

STE– Le phénomène sédimentaire

Chapitre 2 - Des sédiments à la roche : dépôt et diagenèse

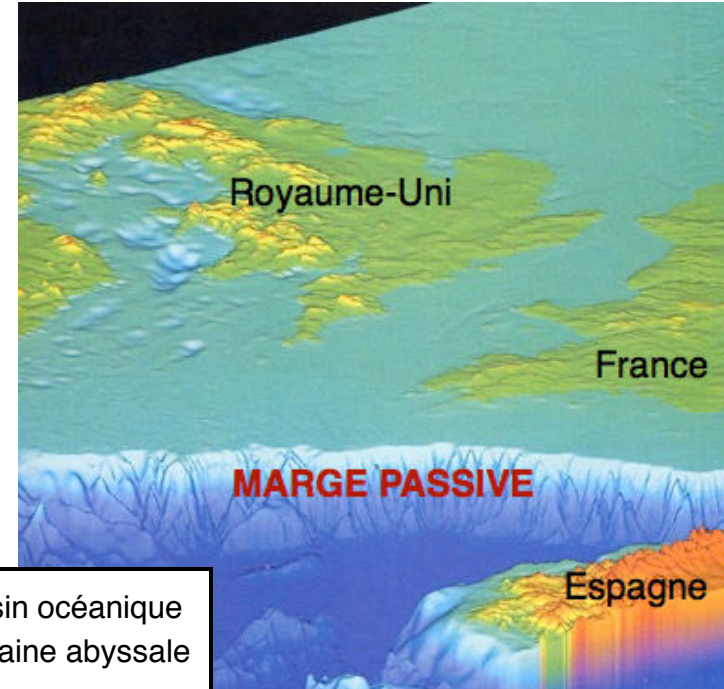
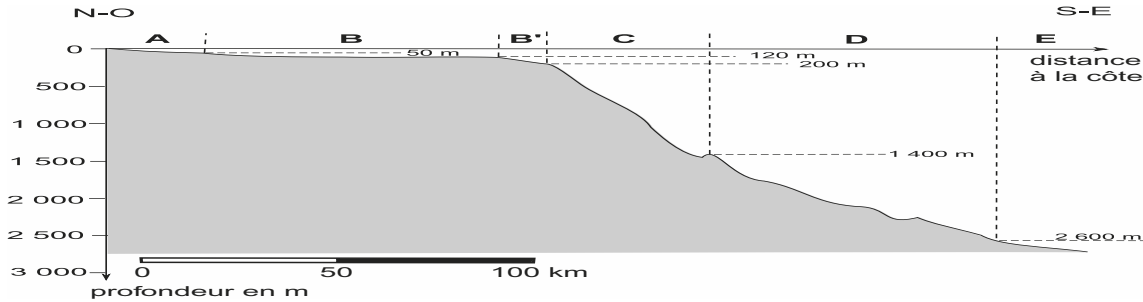


Salar d'Uyuni

1. Les bassins sédimentaires, des zones de dépôt

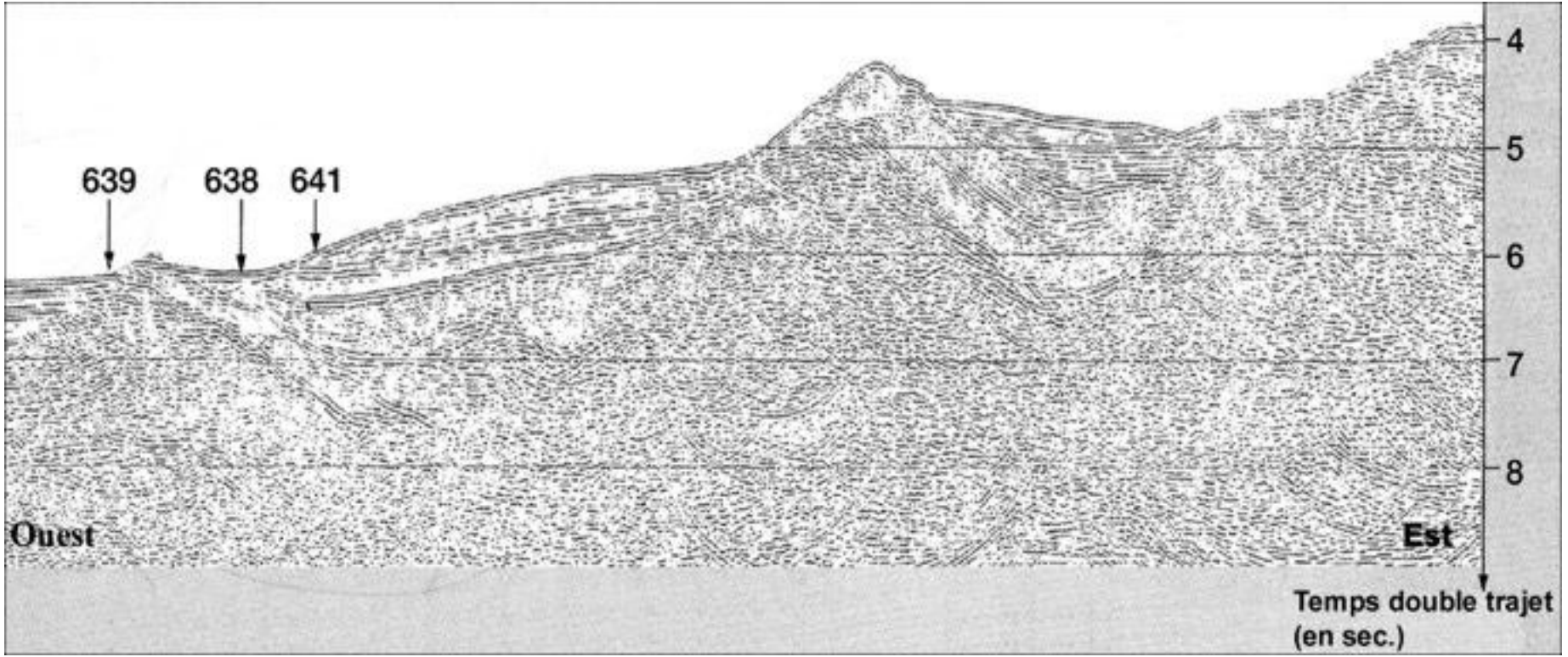
1.1. Les marges passives

Profil bathymétrique



Domaine	plateau ou plate-forme continentale	talus	glacis	bassin océanique ou plaine abyssale
Limite bathymétrique	0 à 200 m	200 à 1 400 m	1 400 à 2 600 m	> 2 600 m
Pente en °	0,05 à 0,1	1,6	0,95	0
Pente en %	0,1 à 0,2	2,8	1,7	0

Profil sismique d'une marge passive



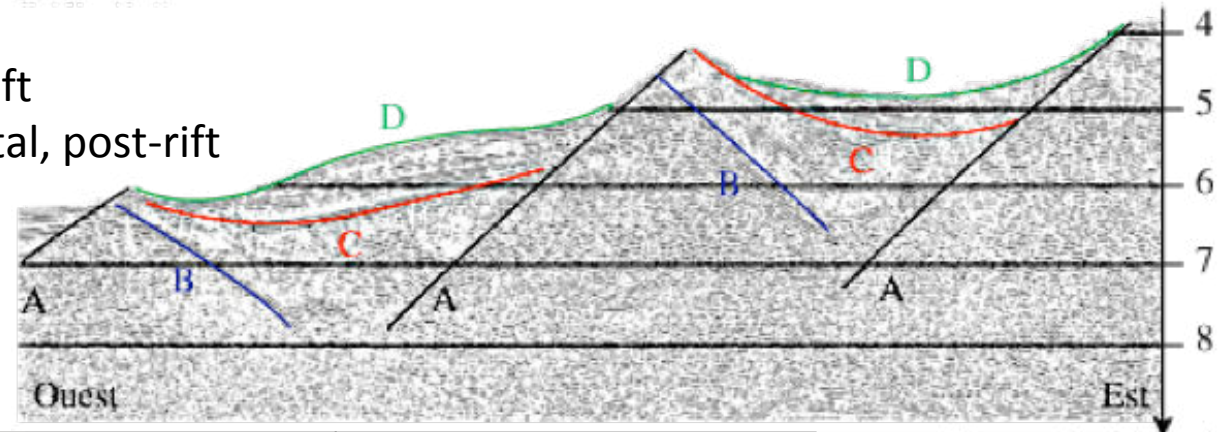
Analyse du profil : les sédiments des marges passives

A : failles normales

B : limite des dépôts pré-rift

C : éventail de sédiments syn-rift

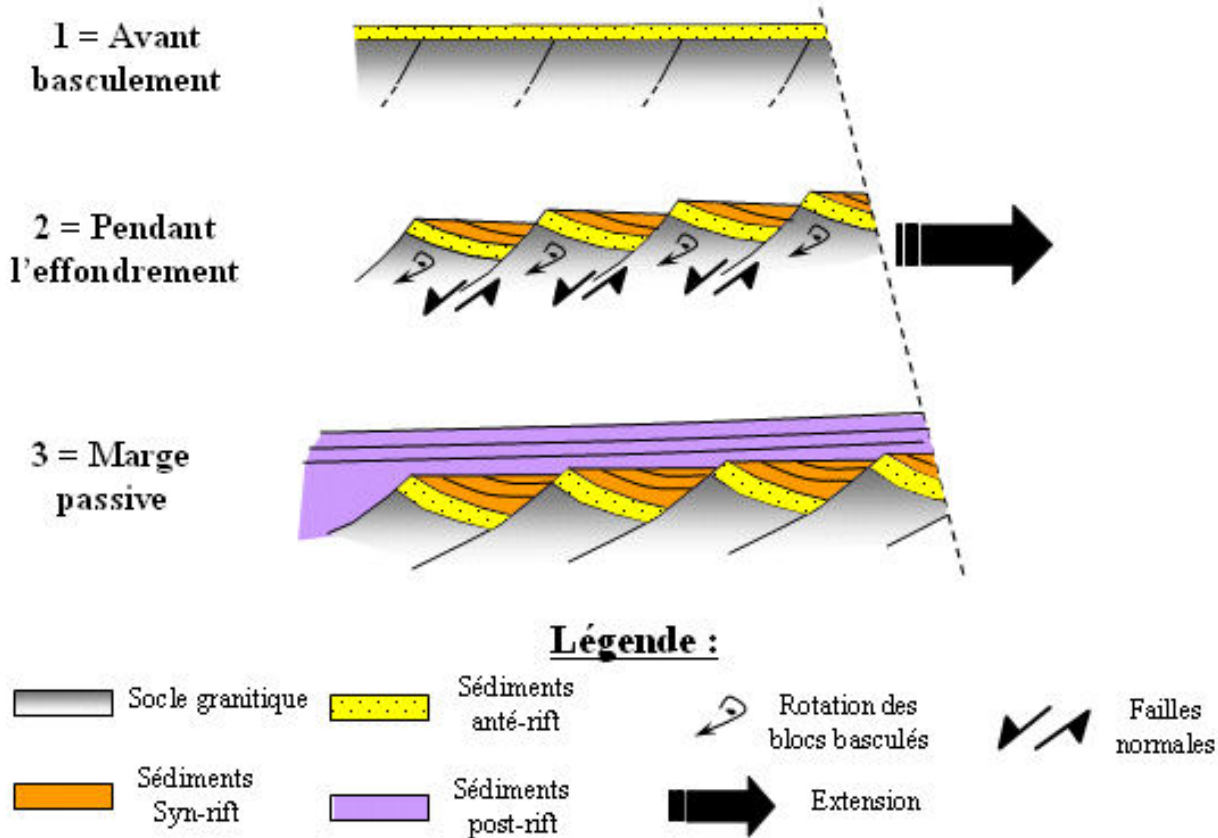
D : dépôt actuel, quasi horizontal, post-rift



Sédiments « ante-rift »	Sédiments « syn-rift »	Sédiments « post-rift »
Affectés par les failles normales Basculés comme le socle auquel ils sont solidaires	Affectés pas les failles normales Épaisseur variable (géométrie en éventail éventuellement) car ils comblent les dépressions, fossés ou demi-fossés	Non touchés par les failles Horizontaux ou subhorizontaux soit discordants ; légères ondulations possibles s'il y a poursuite de la subsidence différentielle de certains compartiments

Temps double trajet
(en sec.)

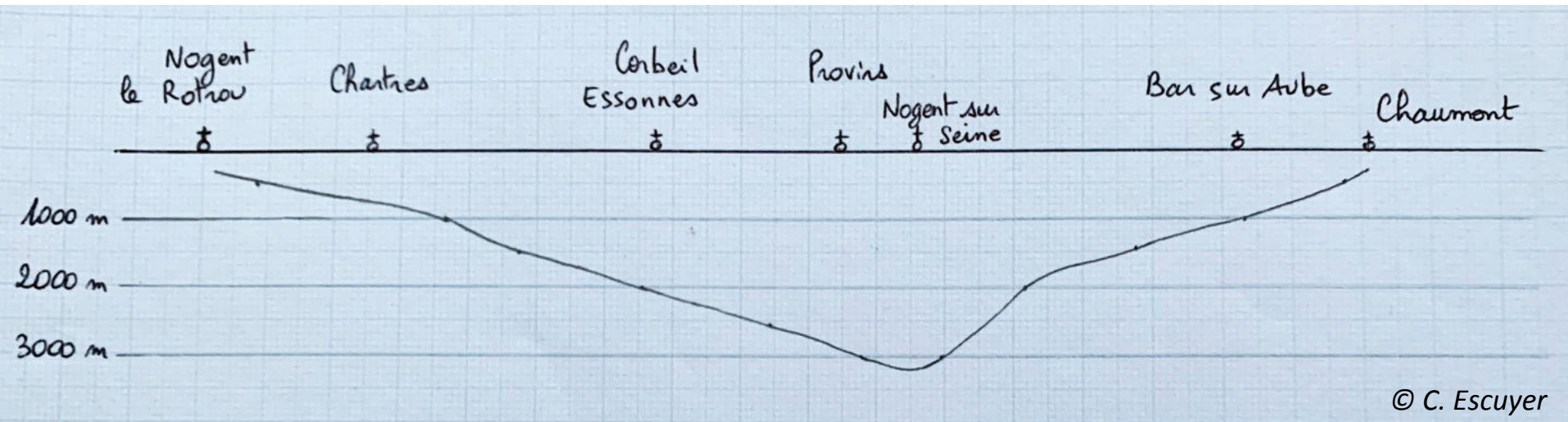
Dépôts de marge passive



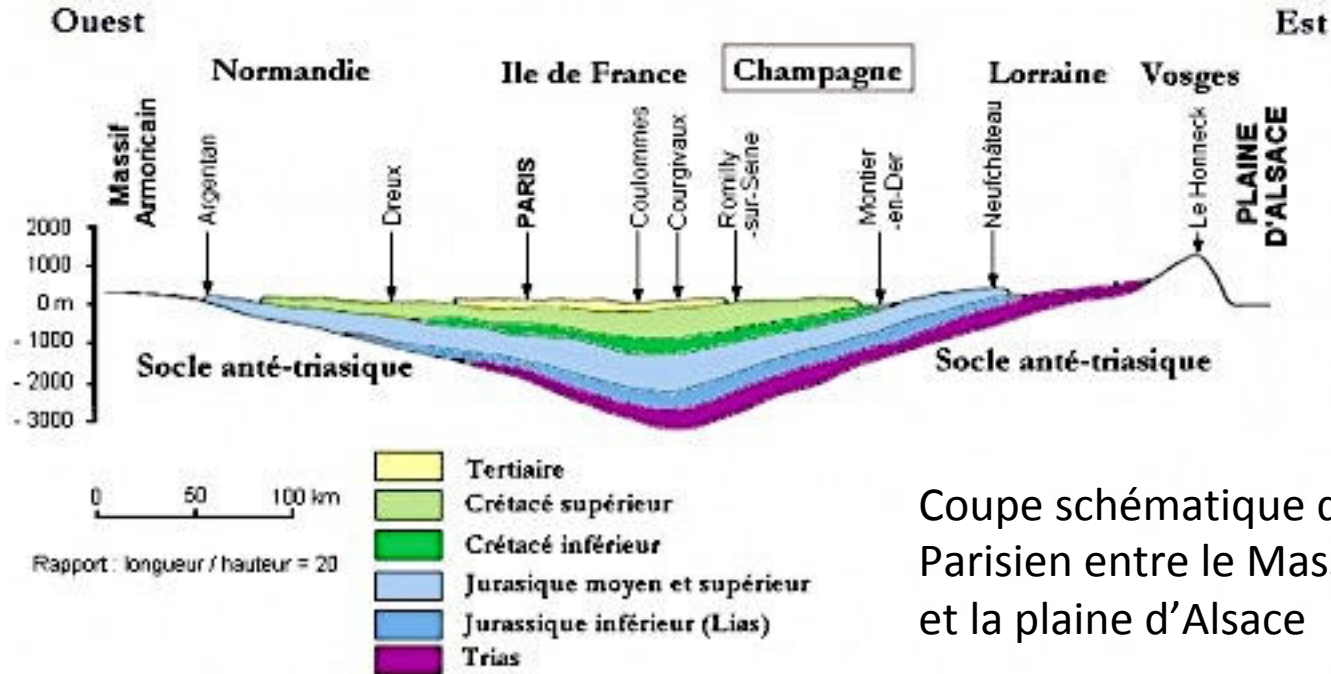
1. Les bassins sédimentaires, des zones de dépôt

1.2. Le bassin parisien, un bassin intracontinental en subsidence

Profil de profondeur du bassin



Dépôt en cuvette



Coupe schématique du Bassin Parisien entre le Massif Armoricain et la plaine d'Alsace

Remplissage sédimentaire => surcharge => enfoncement isostatique
= **SUBSIDENCE**

Vitesse d'enfoncement à Provins

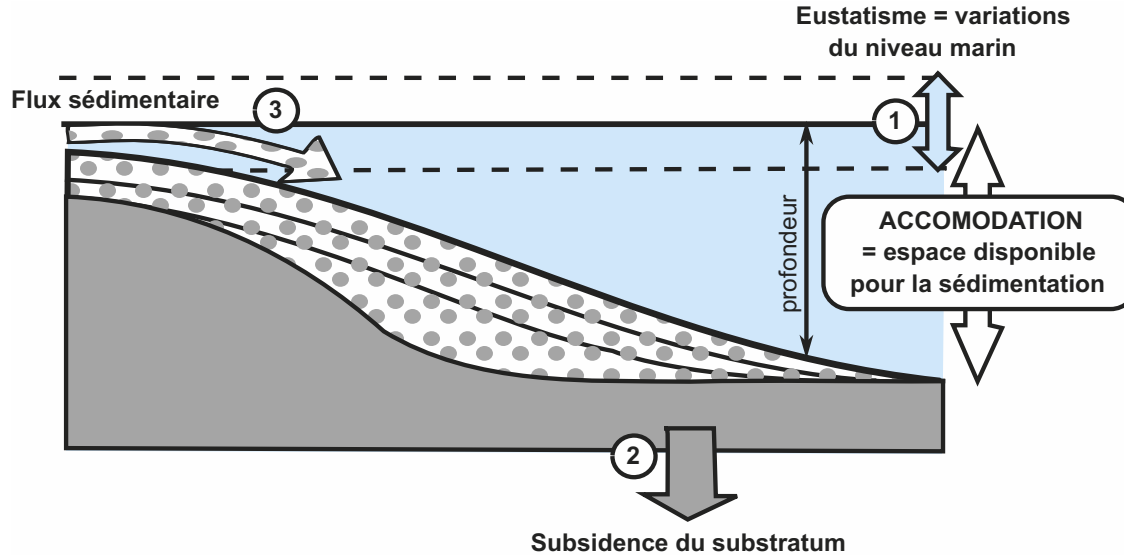
Base de terrains Trias à 3 000 m de profondeur.
Affleurement daté de l'Oligocène

En prenant pour chaque roche, l'âge médian

Durée du milieu du Trias au milieu de l'Oligocène $\approx 230 - 28 \text{ Ma}$

Bilan : 3 000 m en $200 \cdot 10^6$ années soit $0,015 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$
Un enfoncement de 1,5 mm par siècle...

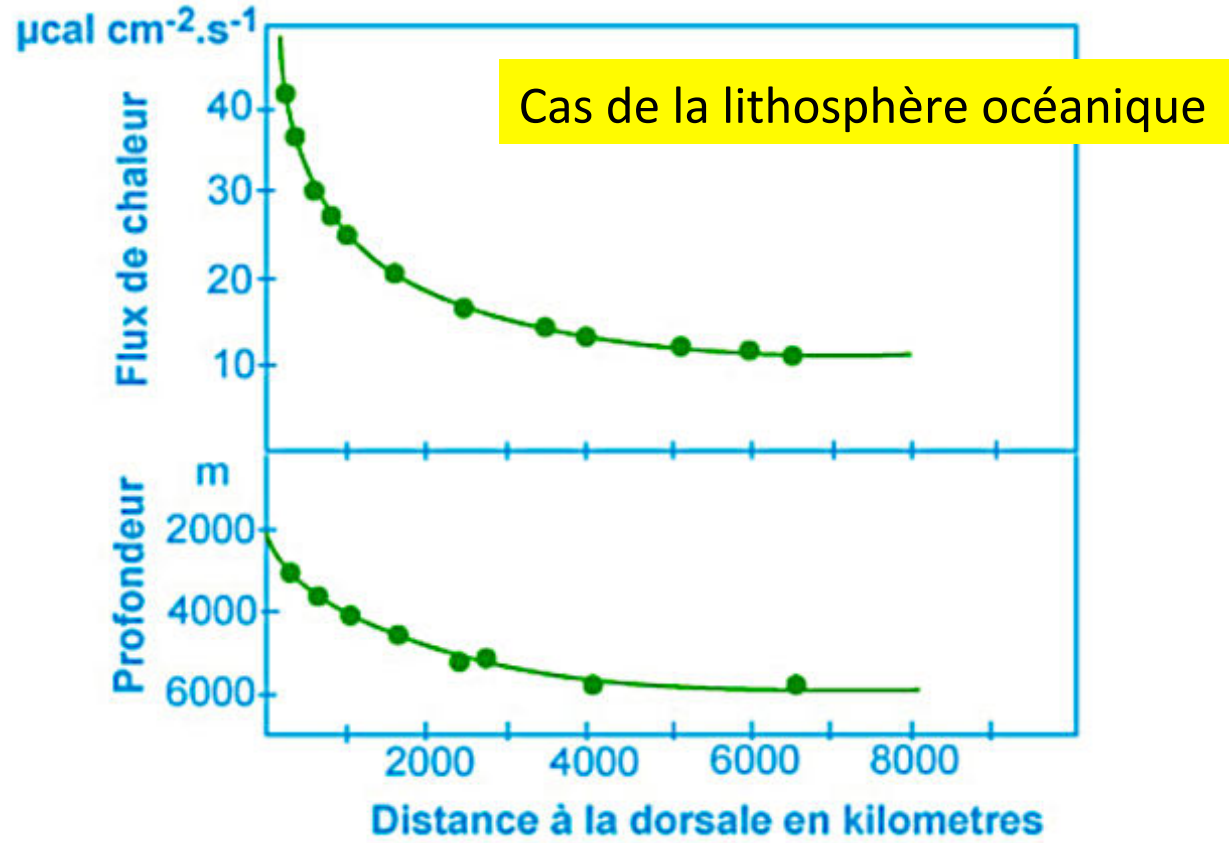
Espace d'accommodation



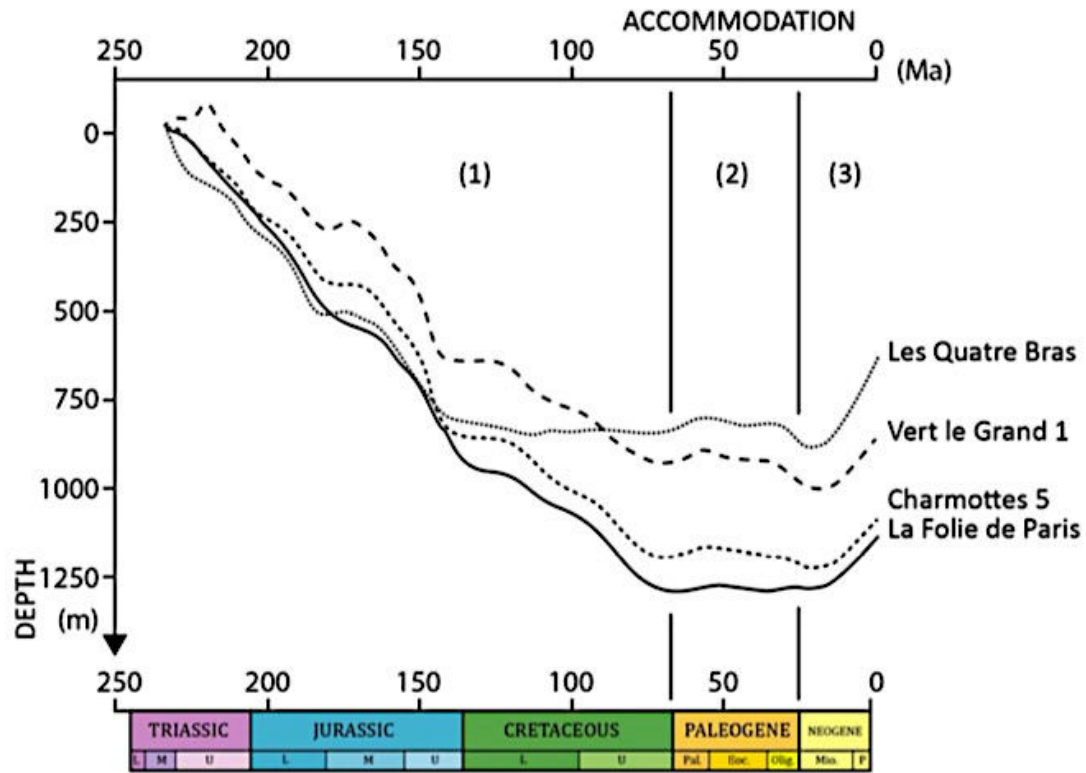
Subsidence totale = subsidence stricte + surcharge sédimentaire



Exemple de subsidence thermique



Suivi de la subsidence



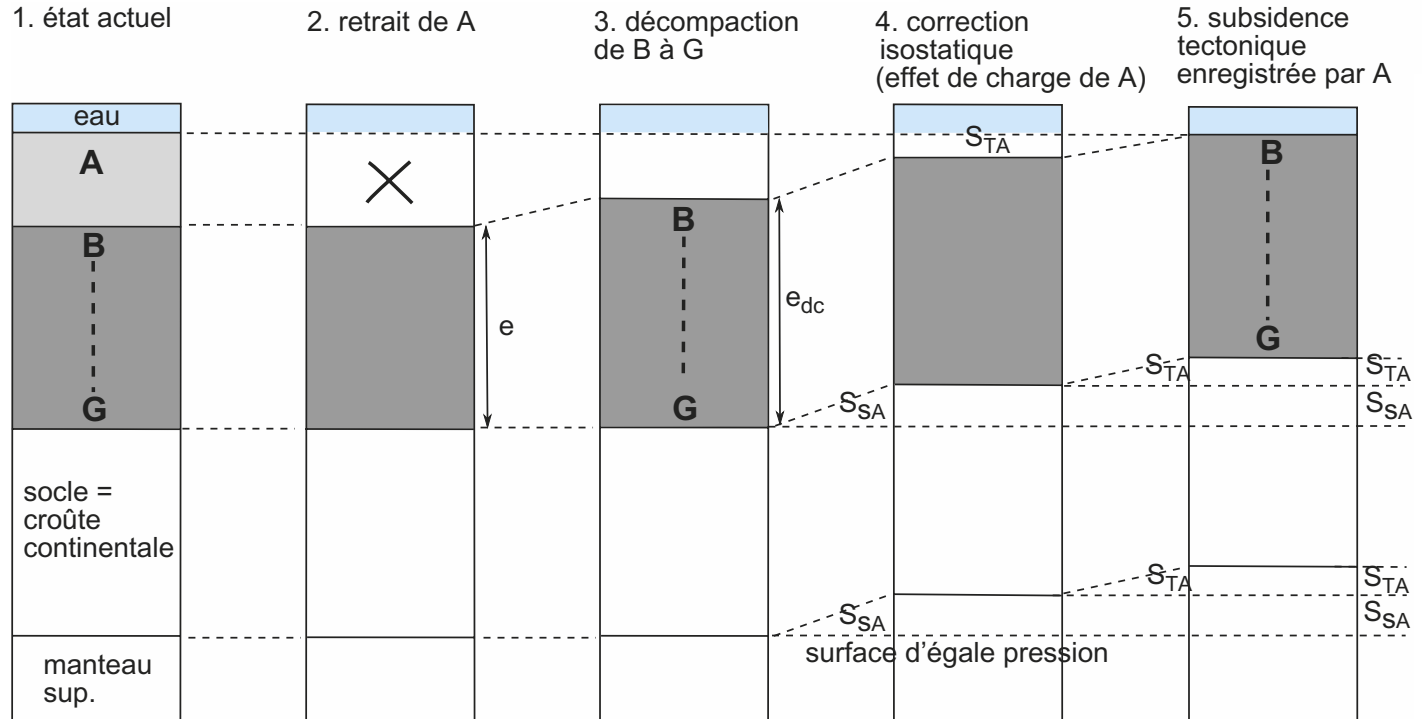
(1) une phase de subsidence rapide au Mésozoïque.

(2) une phase de très faible subsidence au Paléogène

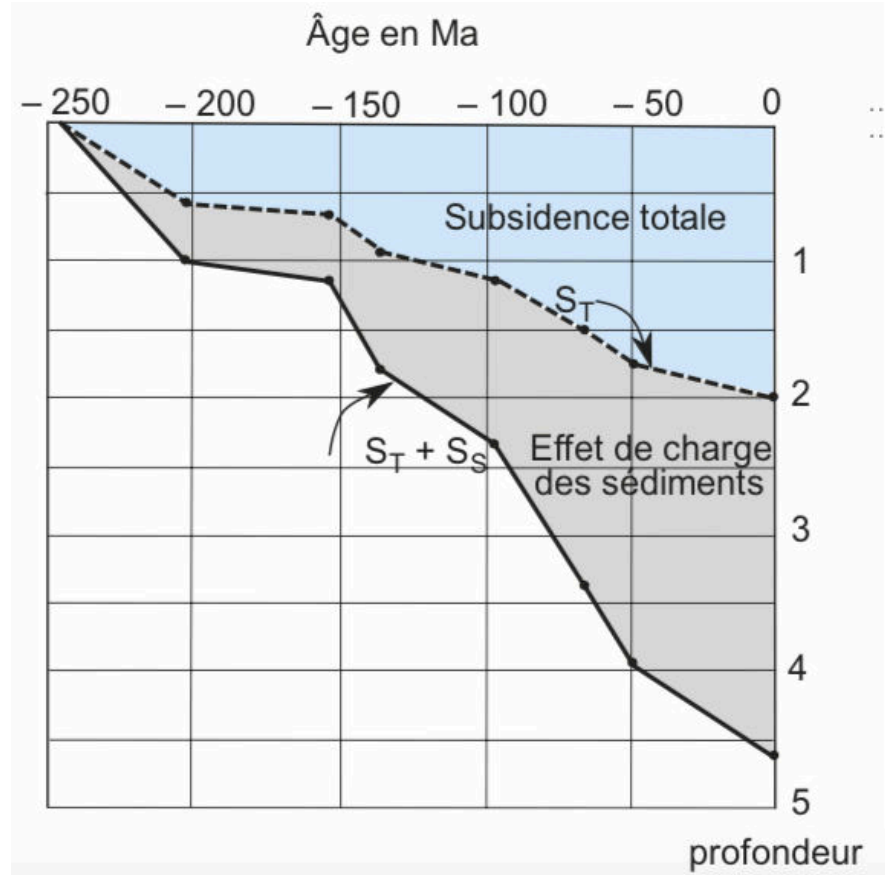
(3) et enfin une phase en surrection au Néogène : la mer se retire et les dépôts sont interrompus (début d'érosion).

La technique du backstripping

Pour remonter le temps et déterminer la part de la subsidence vraie et de la surcharge sédimentaire.

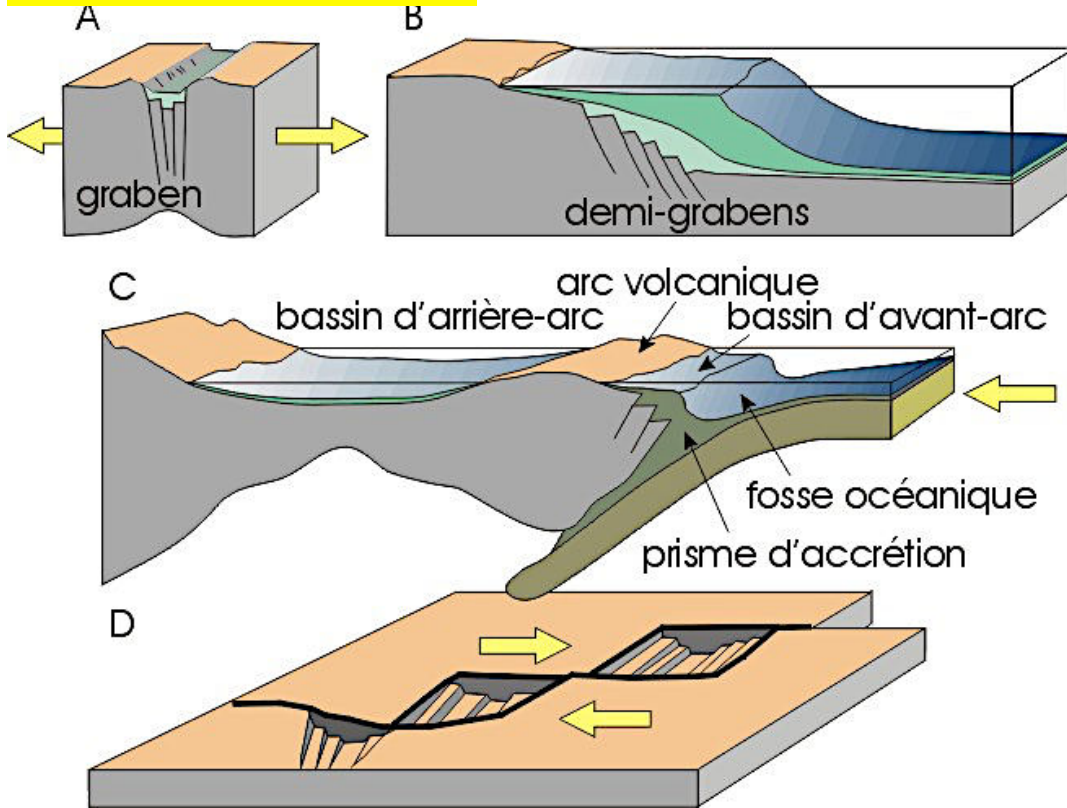


Un exemple de suivi de bassin



Bassins tectoniques

BILAN



+ Bassins atectoniques

Divergence

Rift (A) et marge passive (B)

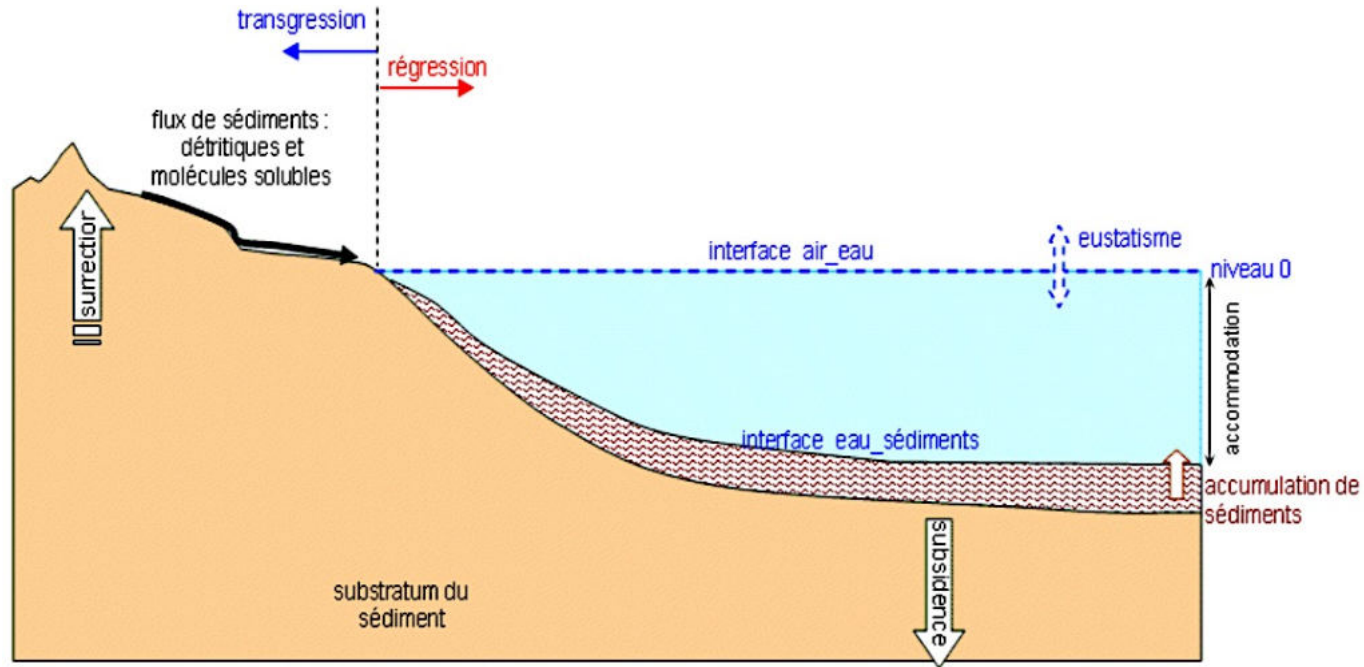
Convergence

- subduction (C) avec prisme d'accrétion et bassin d'arrière arc...
- collision : bassin d'avant-chaîne à cause de la flexure de la plaque lors de la collision, effondrement gravitaire...

Couissage

faille transformante (décrochement) et pull-apart (mer Morte) (D)

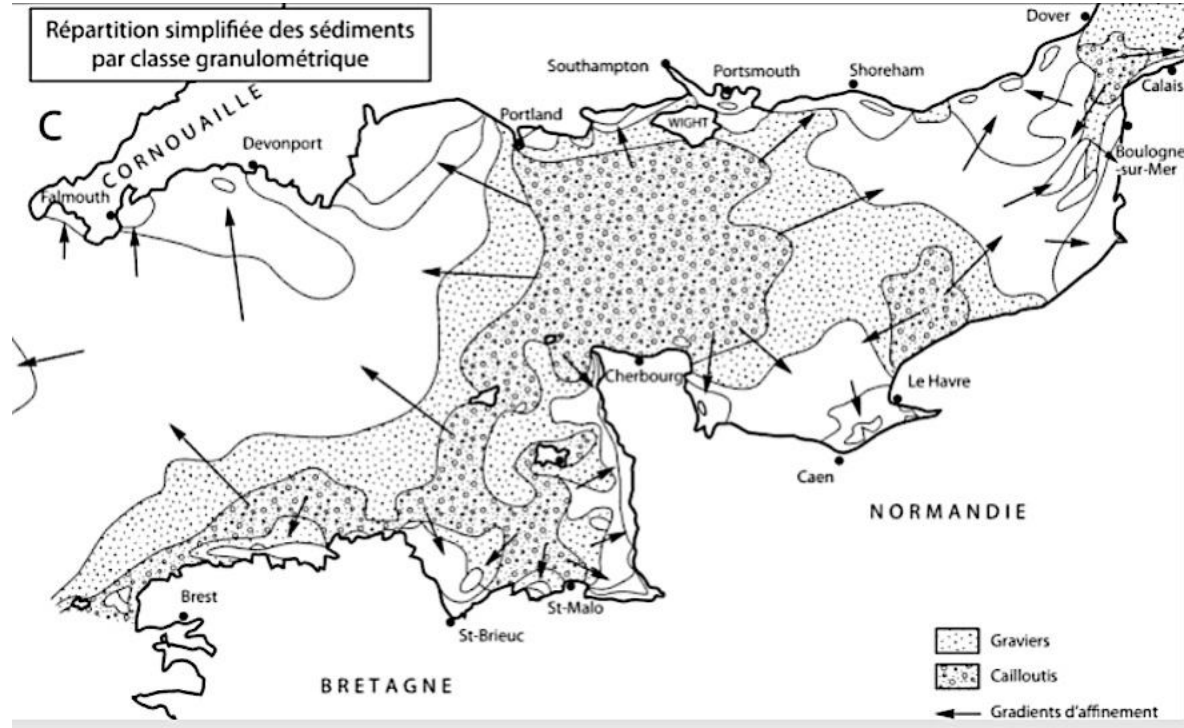
L'espace d'accommodation



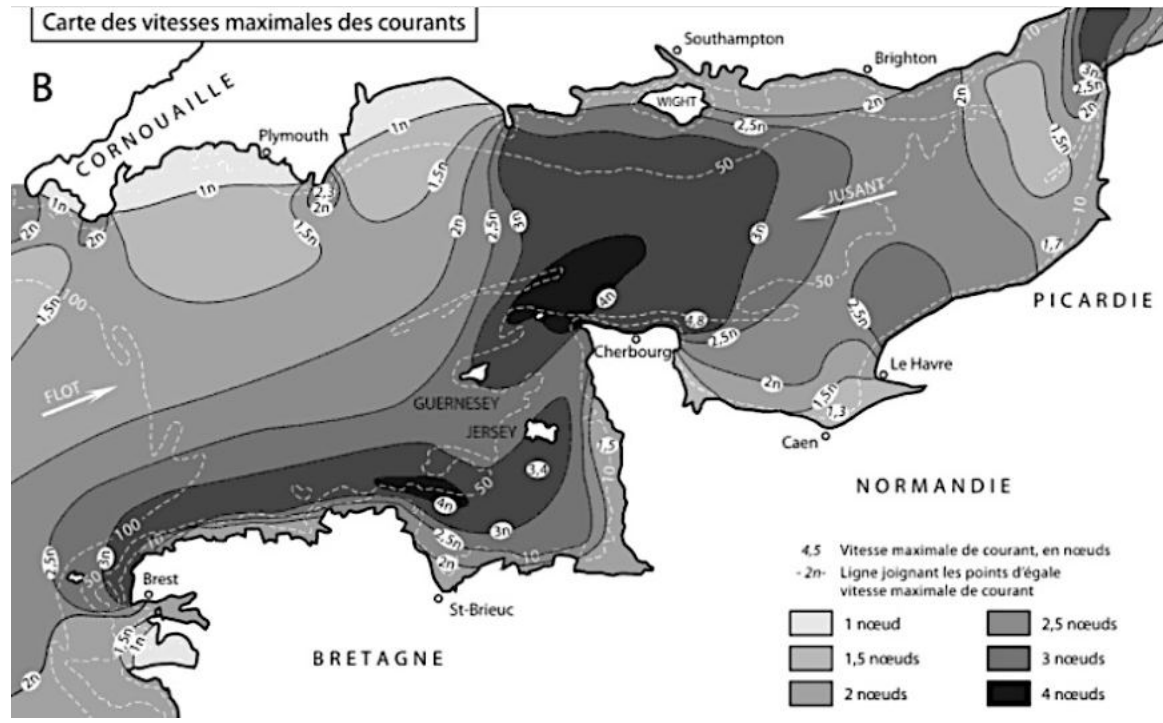
2. Les bassins sédimentaires, des zones de dépôt

2.1. Les dépôts de particules sont liés à l'hydrodynamisme

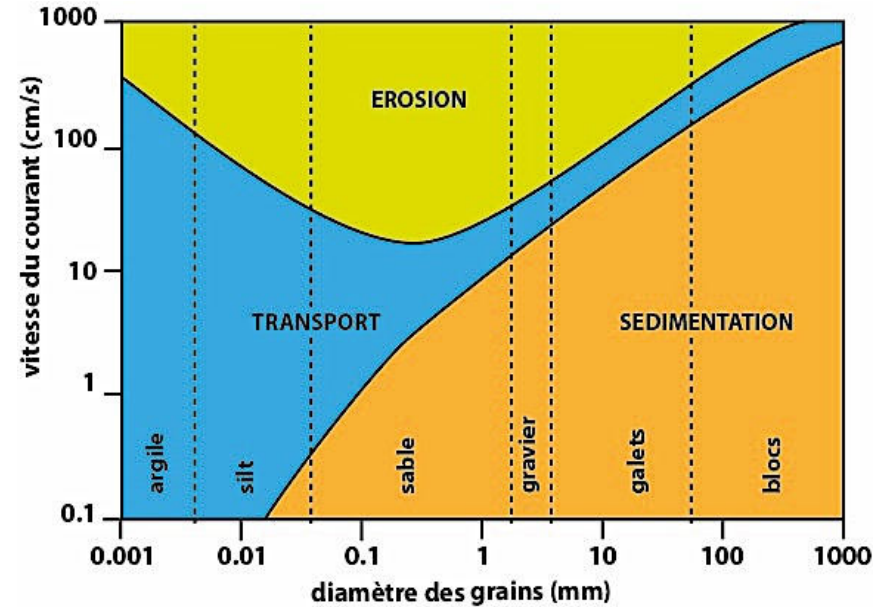
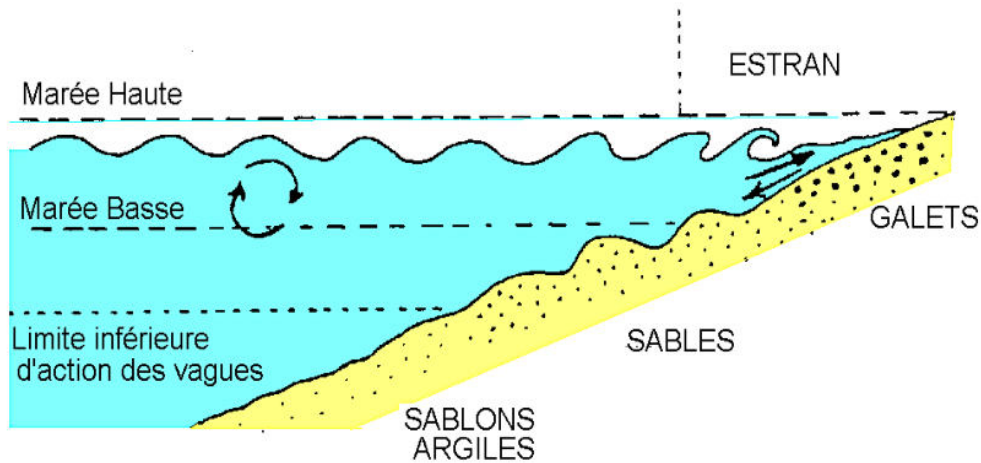
Les dépôts dans la Manche



Les dépôts dans la Manche



Dépôts du littoral : le granoclassement



2. Les bassins sédimentaires, des zones de dépôt

2.1. Les régimes hydrodynamiques et les figures sédimentaires du littoral

Des rides de toutes sortes

Baie de Somme



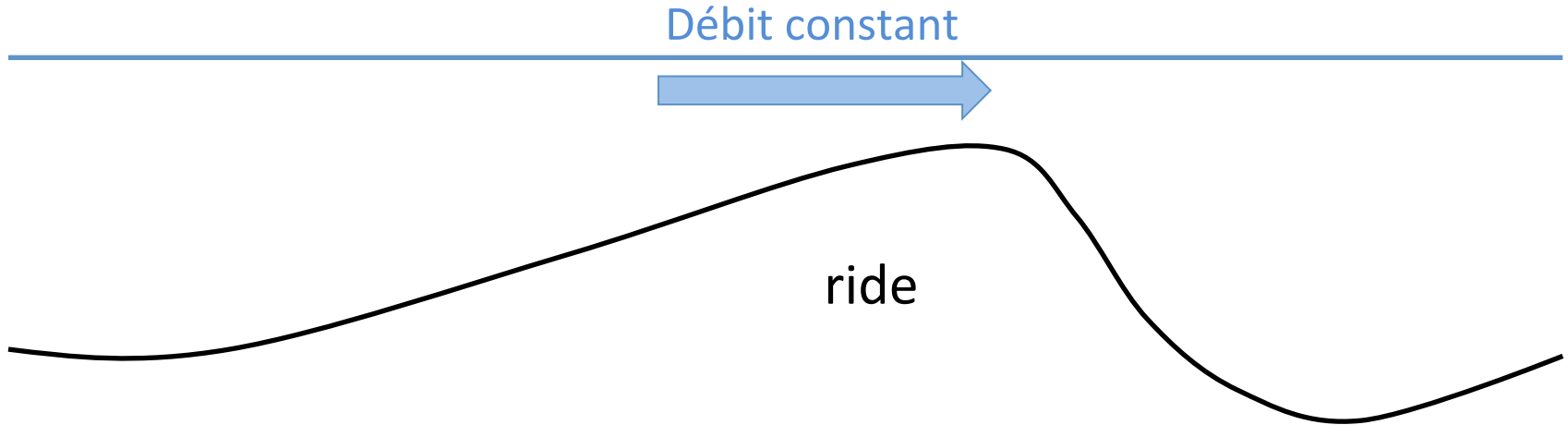
mégarides

rides

© C. Escuyer

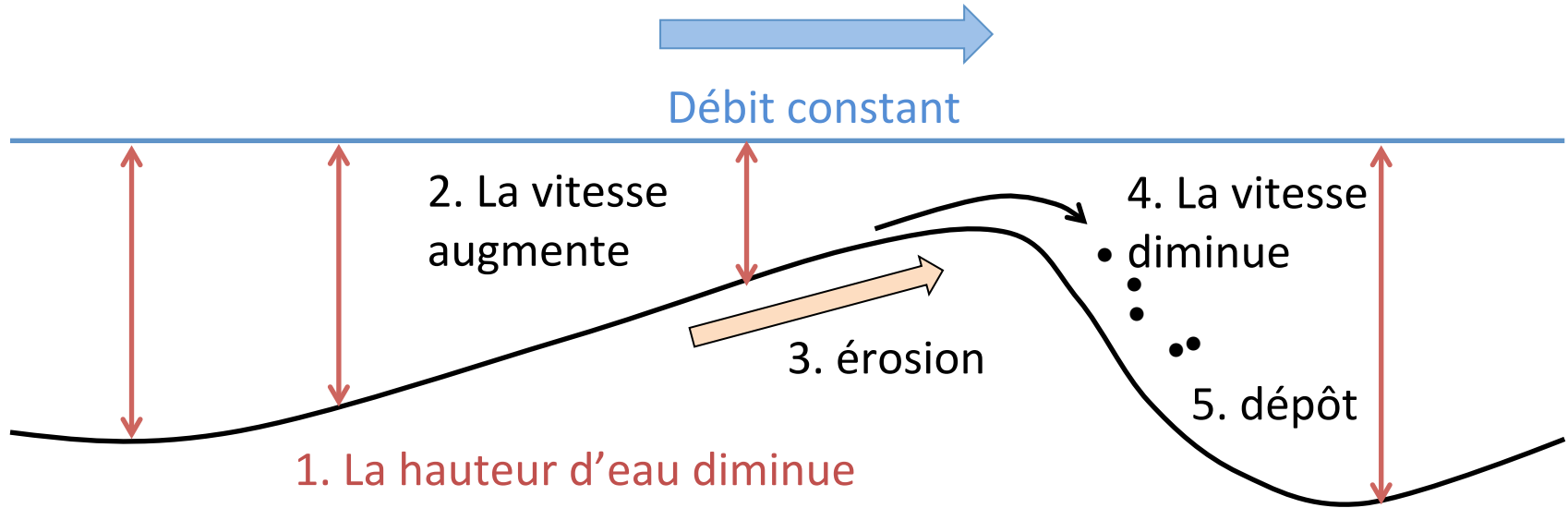


Formation d'une ride de courant



Utiliser le diagramme de Hjülström pour expliquer l'évolution de cette ride

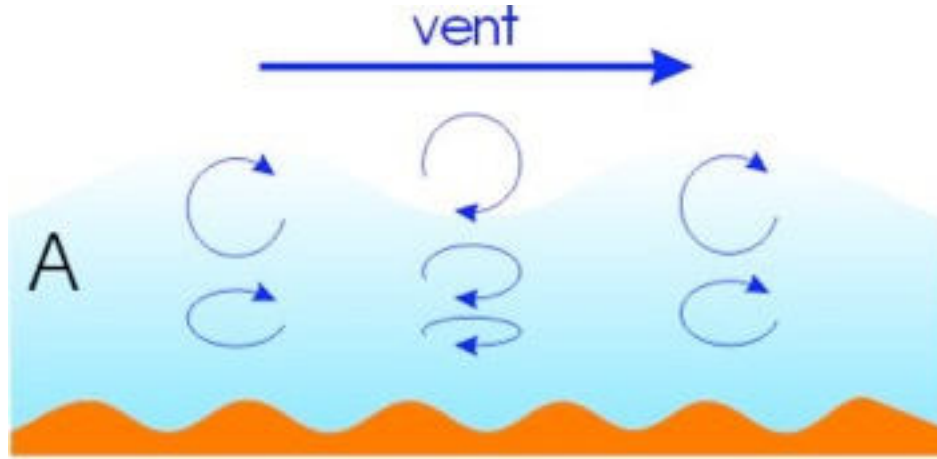
Formation d'une ride de courant



Forme dissymétrique

Rides de courant et rides de houle

Ride de houle
Symétrie



Ride de courant
Dissymétrie

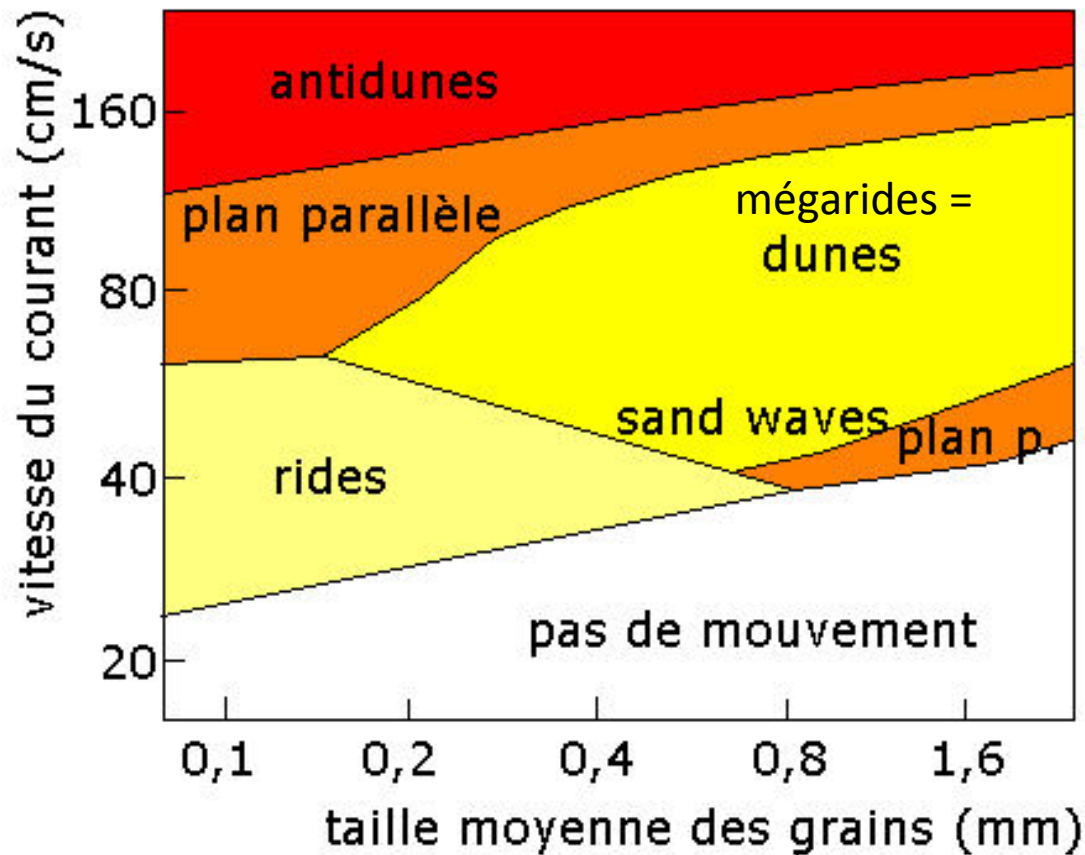


Des rides fossiles près de Rouffach

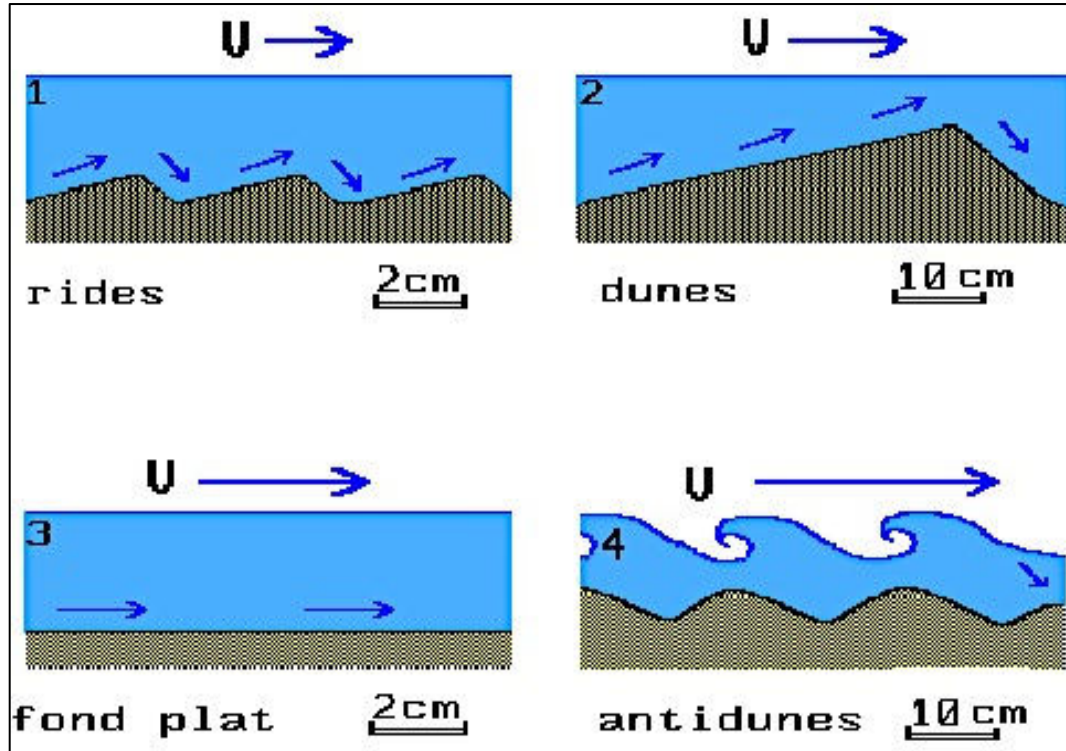


Quel type ?

Diagramme de Allen



Figures de Allen



Antidunes et mégarides (= dunes)



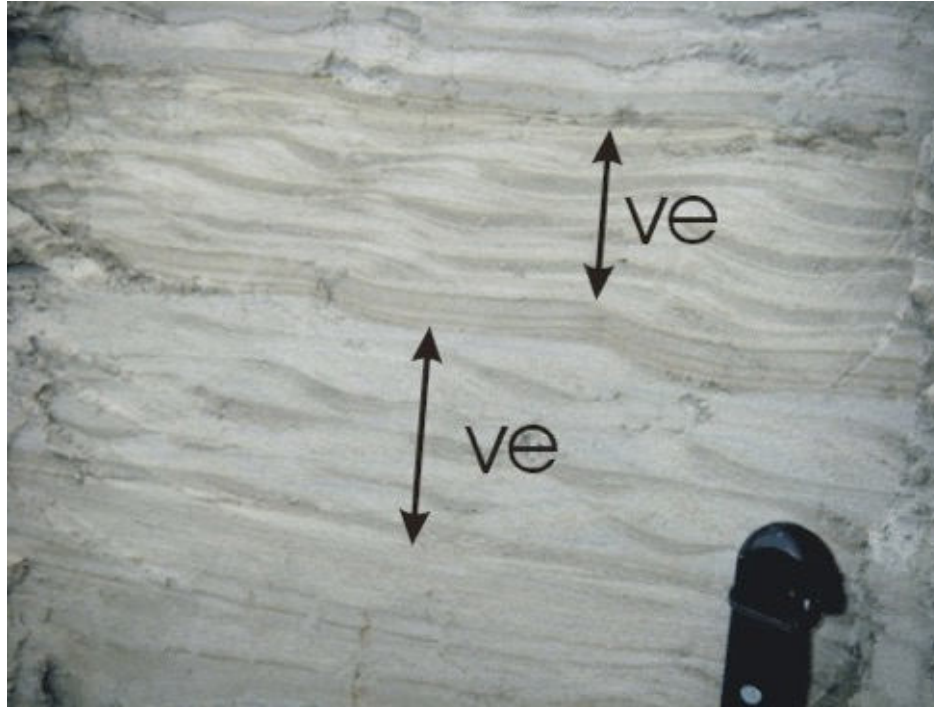
Formation d'antidunes en cas de fort courant (forme inversée)



Mégarides

rides

Litage horizontal actuel



Laminations engendrées par les allers et venues des vagues pendant les marées de vives-eaux. Chaque alternance claire (= sable) / sombre (= silt) représente une marée. Baie du Mont Saint-Michel.

Litage horizontal actuel et passé



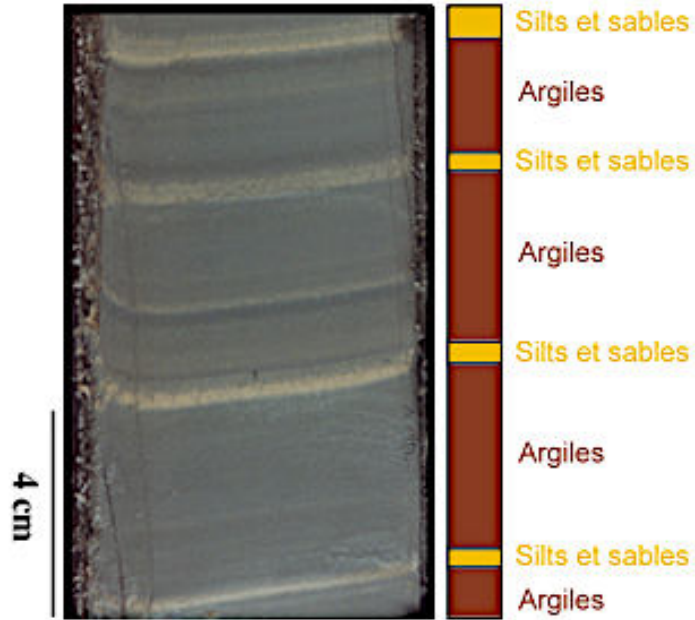
Les lits plus sombres sont argileux.
Les lits clairs sont formés de sable.

Source : <http://www.geolsed.ulg.ac.be>



Grès bigarré de la lithothèque de l'ENS Lyon

Les varves



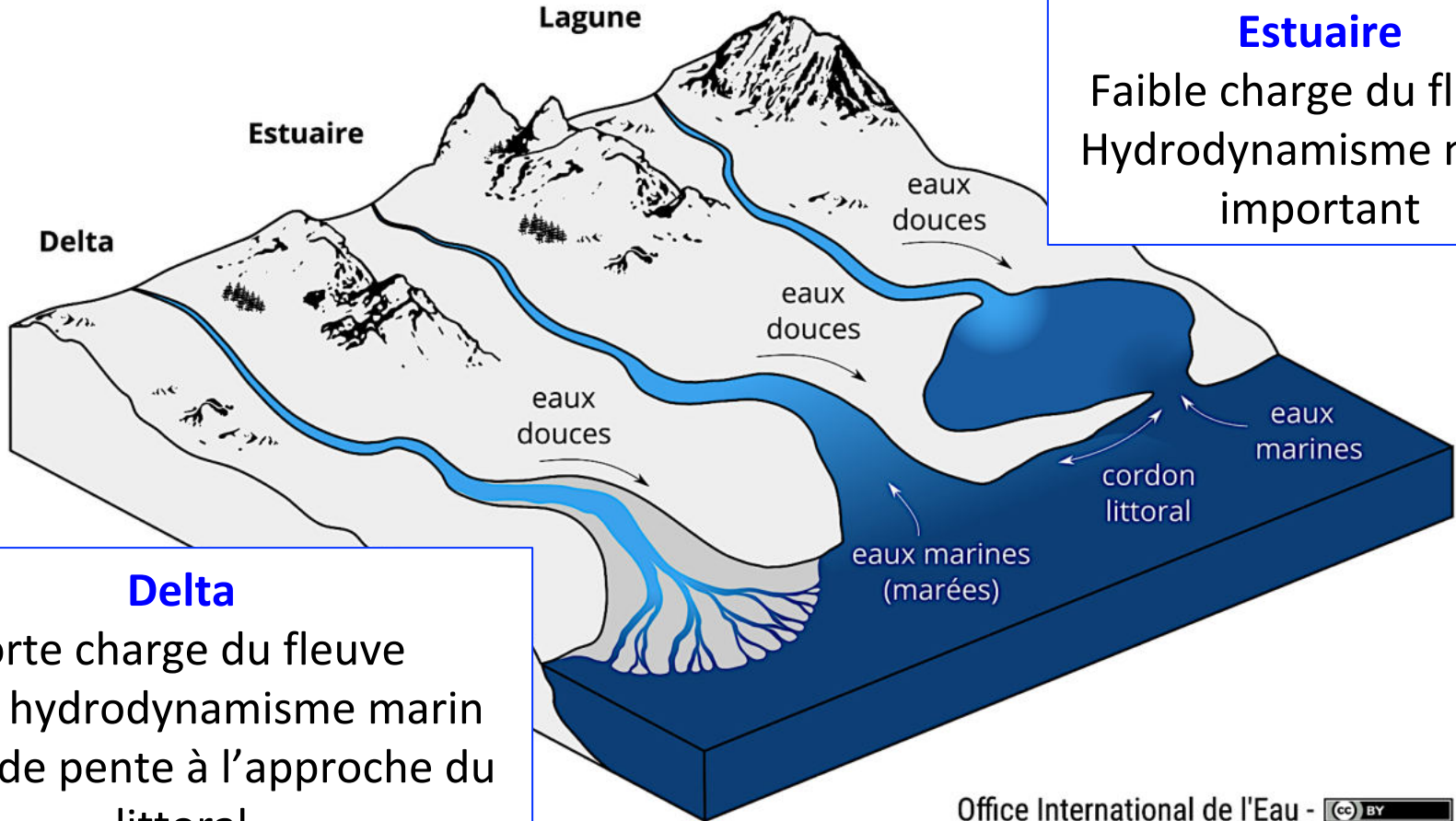
Alternance de varves
 Varves issues d'une carotte
 sédimentaire prélevée dans le lac
 d'Annecy



2. Les bassins sédimentaires, des zones de dépôt

2.3. Diversité des milieux de dépôts marins détritiques

Estuaire, delta, lagune



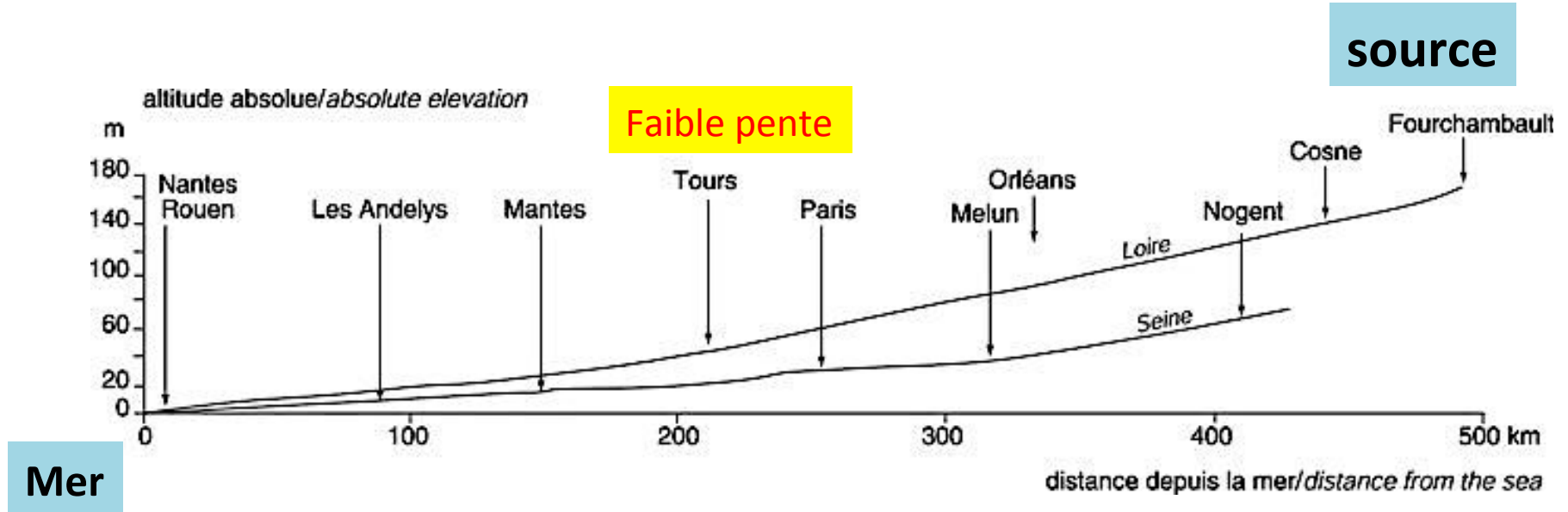
Estuaire

Faible charge du fleuve
Hydrodynamisme marin
important

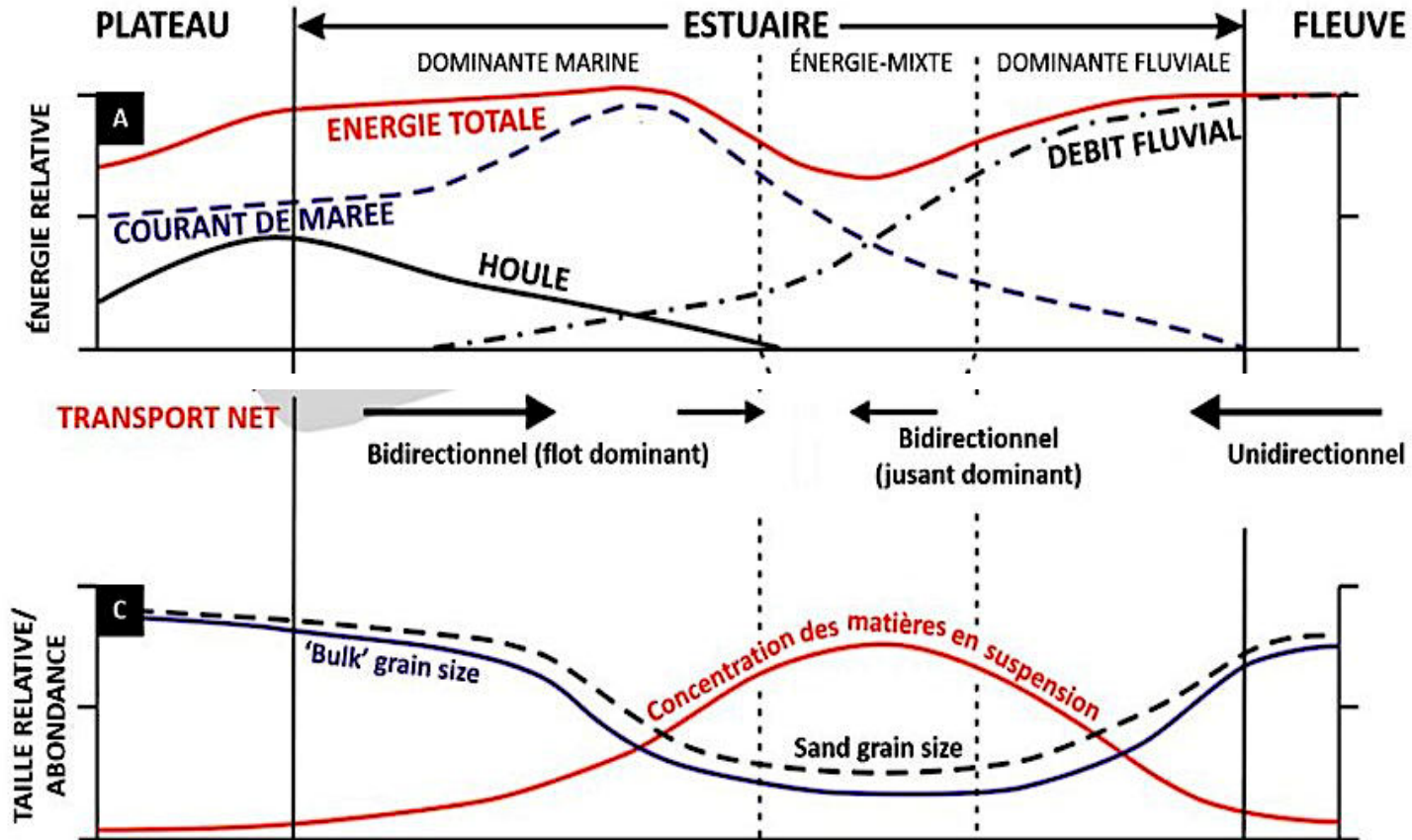
Delta

Forte charge du fleuve
Faible hydrodynamisme marin
Chute de pente à l'approche du
littoral

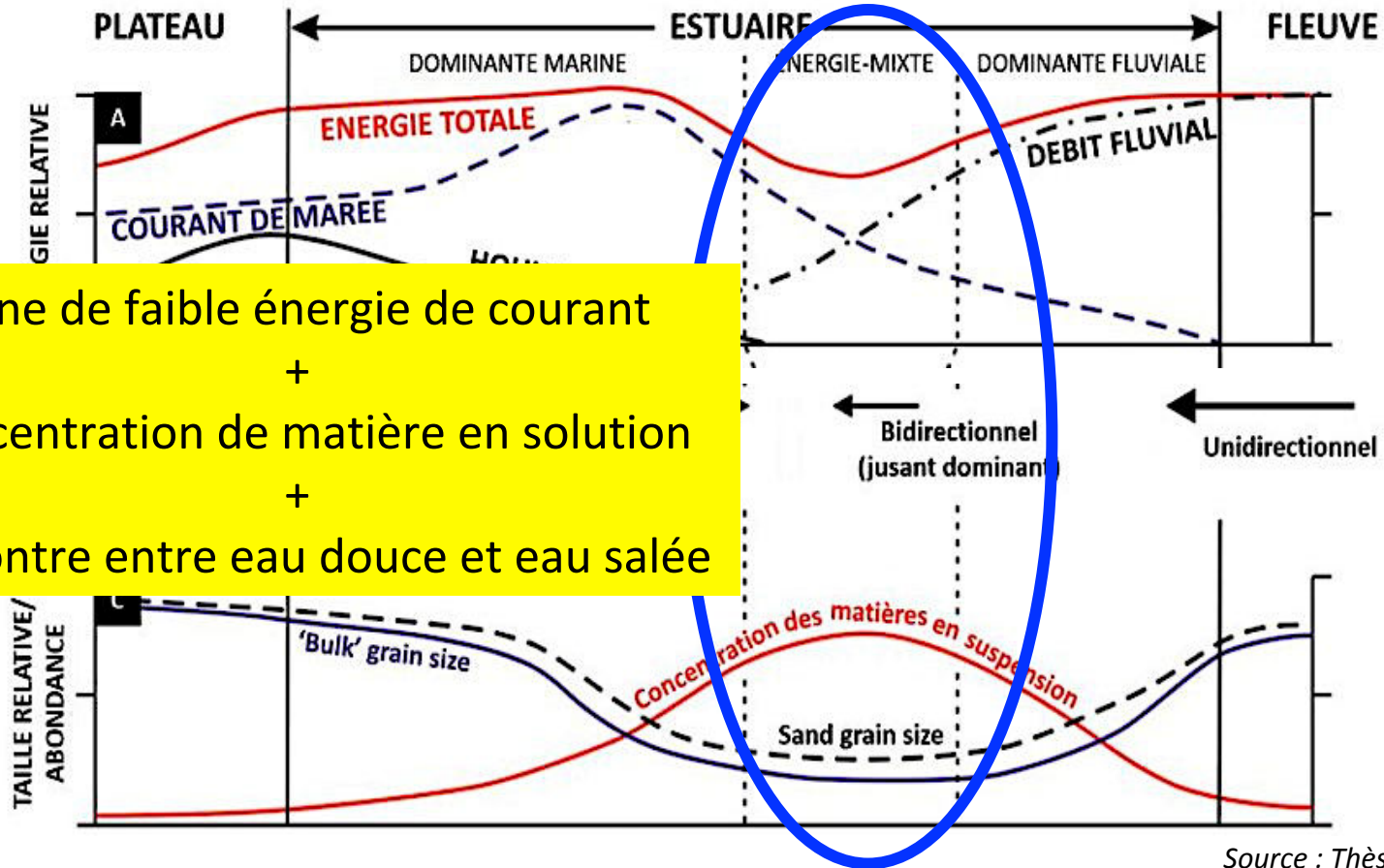
Le profil d'altitude de la Seine et de la Loire



La floculation en estuaire



La floculation en estuaire



océan

continent

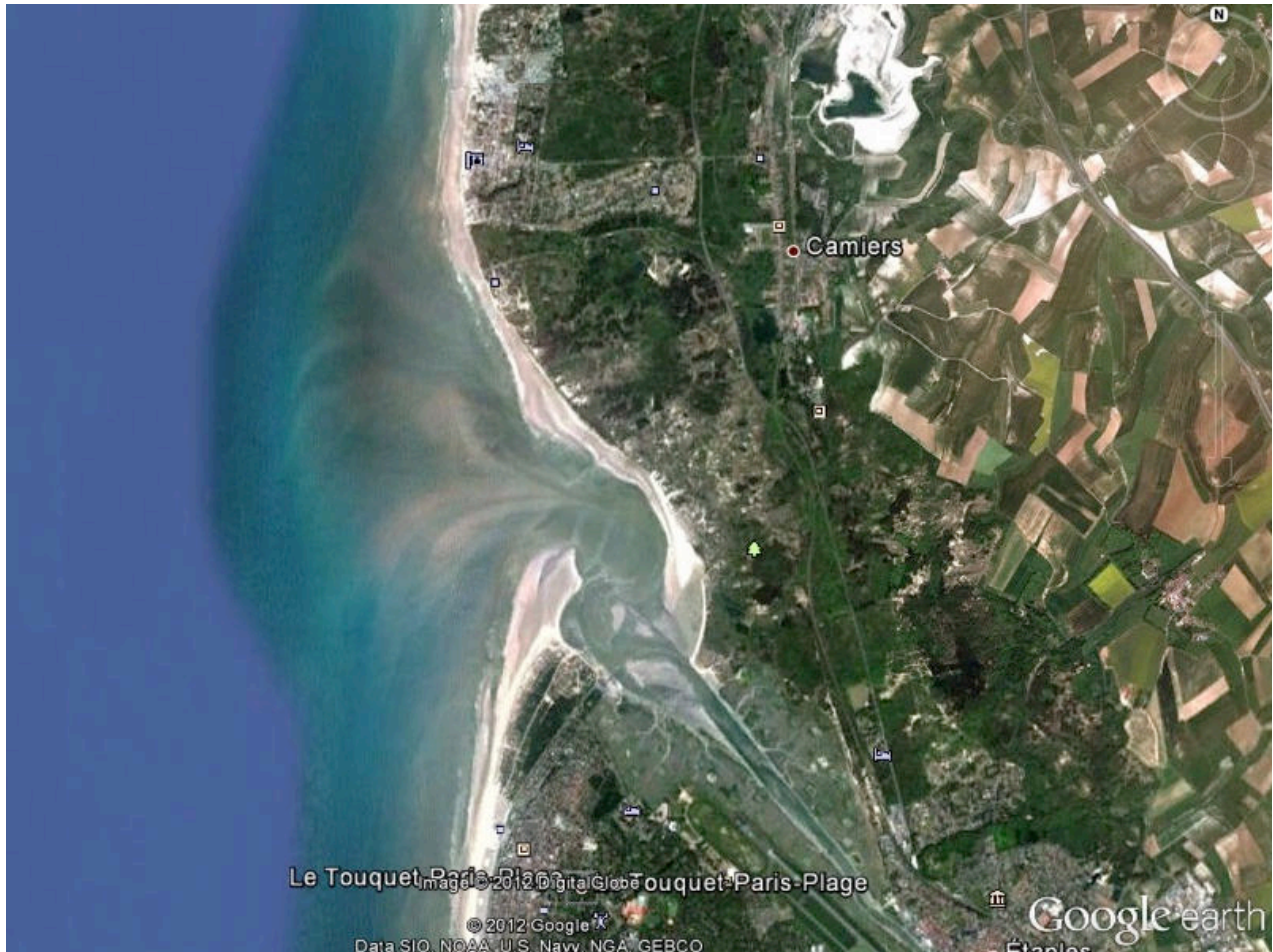
Zone de faible énergie de courant
 +
 Concentration de matière en solution
 +
 rencontre entre eau douce et eau salée

L'estuaire de la Canche

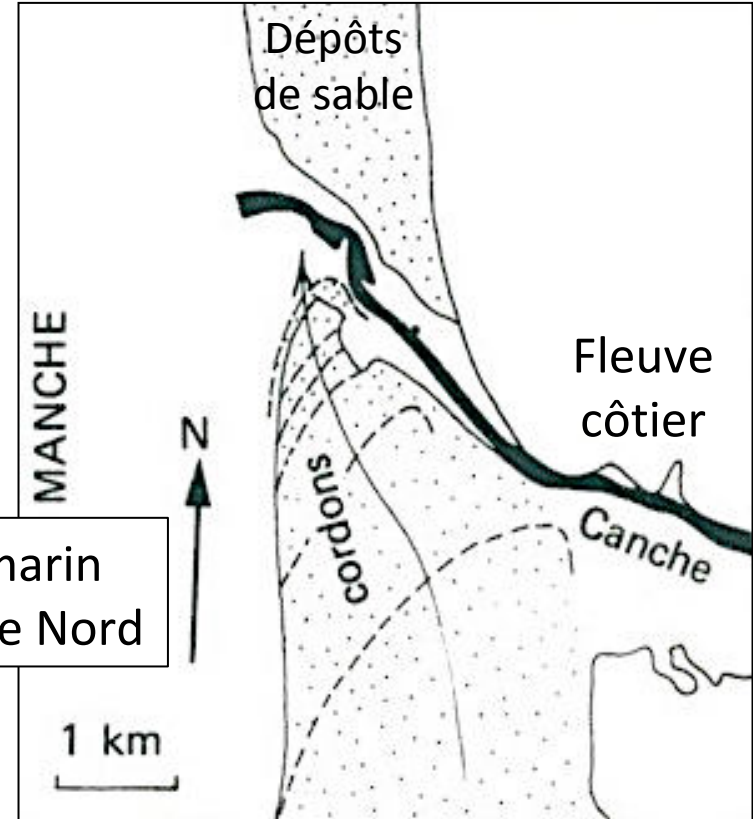


Source : Google Earth

L'estuaire de la Canche



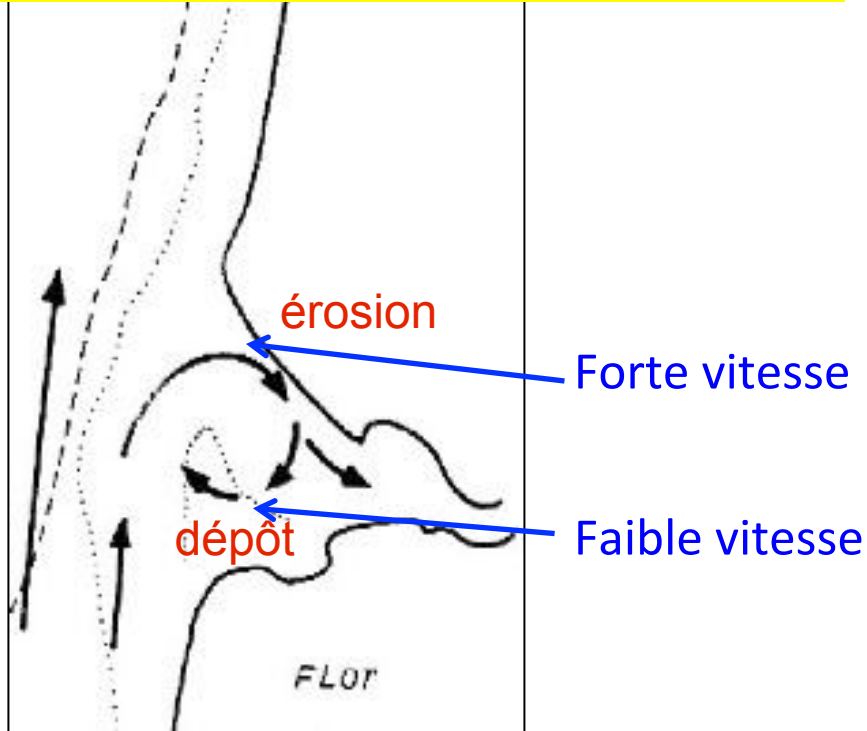
Un estuaire dissymétrique



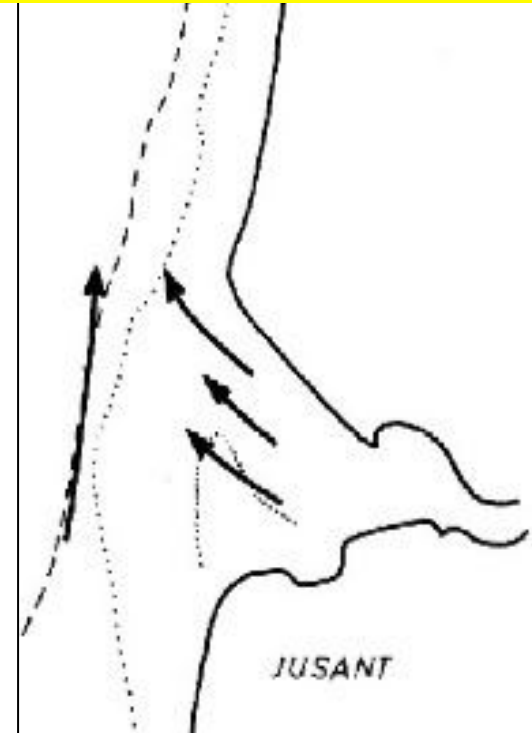
Courant marin dirigé vers le Nord

Évolution des courants selon la marée

marée montante : la mer pénètre dans l'estuaire en inversant le sens du courant.

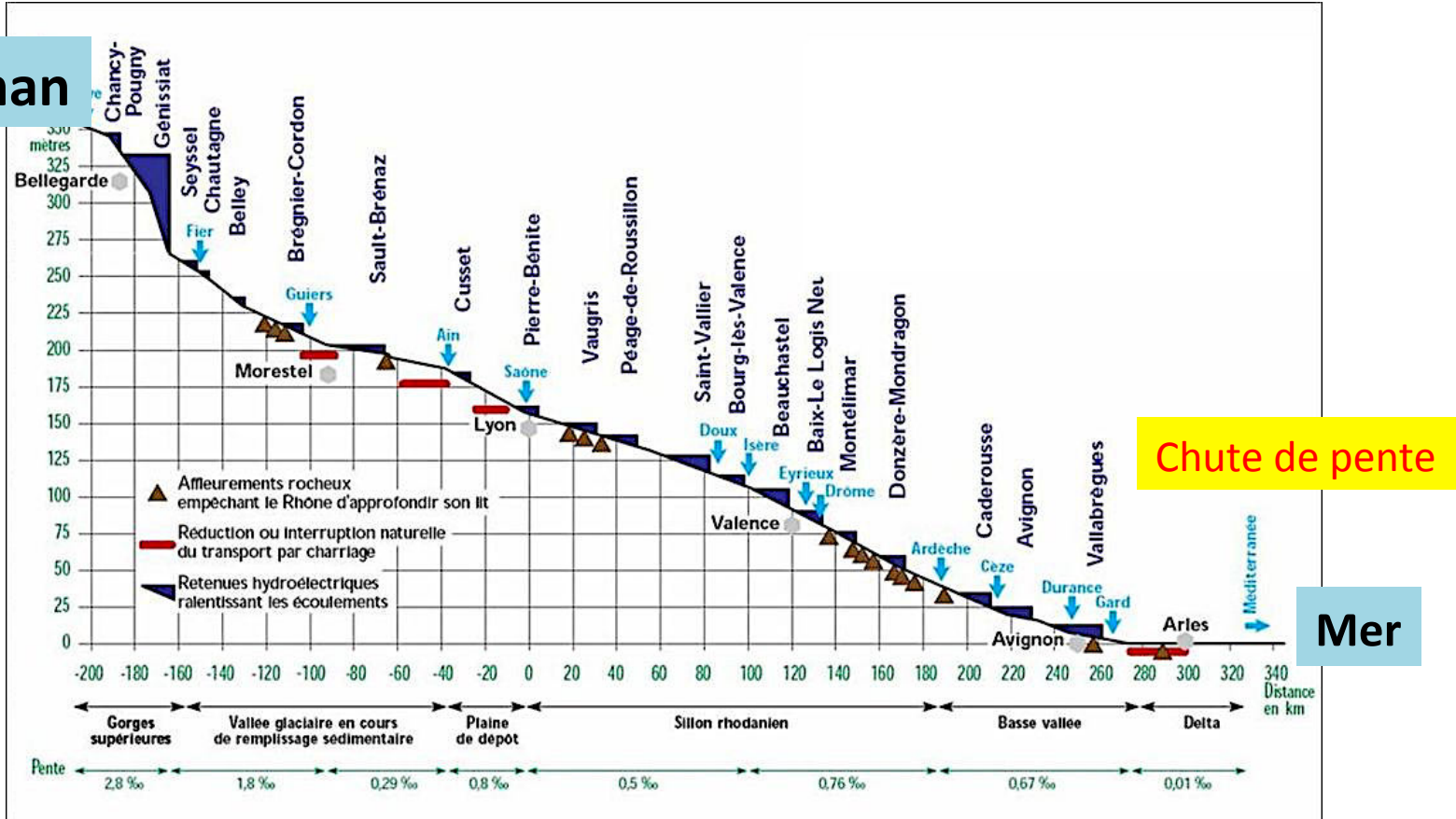


marée descendante : l'estuaire se vide et la Canche s'écoule.

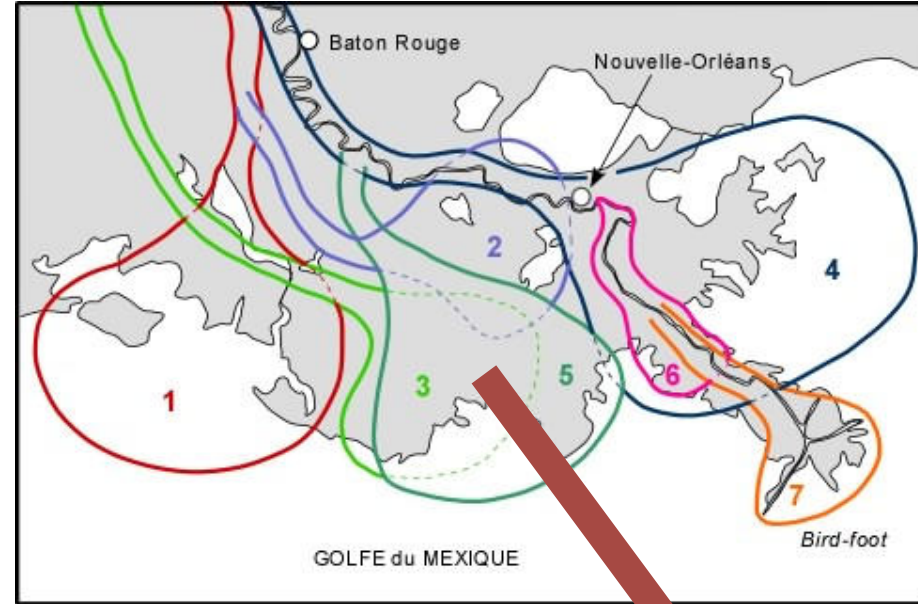
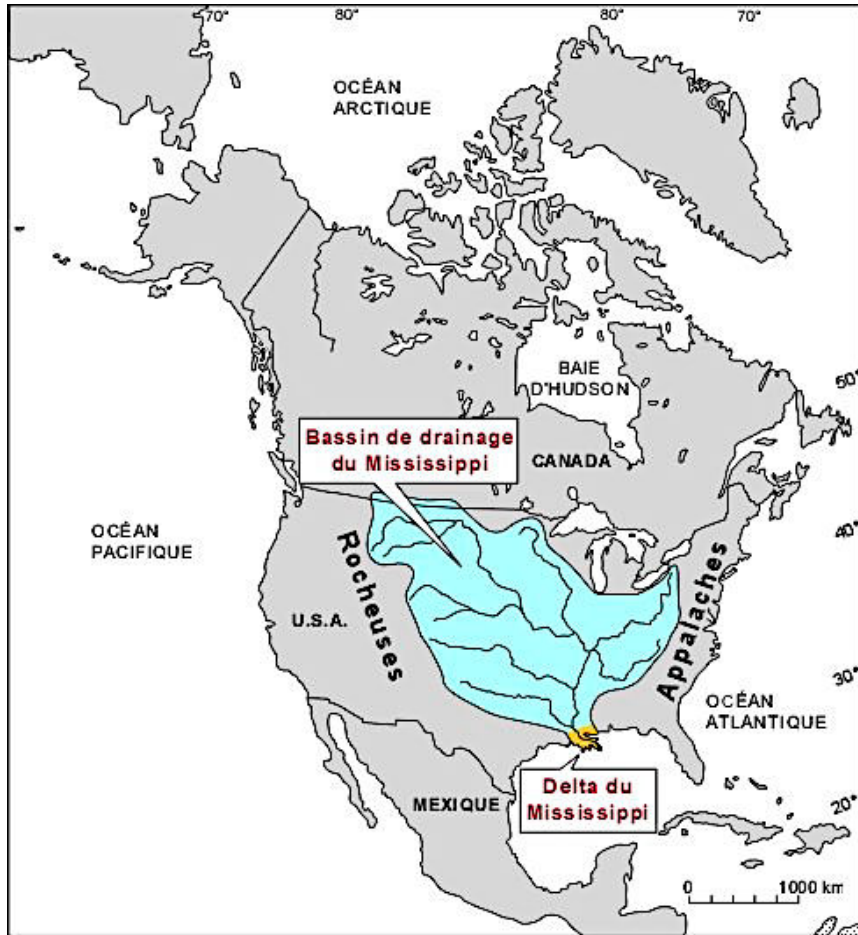


Le profil d'altitude du Rhône

Lac Léman

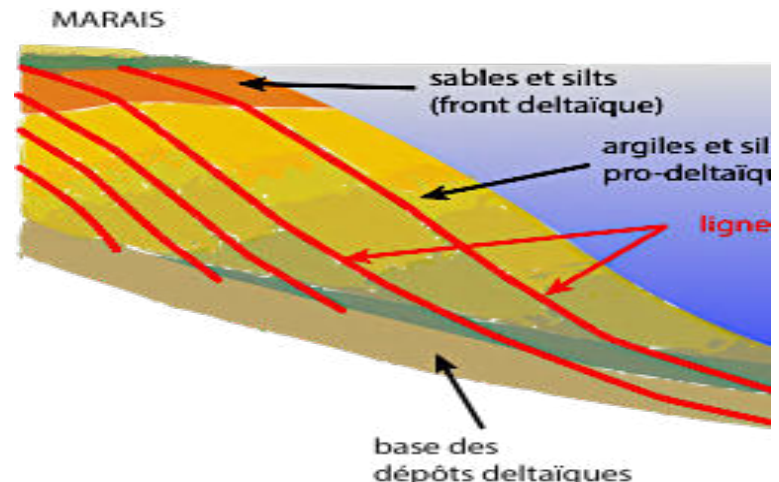
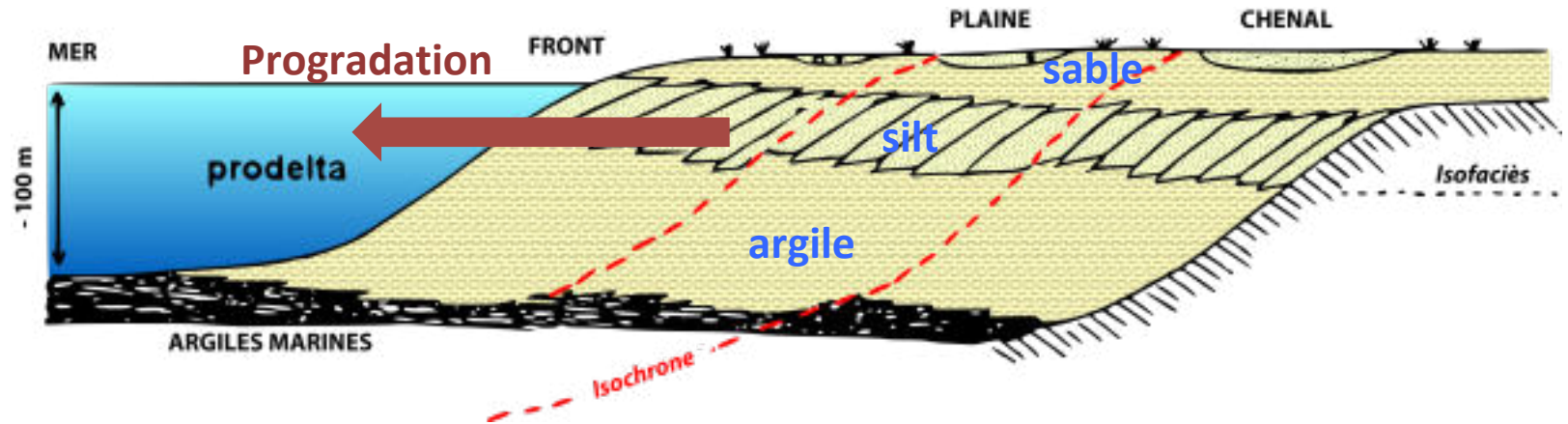


Le delta du Mississippi



Progradation

Un delta progresse vers le large



3. La sédimentation des solutés

3.1. La sédimentation carbonatée

Origine des ions Ca^{2+} et HCO_3^-

Les continents abritent des minéraux silicatés contenant du calcium : plagioclase et amphibole. **De façon simplifiée**, on les écrit : CaSiO_3

emportés par les eaux



Attention : bilan à manier «avec des pincettes» car toutes les réactions ne se passent pas au même endroit

Facteurs favorisant la précipitation

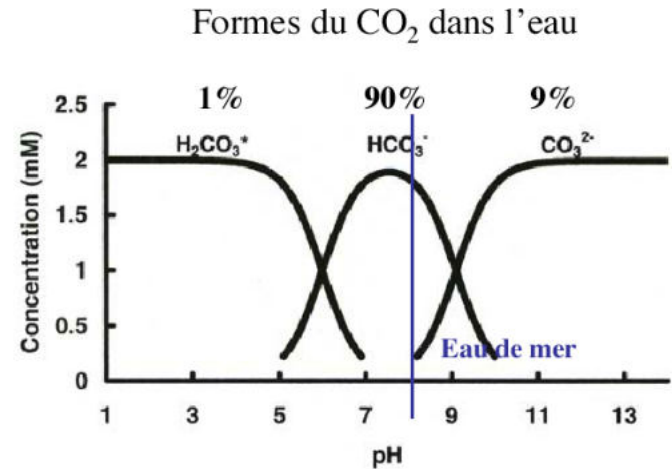


Hausse de température => CO₂ dégazé

Hausse de salinité

Consommation de CO₂

pH compris entre 6,5 et 9



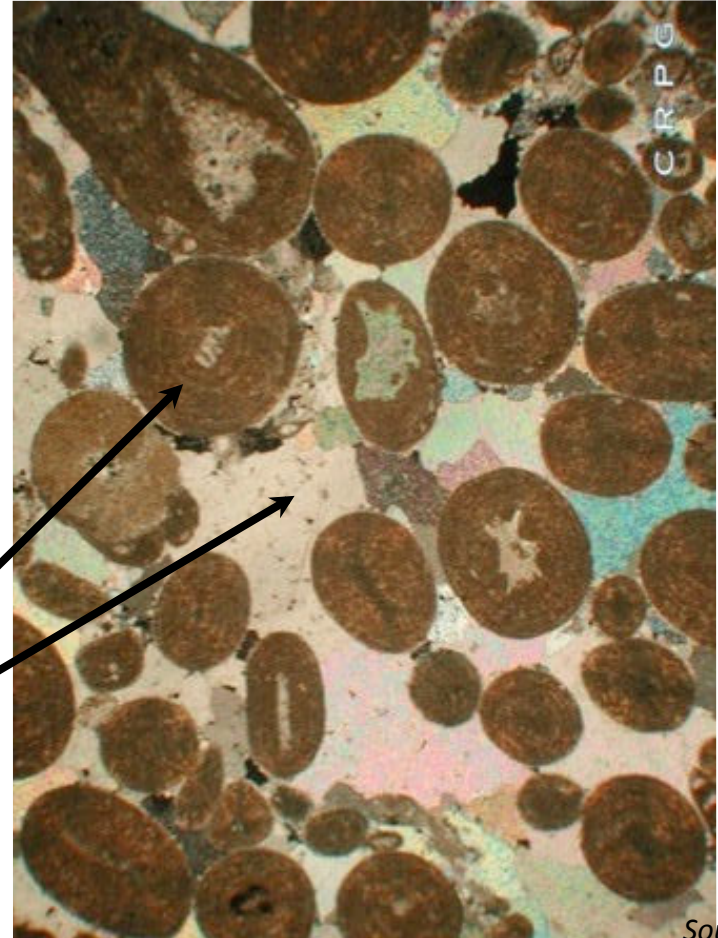
HCO₃⁻ est l'espèce majoritaire dans l'océan, mais les équilibres chimiques lient étroitement la concentration des trois espèces.

Le calcaire oolithique



couches concentriques de calcaire

ciment de calcite



La grande barrière de corail



Date : 26 août 2000

Source : MISR / Terra

Cette image montre une petite partie de la grande barrière de corail qui s'étend sur 2000 km au large des côtes du nord-est de l'Australie.

Les récifs coralliens (chaîne de taches bleu clair orientées NO-SE) se trouvent à peu près à 200 kilomètres des côtes (ici le Queensland).

Les différences de niveaux de bleu révèlent des différences de profondeurs ou des variations dans la turbidité des eaux océaniques.

Des animaux Cnidaires

Les récifs sont le royaume des Cnidaires, embranchement présentant deux formes de vie : fixée (polype) ou libre (méduse). Leur corps a une symétrie radiale et est formé de deux couches de cellules jointes par la mésoglée. Leur cavité digestive a un seul orifice entouré de tentacules et est confondue avec la cavité générale du corps. Ces animaux possèdent des cellules urticantes.

Hydrozoaires : à stade polype et méduse. Ex : Obelia

Anthozoaires (= animal-fleur) : seulement stade polype formant des colonies charnues.

8 tentacules : - gorgones, colonies flexibles à squelette calcaire liées aux rochers
- coraux (madréporaires), colonies à axe squelettique calcaire

6 tentacules - anémones, sans squelette calcaire

Scyphozoaires = méduses

Les formations récifales



gorgone



corail rouge

Les stromatolithes



calcite

restes de
Cyanobactérie

1 mm



Stromatolithe fossile montrant un grand nombre de lamines de 0,5 mm d'épaisseur

Les stromatolithes sont formés par une multitude de couches (= lamines) de Cyanobactéries recouvertes de couches calcaires. La photosynthèse des algues bleues en bio-film induit la cristallisation de calcite en surface qui isole les bactéries. Elles meurent et un nouveau bio-film se développe plus en surface...

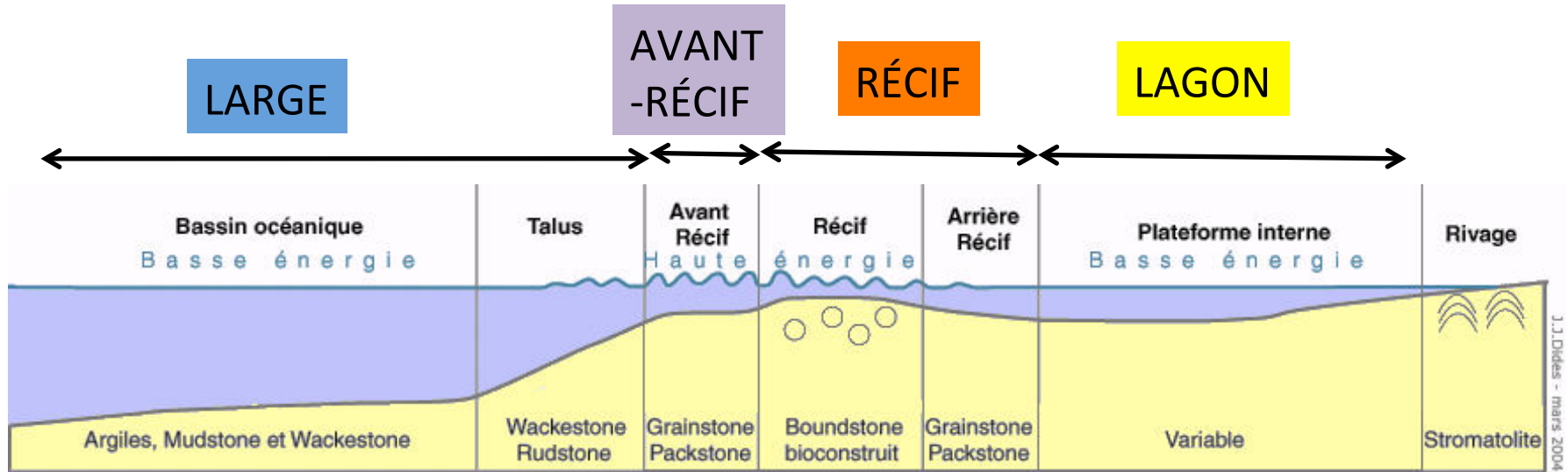
La classification de Dunham

constituants liés lors du dépôt			boundstone	récifs	
constituants non liés lors du dépôt	moins de 10% des particules ont un diamètre > 2 mm	absence de boue carbonatée		grainstone	+ granuleux
		présence de boue carbonatée	grains jointifs, > 10 % de grains	packstone	
			grains non jointifs, > 10 % de grains	wackestone	
			grains non jointifs, < 10 % de grains	mudstone	
	plus de 10% des particules ont un diamètre > 2 mm	grains jointifs		rudstone	+ lisse
		grains non jointifs		floodstone	

↓

calcaires grossiers

Les calcaires d'une plate-forme carbonatée



Quelques roches

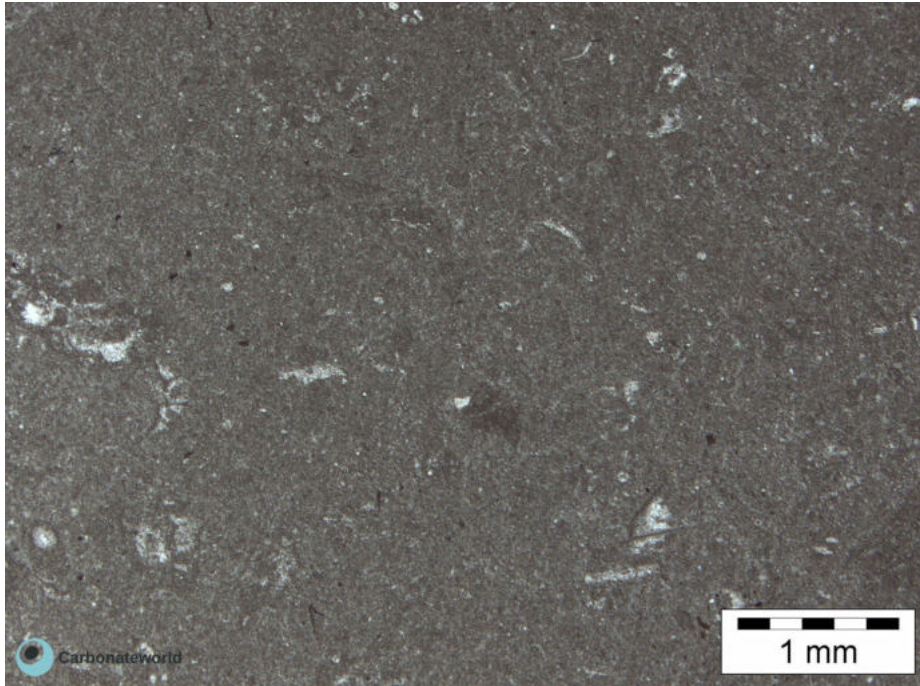


Boundstone

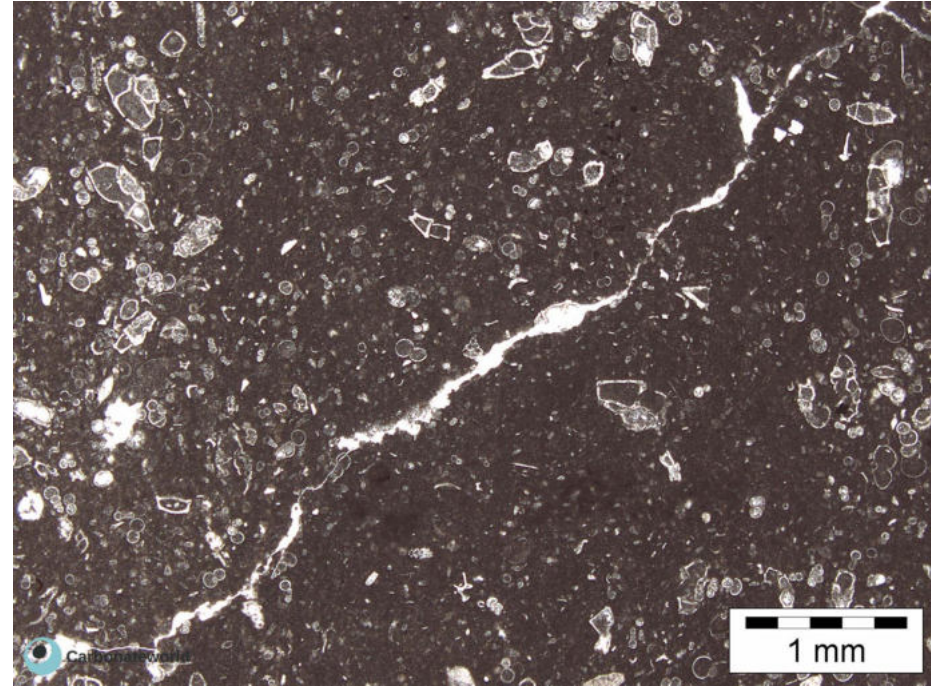


Grainstone

Quelques roches

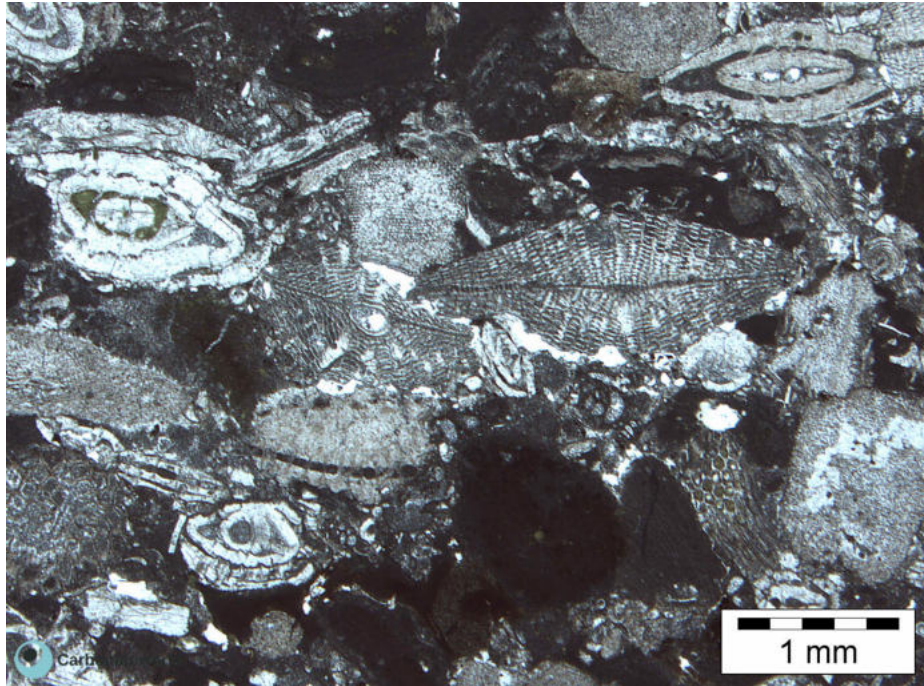


Mudstone

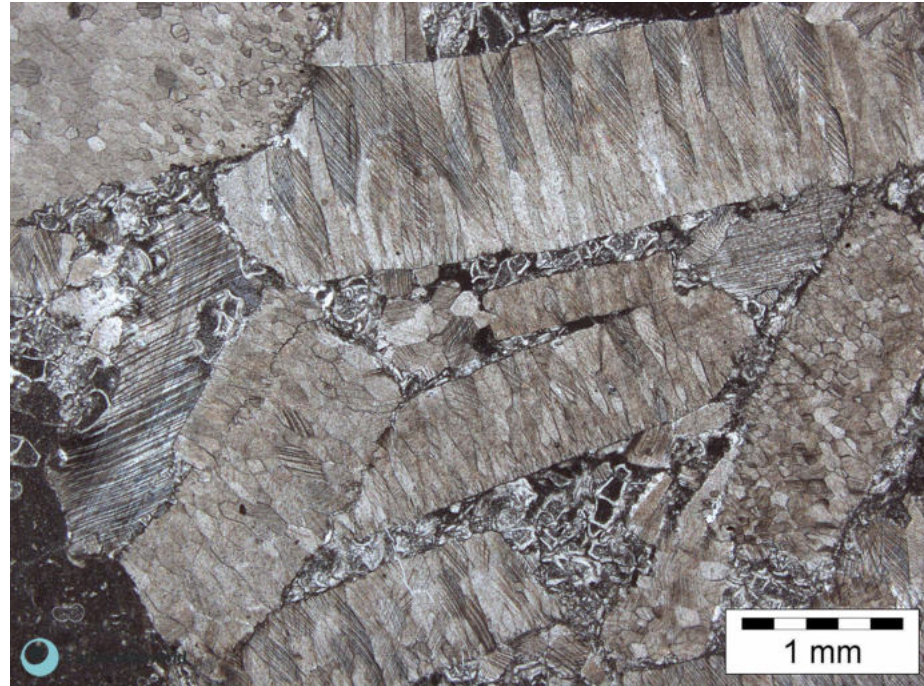


Wackestone

Quelques roches

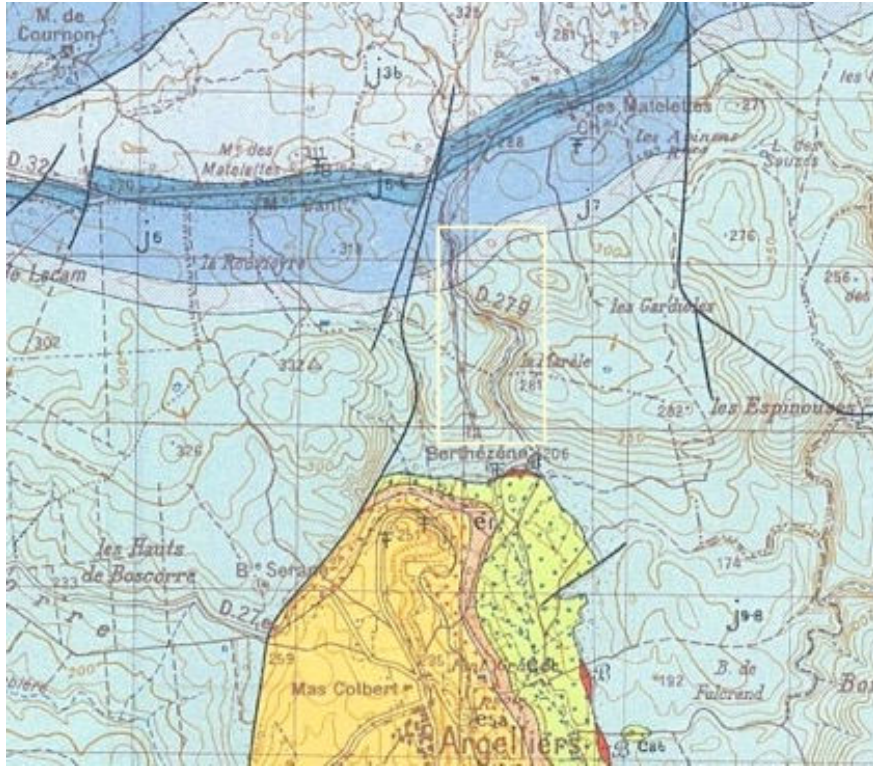


Packstone



Rudstone

Étude de la région de Montpellier



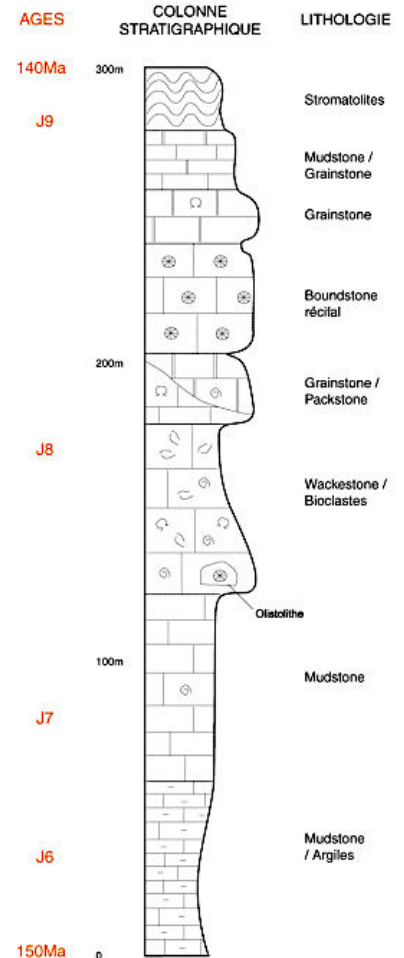
Extrait de la carte géologique 1/50 000 de Montpellier - B.R.G.M.

stromatolithes
 mudstone-grainstone
 grainstone

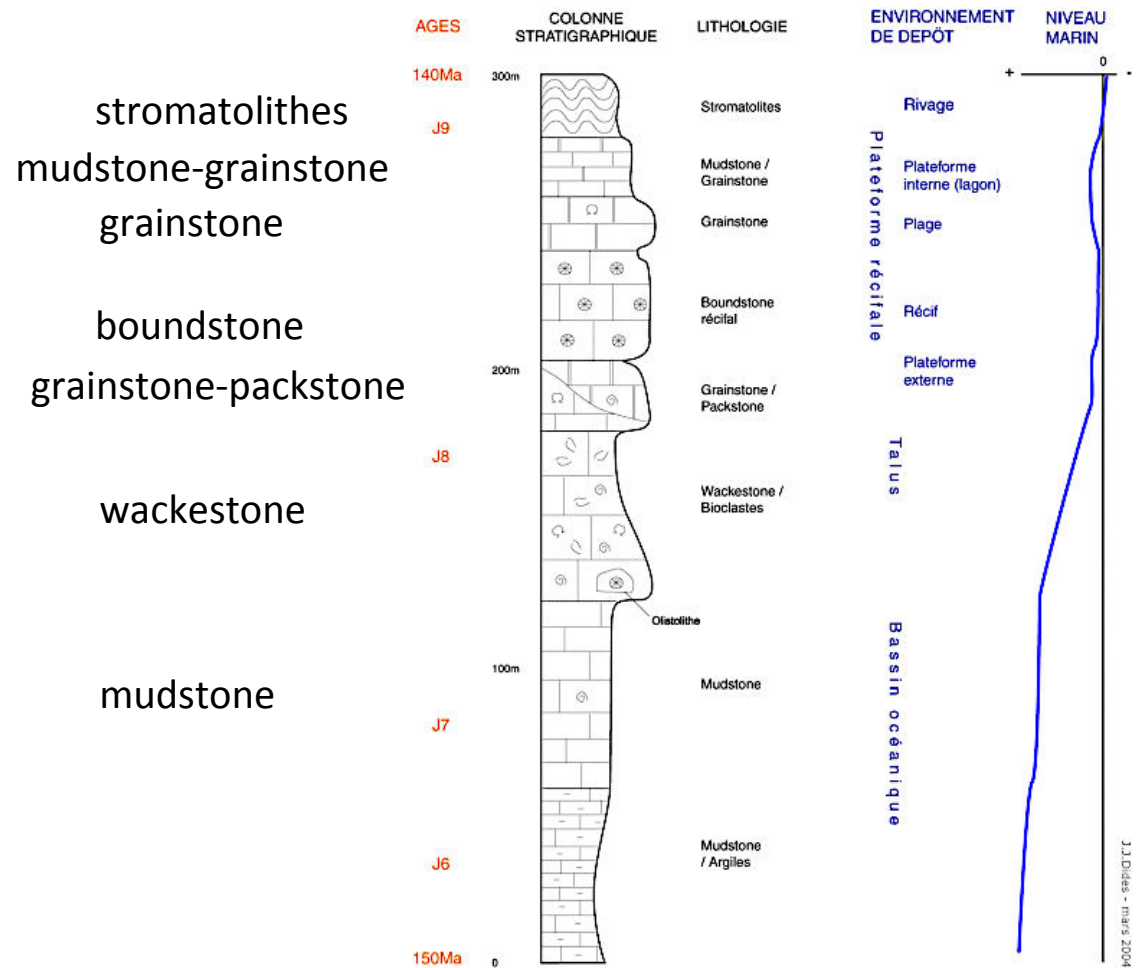
 boundstone
 grainstone-packstone

 wackestone

 mudstone



Étude de la région de Montpellier

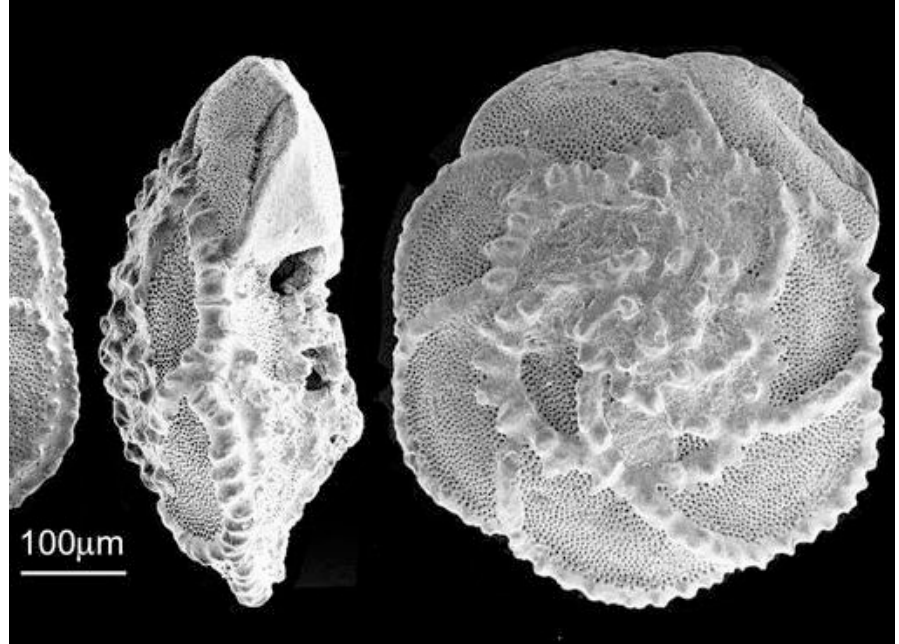


stromatolithes
mudstone-grainstone
grainstone
boundstone
grainstone-packstone
wackestone
mudstone

La fixation pélagique de carbonate



Globigérine (250 μm de diamètre)



Globotruncana

Foraminifère = protiste ayant un test composé de plusieurs chambres, fait de calcite.

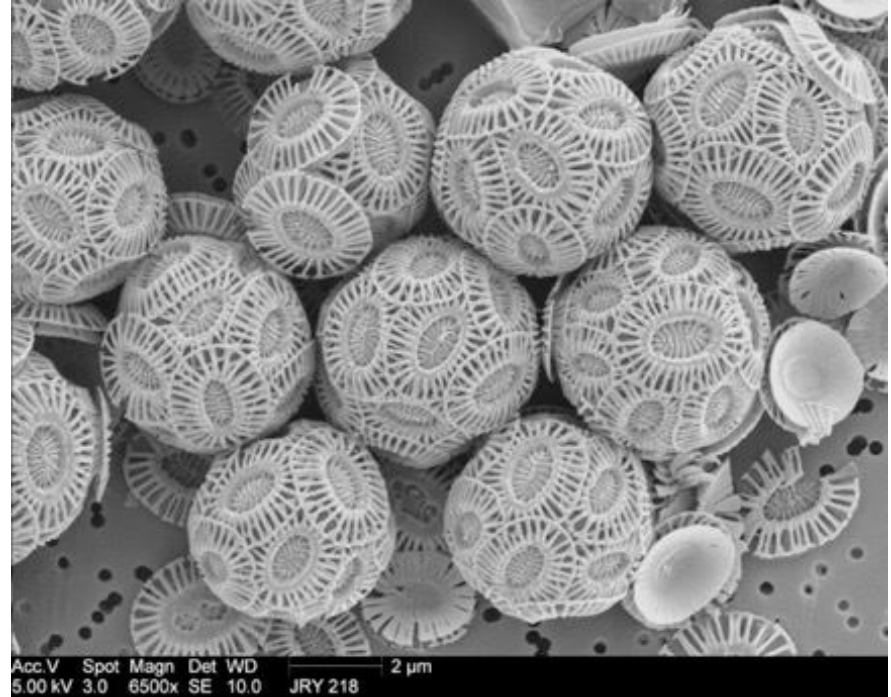
L'animal fait entre 50 μm et 1 mm. Grande diversité : miliolles, nummulites, globigérines...

La fixation pélagique de carbonate



Ptéropode

Mollusque gastéropode nageur
d'environ 1 mm

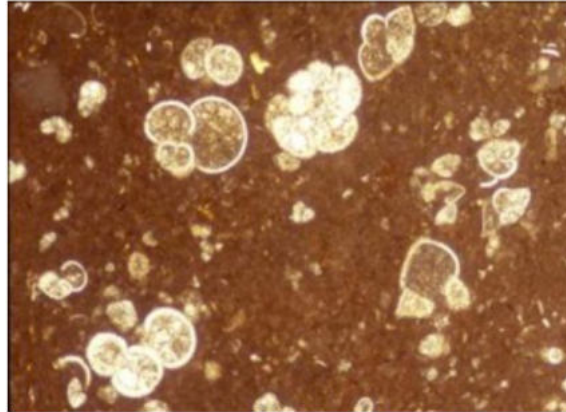


Tests de Coccolithophoridés : algues vertes unicellulaires à test calcaire formé de petits disques (= coccolithes) : forme la craie

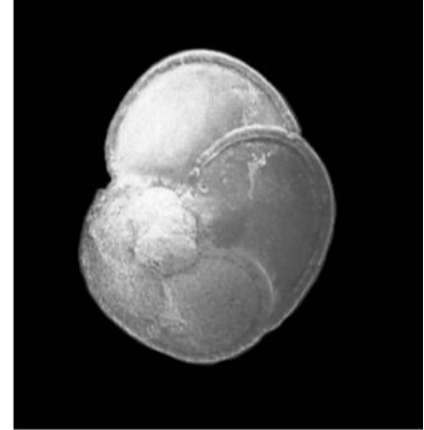
Quelques microfossiles carbonatés



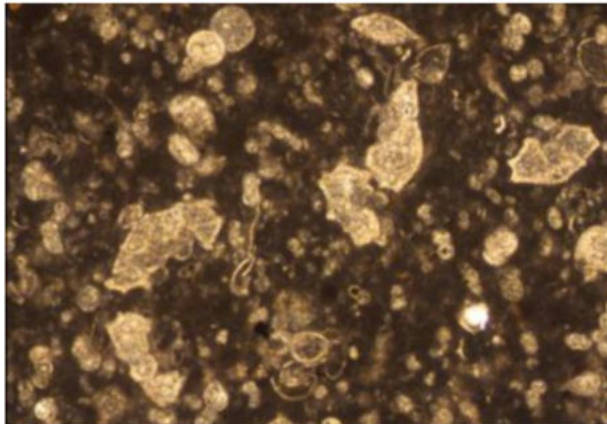
Nummulites



Globigérines et Globorotalia

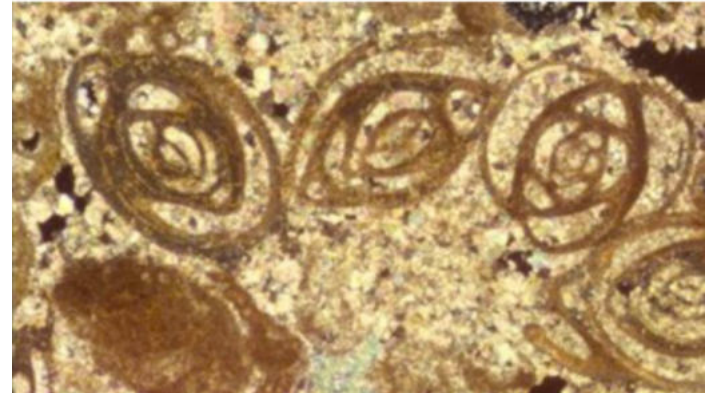


Globorotalia



Globotruncana

Miliole



Le niveau de compensation des carbonates

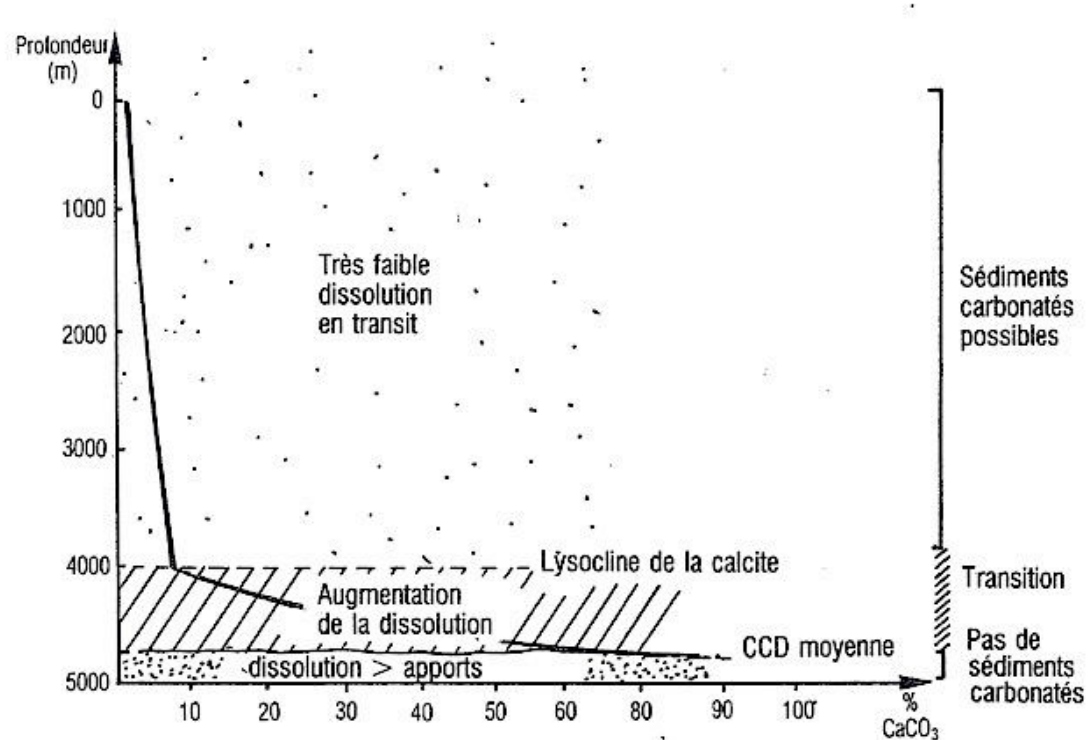
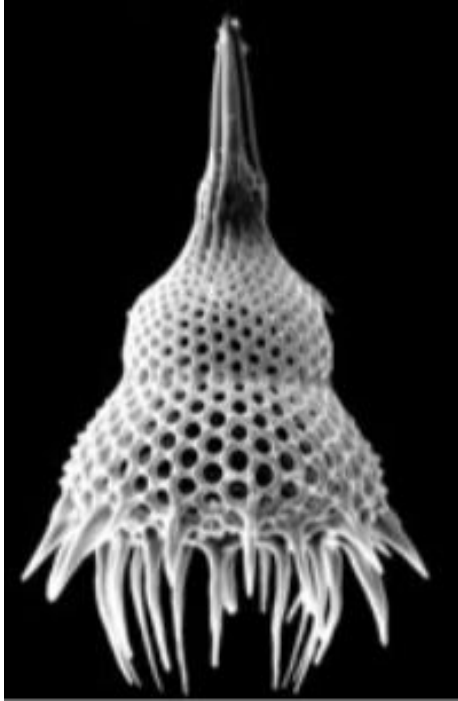


Fig. 8 — Profil de dissolution des carbonates en fonction de la profondeur.

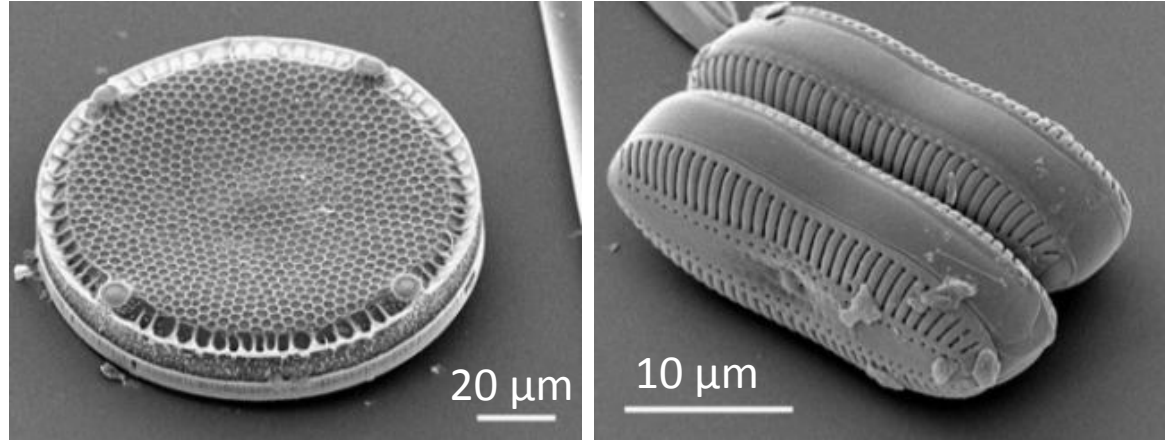
3. La sédimentation des solutés

3.2. La sédimentation siliceuse

Plancton siliceux

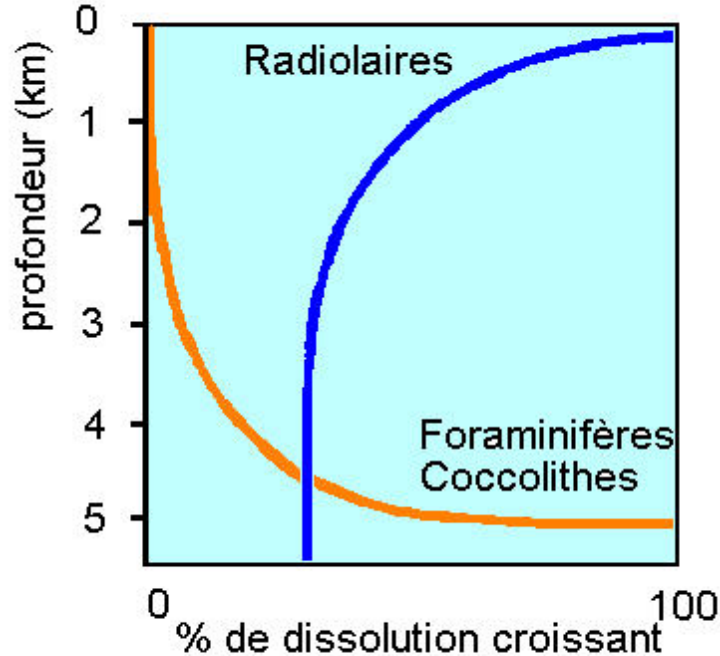


Radiolaire



Diatomées

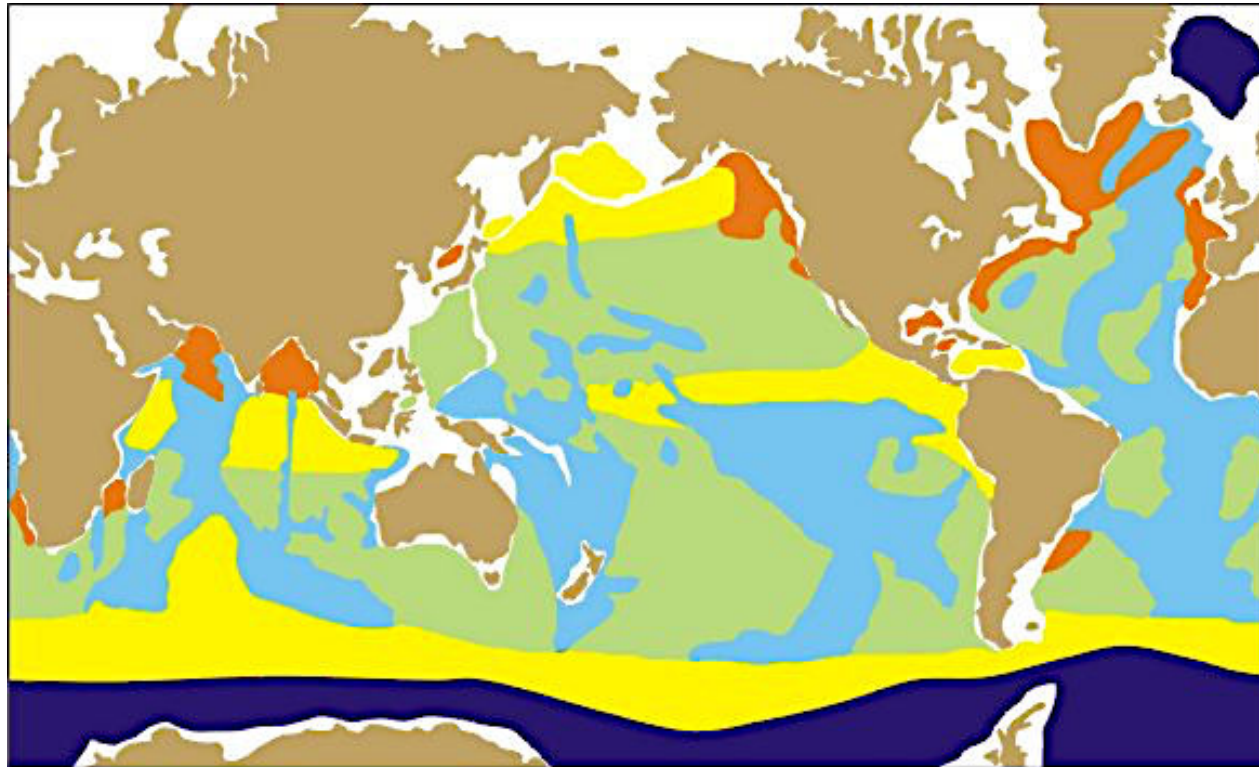
Calcaire ou silice ?



Les eaux superficielles sont sous-saturées en silice mais la dissolution diminue avec la pression et la baisse de la température.

Les tests calcaires sont dissous en profondeur en raison du taux élevé de CO_2 dissous (forte pression et eau froide riche en CO_2)

Répartition des boues



■ boue calcaire

■ argiles océaniques

■ sédiments glacio-marins

■ boue siliceuse

■ terrigènes

■ plates-formes

Répartition des boues planctoniques

Les Diatomées supportent beaucoup mieux que les autres organismes planctoniques les températures basses. À leur mort, elles forment une boue siliceuse associée à une petite fraction détritique.

Ici, la sédimentation siliceuse s'explique car les organismes à test calcaire sont peu nombreux.

Il existe une autre ceinture siliceuse, moins flagrante, que l'on trouve dans le Pacifique Nord et dans l'Océan Indien. Les sédiments siliceux sont associés à des argiles (argiles des grands fonds) provenant de la lignée détritique la plus fine qui a été transportée jusque vers le centre des océans. **L'absence de sédiments carbonatés s'explique par la profondeur des océans.**

3. La sédimentation des solutés

3.3. Les évaporites

Séquence d'évaporation

On fait évaporer une colonne d'eau de mer de 1 m initialement, on suit le niveau de l'eau et les dépôts qui se forment.

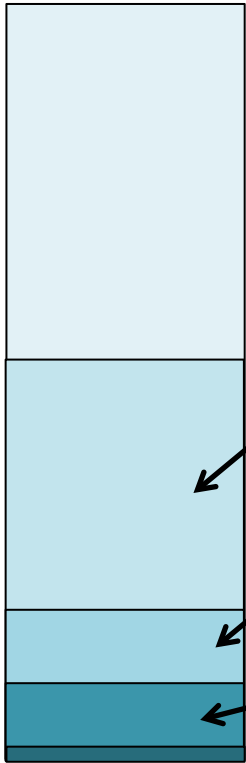
1 m → 53 cm : aucun précipité

53 cm → 20 cm : les carbonates de calcium et magnésium précipitent et constituent une couche de 0,1 mm

20 cm → 3,5 cm : le **gypse** ($\text{Ca SO}_4 \text{ H}_2\text{O}$) précipite => couche de 0,6 mm

10 cm → 1,5 cm : **halite NaCl** puis MgSO_4 puis MgCl => couche de 12,9 mm de NaCl et 2 mm de sels de magnésium

KCl (**sylvite**) à partir de 1,5 cm produisant une couche de 0,9 mm.



Hauteur d'eau

1 m d'eau de mer donne une couche de 0,6 mm de gypse

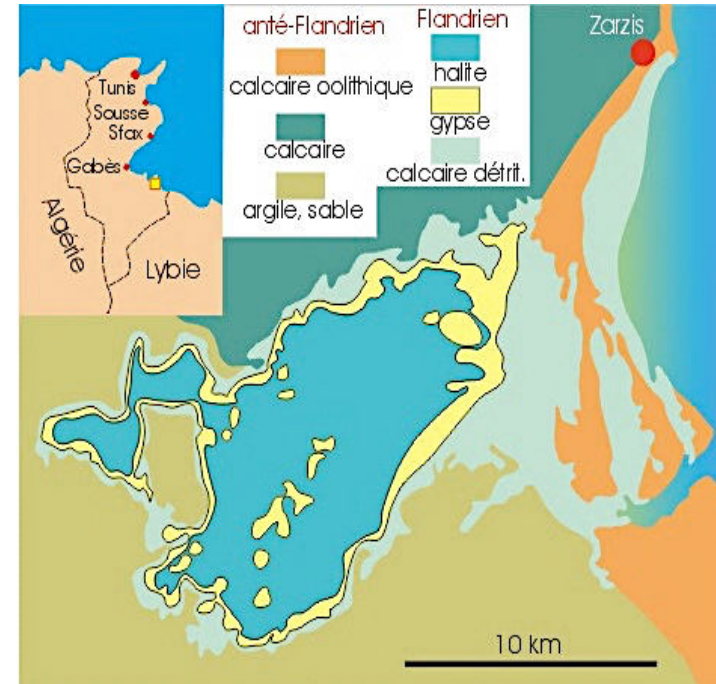
Quelle hauteur d'eau pour 5 m de gypse ?

Hauteur = $5 \text{ m} / 0,6 \text{ mm} = 5/6 \times 10^4 \text{ m} = 8\,330 \text{ m} !$

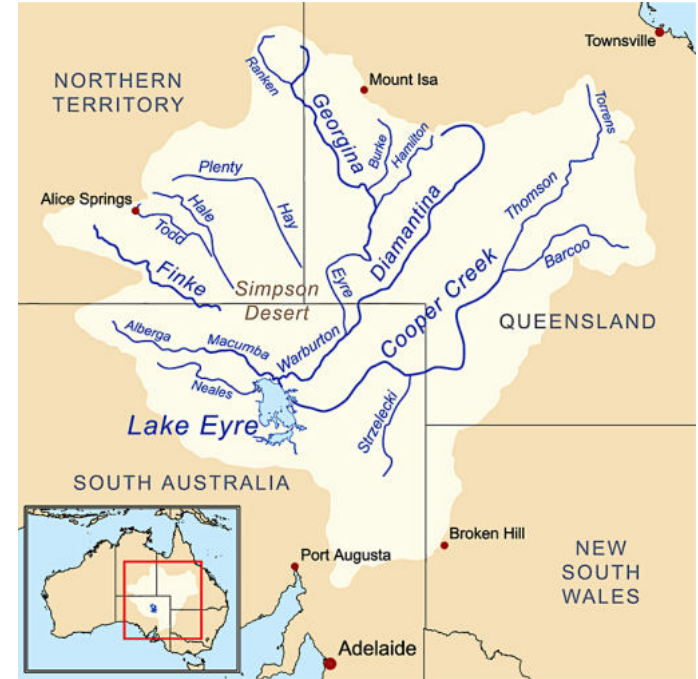
On ne peut donc pas considérer l'évolution sur place d'une tranche d'eau d'une telle épaisseur, une alimentation permanente est nécessaire.

La Sebkhha El Melah

apport régulier d'eau issue de la mer



Le lac Eyre (Australie)

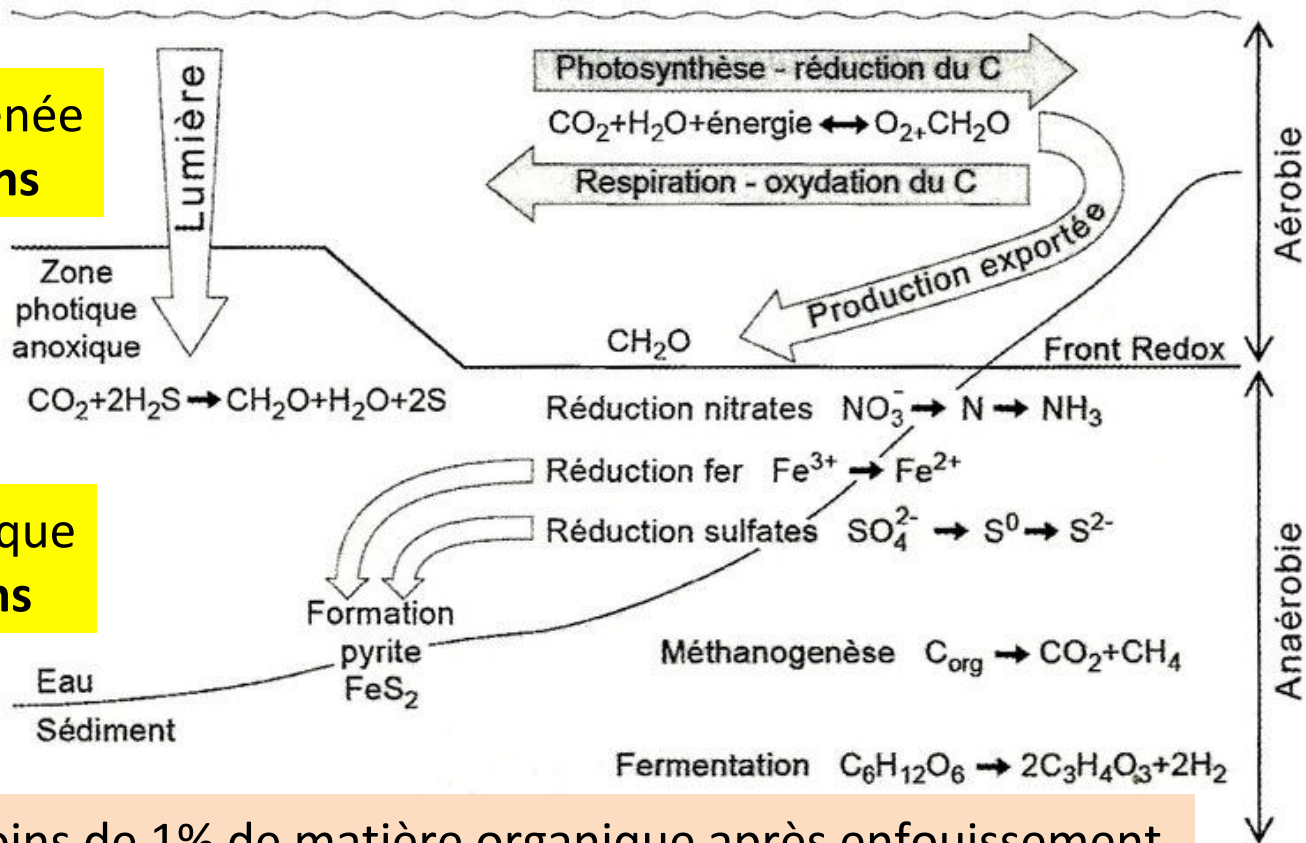


À la saison des pluies, il se remplit de 3-4 m et se vide complètement à la saison sèche. Les carbonates et sels précipitent, donnant des plages blanches.

4. La diagenèse : du sédiment à la roche

Le devenir de la matière organique

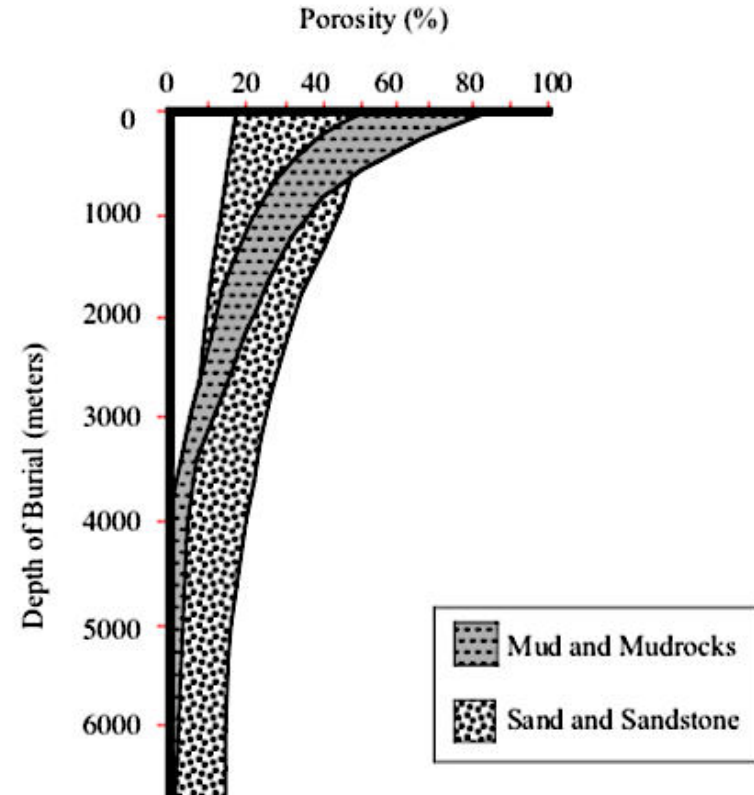
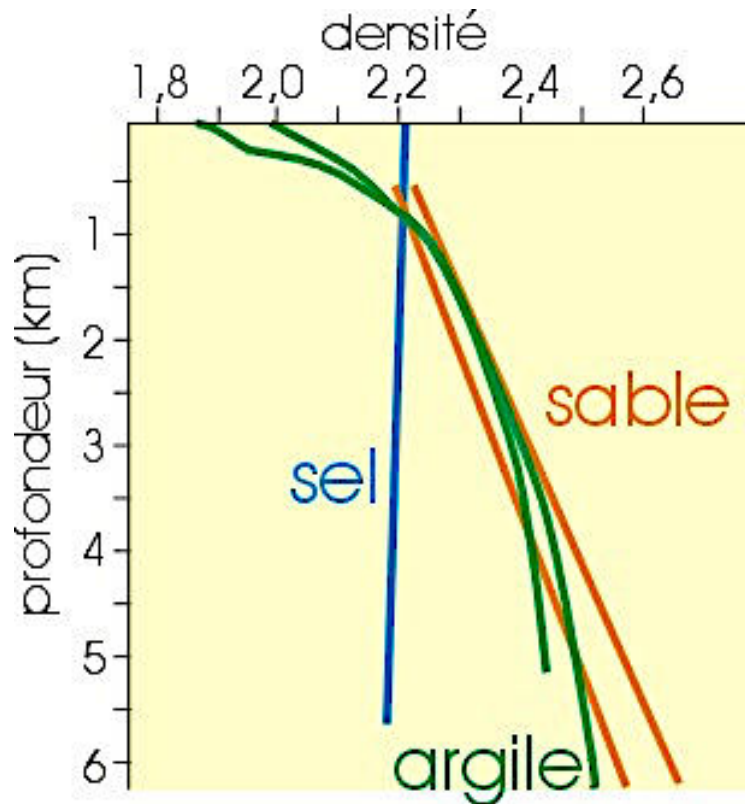
Zone oxygénée
oxydations



Zone anoxique
réductions

Il reste moins de 1% de matière organique après enfouissement

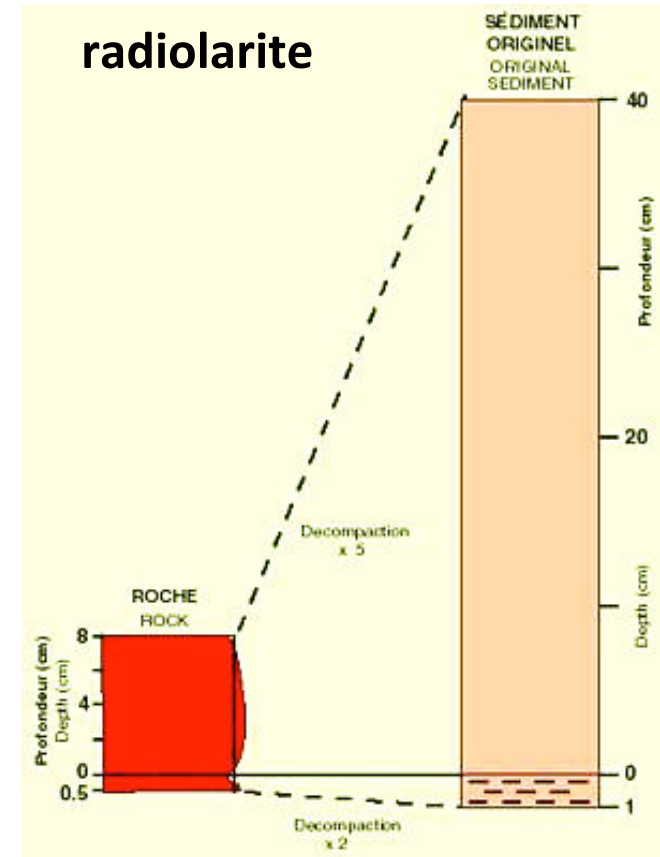
La compaction



Augmentation de la densité et diminution de la porosité

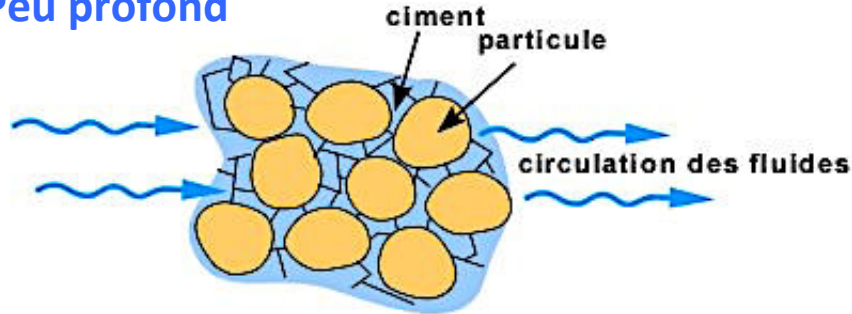
La compaction

sédiment	% de l'épaisseur originelle après compaction
Tourbe	5 – 10 %
Boue argileuse	10 – 25 %
Boue calcaire	40 – 50 %
Sable	65 – 75 %

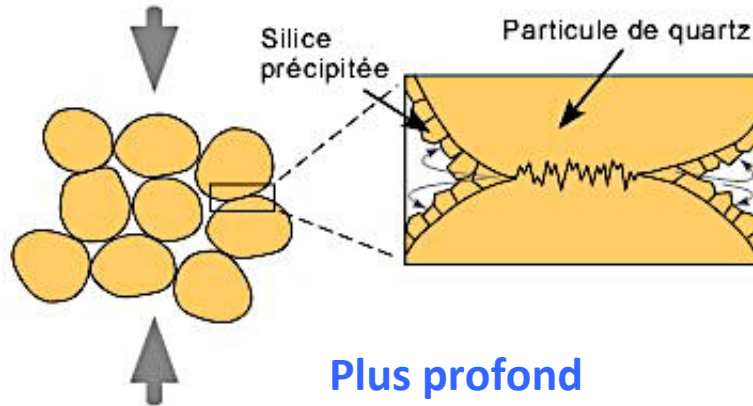


La cimentation

Peu profond



CIMENTATION PRÉ-COMPACTION



Plus profond

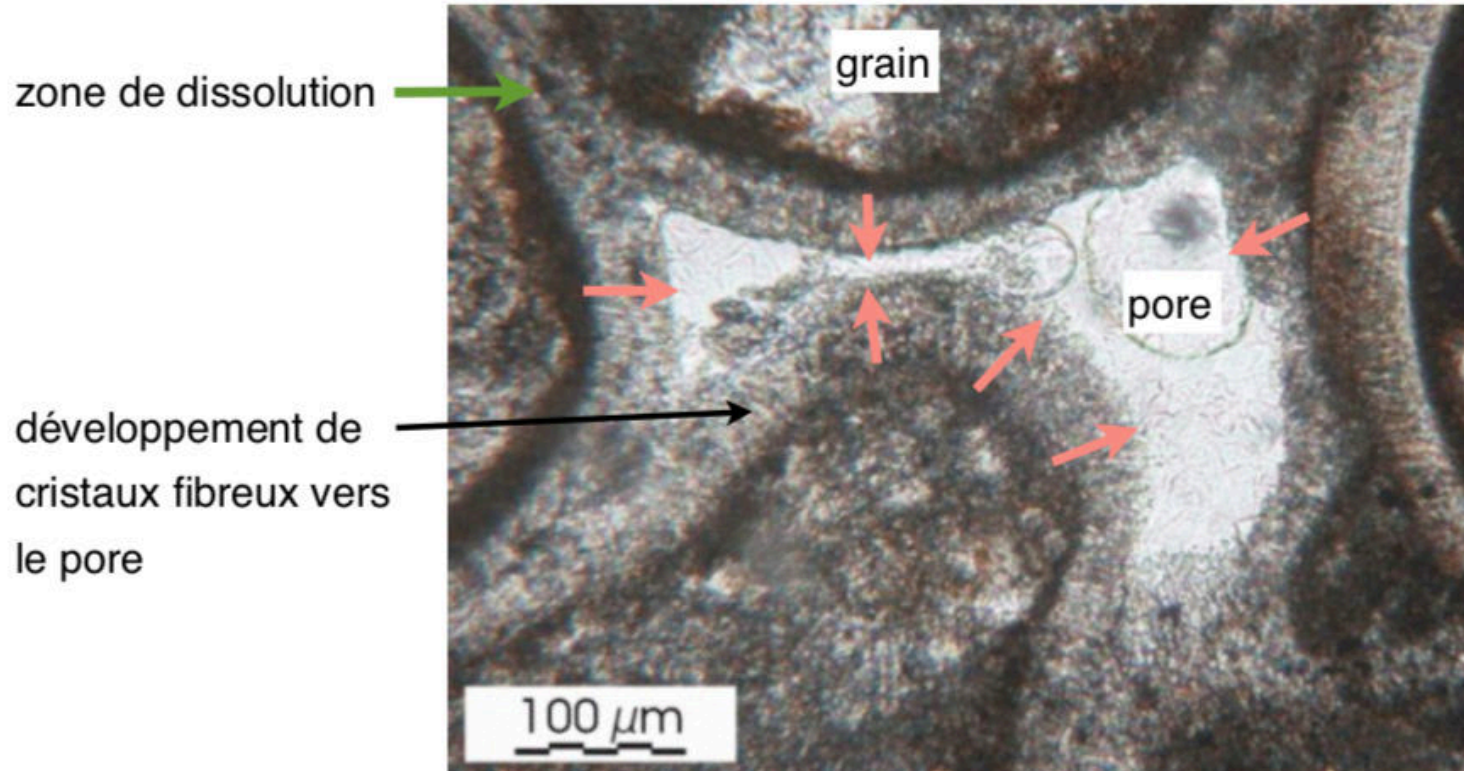
COMPACTION ET CIMENTATION

L'enfouissement provoque la perte des fluides donc la **précipitation** par déplacement d'équilibre. Exemple :

$$\text{Ca}^{2+} + 2 \text{HCO}_3^- \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$$
 Le départ de CO_2 et H_2O provoque la précipitation de CaCO_3 .

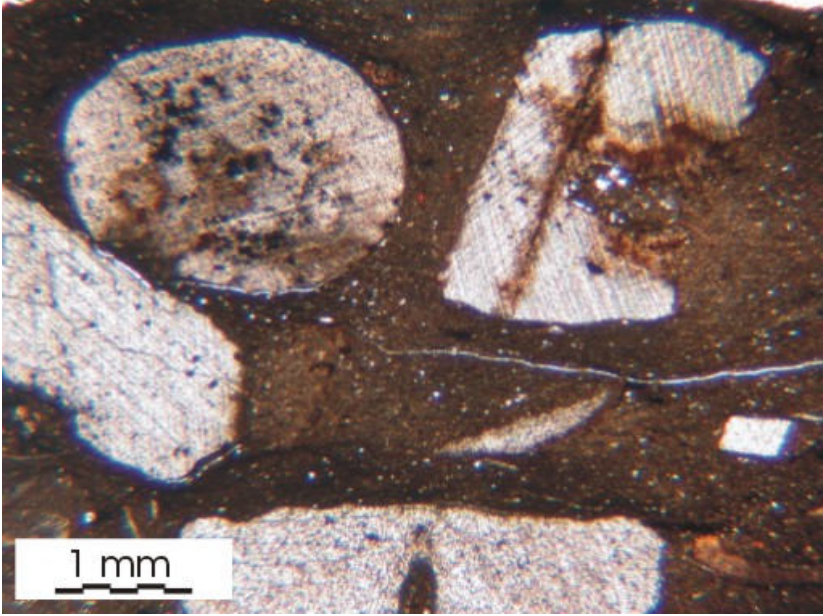
La hausse de pression provoque une **dissolution** au niveau des contacts entre particules. Les solutés **recristallisent** dans les zones de plus basse pression.

Formation d'une sparite : cristallisation dans les pores



=> sparite

Sparite et micrite



Micrite



Sparite

Source : <http://www.geosed.ulg.ac.be/TP/TP.htm>

Source : <https://geologie.discip.ac-caen.fr/introduc/ciment.htm>