

# ÉTINCELLE

## SVT

Manuel de l'élève

### Auteurs

**Esserraj abderrahim**  
Inspecteur pédagogique  
grade principal  
cycle secondaire qualifiant  
(Coordinateur)

**Talbi Houda**  
Inspectrice pédagogique  
cycle secondaire qualifiant

**Aicha BATANE**  
Professeur du cycle  
secondaire qualifiant

**Fatima Zohra  
Essakali el houssaini**  
Professeur du cycle  
secondaire qualifiant

**Abdesslam Sif**  
Professeur du cycle  
secondaire qualifiant

## UNITÉ 1



## Les phénomènes géologiques externes

## Chapitre 1

### La réalisation de la carte paléogéographique d'une région sédimentaire ..... 16

<b>Activité 1</b> : L'étude statistique des constituants d'un sédiment : L'étude granulométrique .....	18
<b>Activité 2</b> : L'étude statistique des constituants d'un sédiment : L'étude morphoscopique .....	20
<b>Activité 3</b> : Les figures sédimentaires .....	22
<b>Activité 4</b> : La dynamique et les agents de transport des sédiments .....	24
<b>Activité 5</b> : Les conditions de sédimentation dans les milieux continentaux .....	26
<b>Activité 6</b> : Les conditions de sédimentation dans les milieux intermédiaires .....	28
<b>Activité 7</b> : Les conditions de sédimentation dans les milieux marins .....	30
<b>Activité 8</b> : Les conditions de sédimentation dans un milieu ancien : le bassin phosphaté .....	32
<b>Activité 9</b> : La reconstitution paléogéographique du bassin de phosphate .....	34
<b>Activité 10</b> : Les conditions de sédimentation dans un milieu ancien : le bassin houiller de Jérada .....	36
<b>Activité 11</b> : La réalisation de la carte paléogéographique du bassin houiller de Jérada .....	38
<b>Essentiel du cours</b> .....	40
<b>Schéma bilan</b> .....	41
<b>En savoir plus</b> .....	42
<b>Je m'entraîne</b> .....	43
<b>Je m'évalue</b> .....	46
<b>Exercice guidé</b> .....	47
<b>Situation complexe</b> .....	48
<b>Remédiation</b> .....	49

## Chapitre 2

### Les principes stratigraphiques et l'établissement de l'échelle stratigraphique ..... 50

<b>Activité 1</b> : La datation relative : les principes stratigraphiques .....	52
<b>Activité 2</b> : La datation relative : le principe d'identité paléontologique .....	54
<b>Activité 3</b> : Les divisions géochronologiques : la notion de stratotype .....	56
<b>Activité 4</b> : Les divisions géochronologiques : la notion de cycle sédimentaire .....	58
<b>Activité 5</b> : Les grandes subdivisions géochronologiques .....	60
<b>Activité 6</b> : L'échelle stratigraphique .....	62
<b>Essentiel du cours</b> .....	64
<b>Schéma bilan</b> .....	65
<b>En savoir plus</b> .....	66
<b>Je m'entraîne</b> .....	67
<b>Je m'évalue</b> .....	70
<b>Exercice guidé</b> .....	71
<b>Situation complexe</b> .....	72
<b>Remédiation</b> .....	73

## Chapitre 3

### Reconstitution de l'histoire géologique d'une région sédimentaire ..... 74

<b>Activité 1</b> : La carte géologique : Bilan synthétique des études stratigraphiques .....	76
<b>Activité 2</b> : La réalisation des coupes géologiques (1) .....	78
<b>Activité 3</b> : La réalisation des coupes géologiques (2) .....	80
<b>Activité 4</b> : La reconstitution de l'histoire géologique du bassin phosphaté .....	82
<b>Activité 5</b> : La reconstitution de l'histoire géologique du bassin houiller de Jérada .....	84
<b>Essentiel du cours</b> .....	86
<b>Schéma bilan</b> .....	87
<b>En savoir plus</b> .....	88
<b>Je m'entraîne</b> .....	89
<b>Je m'évalue</b> .....	92
<b>Exercice guidé</b> .....	93
<b>Situation complexe</b> .....	94
<b>Remédiation</b> .....	95

# Réalisation de la carte paléogéographique d'un ancien bassin sédimentaire

## Prérequis

- Le cycle sédimentaire et l'échelle stratigraphique.
- Les fossiles et la fossilisation :
- Le rôle des fossiles dans la datation des roches sédimentaires.
- Le rôle des fossiles dans la détermination des milieux de formation des roches sédimentaires
- La diagénèse : étape ultime de la formation des roches sédimentaires
- La classification des roches sédimentaires.
- Les ressources hydriques.

## Compétences à réaliser

- Consolider les connaissances relatives aux phénomènes géologiques externes.
- Situer les phénomènes géologiques dans le temps et l'espace.
- Exploiter des résultats, communiquer et argumenter dans un langage scientifiquement approprié : oral, écrit, graphique et numérique.
- Manipuler, expérimenter, et formuler des hypothèses et concevoir des stratégies pour les tester.
- Mobilisation des acquis pour résoudre une situation problème en relation avec la réalisation de la carte paléogéographique.

## Documents pour s'interroger :



Dune de sable



Marques de ruissellement sur une plage



Ripple-marks ou rides de vagues



Série phosphatée de Khouribga

Les observations faites dans les milieux actuels, transposées aux phénomènes du passé, permettent de reconstituer certains éléments des paysages anciens (milieux de sédimentations, type de climat, degré de salinité, niveau de la mer...etc.). Les roches sédimentaires sont donc des archives des paysages anciens.

- Quelles sont les conditions de sédimentation dans les milieux de sédimentation actuels ?
- Comment peut-on reconstituer les paysages géologiques anciens à partir de l'étude des couches sédimentaires ?
- Comment peut-on réaliser une carte paléogéographique d'un bassin sédimentaire ancien ?

## Activités à découvrir

- **Activité 1** : L'étude statistique des constituants d'un sédiment : L'étude granulométrique 18
- **Activité 2** : L'étude statistique des constituants d'un sédiment : L'étude morphoscopique 20
- **Activité 3** : Les figures sédimentaires 22
- **Activité 4** : La dynamique et les agents de transport des sédiments 24
- **Activité 5** : Les conditions de sédimentation dans les milieux continentaux 26
- **Activité 6** : Les conditions de sédimentation dans les milieux intermédiaires 28
- **Activité 7** : Les conditions de sédimentation dans les milieux marins 30
- **Activité 8** : Les conditions de sédimentation dans un milieu ancien : le bassin phosphaté 32
- **Activité 9** : La reconstitution paléogéographique du bassin de phosphate 34
- **Activité 10** : Les conditions de sédimentation dans un milieu ancien : le bassin houiller de Jérada 36
- **Activité 11** : La réalisation de la carte paléogéographique du bassin houiller de Jérada 38



**Objectifs d'apprentissage**

- Connaître les composants des sédiments détritiques.
- Déduire les modalités de transport des sédiments et les milieux de sédimentation.

## L'étude statistique des constituants des sédiments

L'analyse granulométrique fournit des informations sur les modalités du transport des sédiments et sur leur milieu de sédimentation.

- Quelles sont les étapes de cette étude granulométrique ?
- Comment peut-on exploiter les résultats de cette étude ?

### A L'analyse granulométrique d'un sédiment détritique

**Doc. 1** Classification granulométrique

Un sédiment est un ensemble constitué de particules plus ou moins grosses ou de matières précipitées ayant, séparément, subi certain transport. Les géologues ont divisés les constituants des sédiments détritiques selon leur diamètre et ont élaborés une échelle de classification des sédiments.

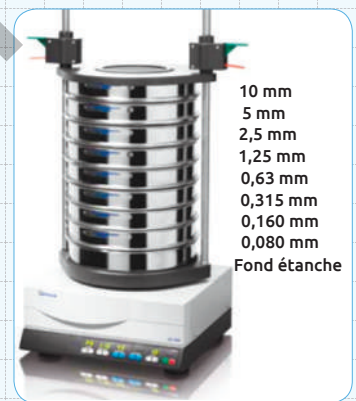


► Classification granulométrique des sédiments

**Doc. 2** Étude granulométrique du sable

**Manipulation :**

- Mettre l'échantillon du sable (1) 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>).
- Rincer l'échantillon du sable et le sécher.
- Mettre 100 g de cet échantillon dans le tamis supérieur d'une série de tamis emboîtés les uns dans les autres (figure ci-contre).
- Agiter les tamis par vibrations circulaires et verticales pendant 15 mm.
- Peser le refus de chaque tamis et déterminer son pourcentage par rapport à la masse totale de l'échantillon étudié.
- Déterminer le refus cumulé de chaque tamis.



► Tamiseuse à vibration  
Les dimensions des mailles des tamis sont décroissantes du haut vers le bas.

### B L'exploitation des résultats de l'analyse granulométrique

**Doc. 3** Histogramme, courbe de fréquence et courbe cumulative

Les résultats concernant le refus et le refus cumulé des différents tamis pour l'échantillon (1) étudié sont présentés par le tableau suivant:

Diamètre en mm	16 à 8	8 à 4	4 à 2	2 à 1	1 à 1/2	1/2 à 1/4	1/4 à 1/8	1/8 à 1/16
% poids	6.25	11.25	20	24.4	22	12.25	2.5	1.35
% cumulés	6.25	11.25 + 6.25 = 17.5	20 + 17.5 = 37.5	61.9	83.9	96.15	98.15	100

**Méthode de représentation :**

- En abscisse: les dimensions des mailles des tamis sur une échelle logarithmique d'une manière rétrograde.
- En ordonnée: les pourcentages pondérales pour le polygone de fréquence (fig.a), et la masse cumulée des lots inférieurs à la taille de la maille considérée pour la courbe cumulée (fig.b)
- Réaliser l'histogramme en dessinant une suite de rectangles, chacun représente une classe de grains ayant un diamètre compris entre deux 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 cumulées pour la courbe cumulée.
- Dessiner la courbe de fréquence (en reliant successivement les médianes des rectangles) et la courbe cumulée (en reliant les diagonales des rectangles).

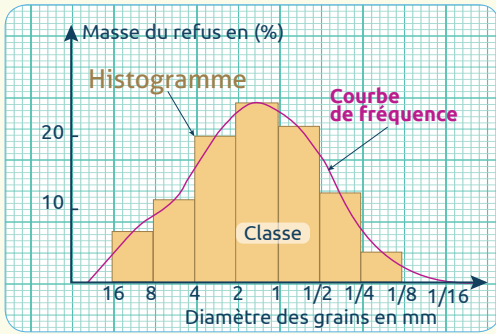


Fig.a : Histogramme et courbe de fréquence de l'échantillon (1)

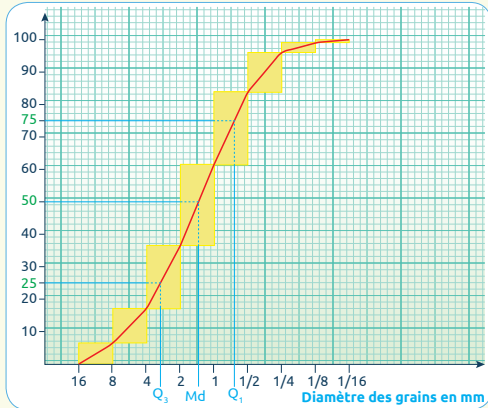


Fig.b : Courbe cumulée de l'échantillon (1)  
Q1 et Q3 sont les quartiles qui correspondent successivement à 75% des refus cumulés et à 25% des refus cumulés.

$S_o = \sqrt{\frac{Q_3}{Q_1}}$	Degré de classement
$S_o < 1,23$	Sable très bien classé
$1,23 \leq S_o < 1,41$	Sable bien classé
$1,41 \leq S_o < 1,74$	Sable moyennement classé
$1,74 \leq S_o < 2$	Sable médiocrement classé
$S_o \geq 2$	Sable très mal classé

Fig.d : Echelle de Fuchtbauer

Diamètre en mm	2	1.6	1.25	1	0.80	0.63	0.50	0.40	0.315	0.250	0.200	0.160	0.125	0.100	0.080	0.063
	-1.6	-1.25	-1	-0.8	-0.63	-0.50	-0.40	-0.315	-0.250	0.200	0.160	-0.125	-0.100	0.080	-0.063	-0.050
Échantillon 2	0	0	0	0	0	0	0	1	5.5	12	41,5	25	10,3	3	1,1	0,5
Échantillon 3	0	4	9.3	11.5	5	4.7	8	9	11	14	10	7	4,5	1,5	0,5	0

Fig.e : Résultats de l'analyse granulométrique de deux échantillons de sables prélevés dans deux milieux différents.

L'analyse de la courbe de fréquence permet de tirer des informations sur l'origine du sable étudié, 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 (grains grossiers.) ou sable saharien (grains fins)
- Une courbe unimodale large 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 mélange de deux ou plusieurs sables ayant des origines différentes. On peut rencontrer ce type de sable en milieu fluviatile.

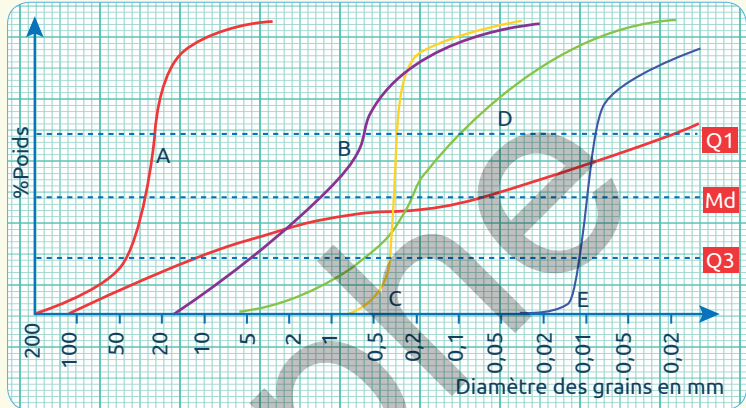


Fig.c : Courbes cumulatives de référence de quelques sédiments  
A : Gravier fluviatile, B : Gravier de plage, C : Sable dunaire, D : Sable fluviatile, E : Löss, F : Sédiment glaciaire.

Pour indiquer la qualité de classement d'un sédiment, on a recours à l'indice de classement ou de Trask ( $S_o$ ). Plus l'indice est élevé plus le classement est mauvais.

L'étude granulométrique de deux échantillons de sable 2 et 3 prélevés dans deux milieux différents a permis l'obtention des résultats représentés dans le tableau de la figure e.

**Piste d'exploitation**

1. **Doc. 1 et doc. 2 : préciser** sur quel critère on se base pour classer les constituants d'un sédiment, et **citer** les principaux composants d'un sédiment détritique.
2. **Doc.3: a.** À partir de l'exploitation de la figure a, **déduire** l'origine du sédiment étudié.  
b. En exploitant les figures. b, c et d, **déterminer** les quartiles  $Q_1$  et  $Q_3$  de l'échantillon 1 et **calculer** son indice de Trask  $S_o$ .
- c. **Comparer** la courbe cumulative de l'échantillon 1 (figure b) avec les courbes de référence (figure c) et **déduire** la nature du milieu de dépôt de cet échantillon.
- d. **Tracer** sur papier millimétré, l'histogramme et le polygone de fréquence des deux échantillons de sable, **analyser** chaque polygone, puis **déduire** l'homogénéité du sable.
- e. **Tracer** la courbe de fréquence et la courbe cumulative pour les deux échantillons de sable 2 et 3, puis **calculer** leurs indices de Trask  $S_o$  et **déterminer** le degré de classement, afin de **déduire** leurs origines.

**Pour conclure**

Le polygone de fréquence donne une idée sur le degré d'homogénéité du sable, alors que la courbe cumulative et l'indice de Trask renseignent sur l'origine du sable, l'agent de transport et le milieu de sédimentation.

**Lexique**

- Refus sur un tamis :** la quantité de matériau qui est retenue sur le tamis.
- Tamisât (ou passant) :** la quantité de matériau qui passe à travers le tamis.
- Granulat :** ensemble de grains minéraux, de dimensions comprises entre 0 et 125 mm.
- Löss :** dépôt sédimentaire détritique meuble d'origine éolien.

Objectifs d'apprentissage

- Déterminer les caractéristiques morphologiques des sédiments.
- Établir la relation entre le sédiment, l'agent de transport et le milieu de sédimentation.

## L'étude morphoscopique des constituants des sédiments

L'étude morphoscopique des éléments détritiques d'un sédiment permet de déterminer la dynamique de transport et le milieu de sédimentation.

- Quel est le protocole expérimental de l'étude morphoscopique ?
- Comment peut-on exploiter les résultats de cette étude ?

### A L'étude morphoscopique des grains de Quartz d'un sable

**Doc. 1** Analyse morphoscopique des grains de Quartz d'un sable

Le quartz est le composant essentiel du sable, 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 permettent de déterminer les modalités et le dynamisme du transport.

**Manipulation :**

- Préparation d'un échantillon de sable selon la technique utilisée dans l'analyse granulométrique ;
- Isolement par tamisage des grains de quartz ayant un diamètre compris entre 0.4mm et 1.6mm ;
- Sélection de 100 grains de quartz sous la loupe binoculaire ; Pour faciliter l'observation, les grains de quartz sont dispersés sur une surface noire en présence de lumière assez forte.
- Trier les grains de quartz, les répartir en trois catégories :  
 Grains à angles très marqués et saillantes : **non usés NU**  
 Grains luisants à angles émoussés et à éclat luisant : **émoussés luisants EL**  
 Grains ronds à surface dépolie : **ronds mats RM**
- Calculer le pourcentage de chaque catégorie.




Diamètre en mm	Aspect des grains	catégorie	Modalité et dynamisme du transport
	Grains transparents anguleux, aux arêtes tranchantes	Grains non usés (NU)	Sable ayant subi un transport de faible distance
	Grains transparents, luisants et très arrondis	Grains émoussés luisants (EL)	Sable ayant subi un long transport par l'eau.
	Grains arrondis et dépolis	Grains ronds mats (RM)	Sable ayant subi un long transport par le vent : transport éolien

Fig.a : Caractéristiques des trois types de grains de quartz.

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

Fig.b : Résultats de l'étude morphoscopique de trois échantillons de sable.

## B L'étude morphoscopique des galets

### Doc. 2 Analyse morphoscopique des galets

Les galets sont des cailloux arrondis par usure mécanique, leur diamètre varie entre 20mm et 200 mm. Leur étude porte sur le degré d'arrondissement, sur leur orientation liée aux courants, sur l'aspect de leur surface. Ces éléments caractérisent les types d'érosion et de transport.

#### Manipulation :

- Laver les échantillons de galets avec de l'eau ;
- Sécher à l'étuve ;
- Observation à l'œil nu des galets, examiner leur morphologie, usures, arrondissement, aplatissement, asymétrie, martelage des faces ;

Type de galet	Aspect	Caractéristiques
Galet fluviatile		Galet émousé. 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 sableuses 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 émousées. - Surfaces gravées.
Galet glaciaire		Galet poli, très émousé et présentant des stries qui témoignent des frottements avec les murs rocheux au cours du transport par les glaciers.

► Principales caractéristiques morphologiques des galets .

#### Piste d'exploitation

- 1. Doc.1 : a. Réaliser** l'analyse morphoscopique d'un échantillon de sable selon le protocole expérimental, et **identifier** les principales catégories de grains de quartz.
- b. Transformer** les résultats de la figure b, en diagramme circulaire, puis **déduire** la durée, le mode de transport et le milieu de sédimentation pour les trois échantillons étudiés.
- 2. Doc.2 :** A partir de l'analyse de l'étude morphoscopique des échantillons de galets, **dégager** leurs caractéristiques morphologiques, et **établir** la relation entre l'aspect et la morphologie des galets et leurs milieux de sédimentation.

#### Pour conclure

L'étude morphoscopique des sédiments repose sur la morphologie externe des grains de quartz et des galets : Pour les grains de quartz, la forme arrondie indique que les grains ont été transportés sur de longues distances, tandis que les formes anguleuses traduisent un transport inexistant ou très court. Pour les galets, les traces et les usures à la surface donnent des indices sur le mode de transport (éolien, côtier, fluviatile, glaciaire).

#### Lexique

**Quartz** : minéral résistant à l'érosion, se présente sous forme de cristaux de verre, et très abondant dans les roches granitiques.

**Morphoscopie** : examen de la forme des grains de quartz.

**Emoussé** : rendu moins aigu et moins tranchant.

**Luisant** : brillant.

**Mat** : peu transparent et non brillant.



Objectifs d'apprentissage

- Décrire, et interpréter les figures sédimentaires les plus susceptibles d'être observées dans les dépôts, principalement détritiques.
- Mettre en évidence l'importance des figures sédimentaires.

# Les figures sédimentaires

Les structures ou figures sédimentaires constituent un important indicateur des conditions de transport et de dépôt des sédiments.

→ Comment ces structures peuvent nous renseigner sur la dynamique et les conditions de sédimentation ?

→ Quels sont les différents types de figures sédimentaires ?

## A Les rides ou "ripples"

### Doc. 1 Rides de vagues et de courant

Ce sont des formes essentiellement développées en contexte sableux. Les rides sont très communes sur les surfaces des bancs. On distingue deux grands types de rides en fonction de leurs dimensions.

- **Les rides de vagues** : d'une dizaine de centimètre, elles sont formées par l'action des vagues sur un sédiment non cohérent, en général dans la gamme des sables fins. Elles sont symétriques (A), car les filets d'eau décrivent des orbites circulaires (aplaties à proximité du fond), provoquant un mouvement de va et vient sur le substratum.
- **Les rides de courant** : d'une longueur variant de 10 à 30 centimètres et d'une hauteur variant de 1 à 60 millimètres, elles sont générées par l'action de courants unidirectionnels. Les courants produisent des rides asymétriques (B), par dépôt sur la face aval à l'intervention du courant de retour qui bloque l'avancée des grains (C). Dès que la pente de la face aval dépasse le talus d'équilibre, une avalanche se produit et une lamine est créée. L'asymétrie qui les caractérise permet de déduire le sens du courant: pente forte en aval, pente faible en amont.

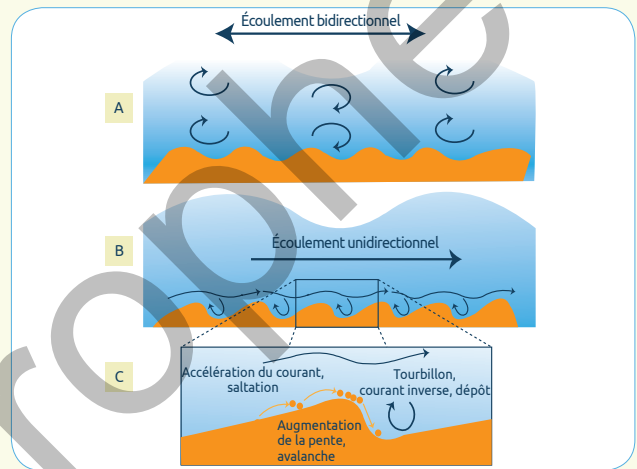


Fig.a : Rides des vagues (A), rides de courant (B) et (C)



Fig.b : Rides de vagues actuelles



Fig.c : Rides de vagues fossiles



Fig.d : Rides de courant

## B Les dunes

### Doc. 2 Type et mécanisme de formation de dunes

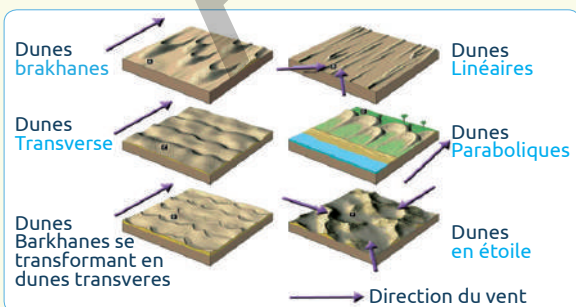


Fig.a : Différents types de dunes.

Les dunes sont des marqueurs de sédimentation éolienne, elles peuvent être littorales ou continentales, elles prennent des formes et des tailles variées, elles peuvent atteindre 5 à 10 mètres de hauteur.

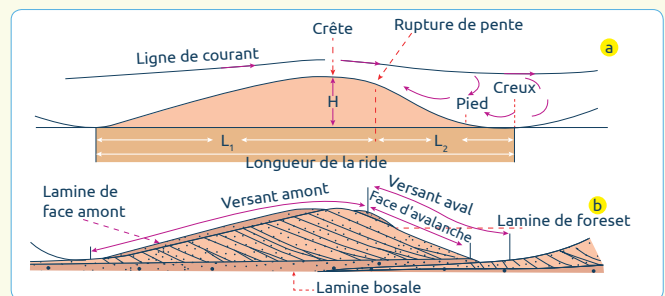


Fig.b : Dynamique d'une dune.

H : hauteur de la ride

$L_1$  : Projection horizontale du versant amont,

$L_2$  : projection horizontale du versant aval.

Le courant d'air accumule des congères de sables sur la crête provoquant ensuite des avalanches sur le versant aval.

## C Les figures d'origine climatique et les figures d'origine biologique

### Doc. 3 Figures d'origine climatique



**Fig. a :** Fentes de dessiccation actuelles (mud cracks)

Le sédiment fin, se dessèche, se rétracte et se fend ; les fentes de retrait ou fissures dessinent des polygones de dessiccation. Elles caractérisent des milieux continentaux ou mixtes soumis à des variations saisonnières ou climatiques.

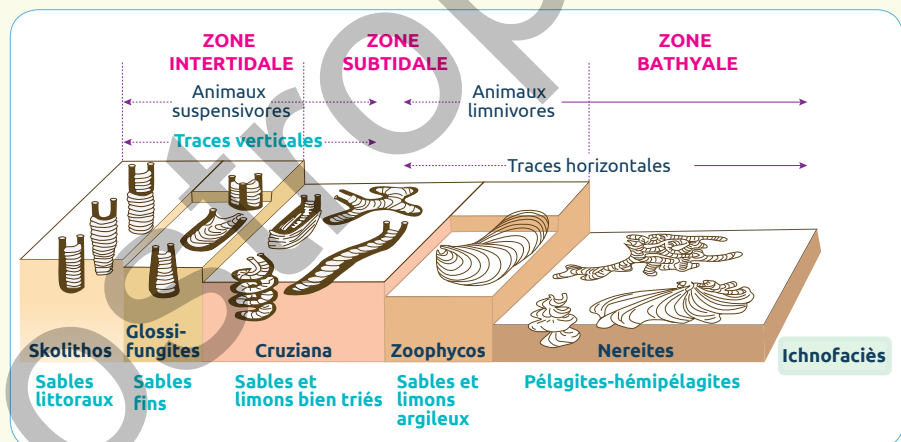


**Fig. b :** Gouttes de pluie fossiles (rain drops)

Lorsque les gouttes de pluie frappent la surface d'un sédiment non consolidé, elles forment des petits cratères circulaires. Leurs traces sont le plus souvent conservées lorsqu'elles affectent des sédiments très fins et secs et que les gouttes ne se recouvrent pas.

### Doc. 4 Figures d'origine biologique

L'activité des organismes vivant à l'intérieur du sable humide du littoral, peut perturber et laisser des traces sur et dans le sédiment : on parle de bioturbation. Ces traces vont être conservées après lithification : ce sont les traces fossiles ou ichnofaciès qui permettent la reconstitution de la paléogéographie.



► Bioturbation et position des principaux ichnofaciès en milieux marins et continentaux

### Piste d'exploitation

- **1.Doc.1 :** À partir de l'exploitation des figures a, b et c, **déterminer** les différents types de rides ; et **déduire** l'importance de la présence des rides fossiles dans un milieu ;
- **2.Doc.2 :** En exploitant les figures a, b et c, **déterminer** les différents types de dunes, **expliquer** le mécanisme de formation de dunes, et **préciser** les facteurs de variation de la morphologie des rides ou des dunes.
- **3.Doc.3 :** À partir de l'exploitation des figures a et b, **préciser** les informations fournies par la présence des fentes de dessiccation et les gouttes de pluie fossiles
- **4.Doc.4 :** **déduire** l'importance des traces fossiles de l'activité des êtres vivants dans les sédiments anciens.

### Pour conclure

Les figures se distinguent en fonction de leur genèse : Traces liées à l'hydrodynamisme, traces d'origine biologique, Traces d'origine climatique.  
Les figures sédimentaires sont des indicateurs des conditions de transport et de dépôt des sédiments.

### Lexique

**Faciès :** ensemble de caractères sédimentologique et paléontologiques qui permettent de reconstituer le milieu de sédimentation.

**Ichnofaciès :** assemblage de traces fossiles qui fournit une indication des conditions que leurs organismes de formation peuplaient.

**Tidale :** relatif aux marées, variations journalières du niveau de la mer.

**Bioturbation :** remaniement des sols et des sédiments par les animaux ou les plantes.

**Limnivre :** se dit d'un animal qui se nourrit des divers éléments organiques de la vase.



- Découvrir les facteurs de transport des sédiments.
- Dédire les modes de transport des sédiments.

## La dynamique et les agents de transport des sédiments

Les particules détritiques issues de l'érosion peuvent être transportées par différents agents sur des distances plus ou moins importantes, et finissent par se déposer sur des bassins sédimentaires.

- Quels sont les facteurs intervenant dans la dynamique de transport de ces particules ?
- Quels sont les différents modes de transport de ces particules ?

### A La dynamique d'un cours d'eau

Doc. 1 Comportement des particules en fonction de leur taille et de la vitesse du courant

**Manipulation :**

- Placer les matériaux, sable, graviers et galets sur une gouttière inclinée de 10° ;
- Verser de l'eau en amont de la gouttière.
- Réaliser la même expérience avec une gouttière inclinée de 30°.

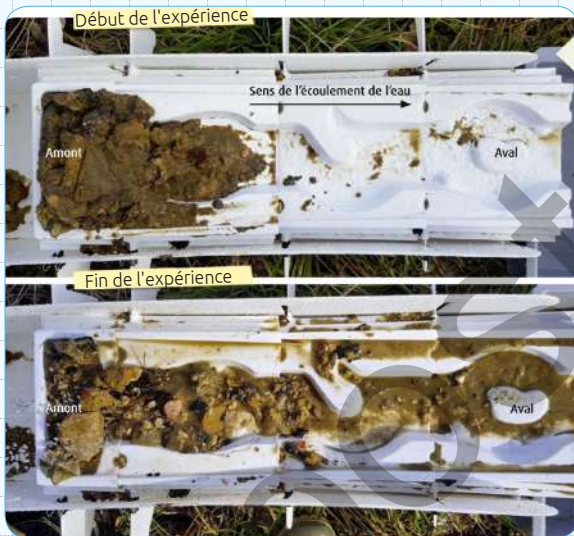


Fig.a : Dispositif expérimental.

Les résultats d'un échantillon de sédiment prélevés sur le fond d'un cours d'eau a permis d'obtenir les résultats répertoriés dans le tableau suivant :

	Inclinaison de 10°	Inclinaison de 30°
Galets	0	46 g
Graviers	28 g	185 g
Sable	344 g	484 g
total	372 g	705 g

Fig.b : Produits recueillis dans le bac de récupération

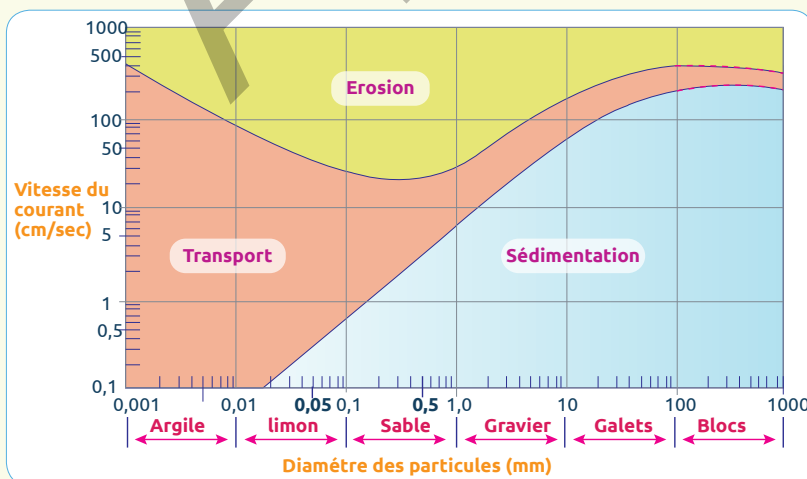


Fig.b : Diagramme de Hjulström

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 laboratoires afin de déterminer la vitesse d'un courant nécessaire pour mobiliser, transporter et déposer des grains.

## B Les modes de transport des particules détritiques

### Doc. 2 Modes de transport des sédiments par l'eau et par le vent

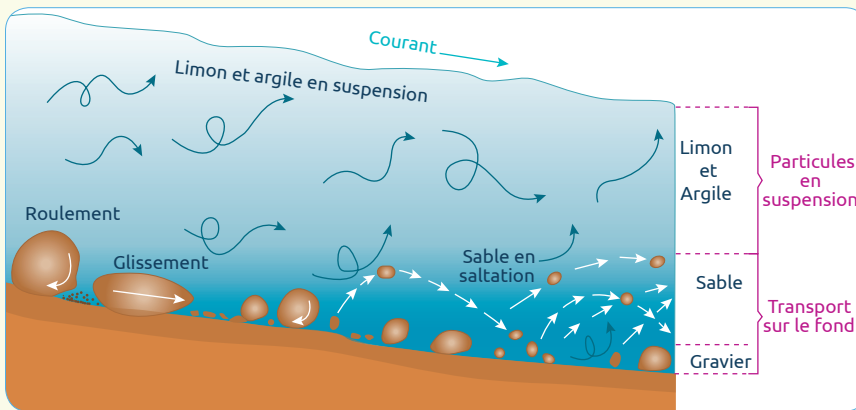


Fig.a : Modes de transport des sédiments dans l'eau

L'eau transporte des matériaux détritiques, de taille très variable, en suspension et des éléments en solution.

Les substances insolubles peuvent être transportées par flottaison si leur densité est inférieure à 1, par suspension dans la masse liquide, par roulement, sauterie ou glissement au voisinage du fond.

Le vent est le principal agent de transport dans les régions désertiques.

Sans humidité ni végétation, qui ont tendance à retenir les particules, celles-ci sont ainsi facilement transportées selon trois modes: Le roulement, ou traction, qui concerne les plus grosses particules, la sauterie, concerne les particules de taille moyenne et la suspension concerne les particules les plus fines et qui sont souvent transportées sur de très longues distances.

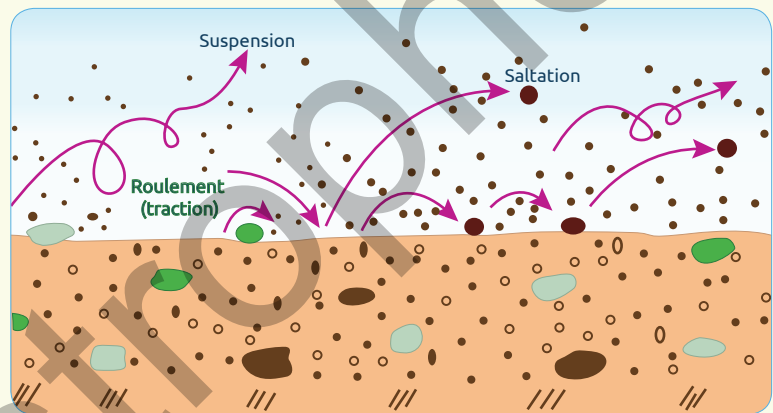


Fig.b : Modes de transport des sédiments par le vent

### Piste d'exploitation

1. **Doc.1 : a. Analyser** les résultats de la figure a, **déduire** les facteurs intervenant dans le transport massif des matériaux.
- b.** En exploitant les données de la figure b, **déterminer** les domaines du diagramme d'approche expérimentale et les facteurs influençant le comportement d'une particule sédimentaire dans un milieu.
- c. préciser** le comportement d'un grain de sable soumis à une vitesse supérieure à 20 cm/s, et à une vitesse au dessus de 2 cm/s.
- d.** Pour un courant de 100 cm/s, **préciser** le comportement des particules inférieures à 0.05mm, et celles comprises entre 0.05 mm et 10 mm.
- e. Déterminer** la vitesse minimale permettant l'érosion d'une particule de 0.01 mm.
2. **Doc.2 : Déterminer** les différents modes de transport des particules, et **préciser** quelques facteurs intervenant dans ce transport.

### Pour conclure

La vitesse du courant d'eau varie en fonction de la pente du relief et du débit d'eau.  
L'augmentation de la vitesse du courant permet le transport d'une charge importante de sédiment de taille de plus en plus grande.  
La baisse de la vitesse du courant d'eau, de l'amont vers l'aval, et la taille des éléments détritiques sont les facteurs principaux de la sédimentation.

### Lexique

**Débit d'eau :** c'est le volume d'eau qui traverse une section pendant l'unité de temps (s'exprime généralement en  $m^3 \cdot s^{-1}$ )

**Sauterie :** désigne les mouvements irréguliers de sauts des particules d'un point à un autre.

**Objectifs d'apprentissage**

- Déterminer les conditions de sédimentation dans les principaux milieux continentaux.
- Dégager les caractéristiques des sédiments déposés dans chaque milieu.

## Les conditions de sédimentation dans les milieux continentaux

Le domaine continental se caractérise par des milieux qui diffèrent par des conditions de sédimentation.

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

### A Les conditions de sédimentation dans les cours d'eau

**Doc. 1** Processus d'érosion dans un cours d'eau



Fig.a : Méandre Loukkos (Larache)

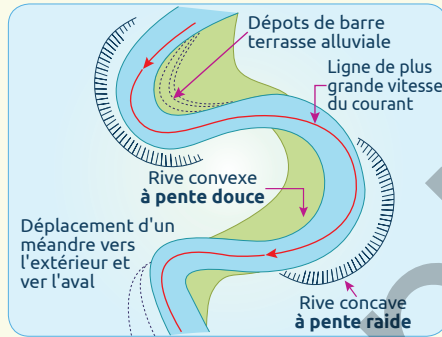
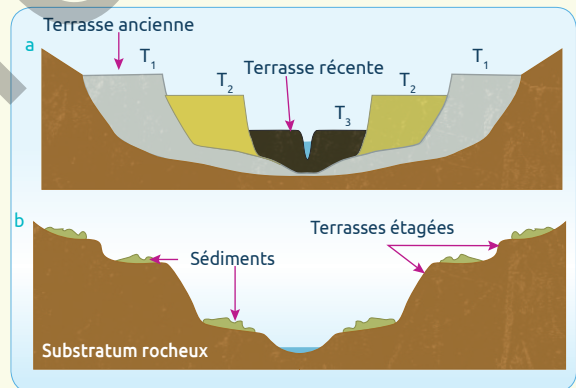


Fig.b : Schéma d'interprétation

Le dépôt des alluvions se réalise sur la rive convexe, là où la vitesse du courant est plus faible, l'érosion se produit sur la rive concave, là où la vitesse du courant est plus grande. Le couple érosion –dépôt entraîne un déplacement latéral du méandre vers l'extérieur, causant alors un élargissement de la vallée.

**Doc. 2** Terrasses fluviales

Une rivière produit des niveaux fluviaux étagés à phase érosive dominante, ou emboîtés à phase de sédimentation dominante appelés terrasses. Une terrasse alluviale ou terrasse fluviale est une zone plane, située sur les versants d'une vallée et constituée par des alluvions, une terrasse apparaît chaque fois que les rivières s'encaissent dans leurs propres alluvions : la surface de l'ancien lit majeur est alors suspendue au dessus du fleuve, la formation de terrasses fluviales est due à des variations de dynamique du cours d'eau qui les forme. Cette dynamique dépend essentiellement du climat, de la pente, du débit, de la quantité de matériaux transportés, et la dureté des roches sur lesquelles coule le cours d'eau.



▶ Terrasses emboîtées(a); Terrasses étagées(b)

### B Les conditions de sédimentation dans les milieux désertiques, lacustres et glaciers

**Doc. 3** Milieux désertiques

Dans les milieux désertiques, ce sont les dépôts éoliens qui constituent la majeure partie des sédiments actuels. Les roches sédimentaires d'origine désertique sont caractérisées par des grains sableux arrondis et dépoli (rond-mat) bien classés et à matrice argileuse pauvre et des galets à trois faces dépolies. Les dépôts de sables forment les dunes dont la morphologie dépend de la couverture sableuse, de l'écoulement du vent (unidirectionnel ou bidirectionnel). Les barkhanes ne se forment que dans des endroits désertiques où le vent souffle en moyenne dans une seule direction tout au long de l'année, et où le sable est relativement peu présent (entre les dunes, il n'y a pas beaucoup de sable mais plutôt de la roche nue et quelques arbustes).

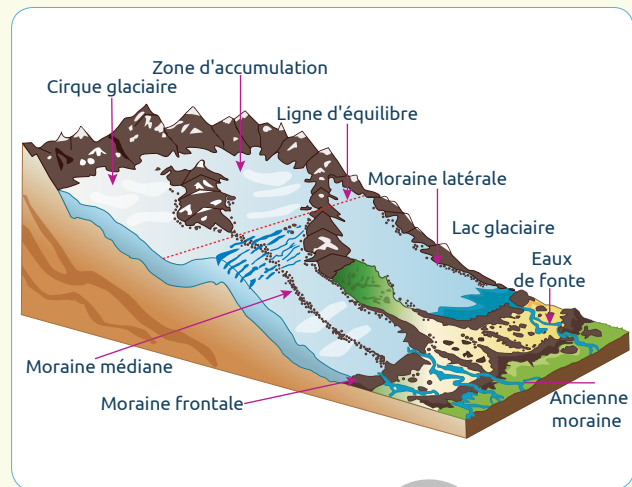


▶ Dune barkhane

**Doc. 4** Dépôts glacières

Les moraines sont des accumulations détritiques très complexes et variées. Caractérisés par l'absence de stratification et l'hétérogénéité de la granulométrie. La classification des moraines est basée sur la position des matériaux lors du transport. On peut distinguer :

- La moraine supra-glaciaire ou superficielle, constituée de blocs éboulés sur le glacier ou amenés par les avalanches et qui sont transportés de manière passive sur le glacier.
- La moraine intra-glaciaire, qui est constituée par les matériaux enfouis dans le glacier et transportés à l'intérieur des lames de glace ;
- La moraine sous-glaciaire ou moraine de fond, qui correspond au transport dans la glace basale et entre le glacier et le fond rocheux.

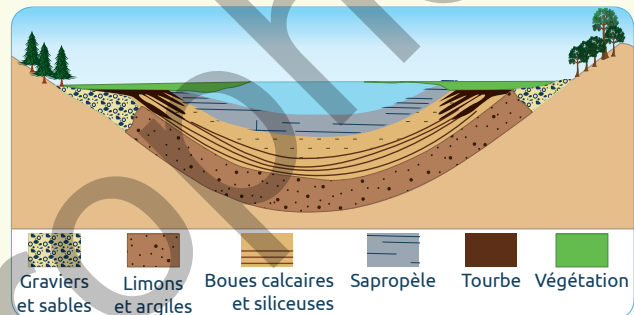


► Dépôts glacières

**Doc. 5** Milieux lacustres



**Fig.a** : Lac d'Ifni



**Fig.b** : Coupe schématisique dans un lac

**a. La sédimentation détritique** : Se fait selon une zonation concentrique: galets le long des rives, sables dans les zones périphériques, vases dans le centre plus profond et plus calme.

**b. La sédimentation chimique et biochimique** : Elle dépend du climat, du chimisme de l'eau et de l'activité organique. Sous climat froid, l'hydroxyde ferrique précipite en pisolites, les frustules siliceuses de **diatomées** s'accumulent. Sous climat tempéré, il y a surtout précipitation de carbonate de calcium sous forme de calcite, en manchon autour des plantes et entoure les grains pour former des **oncolites** qui peuvent s'accumuler en un sable calcaire. Les débris carbonatés du phytoplancton constituent une **vase calcaire** sur le fond.

En climat humide et frais, la végétation herbacée se décompose sur place en **tourbe**. Sous climat chaud et humide, l'eau se stratifie et le fond devient anoxique. La matière organique s'accumule en grande quantité et donne un **sapropèle** (vase noire) ou un lignite (débris de matière ligneuse). En climat sec, l'évaporation est très forte et les sels précipitent sur les berges (gypses, silice...).

**Piste d'exploitation**

1. **Doc. 1** : En exploitant les figures a et b, **préciser** la différence entre les deux rives du cours d'eau, et **expliquer** l'élargissement de la vallée vers l'extérieur.
2. **Doc. 2** : **expliquer** le mode de formation des deux types de terrasses fluviales.
3. **Doc. 2** : **Doc. 3**, **Doc. 4**, et **Doc. 5**, **dégager** sous forme d'un tableau les caractéristiques des différents milieux de dépôts continentaux (fluviale, désertique, lacustre, et glaciaire).

**Pour conclure**

L'analyse des sédiments des rivières, désertiques, lacustres ainsi que ceux des glaciers, apportent de nombreuses informations : variations de dynamique du courant hydrique ou éolien, changements du climat régional, ils sont donc révélateurs des conditions du milieu de dépôt.

**Lexique**

- Alluvion** : dépôt de sédiments, tels du sable, de la vase, de l'argile, des galets, du limon ou des graviers, transportés par de l'eau courante.
- Dune** : Monticule sablonneux édifié par le vent sur les littoraux et dans les déserts.
- Berge** : bord d'un cours d'eau.
- Oncolite** : roche calcaire généralement arrondis ou aplatis.



**Objectifs d'apprentissage**

- Déterminer les conditions de sédimentation dans les principaux milieux intermédiaires.
- Dégager les caractéristiques des sédiments déposés dans chaque milieu.

## Les conditions de sédimentation dans les milieux intermédiaires

Les milieux de dépôt intermédiaires sont situés aux limites du domaine continental et du domaine marin, ils présentent des caractères mixtes et sont caractérisés par des conditions de sédimentation particulières.

- Quelles sont les conditions de dépôt dans les différents milieux intermédiaires ?
- Quelles sont les caractéristiques des sédiments dans ces milieux ?

### A Les conditions de sédimentation au niveau de l'embouchure d'un cours d'eau dans la mer

**Doc. 1** Conditions de sédimentation dans le delta et l'estuaire

L'embouchure d'un cours d'eau dans la mer représente un domaine intermédiaire où s'affrontent les influences marines et fluviales. Le fleuve apporte des matériaux qui s'accumulent et gagnent sur la mer; la mer déblaie et remanie les matériaux apportés. Le résultat dépend du rapport de force existant entre le fleuve et la mer. Lorsque le fleuve a une influence dominante, il construit un delta; lorsque la mer est dominante, l'embouchure est un estuaire. Il existe en fait des intermédiaires entre ces deux types.



Fig. a : Photo satellite du delta de Nil

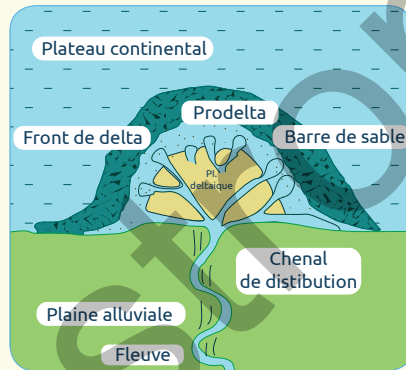


Fig. b : Composantes morphologiques d'un delta



Fig. c : Photo aérienne de l'estuaire de l'Elbe

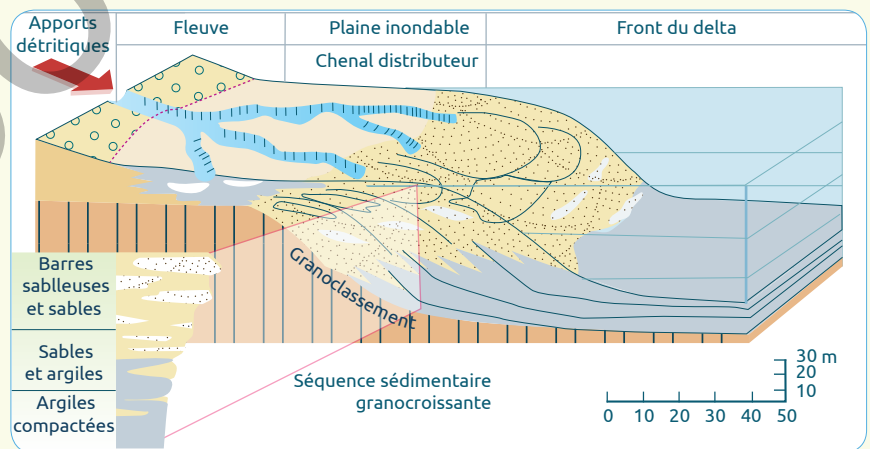
La partie distale du bassin versant d'un fleuve est généralement une large plaine alluviale où s'accumule une grande partie des matériaux transportés. Arrivé en mer, le courant décélère et le reste de la charge se dépose et forme le delta. L'apport continu des sédiments dans le delta fait avancer ce dernier dans le domaine marin: c'est la **progradation deltaïque**.

Un delta se décompose en 3 parties :  
**La plaine deltaïque** : parcourue par un réseau de chenaux ramifiés où les barres sableuses et des galets se déposent.

**Le front de delta** : est le prolongement de la plaine deltaïque sous la mer.

**Le prodelta** : partie la plus externe et la plus profonde du delta ; il s'y dépose des sédiments fins généralement bioturbés, car très riches; en matière organique d'origine continentale.

L'embouchure est un estuaire quand le fleuve apporte peu de matériaux grossiers, surtout des suspensions fines et des matières en solution, et quand l'hydrodynamisme marin est fort: fortes marées, forte houle, courants littoraux. Le sédiment caractéristique est la vase qui est formée de particules fines (limons, argiles), de sulfures et d'hydroxydes de fer et de colloïdes organiques.



► Partie distale du bassin versant d'un fleuve

## B Les conditions de sédimentation dans la lagune

### Doc. 2 Conditions de sédimentation dans la lagune d'Oualidia

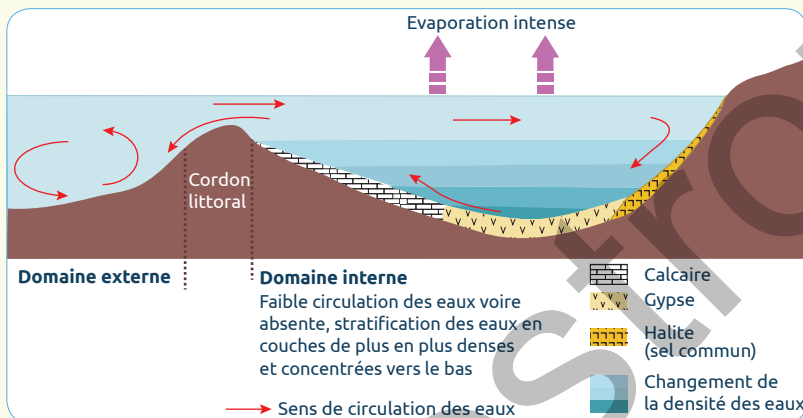


**Fig.a :** Photo aérienne du lagon d'El Oualidia

La lagune d'Oualidia est séparée de l'Océan Atlantique par une barrière de dunes consolidées. Le régime hydrologique se caractérise par une absence d'apports d'origine tellurique et une alimentation essentiellement marine par l'intermédiaire de passes permanentes.

L'étude des sédiments actuels détermine deux ensembles:

- D'une part un domaine à influence marine prépondérante caractérisé par des sédiments azoïques sableux pauvres en matière organique, mais riches en carbonates d'origine biogénique.
- D'autre part un domaine à influence typiquement lagunaire caractérisé par des sédiments présentant des concentrations plus élevées en matière organique, tandis que celles des carbonates sont faibles. La microfaune est une biocénose de type lagunaire, la granulométrie sommaire est le reflet de la dynamique du milieu, à savoir des faciès grossiers (sable) près des passes et des chenaux, et des faciès de plus en plus fins vers le fond de la lagune.



**Fig.b :** Schéma explicatifs de la sédimentation dans la lagune

Dans le domaine interne, l'évaporation intense entraîne une concentration élevée des eaux de surface qui deviennent plus denses, il en résulte une stratification des eaux et la mise en place d'un gradient de densité et de concentration. Les couches les plus concentrées s'accumulent sur le fond ou elles sont piégées, ne pouvant s'échapper du fait de la barrière. Ce phénomène conduit à la formation des évaporites et des carbonates.

Les évaporites sont des sédiments résultant de l'évaporation de l'eau et de la précipitation des sels qui y sont dissous. Les minéraux principaux en sont le gypse ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), l'anhydrite ( $\text{CaSO}_4$ ), et la halite ( $\text{NaCl}$ ).

L'apparition progressive des précipités suite à l'évaporation de l'eau de mer (salinité 3,5%), donne la séquence suivante :

- La calcite ou de l'aragonite précipitent lorsque le volume de l'eau est réduit de 50%;
- Le gypse et l'anhydrite commencent à précipiter lorsque le volume de l'eau de mer n'est plus que 35% du volume initial;
- La halite et la sylvite ( $\text{KCl}$ ) cristallisent lorsque le volume de l'eau n'atteint plus que 10% du volume de départ ;

### Piste d'exploitation

- 1. Doc. 1, et Doc.2 : À partir de l'exploitation des différentes figures, **dégager** sous forme d'un tableau les caractéristiques des différents milieux de dépôts intermédiaires.

### Pour conclure

Au niveau de l'embouchure, la sédimentation dépend du rapport de force entre le fleuve et la mer ; Dans le milieu lagunaire, la sédimentation est caractérisée par des dépôts carbonatés et des évaporites suite à la dominance de l'évaporation sur le renouvellement des eaux.

### Lexique

**Lagon :** étendue d'eau peu profonde séparée de la mer par un cordon littoral;

**Progradation :** phénomène d'avancée progressive de la terre dans la mer ;

**Azoïque :** Se dit d'un milieu ne présentant aucune trace de vie, en particulier de vie animale.



**Objectifs d'apprentissage**

- Déterminer les conditions de sédimentation dans les principaux milieux marins.
- Dégager les caractéristiques des sédiments déposés dans chaque milieu.

# Les conditions de sédimentation dans les milieux marins

Dans les milieux marins, les caractéristiques de sédiments varient en fonction des conditions de dépôt.

→ Quelles sont les caractéristiques de sédiments, et quelles sont les conditions de dépôt ?

## A Les zonations bathymétrique et sédimentaire océanique globale

**Doc. 1** Morphologie sous marine

**Zonation bathymétrique océanique globale :**

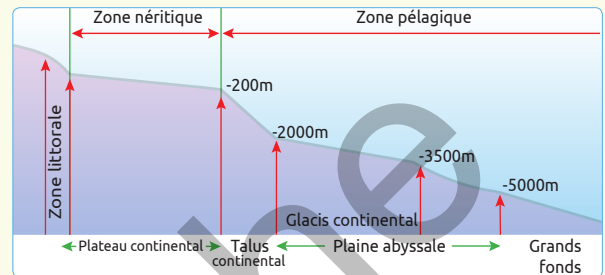
En se basant sur la bathymétrie, on distingue :

**Le plateau continental :** zone de faible profondeur et de faible pente (<1°) située entre le trait de côte et le talus continental.

**Le talus continental :** zone d'augmentation brutale de la pente, et par la suite une augmentation brutale de la profondeur.

**Le glacis continental :** zone de transition entre le talus et la plaine abyssale ;

**La plaine abyssale :** zone de très faible pente, presque plane, de fortes profondeurs (> 4000 m).



► Répartition des zones océaniques

**Zonation sédimentaire océanique :** En se basant sur la nature des sédiments, on distingue :

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

**La zone pélagique :** s'étend de -220 m jusqu'aux profondeurs qui dépassent - 5000 m, elle englobe :

**le domaine pélagique bathyal :** domaine du talus et du glacis continental

**Le domaine pélagique abyssal :** domaine de la plaine abyssale et les grands fonds océaniques.

## B Les caractéristiques de la sédimentation des zones du milieu marin

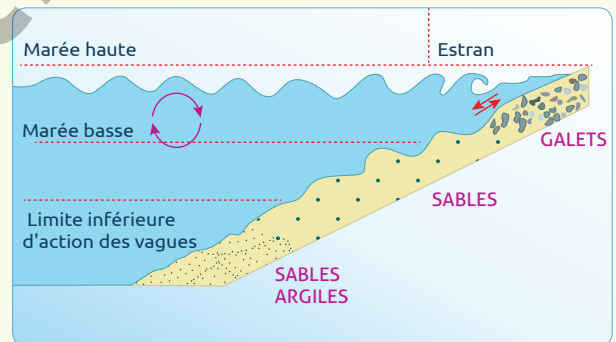
**Doc. 2** Conditions de dépôt dans la zone littorale et le plateau continental

- Les plages côtières sont des lieux d'accumulation de sables bien triés, à grains de quartz émoussés luisants, plus rarement de galets, situés le long du rivage. L'hydrodynamisme est maximal dans la zone de déferlement des vagues, les sédiments déposés sont grossiers (sables et galets).
- Le plateau continental est un replat marin à pente faible, caractérisé par des origines multiples des dépôts sédimentaires :

\* **Les dépôts terrigènes :** galets, sables, et vases ;

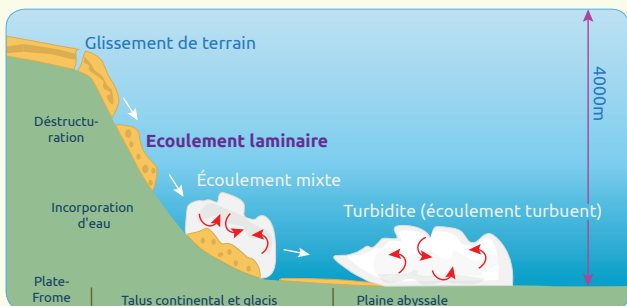
\* **Les dépôts d'origine biologiques ou biochimiques :** sédiments carbonatés formés par des organismes constructeurs ou par précipitation biochimique de CaCO<sub>3</sub>.

\* **Les dépôts évaporitiques.**

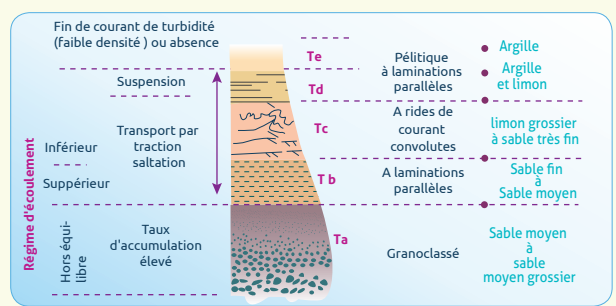


► Répartition des éléments détritiques sur une plage en fonction de l'hydrodynamisme

**Doc. 3** Conditions de dépôt à la base du talus et glacis continental



**Fig.a :** Naissance d'une turbidite



**Fig.b :** Turbidites : Modèle de Bouma (1962)

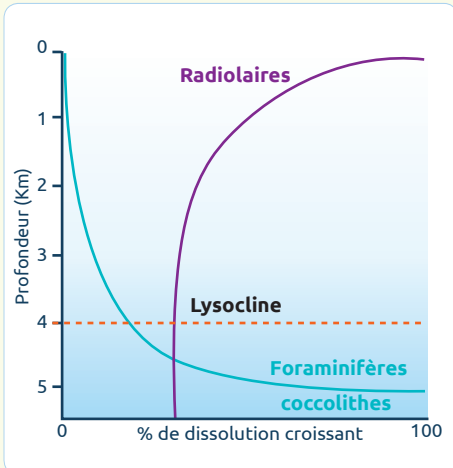
Un glissement de terrain dans la partie supérieure du talus continental mobilise une grande masse de sédiment. Les sédiments déposés par les courants de turbidite sont appelés turbidites.

**Doc. 4** Conditions de dépôts dans la plaine abyssale

Les grands fonds océaniques ne reçoivent guère que des particules détritiques fines et des squelettes de microorganismes planctoniques. Les particules terrigènes sont principalement des argiles rouges d'origine continentale apportées en suspension par les courants océaniques et des poussières transportées par les vents qui proviennent de l'érosion continentale.

**Les boues calcaires :**

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 pression. Au delà d'une certaine profondeur, tous les débris carbonatés sont dissous et le sédiment ne contient pas de carbonates: cette limite est la profondeur de **compensation des carbonates ou CCD** (Carbonate Compensation Depth). Cette limite est située vers -5000 m dans l'Atlantique. Elle est moins profonde dans les hautes latitudes où l'eau est plus froide.



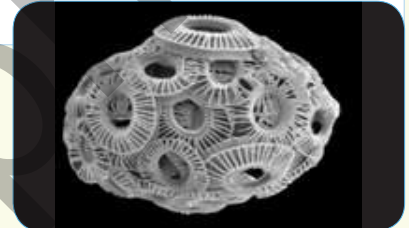
**Fig. a :** Courbes de dissolution des tests siliceux (Radiolaires) et calcaires (Foraminifères et Coccolithes) en fonction de la profondeur.

Les boues calcaires se déposent sur les fonds au-dessus de la CCD qui ne reçoivent pas d'apports terrigènes importants. Selon la nature des organismes, on distingue :

- Les boues à **Foraminifères**, abondantes dans l'Atlantique;
- Les boues à **coccolithes**, petites plaques d'une dizaine de microns, plus petites donc plus solubles que les tests de Foraminifères;
- Les boues à **Ptéroportes**, coquilles très fines de mollusques pélagiques, très facilement dissoutes (elles ne se déposent pas au delà de -2000m)



**Fig. b :** Foraminifère.



**Fig. c :** Coccolithe .

**Les boues siliceuses :**

La dissolution des tests siliceux est grande dans les eaux superficielles sous-saturées en silice. Elle diminue en profondeur sous l'effet de la pression et de la basse température. Au dessous de la CCD, la sédimentation siliceuse domine à condition que la production de silice par le plancton ait été suffisamment importante en surface. On distingue :

- Les boues à Diatomées abondantes dans les mers froides;
- Les boues à Radiolaires bien représentées dans la zone équatoriale des océans Pacifique et Indien.



**Fig. d :** Radiolaire .

**Piste d'exploitation**

- 1. Doc. 1 :** En tenant compte de la nature des sédiments, **déterminer** les différentes zones de sédimentation marine.
- 2. Doc. 2 :** **Expliquer** la richesse en carbonates des sédiments du plateau continental.
- 3. Doc. 3 :** A partir de l'exploitation des figures a et b, **identifier** les différentes unités de la série turbiditique, et **préciser** les caractéristiques de chaque unité, puis **expliquer** comment cette

série permet de **déduire** les conditions de sédimentation.

**4. Doc. 4 :** A partir de l'analyse de la figure a, **expliquer** la répartition des boues calcaires et siliceuses dans la plaine abyssale et **déterminer** le facteur impliqué dans cette répartition.

**5. Dégager** sous forme d'un tableau les caractéristiques des différents milieux de dépôt marin.

**Pour conclure**

La sédimentation dans les milieux marins est influencée par plusieurs facteurs : Le climat, l'activité biologique, le relief sous marin et les conditions hydrodynamiques particulières de ces milieux marins.

**Lexique**

**Bathymétrie :** La science de la mesure des profondeurs des fonds des océans ;

**Estran :** zone de balancement des marées ou zone intertidale ;

**Néritique :** zone marine située entre la zone littorale et le 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.

**Hydrodynamisme :** ensembles des événements impliqués dans le déplacement des masses d'eau (houle, marée, courant, turbulence)

**Lysocline :** profondeur où la dissolution des carbonates de calcium augmente brusquement

- Dégager les caractéristiques sédimentaires des roches phosphatées.
- Déterminer les conditions de sédimentation des phosphates.

# La sédimentation dans un ancien bassin sédimentaire : le bassin phosphaté

Le Maroc possède les plus importants gisements des phosphates dans le monde, soit plus de trois quarts des réserves mondiales. Ces gisements représentent un phénomène sédimentaire d'une ampleur exceptionnelle.

- Quelles sont les caractéristiques des sédiments phosphatés au Maroc ?
- Quelles sont les conditions de sédimentation et de formation des phosphates au Maroc ?

## A Les roches phosphatées au Maroc

### Doc. 1 Nature et composition des roches phosphatées au Maroc

Les ressources phosphatées marocaines se répartissent en plusieurs bassins, différents les uns des autres, aussi bien par leurs superficies que par leurs teneurs, en quatre principaux bassins sédimentaires. Du Nord au Sud, il s'agit des bassins de :

- Ouled Abdoun (région de Khouribga).
- Gantour (régions de Youssoufia et Benguérir).
- Meskala (régions d'Essaouira, Chichaoua et IminTanout).
- Oued Eddahab (régions de Laâyoune et Boukraâ).

Les phosphates sont des roches exogènes contenant une quantité plus ou moins élevée en  $P_2O_5$ . Il y en a deux familles de phosphate : La première liée à l'apatite est dite phosphatite. La deuxième famille est dite phosphorites qui se classent surtout par sa richesse en  $P_2O_5$  qui doit être supérieur à 18 %. L'étude pétrographique permet de distinguer trois types de faciès bien distincts : **Le phosphate sableux ; le calcaire phosphaté et le silex phosphaté ;** L'observation au microscope optique a montré que les faciès sédimentaires phosphatés sont constitués par quatre principaux composants phosphatés :

- \* **Les particules squelettiques (PS) ou bioclastes :** Ils regroupent tous les éléments figurés des tests des microorganismes comme les fragments d'os et les dents de poissons avec une taille supérieure à 2mm.
- \* **Les grains phosphatés (GP) :** Sont des grains sphériques à ovoïdales de taille entre 100 µm à 400 µm. Ils constituent la fourchette granulométrique la plus dominante dans les phosphates étudiés.
- \* **Les coprolithes (Copro) :** Ce sont des déjections de vertébrés et d'invertébrés. Ce sont des particules phosphatées, avec une taille allant de 400µm à quelques millimètres.
- \* **Les grains composites (G.C) ou agrégats :** se composent de plusieurs éléments phosphatés, La taille dépasse généralement 400µm et la forme est quelconque à caractère anguleux indiquent un faible déplacement. Ces particules sont caractérisées par une variété d'éléments inclus (quartz, dolomite...).

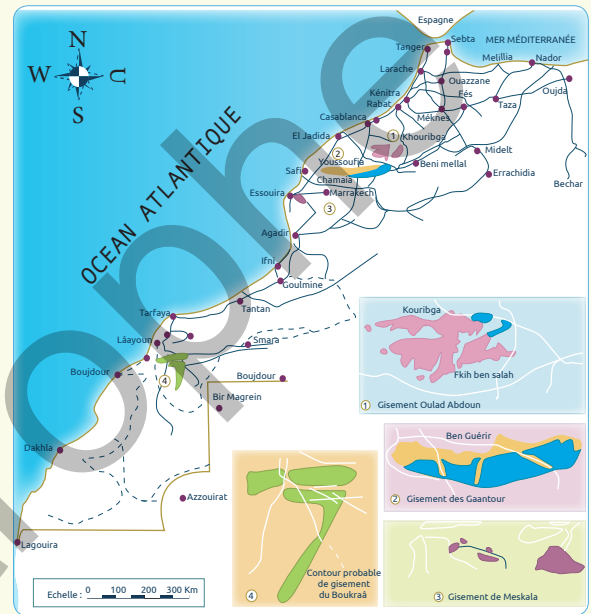


Fig.a : Principaux gisements de phosphates au Maroc.

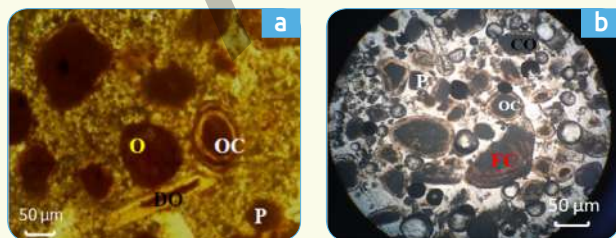


Fig.b : Observation microscopique d'une lame mince en lumière naturelle montrant des oolites (a) et des coprolithes (b). OC: Oolithe en couche concentrique ; DO : Débris Osseux ; O : Oolithe ; P : pellets (petites particules) FC : Fragment de coquille ; CO : Coprolithe ;



Fig.c : Dents de requins (a) et dent d'un reptile marin Mosasaurus beaugei, -70 Ma khouribga (Maroc) (b)

Élément	CaO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	F	CO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	MgO	K <sub>2</sub> O	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Uranium
%(masse)	51.07	31.16	3.53	6.92	0.63	0.42	0.064	0.41	0.27	3.035	traces

Fig.d : Composition minéralogique des phosphates de la région de Khouribga.

Poissons actuels	Répartition Bathymétrique		Répartition climatologique			
	Littorale	Pélagique	Mers tropicales	Mers tempérées chaudes	Mers tempérées	Mers froides
Notidanus microdon	+	+	+	+	+	
Odontaspis tingitana	+	+	+	+	+	
Lamna biauriculata	+	+	+	+	+	
Squalus	+		+	+		+
Carcharodon	+	+	+	+		
Galeorhinus minor	+		+	+	+	
Rombodus	+		+	+		

Fig.e : Répartition bathymétrique et climatologique de certains poissons actuels

## B La phosphatogénèse

### Doc. 2 Conditions de la phosphatogénèse

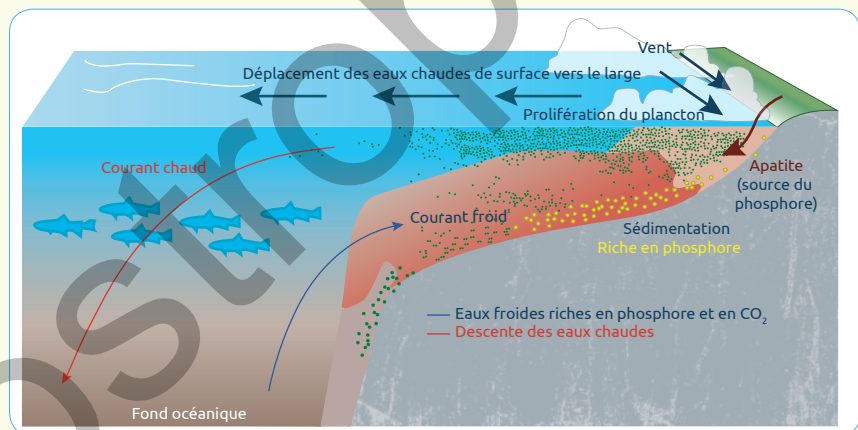
Plusieurs théories s'affrontent :

**Théorie minérale :** apports continentaux du phosphore des sédiments par altération de l'apatite  $\text{Ca}_5(\text{F}, \text{Cl})(\text{PO}_4)_3$  des roches éruptives magmatiques est l'origine du phosphore dans les roches phosphatées.

**Théorie biolithique :** On se basant sur la richesse des sédiments phosphatés en fossiles de vertébrés, l'origine du phosphore dans les roches phosphatées, et l'altération chimique et biochimique des restes des animaux (les os, les dents, les carapaces, les tests, les coquilles,...etc).

**Théorie des courants ascendants ou Upwelling** (Kazakov, 1937)Après la mort des organismes, les débris organiques tombent au fond des océans; la matière organique est décomposée et le phosphore passe en solution.

Ce phosphore et d'autres sels nutritifs comme les silicates et les nitrates remontent à la surface des Océans grâce aux courants ascendants. La remontée des eaux froides chargées de sels nutritifs (phosphates, silicates ...) et leur mélange avec des eaux chaudes de surface provoquent une activité biologique importante. Ainsi, le phosphore se trouve fixé par les organismes, en particulier par le plancton. La teneur en  $\text{P}_2\text{O}_5$  de l'eau de mer croît avec la profondeur, son maximum est atteint vers la profondeur de 500m avec un pourcentage important de  $\text{CO}_2$ . Le dépôt du phosphate est une précipitation chimique directe par sursaturation au cours de l'ascension des eaux froides des fonds océaniques (upwellings) enrichies en phosphore, par suite de l'élévation de la température et du pH, et de la réduction de pression de  $\text{CO}_2$ . Cette précipitation peut intervenir à partir de 200m de profondeur et s'arrête vers 50m dans la zone de photosynthèse où le phosphate est surtout consommé par le phytoplancton.



► Modèle explicatif de la phosphatogénèse selon la théorie des courants ascendants.

### Piste d'exploitation

- 1. Doc. 1 : a.** En exploitant les figures a et b, **décrire** la répartition des principaux gisements de phosphate au Maroc, et **préciser** les caractéristiques des différents types de roches phosphatées.

**b.** En exploitant les données de la figure c, quelles informations peut-on tirer de l'analyse de la composition minéralogique des phosphates.

**c.** En exploitant les figures d et e, **expliquer** l'utilité de l'étude paléontologique, et la répartition bathymétrique et climatique de certains poissons actuels, dans la détermination des conditions de formation des roches phosphatées.
- 2. Doc. 2 : Expliquer** l'importance des courants ascendants dans la phosphatogénèse.

### Pour conclure

Les roches phosphatées du Maroc se sont déposées sur une plateforme continentale stable, aux eaux généralement chaudes et peu profondes, sous un climat tropical ou tempéré.

### Lexique

**Faciès :** c'est l'ensemble des caractères lithologiques et paléontologiques d'un dépôt sédimentaire.

**Phosphatogénèse :** ensemble des processus physico-chimiques et/ou biologiques aboutissant à la formation des dépôts phosphatés



Objectifs d'apprentissage

- Déterminer les caractéristiques des faciès phosphatés.
- Réaliser la carte paléogéographique des bassins de phosphates.

# La reconstitution paléogéographique du bassin de phosphate

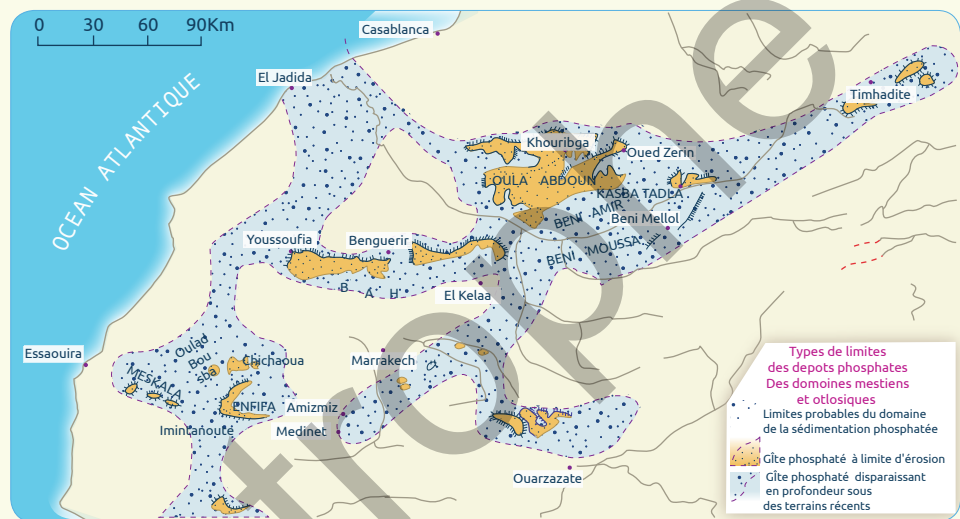
L'analyse des colonnes stratigraphiques permet de déterminer certaines caractéristiques des séries phosphatées dans des gisements éloignés et de reconstituer la paléogéographie des bassins de phosphates.

- Quelles sont les caractéristiques des couches phosphatées ?
- Comment exploiter ces caractéristiques pour reconstituer la paléogéographie du bassin de phosphate ?

## A Les sédiments de phosphates au Maroc

### Doc. 1 Répartition spatio-temporelle des bassins de phosphates

Les phosphates du Maroc ont été déposés pendant une très longue période allant de la fin du crétacé (étage de Maestrichtien, environ 80 Millions d'années), jusqu'au début de l'Eocène (étage du Lutétien inférieur 40 Millions d'années). La série sédimentaire considérée est présente de manière discontinue sur les plateaux marocains ou Meseta. Elle s'étend jusqu'au Moyen Atlas, et se retrouve au sud de l'Atlas.



▶ Dépôts phosphatés en domaine mesetien et atlantique du Maroc (Salvan 1986 et Fedan 1989).

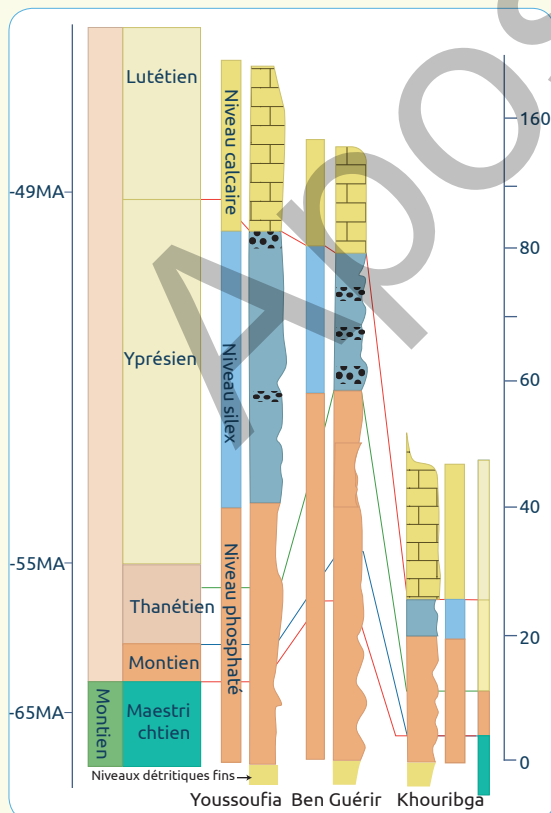


Fig. a : Colonnes stratigraphiques des sédiments phosphatés dans différents gisements.

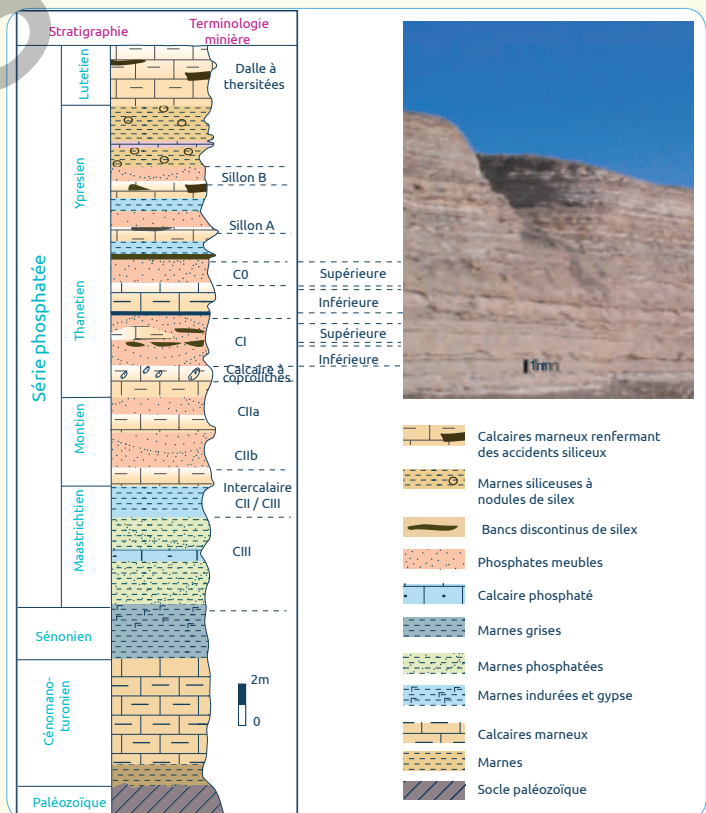
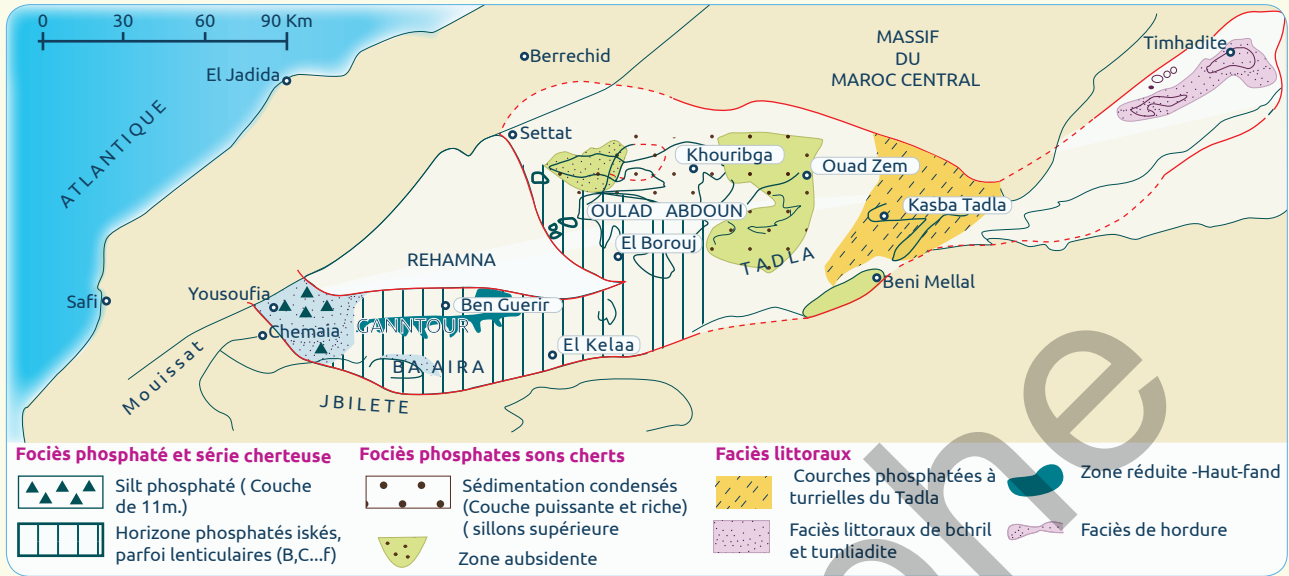


Fig. b : Colonne lithostratigraphique synthétique de la série phosphatée dans le bassin des Ouled Abdoun. (Sidi Maati à 11Km du Sud - Est de Khouribga).

## B Les conditions de sédimentation des roches phosphatées

### Doc. 2 Différents faciès du bassin septentrional

Le bassin septentrional regroupe plusieurs gisements de phosphates parmi eux les gisements de Oulad-Abdoun, de Ben Guérir et de Youssiyfia



► Détail des faciès du golf septentrional à l'Yprésien, d'après Boujo (1972).

### Doc. 3 Reconstitution de la paléogéographie du bassin de phosphate

Deux théories ont été avancées à propos des dépôts du phosphate marocain :

**Selon Boujo et Salvan (1986) :** ils considéraient un système de golfs et baies juxtaposés, séparés par des terres émergées, permettant le piégeage des sédiments phosphatés.

**Selon Trape et Herbig (1994) :** ils considéraient que le domaine du Maroc central et occidental était occupé par une seule mer épicontinentale et qui communique principalement en direction ouest avec l'océan atlantique.



Fig.a : Salvan 1960, Boujo 1976.

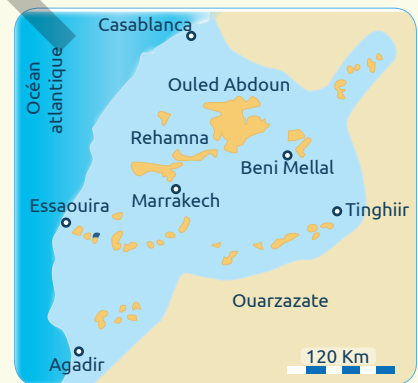


Fig.b : Trape 1994, Herbig 1986.

La répartition des sédiments phosphatés est expliquée par la présence de hauts fonds marins qui ne favorisent pas la sédimentation phosphatée, et des bas fonds marins où les conditions sont favorables au dépôt.

### Piste d'exploitation

- **1.Doc. 1 : a.** En exploitant la figure a, **dégager** quelques difficultés rencontrées pour délimiter les contours réels des sédiments de phosphate.
- **b.** En exploitant les figures b et c, **comparer** les différentes colonnes stratigraphiques, et **dégager** les caractéristiques chronologiques, géographiques et les variations de l'épaisseur des couches de phosphate.
- **2.Doc. 2 :** **identifier** les différents faciès du golf septentrional à l'Yprésien, en précisant leur rôle.
- **3.Doc. 3 :** En se basant sur les données des figures a et b, **Discuter** les deux modèles explicatifs de la reconstitution de la paléogéographie des bassins de sédimentation des phosphates.

### Pour conclure

La reconstitution paléogéographique des bassins phosphatés marocains au Maestrichtien et à l'Eocène montre qu'il s'agit d'une plate-forme continentale avec un certain nombre de golfs d'extension variable, le bassin septentrional correspondait à un golfe très allongé, peu profond et communiquait largement avec la haute mer.

### Lexique

**Upwellings :** courants ascendants qui remontaient des eaux froides riches en éléments nutritifs.

**Chert :** concrétions siliceuses



- Connaître la nature et la composition du charbon de Jérada.
- Reconstituer les conditions de formation du charbon de Jérada.

## Les conditions de sédimentation dans un milieu ancien : Le bassin houiller de Jérada

Le bassin houiller de Jérada est un bassin sédimentaire où s'est formé le charbon pendant le carbonifère.

- Quelles sont les caractéristiques du charbon dans le bassin de Jerada ?
- Quelles sont les conditions de formation du charbon dans le bassin de Jerada ?

### A Le bassin houiller de Jerada

Doc. 1 Nature et composition du charbon du bassin houiller de Jérada

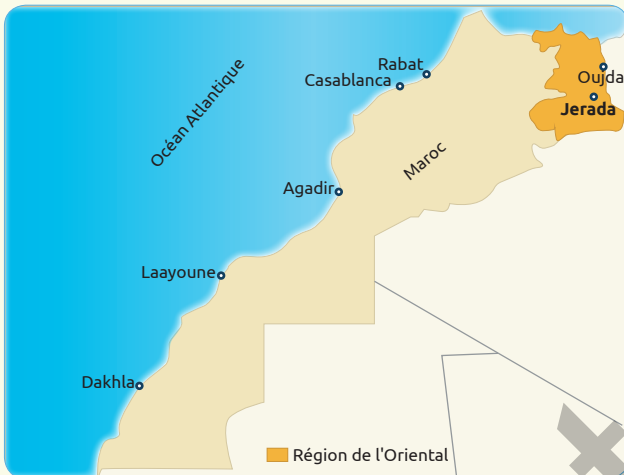


Fig.a : Situation géographique de Jerada.

Centre minier situé à l'extrême Nord-Est du Maroc, à 60 km au Sud d'Oujda. Il était le premier et unique bassin de charbon du Maroc et devait produire un anthracite de bonne qualité calorifique.



Fig.b : Roche anthracite

Le charbon de Jerada, est une roche sédimentaire caractérisée par une très faible teneur en matières volatiles (< 10 %), un taux d'humidité de 1 à 6 %, une teneur de 92 à 95% de carbone, et un pouvoir calorifique élevé de 7800 à 8500 kcal/kg.

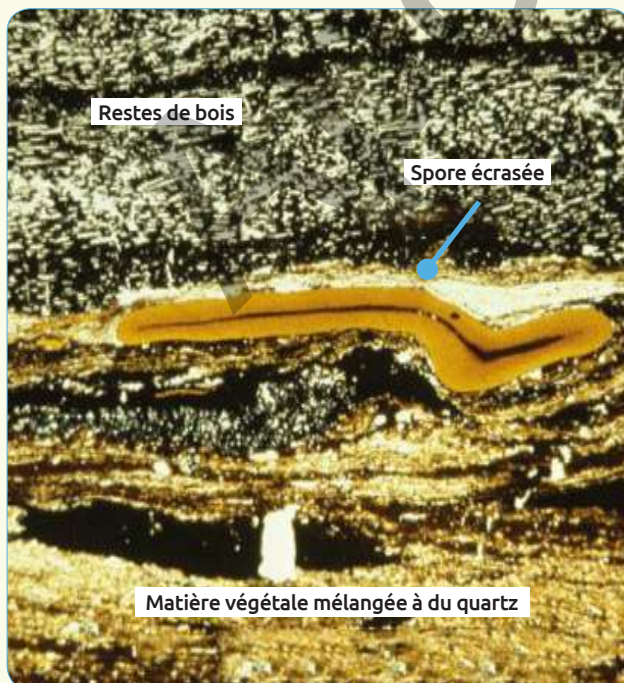


Fig.c : Charbon vu au microscope optique.



Fig.d : Fossiles contenus dans les roches sédimentaires encadrant les veines de charbon.

1. Annularia est le nom de genre désignant les feuilles de calamites.
2. Pecopteris est une fougère arborescente abondante dans les forêts houillères.
3. Calamites est un arbre du groupe des Equisétales commun dans les forêts houillères au tronc rainuré.



Les Lépidodendrons sont des fougères arborescentes fossiles qui pouvaient atteindre 40 m de haut, leur répartition stratigraphique va du Dévonien au Carbonifère.

Fig.e : Lepidodendron aculeatum.



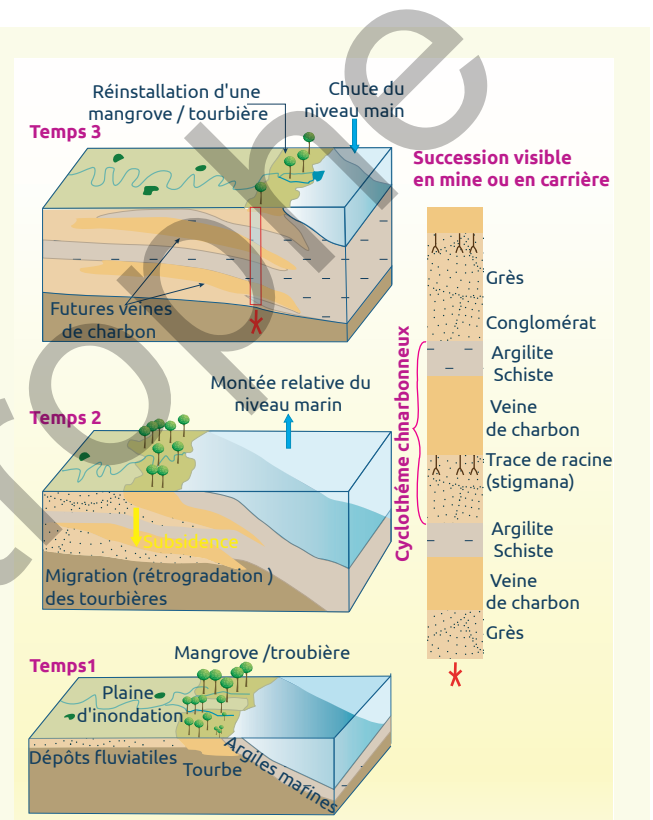
Les Sigillaires sont des arbres fossiles qui pouvaient atteindre 30 m de haut, leur répartition stratigraphique va du Permien au Carbonifère.

Fig.f : Sigillaria .

## B Les conditions de formation du charbon

### Doc. 2 Étapes de formation du charbon

- Présence d'une végétation luxuriante dans des marécages et formation de la tourbe par fossilisation des débris végétaux par des microorganismes dans des milieux humides et pauvres en dioxygène ;
- Montée relative du niveau marin suite à la subsidence de cette zone entraînant la destruction de la forêt et l'enfouissement de la végétation ;
- Comblement par d'importantes quantités de sédiments détritiques provenant de l'érosion des massifs hercyniens qui se mélangent à la matière organique puis la recouvrent ;
- L'avancée de la mer engloutit les sédiments et le reste des végétaux, et permet leur enfouissement à l'abri de l'air et leur compactation. L'accumulation est telle que les débris végétaux échappent à la dégradation par absence de dioxygène.
- Baisse du niveau marin favorise le retour de la végétation. Ce phénomène qui se produit sur une durée d'environ 400 000 ans, se répète expliquant ainsi l'alternance dans le sous sol des couches de charbon avec de couches d'argiles et de grès.
- Les sédiments et les couches de végétaux morts se transforment progressivement (en plusieurs dizaines de millions d'années) en roches sous l'effet de bactéries; puis de la pression et de la température qui augmentent, ce qui aboutit à la formation du charbon (carbonification).



► Conditions géologiques de formation de charbon .

### Piste d'exploitation

- 1.Doc. 1 : À partir de l'exploitation des différentes figures:
  - a. **Dégager** les caractéristiques de l'antracite de Jerada.
  - b. **Énumérer** tous les indices qui permettent de **déterminer** l'origine végétale du charbon.
- 2.Doc. 2 : **décrire** les étapes de formation de l'antracite dans le bassin houiller de Jérada, et **préciser** l'importance de la subsidence dans ce phénomène.

### Pour conclure

Sur les bordures de la chaîne hercynienne, et dans des zones marécageuses, se sont développées, il y a 350 millions d'années, des forêts luxuriantes sous un climat tropical. Ces forêts étaient régulièrement enfouies, ce qui a conduit à l'empilement de veines de charbon dans le bassin de Jerada.

### Lexique

- **Subsidence** : enfoncement progressif du fond du bassin sédimentaire.
- **Hercynien** : période géologique s'étalant du dévonien (-400 millions d'années) au permien (-245 millions d'années)
- **Carbonifère** : système géologique s'étendant de -359,2 à -299,0 millions d'années. Il doit son nom aux formations de charbon.

**Objectifs d'apprentissage**

- Décrire la répartition spatiotemporelle du bassin houiller de Jerada.
- Réaliser la carte paléogéographique du bassin houiller de Jérada.

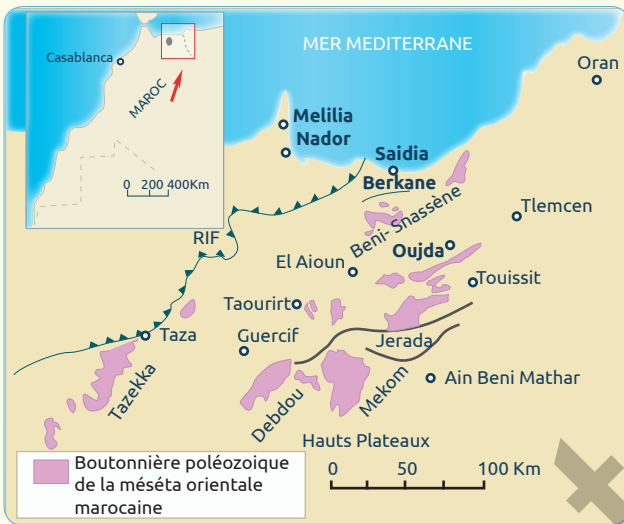
# La réalisation de la carte paléogéographique du bassin houiller du Jérada

L'analyse sédimentologique a permis d'identifier dans le bassin houiller de Jérada des faciès fluvio-palustres et lacustres.

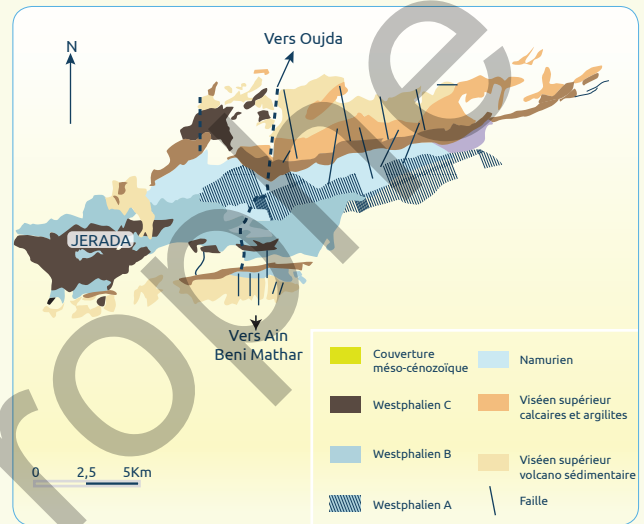
→ Quelles informations apporte l'étude de ces faciès pour reconstituer la paléogéographie de ce bassin ?

## A La répartition spatiotemporelle du bassin houiller de Jerada

**Doc. 1** Cadre géologique du bassin de Jerada



**Fig.a :** Carte schématique des boutonnières paléozoïques de la Meseta orientale marocaine.



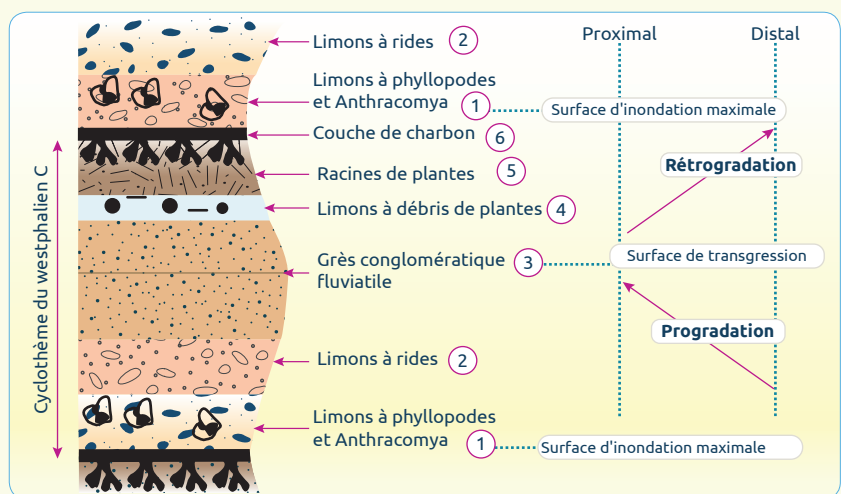
**Fig.b :** Carte géologique du bassin de Jerada. Les goniatites ont permis de délimiter les étages du carbonifère du bassin de Jerada, les couches charbonneuses sont d'âge Westphalien.

## B Le faciès lithologique et paléontologique des sédiments du bassin houiller de Jerada

**Doc. 2** Faciès lithologique et paléontologique des sédiments du bassin houiller de Jerada

Le Westphalien C du bassin houiller de Jerada comprend huit cyclothèmes, chaque cyclothème est délimité par deux surfaces d'inondation maximale, et formé du bas en haut par la séquence suivante :

- Les limons à phyllopoies et Anthracomya attestant l'installation d'un lac ;
- Les limons à débris de plantes et à rides témoignent d'un milieu très profond, et balayé par des courants assez faibles ;
- Les grès fluviatiles correspondent à des chenaux, à des barres ou à des dunes ;
- Les limons à plantes et radicelles correspondent à un milieu fluvio-palustre colonisé par une forte végétation.

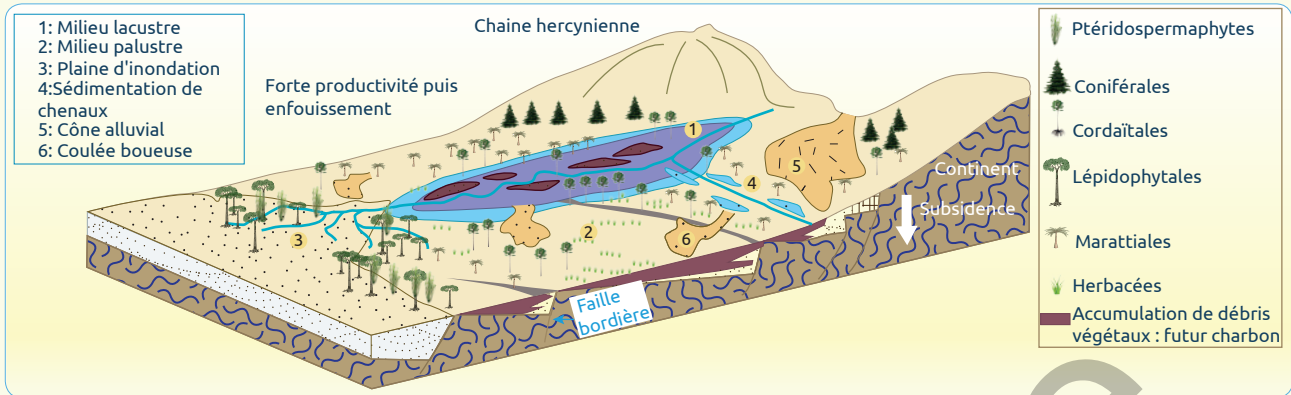


► Cyclothème du Westphalien C dans le bassin de Jerada .



**Doc. 3** Faciès des environnements du bassin de Jerada

Le bassin sédimentaire houiller de Jerada se caractérise par la diversité des faciès qui témoignent de la diversité des milieux de sédimentation. L'étude de ces faciès permet la reconstitution de la paléogéographie du bassin sédimentaire de Jerada pendant la période d'accumulation et des dépôts à l'origine du charbon.



► Reconstitution paléogéographique du bassin de Jerada

La présence en même temps de faciès des environnements permet de conclure que le charbon de Jerada s'est formé dans un milieu de plaine delta :

- **Faciès marins** : Litage oblique en mamelon, litage oblique en arêtes de poisons et rides.
- **Faciès deltaïques (front delta)** : Séquences strato et grano croissantes.
- **Faciès fluviatiles (plaine delta)** : Charbon et conglomérats (dépôt de chenaux).

**C** Reconstitution de la paléogéographie du bassin de Jerada

**Doc. 4** Esquisse de la forêt houillère



► Type de forêt houillère primitive luxuriante, dans un environnement marécageux qui favorise le développement de fougères géantes arborescentes, des Lycopodiales : Lepidodendron et Sigillaire :

La colonisation du milieu terrestre a été rendue possible grâce à des innovations permettant de résister à la dessiccation et grâce à la vascularisation des axes (troncs et branches) assurant la circulation de l'eau et des éléments nutritifs. C'est pendant le Dévonien et le Carbonifère que le monde végétal subaérien s'est vraiment développé, apparition des feuilles (au Dévonien), des graines (au Carbonifère). La forêt houillère esquissée au Dévonien supérieur, et largement développée surtout au Carbonifère supérieur, dans la zone tropicale de l'époque, couvre une partie importante de la Laurasie et de l'Afrique du Nord.

**Piste d'exploitation**

1. **Doc. 1** : En exploitant les figures a et b, **Décrire** la répartition spatio-temporelle du bassin houiller de Jerada.
2. **Doc. 2**, et **Doc. 3** : **Décrire** le dépôt alternatif du charbon pendant le Westphalien. Quelles informations peut-on tirer de l'étude lithologique et fossilifère.
3. **Doc. 1**, **Doc. 2**, **Doc. 3** et **Doc. 4** : **Reconstituer** la paléogéographie du bassin houiller de Jerada.

**Pour conclure**

Les couches de charbon se sont développées dans un milieu palo-lacustre, à tranche d'eau très faible, mais assez pérenne pour permettre la conservation de la matière organique dans un milieu anoxique.

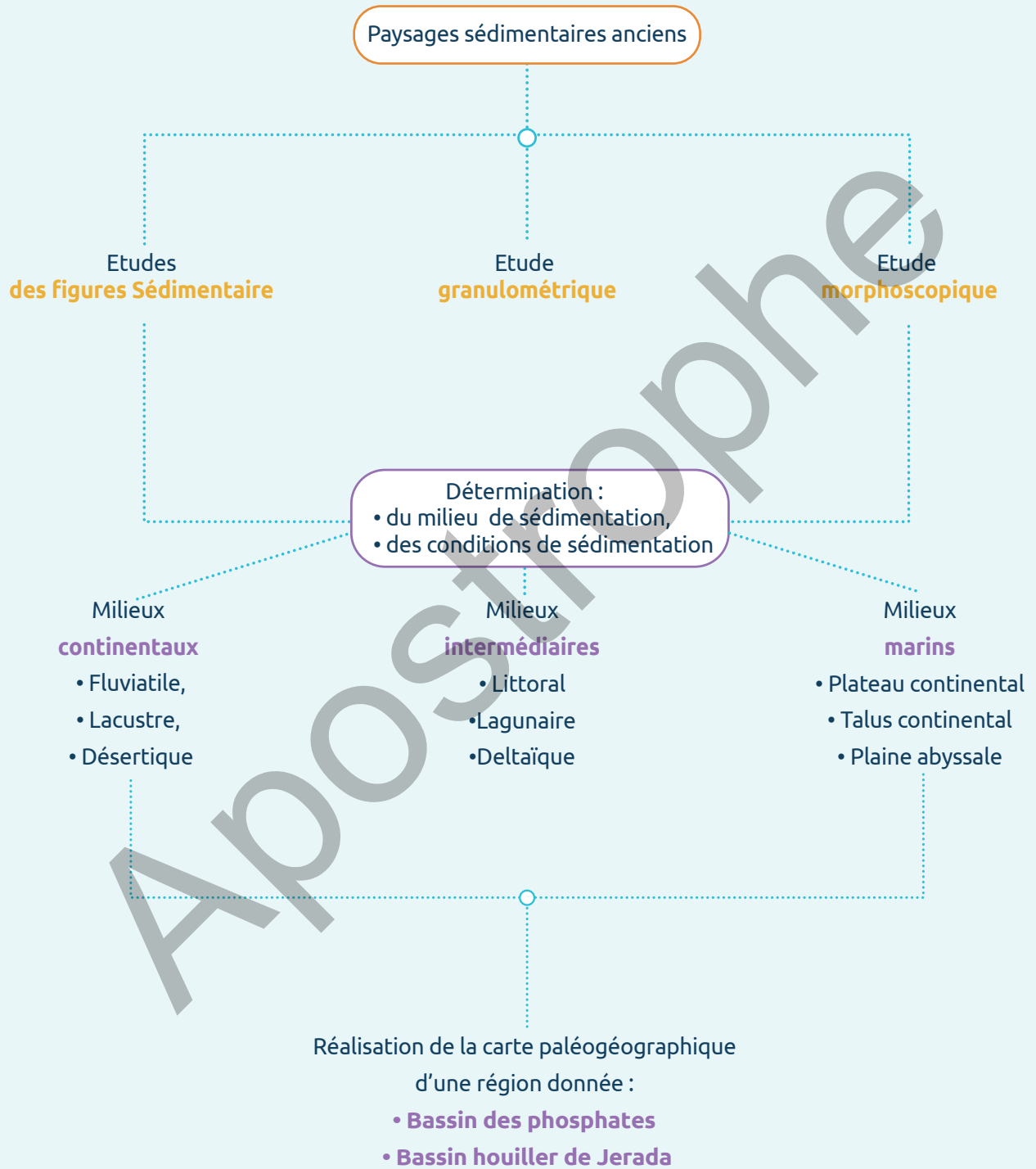
**Lexique**

- Palustre** : qui se rapporte aux marais ;
- Goniatite** : Mollusque céphalopode de la seconde moitié de l'ère primaire.
- Westphalien** : de la Westphalie, région d'Allemagne, étage du Carbonifère ; divisé en Westphalien A, B, C, D.
- Cyclothème** : Série de sédiments de composition différente et liée à une sédimentation de caractère cyclique.

<p><b>Activité 1.</b></p>	<p>La granulométrie est l'étude de la distribution des grains d'un sédiment en fonction de leurs tailles. La courbe de fréquence renseigne sur l'homogénéité du sable étudié.</p> <p>La courbe cumulative permet le calcul de l'indice de Trask(<math>S_0</math>) qui exprime le degré de classement d'un sédiment. Plus <math>S_0</math> est petit, plus le sédiment est bien classé.</p> <p>La comparaison de la courbe cumulative avec des courbes de référence permet de déduire les conditions de transport et de dépôt du sédiment étudié.</p>
<p><b>Activité 2.</b></p>	<p>L'étude morphoscopique des grains de quartz permet de distinguer trois types de grains :</p> <p><b>Des grains non usés(NU)</b> : transparents aux arêtes tranchantes, ils caractérisent un milieu glacier ou fluviatile (transport de faible distance)</p> <p><b>Des grains émoussés luisants(EL)</b> aux arêtes arrondies, ils résultent d'une érosion continue et d'un long transport par l'eau,</p> <p><b>Des grains ronds mats (RM)</b> à surface dépolie, caractérisent les milieux éoliens</p> <p>La détermination du pourcentage de ces trois types de grains permet de déterminer le dynamisme de transport.</p> <p><b>Les galets</b> portent sur leur surface des usures et des traces. Selon la forme et l'apparence de la surface, on distingue quatre types de galets : éoliens, fluviatiles, marins et morainiques.</p> <p>L'étude morphoscopique permet de déterminer le type d'érosion, le mode de transport et l'environnement de dépôt.</p>
<p><b>Activité 3.</b></p>	<p>On classe les figures sédimentaires selon leur processus de genèse (hydrodynamique, biologique ou climatique) :</p> <p><b>Figures sédimentaires liées à l'hydrodynamisme</b> comme les rides.</p> <p><b>Figures sédimentaires d'origine climatique</b> comme les fentes de dessiccation.</p> <p><b>Figures sédimentaires d'origine biologique</b> comme l'activité des êtres vivants (bioturbation).</p>
<p><b>Activité 4.</b></p>	<p>Le transport des produits issus de l'érosion peut être assuré par différents agents : l'eau, le vent et les glaciers.</p> <p>Le comportement des particules solides est en fonction de leur taille et de la vitesse du courant. Selon la taille des particules, on distingue différents modes de transport : Roulement, Saltation, et Suspension.</p>
<p><b>Activité 5.</b></p>	<p>Les milieux continentaux les plus importants sont :</p> <p><b>Le milieu désertique</b> : où les dépôts de sable forment des dunes ; à formes et tailles différentes selon la dynamique du courant ; caractérisées par des grains de sableux bien classés.</p> <p><b>Le milieu fluviatile</b> : la sédimentation est influencée par la vitesse du courant d'eau et par la pente des terrains traversés, elle est caractérisée par un granoclassement décroissant de l'amont vers l'aval (blocs, galets, graviers, sables et argiles)</p> <p><b>Le milieu lacustre</b> : les sédiments se déposent selon une zonation concentrique qui dépend de l'hydrodynamisme, de l'apport des rivières, de la nature des bassins versants, de l'activité biologique et de la profondeur du lac.</p> <p><b>Le milieu glaciaire</b> : la sédimentation est caractérisée par des accumulations détritiques très complexes et variées (moraines), caractérisée par l'absence de stratification et de l'hétérogénéité de la granulométrie.</p>
<p><b>Activité 6.</b></p>	<p>Les milieux intermédiaires sont situés aux limites du domaine marin et du domaine continental, ils sont continuellement en équilibre précaire soumis à des dynamiques variées sous des influences à la fois marines et continentales.</p> <p><b>Les lagunes</b> : l'eau marine piégée temporairement dans la lagune est soumise à une forte évaporation, les différents sels solubles dans l'eau cristallisent et sédimentent donnant naissance à des sédiments carbonatés et aux évaporites (gypse, calcite, halite).</p> <p><b>Un delta</b> se décompose en 3 parties : La plaine deltaïque, le front de delta, et le prodelta.</p> <p><b>L'estuaire</b> est une embouchure où l'hydrodynamisme marin est dominant (fortes marées, forte houle), et où le fleuve apporte des suspensions fines et des matières en solution. Le sédiment caractéristique est la boue ou la vase.</p>

<p><b>Activité 7.</b></p>	<p>La sédimentation marine est soumise à plusieurs facteurs dont les reliefs sous marins, la dynamique des masses d'eau, le climat et les activités biologiques.</p> <p><b>Le plateau continental :</b> caractérisé par une sédimentation d'origine détritique, une sédimentation d'origine organique, et par une sédimentation d'origine chimique.</p> <p><b>Le talus continental :</b> caractérisé par les courants de turbidité.</p> <p><b>La plaine abyssale :</b> caractérisée par des débris des squelettes des êtres vivants planctoniques qui forment des Boues calcaires et des Boues siliceuses</p> <p><b>Les grands fonds :</b> caractérisés par des argiles rouges d'origine continentale, et transporté en suspension par les courants océaniques et par le vent.</p>
<p><b>Activité 8.</b></p>	<p>L'étude pétrographique des phosphates permet de distinguer trois types de faciès bien distincts : Le phosphate sableux, Le calcaire phosphaté, et Le silex phosphaté.</p> <p>Les bassins phosphatés sont très riches en fossiles de faciès littoral et pélagique peu profondes aux eaux généralement chaudes tropicales à tempérées, ce qui permet d'avancer que les phosphates marocaines se sont déposées sur une plateforme continentale stable, sous une eau chaude et peu profonde.</p>
<p><b>Activité 9.</b></p>	<p>Les études stratigraphiques, pétrographiques et paléontologiques montrent que les sédiments phosphatés ont été formés dans des bassins marins de faible profondeur du Maastrichtien à l'Yprésien supérieur.</p>
<p><b>Activité 10.</b></p>	<p>Le bassin houiller de Jerada est formé des roches sédimentaires, riches en fossiles végétaux, encadrant des veines de charbon, ce qui montre que ce milieu était sous forme de forêts marécageuses épicontinentales.</p> <p>Les sédiments détritiques provenant de l'érosion des massifs environnants se mélangent à la matière organique puis la recouvrent. L'avancée de la mer engloutit les sédiments et le reste des végétaux, et permet leur enfouissement à l'abri de l'air et leur compactation. Les sédiments et les couches de végétaux morts se transforment progressivement en anthracite (carbonification).</p>
<p><b>Activité 11.</b></p>	<p>Les couches charbonneuses du bassin de Jerada contiennent des goniatites qui ont permis de délimiter les étages du carbonifère. Le Westphalien C de ce bassin comprend huit cyclohyèmes. Les couches de charbon sont formées pendant les phases d'envahissement des faciès marins sur des faciès conglomératiques fluviatiles.</p> <p>Une montée relative du niveau de base permet un blocage des apports détritiques, favorisant l'installation des marécages dans des faciès fluviatiles et le recouvrement durable de la matière organique par une couche d'eau anoxique.</p> <p>L'avancée d'un delta lacustre sur un domaine inondé réalise un comblement temporaire. La sédimentation reprend et un système fluviatile s'installe sur la plaine deltaïque occupée par une végétation dense. Les deltas reculent progressivement jusqu'au retour des milieux inondés.</p>





## Les granulats, ressource indispensable

Un granulat est constitué d'un ensemble de grains minéraux est utilisé pour la réalisation d'ouvrages de Génie Civil, de travaux routiers et de bâtiments. Ils sont obtenus :

- En exploitant des gisements de sables et de graviers d'origine alluvionnaire, terrestre ou marine
- En concassant des roches massives;
- Ou encore par recyclage de produits tels que les bétons de démolition.

La nature minérale des granulats est un critère fondamental pour son emploi, chaque roche possédant des caractéristiques intrinsèques spécifiques en termes de résistance mécanique et de tenue au gel, ainsi que des propriétés physico-chimiques et des propriétés chimiques.

### Une matière première très utilisée dans le bâtiment

Le granulat est surtout utilisé dans le bâtiment pour diverses constructions. Le granulat est destiné pour fabriquer les bétons prêts à l'emploi. À noter qu'il faut 2 tonnes de granulats pour 1m<sup>2</sup> de béton. Dans ce cas, le granulat est utilisé avec un liant comme le ciment.

### Dans les travaux publics

- **Routes et autoroutes** : 80% des granulats produits sont absorbés par la construction des routes. 1 km d'autoroute nécessite 30 000 tonnes de granulats, de nature et de dimensions différentes.
- **Voies ferrées** : la construction d'un km de voie ferrée nécessite 30 000 tonnes de granulats (ballast).
- **Equipements collectifs** : il faut de 20 000 à 40 000 tonnes pour édifier un hôpital ou un lycée.
- **Barrages, enrochements**, ouvrages de protection des côtes, ports avec digues, viaducs, ponts et ouvrages d'art ne peuvent être réalisés sans intégration de roches ou de granulats le plus souvent au sein de béton



Fig.a : concassage des roches massives.



Fig.b : Ballast de voies ferrées.



Fig.c : Tramway de Casablanca.



Fig.d : Viaduc El Hachef.

Le viaduc El Hachef s'élance sur 3 kilomètres et demi, franchissant une plaine marécageuse, l'oued El Hachef, dont il a gardé le nom. L'ouvrage culmine à 25 mètres de haut. constitue une prouesse architecturale et technique compte tenu de sa longueur et des contraintes du relief.



Fig.e : Autoroute Berrchid-Béni Mellal .

## Test de connaissances

### 1 Définir les termes suivants :

Sédiments, roche détritique, figure sédimentaire, bassin sédimentaire, évaporite, granulométrie, barkhane, bioturbation, terrasse fluviale, lagune, delta, bioturbation; paléogéographie.

### 2 Repérer les affirmations correctes et corriger celles qui sont fausses :

- a. Le sable éolien est formé de petits grains de sable
- b. Le sable fluviale est très bien classé ;
- c. Une courbe de fréquence unimodale indique que le sédiment étudié est hétérogène ;
- d. L'étude morphoscopique des grains de quartz permet de déterminer l'agent de transport ;
- e. La forme et l'apparence de la surface des galets permet de déterminer le milieu de sédimentation ;
- f. Les fentes de dessiccation témoignent d'une période d'émergence et d'un climat aride ;
- g. Dans les méandres, le dépôt des alluvions se réalise sur la rive concave ;
- h. Dans une lagune, le renouvellement d'eau domine l'évaporation;
- i. A la base du talus continental et du glacier, les turbidites ont un granoclassement parfait ;
- j. La boue siliceuse se forme au dessus du seuil de compensation des carbonates (CCD) ;

### 3 Pour chaque propositions, identifier la ou les bonnes réponses :

#### 1 • Les rides sont dues aux :

- a. Courants d'eau.
- b. Courants d'air.
- c. Activités des êtres vivants.
- d. Changements climatiques.

#### 2 • De l'amont à l'aval :

- a. La taille des sédiments transportés diminue.
- b. La taille des sédiments transportés augmente.
- c. La vitesse du courant d'eau diminue.
- d. La vitesse du courant d'eau augmente.

#### 3 • Une courbe de fréquence unimodale signifie que :

- a. L'échantillon est formé essentiellement de grains de grandes tailles.
- b. L'échantillon est formé essentiellement de grains de petites tailles.
- c. L'échantillon étudié est homogène.
- d. La vitesse du courant d'eau augmente.

#### 4 • La forme des grains de quartz indique:

- a. La durée du transport.
- b. L'agent de transport.
- c. Le milieu d'origine des grains.
- d. La vitesse du courant.

#### 5 • La dissolution du calcaire dans le milieu marin :

- a. Augmente avec la profondeur.
- b. Diminue avec la profondeur.
- c. Dépend de la teneur en  $O_2$  dans l'eau.
- d. Dépend de la teneur en  $CO_2$  dans l'eau.

#### 6 • A grande profondeur au-dessous de CCD :

- a. La sédimentation siliceuse domine.
- b. La sédimentation calcaire domine.
- c. La sédimentation siliceuse et calcaire domine.
- d. La sédimentation siliceuse et calcaire s'arrête.

#### 7 • Lors du transport par l'eau

- a. La taille des sédiments ne varie pas.
- b. La taille des sédiments est indépendante de la durée de transport.
- c. La taille des sédiments diminue avec l'augmentation de la durée de transport.
- d. La taille des sédiments augmente avec l'augmentation de la durée du transport.

#### 8 • Les fentes de dessiccation indiquent :

- a. Qu'il s'agit d'un milieu marin.
- b. Que le milieu a connu une régression marine.
- c. Que le milieu a subi l'effet de l'évaporation à une certaine époque.
- d. Que le milieu a connu une transgression marine.

#### 4 Question à réponse courte :

- a. **Citer** les modes de transport d'un sédiment dans un cours d'eau.
- b. **Expliquer** la théorie des courants ascendants ou upwelling responsable de la formation des phosphates.
- c. **Expliquer** brièvement la formation du charbon dans le bassin houiller de Jerada .

#### 5 Compléter le tableau suivant :

Type de grains	NU	EL	RM
Caractéristiques			
Morphologie			
Aspect			
Agent de transport			
Durée de transport			

Raisonnement scientifique

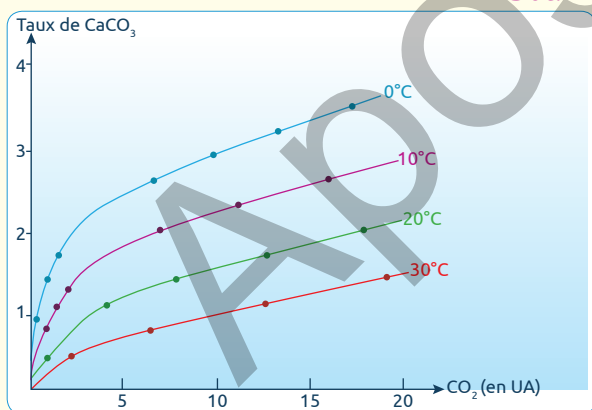
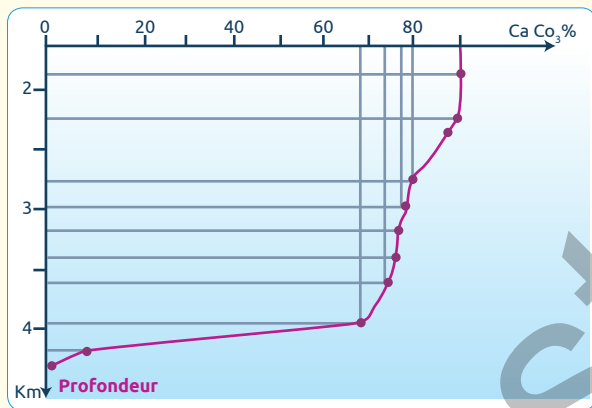
Exercice résolu :

Pour déterminer les conditions de sédimentation dans les milieux marins, des études effectuées sur des minuscules globules de calcaire, ont permis de déterminer le devenir des carbonates en fonction de la profondeur dans le milieu marin;

De faible quantité de ces globules ont été disposés dans des tubes renfermés avec du tissu fin qui permet l'entrée de l'eau, et empêche la sortie des globules. Ensuite, on a disposé ces tubes à des profondeurs différentes allant jusqu'à -5000m.

Le document 1 représente le taux du carbonate résiduel dans les tubes après 4 mois, et le document 2 montre la relation entre la dissolution du CaCO<sub>3</sub> et le taux du CO<sub>2</sub> et la température.

NB : le taux du CO<sub>2</sub> augmente avec la profondeur.



- 1 • Analyser les deux documents.
- 2 • Expliquer l'absence du dépôt du calcaire dans les profondeurs qui dépasse 4000 m
- 3 • Interpréter les variations et les résultats obtenus dans le document 1 .
- 4 • On obtient le même résultat, si on remplace les globules de calcaires par les foraminifères. Peut-on donc expliquer l'absence de ces fossiles dans les sédiments des grandes profondeurs ?

Exercice 1 :

Dans le cadre d'une étude statistique des sédiments d'un courant d'eau, 4 échantillons A, B, C et D ont été pris à des points différents le long du courant d'eau, le tableau ci-dessus donne les pourcentages des différents constituants.

Les constituants des sédiments	Le pourcentage des constituants			
	A	B	C	D
Argile	3	2	75	11
Sable	10	8	19	60
Graviers	74	24	6	29
Blocs	13	66	0	0

- 1 • Déterminer l'élément caractéristique de chaque point.
- 2 • Classer les points A, B, C et D de l'amont à l'aval de la rivière.

On isole des grains de quartz de deux échantillons pris des point B et C; on a remarqué que la majorité des grains de quartz est de type EL ou NU selon l'échantillon.

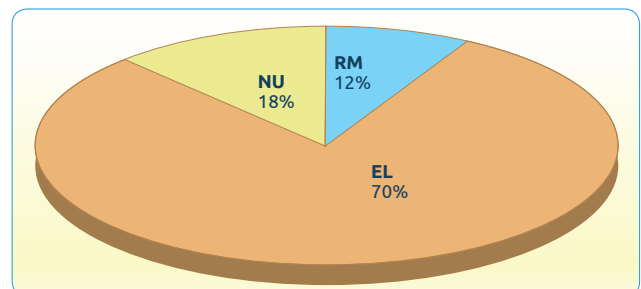
- 3 • Déterminer en justifiant votre réponse, le point dans lequel dominant les grains EL et le point dans lequel dominant les grains NU.

Exercice 2 :

Sur un échantillon de sable prélevé d'un cour d'eau, des grains de dimension comprise entre 0,4 mm et 1,6mm sont isolés. L'examen fait à la loupe binoculaire sur un fond noir et sous une lumière latérale fait ressortir le contour des grains, et leurs éclats.

A l'aide d'une loupe binoculaire, un élève de 1ère année bac, a pu isoler aléatoirement 30 grains de quartz d'un échantillon 1 de sable, dont : 6 grains de quartz rond mat ; 4 grains de quartz non usé ; 20 grains de quartz émoussé luisant.

Un autre élève a fait la même étude sur un autre échantillon 2 de sable, les résultats trouvés sont présentés par le diagramme circulaire suivant :



- 1 • Justifier l'utilisation des grains de quartz dans l'étude morphologique ?
- 2 • Déterminer les pourcentages des grains de quartz de l'échantillon 1.
- 3 • Réaliser un diagramme circulaire représentant la distribution des grains de quartz de l'échantillon 1.
- 4 • Comparer les diagrammes des échantillons 1 et 2. Que peut-on déduire ?



Deux échantillons de sable ont fait l'objet d'une étude granulométrique par tamisage, les résultats obtenus sont représentés sur le document 1.

Le document 2 montre le degré de classement d'un sédiment selon l'échelle de Fuchtbauer.

Diamètre en mm	Poids en % de l'échantillon 1	Poids en % de l'échantillon 2
2	0	0
1.6	4	0
1.25	8.3	0
1	11.9	0
0.8	5	0
0.63	4.5	0
0.5	8	0
0.4	9.3	0.1
0.31	11.5	5.1
0.25	14	26.1
0.2	10	57.5
0.16	7	9.1
0.125	4.5	1.6
0.1	1.5	0.5
0.08	0.5	0
0.063	0	0

Doc. 1

$S_0 = \sqrt{\frac{Q_3}{Q_1}}$	Degré de classement
$\leq 1,23$	Très bon
1,23 à 1,41	Bon
1,41 à 1,74	Moyen
1,74 à 2,00	Mauvais
$> 2,00$	Très mauvais

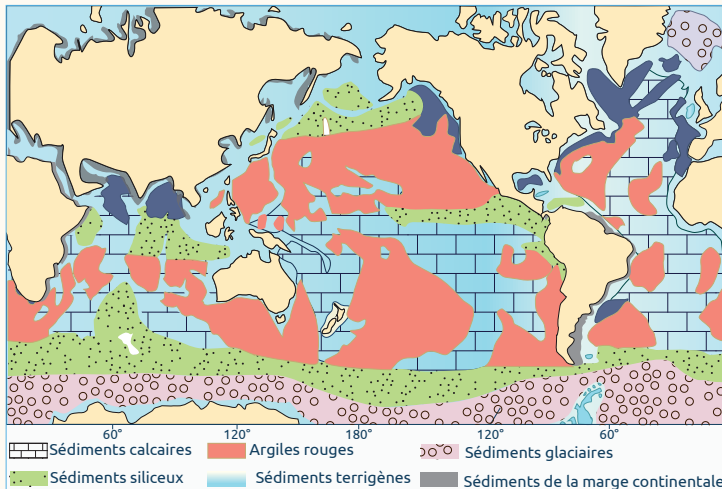
Doc. 2

1. **Construire** pour les deux échantillons, l'histogramme et la courbe de fréquence, puis **préciser** le degré d'homogénéité et leur classement.
2. En justifiant votre réponse, **déterminer** l'origine probable des deux échantillons de sable.

**Grille d'évaluation :**

Tâches à réaliser	Indicateurs de réussite
<b>Traduire les données numériques sous forme de représentation graphique.</b>	<p><b>Pour l'histogramme et la courbe de fréquence de chaque échantillon de sable :</b> tracer un graphe à deux axes, puis porter :</p> <p><b>En abscisse :</b> les dimensions des mailles des tamis sur une échelle logarithmique d'une manière rétrograde.</p> <p><b>En ordonnée :</b> les pourcentages pondérales pour le polygone de fréquence.</p> <p>-Réaliser l'histogramme, chaque rectangle représente une classe de grains ayant un diamètre compris entre 2 tamis successifs.</p> <p>- Dessiner la courbe de fréquence qui passe par le centre des barres horizontales et permet de définir le ou les modes.</p> <p><b>Pour la courbe cumulative de chaque échantillon de sable :</b> tracer un graphe à deux axes, puis porter :</p> <p><b>En abscisse :</b> les dimensions des mailles des tamis sur une échelle logarithmique d'une manière rétrograde.</p> <p><b>En ordonnée :</b> la masse cumulée.</p> <p>Sur la courbe cumulative, déterminez les quartiles :</p> <p><b>Le quartile <math>Q_{75}</math> (ou <math>Q_1</math>) :</b> abscisse correspondant à l'ordonnée 75%.</p> <p><b>Le quartile <math>Q_{25}</math> (ou <math>Q_3</math>) :</b> abscisse correspondant à l'ordonnée 25%,</p> <p>- Calculer l'indice de classement <math>S_0</math> selon la formule suivante : <math>S_0 = \sqrt{\frac{Q_3}{Q_1}}</math></p> <p>- Déterminer le classement du sable en utilisant l'échelle de Fuchtbauer.</p>
<b>Utiliser des connaissances, raisonner</b>	<p><b>Déduire le classement</b> des deux échantillons :</p> <p>La courbe de fréquence de l'échantillon 1 est bimodale, le sable est hétérogène ;</p> <p>La courbe de fréquence de l'échantillon 2 est unimodale et étroite, le sable est homogène ;</p> <p>L'indice de Trask de l'échantillon 1 indique que le sable est mal classé (<math>S_0=2.13, Q_1=0.22, Q_3=1</math>)</p> <p>→ Classement très mauvais pour l'échantillon 1</p> <p>L'indice de Trask de l'échantillon 2 indique que le sable est bien classé (<math>S_0=1.08, Q_1=0.17, Q_3=0.2</math>)</p> <p>→ Classement très bon pour l'échantillon 2</p>
<b>Déduire l'origine probable des deux échantillons de sable</b>	<p><b>Déterminer l'origine probable</b> des deux échantillons de sable :</p> <p>Les grains de sable de l'échantillon 1, sont assez hétérogènes et mal classés, et semblent d'origine fluviatile ou glaciaire.</p> <p>Les grains de sable de l'échantillon 2, sont assez homogènes et bien classés, et peuvent être d'origine éolienne ou littorale.</p>

Le document 1 présente la carte de la distribution globale des principaux types de sédiments océaniques.



Doc. 1

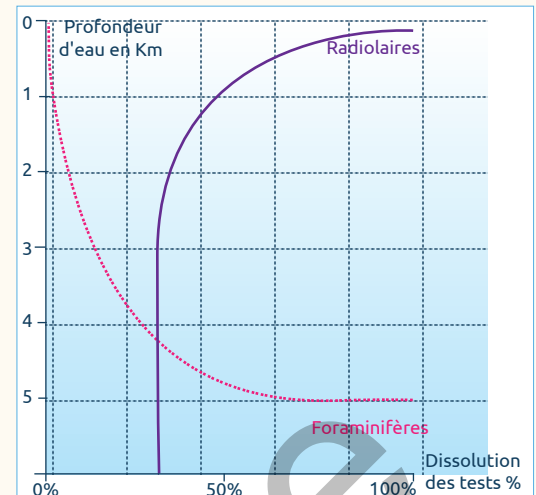
1. En exploitant le document 1, **expliquer** la distribution des sédiments sur les plateformes continentales.
2. En vous aidant des parallèles, **déterminer** les zones de distributions des sédiments calcaires et siliceux dans le fond de l'océan pacifique.  
Des études menées sur la répartition des sédiments océaniques ont montré que la zone équatoriale du pacifique est caractérisée par une abondance des radiolaires à test siliceux et des foraminifères à test calcaire. Cependant les diatomées à test siliceux sont abondantes autour de l'Antarctique.
3. **Expliquer** l'origine des boues calcaires et siliceuses déposées sur le fond de l'océan pacifique.  
Afin de déterminer l'un des facteurs impliqués dans la

### Aides :

- **Identifier** les principaux types de sédiments océaniques.
- **Déduire** que la profondeur est le facteur impliqué dans la répartition des sédiments océaniques
- **Mettre** en relation les résultats d'analyse et vos connaissances acquises concernant le seuil de compensation des carbonates (CCD) pour **expliquer** la répartition des sédiments.

### Réponses commentées :

1. La sédimentation sur le plateau est donc principalement terrigène (graviers, sables, boues) les matériaux proviennent donc de l'érosion des continents.
2. Les boues calcaires sont réparties essentiellement entre les latitudes comprises entre 10° Nord et 45° Sud, au voisinage des côtes Ouest de l'Amérique de sud et des côtes est de l'Australie. Par contre elles sont absentes au milieu et au Nord du pacifique.  
Les boues siliceuses sont réparties en trois bandes :  
La première bande s'étend à proximité de la latitude 45° Sud, de l'Amérique vers le milieu du pacifique.  
La deuxième bande s'étend tout le long de la latitude 10° au nord de l'équateur, au milieu du pacifique.  
La troisième bande s'étend entre l'Amérique du nord et l'Asie, le long de la latitude 45° Nord.
3. Les boues calcaires ont pour origine les tests carbonatés d'organismes (Foraminifères). Alors que les boues siliceuses ont pour origine les tests siliceux



Doc. 2

4. **Analyser** le document 2 en précisant les conditions nécessaires au dépôt du calcaire et de la silice.  
L'analyse des boues calcaires dans la zone équatoriale a permis de mettre en évidence la présence d'une faible quantité de silice.
5. En utilisant cette information et les données précédentes, **expliquer** la répartition des boues calcaires et siliceuses dans les zones équatoriales de l'océan pacifique et **déterminer** le facteur impliqué dans cette distribution.

d'organismes (Radiolaires et Diatomées).

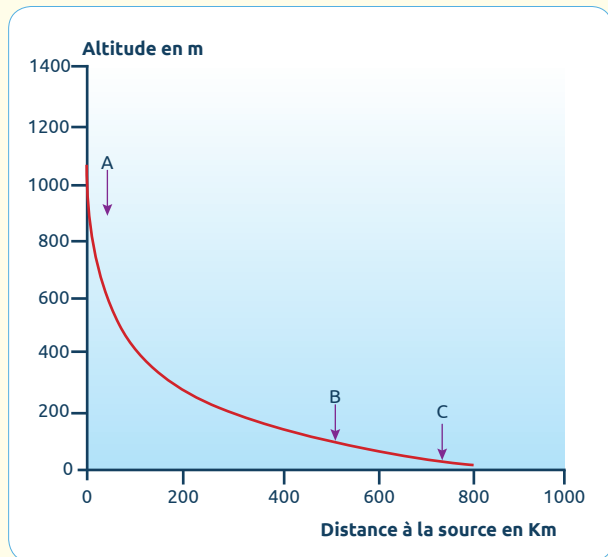
4. Pour les foraminifères : la dissolution des tests calcaires augmente en fonction de la profondeur et peut atteindre 100% à 5 Km de profondeur.  
Pour les radiolaires : la dissolution des tests siliceux est grande dans les eaux superficielles, elle diminue progressivement lorsque la profondeur augmente. Elle se stabilise à 30% au-dessous de 3 Km.  
Conditions nécessaires au dépôt du calcaire et de la silice :  
Pour les fonds ne dépassant pas 5 Km : on constate que la dissolution des tests siliceux est importante, par contre l'accumulation des tests calcaires aboutit à la formation des boues calcaires.  
Pour les fonds dépassant 5 Km : les tests calcaires subissent une dissolution totale, tandis que le dépôt des tests siliceux contribue à la formation des boues siliceuses.
5. Le facteur impliqué dans la distribution des boues est la profondeur.



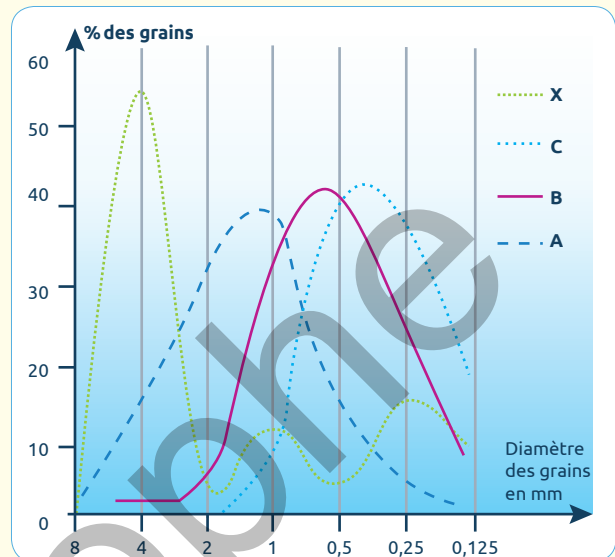
## SITUATION COMPLEXE

Dans le cadre de l'exploitation de la relation entre la vitesse du courant d'eau et la taille des particules, on cherche à localiser la station de la récolte d'un échantillon X dans le chenal d'une rivière pour cela, on vous propose les documents suivants :

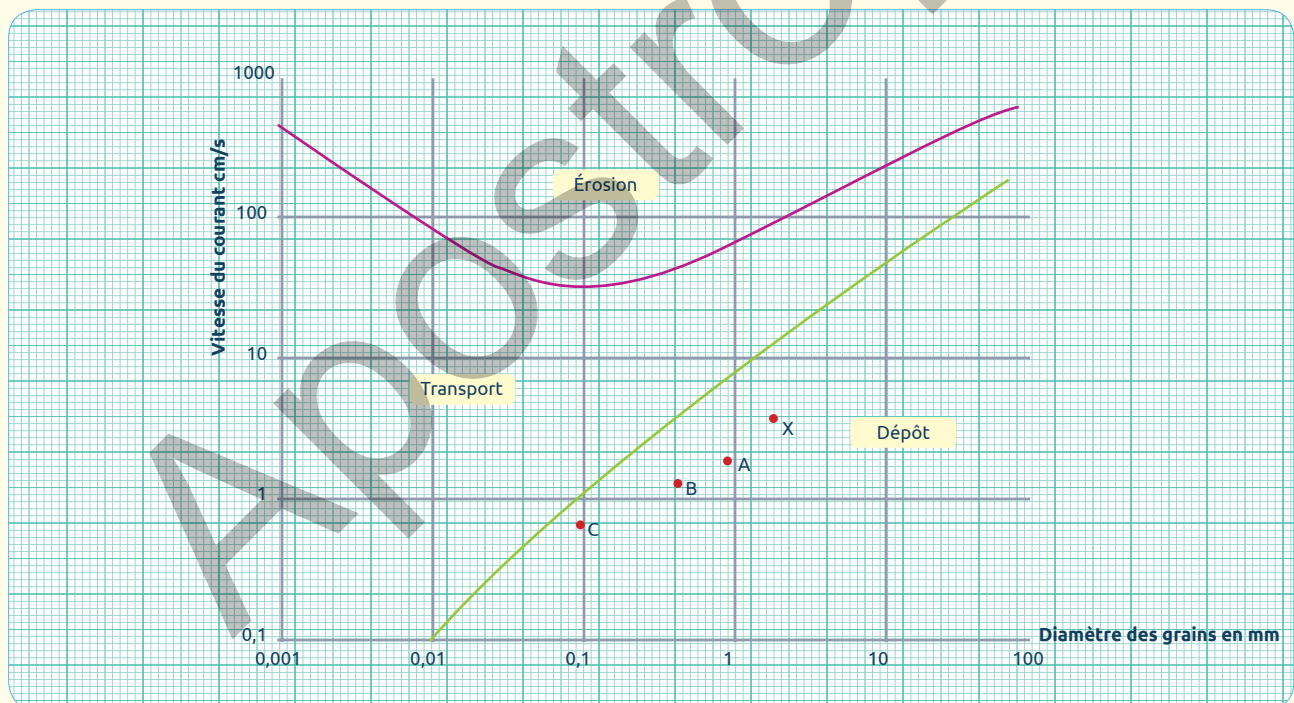
- Le document 1 : Les lieux des prélèvements échantillons A, B et C qui ont été effectués dans le lit de la rivière.
- Le document 2 : les courbes de fréquence des quatre échantillons A, B, C et X.
- Le document 3 : Les positions des quatre échantillons sur le diagramme de Hjulstroïm.



Doc. 1



Doc. 2



Doc. 3

1. À partir de l'exploitation des documents 1 et 2, **préciser** comment varie la taille des grains pour les échantillons étudiés, et **mettre** en relation les lieux de prélèvement des échantillons A, B et C avec leurs caractéristiques sédimentaires.
2. À partir du document 3, **déterminer** le lien entre la vitesse du courant d'eau et la répartition des échantillons A, B, C et X le long du lit de la rivière, puis **localiser** le lieu du prélèvement de X.
3. En utilisant les informations précédentes, **expliquer** la répartition des sédiments de l'amont de la rivière jusqu'à son embouchure, en proposant un schéma explicatif.

Une étude sur les grains de quartz des sédiments détritiques a donné les résultats représentés dans le tableau suivant :

Diamètre des mailles	1,19 - 0,84	0,84 - 0,59	0,59 - 0,42	0,42 - 0,30	0,30 - 0,21	0,21 - 0,15	0,15 - 0,105	0,105 - 0,062
Refus en % pondéral	0.2	0.4	1.2	25.5	44.3	17.4	9.3	1.5

Doc. 1

1. Sur un papier millimétré, **tracer** la courbe cumulative
2. En utilisant le document 2, **déterminer** les quartiles, **calculer** l'indice de Trask  $S_0$  et **préciser** le degré de classement du sédiment.
3. **Déduire** le milieu de dépôt et le moyen de transport de ce sable. Sachant que la morphoscopie effectuée sur les grains de quartz de ce sable a montré la dominance des grains ronds mats « RM 73 % ».

$S_0 = \sqrt{\frac{Q_3}{Q_1}}$	Degré de classement
< 1,23	très bon
1,23 à 1,41	Bon
1,41 à 1,74	Moyen
1,74 à 2,00	Mauvais
> 2,00	très mauvais

Doc. 2

→ Grille de correction :

Questions	Eléments de réponse
1	<p>1. Représentation graphique demandée :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Le refus cumulé est la masse cumulée des lots inférieurs à la taille de la maille considérée.</li> <li>• La courbe doit passer par la diagonale des rectangles.</li> <li>• Faites passer à main levée la courbe obtenue.</li> </ul>
2	<p>2. le quartile <math>Q_1</math> qui correspond à 75% du poids= 0.195  <math>Q_3</math> qui correspond à 25% du poids= 0.31                      Calcul de l'indice de Trask : <math>S_0 = \sqrt{\frac{Q_3}{Q_1}} = \sqrt{\frac{0,31}{0,195}} = 1,26</math>                      Donc <math>1,23 &lt; S_0 &lt; 1,41</math>, le sédiment est bien classé.</p>
3	<p>Milieux de dépôt : Le désert                      Moyen de transport : le vent</p>

