

LES ENVIRONNEMENTS SEDIMENTAIRES

V. LES EVAPORITES

A. Introduction :

Les évaporites sont des dépôts de sels minéraux. La précipitation des sels minéraux se fait lorsque la **concentration des sels dissous dans une solution devient supérieure à un seuil donné**. De nombreuses espèces ioniques peuvent précipiter et former les évaporites, qui présentent une certaine diversité **pétrologique** et **géochimique**.

La **salinité** est mesurée à partir de la **conductivité électrique de l'eau pour certaines valeurs de température et de pression**.

La **salinité moyenne de l'eau de mer** est de **35 g/L**, mais on estime que la **salinité de la mer morte** aurait pu atteindre jusqu'à **460 g/L**. La **densité** du sel oscille autour de **2.2** quelque soit la **profondeur**, ce qui fait que le **sel** est toujours **moins dense** que la plupart des autres sédiments (dont la densité varie autour de **2.5**) et **dispose donc de propriétés mécaniques particulières**.

L'**origine des sels marins** est l'**érosion des continents**. Les ions sont transférés aux océans par les fleuves. La **salinité des eaux marines** étant **constante** au cours des **temps géologiques**, il existe des **puits** qui **piègent les sels**. Le puits dépend de l'ion considéré : le **calcium** est piégé **dans les carbonates**, le **potassium** dans les **argiles**. Les processus hydrothermaux jouent un rôle majeur dans le maintien de l'équilibre de la salinité marine ; par exemple l'**albitisation** piège le **sodium**. Le vivant intervient peu dans le maintien de cet équilibre, puisque l'essentiel des sels puisés par un organisme sont libérés lors de sa mort. On estime à **100 millions** d'années le temps de résidence des sels dans l'eau de mer.

B. Contextes climatique et géodynamique des formations évaporitiques actuelles :

1. Diversité pétrologique et géochimique des évaporites :

Présenter quelques échantillons des différentes formes **crystallines du gypse (sulfate)** ; échantillon de **halite** et de **Sylvite KCl (chlorures)**. Diversité des **formules chimiques** des évaporites : Tableau "quelques espèces minérales de dépôts marins et continentaux" (Fig.228) :

Evaporites marines		Evaporites continentales	
<i>Halite</i>	NaCl	<i>Halite</i>	NaCl
<i>Sylvite</i>	KCl	<i>Sylvite</i>	KCl
<i>Carnalite</i>	KMgCl ₃ , 6H ₂ O	<i>Anhydrite</i>	CaSO ₄
<i>Kainite</i>	KMgClSO ₃ , 3H ₂ O	<i>Epsomite</i>	MgSO ₄ , 7H ₂ O
<i>Anhydrite</i>	CaSO ₄	<i>Trona</i>	NaCO ₃ , NaHCO ₃ , 2H ₂ O
<i>Gypse</i>	CaSO ₄ , 2H ₂ O	<i>Mirabilite</i>	Na ₂ SO ₄ , 10H ₂ O
<i>Polyhalite</i>	K ₂ MgCa ₂ (SO ₄)	<i>Thenardite</i>	Na ₂ SO ₄
<i>Bischofite</i>	MgCl ₂ , 6H ₂ O	<i>Bloedite</i>	Na ₂ SO ₄ , MgSO ₄ , 4H ₂ O
<i>Kieserite</i>	MgSO ₄ , H ₂ O	<i>Gaylussite</i>	Na ₂ CO ₃ , CaCO ₃ , 5H ₂ O
		<i>Glauberite</i>	CaSO ₄ , Na ₂ SO ₄

Fig.228. Quelques espèces minérales de dépôts marins et continentaux

2. Les milieux de dépôt des évaporites

a. En domaine paraliq :

Les lagunes hyper-salines (environnements en relation directe ou indirecte avec la mer); exemple du **lac Asal, Djibouti** : **80 m de sel déposés en moins de 3000 ans**. Actuellement à une **altitude de -150 m**, cette lagune est alimentée en eau par des failles normales qui la connectent au **Golfe d'Aden**. Précipitations : **200 mm/an** ; évaporation **2 m/an** ; salinité de **350**.

Autres environnements : **sebkhas et playas (Fig.229)**.



Fig.229. Image satellite (Google Earth) d'une Sebkha en Tunisie

3. Signification climatique et géodynamique des évaporites

L'étude comparée des cas précédents révèle que :

1) Les évaporites continentales montrent une grande **diversité chimique**, qui est liée à la **composition des eaux douces amenées au bassin**, composition qui dépend **de la nature des terrains du bassin versant**. Une espèce donnée **d'évaporite ne correspond pas à un contexte climatique ou tectonique particulier**.

2) Les bassins évaporitiques **ne sont pas limités aux milieux chauds** (Uyuni).

L'obtention de **saumures hypersalées** nécessite : **Evaporation > Apports d'eau douce ou salée ; c'est-à-dire un CLIMAT ARIDE**.

3) Le bassin doit être au moins **partiellement isolé/ rôle de la tectonique et des variations eustatiques**. Il **faut un faible apport en eau** depuis l'extérieur (**faibles précipitations et faibles apports par les fleuves**).

4) L'évaporation d'une masse d'eau est rapide à l'échelle **des temps géologiques** ; la **sédimentation des évaporites est élevée et les dépôts peuvent atteindre plusieurs centaines de mètres d'épaisseur** (Uyuni pour l'actuel/ trias germanique : plus de 1000 m dans le bassin Aquitain !). De tels dépôts impliquent une **forte accommodation**.

De façon générale, **les stades premiers du rifting continental semblent favorables au dépôt d'évaporites (faible tranche d'eau + subsidence)**. Est-ce réellement le cas lorsqu'on examine les formations passées associées aux marges passives ?

b. En domaine continental :

Les **lacs salés permanents (environnements hypersalins sans connexion avec la mer)**; exemple de la mer morte : bassin pull apart, à -400 m. précipitations de 40 mm/an ; forte évaporation.

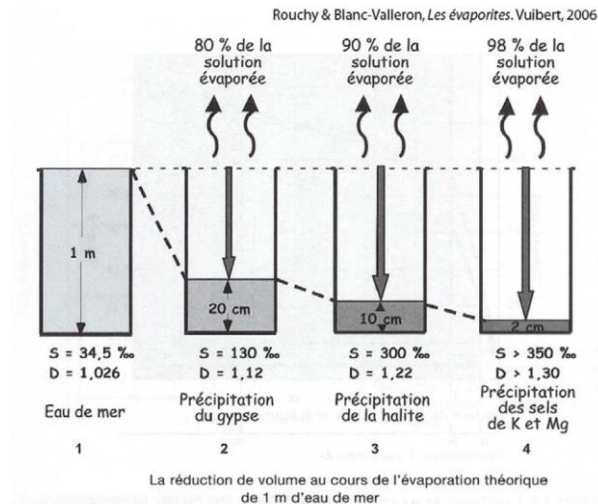
Les lacs hypersalins; exemple du salar d'Uyuni (Bolivie)(Fig.230) : à **3700 m** dans les chaînes andines, **11 alternances de sel et de dépôts lacustres** sur près de **150 m d'épaisseur**, à des **températures inférieures à 8°C (!!!)** pour des **pluviométries de 200 à 300 mm/an**. **Evaporation de 1,5 m/an. (1/3 des ressources mondiales en Li)**



Fig.230. Photographie du Salar d'Uyuni en Bolivie

C. Comment se déposent les évaporites ?

i. L'évaporation.



ii. Modèles de dépôt des évaporites (Fig.231) :

- a. Apports superficiels permanents (chenaux, fractures)
- b. Apports superficiels épisodiques (tempêtes, grandes marées)
- c. Ecoulement souterrains (barrières perméables, karst dans une barrière carbonatée, fracturation de la barrière)
- d. Différentiel hydrostatique.

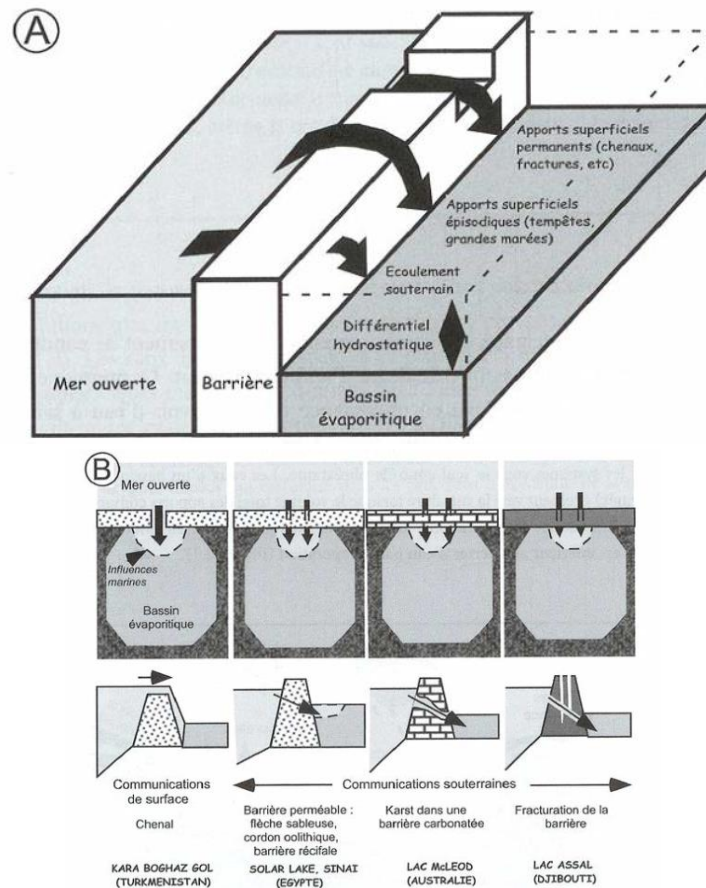


Fig.231. Modèles de dépôt des évaporites

3) Contextes climatique et géodynamique des formations évaporitiques passées

a. Les dépôts d'évaporites associés aux mers épicontinentales :

Cas du Trias Aquitain : **Faciès germanique** (grès rouge du Bundstandstein ; marnes et évaporites du Muschelkalk ; évaporites lagunaires du Keuper). Les transgressions marines sont associées à l'ouverture de la **Téthys** et à l'augmentation du volume des dorsales.

Cas de la mer du Zechstein, en Allemagne. Obéit au modèle "eau peu profonde, bassin peu profond" ; lorsque les **variations eustatiques** favorisent l'**isolement d'un bassin**.

b. Le cas de la crise Messinienne (05.3 Ma): lorsque la tectonique favorise l'isolement d'un bassin :

La **convergence** entre l’Afrique et l’Eurasie induit il y a **06 Ma** la **fermeture du détroit de Gibraltar**, isolant ainsi la **méditerranée de l’Atlantique**. **01 million de km³ d’évaporites**.
Localement : 1500 m d’épaisseur.

4) Tectonique salifère : diapirisme :

Comment se forment les diapirs de sel si fréquemment observés en sismique réflexion ? Il a été longtemps supposé que l’interface sel-sédiment (les sédiments étant au-dessus du sel) pouvait se plisser spontanément (instabilité de Rayleigh-Taylor). Cependant la résistance des sédiments sus-jacents est trop forte pour permettre un plissement et une fracturation par simple déstabilisation convective, qui génère des contraintes trop faibles. Un autre modèle communément répandu est que le diapirisme s’initie par chargement sédimentaire différentiel : les régions où la pile sédimentaire est plus épaisse génèrent une pression plus forte sur le sel que les régions où l’épaisseur de sédiments est faible. Le sel, ductile et mobile, flue pour accommoder la différence de charge, ce qui conduit à la formation de diapirs (**Fig.232 et 233**).

Cependant, **les diapirs de sel** ne peuvent percer seuls leur couverture sédimentaire : il faut donc qu’il y ait des endroits de non-dépôt pour permettre au sel d’être évacué à la surface par diapirisme...conditions jamais rencontrées dans la nature ! Les variations d’épaisseur de la pile sédimentaire sont communes à tous les bassins, cependant les niveaux salifères ne forment pas systématiquement du diapirisme.

L’origine du diapirisme est donc ailleurs : il faut appliquer une extension dans la couche de sédiment superposée au sel pour initier le développement de failles, qui permettent alors au sel de s’infiltrer dans la pile sédimentaire. Le diapirisme est un processus syn-sédimentaire, qui déforme les couches sédimentaires de façon différente selon son stade de croissance. Au cours du diapirisme se **forment d’excellents pièges à pétrole !**

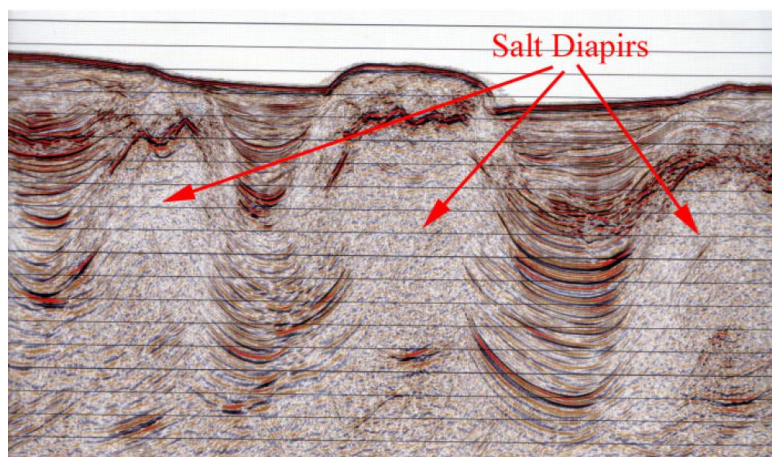


Fig.233. Exemple de diapirs salifères en sismique réflexion, observés au large du Brésil



Fig.232. Diapir d'Ain Ouarka, Atlas Saharien Occidental (Ain Sefra, wilaya de Naama)

LES EVAPORITES CONTINENTALES

En réalité, les évaporites des **dépressions continentales** relèvent d'un simple recyclage : les sels amenés à l'affleurement, dans un **bassin versant endoréique**, sont **dissous et entraînés par l'eau** et ils se **redéposent**, en l'absence d'un drainage suffisant, au fond de la dépression où s'évapore l'eau qui les a véhiculés. C'est en somme un cas **typique de remaniement**.

LE MILIEU DES SEBKHAS

Introduction :

I. DEFINITION ET CARACTERISTIQUES :

Ce sont des **plaines côtières** et des **surfaces au-dessus des marées** ou **des bassins endoréiques sans débouché dans la mer** ; encroûtée de sels (**évaporites**), passant à **des marais salants** ou à **des lagons**, légèrement **déprimés**, temporairement **inondés**. Leur équivalent **intracontinental** serait : *les playas*.

A. Définition des évaporites : Ce sont des **roches formées par précipitation de sels d'alcalin et d'alcalino-terreux** ; comme son nom l'indique, elles sont dues essentiellement à l'**évaporation de solutions salins**, soit d'eau mer, soit de lacs salés.

B. Les caractéristiques : Certaines sebkhas sont très étendues : **6000 km²**, **80 à 100 km** de largeur avec une pente de 1/2000 vers la côte. Les eaux souterraines y sous-affleurent

largement. Elles sont saturées ou sursaturées de gypse et d'anhydrite, parfois d'halite, de sylvinite. Les cristaux sont lenticulaires ou en « *fer de lance* » ou en « *pieds d'alouette* ».

II- TYPES DE SEBKHAS

A. Les sebkhas côtières : Elles sont supracotidales et consistent en carbonates marines recouvertes par des dépôts d'algues et de stromatolithes. Ce milieu est le siège des transformations actives (**Fig.233**).

Exemple : Sebkha d'Abou Dhabi :

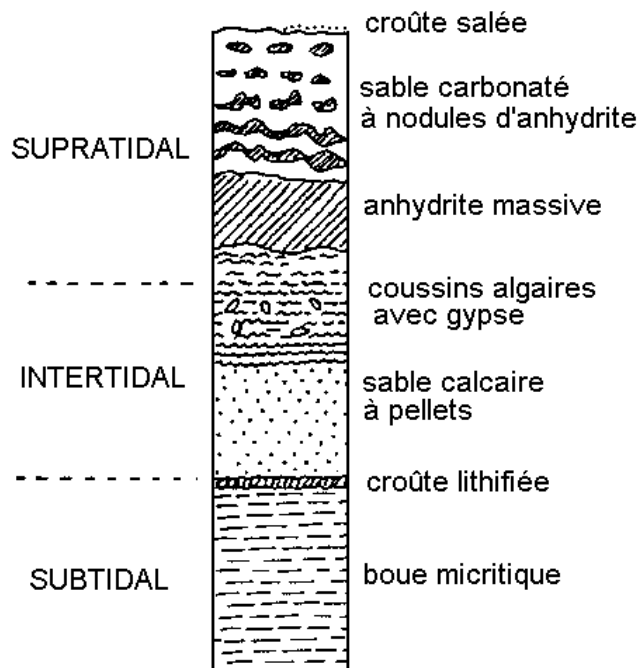


Fig.233. Séquence évaporitique dans la sebkha d'Abou Dhabi; l'épaisseur totale des terrains traversés est de 02 m environ.

Les dépôts de la sebkha progradent vers la lagune ; dans une coupe faite dans la sebkha, on voit que les niveaux supratidaux à gypse et anhydrite recouvrent les couches déposées en milieu intertidal et subtidal: **la séquence évaporitique est régressive.**

B. Les sebkhas continentales : Elles se trouvent à l'intérieur des précédentes et sont des surfaces d'équilibres de déflation-sédimentation, dont la dépression atteint la surface de nappes souterraines.

- Des dunes de sables s'y installent avec des deltas alluviaux ou de fan alluviaux;

- Il se forme des croûtes locales carbonatées ou salines;
- La nappe est à 1 à 2 m du fond et la zone de capillarité arrête la déflation.
- Les sédiments qui y. déposent sont des; grains de quartz ou des grains de calcaires prélevés aux reliefs plus anciens.
- Les structures éoliennes de dunes sont partiellement présentes.

III. LA SUITE D'EVAPORITES

Les séries présentent théoriquement une succession qui constitue la partie finale du cycle sédimentaire idéale de *Goldschmidt* et de *la série virtuelle générale de Lombard (1956)*. Ces séries comprennent **de bas en haut** :

- Argiles et/ou calcaires noirs bitumineux
- Anhydrite (CaSO_4)
- Sel gemme (NaCl)
- Sels de potasse (Sylvine, KCl) et magnésium (Carnalite, MgCl)

Ces divers dépôts se succèdent en fines lamines qui sont des variations climatiques et à des cycles solaires (**cycles de Milankovitch**).

IV. MILIEUX DE DEPOT ET LITHOFACIES ASSOCIES :

Les argiles et les calcaires noirs sont accompagnés de matière organique. Ils se déposent en **eaux stagnantes** et **réductrices** remplissant les dépressions. Ces sédiments, passent latéralement à des **calcaires** et à **des dolomies de plate-forme**. Ces carbonates peuvent être accompagnés **de récifs isolés ou en guirlandes**.

Les processus biologiques jouent un rôle important dans les parties les plus profondes des bassins Bactéries et autres organismes réduisent les sulfates en **sulfures H_2S** . Des horizons bitumineux se forment et s'accompagnent souvent une profusion d'organismes.

Des faunes benthiques sont absents, seules les formes pélagiques ou planctoniques existent venant du rivage ou des eaux des surfaces. La sédimentation organique est interrompue par la phase des évaporites avec du gypse suivi de sels potassiques et magnésiens.

Lors d'arrivées d'eaux moins salées, une séquence de sels en sens inverse se dépose et la série salifère s'achève sur un épisode argileux.

La répétition de séquences d'évaporites est due aux variations périodiques de la concentration de la saumure dans laquelle ils se sont précipités. Ces variations dépendent de l'équilibre entre l'évaporation et les apports d'eau douce ou d'eau de mer. Or, comme ces variations sont, une partie en fonction du climat, on admet que ces cycles sont climatiques ou reflètent l'activité solaire (ces divers dépôts se succèdent en fines lamines). On a signalé des rythmes de 12 à 16, 80 à 90 et 180 ans dans les rythmes évaporitiques du Jurassique du New Mexico.

La précipitation successive dans une saumure en voie de concentration donne une séquence : a-b-c. Elle est souvent suivie d'une séquence c-b-a correspond au dépôt de sels en ordre de solubilité décroissante.

V.CYCLE D'EVAPORITES (= CYCLE MAJEUR D'EVAPORATION)(Fig.234)

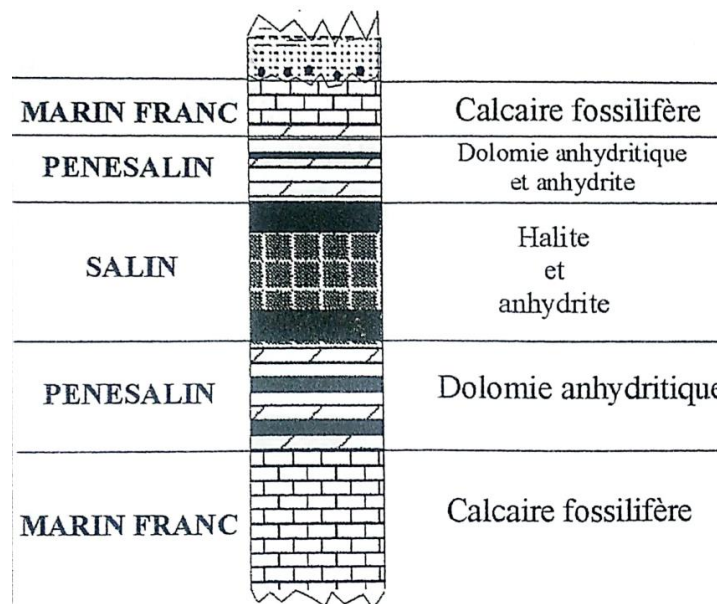


Fig.234.Représentation synthétique d'un cycle majeur d'évaporite

Les évaporites ont une place déterminée, aussi bien dans la série stratigraphique tant dans le sens vertical que dans le sens horizontal, c'est-à-dire de leur répartition géographique.

La figure 234, montre comment les évaporites se placent dans le cycle sédimentaire : à un faciès marin franc, représenté par un calcaire fossilifère, succède un faciès pénésalin, avec dolomite et anhydrite. L'évaporation s'accroissant, on passe à des faciès salins, avec halite et anhydrite. Le retour progressif aux faciès marins ramène en sens inverse, les faciès déjà vus. La même répartition (Fig.235) des faciès s'observe dans le sens horizontal selon la "Loi de Walther".

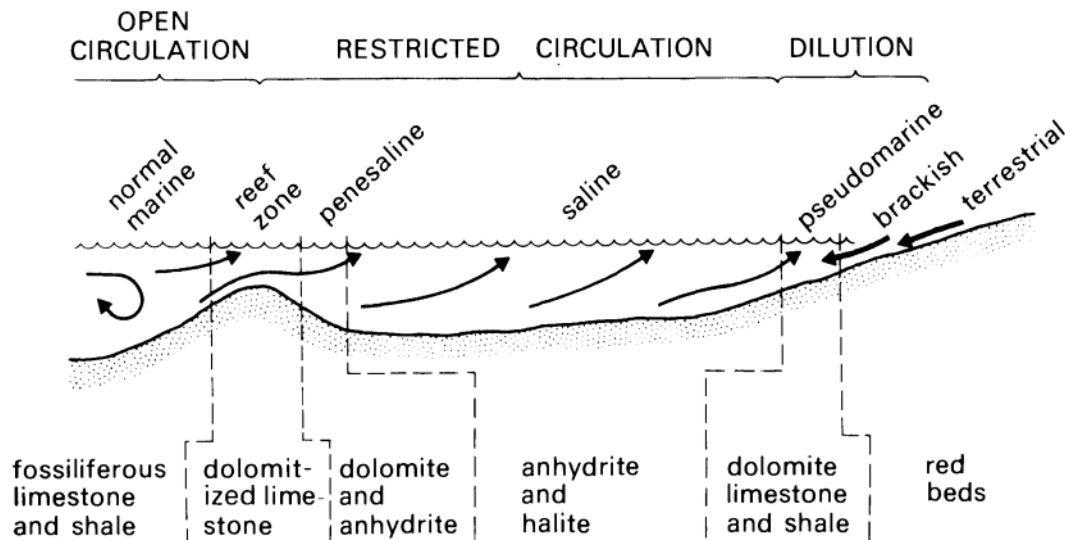


Fig.235. Profil montrant les relations de la topographie et des milieux environnants dans le cas d'une accumulation d'évaporite à l'intérieur d'un bassin.

VI. QUELQUES TYPES DE BASSINS FERMES

A. Les Dayas (petit lac) : Ce sont des cuvettes plus ou moins grandes et de forme quelconque dont le fond est perméable. L'eau qui y arrive ne stagne pas ; elle s'écoule souterrainement.

Il existe de très nombreux dayas dans le Sud et dans le Tell. Un bon type de daya se trouve dans

le Sahel d'Oran entre le Massif d'Arzew et la Saline : c'est celle de Télamine ; c'est une dépression de forme elliptique, mesurant 6 km de longueur sur 1 km de largeur. Le fond est sableux avec de schistes marins.

B. Les Playas : C'est pour désigner les nappes d'eau à concentration élevée qui s'installent dans les bassins endoréiques.

C. Les Sebkhass (ss) : Ce sont des bassins fermés typiques, privés d'écoulement par le bas comme sur le pourtour. Ils sont envahis temporairement par des eaux provenant des pluies,

des crues, de résurgences phréatiques ou même par des remontées par capillarité. Le fond est imperméable. L'eau qui y parvient reste stagnante et ne disparaître que par évaporation après avoir déposé toutes les matières qu'elles contiennent en suspension ou en dissolution. Quand elle est riche en sel, celui-ci forme une croûte et à la saison sèche, le lac est, tout au moins en partie transformé en saline. *Ex. : la Grande sebkha d'Oran-Aïn Temouchent.*

D. Les Chotts : Les Chotts sont des cuvettes, souvent très étendues, plats et salés, renfermant rarement de l'eau disponible, mais toujours humide qui occupent les parties basses de système endoréique en Afrique du Nord et au Sahara. Ce sont des zones de déflation éolienne. Celui-ci laisse des buttes-témoins (*Gour*).

Ce sont des bassins fermés alimentés par des oueds notables ; *Ex. : le Grand Chott Chergui* : alimenté par des sources que par des cours d'eau (gypse, chlorure) ; *Zahrez* sont des Chotts typiques ; le fond est argilo-sableux. *Ex. : Chott Rharbi, Chott el Hodna*: signifie "plaine entourée de montagnes".

LES MILIEUX LACUSTRES

(Les lacs d'eau douce ou salée)

I. GENERALITES

L'étude des lacs est une science appelée Limnologie.

L'étude des lacs dépend étroitement de la constitution géologique du bassin que celles des océans, plus uniforme.

Le climat influe aussi beaucoup sur le matériel déposé (régime des pluies). Les grands lacs présentent une certaine ressemblance avec la mer : il y a un classement des matériaux en allant au large. Dans les berges, battues par les vagues, peuvent comporter des plages.

Quant de cours d'eau entrant dans un lac, ils y bâtissent des deltas. Si le niveau du lac reste constant, ce qui se produit surtout dans les grands lacs, le delta présente une structure simple.

II. DEFINITION

Les lacs sont d'étendues d'eaux douces naturelles ou (rarement) salées à l'intérieur des terres dont l'extension et la profondeur sont variables. Ces eaux ne communiquent pas avec la mer et constituent une expansion du réseau hydrographique.

Les lacs se caractérisent par leur :

- 1) isolement ;
- 2) par leur profondeur relativement faible ;
- 3) peu ou pas de vagues et de courants ;
- 4) prédominance de facteurs climatiques.

III. DIFFERENTS TYPES DE LACS :

Les lacs ont des origines très différentes. A ce point de vue, on peut les classer en **deux types** :

A. Origine externe : 1) par dissolution ; 2) Action glaciaire

B. Origine interne : 1) Lac tectonique : par effondrement ; par plissement, 2) Lac volcanique.

IV. COMPOSITION DES EAUX LACUSTRES

Il y a présence divers sels de Ca, Si, Al, Mg, Fe, du Cl et du S dont les quantités dépendent de la nature des terrains traversés par les eaux tributaires du lac.

La concentration dépend du climat, des précipitations de l'évaporation et des émissaires (écoulement). Nous avons cinq catégories :

1. Eaux ahalines : < 0,01 g de sels/l ; par exemple : eaux de pluies, eaux des tourbières. Ces eaux sont pauvres en flore et en faune ; ce sont des eaux à pH acide ;

2. Eaux oligohalines : 0,01 à 0,5 g/l. la plupart des lacs d'eau douce appartiennent à ce type. Il en est même de la majeure partie des eaux des rivières et fleuves, des eaux potables.

3. Eaux mésohalines : 0,5 à 15 g/l. ce sont des **eaux dites saumâtres**, que l'on trouve dans les **anciennes mers fermées (mer Caspienne)**, dans les mers recevant un grand **apport d'eau douce (mer Baltique)** ou dans les **lacs communiquant avec la mer (lagunes)** ;

4. Eaux polyhalines : 15 à 45 g/l. Les eaux marines appartiennent à ce type : **mer Noire** : 17 g/l ; **océan Atlantique** : 35 g/l ; **mer Rouge** : 40 à 45 g/l ;

5. Eaux ultrahalines : > 45 g/l. A ce type appartiennent la plupart des lacs salés. La mer Morte est particulièrement riche en sels : **350 g/l**. Les eaux sont chargées de carbonates, sulfates et chlorures.

Les carbonates et les sulfates de chaux précipitent au moment où l'eau arrive à la mer Morte. **Les chlorures restent en solution**. Autrefois, la mer Morte était beaucoup plus étendue qu'elle ne l'est de nos jours ; elle s'est concentrée sur place par évaporation. Il faut noter que les eaux de la mer Morte ne contiennent pas d'iode et peu de zinc et que celle-ci ne représente donc pas les restes d'une ancienne mer ; elle appartient au type des lacs d'effondrement.

Remarques : il existe une véritable stratification "minérale" des eaux. Les eaux les plus chargées en sels se trouvent en profondeur. Les eaux de surface, oligohalines, épurées par les actions biologiques et le rayonnement solaire, sont souvent utilisées par l'alimentation en eau potable.

La couleur des eaux : sous une grande épaisseur, l'eau est de teinte bleue. Les sels de fer peuvent la faire virer en vert ; mais ils se présentent au contact des composés calcique et humiques, qui clarifient les eaux.

V. SEDIMENTATION LACUSTRE

A. Sédimentation détritique :

1. Nature : La sédimentation lacustre détritique est faite de cailloutis, de sables et de vases.

2. Modalités :

a. Sédimentation deltaïque : les dépôts sont bien développés au bord du lac et embouchure des cours d'eau : **delta lacustre**. La sédimentation est caractérisée par une alternance de sédiment grossier et fin donnant une stratification entrecroisée traduisant des crues du cours d'eau.

Si le niveau du lac reste constant, le delta présente une structure simple. Au sommet, on trouve des couches horizontales, sur le front du delta des couches obliques, fortement plongeantes vers le lac et enfin, des couches de fond horizontales.

Le delta progressant, les couches de front viennent surmonter les couches de fond déposées antérieurement. Si le niveau n'est pas constant, la structure devient plus complexe.

b. Varves lacustres (du suédois *varv* = couche) : il s'agit de minces lits **alternativement clairs et foncés**. Les lits **foncés se déposent en hiver (matière organique et sulfure de fer)** et les clairs **en été, plus carbonatés (Fig.236)**. Il y a là un moyen de **mesurer la vitesse de sédimentation**. Dans certains lacs, des matières organiques abondantes (**sapropèles** : vase ou boue comportant une grande proportion de matière organique) produites par le phytoplancton, peuvent donner des roches bitumineuses de type pyrobitumineux. C'est à dire que le bitume est extractible seulement par **pyrogénéation** (réaction chimique produite par l'action de la chaleur) et n'est pas soluble dans les solvants organiques, au contraire des produits pétroliers.

Donc **les dépôts** varient suivant **les climats** et la **nature des bassins versant**. En Ecosse, se déposent **des sables, des argiles, des boues brunes** et parfois des **vases à diatomées**. Les Alpes où abondent les calcaires, la sédimentation est surtout **de craie lacustre** avec parfois des **dépôts algaires** et très rarement **des oolithes calcaires**.

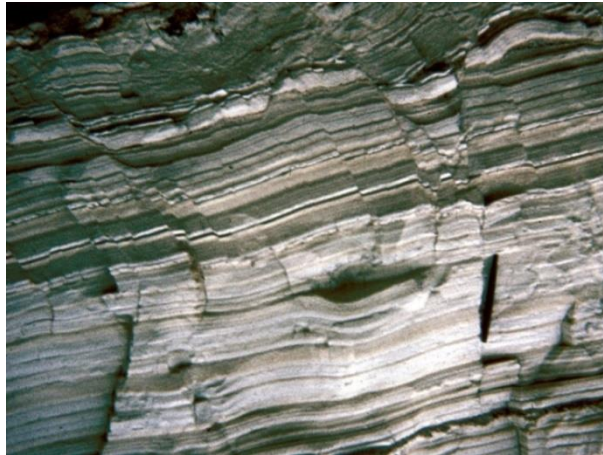


Fig.236. Dépôt des varves

c. Varves glacio-lacustres : il s'agit d'une **sédimentation périodique** dans les formations **lacustres glaciaires**. Elles correspondent à **une alternance très fine de lits foncés argileux et de lits clairs plus quartzeux**. Quand le **lac est gelé, l'eau est calme**, les particules **argileuses fines se déposent** donnant un **lit foncé, coloré par des matières organiques**. Lors du **dégel, apport d'eau et d'éléments détritiques** donnant un **lit clair sableux**.

On observe parfois dans les varves des phénomènes de glissements sous-lacustres, donnant des lits convolutés **"convolutes laminations"** (Fig.237). La matière ayant la consistance de la pâte de dentifrice a flué sur une pente très faible.

Les varves étant un **phénomène saisonnier**, il y a là un **moyen de dater** directement, par **comptage, la durée d'un dépôt**. Des déterminations de ce genre faites **en Suisse** ont donné pour le dépôt mesuré des durées de l'ordre de **20 000 ans**.

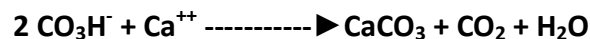


Fig.237. Convolutes laminations

B. Sédimentation chimique et biochimique :

1. Sédimentation calcaire et argileuse :

a. **Calcaires lacustres purs** : leur formation est liée à l'évolution de l'équilibre :



Une élévation de T° , l'agitation de l'eau facilitant l'élaboration le départ de CO_2 . L'absorption de CO_2 par les plantes vertes aquatiques à la lumière, entraîne une précipitation de CaCO_3 . Ainsi se forment, non loin des rives, **les tufs calcaires**, de textures **plus ou moins spongieuses** et les **travertins**, à **grains fins** et **plus compacts**.

b. **Craies lacustres** : elles se forment surtout au centre des lacs par accumulation des débris d'organismes vivants en surface associés à une part plus ou moins importante de matériaux précipités par des phénomènes chimiques ou de matériaux argileux très fins.

La craie présente en section transversale, un aspect rayé où l'on peut distinguer des zones alternativement claires et sombres dont les épaisseurs sont d'ordre $1/10^e$ de mm. Cet aspect est dû aux variations saisonnières d'où résulte pour le lac, un cycle biologique où l'on peut distinguer les deux phases essentielles suivantes :

- **en hiver** : la fonction chlorophyllienne est ralentie, le plancton végétal meurt en majeure partie. Les matières organiques accumulées sont décomposées par les bactéries de la putréfaction (le froid retarde la putréfaction). A ce moment-là, il y a apparition des produits nocifs : NH_3 et H_2S , pouvant entraîner la mort de tout le plancton. On assiste à un

appauvrissement de l'eau en O_2 qui se charge de CO_2 (pH est neutre sinon acide). Cela provoque la floculation des argilites, en suspension colloïdale dans l'eau. Cette argile chargée de matières organiques est de teinte sombre, ainsi se forme une zone sombre.

- **en été** : la fonction chlorophyllienne reprend, elle dégage une quantité importante d' O_2 qui non seulement, aère l'eau, mais assure en plus l'oxydation de l'ammoniaque, de l'hydrogène sulfuré, du phosphore organique. Ce qui les transforme en nitrites puis en nitrates, sulfates et phosphates assimilables par les végétaux donc favorise la **pullulation du phytoplancton**. Les besoins en CO_2 augmentent qui est pris en **bicarbonate** d'où précipitation de **carbonates de Ca** et de **Mg** en dissolution dans l'eau. Alors, il se forme du **carbonate de Ca insoluble** qui rend l'eau laiteuse et finit par se déposer. Le dépôt blanc du calcaire pendant la belle saison est donc le résultat d'une véritable décalcification biogénique ; alors il se forme ainsi une **zone claire**.

LES EVAPORITES MARINES

A.1. Les bassins peu profonds :

Il existe **deux modèles** de bassin peu profonds :

a. Les bassins fermés où les facies s'organisent concentriquement "**en œil**" avec les **sels les moins solubles à la périphérie (carbonates)** et **les plus solubles au centre (sels de potasse)**. Un tel dispositif devrait conduire à un dépôt où le pourcentage des différents sels est proche de ceux qui sont obtenus par évaporation expérimentale d'eau de mer (**Fig.238**).

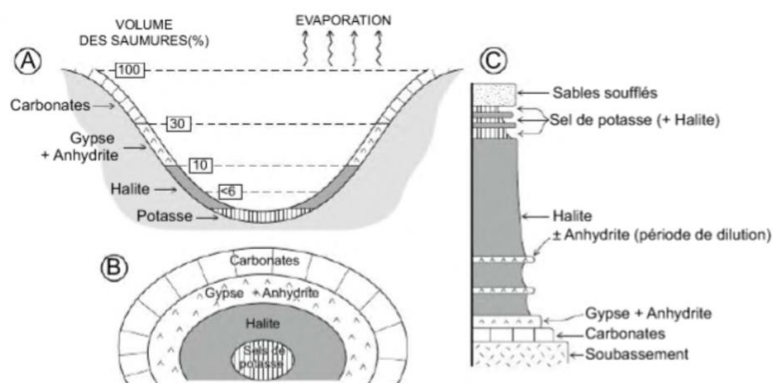


Fig. 238. Les évaporites de bassin marin fermé (d'après Einsele, 1992)

A : Evolution de la sédimentation en fonction du degré d'évaporation

B : répartition des facies en carte

C : Séquence évaporitique type

b. les bassins semi-isolés gardent une connexion plus ou moins importante avec la mer franche (bassins à seuils). Les faciès s'organisent alors suivant une **polarité centrée** sur la passe reliant le bassin à la mer, **les sels les moins solubles sont au voisinage de la passe, les plus solubles, à l'opposé, au fond de la lagune (dispositif en "goutte d'eau")**. Dans la séquence évaporitique, les **stades carbonates et sulfates de calcium sont plus développés que les stades halite et sels de potasses** (qui ne sont souvent même jamais atteints).

A.2. Les bassins profonds :

Ils peuvent se diviser en deux types :

1. Les modèles de bassin profond et d'eau profonde où du fait d'une restriction des communications (eustatisme, tectonique), la circulation profonde d'un bassin profond (sur croute continentale ou océanique) se trouve remplacée par une circulation de surface. La production phytoplanctonique, encore importante en surface, associée à la stagnation des eaux profondes conduit à des **conditions euxiniques** (dépôts de marnes bitumineuses). Les eaux de surfaces, qui deviennent **plus denses et plus salées du fait de l'évaporation**, commencent à **plonger dans la partie la plus interne du bassin** tandis que le gypse et l'halite commencent à précipiter à partir des eaux de surface (**Fig.239A**).

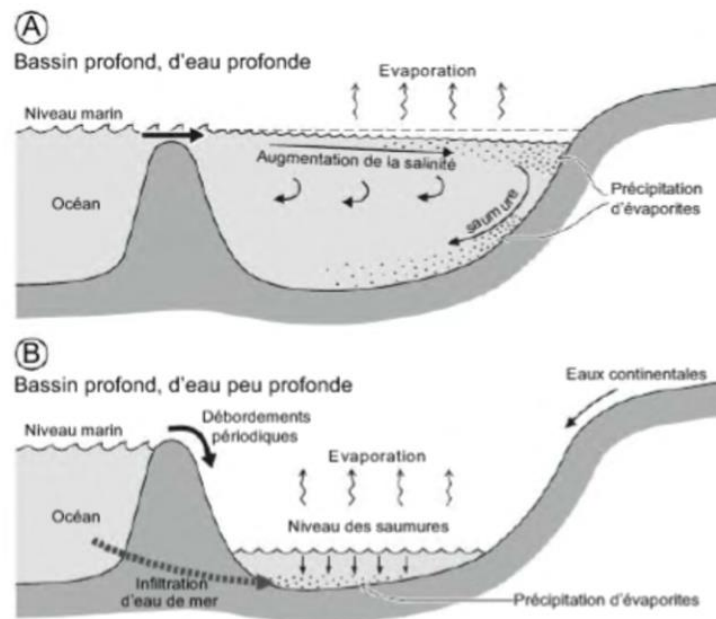


Fig.239. Les bassins évaporitiques profonds

1. Les modèles de bassin profond et d'eau peu profonde : dans ce cas un bassin "structuralement profond" s'est isolée totalement de l'océan, conduisant à un assèchement

sur place et au développement de **facies évaporitique d'eau peu profonde ou de sebkha (Fig.239B)**.

VI. CONCLUSIONS

1. Il est difficile de relier les évaporites à un climat ou à un contexte géodynamique particulier. Nous avons montré la diversité des contextes dans lesquels les sels se déposent. Des points communs entre ces contextes émergent : pour avoir dépôt d'évaporites, il faut que, conjointement, **un climat aride règne sur une étendue d'eau peu profonde** et préférentiellement **isolée de tout apport en eau**.

2. L'intérêt de l'étude de la sédimentation lacustre présente un moyen de mesurer la vitesse du dépôt, donc faire la **chronologie**.

3. Au large, **pullule le phytoplancton**, la **matière organique** qui en résulte, **mêlée à la vase**, constitue **les sapropèles** : matériau d'origine des sédiments bitumineux et peut être de certains pétroles. Dans les lacs **dont les eaux sont riches en silice (voisinage de cinérites ou des roches éruptives)** peuvent se multiplier **des diatomées**. Leurs frustules, s'accumulent sur le fond sont à l'origine de **diatomites**.

4. Dans les **zones lacustres bordières** peuvent se développer des **tourbières** : tourbes et de marécages boisés : ***lignites, houilles***.

5. **Les salars** recèlent de **grande quantité de lithium**.

6. **Les diapirs** favorisent la **formation de pièges à pétrole** dans les formations sédimentaires qu'ils recourent.

7. Le sel sert essentiellement au revêtement des routes par temps **de verglas**.