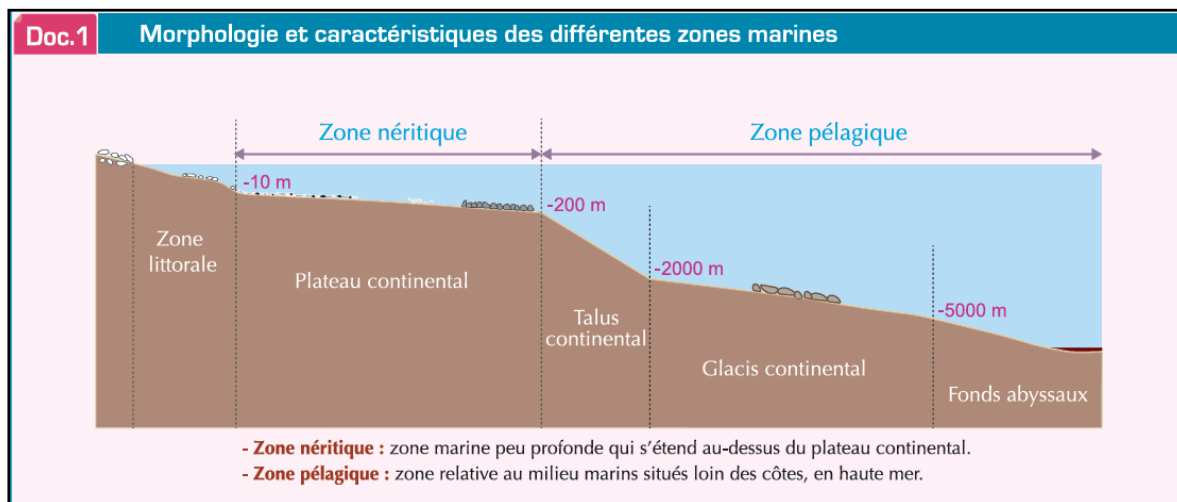


### 3- La sédimentation dans les milieux marins

#### A- La sédimentation marine et ses conditions

Le document ci-dessous représente la zonation du milieu marin ;



Les sédiments marins proviennent essentiellement de l'apport des cours d'eau. Arrivés à la mer, ils se déposent dans des zones plus ou moins éloignées du rivage. Les sédiments marins sont constitués également de restes des êtres vivants et des éléments résultant des précipitations des éléments chimiques. Le document suivant illustre la sédimentation et ses conditions dans les différentes zones marines.

	Zone néritique	Zone pélagique	
	Zone littorale et Plateau continental	Talus continental et Glacis continental	Zone abyssale Plaine abyssale et Grands fonds
<b>Profondeur</b>	Quelques mètres jusqu'à une limite située à -200m	De -200m à -2000m (Talus) et à -5000m (Glacis)	Limite inf: -5000m. Limite sup: + de -5000m
<b>Hydrodynamisme</b>	Agitation des vagues, marées, houle	Agitation faible	Immobilité
<b>Température</b>	variable	Constante	Basse
<b>Sédimentation</b>	<p><b>Origine détritique</b> en provenance du continent.</p> <p><b>Origine organique</b> (débris de coquilles et de squelettes calcaires des êtres vivants côtiers).</p> <p><b>Origine chimique</b> par précipitation des éléments carbonatés.</p> <p>Dépôt des éléments grossiers (Galets, sables) et des éléments de petite taille vers le large (limons et argiles...).</p> <p>À noter la présence des récifs coralliens dans des zones à T° chaude.</p>	<p>• <b>Dans le Talus :</b> Glissement des sédiments détritiques (Graviers, sables, boues argileuses) au niveau de la pente par des courants de turbidité.</p> <p>• <b>Dans le glacis :</b> - Dépôt des argiles venant du talus. - Dépôt des particules fines de calcaires venant de la surface. - Dépôt planctoniques et de la boue pélagique (êtres flottants ou nageants).</p>	<p>Sédimentation faible et très lente:</p> <p>• <b>Apport des éléments détritiques très fins (Boues argiles et calcaires) d'origine continentale et transportées en suspension par les courants océaniques et par le vent.</b></p> <p>• Les débris des squelettes des êtres vivants planctoniques forment des :</p> <p>- <b>Boues calcaires</b> (Coquilles calcaires des Foraminifères) vers -4000 à -5000m. Au-delà de cette profondeur les eaux dissolvent le calcaire (Surface de compensation des Carbonates CCD).</p> <p>- <b>Boues siliceuses</b> (Coquilles siliceuses des Radiolaires) vers -7000 à -8000m.</p> <p>• Dans les grands fonds, présence des <b>argiles rouges</b>.</p>

L'étude de la sédimentation marine actuelle permet :

- ❖ D'établir la paléogéographie des anciens bassins sédimentaires.
- ❖ La prospection et l'exploitation des gisements à intérêt économiques, comme les gisements de pétrole, de phosphates, de différents minerais.

## B- Quelques facteurs contrôlant la sédimentation marine

### Doc.2 Quelques facteurs qui contrôlent la sédimentation marine

**A** La sédimentation marine est contrôlée par plusieurs facteurs :

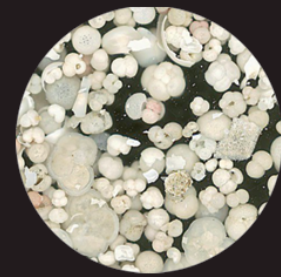
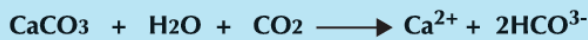
\* **Les apports détritiques** : les sédiments proviennent principalement de l'érosion des continents. Les débris grossiers se déposent sur le plateau continental et les plus fins se déposent dans les plaines abyssales.

\* **Les apports biologiques** : Le plancton constitue l'ensemble des **microorganismes** qui vivent à la **surface des océans** et possèdent un squelette ou test minéralisé, soit en carbonate de calcium **CaCO<sub>3</sub>** (comme les **foraminifères**), soit en silice **SiO<sub>2</sub>**, (comme les **diatomées** et les **radiolaires**).

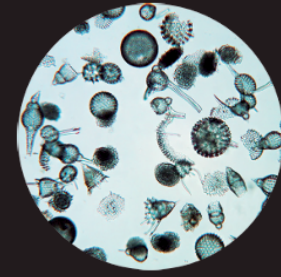
\* **La température des eaux de surface** : la sédimentation siliceuse est abondante dans les **eaux froides** riches en **CO<sub>2</sub>** et pauvres en **CaCO<sub>3</sub>**.

\* **La profondeur** : Les coquilles calcaires se déposent à une certaine profondeur suivant les conditions de la température et la pression :

A **basse température** et **sous pression**, la **teneur du CO<sub>2</sub> est grande**, il y a **dissolution du CaCO<sub>3</sub>** selon la réaction chimique suivante:

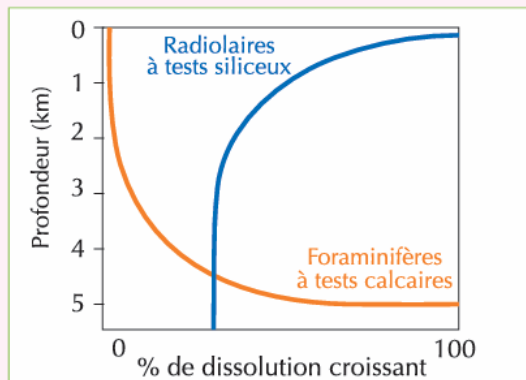


Tests de foraminifères

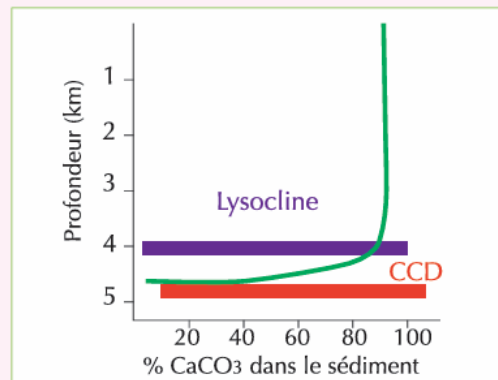


Tests de radiolaires

### **B** Les conditions de dépôts de la boue siliceuse et la boue calcaire:



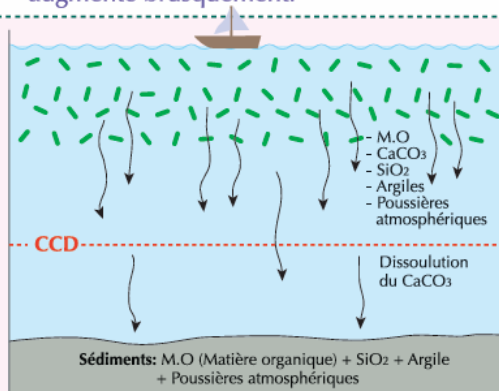
**Fig. a :** Courbes de dissolution des tests siliceux et calcaires en fonction de la profondeur



**Fig.b :** Pourcentage du CaCO<sub>3</sub> dans les sédiments marins en fonction de la profondeur

**NB**

- On appelle la **CCD** (**Carbonate Compensation Depth** = **niveau de compensation des carbonates**) la profondeur à laquelle tout l'apport du carbonate est compensé par la dissolution.
- On appelle **Lysocline** le niveau de la profondeur où la dissolution du carbonate de calcium CaCO<sub>3</sub> augmente brusquement.



**Fig.c :** Conditions de sédimentation du calcaire, de la silice et de l'argile... dans les fonds marins

1. **Déterminer** les facteurs qui influencent la sédimentation dans le milieu marin.
2. **Analyser** les résultats présentés dans les figures (a) et (b) et **expliquer** la répartition des sédiments calcaires et siliceux et d'autres sédiments dans le milieu marin (fig. c).

1- Divers facteurs influencent la sédimentation dans le milieu marin on cite :

- ❖ Les apports détritiques.
- ❖ Les apports biologiques.
- ❖ La température des eaux de surface.
- ❖ La profondeur.

2- La dissolution du calcaire augmente avec la profondeur, ce phénomène est dû à la teneur en  $\text{CO}_2$  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).

Les boues calcaires se déposent sur les fonds au-dessus de la CCD. Selon la nature des organismes, on distingue :

- ❖ La boue à foraminifères ;
- ❖ Les boues à coccolites.

La dissolution des tests siliceux est grande dans les eaux superficielles. Elle diminue en profondeur sous l'effet de la pression et de la basse température. En distingue :

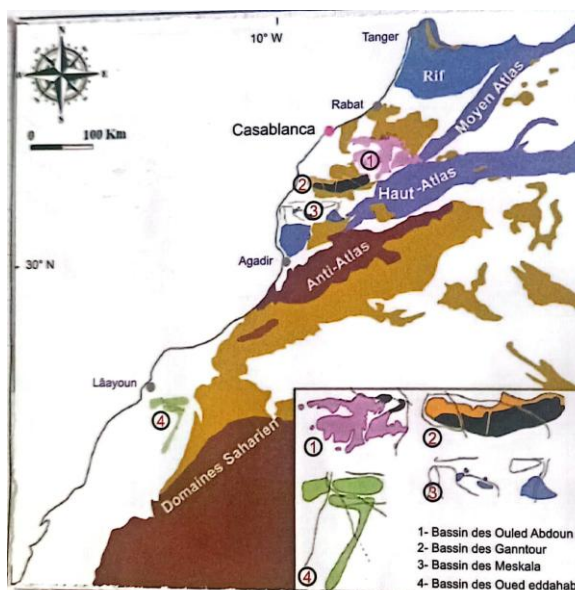
- ❖ Les boues à diatomées ;
- ❖ Les boues à radiolaires.

### III- Détermination des conditions de la sédimentation dans un milieu ancien : Mer des phosphates au Maroc

Les phosphates (ou les phosphorites) sont des roches sédimentaires caractérisées par leur richesse importante en minéral «  $\text{P}_2\text{O}_5$  » à fort intérêt économique. Ces roches se forment dans des conditions particulières.

- Quelles sont les caractéristiques des roches phosphatées au Maroc ?
- Quelles sont les conditions de la phosphatogénèse au Maroc ?
- Quelle est la paléogéographie des bassins phosphatés au Maroc ?

#### 1- Les principaux gisements des phosphates au Maroc



doc 1.

Le Maroc dont le sous-sol contient les 75% des réserves mondiales en phosphates (Lenoble 1952 et al Moutaouakil 1990), dispose de plusieurs gisements différents les uns des autres aussi bien de leur superficie que par leurs teneurs.

Les principaux domaines phosphatés au Maroc sont quatre grands Bassins :

- Bassin d'Oulad Abdoun, à Khouribga 1.
- Bassin de Gantour, à Youssoufia 2.
- Bassin de Meskala, au domaine Nord Atlasique, à Chichaoua, s'étendant du Jbilet jusqu'à le Haut Atlas Occidental 3.
- Bassin Oued Eddahab, au domaine Saharien. Gisement Boucraa 4.



Le Maroc possède les plus importants gisements des phosphates dans le monde, soit plus de trois quarts (3/4) des réserves mondiales.

Les principaux gisements phosphatés au Maroc sont :

- Bassin Ouled Abdoun, à Khouribga.
- Bassin El Gantour, à Youssoufia, Benguerir.
- Bassin Meskala, à Chichaoua, Imintanout.
- Bassin Oued Eddahab, (Laâyoune, Boukraâ)

## 2- Les caractéristiques des sédiments phosphatés

### a. Les caractéristiques pétrographiques




doc 3

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

**Sables phosphatés** : c'est le type le plus prépondérant, formé par de grains fins de formes variées comme la glauconie (silicate de fer hydraté) et contenant des foraminifères (protozoaires marins) phosphatés, des oolithes phosphatées (composée d'un noyau (nucléus) siliceux ou organique autour duquel s'est initié le développement concentrique du phosphate (cortex) par précipitation chimique (ou biochimique).

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

**Calcaire phosphaté** : présents dans tous les gisements sous forme d'une roche compacte constituée de calcaire à ciment phosphaté.

Oolithe
Silex phosphaté  
Contenant un  
fossile
Sable phosphaté


Composants chimiques	Pourcentage
Phosphate tricalcique	75%
Carbonates de calcium	8,5%
Fluorures de calcium	6,5%
Sulfates de chaux	3%
Eau composée et matières organiques	2,5%
Matières siliceuses	2%
Oxydes de fer et d'alumines	0,5%
Sels divers et magnésiens	2%
Uranium	Traces

*Principaux composants chimiques des roches phosphatées*

### b. Les caractéristiques paléontologiques

**Document 2 : strates phosphatées et quelques fossiles dans la carrière des Ouled Abdoun**

Le bassin des Ouled Abdoun, renferme les plus grands gisements de phosphate au monde. Son importance tient non seulement à sa vaste superficie (9000 Km<sup>2</sup>) mais aussi aux teneurs élevées en phosphates marins que l'on y rencontre (Boujo, 1976). Outre cet aspect économique, ce gisement est aussi très étudié d'un point de vue paléontologique, du fait de sa grande richesse en fossiles de vertébrés marins et terrestres.





Cretolamna maroccana  
(Requin)



Mosasurus beaugei  
(Reptile)



Pseudaspidoceras  
(Mollusque)

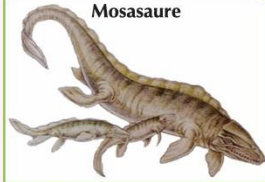
*Figure : Gisement phosphaté d'Ouled Abdoun et quelques fossiles qu'il contient*

### Données 2 Quelques fossiles des gisements phosphatés au Maroc

La faune présente de nombreux restes de **Reptiles marins** (Mosasaurus, Leiodon,) et des poissons (poissons osseux ; raies ; requins,...) ces derniers ont des **analogues actuels vivants en mer tropicale**.



Mosasaur



Visualisez la vidéo suivante sur les fossiles des gisements phosphatés au Maroc



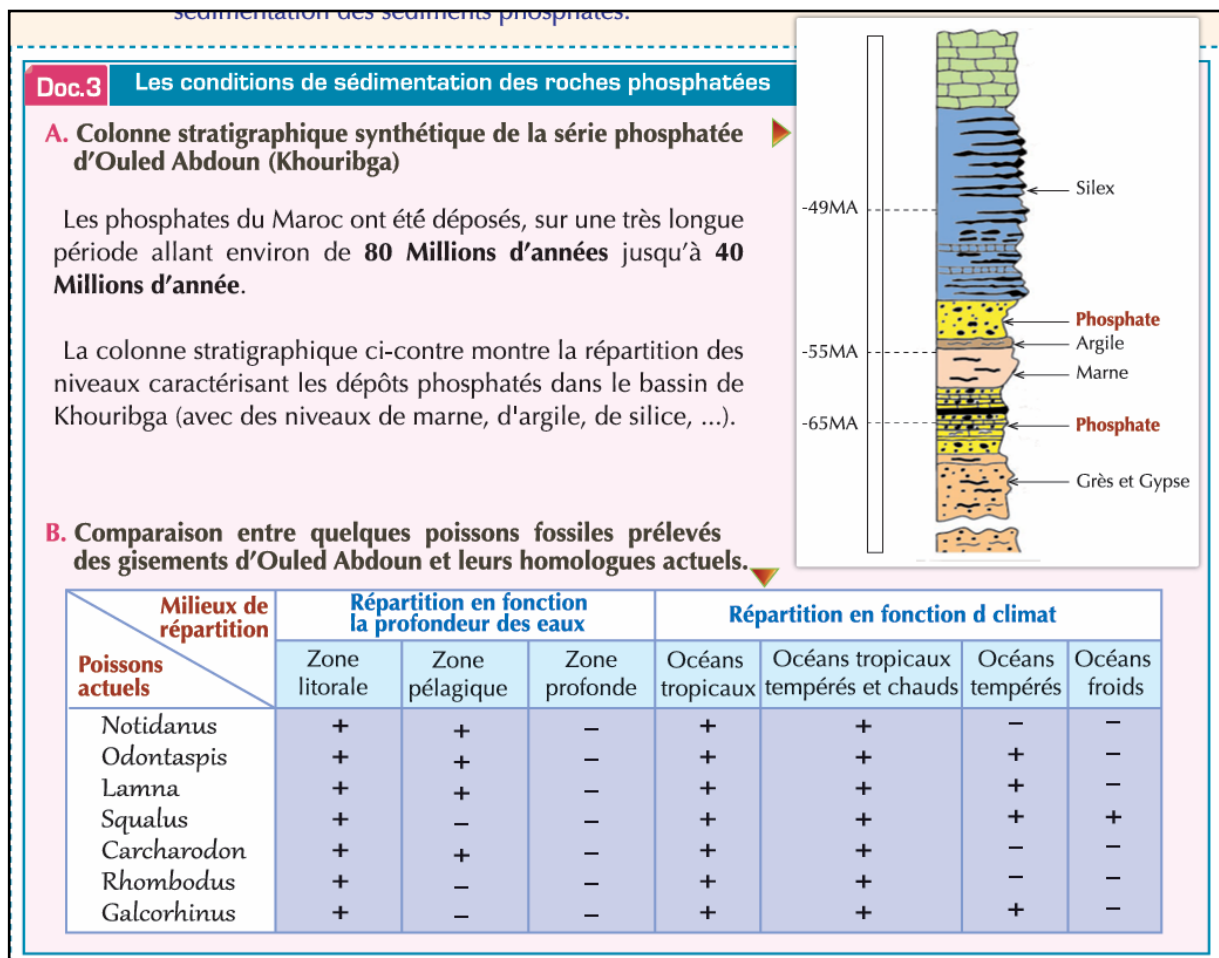
<https://www.youtube.com/watch?v=cmJJGMjpUI4>

▲ Quelques fossiles des gisements phosphatés au Maroc

La présence des fossiles des animaux marin nous laisse penser que la sédimentation des roches phosphatées se fait dans un milieu marin.

## 3- Les conditions de la phosphatogénèse au Maroc.

Pour vérifier cette hypothèse, on propose d'étudier le document suivant :





L'analyse de la colonne stratigraphique (Fig. A du doc3), à permet de conclure :

- ✓ Les dépôts phosphatés se présentent sous forme de séquences de couches en alternance avec des niveaux d'argile, marne, calcaire ou silice.
- ✓ L'épaisseur des couches varie d'un gisement et d'un niveau à l'autre.
- ✓ Le dépôt de ces éléments phosphatés s'étale sur une période allant de 40 à 80 millions d'années (de la fin de crétacé et début de tertiaire).

La fig. B du document 3 montre que les fossiles (surtouts les poissons) présents dans les dépôts phosphatés nous indiquent que le milieu de sédimentation est **un milieu marin peu profond, allant d'une littorale à la zone pélagique avec des conditions paléo écologiques caractérisées par un climat tempéré à chaud** comme celui régnant actuellement dans les mers tropicales et subtropicales.

## Conclusion :

En conclut que les phosphates marocains sont des phosphates marins formés dans une plateforme continentale (Peu profond) sur un substrat argilo-sableux, milieu ou sont réunis toutes les conditions de la phosphatogénèse.

## 4- Les théories expliquant l'origine des phosphates.

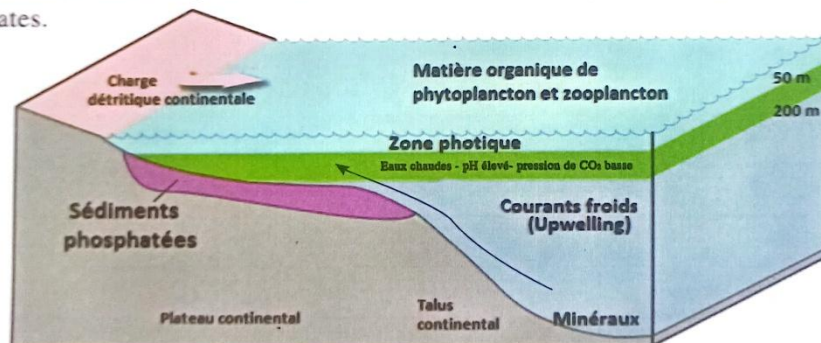
■ Document 5 : Différentes théories tentent d'expliquer l'origine des phosphates.

Théorie biolithique (Origine biologique des phosphates) L.Cayeux	Théorie sur l'origine minérale des phosphates H.M.Salvan	Théorie récente Kazakov
L'accumulation du phosphore est le fait des êtres vivants : par fixation dans le squelette de vertébrés (ou dans le plancton) après leur mort, le phosphore organique s'accumule.	Les phosphates sont issus de l'altération des roches riche en apatite, comme la syénite néphilinique	Le phosphore précipiterait chimiquement sur les bords du plateau continental, après y avoir été amené par des courants froids ascendants «Upwelling»

• Discutez les modèles présentées pour expliquer la paléogéographie des bassins phosphatés du Maroc.

Les idées sur l'origine des phosphates ont fait un grand progrès avec la théorie de russe (KOSAKOV 1937).

le phosphore qui, précipiterait chimiquement sur les bords du plateau continental, après y avoir été amené par des courants froids ascendants « Upwelling ». Avec échauffement des eaux, il y a augmentation du pH et diminution de la pression partielle en  $\text{CO}_2$ , ce qui amène une précipitation du  $\text{CO}_3\text{Ca}$ , puis des phosphates.



La présence d'un gisement de phosphates dans un bassin sédimentaire dépend de plusieurs processus :

- ✓ une source en phosphore suffisante.
- ✓ Des conditions favorables à la concentration et l'accumulation des minéraux phosphatés.

Les différentes sources possibles de phosphore sont :

- ✓ Volcanique ;
- ✓ Biologique ;
- ✓ Apport continental ;
- ✓ Apport des eaux profondes.

La **théorie de l'origine minérale** est celle de l'**origine biologique** s'avère insuffisante pour expliquer la formation des gisements phosphatés du Maroc, car l'apport du phosphore selon ces deux théories est insuffisant pour former des gisements de phosphate importants.

La **théorie des courants ascendants** apparaît plus logique et constate que la teneur en phosphore de l'eau de mer **croît** avec la profondeur. Ainsi, **les courants marins ascendants upwelling** ramènent les eaux profondes riches en substances minérales nutritives, comme les phosphates et les nitrates, vers la surface en remontant le long du talus continental, suivi de la précipitation des phosphates et dépôt des sédiments phosphatés.

## 5- La réalisation de la carte paléogéographique de la mer des phosphates au Maroc.

### **Document 7 : Réalisation de la carte paléogéographie de la mer des phosphates**

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

La théorie d'une transgression au centre et à l'ouest du Maroc d'une mer épicontinentale formant un plateau continental qui conditionne la phosphatogenèse et avec des endroits à fond surélevés où il y a l'absence de ces conditions (Trappe 1989 - Herbig 1986).

La théorie du bassin fermé en communication restreinte avec la haute mer (Boujo, 1976), ce modèle propose un système de golfs et prévoit que le phosphore et les autres minéraux des eaux froides profondes, nécessaires à la formation des phosphates, seront distribués par l'intermédiaire des courants de distribution dans des cuvettes peu profondes protégées des courants forts venus du large.

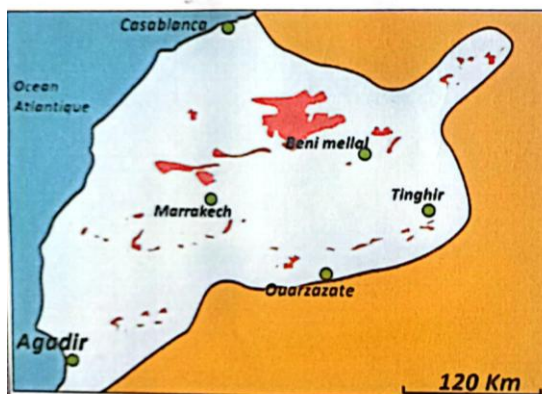


Figure 1 : Modèle d'une mer épicontinentale (Trappe 1989 - Herbig 1986)



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

L'étude des minéraux et des fossiles dans les phosphates a permis de reconstituer les environnements sédimentaires dans lesquels s'est formé le phosphate. Ainsi, les géologues ont établi **des cartes paléogéographiques** qui représentent ces environnements ainsi que leur évolution au cours des temps géologiques.

L'importance de la période d'érosion qui a suivi la sédimentation des roches phosphatées a rendu très difficile la détermination avec précision les limites des bassins de phosphates. C'est pourquoi plusieurs modèles théoriques ont été proposés pour la reconstitution des environnements sédimentaires anciens de ces bassins.

## Schéma bilan

