

# III. LES BASSINS EVAPORITIQUES

## 1. INTRODUCTION

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, l'anhydrite et l'halite. D'autres minéraux, quoique moins fréquents, peuvent être des constituants importants de certains dépôts salins. Le Tableau II.1 en donne une liste.

minéraux des évaporites marines		minéraux des évaporites non marines	
halite	NaCl	halite, gypse, anhydrite	
sylvite	KCl	epsomite	MgSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O
carnallite	KMgCl <sub>3</sub> .6H <sub>2</sub> O	Trona	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> .NaHCO <sub>3</sub> .2H <sub>2</sub> O
kainite	KMgClSO <sub>4</sub> .3H <sub>2</sub> O	mirabilite	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .10H <sub>2</sub> O
anhydrite	CaSO <sub>4</sub>	thenardite	NaSO <sub>4</sub>
gypse	CaSO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O	bloedite	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .MgSO <sub>4</sub> .4H <sub>2</sub> O
polyhalite	K <sub>2</sub> MgCa <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O	gaylussite	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> . CaCO <sub>3</sub> .5H <sub>2</sub> O
kieserite	MgSO <sub>4</sub> .H <sub>2</sub> O	glauberite	CaSO <sub>4</sub> .Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>

*Tableau II.1: principaux constituants des évaporites.*

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

Pour comprendre la genèse et la constitution des dépôts évaporitiques, il est nécessaire de revenir à la composition chimique des eaux de mer et de rivière, exprimée au Tableau II.2. On voit rapidement que si les rivières contiennent principalement  $\text{HCO}_3^-$  et  $\text{CO}_3^{=}$ , avec une proportion moindre de  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{H}_4\text{SiO}_4$ ,  $\text{SO}_4^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{++}$  et  $\text{K}^+$ , les océans contiennent en grande quantité de  $\text{SO}_4^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$ . Ces différences reflètent en fait la manière dont les sels dissous sont extraits de l'eau de mer et incorporés dans les sédiments. Le Tableau II.3 donne les *temps de résidence* des principaux ions de l'eau de mer (temps de résidence en années=masse totale d'un ion dans les océans / apport annuel des rivières).

	eau de rivière moyenne  (% du résidu solide)	eau de mer moyenne  (% du résidu solide)
$\text{HCO}_3^-$ et $\text{CO}_3^{=}$	48,6	0,4
$\text{Ca}^{++}$	12,4	1,2
$\text{H}_4\text{SiO}_4$	10,8	<0,01
$\text{SO}_4^{=}$	9,3	7,7
$\text{Cl}^-$	6,5	55
$\text{Na}^+$	5,2	30,6
$\text{Mg}^{++}$	3,4	3,7
$\text{K}^+$	1,9	1,1
$\text{Fe}^{++}$ et $\text{Fe}^{+++}$	0,6	<0,01
$\text{Al}(\text{OH})_4^-$	0,2	<0,01
$\text{NO}_3^-$	0,8	<0,01
Total	99,7	99,7
Salinité	121 ppm	35.000 ppm

Tableau II.2: abondance relative des ions dissous dans l'eau de mer et l'eau de rivière (d'après Mason, 1966 et Livingston, 1963, respectivement).

	temps de résidence (années)	principaux types de sédiments
Cl <sup>-</sup>	∞	Evaporites
Na <sup>+</sup>	260.000.000	Evaporites
Mg <sup>++</sup>	12.000.000	évaporites, dolomite
K <sup>+</sup>	11.000.000	argiles, évaporites
SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	11.000.000	Evaporites
Ca <sup>++</sup>	1.000.000	Carbonates
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> et CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	110.000	Carbonates
H <sub>4</sub> SiO <sub>4</sub>	8000	cherts, dépôts siliceux
Mn <sup>++</sup>	7000	Nodules
Fe <sup>++</sup> et Fe <sup>+++</sup>	140	sédiments riches en Fe
Al(OH) <sub>4</sub> <sup>-</sup>	100	Argiles

*Tableau II.3: temps de résidence et devenir des principaux ions dissous dans l'eau de mer. D'après Prothero & Schwab.*

Le sodium et le chlore sont très abondants dans l'eau de mer car d'une part, ils ne sont pas utilisés par les organismes et incorporés au sédiment sous la forme de tests comme le calcium, la silice, les carbonates et d'autre part, ils n'entrent pas dans le réseau des argiles au cours de la diagenèse comme l'aluminium et le fer. Seule l'évaporation de l'eau de mer, dans des circonstances forcément exceptionnelles, permet leur extraction des océans. Notons aussi que la circulation de l'eau de mer dans la croûte océanique, au niveau des dorsales, modifie sensiblement la composition de l'eau de mer.

Si l'on observe l'apparition progressive des précipités lorsque l'on fait évaporer de l'eau de mer (salinité 3,5%), on a la séquence suivante:

- dans certaines circonstances, de 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;
- lorsque le volume de l'eau n'atteint plus que 10% du volume de départ, des minéraux plus solubles comme la halite et la sylvite cristallisent;
- enfin, lorsque l'évaporation est presque totale, des borates et nitrates précipitent.

Si l'on examine les dépôts évaporitiques naturels, on constate que cette séquence idéale est rarement réalisée. Des répétitions, des cycles tronqués sont fréquents: c'est le signe d'une évolution plus mouvementée du bassin évaporitique, alternant remplissage, périodes d'évaporation, nouveau remplissage avec dissolution d'une partie des espèces précédemment précipitées, etc.

Les évaporites s'observent depuis le Précambrien jusqu'à l'époque actuelle, mais leur répartition spatiale et temporelle est inégale: elles sont particulièrement représentées au Cambrien, au Permien et au Trias.

On classe généralement les évaporites en trois grands types: les évaporites continentales, les évaporites marines de milieu peu profond et les évaporites marines profondes.

## **2. EVAPORITES CONTINENTALES**

Ces dépôts s'accumulent dans des lacs endoréiques en région aride ou semi-aride. La minéralogie de ces évaporites est relativement variable puisqu'elle dépend de la composition des eaux fluviales, elle-même dépendante de la géologie régionale.

## Ø Les Lacs temporaires

C'est le cas des bassins continentaux fermés (bassins endoréiques). Ces lacs salés s'appellent selon les lieux sebkha continentale, chott, playa... Les sédiments contiennent beaucoup de matériaux détritiques et relativement peu de carbonates de Ca et Mg à il précipite en particulier du carbonate de Na, du sulfate de Na ...

## Ø Les Lacs permanents

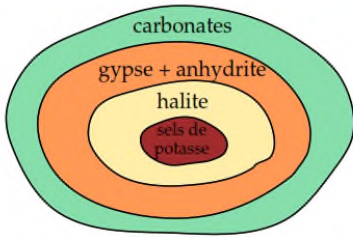
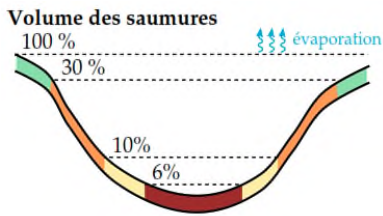
Ø

La Mer Morte en offre un bel exemple.



C'est un lac alimenté par une rivière, le Jourdain, mais soumis à une forte évaporation: la densité de l'eau atteint **1,33**. Depuis 1983, la halite précipite sur le fond.

On observe en général une répartition horizontale concentrique des différents dépôts (gypse-halite-nitrates) en fonction de leur degré de solubilité, les plus solubles étant localisés au centre, lorsque l'extension du lac en cours d'assèchement était la plus restreinte.



Modèle de bassin fermé  
*œil de boeuf*



**Lac salé endoréique à précipitation évaporitique  
(Bolivie, photo MNHN).**

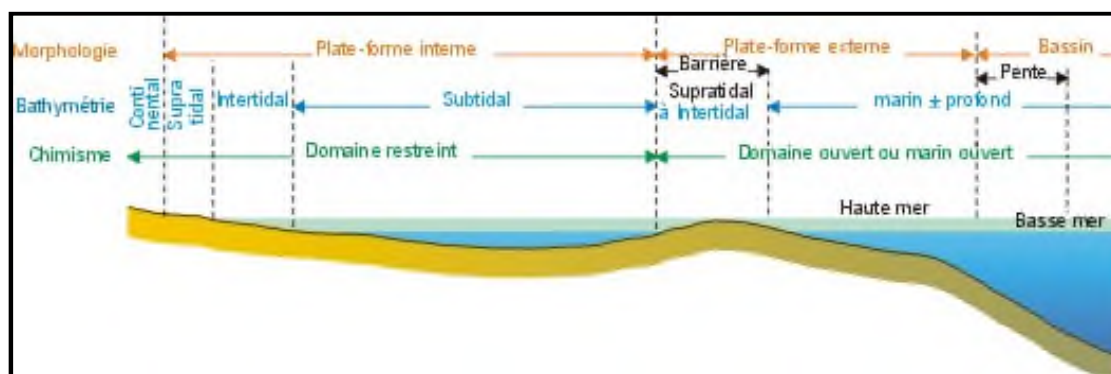
Cette structure particulière, la présence d'autres types de sédiments continentaux, certaines espèces minérales rares en environnement marin comme le borax, l'epsomite, le trona , la gaylussite et la glauberite permettent de reconnaître des évaporites continentales dans l'Ancien.



*Dépôts d'évaporites continentales à Bad Water, Death Valley, Californie, USA.*

### 3. EVAPORITES MARINES PEU PROFONDES

Ces évaporites comprennent les dépôts inter- et supratidaux comparables à ceux qui se forment actuellement le long du Golfe Persique, de certaines zones de la côte d'Afrique du Nord, etc. et les dépôts subtidaux de plate-forme.



#### Ø Les dépôts intertidaux et supratidaux

- Ils sont appelés évaporites de sabkhas (Fig. II.1). Ces sabkhas sont des plaines côtières développées le long de zones continentales arides. Outre les évaporites, les sédiments de sabkha comportent des éléments détritiques provenant du continent (amenés par les vents, les cours d'eau) et des sables et boues provenant de la plate-forme, transportés lors de tempêtes. Au point de vue hydrologique, les sabkhas sont des systèmes assez complexes avec une recharge due aux inondations marines périodiques, mais aussi aux apports souterrains à partir de la nappe phréatique marine.



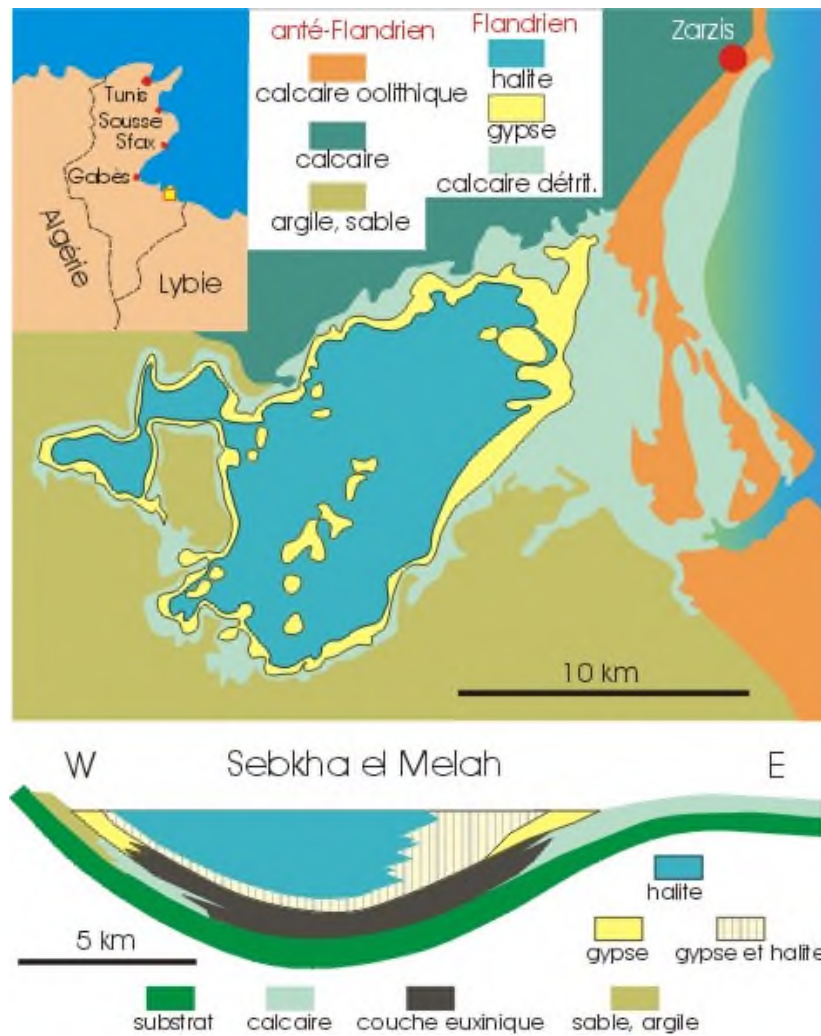


Figure II.1: localisation et coupe dans la sabkha El Melah.

Les minéraux typiques des évaporites de sabkha sont l'anhydrite, le gypse et la dolomite. La dolomitisation de particules calcaires est courante et est une conséquence du haut rapport Mg/Ca (suite à la précipitation des sulfates de calcium) des solutions interstitielles.





*Dépôt de halite dans la Sabkha El Melah, Tunisie; on observe un système de conduits où circulent des eaux à caractère réducteur.*

Les sédiments de sabkha possèdent fréquemment une nature cyclique: au cours de la progradation (comblement progressif) de la plaine littorale, la sabkha s'avance en direction de la mer, surmontant des sédiments de type stromatolithique, des boues lagunaires bioturbées, des corps oolithiques.

#### EXEMPLE : La sebkha côtière d'Abou Dhabi

La région est située sur la rive sud du Golfe Persique.

Le climat est chaud et sec: la température de l'air varie entre 12° et 47°C, il ne tombe que 40 à 60 mm de pluie par an. Dans la lagune, la température de l'eau est comprise entre 12° et 40°C. La profondeur le long de la côte ne dépasse pas 20 m, 80 m au maximum au milieu du Golfe. Dans ces conditions extrêmes l'évaporation est intense: elle est estimée à 1,50 m d'eau par an. La salinité est le double de la salinité marine normale. La sédimentation est carbonatée. Les dépôts comprennent des sables bioclastiques à bioclastes de Lamellibranches, Foraminifères, Gastéropodes, Coraux, des concrétions algaires, des sables oolithiques et des boues carbonatées.

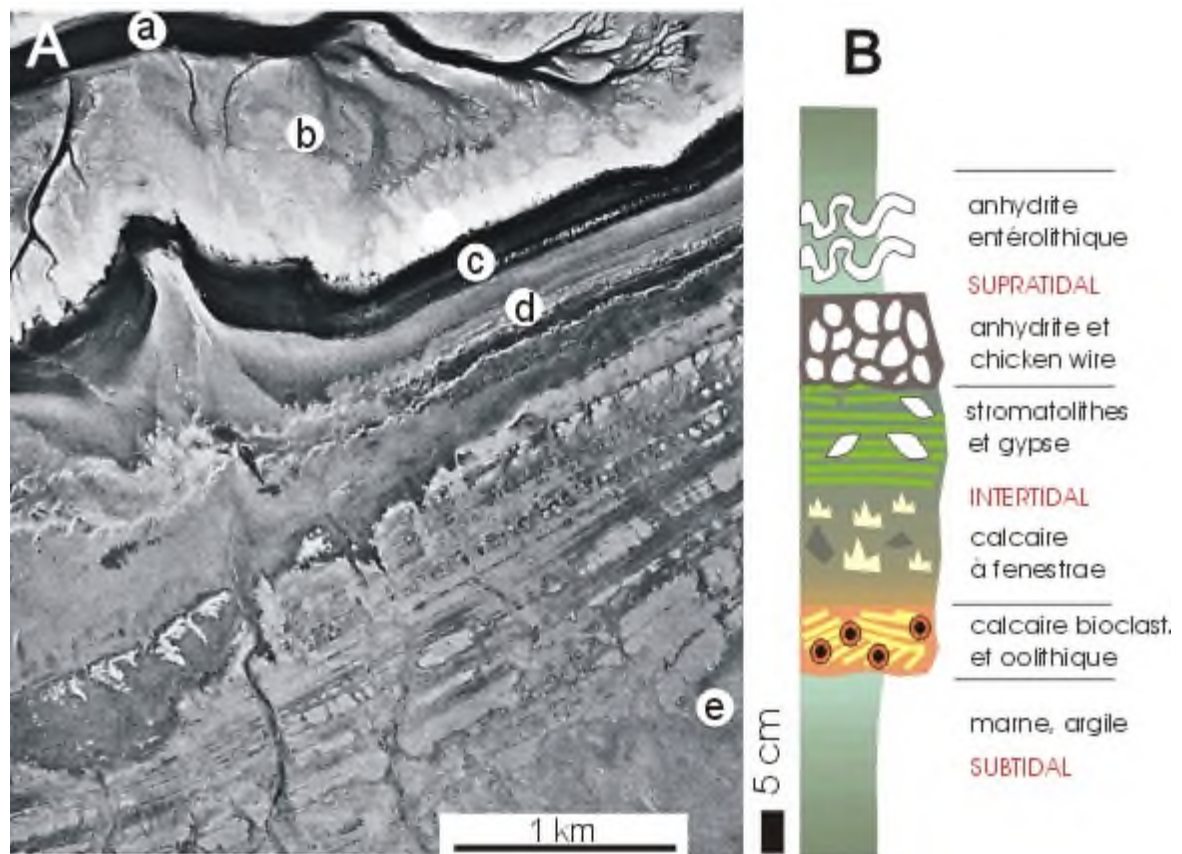


Figure II.2 A: Photo aérienne de la plaine d'accrétion à Abu Dhabi. (a): chenal de marée sous-aquatique; (b): lagune infra-tidale; (c): zone intertidale à peloïdes; (d): tapis algair; (e): zone supratidale (sabkha) évaporitique avec nombreuses traces d'accroissement. B: séquence type de sabkha, montrant la progradation de la plaine littorale depuis un milieu subtidal jusqu'à l'émersion.

### Ø Les dépôts subtidaux de plate forme

Certaines formations évaporitiques de grande extension ne peuvent être expliquées par des dépôts de sabkha.

Il s'agit vraisemblablement de plates-formes isolées, n'ayant pas de recharge continue par les eaux océaniques.

Dans ce cas, du gypse précipite sur le fond marin, en cristaux généralement de forme prismatique, dressés comme le sont les brins d'herbe d'une prairie (gazon sélénitique).

Sont associées diverses structures sédimentaires comme des cristaux cassés et redéposés, des Péroïdes, des niveaux à stromatolithes...

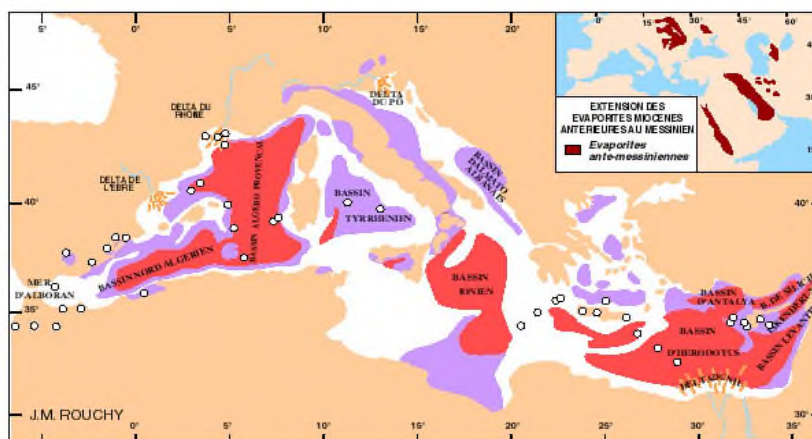


A: couches plissées formées de croûtes de gypse

B: détail montrant les cristaux prismatiques

(Messinien, Heraklea Minoea, Sicile)

- **EXEMPLE : Les évaporites du Messinien**



Le fond de la Méditerranée et ses pourtours sont recouverts d'une épaisse série évaporitique d'âge miocène supérieur (Messinien).

#### 4. EVAPORITES PROFONDES

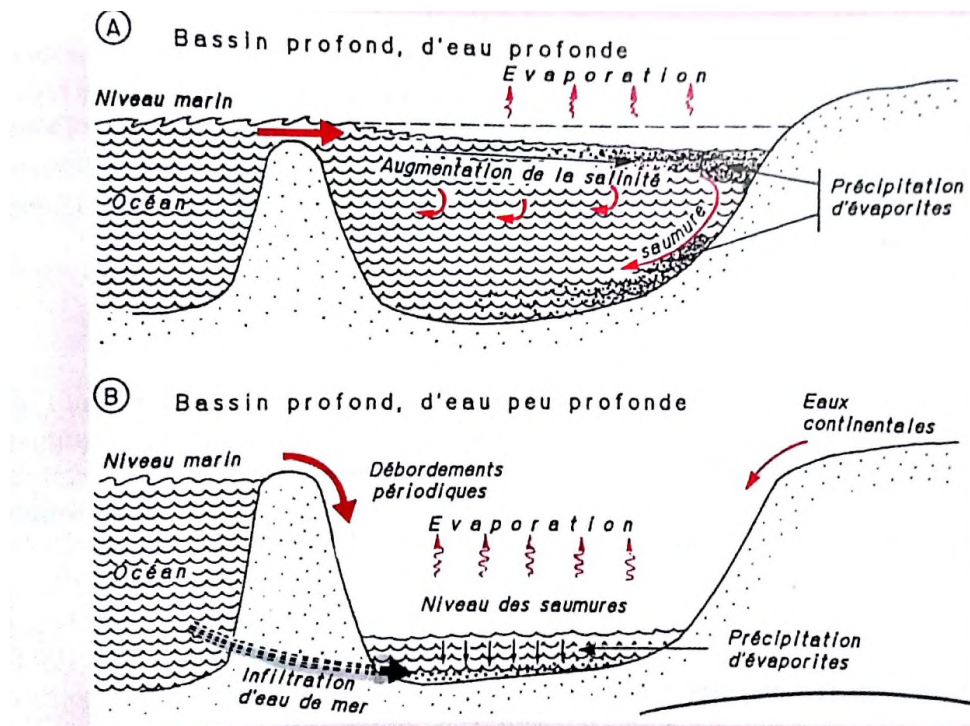
Certains types d'évaporites, souvent laminaires, sont associées à des critères indiscutables d'environnement profond: grande continuité latérale des lamines individuelles, turbidites, slumps, absence d'algues,... Dans ces évaporites, les lamines de gypse, d'anhydrite, de halite, alternent avec des lamines de micrite ou de matière organique. Ce caractère pratiquement varvoïde est attribué à des variations saisonnières (température, humidité, "bloom" de certaines espèces).

Des modèles évaporatoires en contextes géodynamiques de bassins profonds ont donc été envisagés notamment pour rendre compte des arrivées relativement brutales des séquences évaporitiques au sein de certaines séries marines pélagiques. Il en existe deux grandes familles( figII.3) :

**-les modèles de bassin profond et d'eau profonde :** Des conditions euxiniques s'installent (dépôts de marnes bitumineuses).les eaux de surface, qui deviennent plus dense et plus salées du fait de l'évaporation, plongent dans la partie plus interne du bassin tandis que le gypse et l'halite commencent à précipiter à partir des eaux de surface.

**-Les modèles de bassin profond et d'eau peu profonde :** dans ce cas un bassin structurellement profond s'est isolé de la mer, il en résulte un assèchement sur place et un développement de facies évaporitiques d'eau peu profonde ou de sebkha. des débordements périodiques de la mer par dessus le seuil et des infiltrations assurent le renouvellement des saumures. la distribution des facies est proche du dispositif en œil des bassins fermés peu profonds.





**Figure. II.3 : les bassins évaporitiques profonds.**

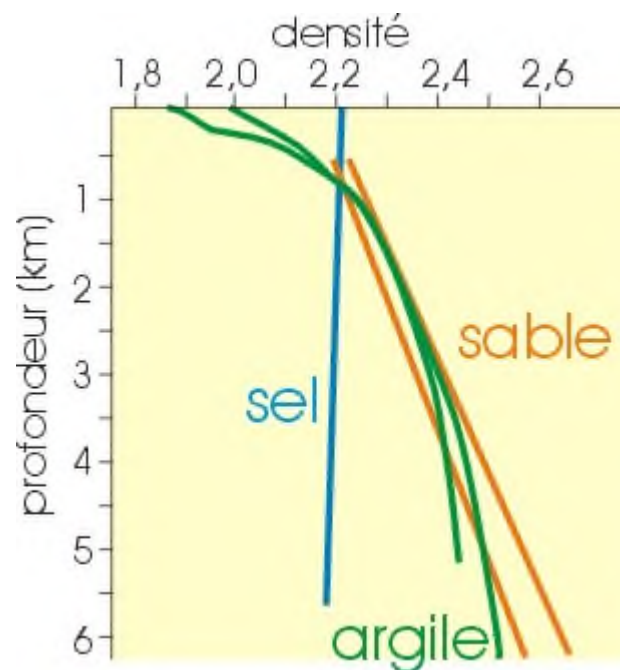
A- Bassin structurellement profond et d'eau profonde.

B- Bassin structurellement profond et d'eau peu profonde.

## 6. LA TECTONIQUE EVAPORITIQUE

Le caractère exceptionnel de la tectonique évaporitique (qui justifie un paragraphe dans un cours de sédimentologie) tient au fait que les évaporites sont constituées de minéraux très ductiles et peu denses. Leur densité ne se modifie pas au cours du temps (anhydrite: 2,96; gypse: 2,32; halite, 2,17), contrairement à celle des sédiments encaissants (calcaire, argile, sable) qui augmente au cours de l'enfouissement, suite à la compaction (Fig. II.4). Ainsi, au cours de son remplissage, un bassin

salifère va voir la couverture sédimentaire de la couche d'évaporites s'épaissir et se compacter jusqu'à arriver à un point où la densité de la couche de sel devient inférieure à celle de la couverture sédimentaire. A partir de ce moment, des contraintes tectoniques ou des instabilités gravitaires peuvent provoquer la mise en mouvement des évaporites. Une fois le mouvement initié, l'inversion de densité entretient la remontée des évaporites sous la forme de diapirs, murs de sel, etc.



**Figure II.4 : évolution de la densité du sel et d'autres roches sédimentaire en fonction de la profondeur.**