillation (Fig : 3).

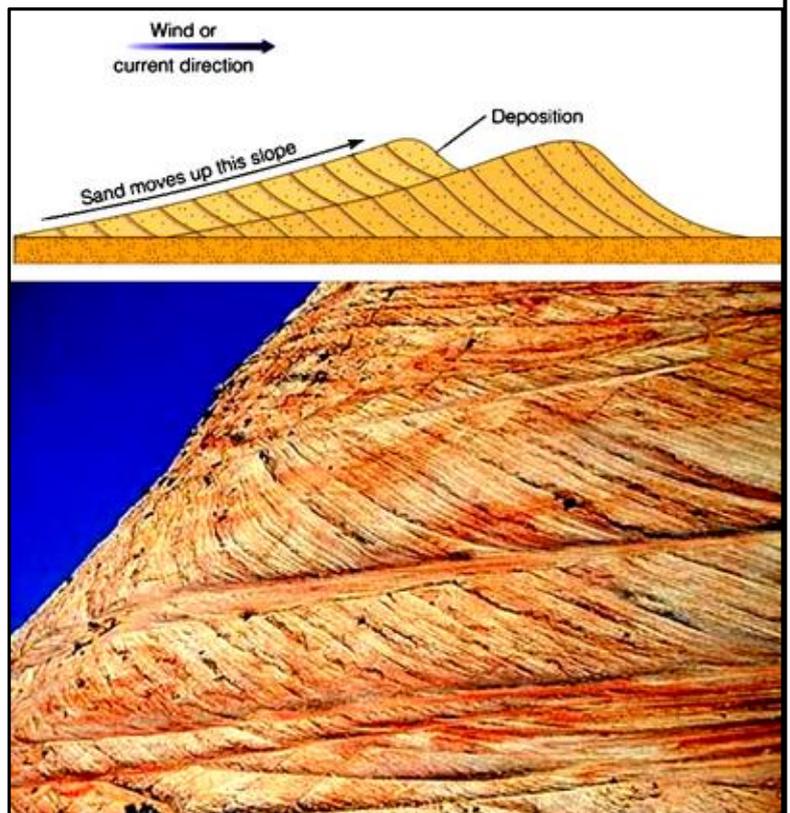
2- La stratifications oblique (cross-bedding)

Doc 5 : La stratifications oblique (entrecroisée) est le fait pour une formation sédimentaire

détritique, d'être composée de lits élémentaires disposés obliquement par rapport aux limites de la formation. Elle renseigne sur la variation de la direction du courant de transport.

Les lits présentent de fines couches obliques par rapport aux joints de stratifications.

● Quels renseignements tirer de la présence de stratification oblique dans des sédiments anciens présenté dans images ci-contre ?



Réponse :

Les stratifications obliques permettent de déterminer l'hydrodynamisme du milieu de sédimentation : direction et sens du courant, variations spatiales et temporelles -

3- Fentes de dessiccation (Mudcracks)

Doc 6 Une surface de sédiment boueux (eau et argile) qui se dessèche (dessiccation) se rétracte et se fend et forment des fentes de retrait qui dessinent des polygones de dessiccation. Ces figures caractérisent des milieux continentaux soumis à des variations saisonnières ou climatiques qui provoquent des assèchements de lacs, lagunes... (Fig 1 et 2)

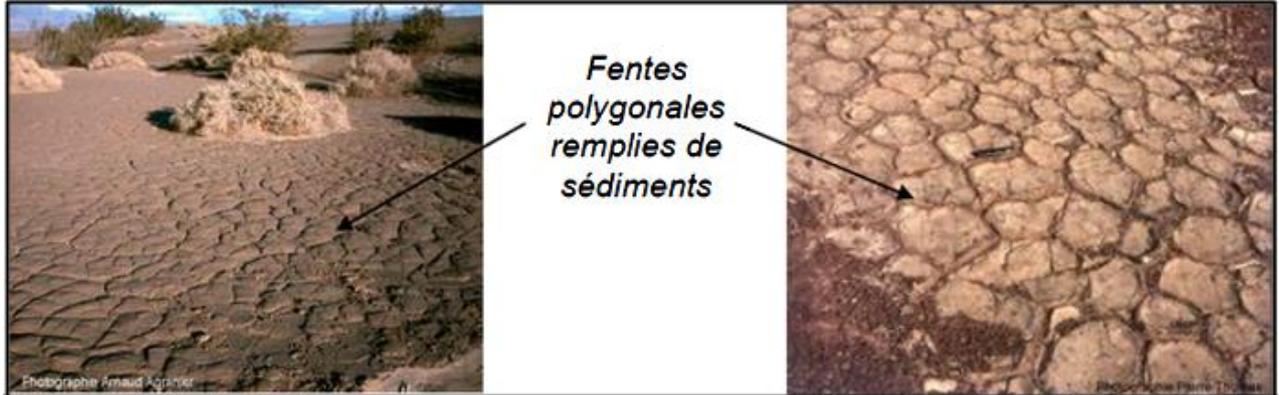


Fig 1 : Fentes de dessiccation actuelles

Fig 2 : Fentes de dessiccation fossiles

- Quelle information fournit la présence de fentes de dessiccation fossiles (Fig 2) ? - Proposer une explication plausible quant à la formation de ces figures sédimentaires ?

Réponse :

Les fentes de dessiccation actuelles sont des craquelures dues au dessèchement des sédiments par augmentation de la température du milieu. Les fentes de dessiccation fossiles témoignent donc des conditions climatiques du milieu de sédimentation ancien--

4- Les traces d'activités des êtres vivants

Doc 7 : Il s'agit de tous les vestiges, autres que les restes corporels laissés par des organismes vivant dans l'environnement étudié. Ceci comprend essentiellement les traces de déplacement (Fig 1) et d'habitat et les coprolithes Fig 2).



Fig1 : Traces de remobilisation laissées à la surface du sédiment

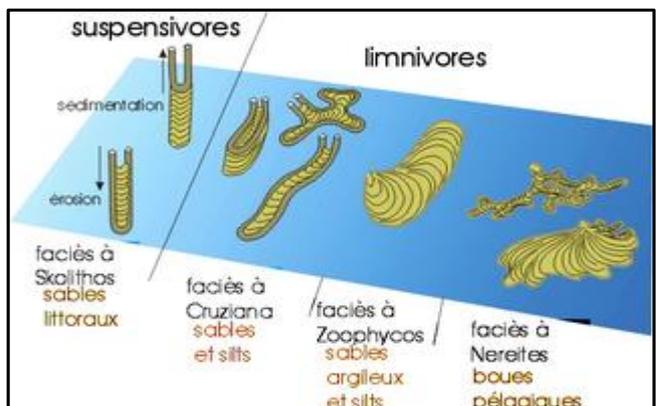


Fig 2 : Exemples de traces liées à l'activité des êtres vivants

- Quelle est l'importance des traces fossiles des activités des êtres vivants ?

Réponse :

Les rides Les traces fossiles des activités des êtres vivants permettent de déterminer la biocénose du milieu de sédimentation ancien et par la reconstitution paléogéographique de ce milieu.-

III- L'étude statistique des constituants des sédiments

L'étude statistique des constituants des sédiments fournit des renseignements sur le degré d'homogénéité et sur le classement des constituants d'un sédiment. Elle permet d'avoir une idée sur les modalités du transport des sédiments et sur leur milieu de sédimentation.

- ❖ Comment l'étude statistique des constituants d'un sédiment se fait-elle ?
- ❖ Comment peut-on exploiter l'étude statistique des constituants d'un sédiment ?

1- Les composants des sédiments détritiques

Doc 8 : Les éléments détritiques qui constituent les sédiments sont variables selon la nature, la taille et la forme. Leur classification se base surtout sur la taille (Fig :1)



Fig 1

Les géologues, ont divisés les constituants des sédiments détritiques selon leur diamètre et a élaboré une échelle de classification des sédiments (Fig 2).

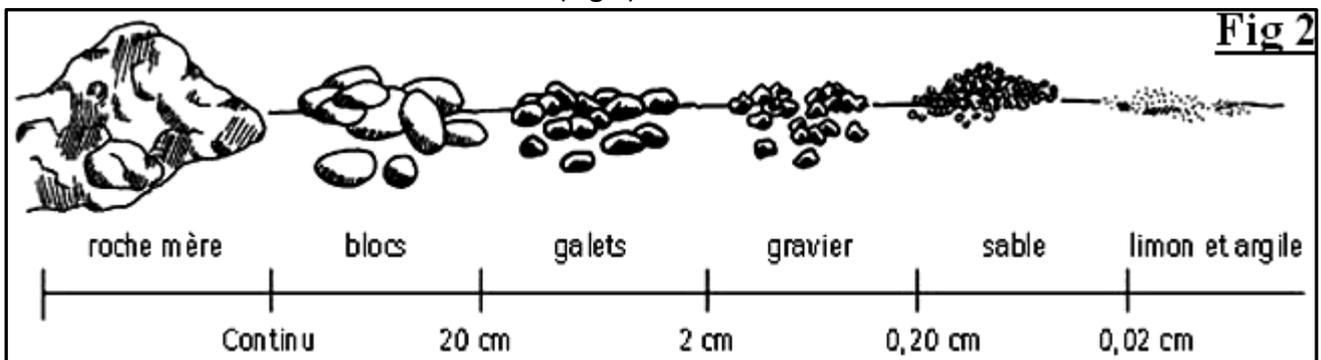


Fig 2

- 1- En vous basant sur les **figures 1 et 2**. Préciser sur quel critère on se base pour classer les constituants d'un sédiment ?
- 2- Citer les principaux constituants d'un sédiment

Réponse :

1 - On se base sur le diamètre des constituants d'un sédiment (la taille ou le calibre) pour les classer.

2 - Les principaux constituants d'un sédiment sont : Blocs, galets ou cailloux, gravillons, sables, limons et argiles.

2- Analyses granulométrique (statistiques)

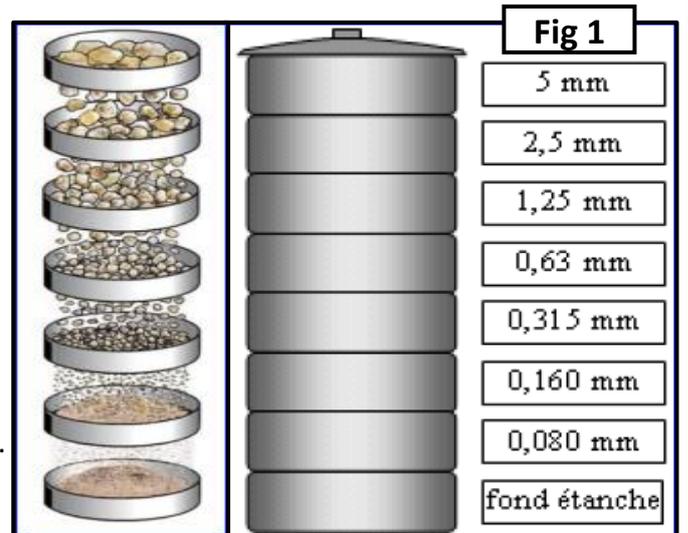
Les analyses granulométriques ont pour objectifs de mesurer la taille des particules élémentaires composant un échantillon (sables, ...) et de définir la fréquence statistique des différentes tailles de grains dans le sédiment. Elles nous permettent de préciser les conditions dynamiques du dépôt et l'environnement dans lequel la sédimentation a eu lieu. La méthode de l'analyse granulométrique dépend de la nature des grains et de leur taille. La technique de tamisage est souvent utilisée pour les sables.

2-1-Principe de l'essai analyse granulométrique

Doc 9 : L'essai consiste à classer les différents grains constituant l'échantillon en utilisant une série des tamis, emboîtés les uns sur les autres (selon la norme AFNOR (**Figure 1**), dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. Le matériau étudié est placé en partie supérieure des tamis et le classement des grains s'obtient par vibration de la colonne de tamis.

On appelle :

- REFUS sur un tamis : la quantité de sable qui est retenue sur le tamis.
- TAMISAT (ou passant) : la quantité de sable qui passe à travers le tamis



2-2 manipulation (Doc 10)

Etape 1 : tamisage et calcul des % de refus et de refus cumulés sur un tableau :

- On dispose un échantillon d'un sidemen détritique (sable) sur un tamis, de 1/16mm de diamètre.
- On effectue un lavage de l'eau courante.
- On traite l'échantillon de sable avec du HCL, (Attention : HCl produit nocif) puis avec de l'eau oxygénée.
- Après séchage, on dispose 100g de sable sur le tamis supérieur. et on agit l'ensemble des tamis pendant 15 minutes ; et puis, on effectue les opérations suivantes :
- Peser le refus du tamis ayant la plus grande maille : soit R1 la masse de ce refus.

- Poursuivre la même opération avec tous les tamis de la colonne pour obtenir les masses des différents refus cumulés ...
- Les masses des différents refus cumulés R_i sont rapportées à la masse totale de l'échantillon m_1 .
- Les pourcentages de refus et de refus cumulés pour chaque tamis seront déduits. (Tableau 1)

Ouverture des mailles	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
Classe Granulométrique	>2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,125	<0,063
% Refus	a	b	c	d	e	f
% Refus Cumulé	a	a+b	a+b+c	a+b+c+d	a+b+c+d+e	100%

Etape2 : représentation des résultats

Courbe de fréquence

Il suffit de porter les divers pourcentages des tamisâtes cumulés sur une feuille semi-logarithmique :

- en abscisse : les dimensions des mailles sur une échelle logarithmique
- en ordonnée : les pourcentages sur une échelle arithmétique.

- Tracer l'histogramme et la courbe de fréquence (Fig 1)

- Interprétation des résultats

Courbe cumulative (une autre manière pour représenter les résultats)

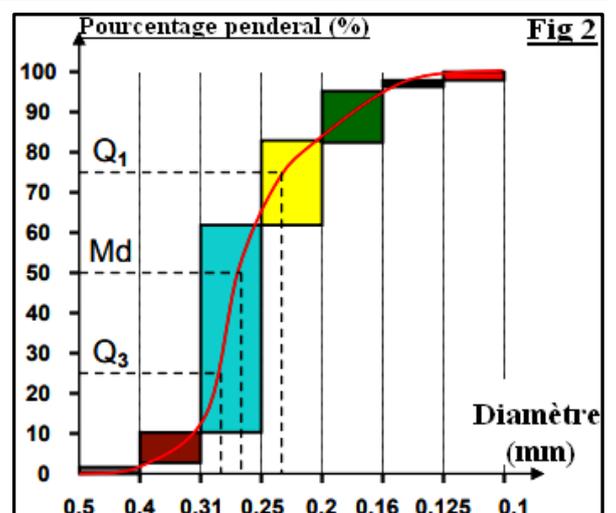
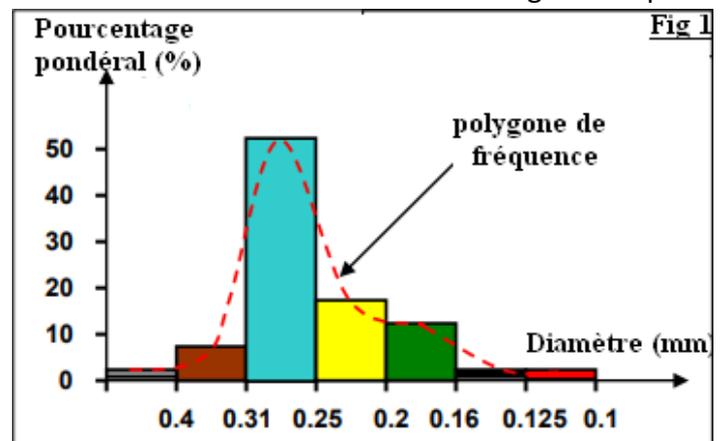
- Tracer la courbe cumulative, avec la représentation des quartiles (Fig 2):

- Q_1 : le diamètre convenable pour 75% des grains.

- Q_3 : le diamètre convenable pour 25% des grains.

- Calculer l'indice de Trask $S_0 = \sqrt{Q_3/Q_1}$ (Indice de classement S_0) ?

L'indice S_0 permet d'apprécier le degré de classement d'un sédiment :



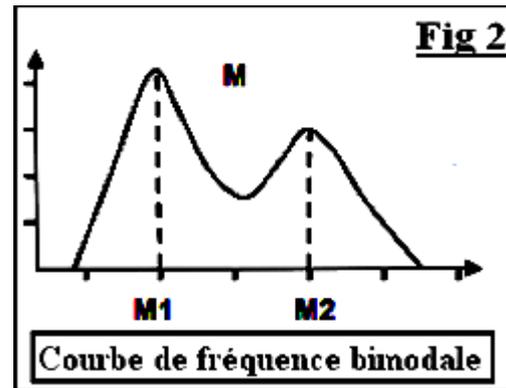
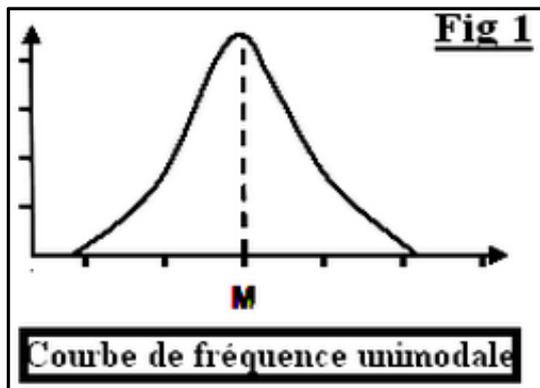
Valeur de l'indice S_0	Degré de classement
$S_0 < 1.23$	Très bon
$1.23 < S_0 < 1.41$	Bon
$1.41 < S_0 < 1.74$	Moyen
$1.74 < S_0 < 2$	Mauvais
$2 < S_0$	Très mauvais



Etape 3 : Analyse de la courbe de fréquence et de la courbe cumulée

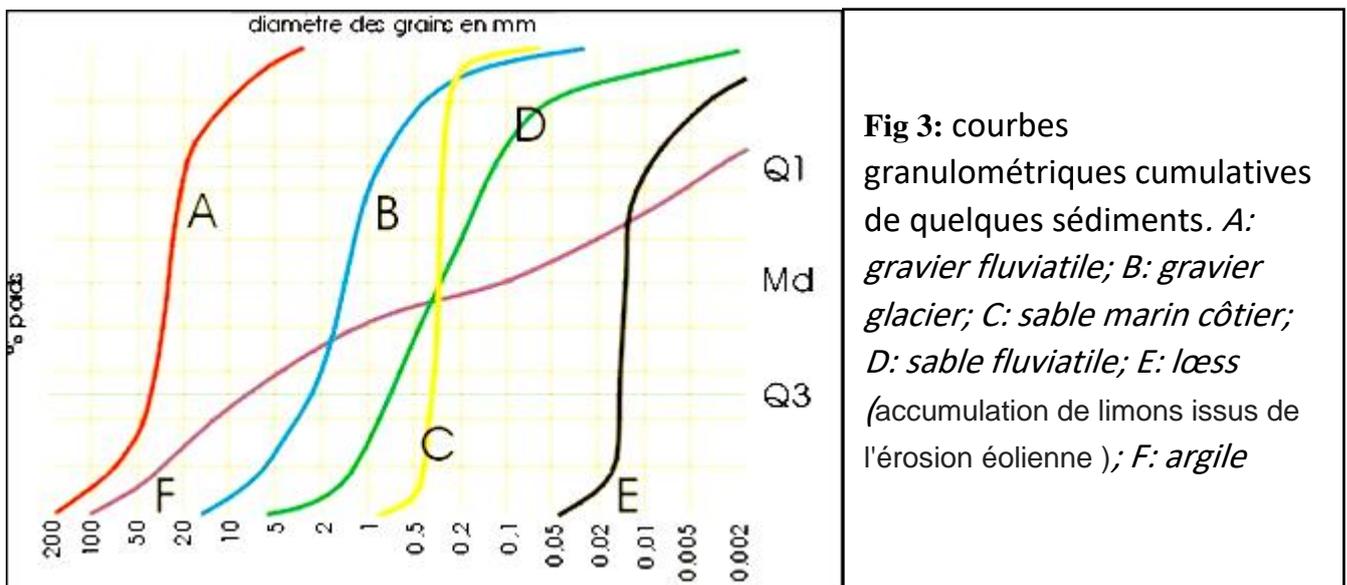
□ La courbe de fréquence :

- Si la courbe de fréquence est unimodale (Fig 1), le sable étudié (fin ou grossier) est homogène, il est bien classé ; ce sable a une origine uniquement éolienne ou côtière.
- Si la courbe de fréquence est plurimodale (Fig 2) (polygone étalé), le sable est hétérogène il est mal classé ; sable d'origine fluviatile ou sable homogène contaminé par un autre type de sable.
- Déduire le milieu de sédimentation du sable par comparaison de la courbe de fréquence réalisée avec des courbes de fréquence caractéristiques des milieux de sédimentation actuelle connue.



□ La courbe de cumulative : Fig 3

- Déduire le degré du granoclassement des grains de sable :
- Déduire le milieu de sédimentation du sable par comparaison de la courbe cumulative réalisée avec des courbes cumulatives caractéristiques des milieux de sédimentation actuelle connue.



Etude d'exemple: (Doc 11)

Le tamisage des échantillons de sable a donné les résultats indiqués dans le tableau suivant.

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	...
1.60 - 1.25	0	0	0	...	4	...
1.25 - 1	0	0	0	...	9	...
1 - 0.80	0	0	0	...	11.4	...
0.80 - 0.63	1.5	1.5	0	...	5	...
0.63 - 0.50	4	5.5	0	...	4.5	...
0.50 - 0.40	9	14.5	0	...	8	...
0.40 - 0.315	10	24.5	1	...	9.3	...
0.315 - 0.250	9	33.5	5.5	...	11.4	...
0.250 - 0.200	9.5	43	12	...	14	...
0.200 - 0.160	11	54	41.5	...	10	...
0.160 - 0.125	15.5	69.5	25	...	7	...
0.125 - 0.100	15	84.5	10.3	...	4.5	...
0.100 - 0.080	9	93.5	3	...	1.5	...
0.080 - 0.063	5	98.5	1	...	1.4	...
0.063 - 0.050	1	99.5	0.5	...	0	...
0.050 - 0.040	0	99.5	0	...	0	...
Cumulus		99.5	

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

2- Tracer le polygone de fréquence sur l'histogramme de fréquence du sable A.

3- Tracer, sur papier millimétré, l'histogramme et le polygone de fréquence des sables des localités B et C.

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

5- Tracer, sur papier millimétré, la courbe cumulative du sable des localités B et C.

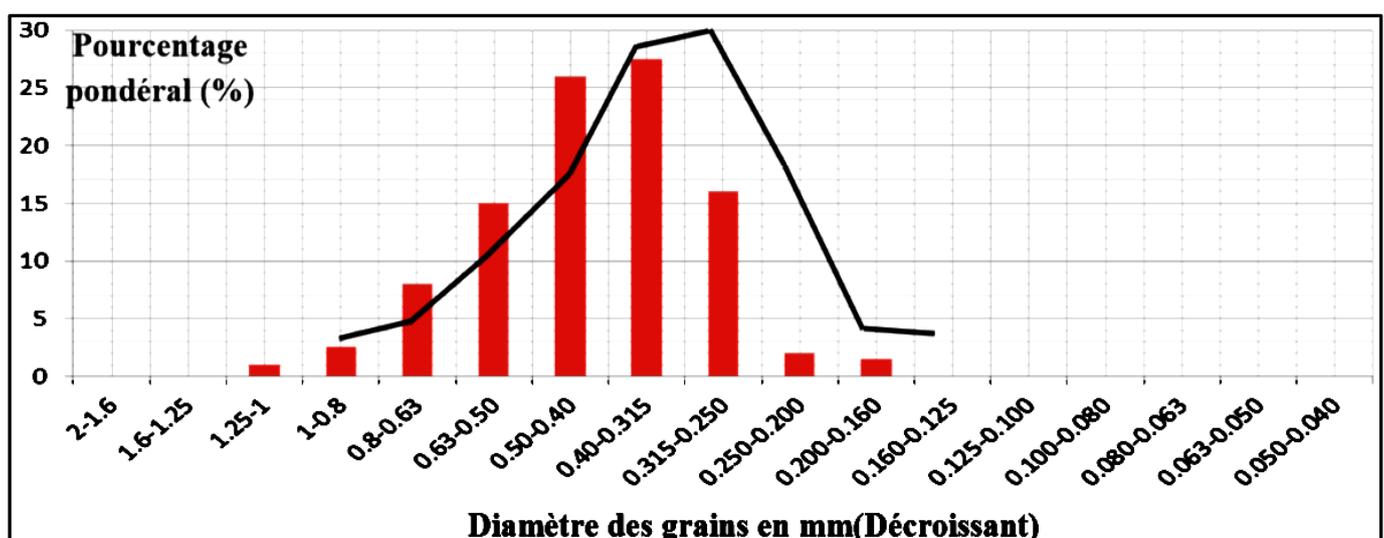
6 Déterminer Q3 et Q1 de chacun des sables A, B et C, puis calculer l'indice du Trask S0 et déduire le classement de chaque sable.

Réponse :

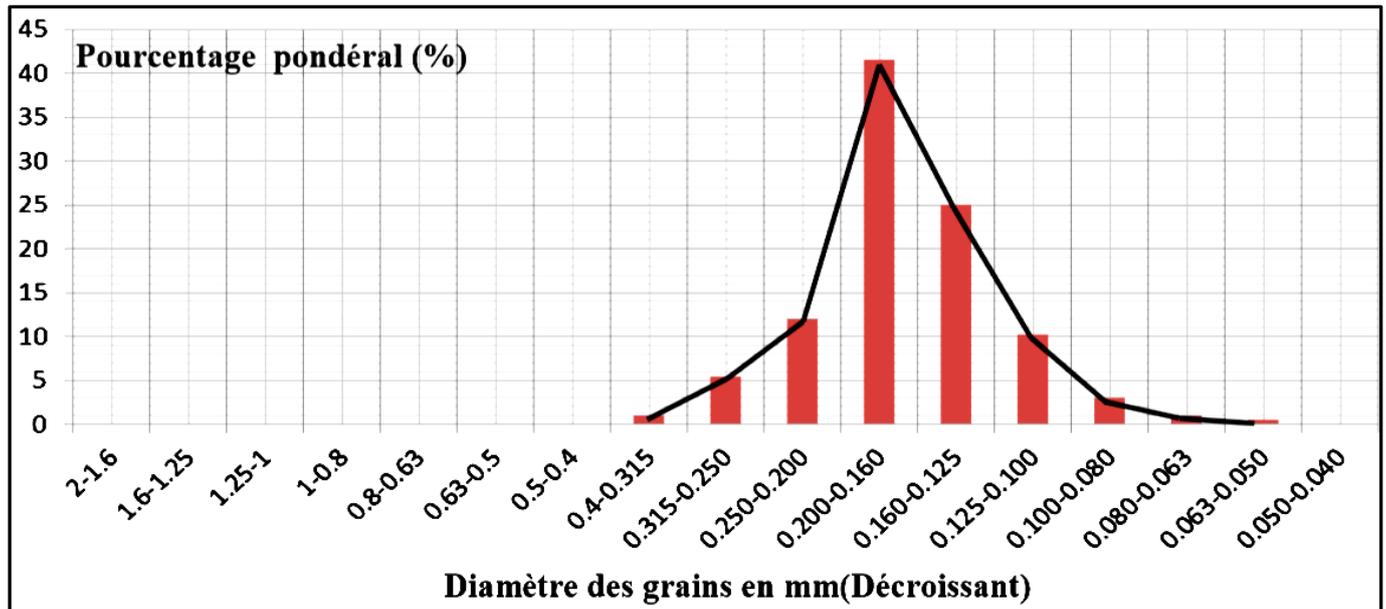
Le tableau

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
Cumulus		99.5		99.8		99.6

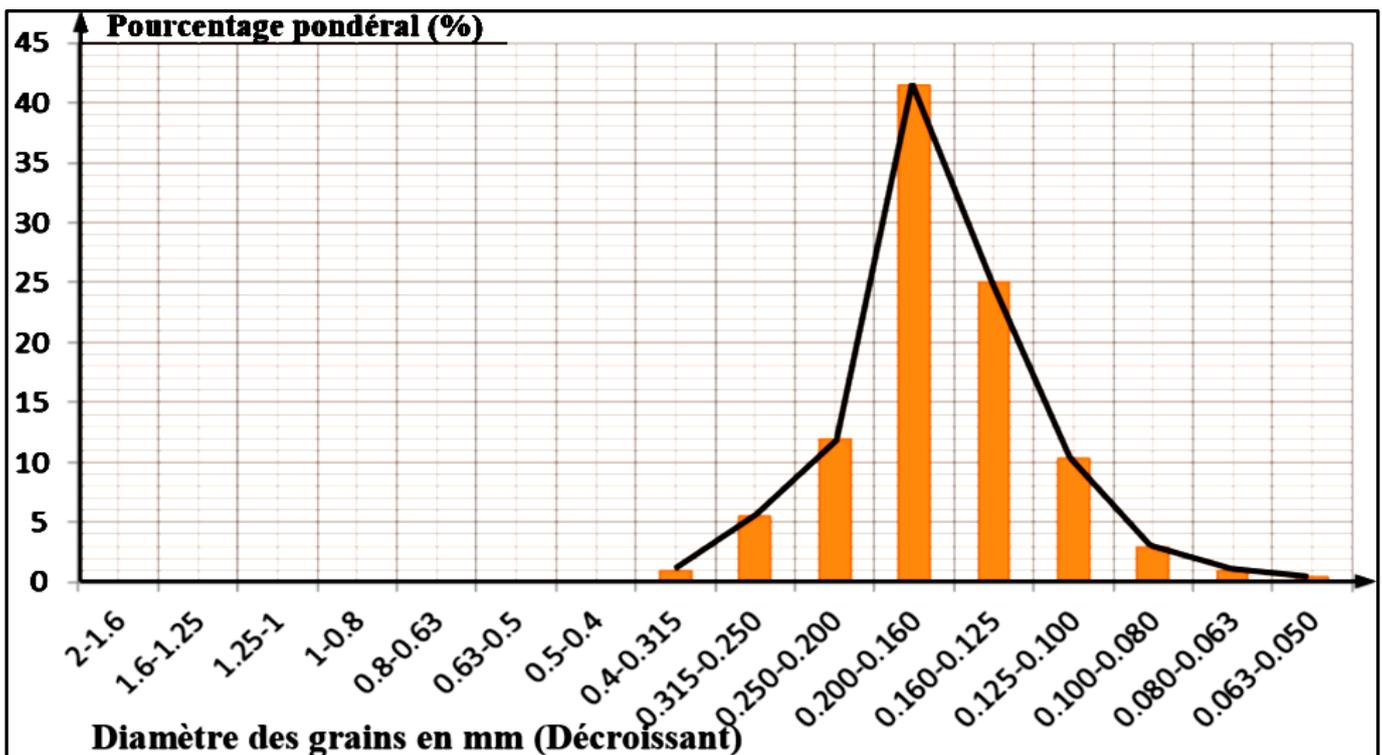
2 - le polygone de fréquence sur l'histogramme de fréquence de la localités A



3- ○ l'histogramme et le polygone de fréquence de la localités B



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



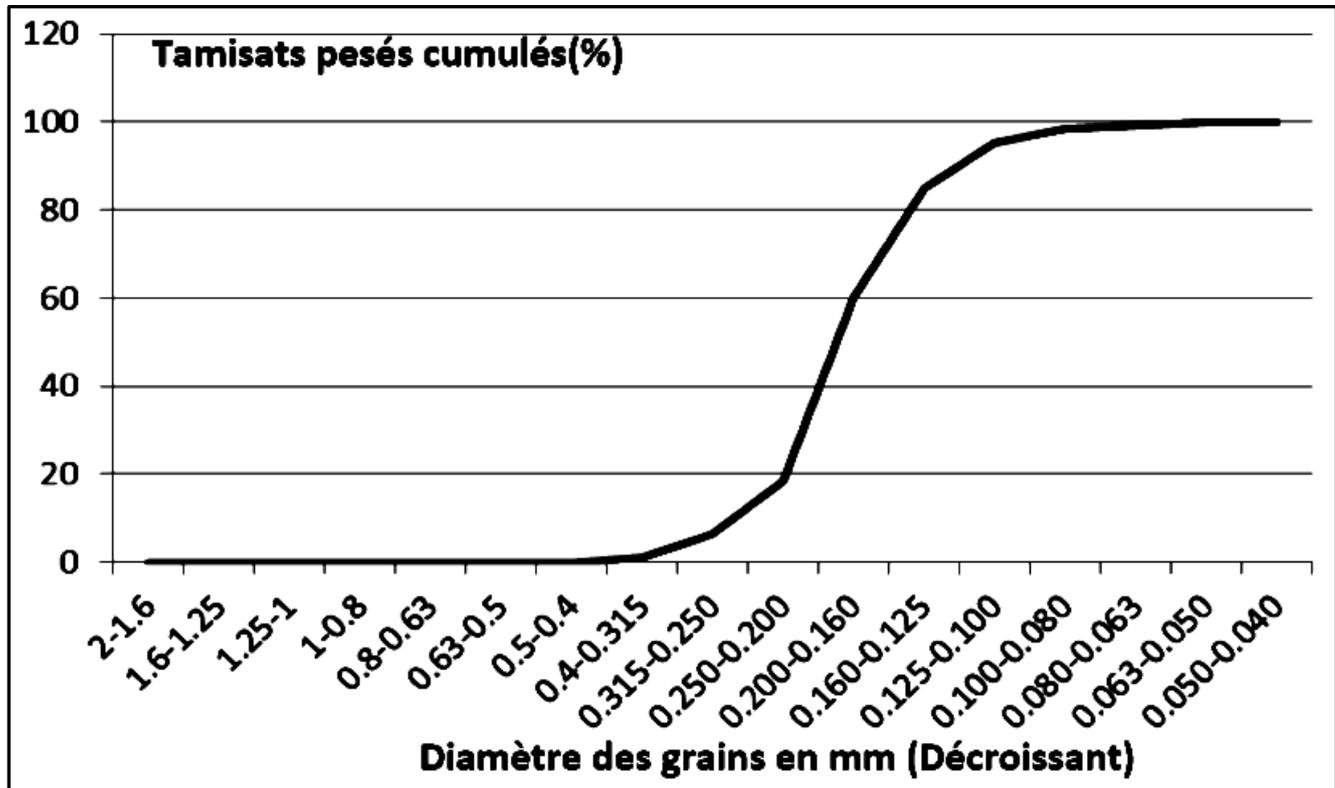
4- Analyser chaque polygone et conclusion

Localité A : polygone de fréquence unimodal et se concentre dans les grains de petit calibre. C'est un sable fin homogène.

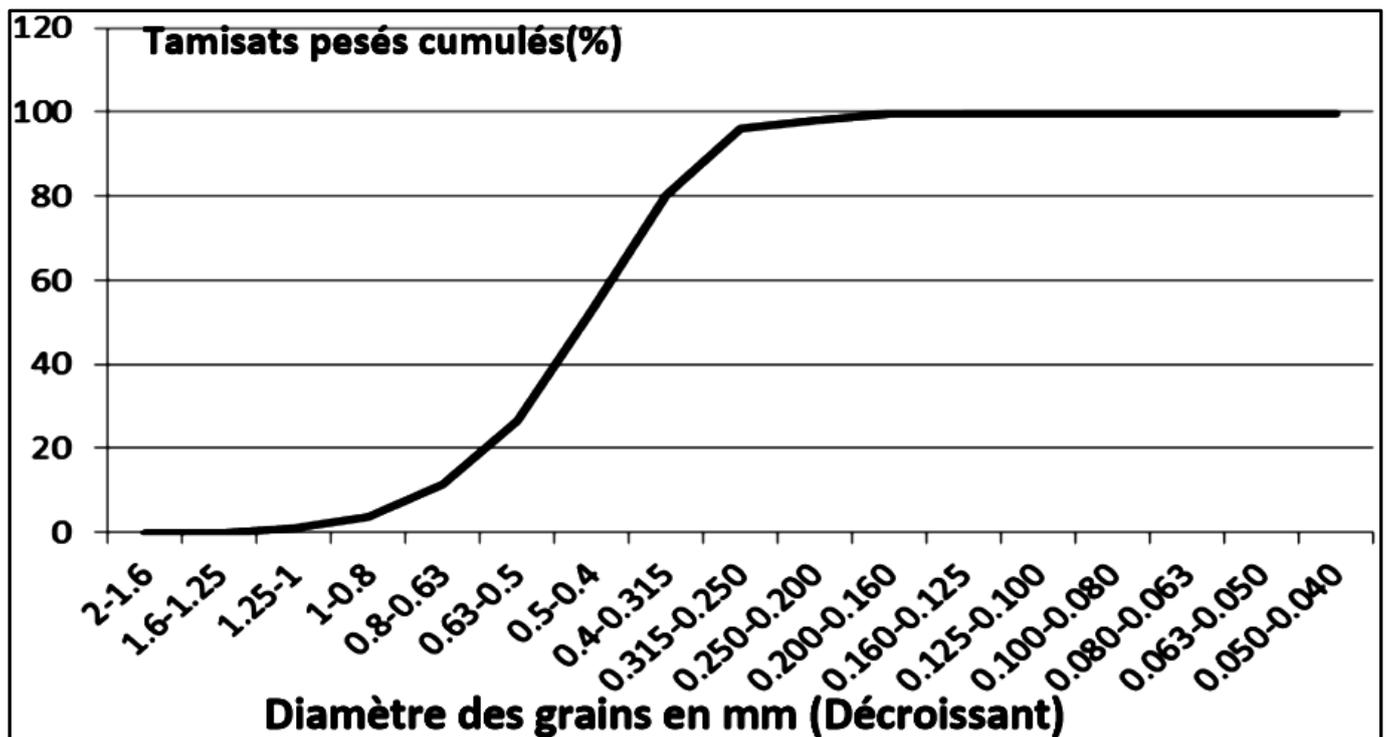
Localité B : polygone de fréquence unimodal et se concentre dans les grains de petit calibre. C'est un fin sable homogène.

Localité C : polygone de fréquence unimodal et se concentre dans les grains de moyen calibre. C'est un sable de taille moyenne et homogène.

5- ○ La courbe cumulative de sable de la localité B



○ La courbe cumulative de sable de la localité C.



6- Détermination de Q_3 et Q_1 de chacun des sables A, B et C,

- Sable A: $Q_1 = 0.125$; $Q_3 = 0.357$
- Sable B: $Q_1 = 0.151$; $Q_3 = 0.206$;
- Sable C: $Q_1 = 0.378$; $Q_3 = 0.532$;

Calcul de S_0 : $S_0 = \sqrt{Q_3/Q_1}$

□ Sable A: $S_0 = \sqrt{\frac{0.357}{0.125}} = 1.689$

□ Sable B: $S_0 = \sqrt{\frac{0.206}{0.151}} = 1.167$

□ Sable C : $S_0 = \sqrt{\frac{0.532}{0.378}} = 1.18$

La déduire le classement de chaque sable.

On se basant sur le tableau de l'indice de classement des sables

On trouve que :

Sable A: $S_0 = 1.689$; donc $1.41 < S_0 \leq 1.74$ alors ce sable est moyennement classé ;

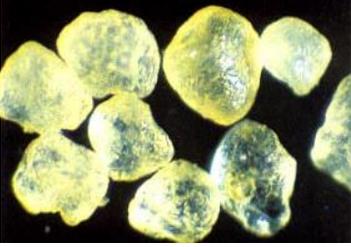
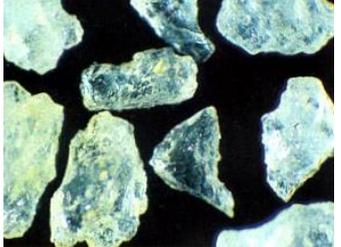
Sable B: $S_0 = 1.167$; $S_0 < 1.23$ donc ce sable est très bien classé

Sable C: $S_0 = 1.18$; $S_0 < 1.23$ donc ce sable est très bien classé

IV- L'étude morphoscopique des constituants des sédiments

Le quartz est l'élément solide le plus abondant dans les roches détritiques et le sable en particulier. Il est le plus dur que le calcaire, moins dur mais moins cassable que le silex. Ainsi le quartz, étant plus résistant à l'érosion, constitue le meilleur témoin des facteurs qui ont accompagné la formation du sédiment.

Doc 12 : Le tableau suivant présente les caractéristiques des principales catégories de grain de quartz

Types de grains	Emoussés luisants (E.L.)	Ronds mats (R.M)	Non usés (N.U)
Aspect morphoscopique	Grains transparents, luisants et très arrondis 	Grains arrondis dont la surface ressemble à du verre dépoli. 	Grains transparents anguleux, aux arêtes tranchantes, 
Schématisation			

1- L'étude morphoscopique des grains de quartz d'un sable

1-1 Manipulation

Doc 13: Manipulation

➔ Lavage d'un échantillon de sable avec de l'eau courante, puis avec une solution de HCl diluée, et en fin avec de l'eau oxygénée.

➔ Séchage à l'étuve de 100 grains environ et observation de la morphologie sous la loupe binoculaire ;

➔ Comptage et classement des grains, qui sont répartis en trois grandes catégories.

- Grains à angles très marqués (arêtes tranchantes) non usés ou N.U.
- Grains à angles émoussés et à éclat gras et luisants ou E.L.
- Grains ronds à surface piquetée d'aspect mat ou R.M.

➔ Transformer ce dénombrement en pourcentage des N.U., E.L. et R.M.

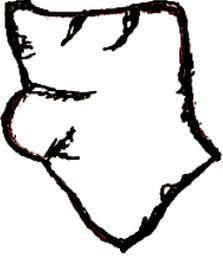
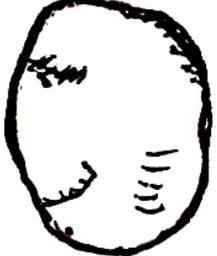
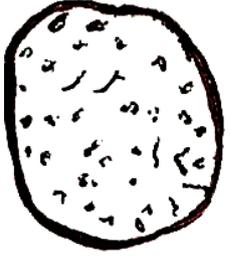
1- Réaliser la manipulation de l'étude morphoscopique des grains de quartz des échantillons de sables différents pris dans votre environnement

2- Schématiser et décrire les grains de quartz de chaque échantillon ? Dégager le mode de transport



Réponses

Schématisation et descriptions des 3 principales catégories des grains de sable

Graines	Grains à angles très marqués : grains non usés ; N.U. (G×40)	Grains à angles émoussés et à éclat gras et luisants ; E.L. (G×40)	Grains ronds à surface piquetée d'aspect mat ; R.M. (G×40)
Schématisation			
Description	Grains à angles très marqués, appelés grains non usés ; N.U. : grains transparents anguleux, aux arêtes tranchantes,	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
Modalité et dynamisme du transport.	Sable ayant subi un transport de faible distance.	Sable ayant subi un long transport par l'eau	Sable ayant subi un long transport par le vent : transport éolien

1-2 Exercice ; (Doc 14)

L'étude statistique des grains de quartz de 3 échantillons de sable extrait de 3 couches distinctes a donné les résultats présentés dans le tableau ci-contre :

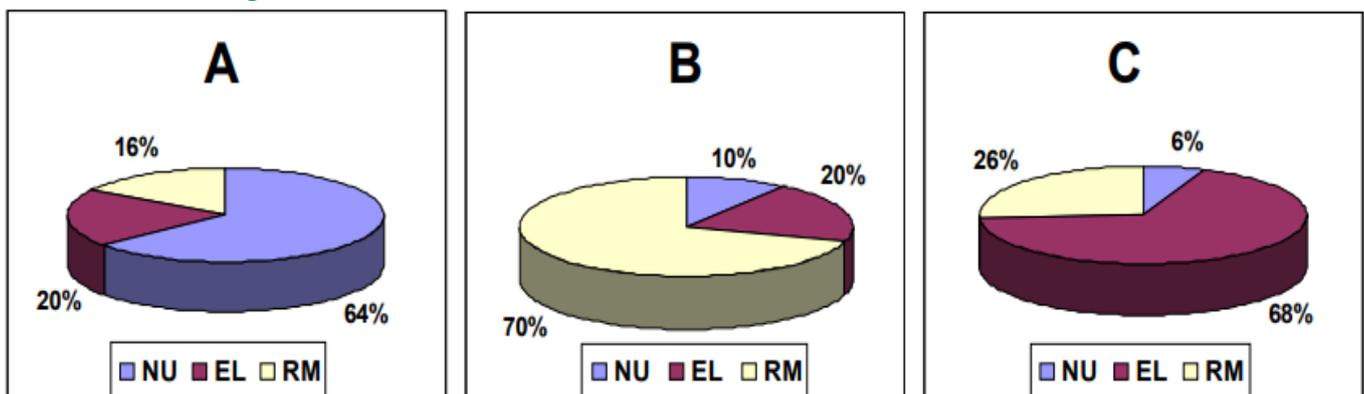
C	B	A	Qz
6 %	10 %	64 %	NU
68 %	20 %	20 %	EL
26 %	70 %	16 %	RM

1- transformer ces résultats en un histogramme circulaire.

2- Analysez les résultats obtenus Que déduisez-vous

Réponses

1- les histogrammes circulaires de 3 échantillons de sable



2- ● Sable A: La majorité des grains sont de type grains non usés = N.U. (64%) ; De ce fait ce sable subi un transport de faible distance (par eau ou par glace). Et puisque le % des grains EL est de 20% on peut déduire que ce sable est d'origine fluvial.

● Sable B : La majorité des grains ont une morphologie générale sub-sphérique. (RM) donc

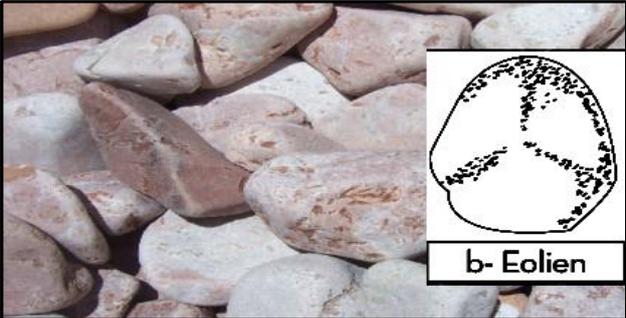
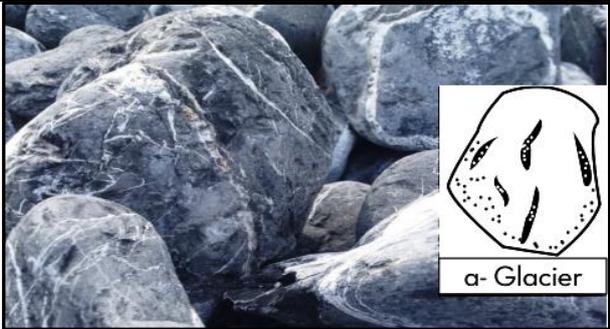
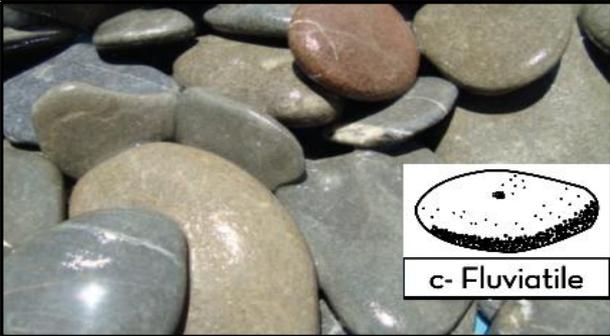
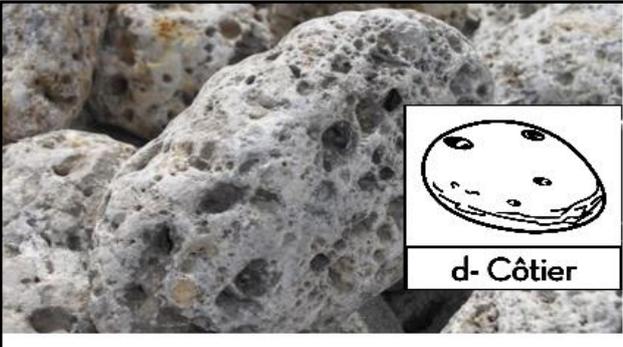
Ils sont caractéristiques d'une évolution en milieu éolien (essentiellement trouvés sur les dunes littorales et dans les déserts

● Sable C : La majorité des grains sont de type grains émoussés luisants = E.L. (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

2- Etude morphoscopique des galets

Les galets sont des produits d'érosion qui sont transportés par différents agents (eau, vent et glace), leur étude morphoscopique portant sur leur degré d'arrondi et leur aspect, reflète leur histoire de trajet.

Doc 15 : Le tableau suivant représente les principales caractéristiques morphologiques des galets et le mode de transport qui a subi chaque type de galet

Aspect	Caractéristique
 <p>b- Eolien</p>	<p>Anguleux avec plusieurs facettes, possède des surfaces gravées et des arêtes finement émoussées</p>
 <p>a- Glacier</p>	<p>Très émoussé, avec stries glaciaires qui résultent du frottement lors de l'éboulement.</p>
 <p>c- Fluviale</p>	<p>Forme circulaire, bien arrondie et aplatie, avec des arêtes arrondies et une surface lisse, polie et rarement striée.</p>
 <p>d- Côtier</p>	<p>Plus ou moins sphérique, aplati, émoussé et porte des traces de choc et des pores dues aux vagues et à la salinité de l'eau.</p>

- Établir la relation entre l'aspect et la morphologie des galets et leur dynamique de transport, et déduire le milieu de dépôt.

Éléments de réponse

- Galet fluviatile : forme bien arrondi, arêtes arrondies et à surface grumeleuse rarement striée. Le degré d'émoussement témoigne de l'intensité, la durée et la distance du transport par l'eau des fleuves ou des rivières.
- Galet côtier (éolien) Galet : 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 désertique : présente plusieurs facettes, anguleux et à arêtes émoussées.
- 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.

V- Dynamique de transport des éléments sédimentaires

1- Dynamique d'un cours d'eau

Une fois détachés, les éléments détritiques sont déplacés par des agents de transport (glacier, vent, eau)?

La gravité joue un rôle primordial dans cette dynamique. Plus la vitesse du courant est grande, plus sa capacité de transport est élevée, Lorsque le débit ralentit, les sédiments s'immobilisent et s'accumulent.

- ◆ Quels sont les Facteurs intervenant dans la dynamique de transport des particules ?
- ◆ Quels sont les différents modes de transport des particules détritiques ?

Doc 16 : Selon leur énergie, les fleuves et rivières peuvent transporter une charge de fond (graviers, galets) plus ou moins importante, pour expliquer ce phénomène on procède à l'expérience suivante.

- On Place un mélange d'arène granitique (500 g de sable + 500 g de graviers + 500 g de galets) sur deux gouttières de toit en matière synthétique qui représentent un cours d'eau.
- On Incline une gouttière avec un support de 30 cm de hauteur et l'autre avec un support de 50 cm de hauteur.

- On place un bac en aval sous chacune des gouttières simulant le bassin de sédimentation.
- On Verse délicatement 200 ml d'eau en amont de chacune des gouttières

	h=30 cm	h=50 cm
Sable	344 g	484 g
Graviers	28 g	185 g
Galets	0 g	46 g
Total	372 g	705 g

Inventaire des produits réaccueillis dans le bac de récupération après 4 minutes



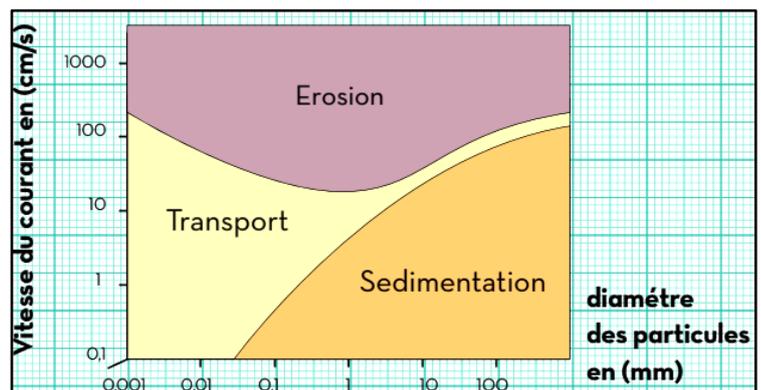
◆ **Commenter le tableau et proposer une explication tenant compte de la force du courant et de la taille des matériaux transportés**

D'après les résultats observés dans le tableau, on constate que :

- Plus la hauteur du support de la gouttière augmente, plus la masse des sédiments recueillis dans le bac est grande.
- Plus la hauteur du support augmente, plus la taille et de diamètre des sédiments recueillis augmentent.
- On explique ses observations par le fait que l'augmentation de la hauteur du support implique une forte augmentation de la vitesse du courant d'eau, ce qui induit le transport d'une masse plus importante des sédiments et même le transport des éléments solides de plus grande taille.

2- La relation entre la vitesse du courant et la granulométrie (Diagramme de Hjulström)

Doc 17 : Le diagramme de Hjulström illustre le comportement des particules en fonction de leur taille et de la vitesse du courant. Ce diagramme a été basé sur des expériences en laboratoire afin de déterminer la vitesse minimale d'un courant nécessaire pour mobiliser, transporter et déposer des grains (aussi connue comme vitesse critique de mise en mouvement)



1- Analyser le diagramme de Hjulström et **déterminer** les facteurs influençant le comportement d'une particule sédimentaire dans un milieu.

- 2- Avec une vitesse de 10 cm/s, à partir de quelle taille les particules détritiques subissent une sédimentation.
- 3- **Déterminer** la vitesse minimale permettant l'érosion d'une particule de 0.01 de diamètre.

Éléments de réponse :

1- D'après le diagramme de Hjulström, on remarque qu'un élément sédimentaire sur la surface de la terre peut adopter 3 types de

comportements différents. Il est soit arraché ou érodé (érosion), soit transporté, soit sédimenté. Les facteurs qui conditionnent ce comportement sont :

- La vitesse du courant de transport (eau ou vent)
 - La taille ou le diamètre des particules
- 2- à partir de la taille 1 mm
3- La vitesse = 65 cm/s

VI- Les principaux milieux de sédimentation actuels

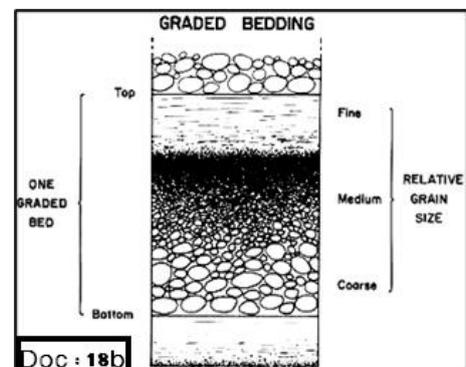
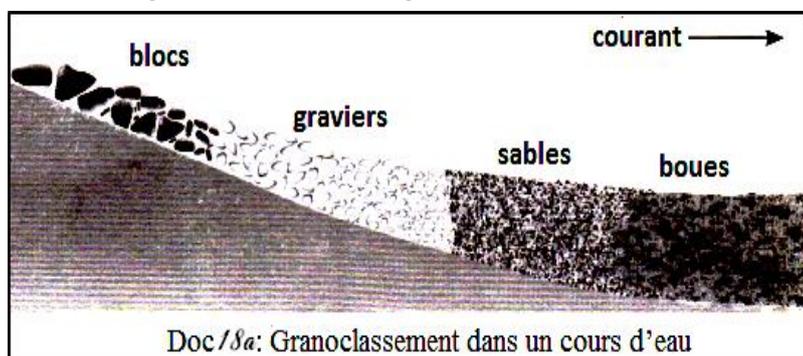
1- Les conditions de sédimentation dans les milieux continentaux

Une fois érodés, les éléments arrachés à la roche sont, en général, transportés par les courants d'eau ou de vent pour être déposés par la suite dans des cours d'eaux, dans un milieu glacier, la cüste ou saharien quand les conditions de sédimentation sont atteintes.

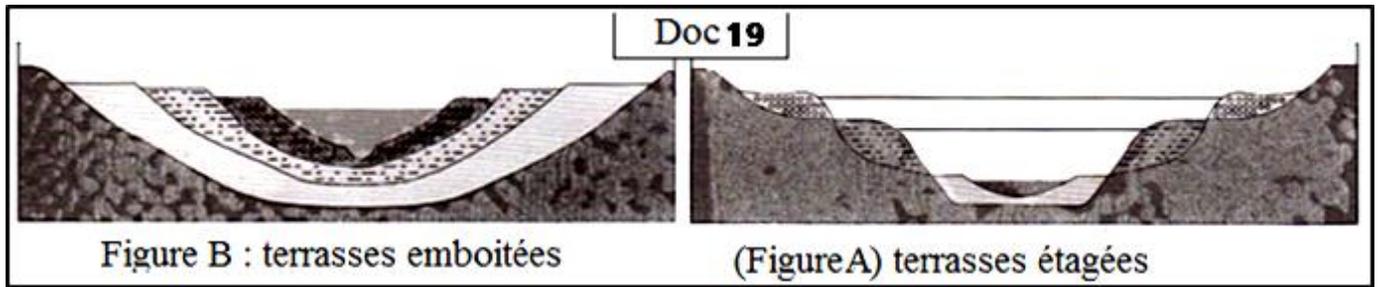
- Quelles sont les conditions de sédimentation dans les différents milieux continentaux ?

1-1- Les structures sédimentaires du cours d'eau : méandres et les terrasses fluviales

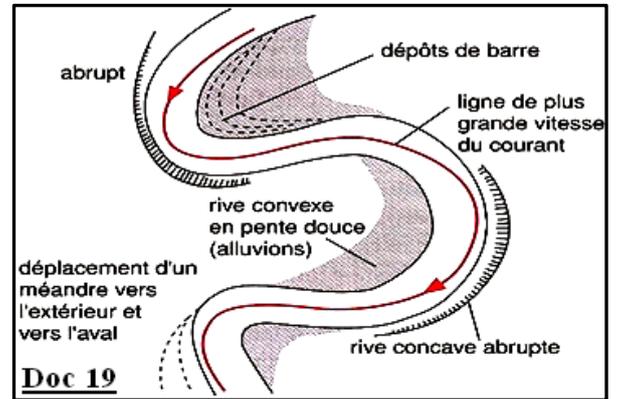
□ Le long d'une rivière, on assiste à 2 types de granoclassement (classement selon la taille des grains) des sédiments, l'un horizontal (Doc 18 a :), l'autre vertical (graded bedding) (Doc 18 b :),



□ 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 (figure A / Doc19). Dans le cas inverse on parle de terrasses emboîtées (figure B / Doc19).



□ 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.



1-2-Conditions de sédimentation dans les milieux désertiques

Doc 20 : Dans Les milieux désertiques, la vitesse du vent, la qualité de sable transportée ainsi que la présence de certains obstacles sont des facteurs qui interviennent dans la formation des accumulations sableuses comme les rides et les dunes. La barkhane est une dune vive, isolée, typique en forme de croissant à convexité tournée vers le vent et a concavité sous le vent, les deux branches du croissant s'allongent dans la direction du vent car elles avancent plus vite que le centre de la dune.



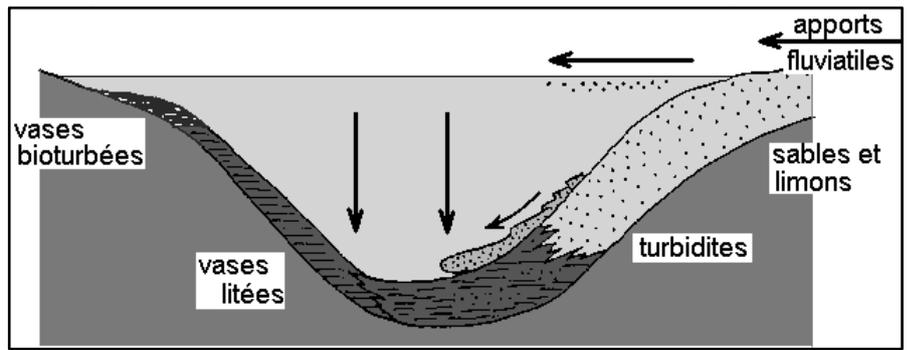
◆ Remplir le tableau suivant ; On se basant sur le document 20 ?

Caractéristiques du milieu	Conditions de sédimentation	Caractéristiques des sédiments
Milieu aride souvent à vaste superficie, faible pluviométrie, forte chaleur, flore rare et faune typiquement adaptée.	Dépôts éoliens de sable, sous forme de dunes à forme et taille différentes selon la dynamique du courant éolien, c'est à dire la vitesse et le sens du courant du vent	Sable bien classé et bien trié. Grains de quartz Ronds mats. Galets à plusieurs facettes.

1-3-Conditions de sédimentation dans un milieu lacustre

Doc 21 : Un lac est un corps d'eau permanent enclavé dans le continent et généralement constitué d'eau douce. Les caractères des lacs varient en fonction du climat, de l'apport des rivières, de l'environnement, géologique, de la végétation sur les berges et de l'activité biologique dans le lac.

Les matériaux apportés par les rivières se déposent dans un lac selon une zonation concentrique assez théorique qui dépend de l'hydrodynamisme : galets le long des rives, sables dans les zones périphériques soumises à l'action des vagues, vases dans le centre plus calme. Dans les parties profondes du lac, se déposent des turbidités contenant des éléments grossiers.



◆ Remplir le tableau suivant ; On se basant sur le document 21 ?

Caractéristiques du milieu	Conditions de sédimentation	Caractéristiques des sédiments
Un Corps d'eau douce permanent enclavé alimenté par le pluviomètre, la fonte des neiges et les rivières, Flore et faune abondantes	<ul style="list-style-type: none"> ◆ L'action des vagues ◆ La profondeur du lac ◆ L'apport des rivières ◆ Le climat qui change selon les saisons ◆ L'activité biologique 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Galets le long des rives ◆ Sables dans la périphérie ◆ Vases dans le centre ◆ Turbidités dans les profondeurs du lac.

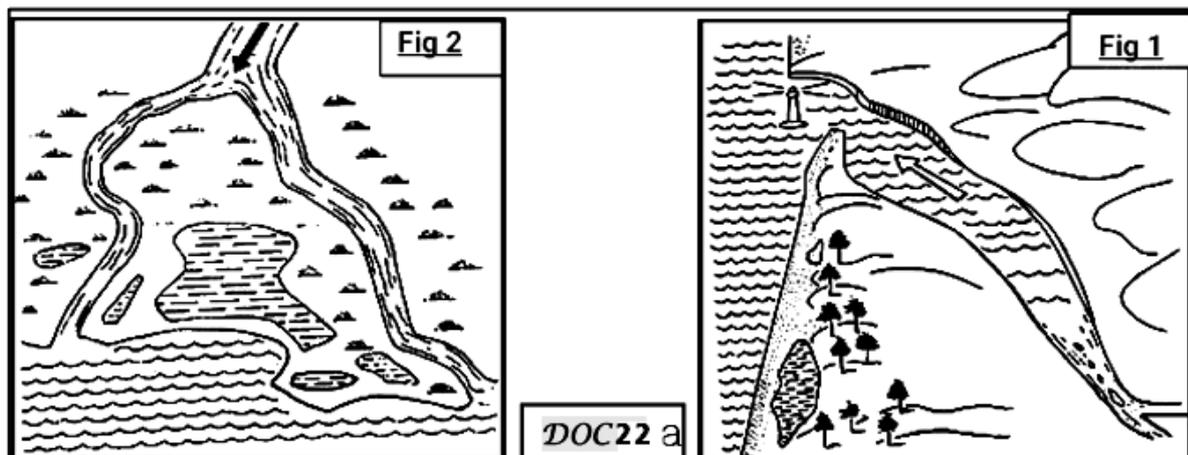
2- Les conditions de sédimentation dans les milieux intermédiaires

À l'embouchure de la rivière au contact du milieu marin naissent des conditions de sédimentation particulières dans les deltas et les estuaires. Ces deux milieux sont qualifiés d'intermédiaires auxquels on peut ajouter d'autres milieux comme les lagunes.

● Quelles sont les conditions de sédimentation dans les différents milieux intermédiaires ?

1-1- Les conditions de sédimentation à l'embouchure

L'embouchure d'un cours d'eau dans la mer représente un domaine intermédiaire où s'affrontent les influences marines et fluviales (DOC 22 a). Lorsque le fleuve a une influence dominante (Fig 2), il construit un delta ; lorsque la mer est dominante, l'embouchure est un estuaire (Fig 1). Il existe en fait des intermédiaires entre ces deux types.



DOC 22 b : Les deltas se développent lorsque les rivières amènent au milieu marin plus de sédiments que ce que l'érosion marine peut mobiliser. On peut subdiviser un delta en plusieurs sous-environnements :

- La plaine deltaïque est le prolongement de la plaine alluviale. Elle est parcourue par un réseau de chenaux.
- Le front du delta est le prolongement de la plaine deltaïque sous la mer.
- Le pro delta est la partie la plus externe et la plus profonde du delta ; il repose sur les sédiments marins



Fig 1:

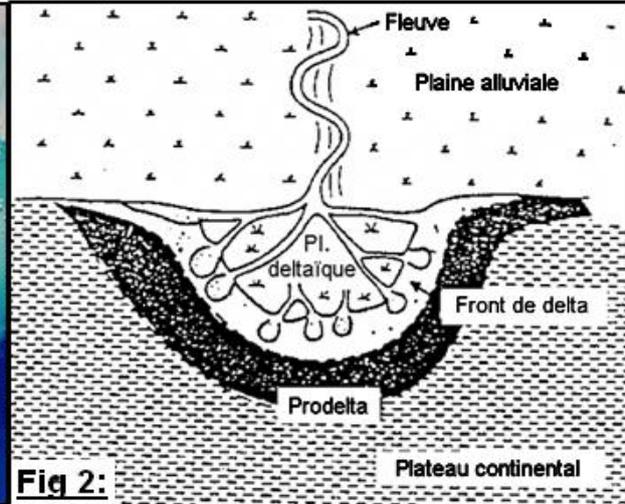


Fig 2:

- ♦ La plaine deltaïque : les sédiments sont des barres sableuses et des galets qui se déposent dans les chenaux. Les zones interdistributaires sont constituées de limons et d'argiles, riches en matière organique ou en évaporites selon le climat.
- ♦ Le front du delta : la forme de sédimentation dépend de la densité de l'eau du fleuve, de la charge, et de la taille des particules transportées.
- ♦ Le prodelta : les sédiments déposés sont fins généralement bioturbés car ils sont très riches en matière organique d'origine continentale.

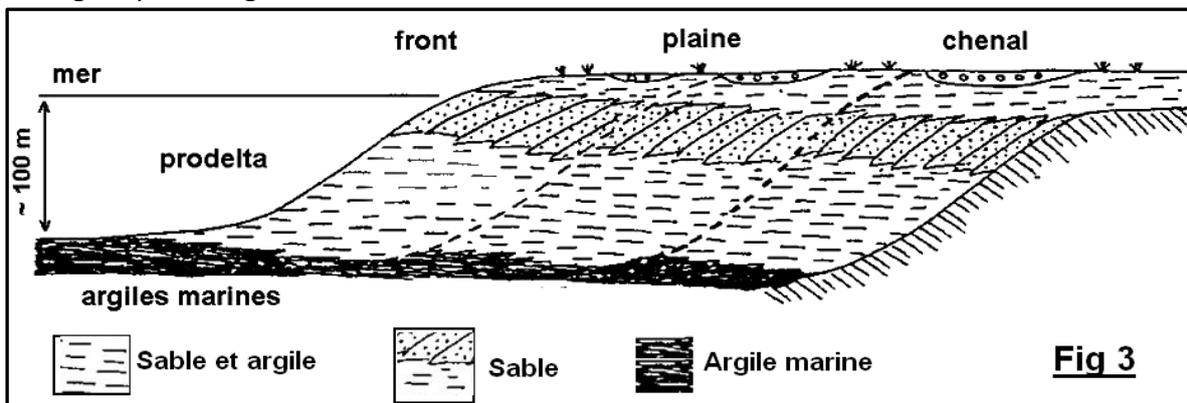


Fig 3

- Dégager les conditions de sédimentation et les Caractéristiques des sédiments dans les l'embouchure ?

Éléments de réponse

- Les conditions de sédimentations dans l'embouchure :

- ◆ *La charge du courant fluvial*
- ◆ *La dynamique du courant marin*
- ◆ *Si la dynamique du fleuve domine, il se forme un delta*
- ◆ *Si la dynamique marine domine, il se forme un estuaire*
- *Caractéristiques des sédiments*
 - ◆ *Dans un delta : dépôt de sédiments détritiques, sous forme d'éventail (sable, argile, limon) de l'amont vers l'aval on assiste à un granoclassement horizontal décroissant à cause d'une baisse de l'hydrodynamisme. En un point donné le granoclassement vertical est généralement croissant témoin d'une suite régressive.*
 - ◆ *Dans un estuaire l'apport de peu de matériaux grossiers, des suspensions fines et des matières en solution, les argiles s'agglomèrent (floculation) sous forme d'un bouchon vaseux.*

1-2- Les conditions de sédimentation dans le lagon

DOC 23 : L'eau de mer contient du calcium, du sodium, du potassium, des ions négatifs tels le chlore, CO_3 et SO_4 . L'évaporation ne se débarrasse que de l'eau, ce qui fait qu'au fur et à mesure de l'évaporation, les sels se concentrent de plus en plus.

La précipitation des minéraux évaporitiques se fait, dans les grandes lagunes ou des zones littorales de faibles profondeurs dans des régions où l'évaporation excède les précipitations.

Le carbonate de calcium, CaCO_3 (calcite ou calcaire) précipite naturellement en premier et dépose une couche de cristaux de CaCO_3 au fond du bassin ou de la lagune.

Avec la poursuite de l'évaporation, et par conséquent l'augmentation de la salinité ; Le CaSO_4 hydraté ou gypse précipite. Puis, avec encore une augmentation de la salinité, vient la phase de précipitation du chlorure de sodium, NaCl (le sel commun).

La dernière phase avant l'évaporation totale est le chlorure de potassium, KCl (communément appelée potasse);

On obtient des minéraux précipités à mesure de l'évaporation de l'eau de mer, les évaporites

1- Déterminer les facteurs qui conditionnent la sédimentation dans le milieu lagunaire, donner l'ordre de précipitation des différents minéraux, expliquer cet ordre de précipitation ?

2- Les évaporites ont une grande importance économique ; présentez certains de ces importances

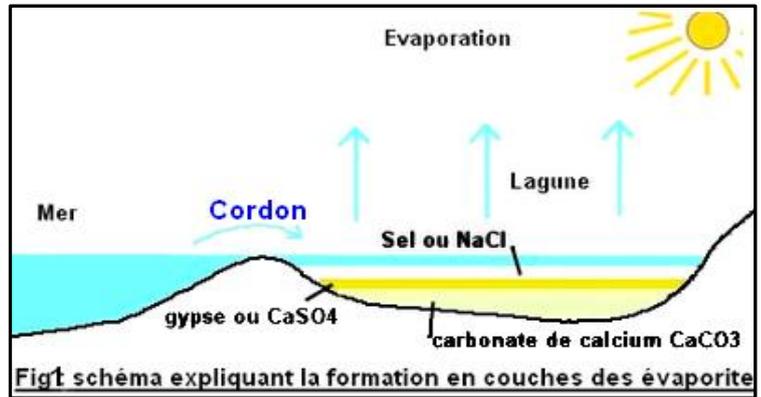


Fig1 schéma expliquant la formation en couches des évaporite

Éléments de réponse

1- Les évaporites sont des sédiments résultant de l'évaporation de l'eau et de la précipitation des sels qui y sont dissous. Lorsque l'eau s'évapore, elle dépose ses particules détritiques et les ions qu'elle contient précipitent sous forme de sels. Certains facteurs gouvernent ce type de précipitation à savoir :

- + Les facteurs climatiques gouvernent une forte évaporation, ce qui fait augmenter la densité, d'où, précipitation des sédiments.

+ L'apport de l'eau de mer

Les matériaux déposés constituent une séquence évaporitique. L'ordre de précipitation des sels est le suivant : CaCO_3 - CaSO_4 - NaCl - MgSO_4 - sels de Br et K

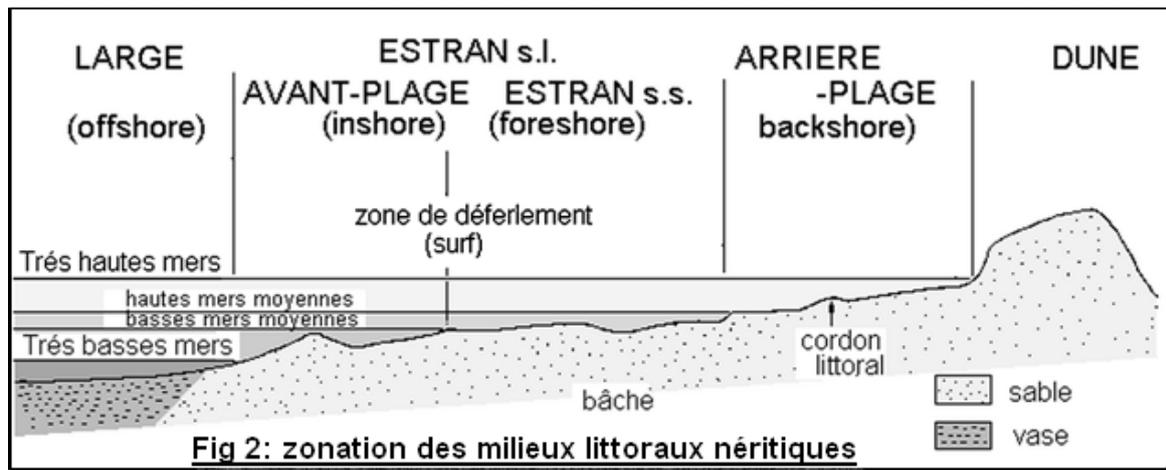
2- Les évaporites ont une grande importance économique. En particulier, elles forment le toit imperméable de certains des plus grands gisements pétroliers du monde. Au point de vue sédimentologique, leur reconnaissance est essentielle puisqu'elles sont de bons marqueurs climatiques (climat aride, où l'évaporation excède de loin les précipitations, c.-à-d. dans la ceinture tropicale, entre 10° et 30° de latitude).

1-3- Les conditions de la sédimentation dans le littoral

DOC 24 : Le littoral comprend la ligne de côte (Fig 1) et une bande immergée de largeur variable dont la profondeur est inférieure à 200 mètres et qui correspond à la plate-forme littorale. La ligne de côte comprend les plages, les falaises et la partie du continent soumise plus ou moins directement à l'action de la mer (Fig 2) : dunes littorales, marais côtiers, estuaires... La nature de la sédimentation littorale, ou néritique, dépend essentiellement des apports détritiques du continent et de la productivité biologique, ces deux facteurs dépendants eux-mêmes de la latitude et du climat. Dans les régions tempérées et froides, les matériaux détritiques dominent ; leur composition est surtout siliceuse: on parle de sédimentation silico-clastique. Dans les régions chaudes nombreux sont les organismes qui fixent le carbonate de calcium ; à leur mort, les éléments carbonatés s'accumulent au point de constituer la matière principale du sédiment: on parle de sédimentation littorale carbonatée.



Fig 1: Limite sable-galet à la base d'un cordon littoral



◆ Résumer les caractéristiques de ce milieu de sédimentation et décrire les faciès les plus remarquable ?

Éléments de réponse

- Le milieu littoral se caractérise par deux phénomènes ;
 - La charge détritique fluviale
 - L'action de la houle qui fait arracher les sédiments
- Dans les régions tempérées et froides ; on enregistre une sédimentation siliceuse. Dans les régions chaudes ; les éléments carbonatés s'accumulent et on observe une sédimentation littorale carbonatée.

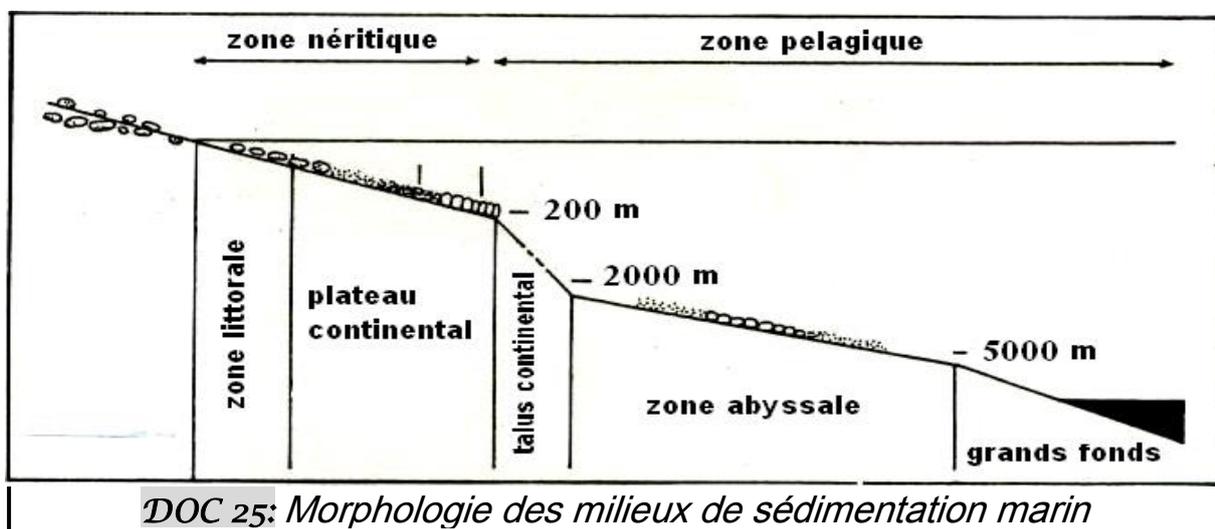
3- Les conditions de sédimentation dans les milieux marins

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

- Quelles sont les conditions de sédimentation dans les milieux marins ?

1-1- Les différentes zones de la sédimentation marine

- Il existe différentes subdivisions verticales et horizontales des environnements marins basées sur des critères biologiques, océanographiques ou géologiques (Doc 25).



- ❑ *Néritique* : S'applique à la zone marine située entre la zone littorale et le rebord du plateau continental (vers 200m de profondeur).
- ❑ *Pélagique* : Se dit d'un animal ou d'un végétal marin qui ne vit pas sur le fond, mais qui nage ou qui flotte (leur ensemble forme respectivement le necton, ou le plancton).

1-2- Les conditions de la sédimentation dans le plateau continental

Le plateau continental occupe les fonds marins situés entre le domaine littoral et le sommet du talus continental.

Les dépôts sédimentaires sont d'origines multiples :

- ◆ Les dépôts terrigènes : galets, sables côtiers et vases littorales apportés par les fleuves.
- ◆ Les dépôts d'origine biologique : il s'agit essentiellement de sédiments carbonatés (calcaires chimiques et biochimiques, calcaires d'accumulations et calcaires construits résultant de l'activité des organismes constructeurs, principalement les coraux).
- ◆ Les évaporites.



DOC 26 : Coraux à squelette calcaire responsables des constructions

1- Décrire les types de sédiments au niveau du plateau continental ?

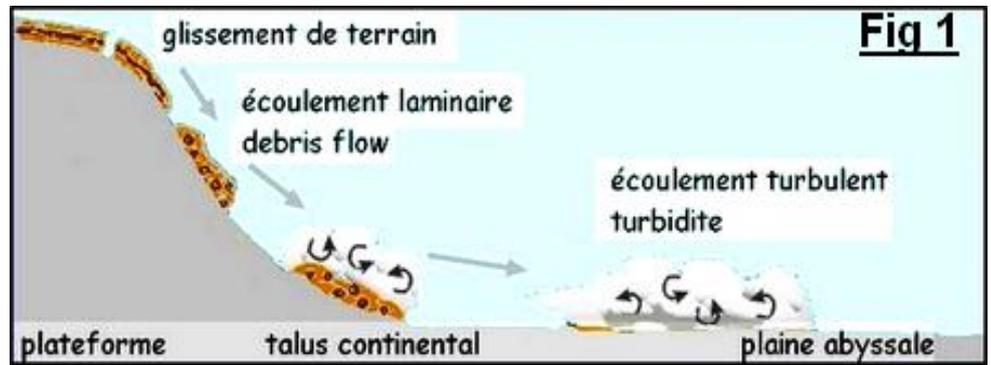
Éléments de réponse

○ Sur le plateau, la vie benthique est abondante, grâce à la combinaison de trois éléments essentiels à sa prolifération une intensité lumineuse élevée par ce que le milieu est peu profond, une température chaude et une bonne oxygénation de l'eau. Tous ces facteurs contribuent à une sédimentation carbonatée importante qui consiste à des récifs coralliens et des vastes zones d'accumulation de débris et squelettes calcaires d'organismes planctons.

1-3- Les conditions de sédimentation dans le talus continental et la plaine abyssale

DOC 27 : Le talus possède une pente moyenne de 0,7 à 1,3 m par km et s'étage de 130 m à 2000 m environ. A cause de la pente, les dépôts qui recouvrent le talus peuvent subir des glissements et des écoulements, ce qui donne naissance à des dépôts granoclassés, les turbidités (les éléments grossiers vers le bas sont suivis vers le haut par les éléments les plus fins).

En plus de la sédimentation due aux courants de turbidité, l'essentiel de la sédimentation des mers profondes est constituée par :



- ☒ **les argiles rouges**, sédiments dont l'origine peut être détritique ou bien de néoformation.
- ☒ **les boues calcaires** constituées par des tests calcaires (ces boues sont absentes dans les profondeurs supérieures : à 4500 m car les eaux profondes dissolvent les calcaires).
- ☒ **les boues siliceuses** qui sont constituées par des restes d'organismes planctoniques à tests siliceux (radiolaires, diatomées).

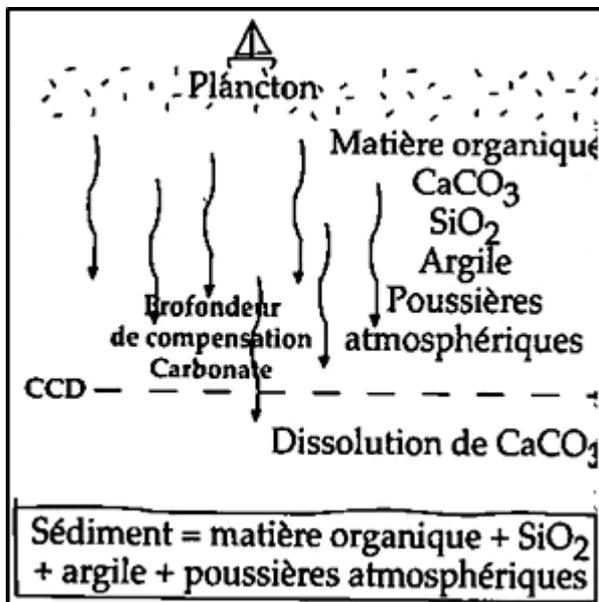


Fig 2 : effet de la profondeur sur la sédimentation des carbonates.

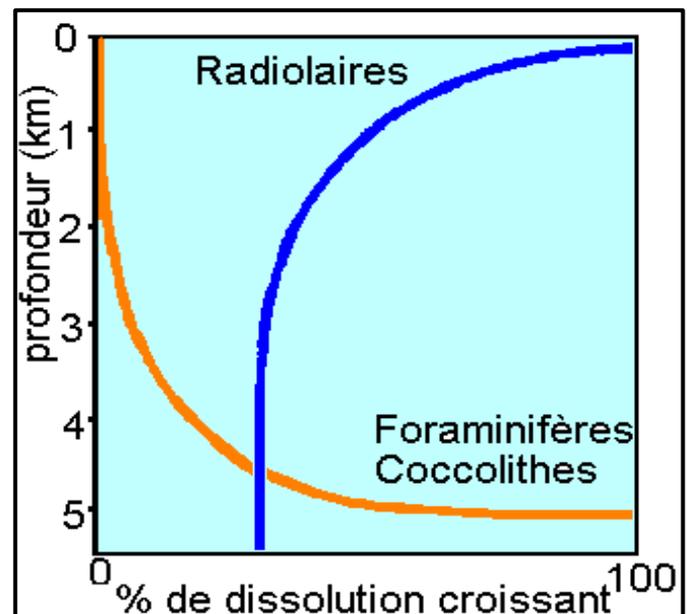


Fig 3 : Courbes de dissolution des tests siliceux (Radiolaires) et calcaires (Foraminifères et Cocolithes) en fonction de la profondeur.

- 1- On se basant sur la **Fig 1** ; Expliquer comment se forment les turbidités au niveau du talus continental.
- 2- Analyser le graphe de la figure 3 ?
- 3- Donner la réaction de dissolution de calcite et la réaction de précipitation ?
- 4- Proposer une expérience validante de la dissolution du calcite ? et expliquer le fait qu'en dessous de la CCD, plus aucun organisme calcaire ne sera trouvé ?
- 5- Définir donc le CCD ; le niveau de compensation des carbonates ?
- 6- A partir de la **figure 3 et 4**. Qui ce que vous constatez en ce qui concerne la dissolution des tests siliceux ?
- 7- Quel intérêt Paléogéographique peut-on tirer de cette observation ?

Éléments de réponse

1- Les courants de turbidité sont des écoulements gravitaires dans lesquels le sédiment est maintenu en suspension par la turbulence du fluide interstitiel. Ils se produisent lorsqu'un choc (tremblement de terre, vague) ébranle (= bouger) une masse de

sédiment. 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,

2- Plus la Profondeur augmente plus la dissolution des coquilles calcaire augmente jusqu'à une profondeur égale à 5 km. Au-delà de cette profondeur la dissolution est totale (les coquilles calcaires disparaissent.)

Plus la profondeur est plus la dissolution des coquilles siliceuses diminue jusqu'à une valeur seuil constante

3- La réaction de dissolution est la suivante :



La réaction de précipitation est son inverse

4- ● On ajoute un peu de calcaire à de l'eau riche en CO_2 . Après un certain moment on remarque sa disparition c'est la dissolution de calcaire.

● Au-delà d'une certaine profondeur, tous les débris carbonatés sont dissous et le sédiment ne contient pas carbonate.

5- il s'agit d'un niveau en milieu océanique, sous lequel le carbonate de calcium (CaCO_3) se dissocie, c-à-d que lorsque des particules de CaCO_3 , comme celle qui viennent du plancton atteignent ce niveau, elles sont dissoutes et se retrouvent dans l'eau sous leur forme ionique Ca^{2+} et HCO_3^- .

6- 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 grande profondeur au-dessous de CCD, la sédimentation siliceuse domine à condition que la production de silice par le plancton ait été suffisamment importante

7- ● La sédimentation des carbonates domine au-dessus de la CCD

● La sédimentation des silices domine au-dessous de la CCD

Remarque :

⇒ CCD profond dans le climat chaud

⇒ CCD peu profond dans le climat froid

VII- Détermination des conditions de sédimentation dans un milieu ancien : la mer des phosphates

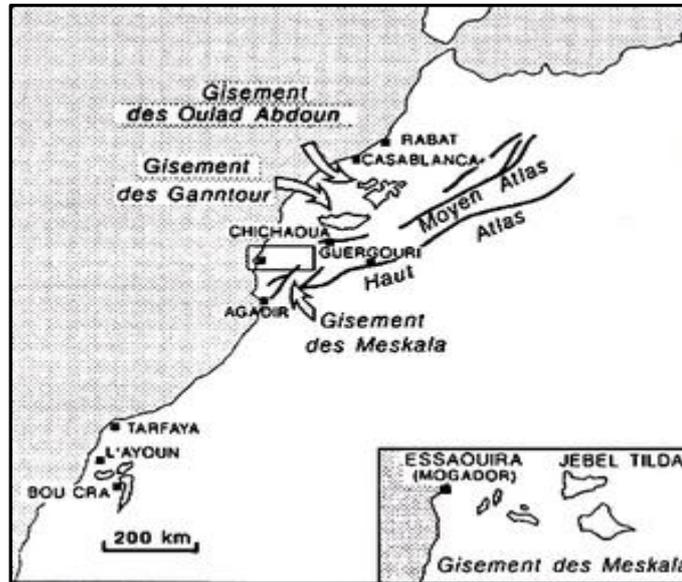
Les réserves marocaines en phosphates, constituant l'une des principales ressources minières du Maroc, elles représentent près de 75% des réserves mondiales identifiées et se distinguent, par leur richesse exceptionnelle en phosphore.

La production des phosphates s'est élevée à peu près à 21 millions de tonnes (Mt) de phosphate marchand dont près de la moitié de la production est destinée à la transformation chimique locale pour la fabrication d'acide phosphorique et d'engrais phosphatés.

1- Principaux bassins phosphatés marocains

Doc : 28 Les plus importantes ressources en phosphates (roches exogènes riches en P_2O_5) au Maroc se répartissent en plusieurs bassins phosphatés, différents les uns des autres, aussi bien par leurs

superficielles que par leurs teneurs. Elles représentent près de 75% des réserves mondiales identifiées et se distinguent, en plus, par leur richesse exceptionnelle en phosphore.



Doc 28 :

localisation des principaux bassins phosphatés marocains
 ◆ Dégager les principaux gisements de phosphates (bassins phosphatés) qui se trouvent au Maroc ?

Éléments de réponse

1 les 4 principaux bassins phosphatés marocains sont

- ◆ Ouled Abdoun (Khoubibga)
- ◆ Ganntour (Yousoufia et Bengrir)
- ◆ Meskala (Essaouira-Chichaoua-Imin' Tanout)
- ◆ Oued Eddahab (Boucraâ Laâyoune)

2- Caractères sédimentologiques et paléontologique et âge de la série phosphatée :

2-1 Pétrographie de la série phosphatée marocaine

Doc : 29 Au Maroc il y en a deux familles de phosphate : La première dite phosphorites, La deuxième est liée à l'apatite dite phosphatite, dont les composants sont :

- ◆ Particules squelettiques (PS) ou bioclastes : sont les fossiles et les débris biogènes d'organismes vertébrés ou invertébrés (dents, vertèbres, os... etc).
- ◆ Grain phosphatés (GP) : sont des grains sphériques à ovoïdales de taille entre 100 m à 400 m.
- ◆ Coprolithes (Copro) : excréments d'espèces animales constitués de sédiments divers, souvent agglomérés par mucus.
- ◆ Grains composites (G.C) : ils sont issus soit d'un remaniement de débris de roches phosphatés, soit d'une agglomération de particules phosphatées.
- Déterminer les caractéristiques des gisements de phosphate au Maroc ?

Éléments de réponse

□ - les gisements des phosphates marocains se distinguent par des teneurs élevées en phosphore et par faible taux en impuretés.

Ces phosphates sont composés d'éléments phosphatés à aspect de grains ou de débris d'organismes vertébrés ou invertébrés ou de coprolithes ou grains composites.

2-2 Les fossiles du phosphate du gisement Ouled Abdoun

Doc : 30 Les sédiments phosphatés marocains sont riches en fossiles, les plus communs sont

	Oolithes	Mâchoire mosasaure	Dent Otodus obliquus
Fossiles			
Caractéristiques	Petites concrétions de 0,2 à 2 mm . Formées de couches concentriques de sable précipitent autour d'un nucleus généralement calcaire.	Grand reptile préhistorique semi-aquatique qui peut atteindre 18 m de long, adapté à la vie marine.	Genre éteint de requin, qui devrait mesurer plus de 6 m de long. Ses dents fossiles sont très abondantes dans les gisements marocains
Paléoenvironnement	Zone subtidale à profondeur < 5 m, très agitée sous l'action des courants et des vagues	Les côtes maritimes peu profondes et vaseuses	Large plate forme épicontinentale peu profonde à eaux tempérées à chaudes.
<p>● Dégager les informations renfermées dans les fossiles du phosphate Ouled Abdoun, concernant leur Paléoenvironnement ?</p>			

Éléments de réponse

□ - Les sédiments phosphatés marocains sont caractérisés par leur richesse en fossiles marins. L'étude des caractéristiques des fossiles du bassin Ouled Aboun, a permis de reconstituer son paléoenvironnement supposé une zone subtidale peu profonde, très agitée, à eau tempérée à chaudes.

Bilan : conditions dans lesquelles il se forme les roches phosphatées marocain

- La présence de fossiles et particulièrement, des dents et os de requins a permis de prioriser la sédimentation du phosphate marocain dans un milieu marin , peu profond à eau tiède
- Les phosphates les plus purs, azoïques ou fossilifères sont interstratifiés avec des bancs stériles subhorizontaux cela indique la discontinuité de la sédimentation du phosphate marocain

-3- la formation de phosphates (phosphatogénèse):

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

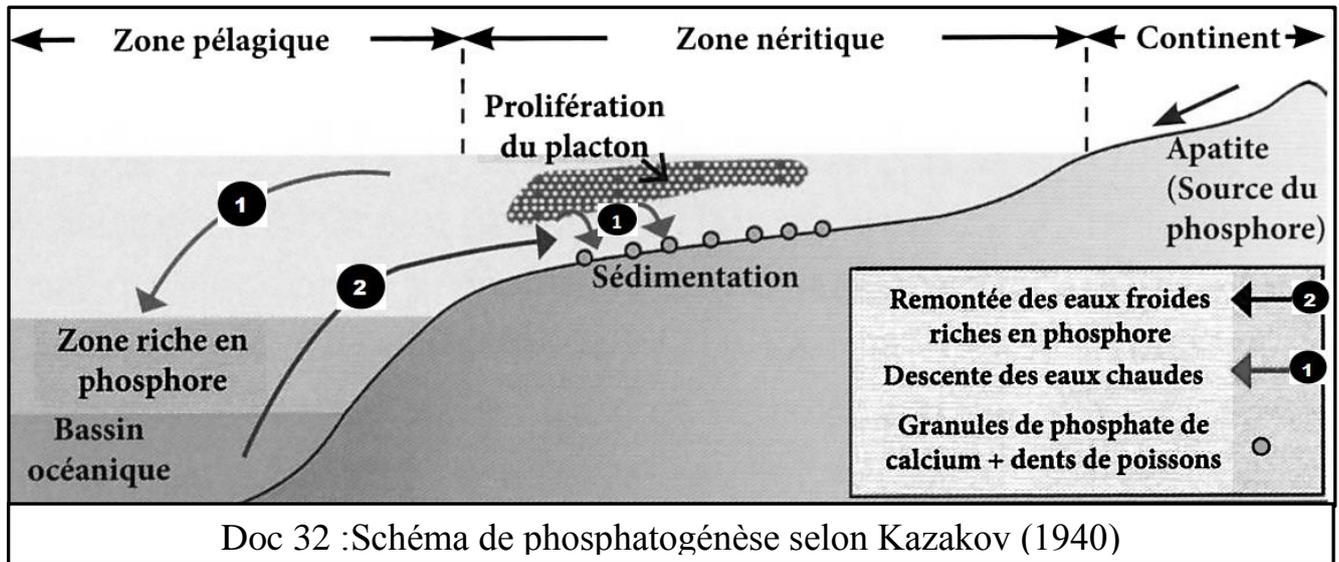
3-1 théorie anciens

Doc : 31 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.

3-2 Théorie moderne (théorie de KAZAKOV)

Doc : 32 Les idées sur l'origine des phosphates ont fait un grand progrès avec la théorie de l'auteur russe Kazakov, émise en 1937 (doc 32). Il propose un modèle flexible qui permettant d'expliquer la genèse du phosphate à travers plusieurs étapes :



Formation de réserves de phosphate

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 CO₂.

Montée de courants marins riches en phosphore et en CO₂

- ♦ Les eaux froides des fonds océaniques, enrichies des ions de phosphore remontent dans la zone des eaux chaudes, peu profondes grâce aux courants froid ascendants (upwelling).
- ♦ Dans les eaux saturées, chaudes, peu profondes, il y a augmentation du pH et diminution de la pression partielle en CO₂, cette diminution amène une précipitation du CaCO₃ (carbonate de calcium), puis des phosphates. La sédimentation chimique des phosphates ne peut donc se produire dans les régions profondes, là où la pression du CO₂ est trop élevée, ni dans la zone de photosynthèse, où le phosphore est consommé. C'est entre 50 et 500m environ que précipitera le phosphate.

● *Déterminer les conditions de sédimentation du phosphate et expliquer l'importance des courants upwelling ?*

Éléments de réponse

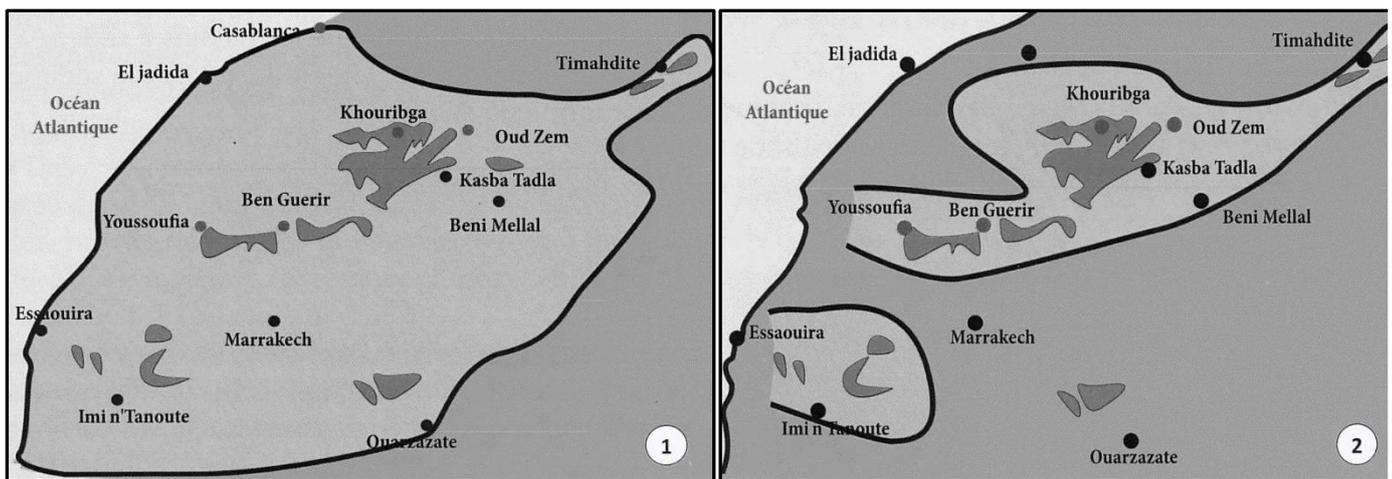
□ ➔ *La sédimentation du phosphate ou la phosphatogénèse au Maroc nécessite des conditions écologiques et géographiques bien précises :*

- *Présence de liaison directe entre les bassins continentaux et le milieu océanique, avec faiblesse des apports détritiques issus du domaine continental*
- *Activité biologique intense*
- *Présence de courants marins ascendants upwelling*
- *Eau peu profonde tempérée à chaude.*

⇒ L'importance des courants d'eau froides (upwelling) est l'augmentation de la productivité biologique, car ces courants sont riches en substances minérales nutritives, comme les phosphates et les nitrates, ce qui permet de compenser la consommation biologique excessive qui appauvrit les eaux de surface.

IV- Etablissement de la carte paléogéographique de la mer des phosphates

Doc 35 : L'étude des faciès minéraux et fossilifères des phosphates a permis de reconstituer les 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 de cartes paléogéographiques (fig 1 et 2).



Suite à l'érosion importante des terrains phosphatés, la délimitation de la mer des phosphates s'avère difficile. Deux explications sont proposées :

- ① Trappe (1989-1994), Herbig (1986) : 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 phosphatée.
- ② Salvin (1960), Boujo (1976) : La mer des phosphates était sous forme de golfs de faible profondeur en liaison avec l'océan Atlantique et séparés par des terrains émergents.

Comparer les deux théories de la paléogéographie des bassins de sédimentation du phosphate ?

Réponse

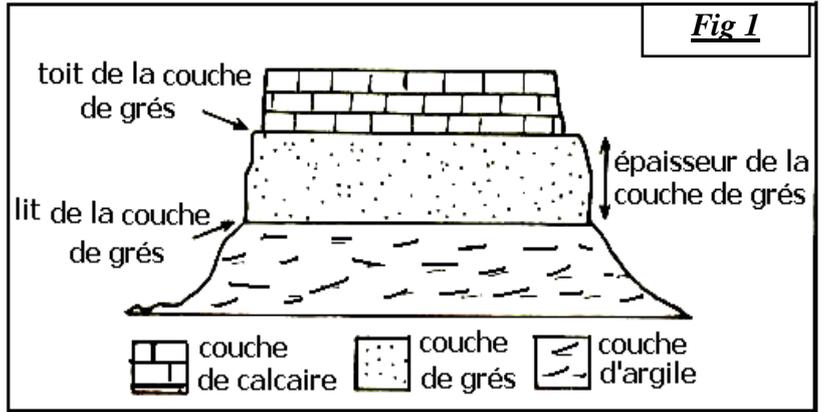
Deux théories sont proposées pour reconstituer la paléogéographie des bassins phosphatés au Maroc :

- Trappe et Herbig, proposent que le centre et l'ouest marocains étaient submergés par une mer épicontinentale en liaison avec l'océan Atlantique.
- Boujo et Salvin : la mer des phosphates était sous forme de golfs de faible profondeur en liaison avec l'océan Atlantique

1- Le principe de superposition

Principe de la superposition

Ce principe veut que les sédiments se déposant sur le fond de la mer, la couche située le plus profond est logiquement la plus ancienne et celle à la surface est la plus récente. Ceci s'applique aussi dans le cas de coulées de lave, la coulée la plus profonde est la plus ancienne.



Enoncé du principe

.....

.....

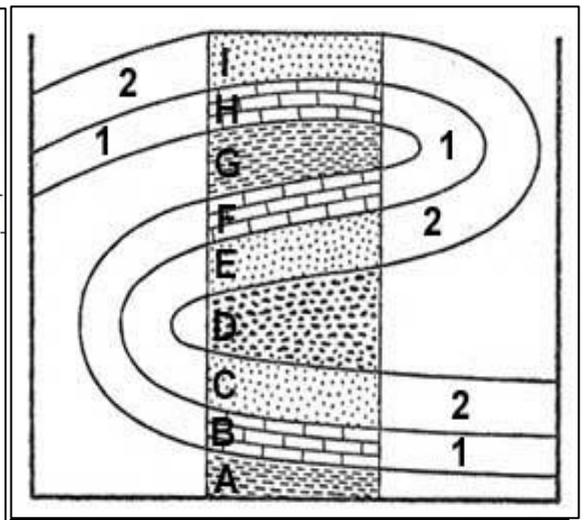
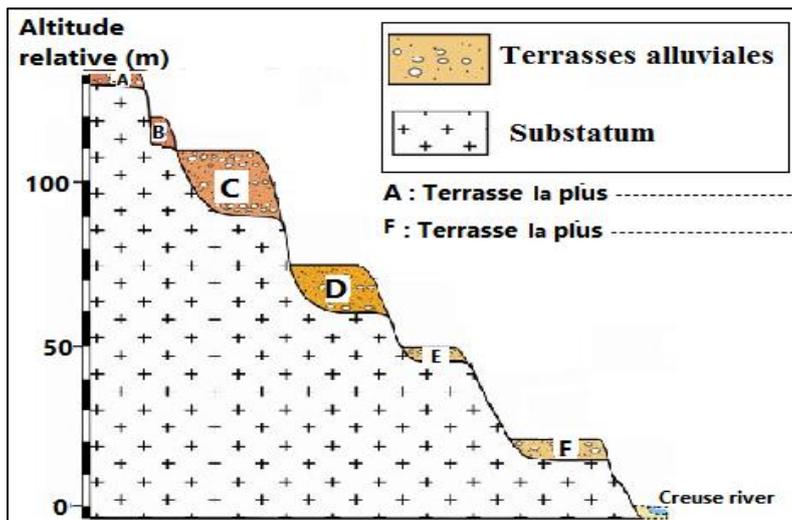
.....

.....

.....

.....

Limite d'application du principe



.....

.....

.....

.....

.....

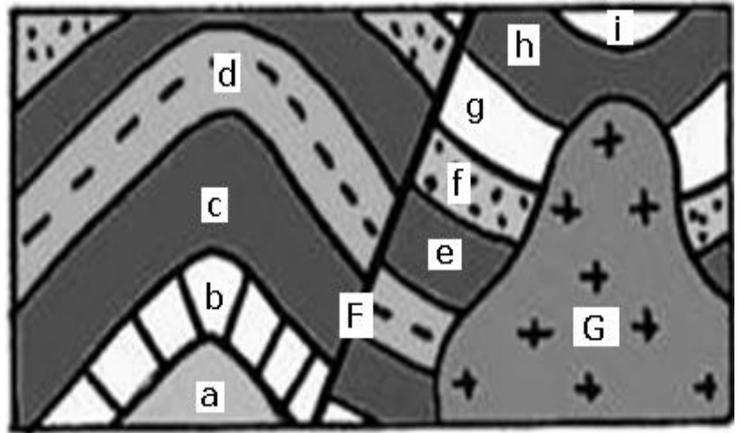
.....

2- Le principe de recoupement

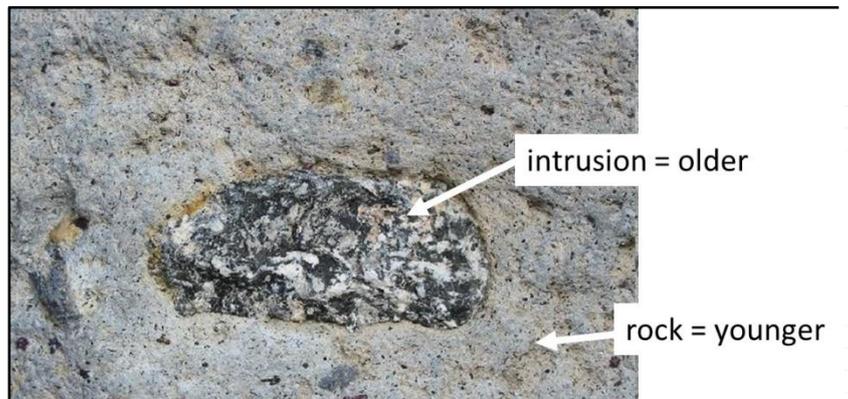
Fig 4 :

Le principe de recoupement intervient, lorsque la géométrie des strates est perturbée par un événement externe : intrusion magmatique, faille, plissement, discordance, érosion.

À partir des informations extraites du document ci-contre, établissez par un raisonnement rigoureux la datation relative des événements suivants : la faille, la phase de plissement, la surface d'érosion, Le pluton granitique, visibles sur cette coupe.



3- Principe d'inclusion



Enoncé du principe

Remarque

Une remontée magmatique est un recoupement et non une inclusion.

4- Le principe de continuité

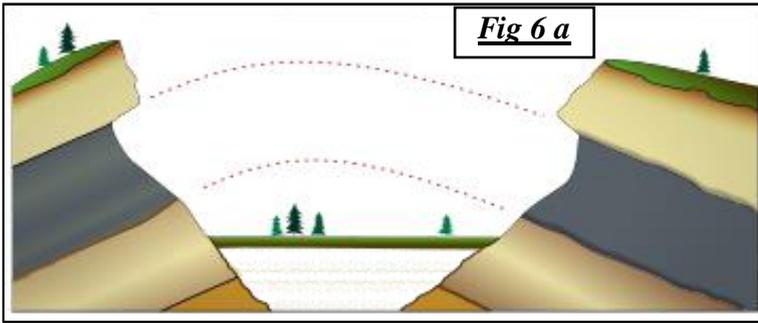


Fig 6 a

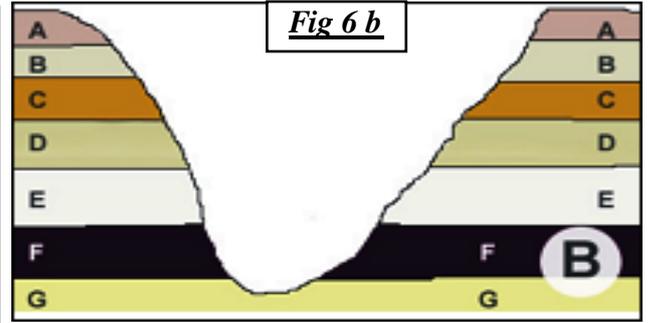


Fig 6 b

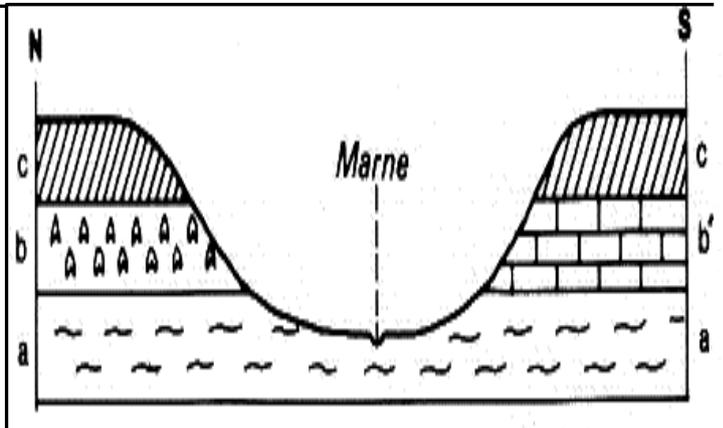
Enoncé du principe

Cas particulier (Fig : 7)

Fig 7 :

La continuité peut être établie entre deux strates éloignées géographiquement si elles sont encadrées à la base et au sommet par des strates identiques. On considère alors qu'elles ont le même âge, même si elles ne sont pas formées des mêmes roches. En effet, des conditions de sédimentations peuvent varier, au même moment, d'un endroit à l'autre.

b et b' sont-elles de nature différente Comment dater ces deux structures ?



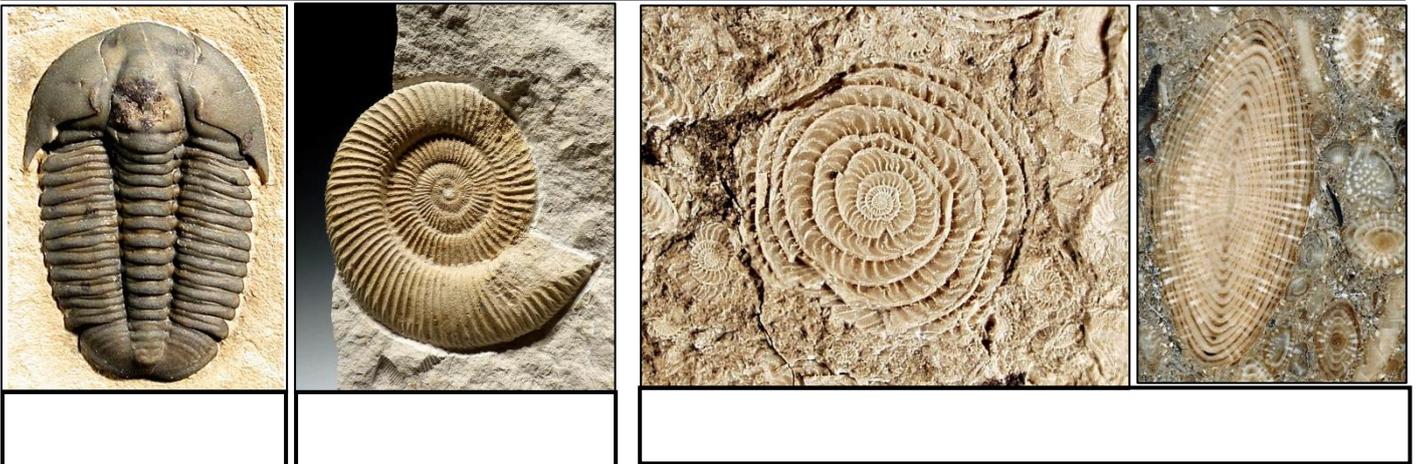
♦ Réponse :

♦ Limite d'application

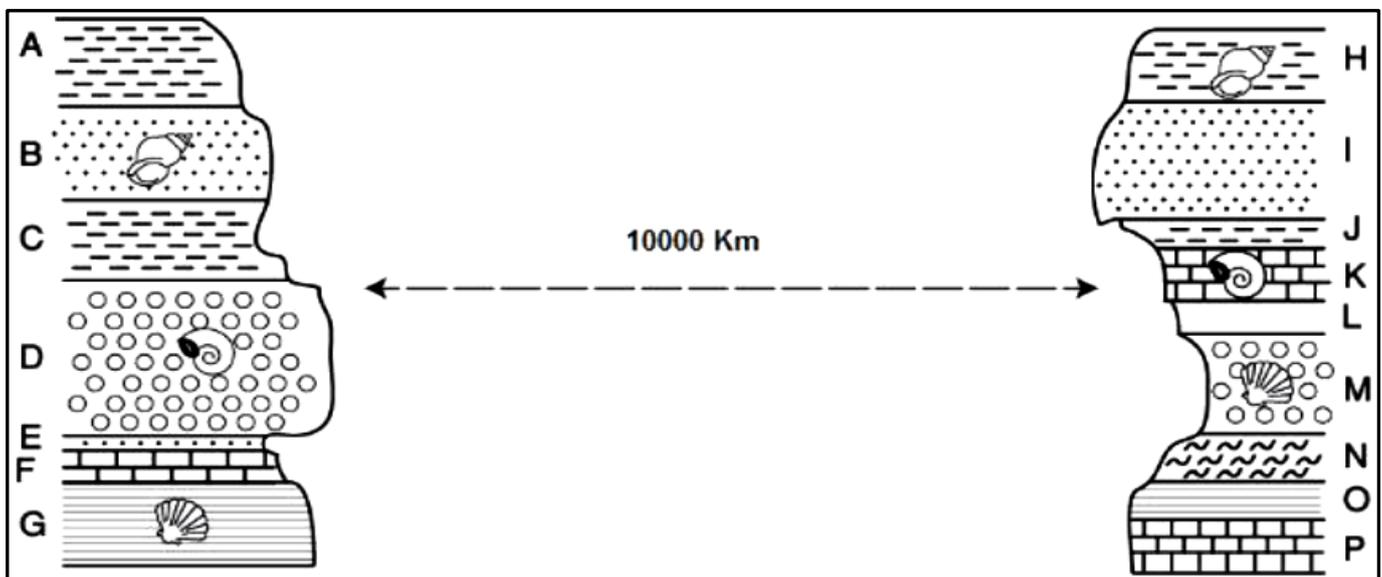
5- Principe d'identité paléontologique

a- Les fossiles stratigraphiques

- La paléontologie est l'étude des fossiles. Un fossile est un vestige d'être vivant ou de son activité. Certains groupes de fossiles sont caractéristiques d'une ère : les trilobites caractérisent l'ère primaire, les ammonites l'ère secondaire et les nummulites l'ère tertiaire.
- Certaines espèces de fossiles constituent de bons fossiles stratigraphiques. Un bon fossile stratigraphique est une espèce ayant la plus courte durée de vie possible, la plus grande extension géographique possible et une grande abondance (statistique). Deux terrains, même très éloignés l'un de l'autre, contenant les mêmes bons fossiles stratigraphiques, sont de même âge.
- Un fossile de faciès est un fossile qui a vécu dans plusieurs périodes ou époques de l'histoire de la Terre mais qui a un milieu de vie caractéristique.



Principe d'identité paléontologique



Le principe d'identité paléontologique : deux couches ayant les mêmes fossiles sont considérées comme ayant le même âge.

Ce principe n'est plus lié aux rapports géométriques entre les couches, mais à la paléontologie ; il se base sur l'existence de fossiles stratigraphiques.

Il permet de corréler des séries sédimentaires de régions éloignées.

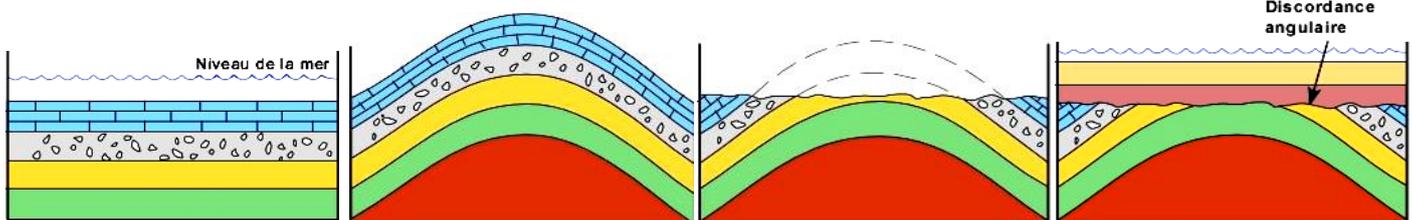
- ◆ - **Paléontologie : discipline scientifique qui étudie les restes fossiles des êtres vivants.**
- ◆ **Justifier que la couche C de la colonne A et la couche e' de la colonne B ont le même âge ?**

11- Cycle sédimentaire et échelle stratigraphique

1- Discordances et contact anormal

Les séries sédimentaires correspondent à la succession des couches sédimentaires. Si toutes les couches sont présentes on parle de série continue, les couches doivent être parallèles entre-elles cela définit la concordance des couches.

Lorsqu'il y a interruption de la sédimentation, suivie d'une déformation (failles, basculement ou plissement) et d'une érosion, il y a discordance entre les couches (ou strates) les plus anciennes déformées (série B et D), et celles plus récentes, horizontales (série A et C), dans ce cas c'est une discordance angulaire, qui joue un rôle très important dans la subdivision du temps géologique.



- 1- Commenter les étapes de formation d'une discordance angulaire.
- 2- Montrer que les séries A et B n'ont pas le même âge, ainsi que les séries C et D.

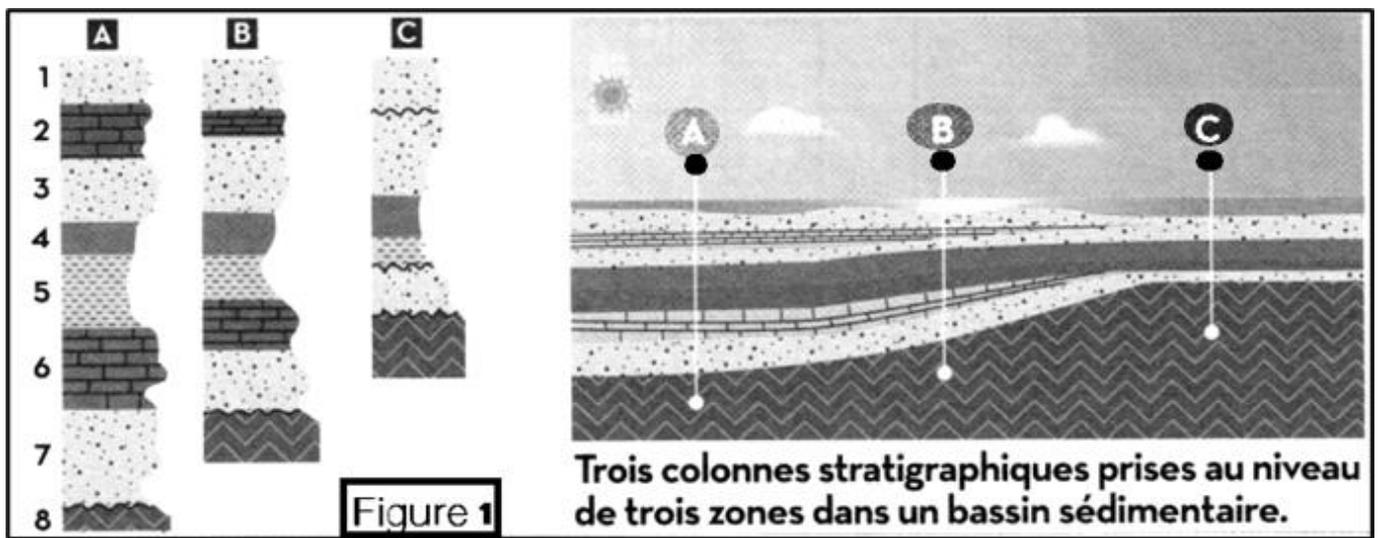
2- Lacune sédimentaire

Lorsqu'il n'y a pas de continuité chronologique entre deux couches (absence d'information correspondante à un intervalle de temps donné dans une succession d'événements géologiques), on parle de lacune.

Il y a deux types de lacunes :

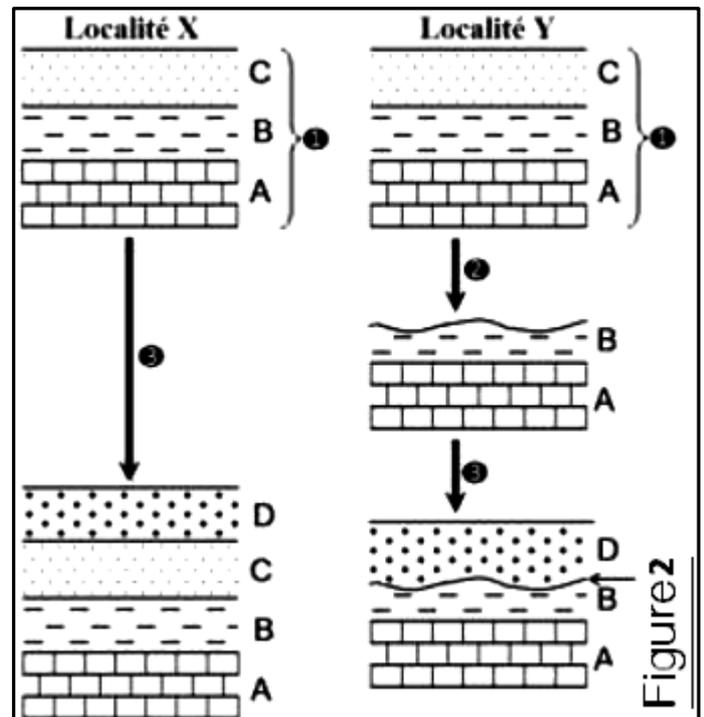
- **Lacune d'érosion** : l'érosion a enlevé des couches, puis la sédimentation a repris en laissant subsister la lacune.

- **Lacune de sédimentation** : pendant la période correspondante à la durée de la lacune, la sédimentation s'est interrompue, cela peut être dû à un changement du milieu de dépôt provoqué par la variation du niveau marin.



1- Analyser et comparer les 3 colonnes stratigraphiques et expliquer leur différence (Fig. 1). ?

2- Établir la chronologie réactive des événements géologiques qui ont affecté la région représentée dans la (Fig. 2) ?

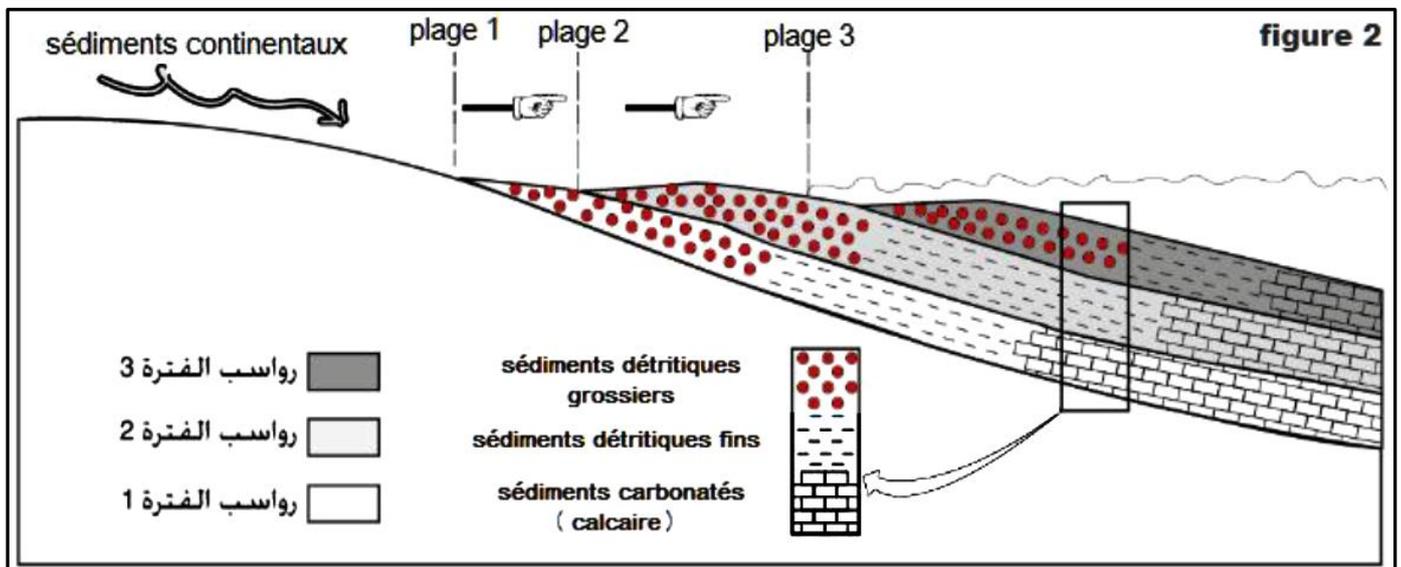
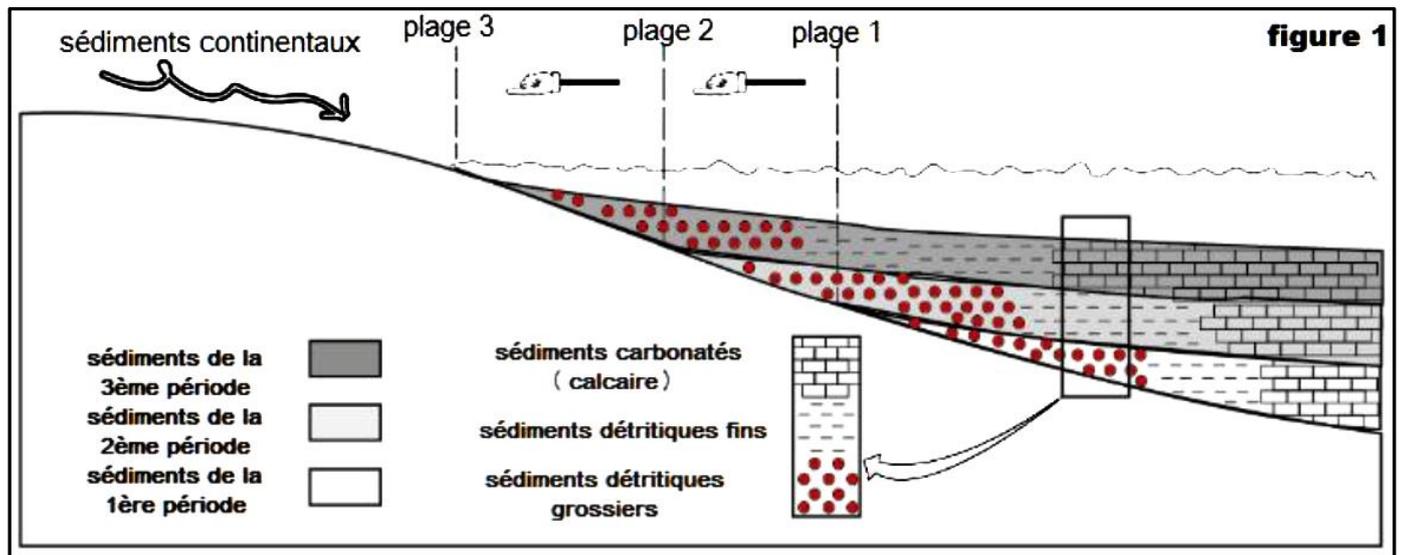


3- Cycle sédimentaire

L'accumulation des roches sédimentaires marines dans une série sédimentaire enregistre surtout la variation du niveau de la mer au cours du temps

➤ Une **transgression** (Fig 1) est une progression de la mer qui envahit une aire continentale. Elle résulte soit d'une ascension du niveau de la mer (Eustatisme), soit d'un affaissement du continent (subsidence).

➤ Une **régression** (Fig 2) se traduit par un retrait de la mer suite à un abaissement du niveau marin ou un soulèvement du continent ou par un apport important des sédiments.



1- Comment peut-on différencier une séquence régressive d'une séquence transgressive ?

2- Proposer un schéma explicatif d'une séquence verticale d'un cycle sédimentaire et montrer l'importance de ce dernier dans des subdivisions chronologiques ?

Éléments de réponse

4- Mise en place d'une échelle stratigraphique

Une échelle stratigraphique est une division des temps géologiques fondée sur l'étude des strates sédimentaires qui se sont déposées successivement au cours du temps.

1-1 La notion de stratotype

a- L'étage ; une référence stratigraphique mondiale

En appliquant les principes stratigraphiques, les géologues ont établi, dès le début du 19^{ème} siècle, des corrélations entre des formations sédimentaires régionales. Ils ont choisi pour cela des séquences sédimentaires qui affleurent dans certaines régions. Ces séquences appelées stratotypes présentent plusieurs caractéristiques parmi lesquelles:

- l'absence de déformations tectoniques,
- la richesse en fossiles stratigraphiques marins,
- l'homogénéité de faciès,
- limites faciles à distinguer (il s'agit le plus souvent de discontinuités de sédimentation comme les lacunes).

Chaque stratotype détermine une unité chronostratigraphique appelée « étage », cette dernière est correspondre à une unité géochronologique appelé « âge », généralement comprise entre 3 et 10 MA.

Généralement le nom de l'étage est obtenu en ajoutant le suffixe « ien » au nom géographique de la région du stratotype.

Exemples : le Pliensbachien dont le stratotype est à pliensbach en Allemand et le Maastrichtien dont le stratotype a été défini à Maastricht, aux Pays-Bas en 1849.



Figure 1 : le stratotype de l'étage Pliensbachien

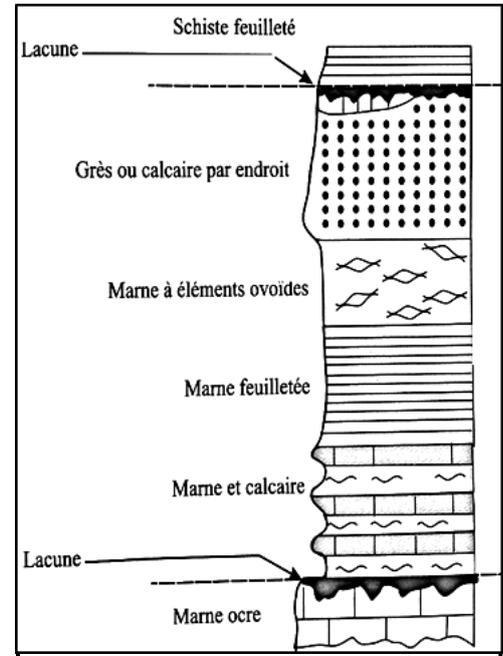


Figure 2 : colonne stratigraphique du Pliensbachien

◆ Citer les critères permettant de qualifier une série sédimentaire de stratotype ?

b- *La biozone* ; une subdivision biostratigraphique fine du stratotype

Des espèces d'ammonites subdivisent l'étage du toarcien en biozones. Leur évolution est rapide ; de nombreuses espèces se succèdent dans moins d'un mètre de sédiments. Le Toarcien s'étend de -186 Ma à -179 Ma. Le stratotype compte 27 unités biostratigraphiques appelées horizons, formés par un ou plusieurs bancs et caractérisés par une association faunique homogène. L'horizon porte le nom de « l'espèce indice » et il est affecté par un chiffre romain.



la coupe : type de l'étage Toarcien ; et les quatre ammonites permettant d'établir des subdivisions plus fines : 1- *Hildoceras bifrons angustiphonatum* (horizon X), 2- *Hildoceras bifrons quadratum* (horizon X), 3- *Hildoceras tethysi* (horizon VII), 4- *Orthidaites douvillei* (horizon VI)

◆ Montrer l'importance des biozones dans les subdivisions géochronologiques ?

1-3 Les cycles et les phases orogéniques

On appelle cycle orogénique ou cycle tectonique la succession des événements correspondant à la formation puis à la destruction d'une chaîne de montagnes.

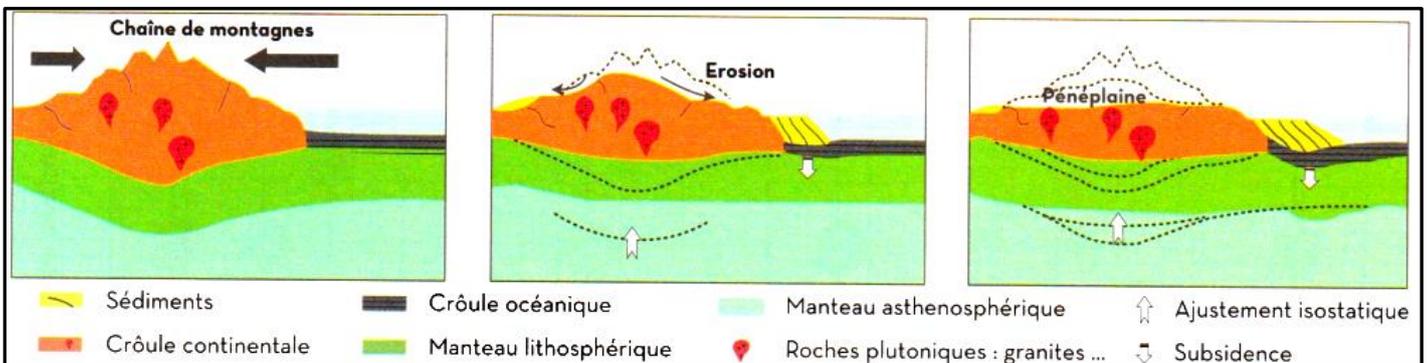
Un tel cycle comprend en général trois phases:

- Sédimentation dans un bassin sédimentaire,
- Orogenèse : plissement des sédiments accumulés dans le bassin sédimentaire et surrection d'une chaîne de montagnes,
- Pénéplanation (par érosion) de la chaîne montagneuse.

Il convient de remarquer que le début de chaque cycle est ainsi marqué, à la base des strates qui lui correspondent, par une discordance majeure sur les strates affectées par le cycle précédent.

Exemple : le cycle calédonien, s'étendant du début du Cambrien au début du Dévonien.

On estime aujourd'hui qu'un cycle correspond en gros à l'ouverture suivie de la fermeture d'un domaine océanique.



◆ Expliquer pourquoi un cycle orogénique peut être un repère de subdivision géochronologique ?

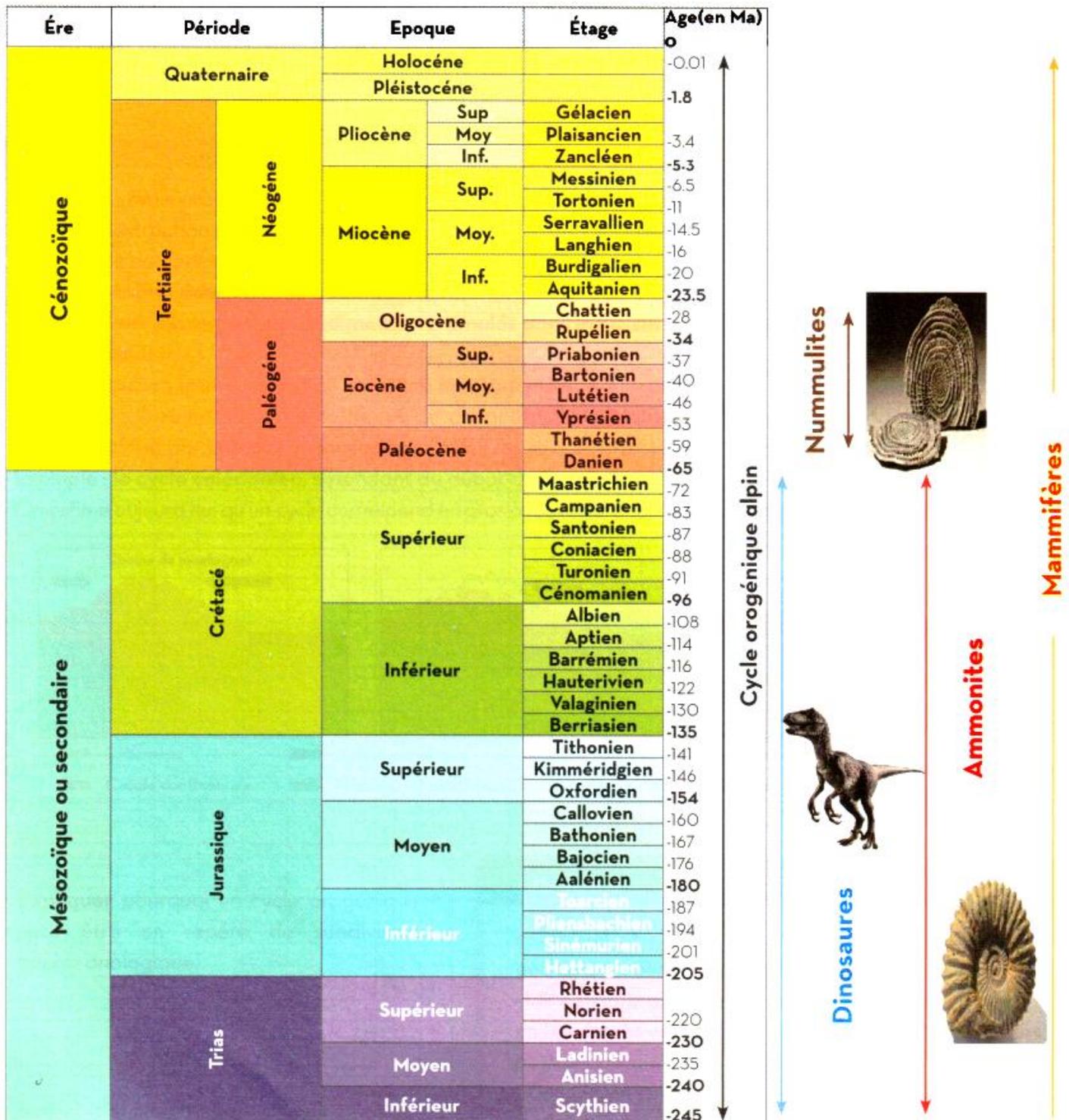
1-4 Échelle stratigraphique

➤ Cénozoïque et mésozoïque

Les temps géologiques ont été découpés par les géologues en une échelle chronologique. Ainsi, l'histoire des temps fossilifères a été divisée, en quatre ères : Primaire, Secondaire, Tertiaire et Quaternaire.

Chacune des ères a été divisée à son tour en périodes plus courtes :

- Les systèmes ou périodes, par exemple le Crétacé et le Jurassique, avec des sous-systèmes ou époques) comme le Crétacé inférieur et le Crétacé supérieur.
- Les systèmes sont eux-mêmes subdivisés en étages.



➤ Le paléozoïque et le précambrien

Ère	Période	Epoque	Étage	Age(en Ma)	
Paléozoïque ou primaire	Permien	Supérieur	Thuringien	-245	Cycle orogénique hercynien
		Inférieur	Saxonien	-258	
			Autunien	-265	
	Carbonifère	Silésien	Stéphanien	-295	
			Westphalien	-305	
			Namurien	-315	
		Dimantien	Viséen	-350	
			Tournaisien	-360	
			Supérieur	Franennien	
	Dévonien	Moyen	Frasnien	-375	
			Givétien	-380	
			Eifélien	-385	
		Inférieur	Emsien	-390	
			Praguien	-410	
			Lochkovien	-415	
	Silurien	Supérieur	Pridolien	-425	
			Ludfordien	-430	
			Gorstien	-435	
			Homerien	-445	
		Inférieur	Scheinwoodien	-455	
			Telychien	-470	
			Aeronien	-485	
			Rhuddanien	-500	
Ordovicien	Supérieur	Ashgillien	-530	Cycle orogénique calédonien	
		Coradocien	-540		
		Llandeilien	-540		
	Inférieur	Llanvirnien	-1000		
		Arénigien	-2500		
		Trémadocien	-2900		
Cambrien	Supérieur	Trempealéauien	-3500		
		Franconien	-3800		
		Dresbochien	-4560		
	Moyen	Mayaien			
		Amgaien			
		Lénien			
	Inférieur	Atdabatien			
		Tommotien			
		Nemakit-Daldynien			
Précambrien	Protérozoïque	Briovérien		Plusieurs cycles orogéniques	
		Pentévrien			
		Sup.jcartien			
	Archéen	Moyen			
		Inférieur			
	Hadéen				



Trilobites

◆ Dégager les caractéristiques biologiques, chronologiques et géologiques des 4 ères composant l'échelle stratigraphique.

Donner votre réponse sous Forme de tableau.

Eres	La durée	Les périodes	Evènements géologiques	Evènements biologique