



Département de Géologie

Module : Phosphates et Minéraux industriels

**(Option : Pétrole / Phosphates et Minéraux
industriels)
(STU6)**

**Géologie des phosphates
(Cours & travaux pratiques)**



Pr. E. M. EL FALEH

GÉOLOGIE DES PHOSPHATES

SOMMAIRE

INTRODUCTION

I – INTERET DE L'ETUDE DES PHOSPHATES

II – GENERALITES SUR LES PHOSPHATES

III – DESCRIPTION DE QUELQUES SERIES PHOSPHATEES MAROCAINES

IV – CONDITIONS PALEOGEOGRAPHIQUES DES DEPOTS PHOSPHATES

V – PHOSPHATOGENESE ET FORMATION DES GISEMENTS

VI – METHODES D'EXPLOITATION ET TRAITEMENT DES PHOSPHATES

CONCLUSION

Préambule

Ceci n'est juste qu'un support pouvant éventuellement vous aider dans votre compréhension du cours de la "géologie des Phosphates"

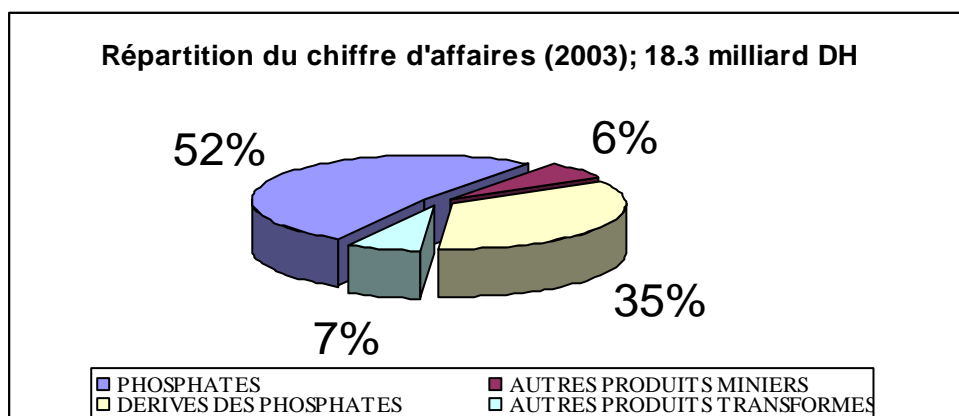
La prise de notes et les illustrations (planches) sont indispensables pour compléter ce support de cours.

INTRODUCTION

Secteur minier

- Le secteur minier représente :
- 20 % des exportations et emplois 40 000 personnes ;
- 3 % du PIB (hors transformation) 6 % (y compris transformation);
- Production : 24,9 millions de tonnes dont 95 % de phosphates, 50 % destinée à l'export ;
- MAROC 1er exportateur mondiale de phosphate et 3e producteur.

MINES	2002 En Millier de tonne	2003 En Millier de tonne	POURCENTAGE
Phosphates	23 038	22 877	95,47%
Plomb	88,6	54,8	0,23%
Zinc	178,4	136,4	0,57%
Barytine	487,6	358,4	1,50%
Cuivre	17,8	17,5	0,07%
Argent	276,8	200,5	0,84%
Sel	266,9	236,4	0,99%
Fluorine	94,9	81,2	0,34%
Total	24 087	23 962	100,00%



❖ Secteur minier : forces

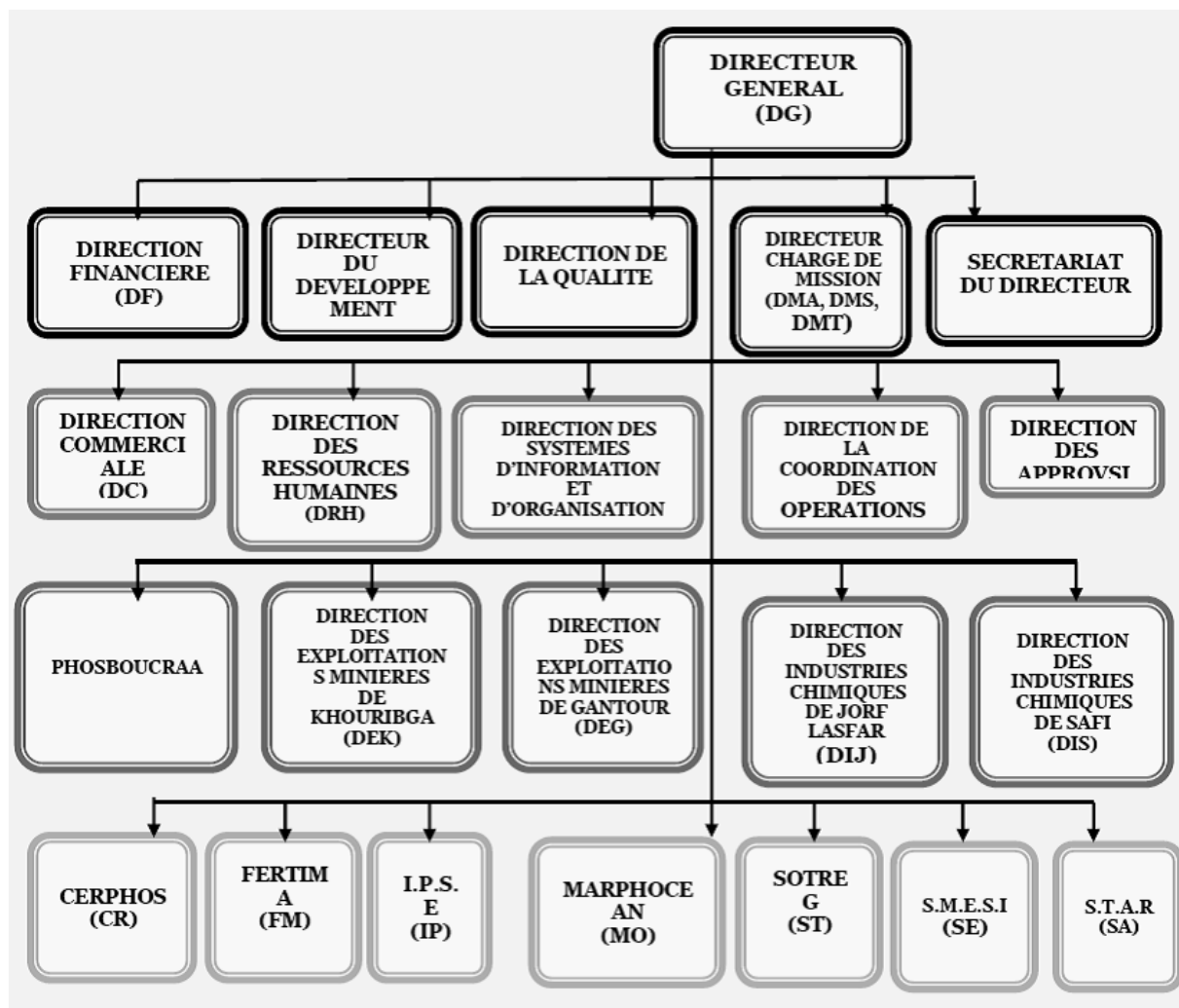
- Activité minière ancestrale ;
- Existence d'une géologie variée ;
- Diversité des substances minérales exploitées ;
- Capitalisation d'un savoir-faire indéniable ;
- Politique de formation et de valorisation.

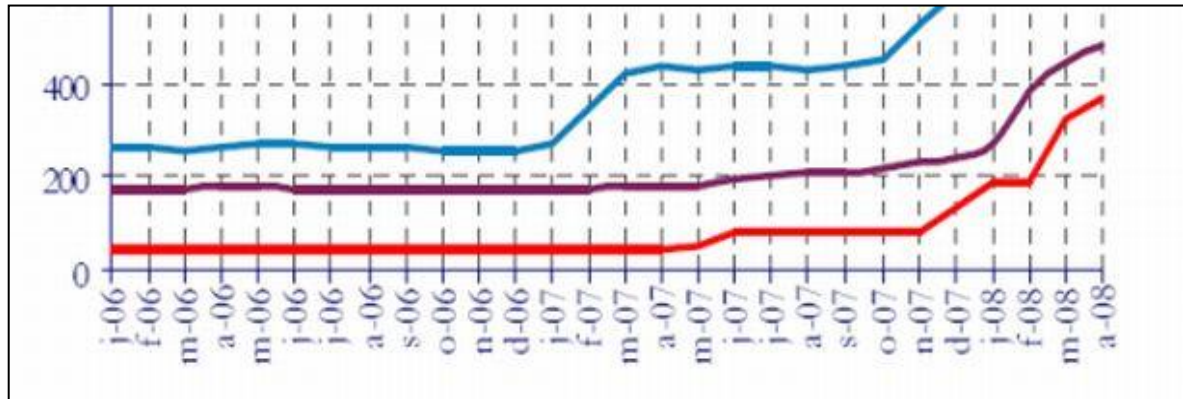
❖ Secteur minier : faiblesses

- Inadéquation des textes législatifs, réglementaires et organisationnels ;
- Richesses minières encore sous-explorées ;
- Insuffisance de l'infrastructure géologique :
- Raréfaction des gisements affleurants ou sub-affleurants ;
- Sous – exploration de la zone Cadetaf (60.000 Km²) ;
- Encadrement et appui faible à l'activité artisanale (3000 permis) ;
- Faible Politique de commercialisation ;
- Tendance baissière des prix (moins 5% en 2003) ;
- Absence de politique à moyen et long terme (cas mine Anthracite de JERRADA 5000 licenciements et 100 000 habitants sinistres).

Office Chérifien des Phosphates (OCP) (voir organigramme, ci-dessous)

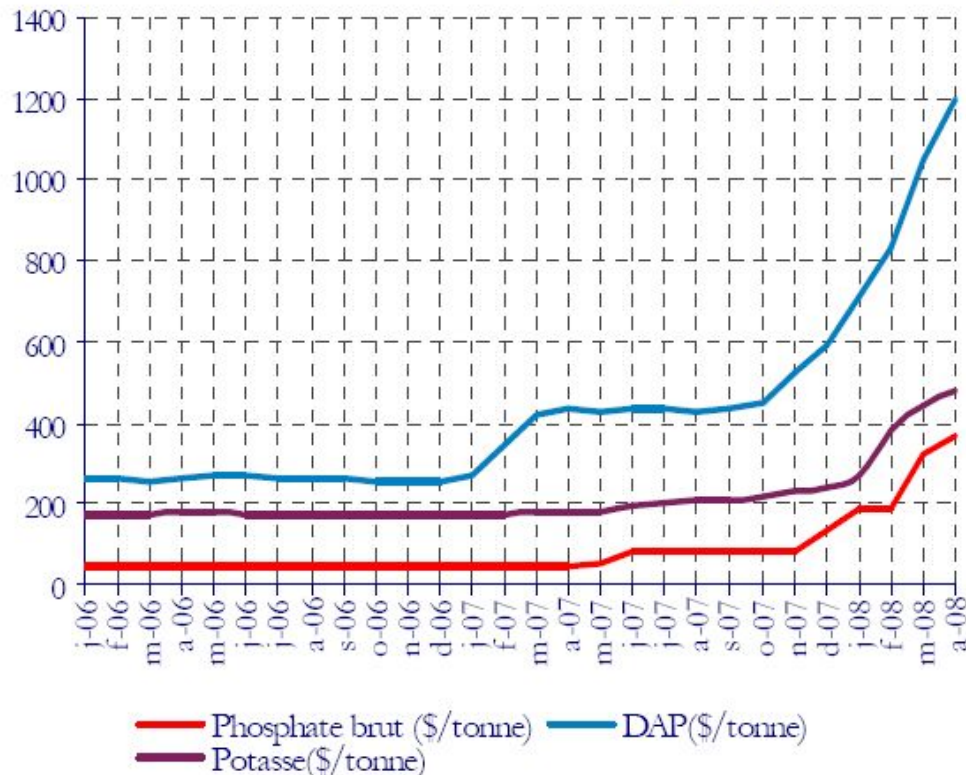
- le Maroc renferme les 3/4 des réserves mondiales de phosphates.
- le premier exportateur dans le monde et le 3ème producteur après les USA et la Russie.
- l'exportation des phosphates constitue un monopole de l'Etat représenté par l'Office Chérifien des Phosphates (OCP) créée en 1920.





Les prix des phosphates ont été multipliés presque par huit pendant les derniers 14 mois. Le revenu annuel généré par les mines de phosphates situées au Sahara Occidental occupé approche les 1,2 milliards \$US (Bank Al-Maghrib ; 20/03/2008).

Evolution du cours international du phosphate



En juillet 2008, le Groupe OCP compte 18 000 salariés, réalise environ 2 milliards d'euros de chiffre d'affaires (+26% en un an ; 98% à l'export), soit 4% du PIB marocain à lui seul !

Le quart de sa production (contre 16% en 2004) part vers des co-entreprises dotées d'usines de transformation. Ainsi, l'OCP détient une participation de 50% dans les usines du groupe belge Prayon, 33% du capital des indiens Imacid et Paradeep Phosphate, 50% du pakistanais Fauji Fertilizer Bin Qasim, etc.

L'OCP mise aussi sur l'agriculture africaine. L'OCP et la Libye ont convenu (mai 2008) d'investir 1 milliard de dollars dans des usines, afin de constituer un «Maghreb des phosphates et de l'énergie». L'Union méditerranéenne n'a qu'à bien se tenir...
Le 6 juin 2008, Mostafa Terrab, patron d'OCP, a confirmé au journal Jeune Afrique un programme d'investissement de 4 milliards de dollars d'ici 2012. Cette stratégie permettra de faire retomber la tonne de phosphates de 300 \$ à ce jour vers les 100 \$.

I – INTERET DE L'ETUDE DES PHOSPHATES

Le phosphore est un élément vitale des cellules dans le corps humain il est assez abondant dans les os et les dents.

Il se présente aussi dans les végétaux car il a une grande importance dans leurs croissances et leurs fleurissons.

A - Intérêt économique

- ❖ Produits utilisables dans l'agriculture sous forme d'engrais ;
(1tonne de blé → 10 Kg de Phosphore).
- ❖ Fabrication de l'acide phosphorique (industrie alimentaire, pharmaceutique, peinture, photographie, pétrolière, fabrication des insecticides et des pesticides, des textiles, Détergents (lessive), traitement des eaux potables, matériaux de plastiques...

B - Intérêt scientifique

L'étude des phosphates peut donner de nombreuses informations sur le milieu marin dans lequel ces roches sont formées (indicateurs de paléoenvironnement particuliers)

II – GENERALITES SUR LES PHOSPHATES

A - Types des gisements phosphates

- ❖ Gisements d'origine magmatique (≈ 15% de la production mondiale) :
Ce sont des gisements liés à des complexes intrusifs alcalins (gisement de Palabora)
- ❖ Gisements de guanos (≈ 2% de la production mondiale) :
Ce sont des gisements liés aux déjections des oiseaux de mers qui dévorent les poissons, ces déjections contiennent les phosphates de Mg et NH qui vont réagir avec les roches qui leur servent comme support.
- ❖ Gisements sédimentaires (≈ 80% de la production mondiale) :
Représentent les gisements les plus importants en nombre et en volume, les teneurs sur place sont souvent supérieures à 20 et même 30 % P₂O₅ (Gisements Marocains)

B - Répartition des phosphates dans le temps (figures 1 et 2)

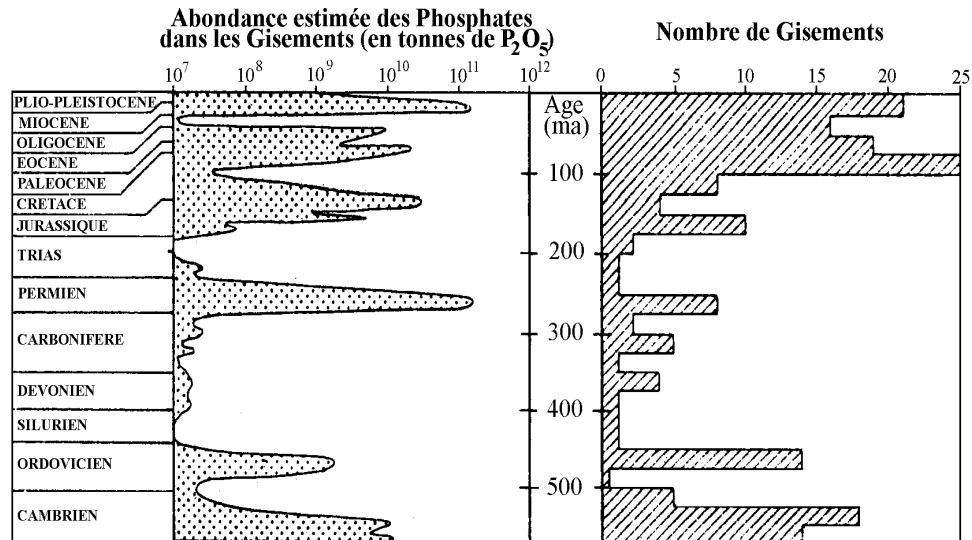


Figure 1 – Répartition stratigraphique des dépôts phosphatés (Cook et McElhinny, 1979).

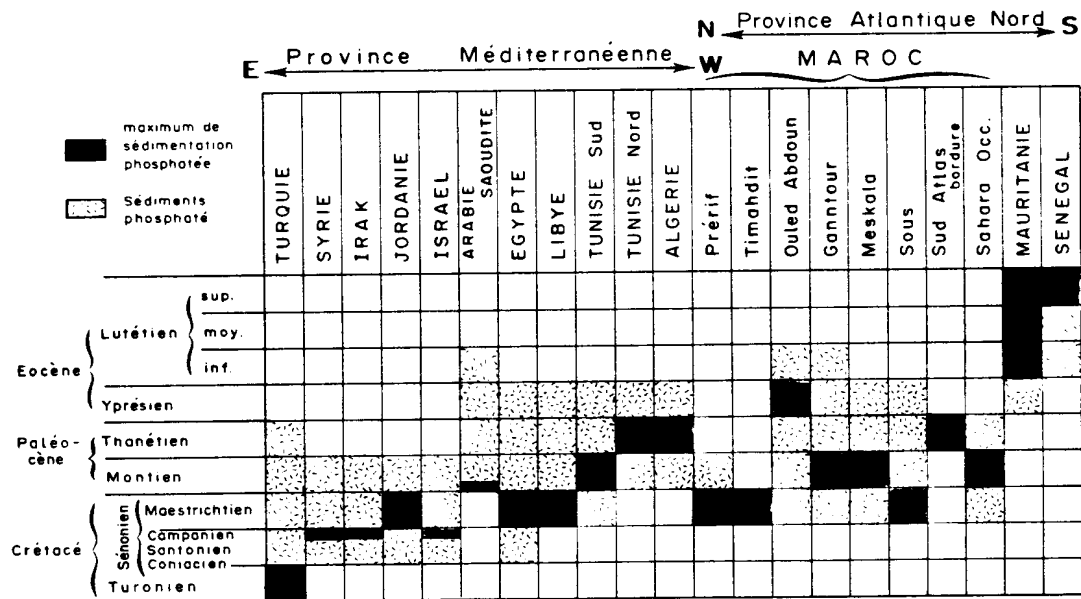


Figure 2 – Répartition stratigraphique des dépôts phosphatés dans les provinces mésogienne et atlantique (in Prévot, 1988).

C - Répartition des phosphates dans l'espace (figure 3)

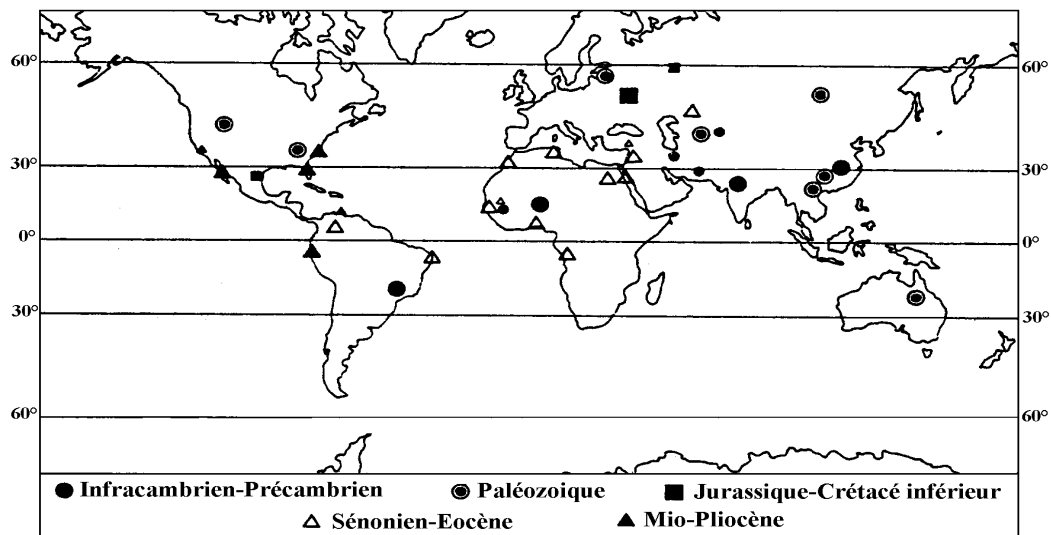


Figure 3 – Position des principaux gisements exploités ou potentiels (Slansky, 1980).

III – DESCRIPTION DE QUELQUES SERIES PHOSPHATEES MAROCAINES

A - Les phosphates Marocains

Les phosphates occupent la première place dans le palmarès des ressources du sous sol marocain qui renferme les plus importants gisements de phosphate sédimentaire du monde. D'énormes réserves sont situées dans 4 grands bassins phosphatés qui sont du Nord vers le Sud (figures 4, 5 et 6) :

- Bassin des OULAD ABDOUN
- Bassin des GANTOUR
- Bassin de MESKALA
- Bassin de OUED-ED-DAHAB



Figure 4 – Carte structurale simplifiée du Moyen –Maroc.

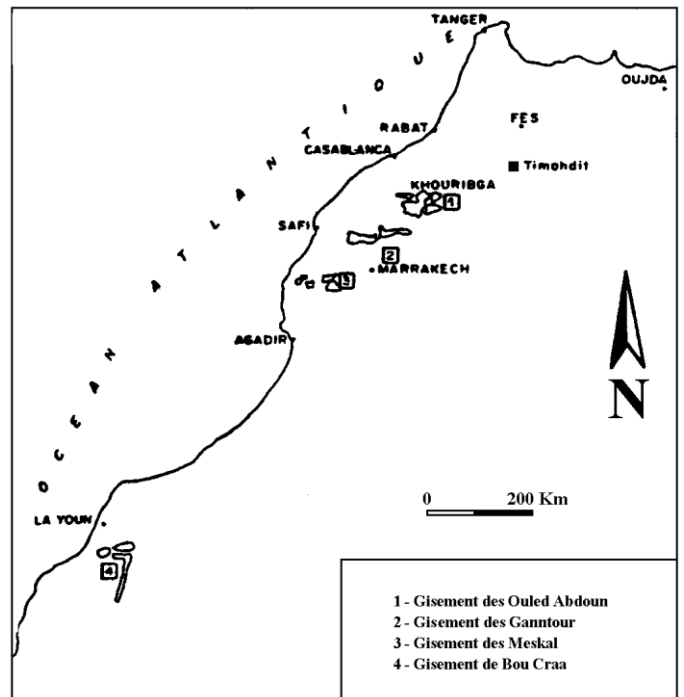


Figure 5 – Situation des gisements de phosphate (voir figure 6) et gisement des schistes bitumineux de Timahdit (in Benalioulhaj, 1991, modifié)

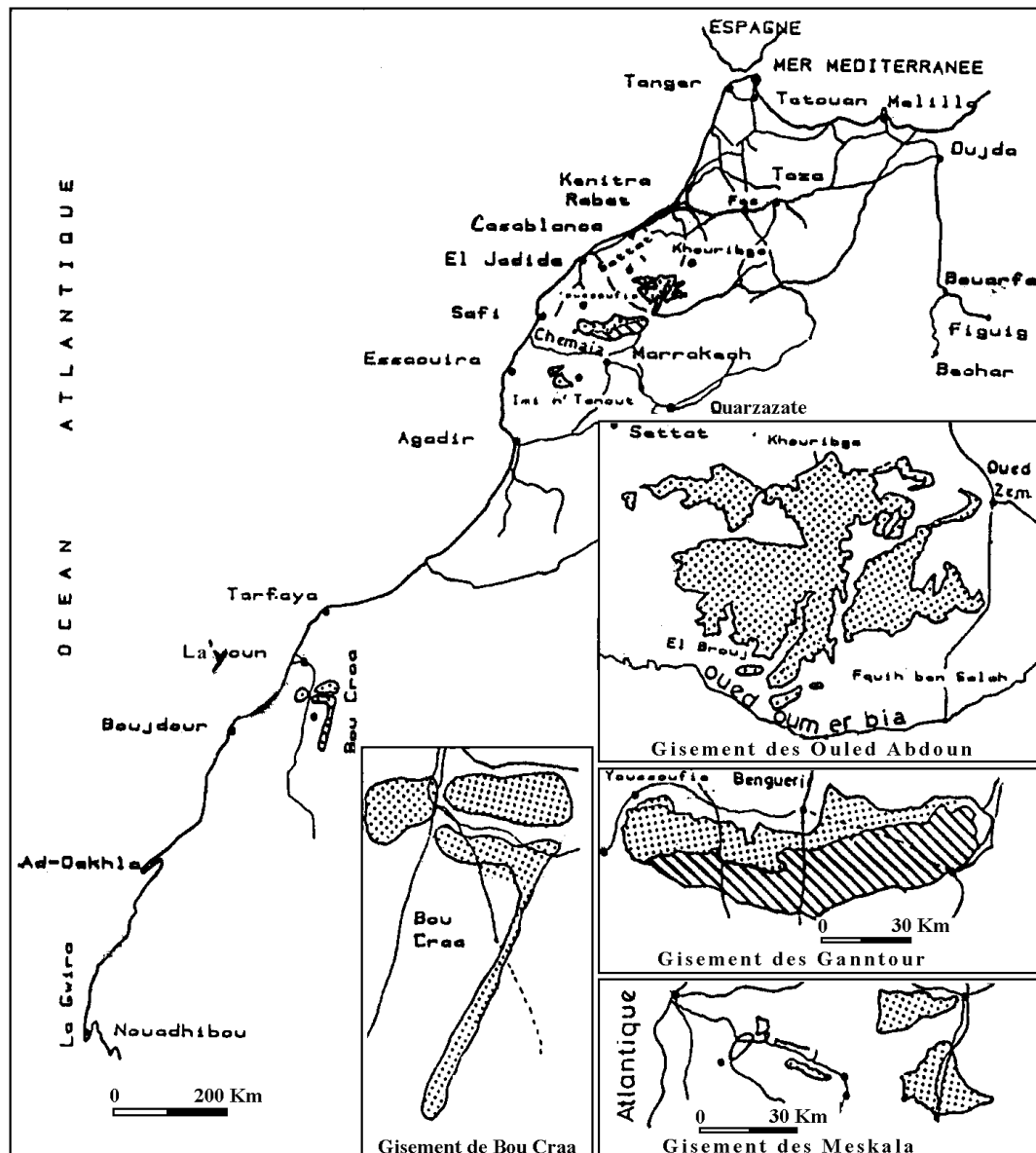


Figure 6 – Localisation des principaux gisements de phosphate du Maroc.

- ❖ La production de phosphate brut est assurée dans quatre centres miniers : Khouribga, Youssoufia, benguerir et Boucrâ.
- ❖ La production annuelle totale est de l'ordre de 23 millions de tonnes par ans, la moitié de ce volume est exportée comme matière première à destination vers d'une quarantaine de pays à travers le monde tandis que l'autre moitié est livrée aux usines locales de transformation à savoir :

- ➡ Maroc chimie I et II (Safi)
- ➡ Maroc phosphore I et II (Safi)
- ➡ Maroc phosphore III et IV (Jorf Lsfar)
- ➡ IMAPHOS ET IMACID (Jorf Lsfar)

Le Maroc :

- ◆ dispose de trois quarts des réserves mondiales de phosphates ;
- ◆ le 3ème producteur mondial du phosphate ;
- ◆ le 1er exportateur à l'échelle mondiale avec environ 1/3 du commerce internationale ;
- ◆ le 1er exportateur mondial d'acide phosphorique (50% du marché international).

L'Union Européenne demeure la principale destination du phosphate marocain. En effet, l'Union a absorbé 32,7% des exportations générant 837MDH de recettes.

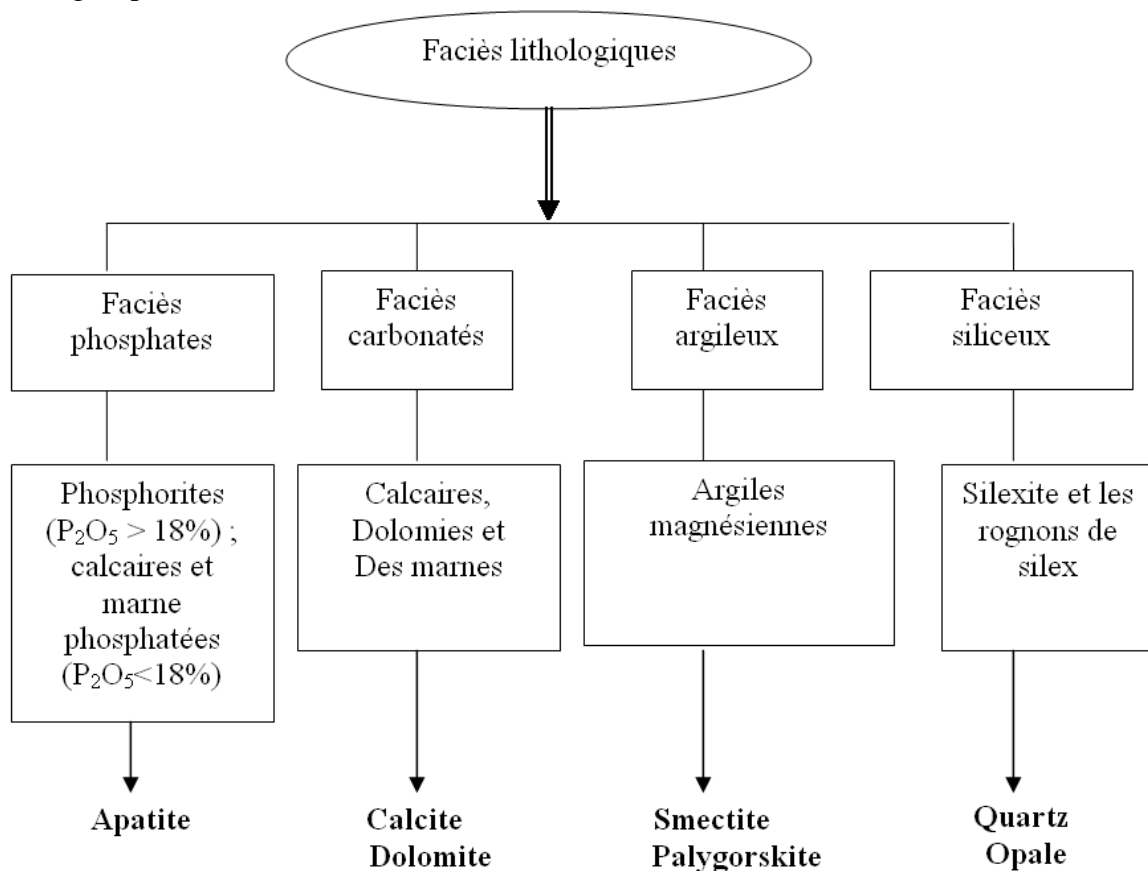
B - Etude du gisement des Ouled Abdoun

De ces quelques données géologiques relatives au gisement de Oulad-Abdoun, on peut conclure que :

Le bassin des Oulad-Abdoun correspond à une plate-forme stable où se sont développées dans un contexte tectonique relativement calme, et après une longue période continentale correspondante au Trias, au Jurassique et au Crétacé inférieur, des formations allant du Cénomaniens à l'Eocène.

1 - Pétrographie

Les différents faciès observés dans la série phosphatée des Oulad- Abdoun peuvent être regroupés au sein de 4 faciès :



➤ Les éléments figurés

Ils sont surtout représentés par des éléments phosphatés comprenant des grains enrobés et des grains non enrobés. On trouve également des bioéléments non phosphatés et du quartz clastique (figure 7).

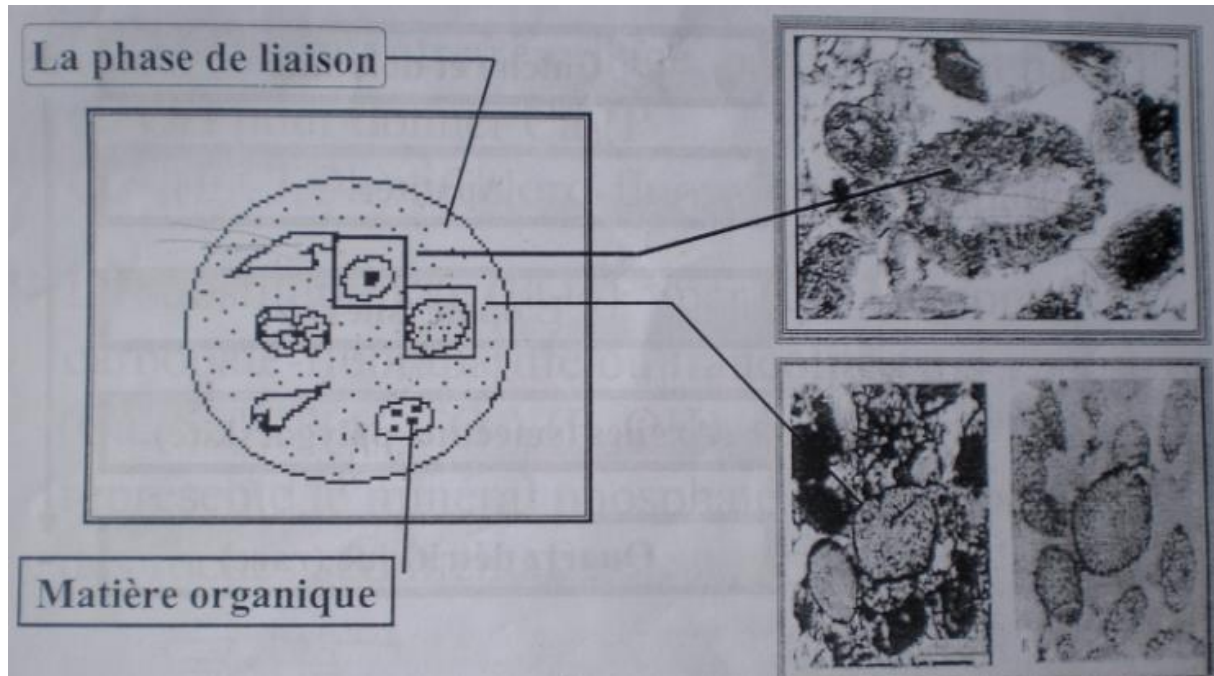


Figure 7 – Les éléments figurés des phosphates.

2 - Minéralogie

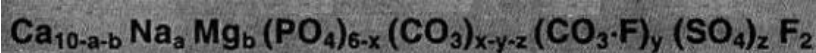
Phosphates :

- * Calcite et dolomite
- * Apatite
- * Opale (silex)
- * Argiles (smectite, palygorskite)
- * Quartz détritique (rare)



- L'apatite la plus fréquente des roches magmatiques est la fluorapatite qui présente la formule chimique suivante $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$ (figures 8 et 9).
- Le Fluor peut être remplacé partiellement par Cl ou OH pour donner $\text{Ca}_5(\text{P O}_3)_3(\text{F,Cl,Oh})$: Chloro-fluoro-hydroxyapatite
- La substitution de $(\text{PO}_4)^{3-}$ par $(\text{CO}_3)^{2-}$ donne le carbonate-fluorapatite ou francolite :

$(\text{Ca, Na})_5(\text{PO}_4, \text{CO}_3)_3(\text{F, OH})$, ce dernier représente le minéral phosphaté le plus abondant des roches sédimentaires.



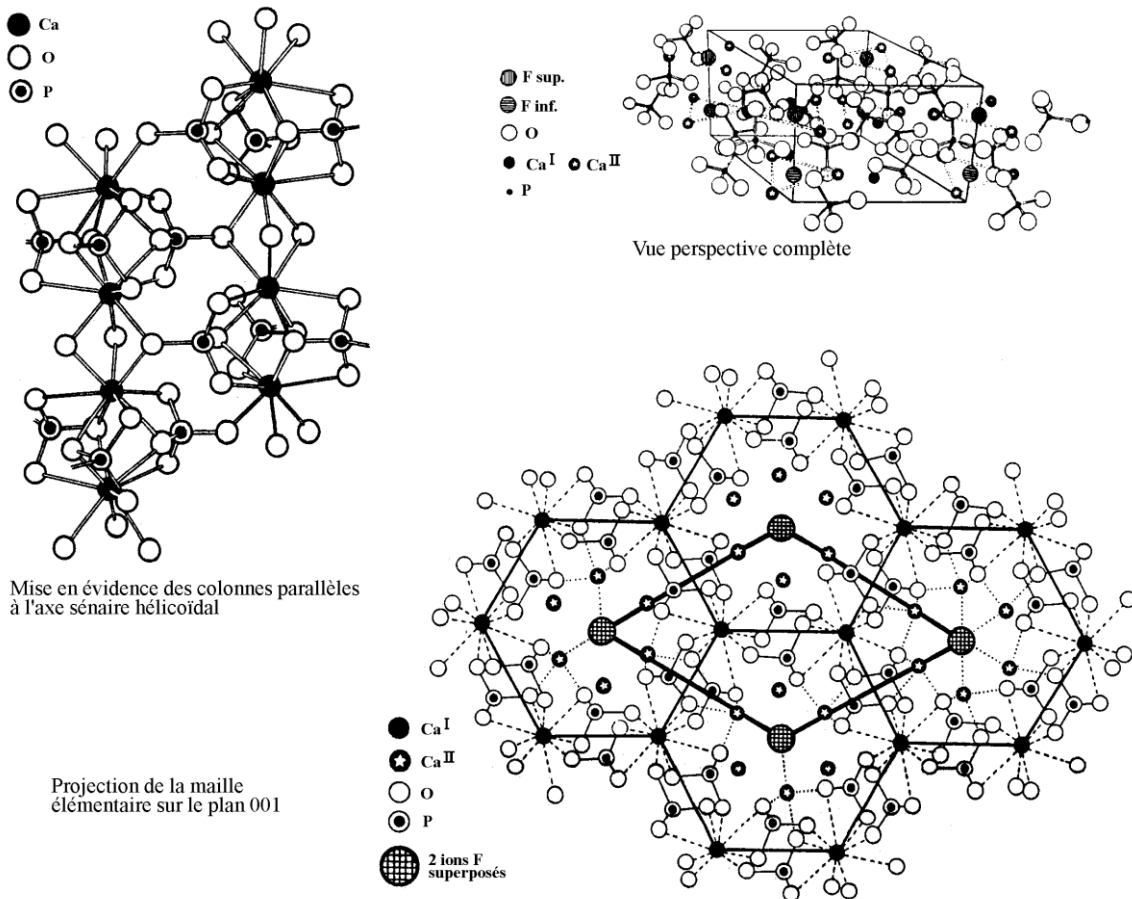


Figure 8 – Structure de l'apatite.

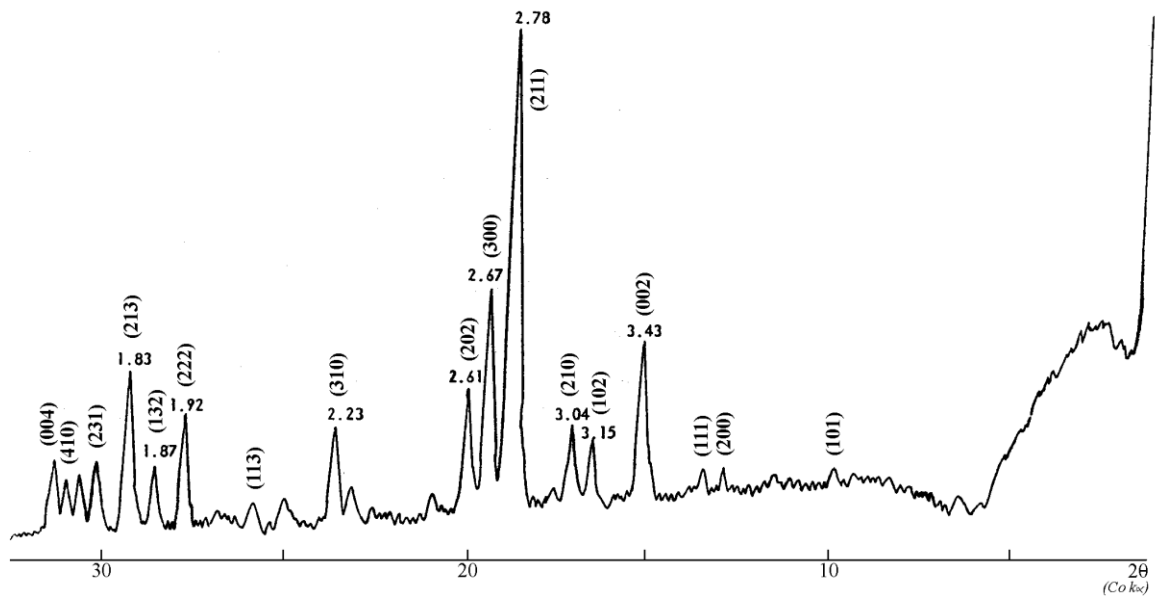


Figure 9 – Diffractogramme type de l'apatite.

3 – Géochimie (Tableaux I, II, III, IV et figure 10)

Tableau I – Teneur moyenne en éléments traces de l'eau (ppb), de la croûte terrestre (ppm) et de certaines phosphorites (in El Faleh 1988).

Eléments	1 (ppb)	2 (ppm)	3 (ppm)	4 (ppm)	5 (ppm)	6 (ppm)	7 (ppm)
Sr	8100	375	1505	1228	602	1209	750
Ba	21	25	363	25	61	51	350
Cd	0,11	0,2	11	17	-	-	18
U	3,3	1,8	82	-	-	-	120
Ca	0,39	25	9	3	1	18	7
Cr	0,2	100	110	230	169	197	125
Cu	0,9	55	13	-	35	37	75
Li	170	20	6	-	-	-	5
Mn	0,4	950	-	-	-	-	-
Mo	10	4,5	-	-	-	-	9
Ni	6,6	75	22	24	39	86	53
Pb	0,03	13	-	6	8	-	50
Rb	120	90	2	-	-	-	-
Ti	1	4400	-	-	-	-	640
V	1,9	135	107	46	69	132	100
Y	0,013	33	59	-	-	152	260
Zn	5	70	140	197	177	321	195

- 1- Eau de mer (TURKIAN, 1969)
- 2- Croûte terrestre (TAYLOR, 1964)
- 3- Palmyrides, Syrie (ABBAS, 1987)
- 4- Metlaoui, Tunisie (CHAABANI, 1978)
- 5- Ganntour (sondage), Maroc (PREVOT et al., 1979b)
- 6- Ouled Abdoun, Maroc (BENALIOLHAJ, 1988)
- 7- Moyenne mondiale des phosphorites (ALTSCHULER, 1980a)

Tableau II – Classement des éléments chimiques par ordre de variabilité croissante dans la série phosphatée des O. A. et dans la série des schistes bitumineux du Moyen-Atlas (Benalioulhaj, 1991).

Série phosphatées des Oulad-Abdoun				Schistes bitumineux du Moyen-Atlas			
Eléments majeurs	teneur moy. (%)	Eléments traces	teneur moy. (ppm)	Eléments majeurs	teneur moy. (%)	Eléments traces	teneur moy. (ppm)
CaO	33,48	Cu	39	Pf	27,62	Ce	32
Pf	20,80	Lu	0,76	CaO	28,22	Ba	53
S	1,43	Ce	47	SiO ₂	29,47	V	73
SiO ₂	20,70	Sc	6	S	1,49	Cr	137
Na ₂ O	0,37	Eu	2,70	K ₂ O	0,57	La	20
F	1,86	Sr	686	HgO	3,37	Lu	0,35
P ₂ O ₅	13,53	Cr	216	TiO ₂	0,20	Sr	589
K ₂ O	0,54	Ba	71	Fe ₂ O ₃	1,66	Ni	72
TiO ₂	0,17	Zn	319	Al ₂ O ₃	3,82	Cu	40
C.org.	3,33	Co	23	C.O.r.g.	4,83	Zn	252
Fe ₂ O ₃	1,10	La	45	F	0,60	Yb	2,11
Al ₂ O ₃	2,68	Yb	4,89	Na ₂ O	0,22	Y	35
HgO	3,90	Zr	44	P ₂ O ₅	3,72	Zr	52
		Y	87			Co	12
		Ni	52			Sc	6,51
		V	194			Eu	<2

Tableau III – Teneurs moyennes en éléments majeurs et traces dans la famille de référence des Ganntour (Famille 739) (Prévot, 1988).

Eléments majeurs	Teneurs moy. (%)	Eléments traces	Teneurs moy. (ppm)
SiO ₂	28,47	Sr	672
Al ₂ O ₃	1,78	Ba	97
HgO	5,94	V	147
CaO	29,89	Ni	57
Fe ₂ O ₃	0,66	Co	1
TiO ₂	0,13	Cr	217
Na ₂ O	0,24	Zn	194
K ₂ O	0,30	Cu	38
P ₂ O ₅	11,38		

Tableau IV – Exemple d'intercorrélations.

Si..Al..Fe..Ti..K.....Ba	A
Al..Fe..Ti..K.....V	R
Al..Fe..Ti.....V..Ni..Cr..Zn.....B.....Ga	G
Al..Fe.....Ni.....B.....Ga..Co	I
Na.....V..Ni..Cr..Zn	L
Al..Fe.....V..Ni..Cr..Zn..Cu	E
Ti.....V..Ni..Cr..Zn..Cu	S
Pb	
Si.....Mn.....Pb..Sn	QUARTZ et OPALE
K.....Mn.....Pb	
K.....Mn.....Ga	
Ca.....C...PF	CARBONATES
Mg..C...PF.....Ni.....Co	
C...PF...V..Ni..Cr.....Ga	MATIERE ORGANIQUE
P..F.....Na..Ca.....Sr	APATITE
P..F.....Na.....Cu	
Na.....V..Ni..Cr..Zn..Cu	
Eléments traces sans pilote	Ni.....Zn.....Cd
	Co..Pb

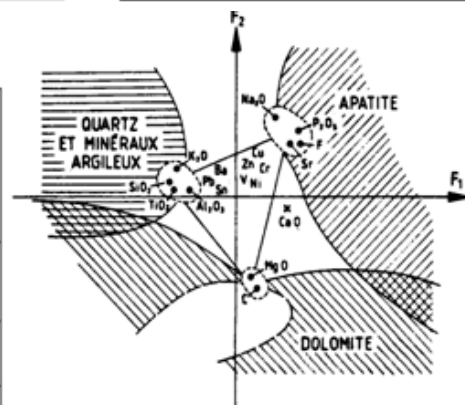


Figure 10 – Exemple d'analyse factorielle.

IV – CONDITIONS PALEOGEOGRAPHIQUES DES DEPOTS PHOSPHATES

La formation des séries phosphatées exige trois principales conditions :

- ☉ Source pour les éléments chimiques qui rentrent dans la formation de l'apatite
- ☉ Milieu favorable à la précipitation de l'apatite
- ☉ Période favorable à la formation de l'apatite

Source des éléments chimiques qui rentrent dans la formation de l'apatite :

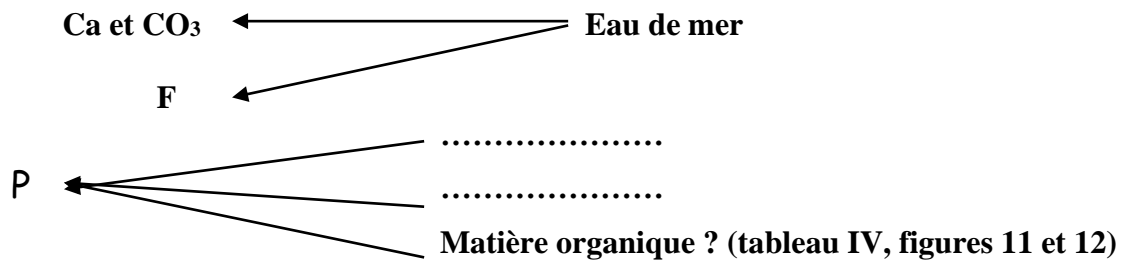


Tableau IV – La comparaison des eaux chaudes de surface comparée avec celle des eaux profondes, plus froides (concentration en millièmes de mole/l) (in El Faleh, 1988).

Composés chimiques	Eaux chaudes de surface	Moyenne des eaux profondes
Phosphate	0	2,2
Carbone dissous total	2000	2275
Ions carbonate	223	90
Dioxyde de carbone gazeux	13	45
Ions calcium	10000	10055

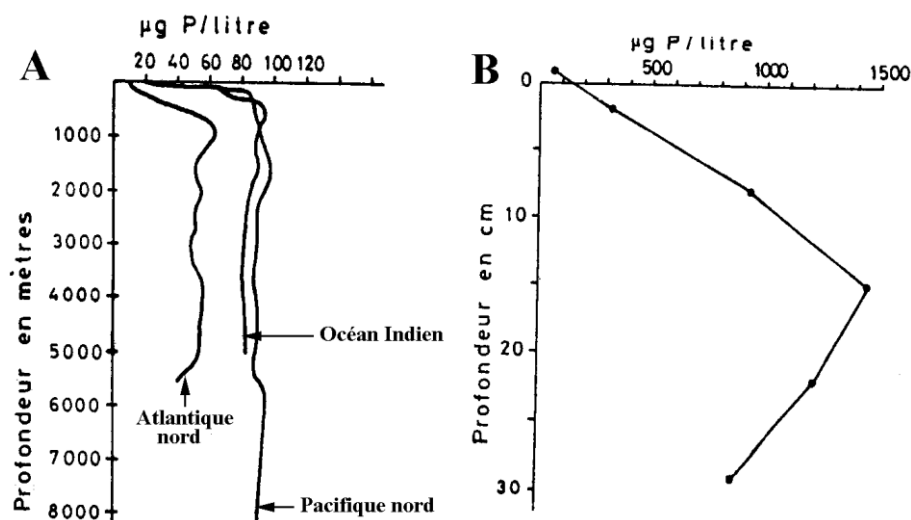


Figure 11 – A : Variation des teneurs en P dissous en fonction de la profondeur ; B : Teneur en P de l'eau interstitielle d'une carotte prélevée à 185 m de profondeur sur le plateau continental péruvien (in Slansky, 1980).

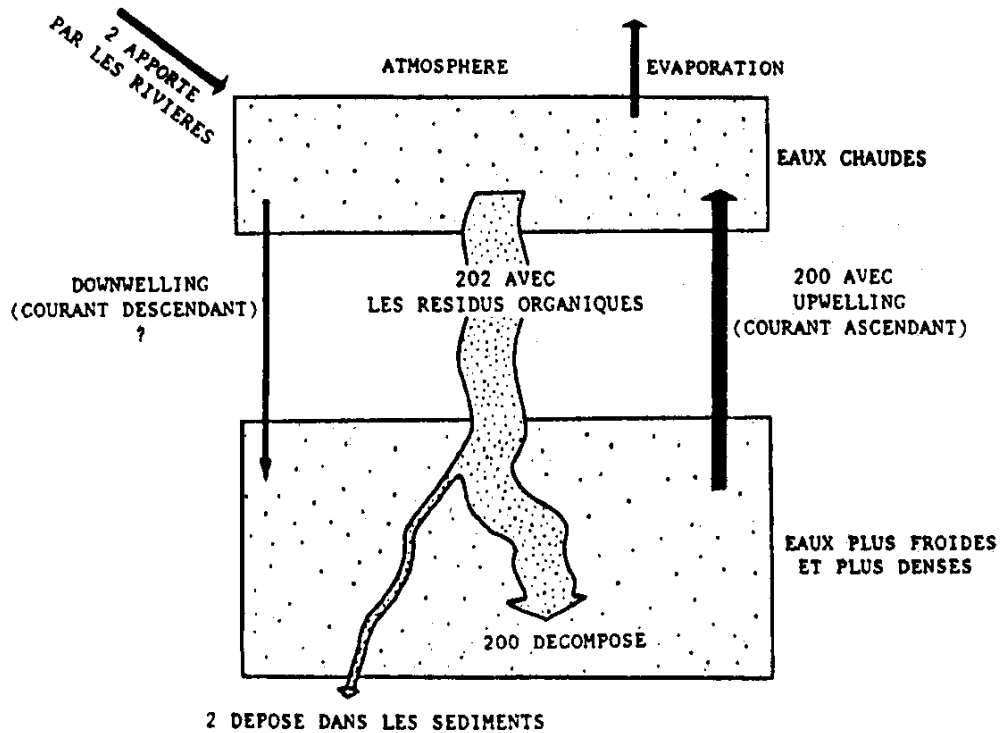
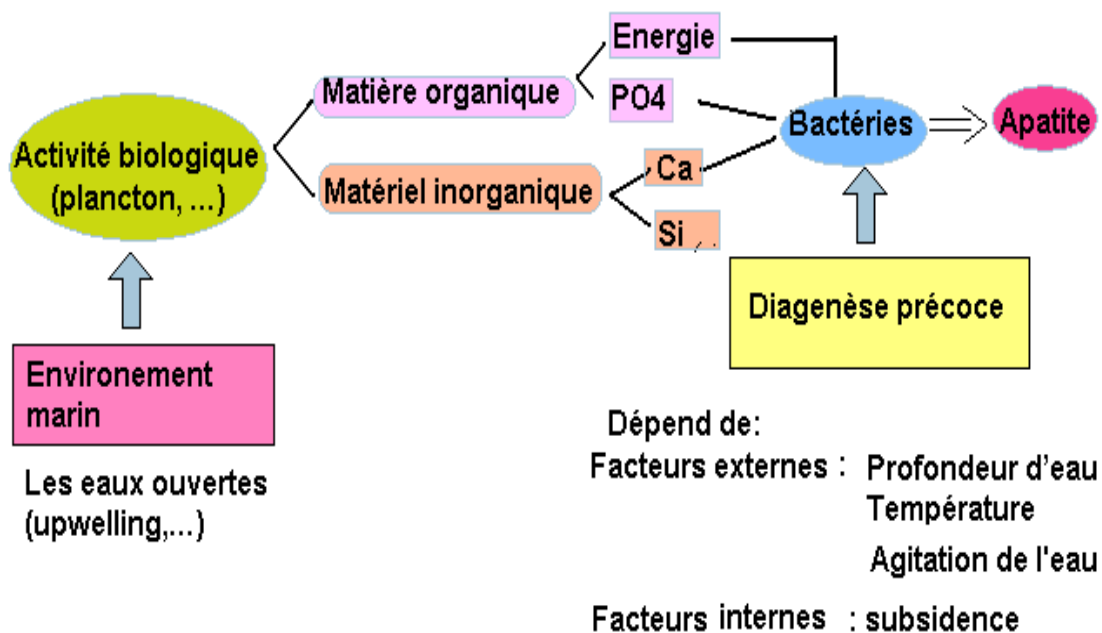


Figure 12 – Océan : modèle à deux boîtes. Exemple de cycle simplifié du phosphore (quantité exprimée en dizaines de millions de mole/an) (in El Faleh, 1988).

V – PHOSPHATOGENESE ET FORMATION DES GISEMENTS

A - Formation de l'apatite



B - Formation de gisement phosphaté (figures 13 et 14)

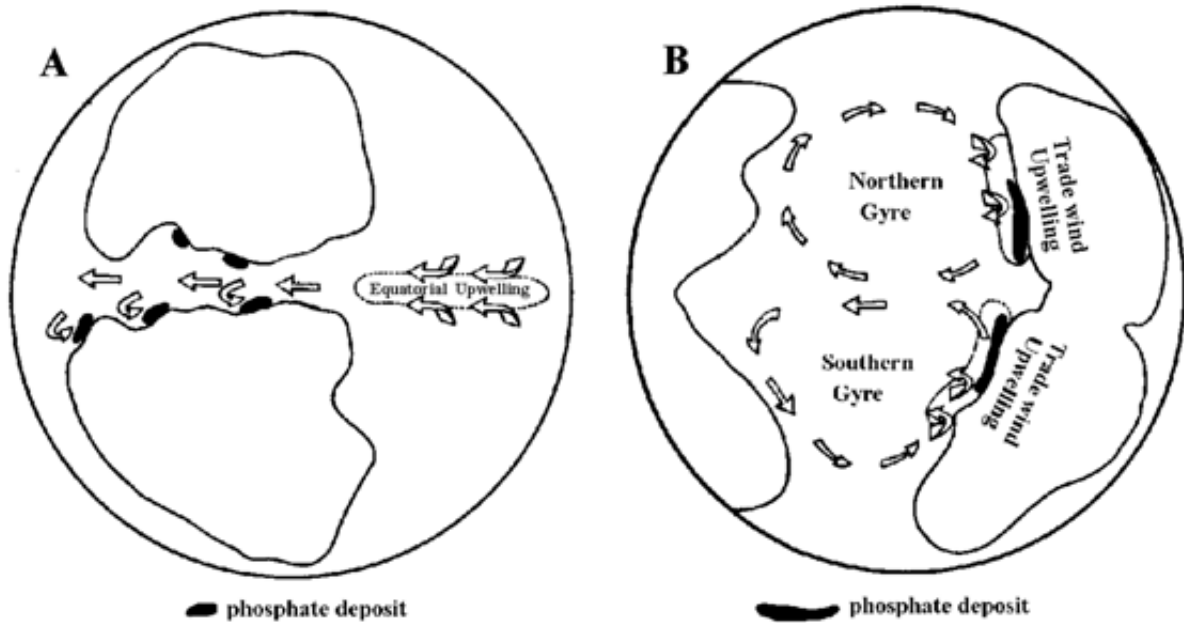


Figure 13 – Représentation de schémas possibles de répartition des courants et des zones d'upwelling dans les bras de mer à orientation "horizontale" (A) et "verticale" (B) (Scheldon, 1980).

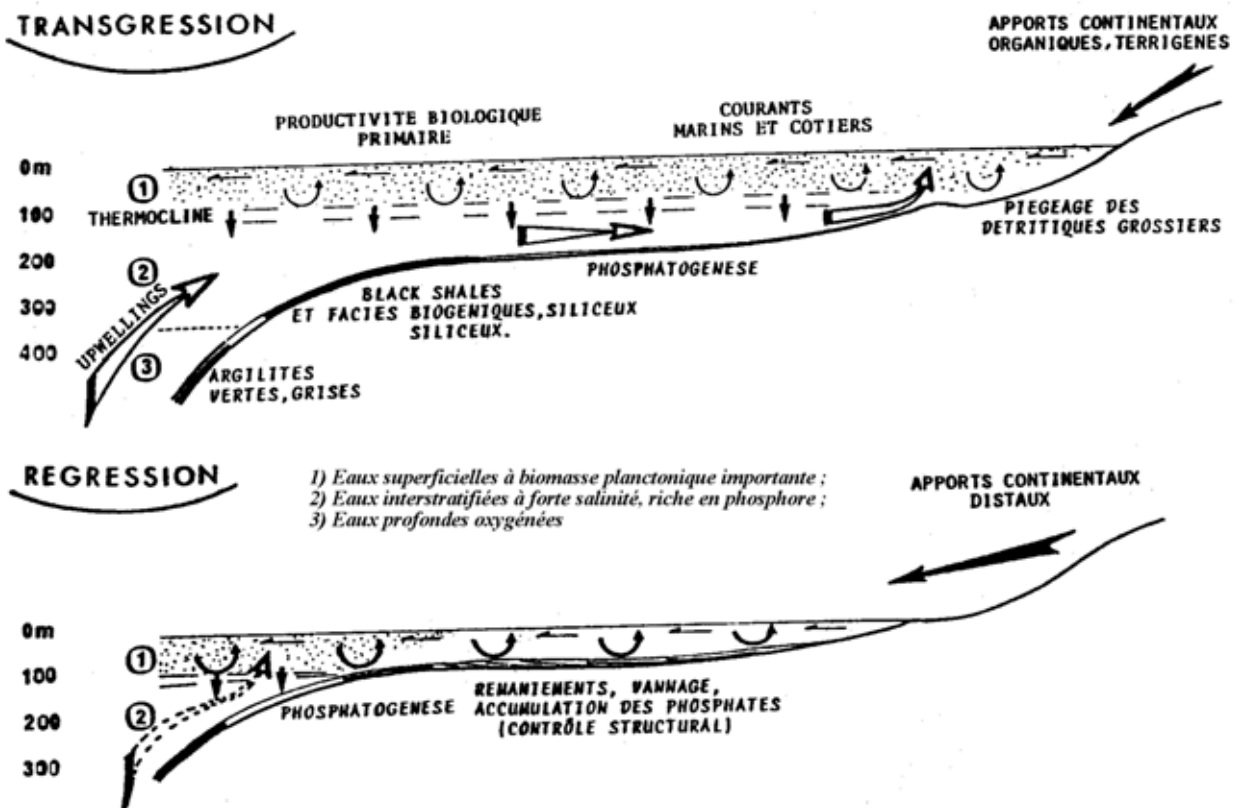


Figure 14 – Schéma résumant les modalités de genèse et d'accumulation des phosphates (in Johnson, 1987).

VI – METHODES D'EXPLOITATION ET TRAITEMENT DES PHOSPHATES

A – Prospection

La mise en place des mines de phosphates vient après l'étude géologique de leurs gisements. Ainsi, les résultats d'analyse et des données des coupes lithologiques, permettent d'élaborer un rapport géologique relatant toutes les données utiles pour l'exploitation, à savoir : les volumes et les tonnages des couches phosphatées et les niveau stériles.

B – Exploitation

L'exploitation des phosphates se fait par deux méthodes :

- ◆ Exploitation souterraine a débuté en 1921 au Maroc qui consiste au traçage et au dépilage combiné avec le foudroyage, l'inconvénient de cette méthode c'est qu'on exploite un seul niveau.
- ◆ Exploitation à ciel ouvert a démarré en 1950 cette méthode est la seule utilisée actuellement au niveau de gisements des Ouled Abdoun, Benguir et Boucraâ. Cette exploitation permet de récupérer la plupart des niveaux phosphatés ; en effet chaque niveau est pris à part sans être contaminé avec le stérile ou par une qualité inférieur.

La chaîne cinématique (figure 15) représente la suite ordonnée des opérations nécessaires pour l'extraction du phosphate :

- ☞ La foration : opération d'exécution de trou dans le massif rocheux pour pouvoir y loger l'explosif ;
- ☞ Le sautage : opération d'ébranchement du massif rocheux à l'explosif ;
- ☞ Le décapage : opération d'enlèvement du niveau surmontant la série phosphaté ;
- ☞ Le défrouitage : opération de chargement et de transport du minerai de phosphate par un dragline ;
- ☞ Le transport du phosphate par des camions ;
- ☞ L'épierrage et criblage on la réalise sur des cribles de 90*90 mm² le refus de ce crible est concassé pour réduire les dimensions à 200 mm² avant de les acheminer vers le teruil qui est un dépôt de produits stériles, constitué par décharge ponctuelle, alors que le passant est concassé sur des cuivres de maille 15*30 mm² et acheminé vers le parc de stockage.

Expédition vers les usines de traitement par qualité qui constituent des installations de surface servant à l'enrichissement du minerai.

Les principaux usines sont :

- Maroc chimie I et II (Safi)
- Maroc phosphore I et II (Safi)
- Maroc phosphore III et IV (Jorf Lsfar)
- IMAPHOS ET IMACID (Jorf Lsfar)

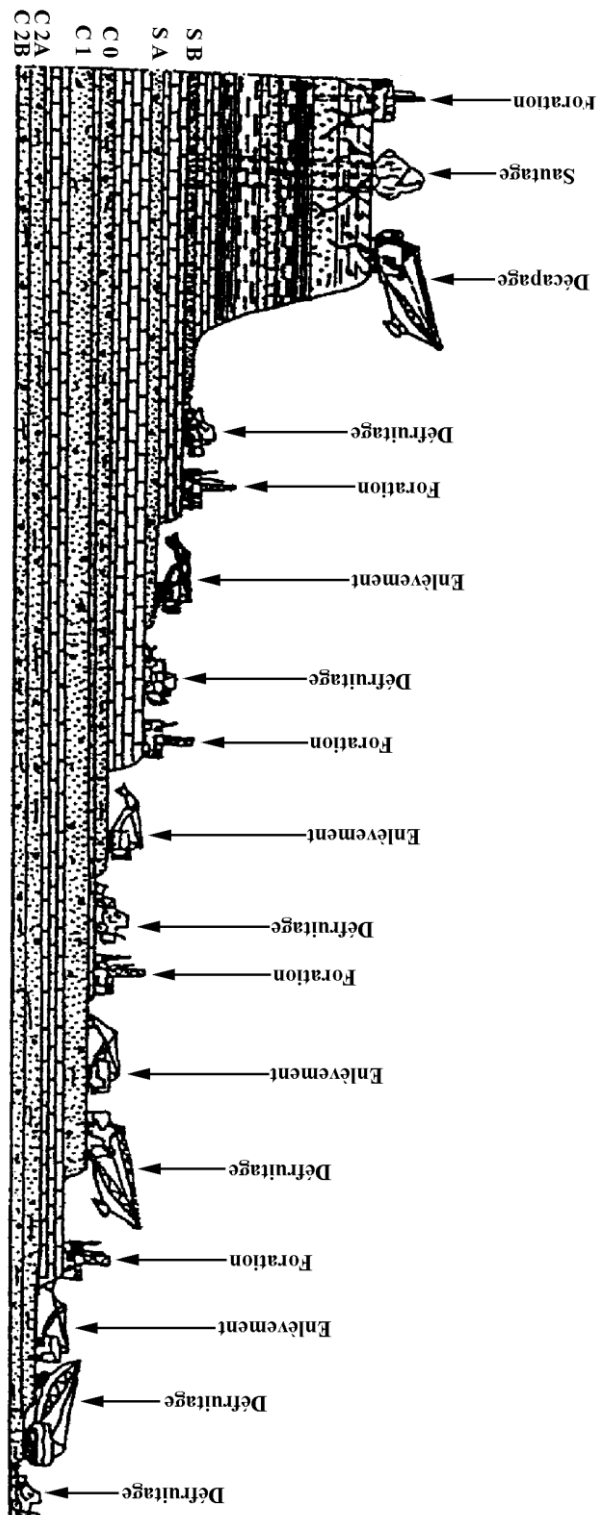


Fig. 1 – Schéma d'exploitation à ciel ouvert dans le bassin des Ouled Abdoun (La chaîne cinématique).

CONCLUSION

Le phosphate représente l'une des ressources naturelles les plus importantes qu'on doit rechercher avec précision, notamment dans l'état actuel où on a besoin de produits agricoles pour affronter le développement démographique.