

Géologie

ST-E. Le phénomène sédimentaire

ST-E2- La sédimentation des particules et des solutés

Partie 2 : la sédimentation des solutés

La sédimentation des solutés est précédée d'une bioprécipitation ou d'une précipitation chimique.

La sédimentation carbonatée résulte pour l'essentiel de l'activité d'êtres vivants : organismes produisant des tests et des coquilles ou bactéries provoquant des précipitations. Elle se produit surtout en domaine marin de plateforme et caractérise aussi les environnements récifaux. La sédimentation carbonatée pélagique est le fait de micro-organismes planctoniques (Foraminifères planctoniques, Coccolithophoridés).

Les dépôts ne s'observent pas au-delà d'une certaine profondeur, qui définit la profondeur de compensation des carbonates (PCC) variable d'une zone océanique à une autre et fluctuante à l'échelle des temps géologiques.

La silice dissoute dans l'eau de mer peut être utilisée par des micro-organismes planctoniques (Radiolaires, Diatomées), ce qui alimente la sédimentation de boues siliceuses, non limitée par la profondeur et inégalement distribuée.

La précipitation de solutés en domaine lagunaire ou littoral, peut engendrer des évaporites (gypse-anhydrite, halite, sylvite) par concentration des solutions.

- Identifier macroscopiquement et de manière raisonnée diverses roches : calcaires, marnes, bauxites.

- Analyser les caractères d'une roche carbonatée pour en déduire l'origine et les conditions de formation, en utilisant la classification de Dunham.

- Relier le profil (transect proximal-distal) d'une plateforme carbonatée et la succession des faciès (lagon, récif, avant-récif, large) en liaison avec l'hydrodynamisme (cf. classification de Dunham).

- Identifier l'origine et les facteurs de contrôle de la sédimentation carbonatée et siliceuse à partir de l'étude de la sédimentation pélagique (en se limitant à la lysocline et à la PCC de la calcite).

- Identifier les principaux micro-organismes impliqués dans la production carbonatée pélagique (Foraminifères planctoniques, Coccolithophoridés) et dans la production siliceuse pélagique (diatomées, radiolaires).

- Relier la localisation et les caractères d'une séquence évaporitique avec les conditions chimiques de précipitation de sels.

- Identifier macroscopiquement et de manière raisonnée diverses roches : halite, gypse-anhydrite.

II. La sédimentation des solutés

La sédimentation des solutés est toujours précédée d'une précipitation pouvant être biogène (favorisée par les organismes) ou strictement chimique (due à la saturation des eaux).

A. Le carbonate de calcium et les environnements de la sédimentation carbonatée

1. Les ions en solutions

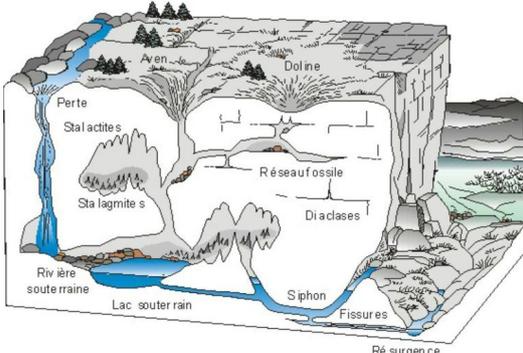
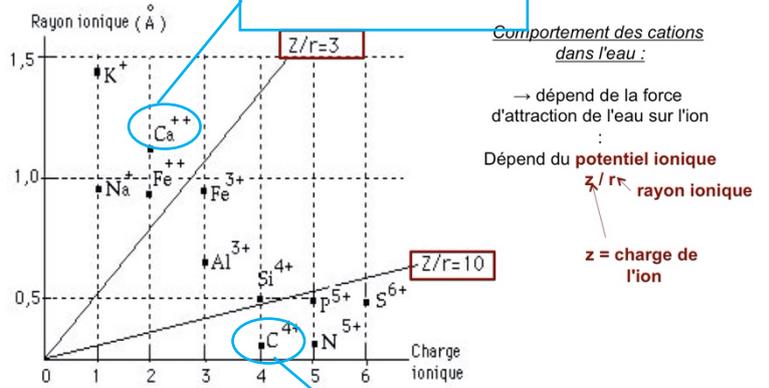


Figure II-1 Fonctionnement d'un système aquifère karstique - Source : Département géologie de l'université de Liège, 2004.

Comportements des ions vis-à-vis de l'eau : diagramme de Goldschmidt



Comportement des cations dans l'eau :

→ dépend de la force d'attraction de l'eau sur l'ion

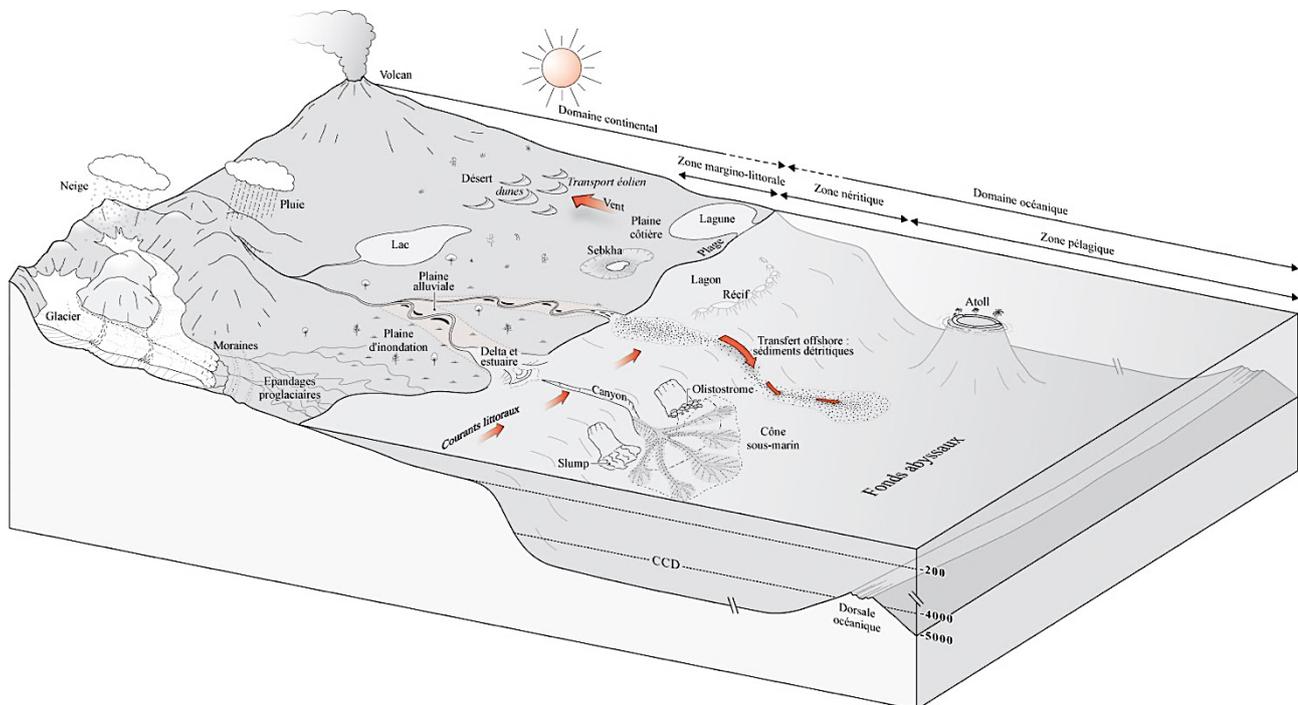
Dépend du potentiel ionique

Z/r rayon ionique

z = charge de l'ion

Altération d'une roche mère carbonatée
=> modelé

Réactions avec l'eau =>
 CO_3^{2-} ou HCO_3^-



2. ...et leur précipitation

Les organismes vivants ont la faculté de prélever des solutés dans leur environnement leur permettant de construire des entités dures (squelettes de certaines algues, des coraux, coquilles des mollusques, tests...) indépendamment du degré de saturation des eaux en solutés.

Les bioprécipitations peuvent être carbonatées (calcitiques ou aragonitiques).

Les organismes acteurs des biominéralisations ne se répartissent pas uniformément selon le biotope marin.

- En zone néritique (plateau continental), les organismes benthiques (vivant sur le fond) sont majoritaires.
- En zone pélagique (bassin océanique) les organismes planctoniques (flottant) et nectoniques (nageant) prédominent.

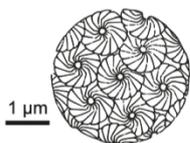
Les organismes vivants peuvent favoriser la précipitation en milieu peu concentré.

- La biominéralisation peut être induite (ex. des stromatolithes). L'organisme autotrophe déplace simplement l'équilibre des carbonates en créant un micro-environnement particulier par prélèvement du CO₂ dans son environnement lors de la photosynthèse.

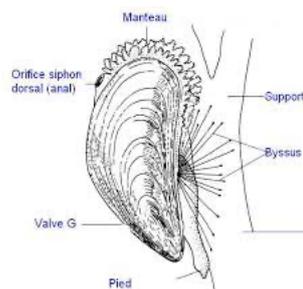


Ex. films microbiens à l'origine de stromatolithes (organismes autotrophes)

- La biominéralisation peut être contrôlée. La cristallisation se fait au sein d'une matrice organique à l'intérieur de l'organisme au sein de vacuoles avant excrétion par exocytose (ex. des coccolithophoridés) ou directement à l'extérieur des cellules (ex. des bivalves).



Ex. coccolithophoridé (organisme autotrophe)



3. La texture des roches carbonatées témoigne de l'hydrodynamisme.

Les roches carbonatées résultent principalement de l'accumulation de bioparticules calcitiques ou aragonitiques liées par un ciment ou une matrice. Les proportions relatives des différents constituants définissent la texture du sédiment carbonaté déterminée selon la classification de Dunham. Cette texture témoigne notamment de l'hydrodynamisme au moment du dépôt des sédiments.

L'agencement des éléments figurés et de la phase de liaison permet de caractériser la roche et d'en déduire l'**hydrodynamisme de son environnement de dépôt**.

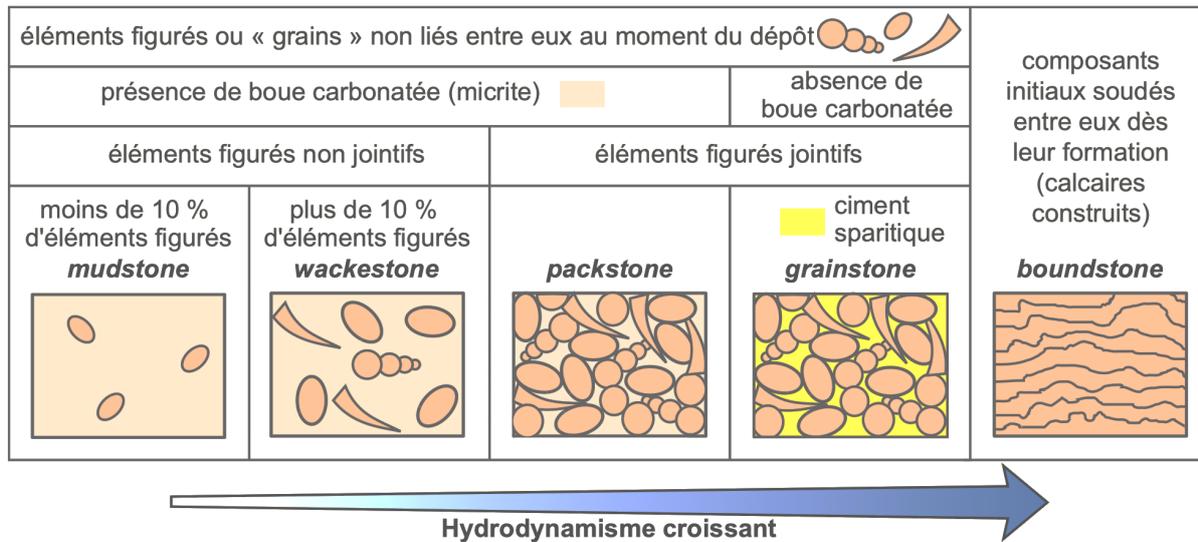
Les **mudstones** sont constitués principalement d'une boue carbonatée qui ne se dépose que si l'hydrodynamisme est très faible.

Plus il y a d'éléments figurés, plus l'hydrodynamisme augmente, permettant d'apporter des éléments allochtones.

La présence de **matrice (= micrite)** indique que l'hydrodynamisme a permis le dépôt de particules très fines, ainsi il n'était pas trop important (cas des **wackestones et packstones**).

La présence de **ciment (= sparite)** indique que l'hydrodynamisme était trop important ne permettant pas le dépôt de boue carbonatée au moment de la sédimentation. Le ciment liant les éléments figurés s'est formé postérieurement suite à la précipitation de minéraux entre les grains (**grainstones**).

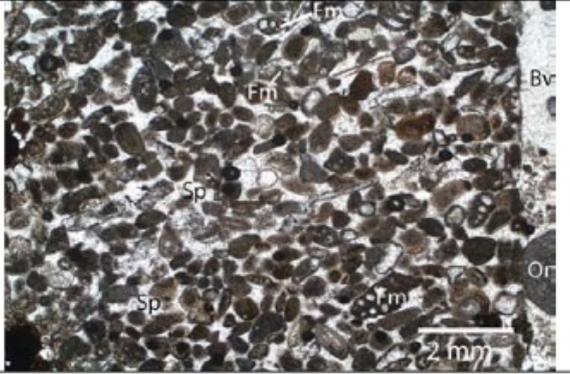
L'avantage de cette classification est de faire le lien avec *l'hydrodynamisme* de l'environnement de dépôt.



Classification des roches carbonatées selon Dunham.

Application n°1 : Extrait G2E 2011

Tableau 1 (à rendre) Légende : (Bv=bivalve, cpx= clinopyroxène, Ec=échinoderme récifal, Ep=épidote, Fm=foraminifère benthique, Gln=glaucofane, Gr=grenat, LB=loupe binoculaire, LPA=lumière polarisée et analysée, LPNA=lumière polarisée et non-analysée, Mi=micrite, Num=Nummulite (Foraminifère), ol=olivine, On=oncolithe, Or=Orbitoline (Foraminifère), pl=plagioclase, Qz=quartz, Sp=sparite)

Photo	Famille	Texture et classification utilisée	Nom
 <p>LPNA</p>			

LPA			
LPNA			

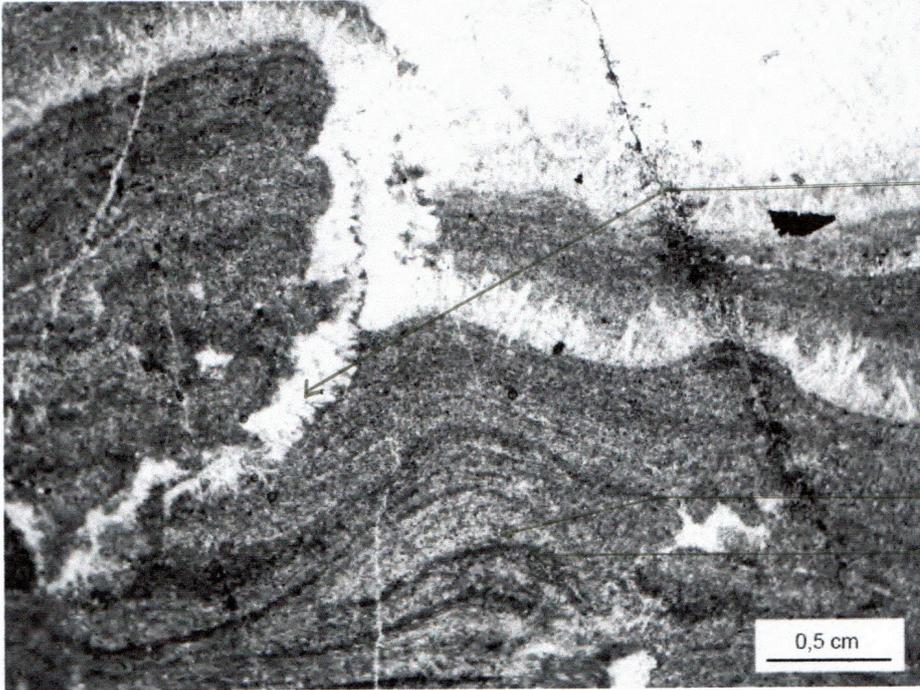
Application n°2 : Extrait TP agrégation 2016

Cet exercice d'application vise à décrire et illustrer la nature et la dynamique de la sédimentation sur une plate forme carbonatée de type rampe.

Question 1 : Pour les photos A – B- C, proposez une diagnose permettant de classer et nommer ces roches, vous préciserez si besoin les types de classification utilisés
 Vous complétez le cadre de la figure C en l'argumentant.



B



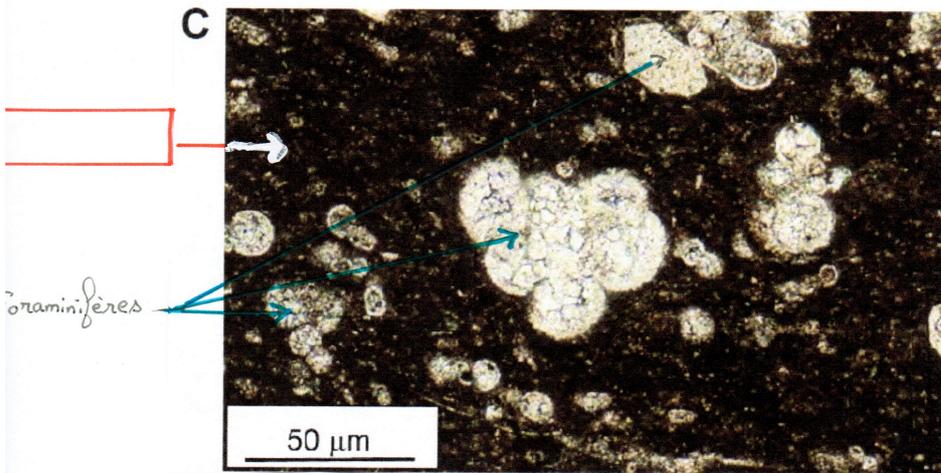
cristaux
aciculaires
dans une
fente de
dessiccation

Lamine claire

Lamine sombre

Croissance saisonnière
de Lamines riches en
carbonate de calcium
précipité sous l'action d'organismes
microbiens.

C

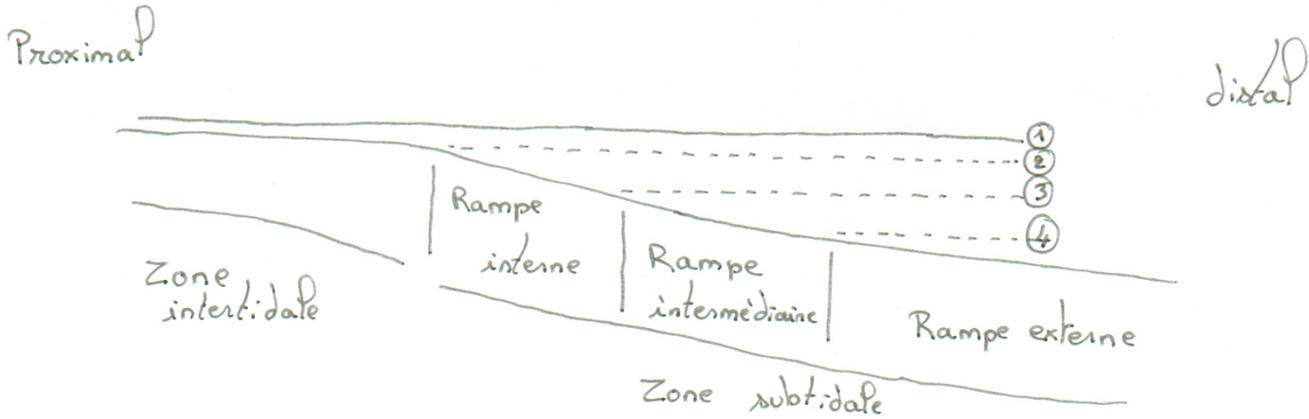


foraminifères

4. La sédimentation carbonatée en domaine de plate-forme (zone néritique).

La distribution des faciès carbonatés au niveau des plates-formes est contrôlée par la température et le régime hydrodynamique du milieu.

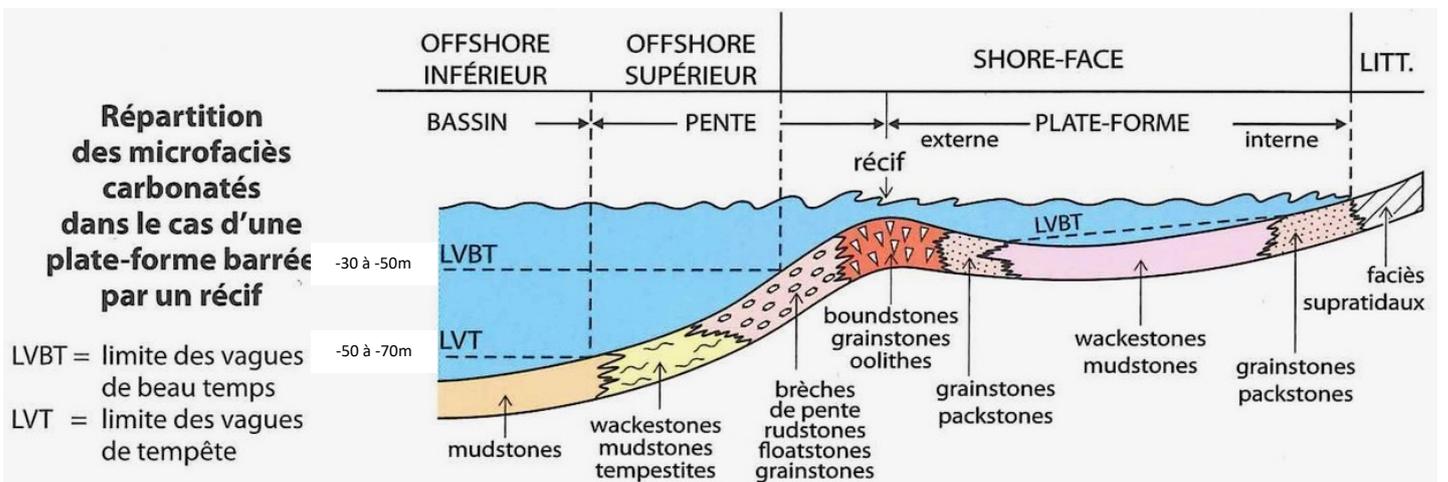
- Les plates-formes ouvertes sont majoritairement trouvées en milieux tempérés à froids. Elles présentent des dépôts variés en fonction de leur exposition aux vagues et aux houles.



- ① niveau moyen par marée haute
- ② niveau moyen par marée basse
- ③ niveau inférieur d'action des vagues de beau temps
- ④ niveau inférieur d'action des vagues de tempête

Question 2 : Sur le profil de la rampe carbonatée orienté selon un axe proximal-distal, placez les sédiments correspondant aux photos A – B et C de l'application 2 ; en justifiant vos choix.

- Les plates-formes barrées, en milieu tropical, montrent la présence de récifs coralliens (bioconstructions) qui séparent la mer ouverte d'un lagon où l'environnement calme favorise la formation de calcaires fins



B. La sédimentation siliceuse chimique et biochimique

Les organismes à test siliceux sont peu abondants dans les eaux de plate-forme continentale. On observe :

- des radiolaires : au niveau de l'équateur, dans les eaux froides et fertiles des upwelling
- des diatomées : aux hautes latitudes, dans les eaux froides

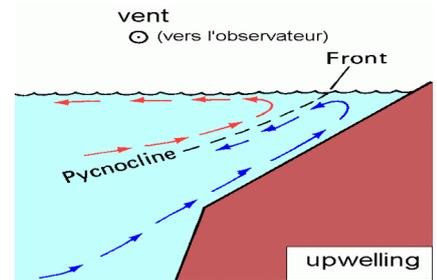
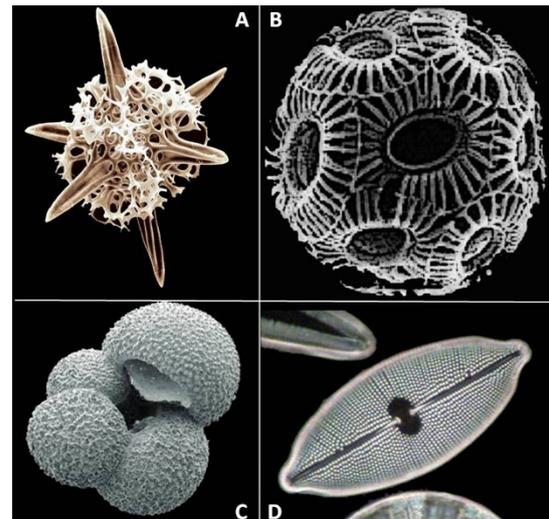


Figure 1 : Représentants de 4 grands groupes planctoniques à reconnaître et placer dans le tableau de la figure 2

NB : les coccolithophoridés et les diatomées réalisent la photosynthèse

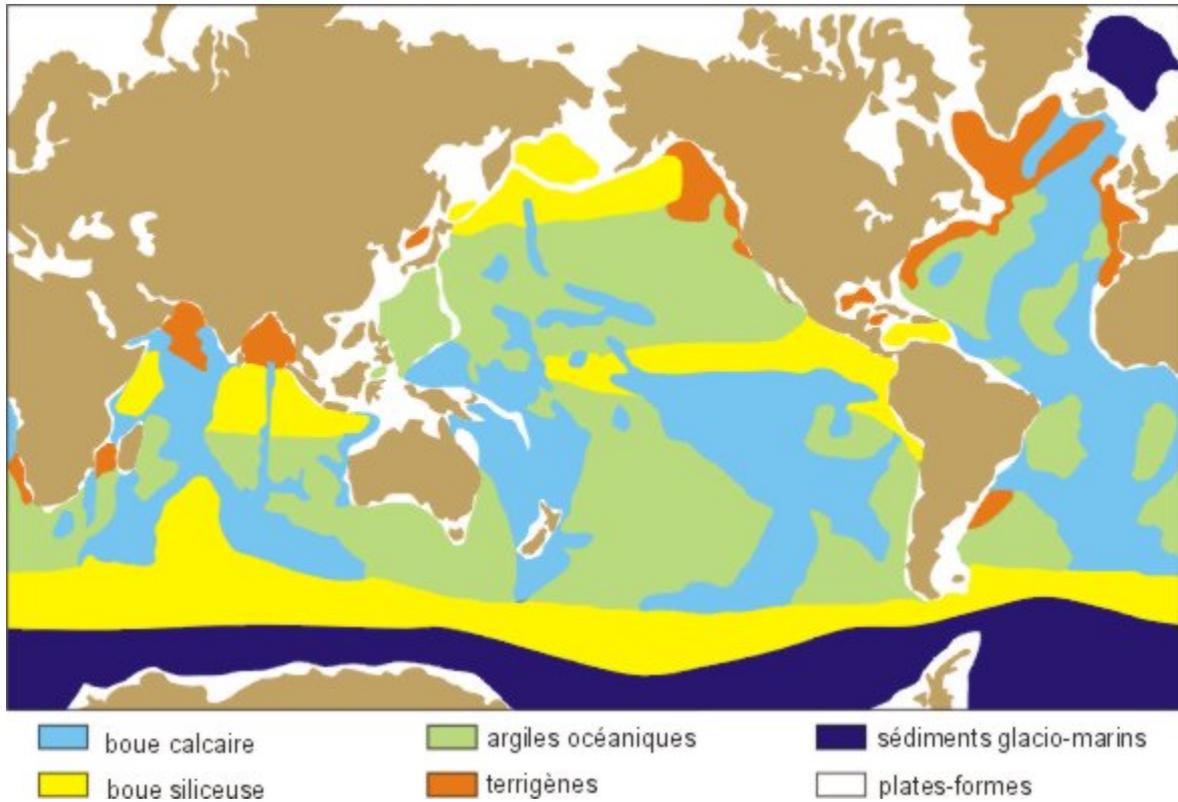
Figure 2 : Tableau à compléter

	Phytoplancton	Zooplancton
Squelette calcaire (calcite)		
Squelette siliceux (silice amorphe)		



C. Devenir des sédiments carbonatés et siliceux dans les environnements marins profonds

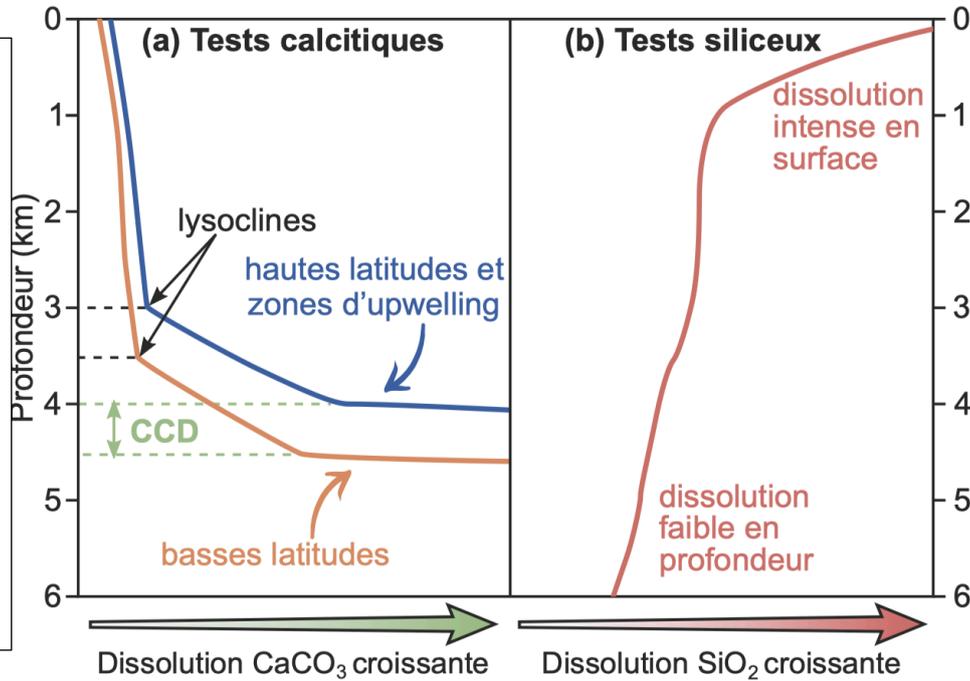
la répartition des principaux types de sédiments dans les sédiments actuels.



1) La latitude influence la répartition des bioprécipitations dans les océans

2) La bathymétrie influence la sédimentation ou dissolution des sédiments carbonatés et siliceux

Fig : Évolution de la dissolution des tests calcitiques (a) et siliceux (b) en fonction de la profondeur des eaux océaniques.



La lysocline est la profondeur à partir de laquelle la dissolution des carbonates augmente brutalement

La profondeur de compensation de la calcite (ou CCD, calcite compensation depth), est la limite au-delà de laquelle tout le CaCO_3 est dissous

L'opale siliceuse, peu stable dans des conditions de faible pression et forte température, se dissout plus fortement en surface qu'en profondeur

Fig : Variations spatiales de la CCD

- 5000 m en Atlantique, 4500 m dans le Pacifique en moyenne
- profondeur augmente si la productivité planctonique en surface augmente



La profondeur de compensation des carbonates (PCC = CCD) est variable d'une zone océanique à une autre.

La répartition des sédiments pélagiques anciens montre que la profondeur de compensation des carbonates a fluctué au cours des temps géologiques en raison de modifications de la température des océans (eaux plus froides lors des périodes glaciaires du Quaternaire par exemple, favorisant la solubilisation des carbonates et inversement lors des périodes interglaciaires) et de leur teneur en CO_2 dissous (une accélération de l'activité des dorsales conduit à une augmentation de la teneur en CO_2).

D. Les roches évaporitiques : précipitation de saumures concentrées

Les évaporites se forment par précipitation d'ions dans un milieu déficitaire en eau. Elles témoignent en règle générale d'un **environnement aride**. Il s'agit généralement de roches composées d'un seul type de minéral.

Elles portent ainsi le nom de ce dernier hormis la sylvinite qui est un alliage d'halite et de sylvite.

► Différents types d'évaporites

- ~ Gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
- ~ Anhydrite (CaSO_4)



Gypse en fer de lance



Gypse en pied d'alouette



- ~ Halite (NaCl)
- ~ Sylvite (KCl)



Halite



Gypse saccharoïde



Gypses massifs et nodulaires



Sylvinite

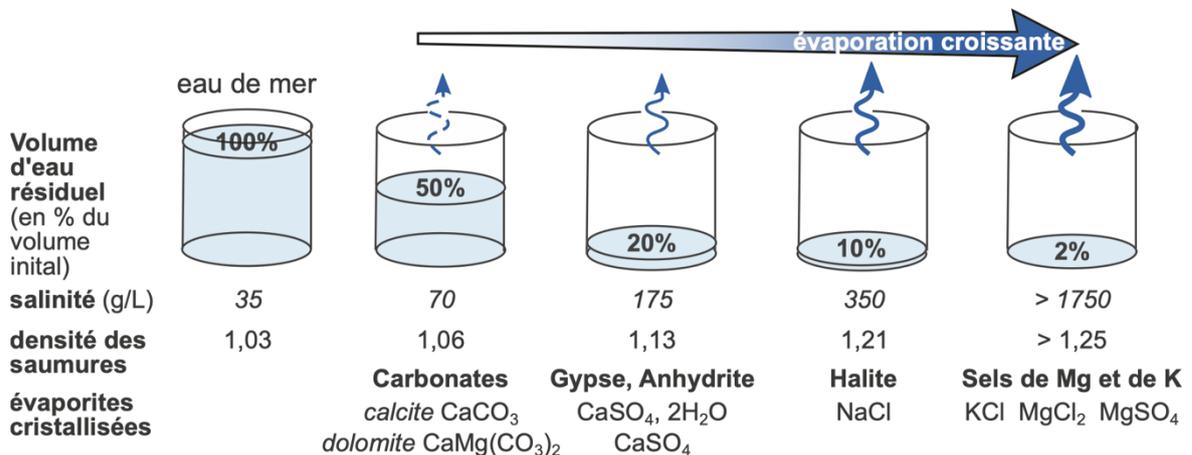


Sylvite

Quatre roches principales sont à connaître selon leurs critères de reconnaissance

Minéral	Famille	Syst. Cristallin	Couleur	Dureté	Caractéristiques
Gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	Sulfates	Monoclinique	Incolore, blanc, brun clair, jaune, rose	2	Faible densité, feuillets de clivage flexible mais non élastique. Se raie à l'ongle.
Anhydrite (CaSO_4)	Sulfates	Ortho rhombique	Blanc, blanc rougeâtre, gris	3,0 à 3,5	3 clivages à angle droit. Ne se raie pas à l'ongle.
Halite (NaCl)	Chlorures	Cubique	Incolore, blanc, rougeâtre, gris	2,5	Très soluble dans l'eau et goût salé caractéristique
Sylvite (KCl)	Chlorures	Cubique	Orange, rougeâtre, jaune, marron	2,5	Très soluble dans l'eau et goût amer caractéristique

Schéma : Ordre d'apparition (de gauche à droite) des différents termes de la série évaporitique par évaporation d'eau de mer.



Les environnements propices à la formation des évaporites associent une source d'ions (eau de mer ou eaux de lessivage de dépôts préexistants) et un bilan d'évaporation toujours supérieur aux apports d'eaux, nécessaire pour assurer la saturation des saumures. Ils sont représentés par des environnements variés :

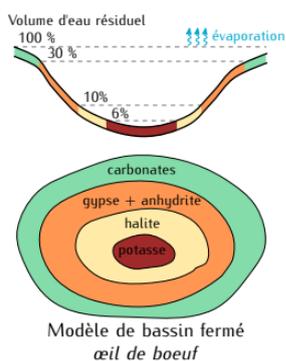
- les lagunes envahies sporadiquement par l'eau de mer (Tunisie, golfe Persique....) où l'évaporation, largement prédominante sur les précipitations (climat semi-aride ou aride), permet la cristallisation de certains sels ;
- les mers intérieures (mer Morte) ou peu ouvertes (mer Rouge) au niveau desquelles l'évaporation, excédentaire par rapport aux apports d'eau douce ou d'eaux marines, conduit à la sursaturation de saumures qui, du fait de leur forte densité, coulent vers le fond et développent des précipités ;
- les rifts continentaux (lac Assal au nord du rift est-africain par exemple) présentent des caractères communs aux mers intérieures dès lors qu'ils sont envahis par l'eau de mer et disposent d'une topographie des fonds facilitant le confinement ;
- les lacs continentaux enrichis en sels issus du lessivage des terres environnantes. On en retrouve particulièrement dans les régions montagneuses (exemples des salars andins de Bolivie (Uyuni) et d'Argentine).

▶ Évaporites continentales

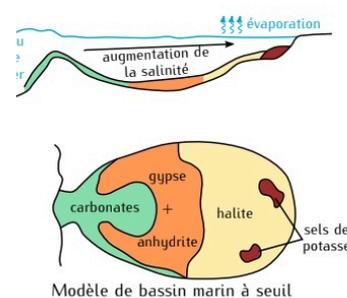
- ↪ dépôts de lacs endoréiques en climat aride ou semi-aride
- ↪ minéralogie variable (fonction de la géologie régionale)
- ↪ répartition horizontale concentrique fonction du degré de solubilité

▶ Évaporites marines

- ↪ Lagunes, sebkhas, sabkhas :
 - ★ inondations marines périodiques,
 - ★ apports souterrains à partir de la nappe phréatique marine



Lagune Verte et stratovolcan de Licancabur, Bolivie



Modèle de bassin marin à seuil



↪ répartitions des évaporites continentales

