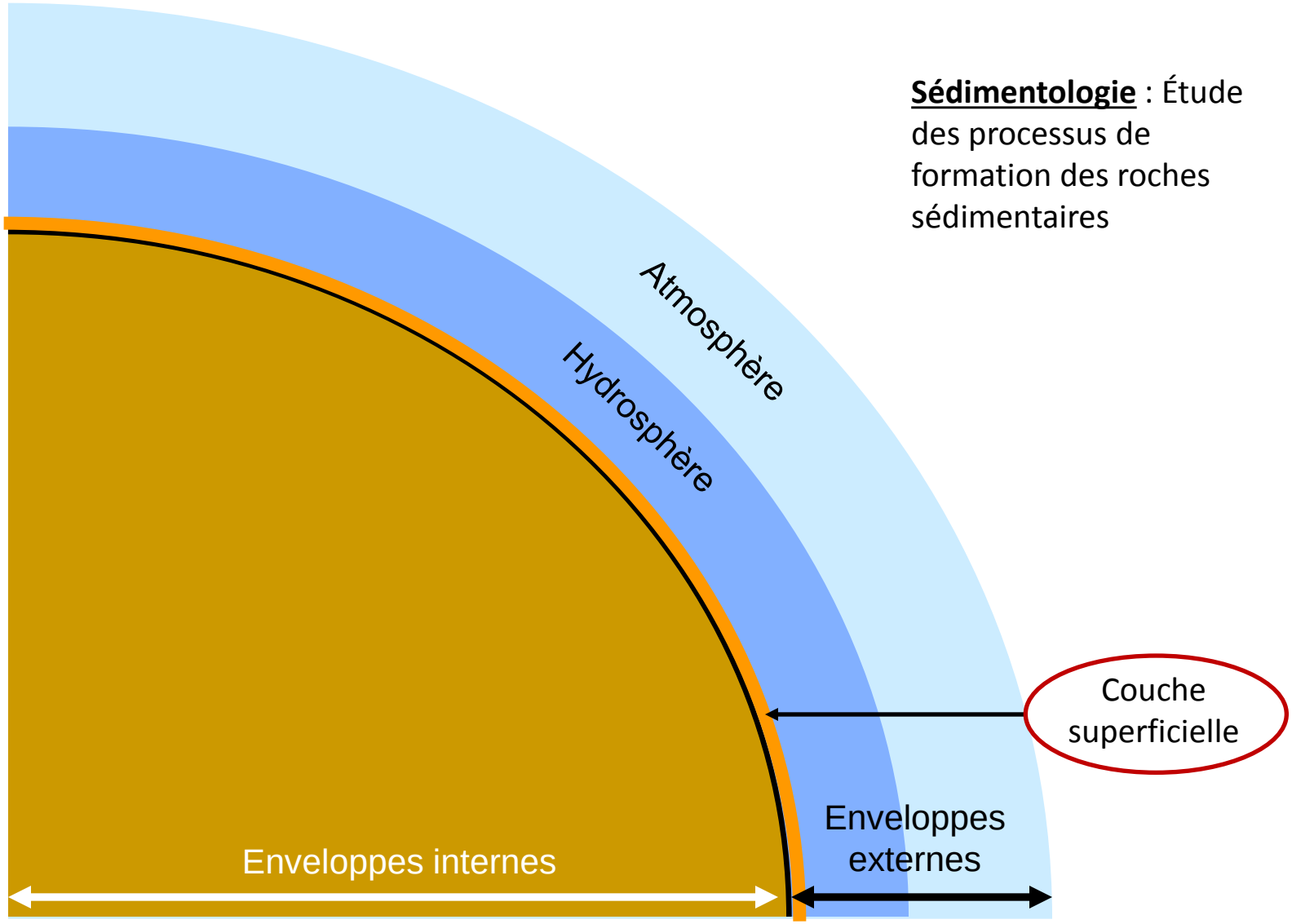
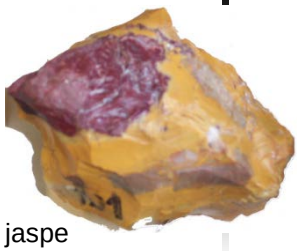
Sédimentologie

Structure de la Terre

Sédimentologie : Étude des processus de formation des roches sédimentaires



Les roches sédimentaires



jaspe

Roches siliceuses



Sel gemme

Roches d'origine chimique



kaolinite

Roches argileuses



Calcaire pisolithique

Roches carbonatées



apatite

Roches phosphatées



Sable argileux ou loess

Roches détritiques, silico-clastiques, terrigènes

Roches d'origine biochimique, biogéniques

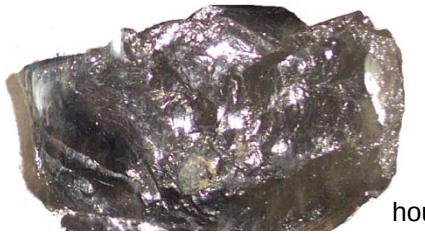


Stromatolithe



Gypse saccharoïde

Roches salines



houille

Roches carbonées



hématite

Roches ferrifères

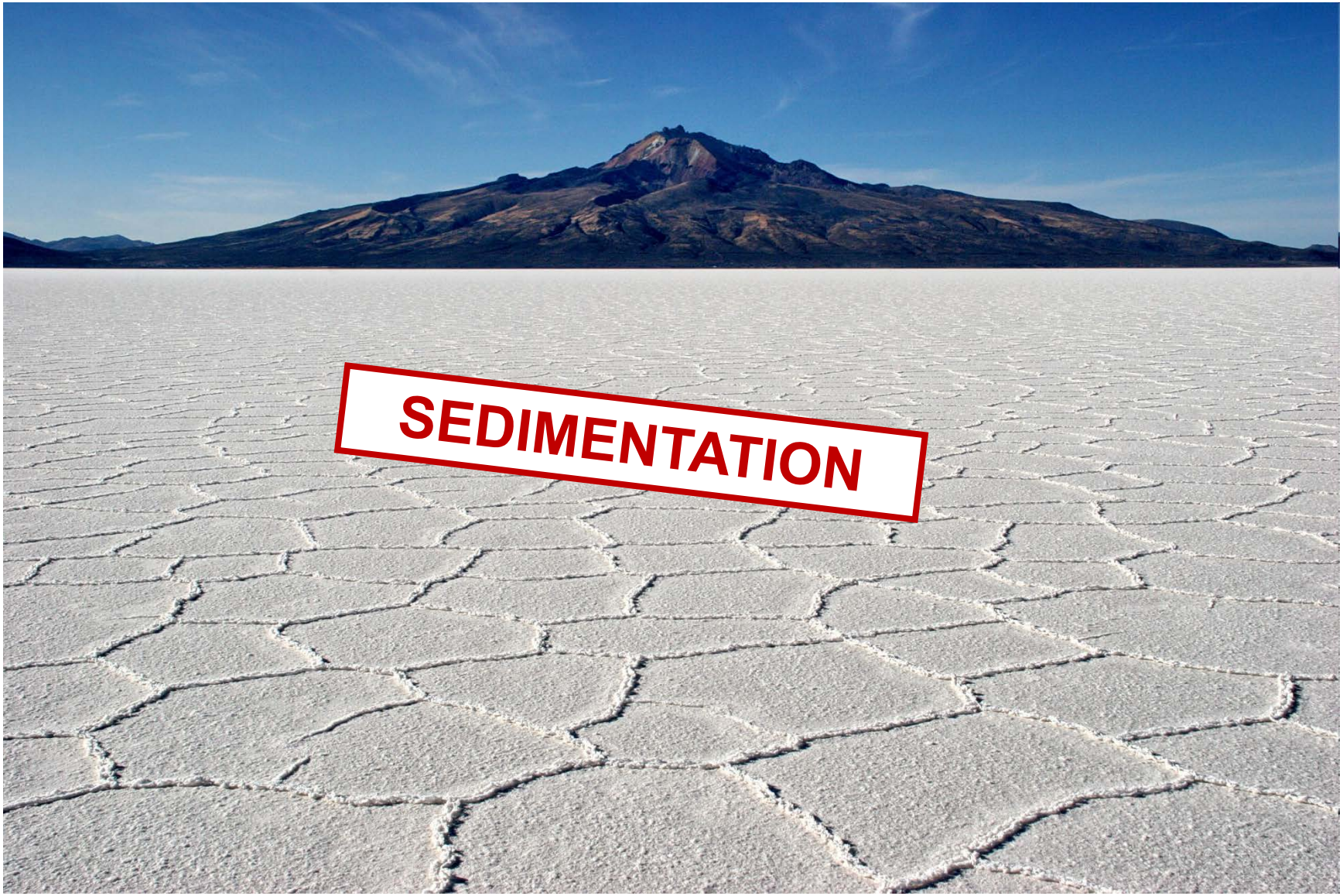

EROSION


EROSION


EROSION
Photo : E. Reynard


TRANSPORT
© Roland FRENZEL
www.randonneur.net


TRANSPORT


SEDIMENTATION



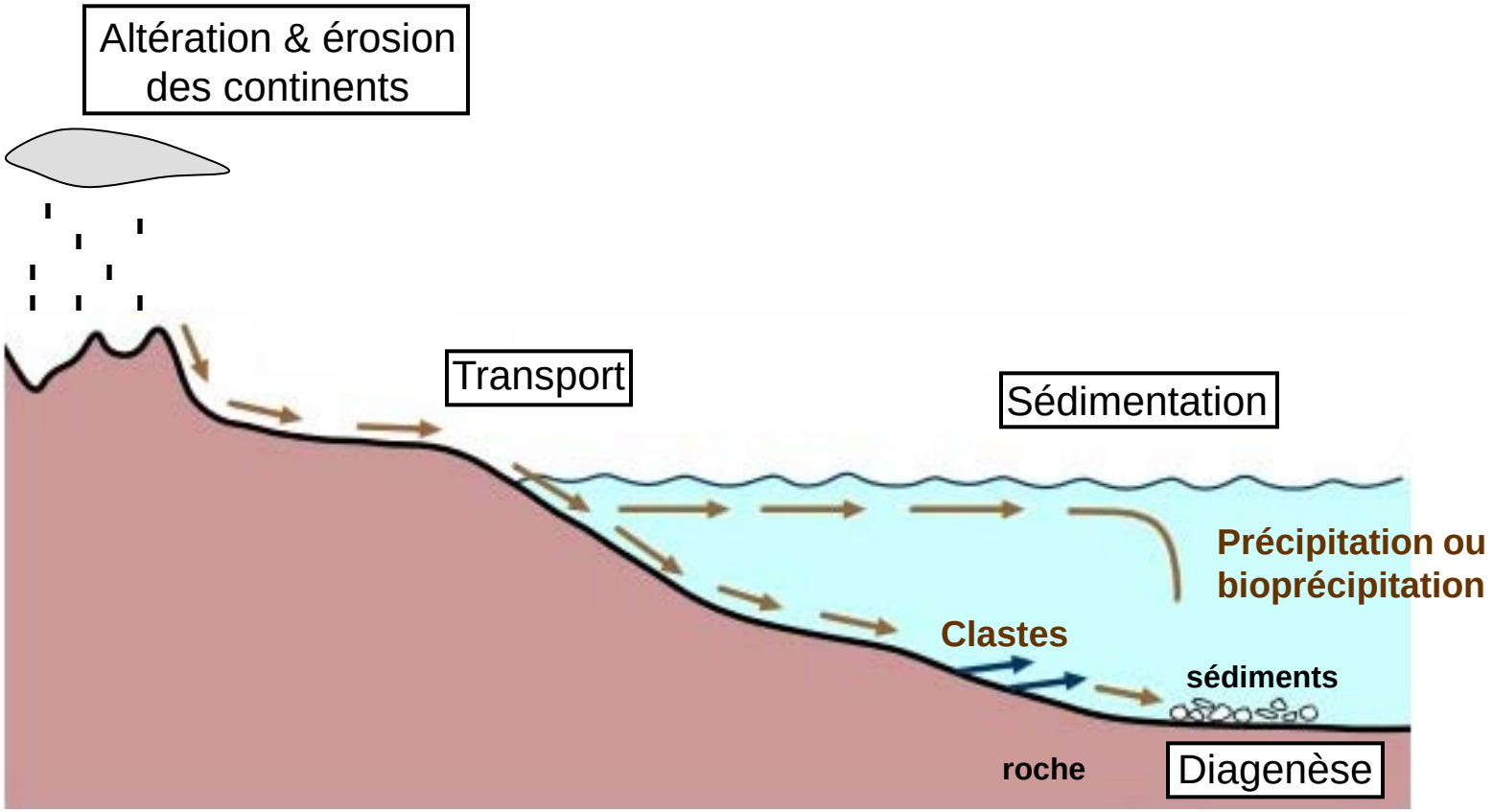


SEDIMENTATION




SEDIMENTATION

Le cycle sédimentaire



D'après Pierre-andré Bourque et Université Laval, 1997-2004

Carbonatée
Siliceuse
Carbonée, ...

Plan

I- Origine des sédiments

1.1 Mécanismes d'altération et érosion mécanique

1.2 Mécanismes d'altération et érosion chimique

II- Transport des sédiments

2.1 Transport par gravité

2.2 Transport par écoulement de fluides

III- Sédimentation

3.1 Sédimentation clastique

3.2 Sédimentation par précipitation ou bio-précipitation

IV- Diagenèse

I- Origine des sédiments

Introduction

I-Origine des sédiments

Plan

1.1 Mécanismes d'érosion/altération mécanique

1.1.1 Érosion éolienne

1.1.2 Érosion hydrodynamique

1.1.3 Érosion glaciaire

1.1.4 Sensibilité des roches à l'érosion

1.2 Mécanismes d'altération/érosion chimique

1.2.1 Agents d'altération

1.2.2 Mécanismes et produits de l'altération

1.2.3 Un exemple, l'altération des silicates

1.2.4 Dissolution des carbonates et morphologie karstique

1.2.5 Les altérites, des résidus d'altération

1.1 Altération et érosion mécanique

Introduction

I-Origine des sédiments



Fragmentation au niveau de surfaces de discontinuité (**fractures**)

Chaos granitique *(Ploumanach)*

Université de Liège, Faculté des Sciences, Dpt de Géologie

- Les alternances de gel-dégel, en climat suffisamment humide : **cryoclastie**



Cryoclastie d'un basalte *(Islande)*

- Les variations répétées de température (40-50°C d'amplitude journalière dans le Sahara) ont les mêmes effets que le gel.

- L'action mécanique (dilatation des racines) et chimique (production d'acides) des racines des **végétaux**

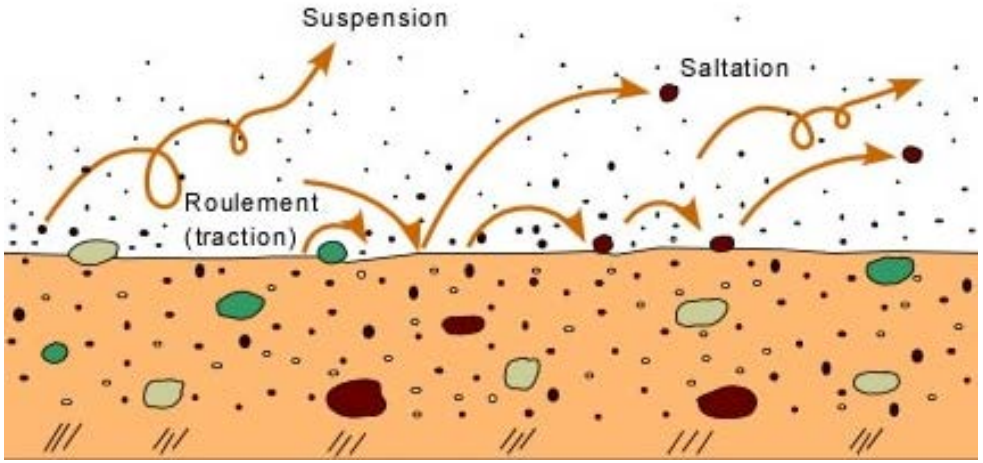
Introduction

I-Origine des sédiments

Érosion éolienne

- **Déflation :** Transport par **saltation**, **suspension** et **reptation** des particules les plus fines

  Avec collisions !





Reg



***Erg** (Sahara)*

Introduction

I-Origine des sédiments

Érosion hydrodynamique pluviale

- **Par le ruissellement :**

En terrain homogène : **Ravinement**



Erosion par ruisselemment sur un versant, *Piau Engaly*



Lapiez

En terrain hétérogène : **Érosion différentielle** des roches selon leur dureté



Cheminée de fée, *Gap*

Introduction

I-Origine des sédiments

Érosion hydrodynamique pluviale

- **Formation de cuesta :**

Formation sédimentaire faiblement inclinée formée d'**alternances** de **couches tendres** et de **couches résistantes** à l'érosion



Cuesta formée par les grès durs (Jurassique) reposant sur les argilites rouges plus tendres (Trias). Arizona

Butte témoin : relief isolé témoignant de l'ancienne extension de la formation résistante

Université de Liège, Faculté des Sciences, Dpt de Géologie

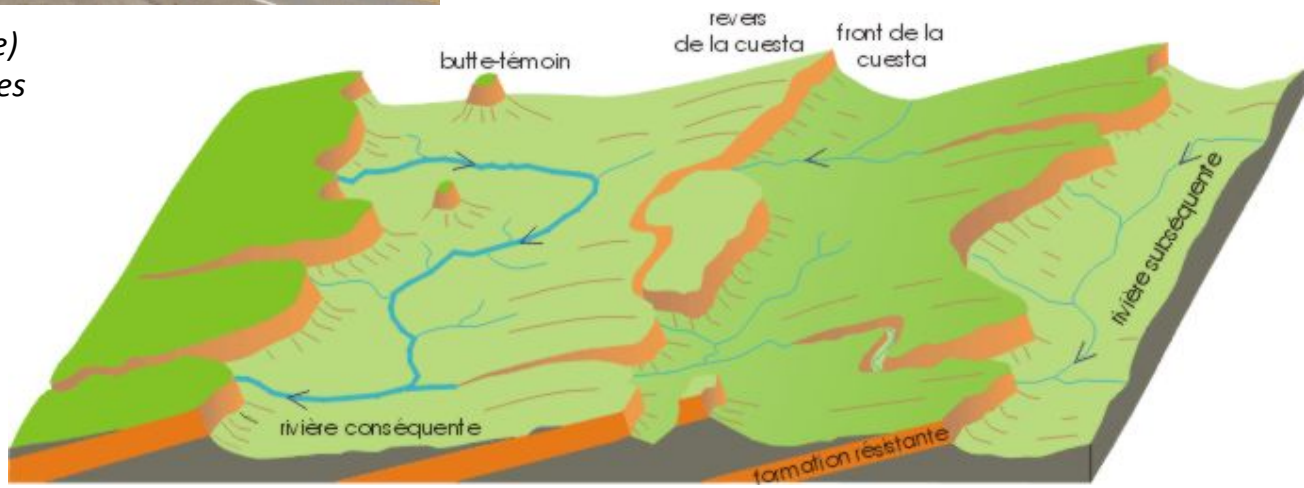


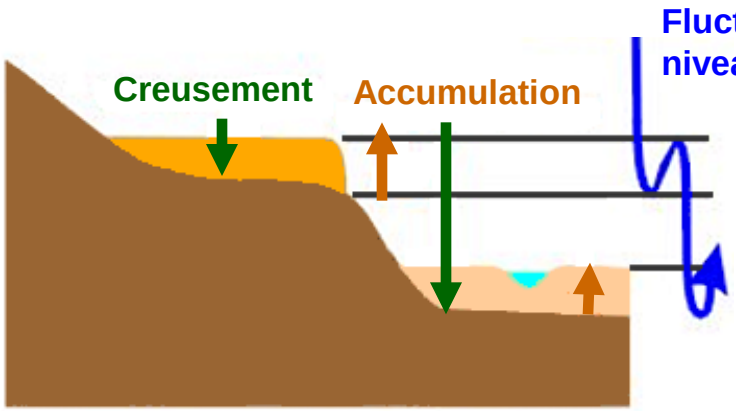
*Schéma montrant la disposition théorique des **cuestas** et de leur réseau hydrographique*

Introduction

I-Origine des sédiments

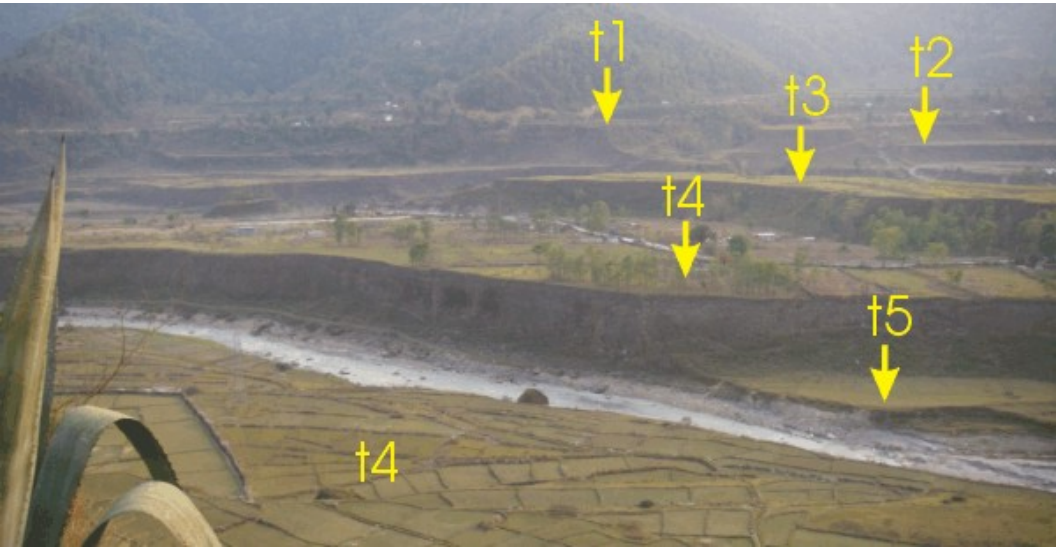
Érosion hydrodynamique fluviatile

- **Érosion verticale – système de terrasse :**



Système de terrasses
(terrasses étagées)

Niveau de base = niveau marin



Formation à chaque fois que le cours d'eau s'encaisse dans ses propres alluvions (reprise d'érosion).

La terrasse la plus basse est toujours la plus récente.

Nombreuses terrasses étagées à Pokhara (Népal). La terrasse t1 est la plus ancienne et la terrasse t5 est la plus récente

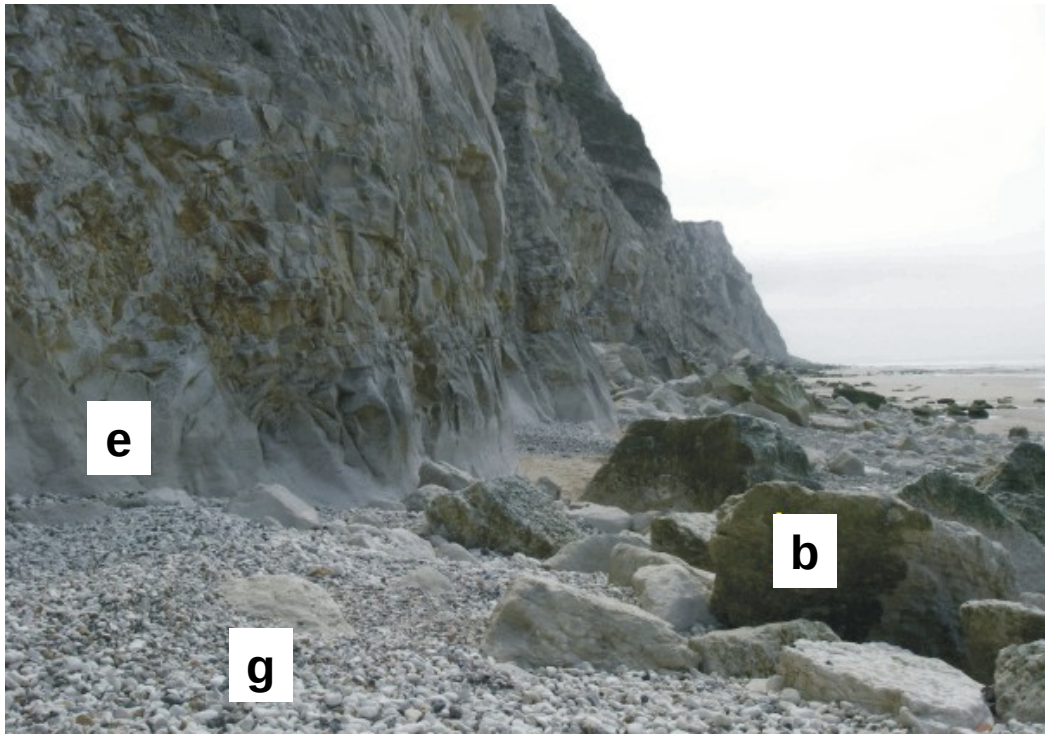
Introduction

I-Origine des sédiments

Érosion hydrodynamique marine

- **Par les vagues et les courants :**

Mitraillage par le sable et gravier transportés, **pression** de l'eau contre les parois (30 tonnes/m^2), **succion** lorsque les vagues se retirent, **vibrations** par les chocs successifs.



Falaise vive, *CapBlanc Nez*

e : encoche d'érosion

b : blocs tombés de la falaise

g : cordon de galets de craie formés par usure du matériel de la falaise

Introduction

I-Origine des sédiments

Érosion glaciaire

A grande échelle : Vallées caractéristiques, dites "**en U**" ou "**en auges**"

(Erosion latérale plus importante que l'érosion verticale)

Les tronçons à faible pente correspondent à des **élargissements** et les tronçons à forte pente couplés avec des rétrécissements ou **verrous**

V, verrou glaciaire

Au, vallée en auge

Ci, cirques

E, épaulement

C, crêtes

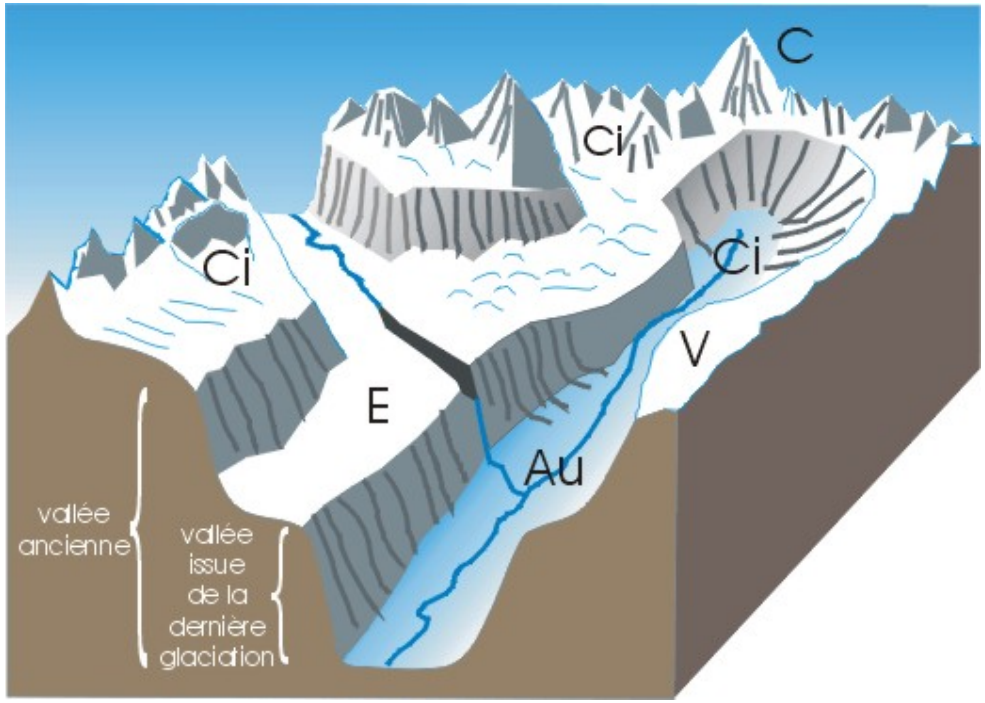


Schéma d'une vallée glaciaire

Introduction

I-Origine des sédiments

Sensibilité des roches à l'érosion

- **Structure / cohésion :**

Alluvions < sédiments non consolidés < sédiments consolidés < roche volcanique < roche plutonique ou métamorphique

\+ **Sensibilité** -

Failles, joints, fractures à toutes les échelles (gros bloc, roche, minéraux) favorisent l'érosion



Cryoclastie

Université de Liège, Faculté des Sciences, Dpt de Géologie

Introduction

I-Origine des sédiments

Sensibilité des roches à l'érosion

- **Altérabilité des minéraux :**

Labile .....

Evaporites (halite, gypse)

pyrite

calcite

olivine

hornblende

biotite

Feldspath plagioclases

feldspaths K

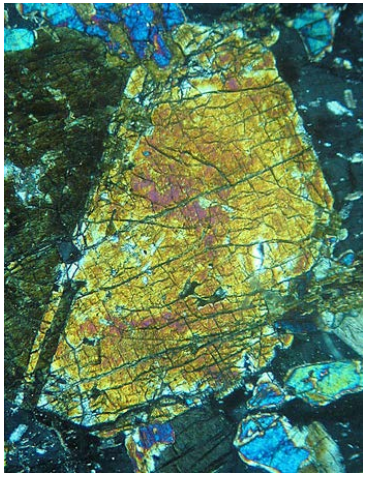
quartz

Argiles

Résistant .....

Oxydes Al et Fe

Diagramme de GOLDICH (1938)



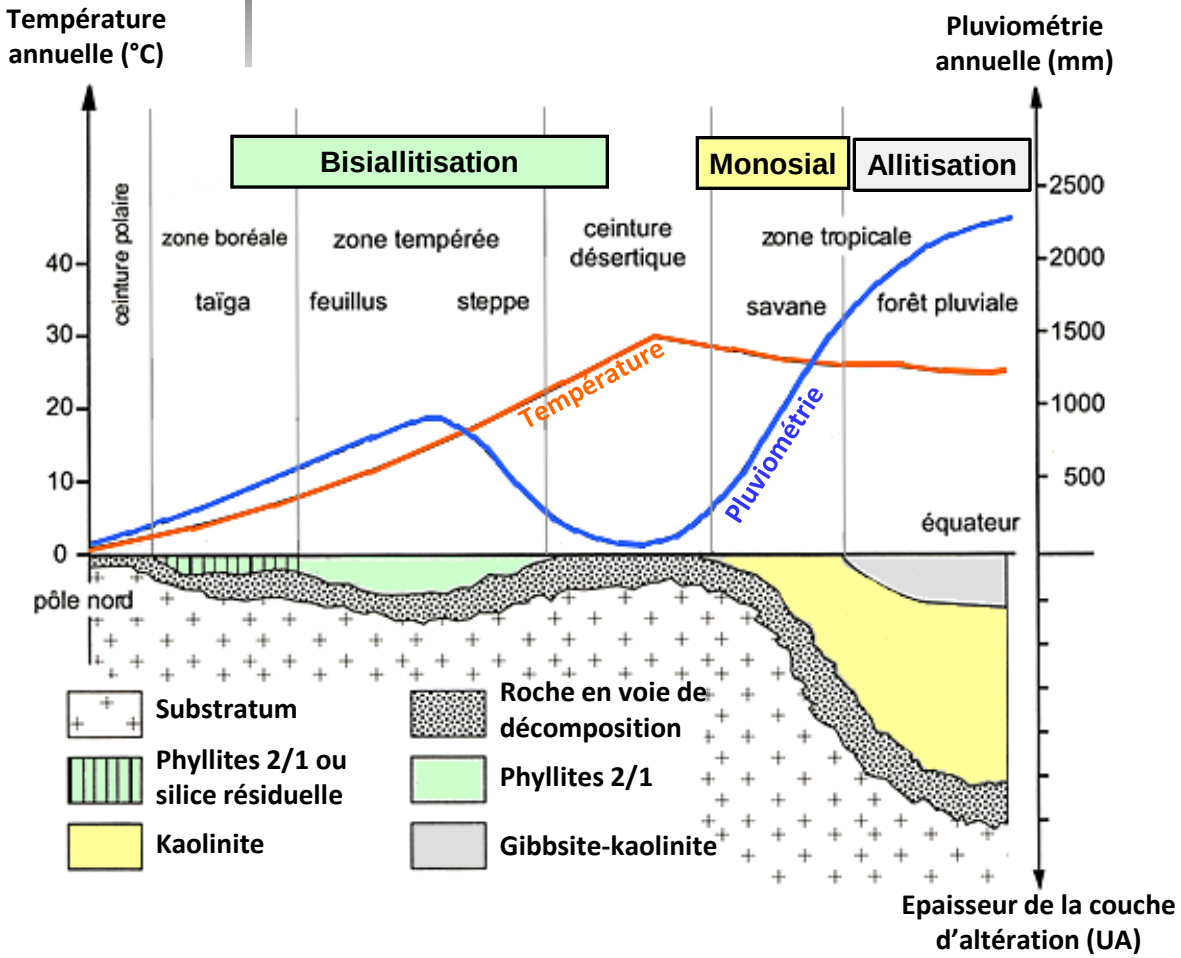
Clivages minéralogiques

Introduction

I-Origine des sédiments

Agents d'altération

- **Facteurs de surface :**
  - La **pente** (relief) et **désagrégation des roches**
  - Les **formations végétales** naturelles



- **Facteurs climatiques :**
  - **La température** (végétation, désagrégation des roches, vitesse des réactions)
  - **Le volume des précipitations** (végétation, désagrégation des roches, efficacité des réactions par renouvellement des réactifs – Loi d'action de masse)

Cojan & Renard 2.6

Introduction

I-Origine des sédiments

Agents d'altération

- **La mobilité des ions :**

Rayon ionique : r
Charge ionique : Z
} Potentiel ionique

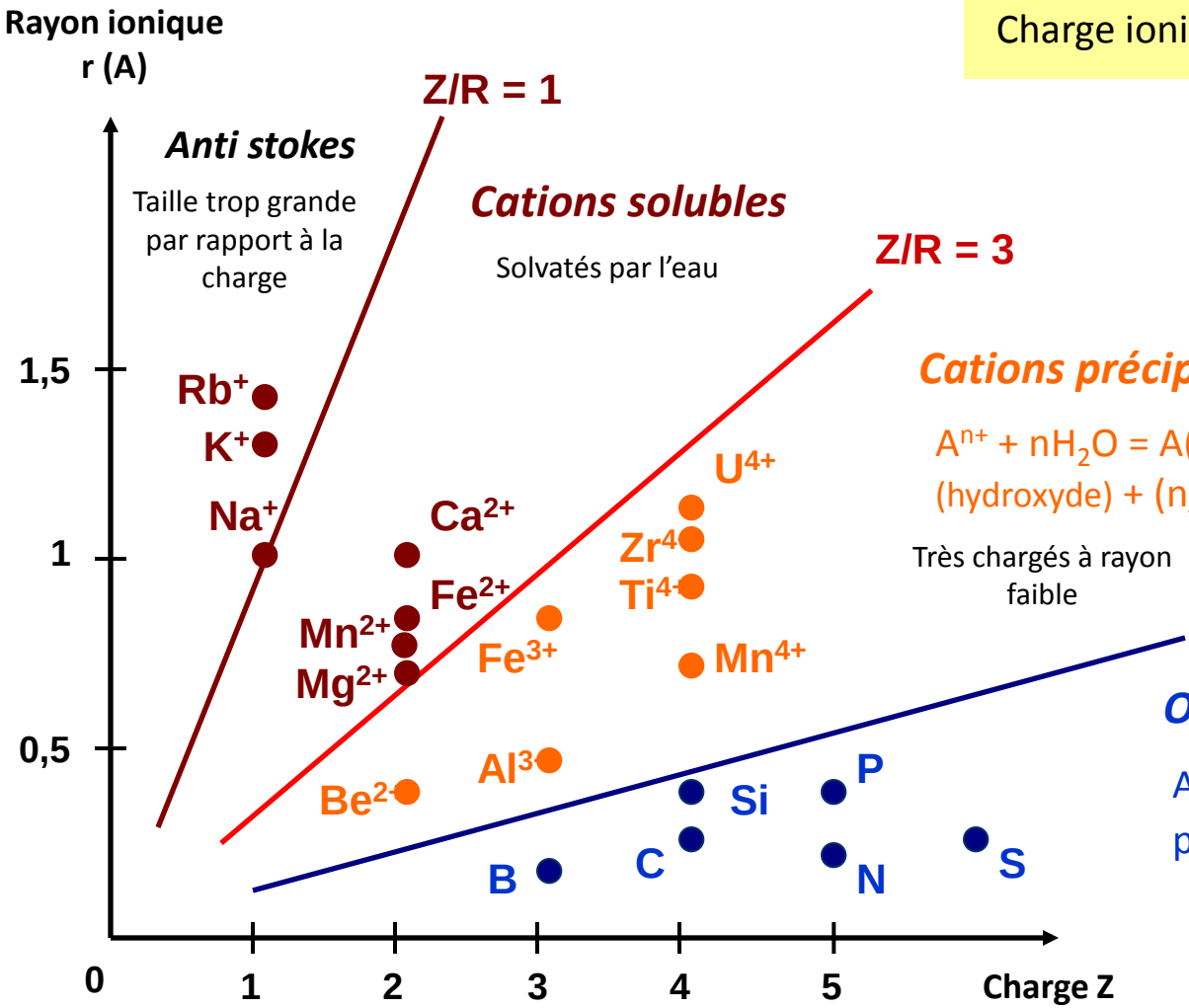
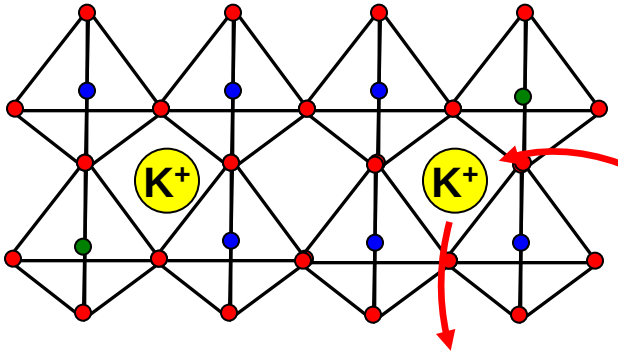


Diagramme de Goldschmidt

Introduction

I-Origine des sédiments

Exemple : l'hydrolyse des silicates



Feldspath K ($KAlSi_3O_8$)

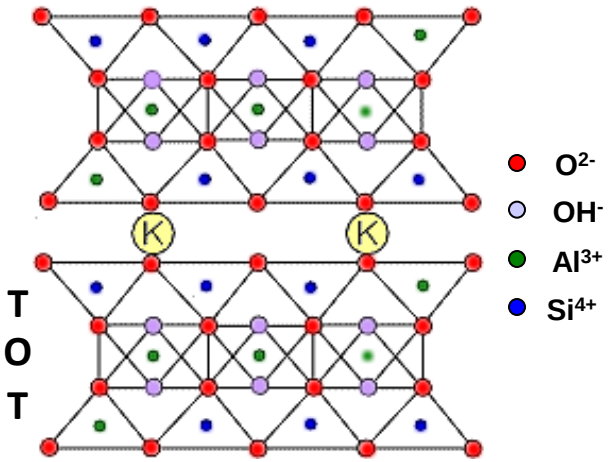
(K^+ compense le manque de charge de Al^{3+})

Si/Al = 3

- **Bisiallitisation :** **Lessivage partiel** de la silice et cations alcalins

Si/Al = 2

1. H^+ remplace les cations (K, Na, Ca) dans l'édifice cristallin qui migrent dans l'eau
2. H^+ étant plus petit, l'édifice devient instable
3. Modification des liaisons de l'édifice, libération de Al^{3+} et remplacement de Si par Al qui entraîne un déficit de charge dans les tétraèdres
4. La neutralité électrique et la cohésion du réseau est assuré par les cations interfeuillets



Phyllosilicates dits TOT

Illite : $Si_3AlO_{10}Al_2(OH)_2K$ *(Argile)*

Introduction

I-Origine des sédiments

Exemple : l'hydrolyse des silicates

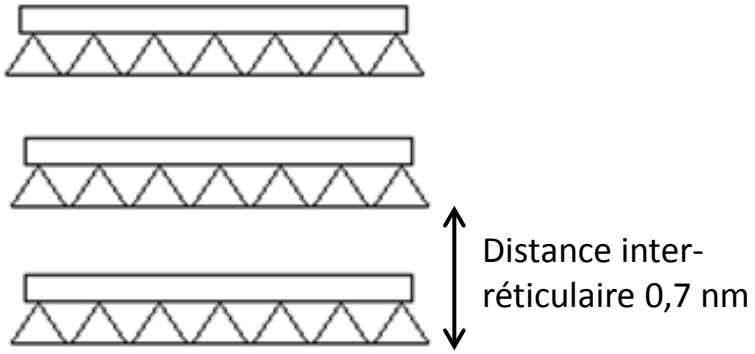
- **Monosiallitisation :** **Lessivage plus fort** de la silice et cations alcalins éliminés

Si/Al = 1

$$2\,KAlSi_3O_8 + 2\,H^+ + 9\,H_2O = Si_2O_5Al_2(OH)_4 + 4\,Si(OH)_4 + 2\,K^+$$

Feldspath K + acide + eau = kaolinite (*Argile*) + solution

Phyllosilicates dits TO



Kaolinite : $Al_2O_3,2SiO_2,2H_2O$

Le kaolin se forme en climat tropical et est le constituant principal de la porcelaine

Les liaisons interfeuillets sont assurées par des liaisons hydrogènes

Introduction

I-Origine des sédiments

Exemple : l'hydrolyse des silicates

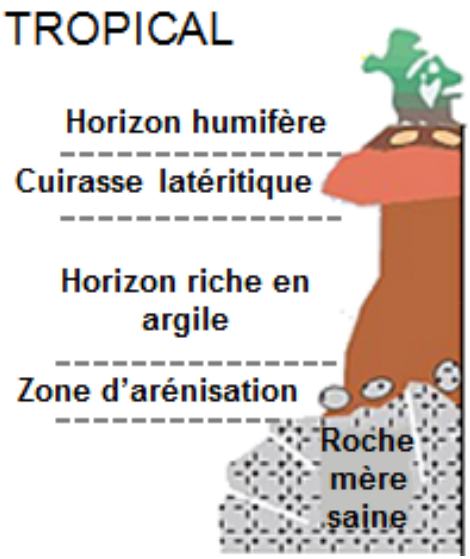
- **Allitisation :** **Hydrolyse totale** avec disparition des cations et Si et précipitation de l'alumine

Si/Al = 0

$$2\ KAlSi_3O_8 + 2\ H^+ + 14\ H_2O = 2\ Al(OH)_3 + 6\ Si(OH)_4 + 2\ K^+$$

Feldspath K + acide + eau = gibbsite + solution

(Oxyde Al)







Bauxite

Introduction

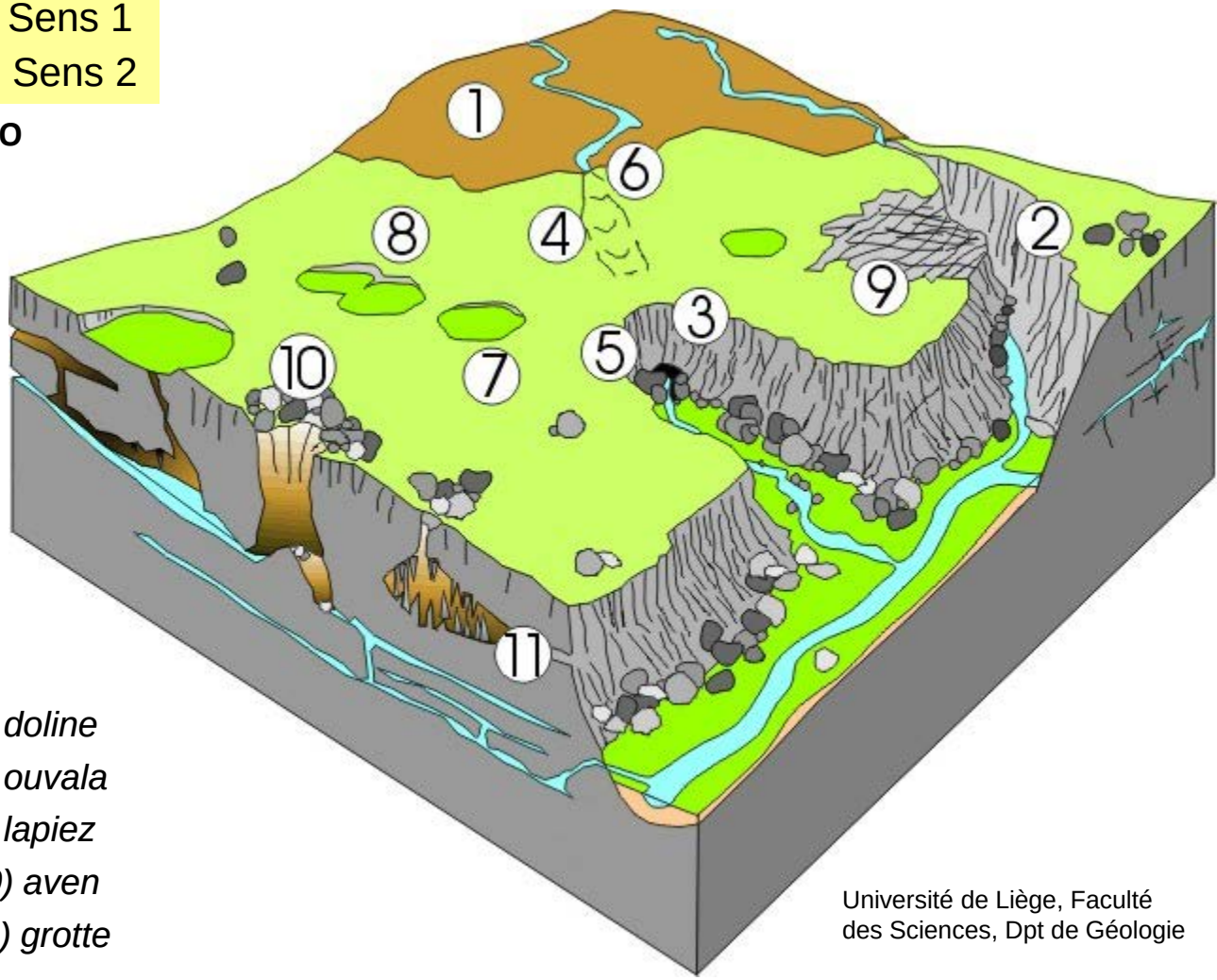
I-Origine des sédiments

Exemple : Dissolution des carbonates et morphologie karstique

$$CaCO_3 + CO_2 + H_2O \underset{2}{\overset{1}{\rightleftharpoons}} Ca^{2+} + 2\,HCO_3^-$$

Ajout de CO_2 : Sens 1
Perte de CO_2 : Sens 2

NB : Idem avec H_2O



Géomorphologie d'un paysage karstique

(1) terrains non karstiques
(2) canyon
(3) reculée
(4) vallée sèche
(5) résurgence de rivière
(6) perte
(7) doline
(8) ouvala
(9) lapiez
(10) aven
(11) grotte

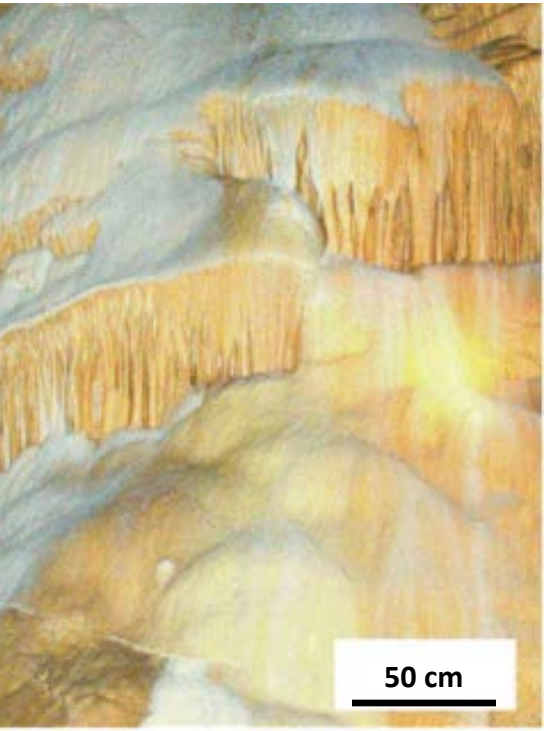
Université de Liège, Faculté des Sciences, Dpt de Géologie

Introduction

I-Origine des sédiments

Exemple : Dissolution des carbonates et morphologie karstique

Université de Liège, Faculté des Sciences, Dpt de Géologie



Draperies



Stalactites



Dolines

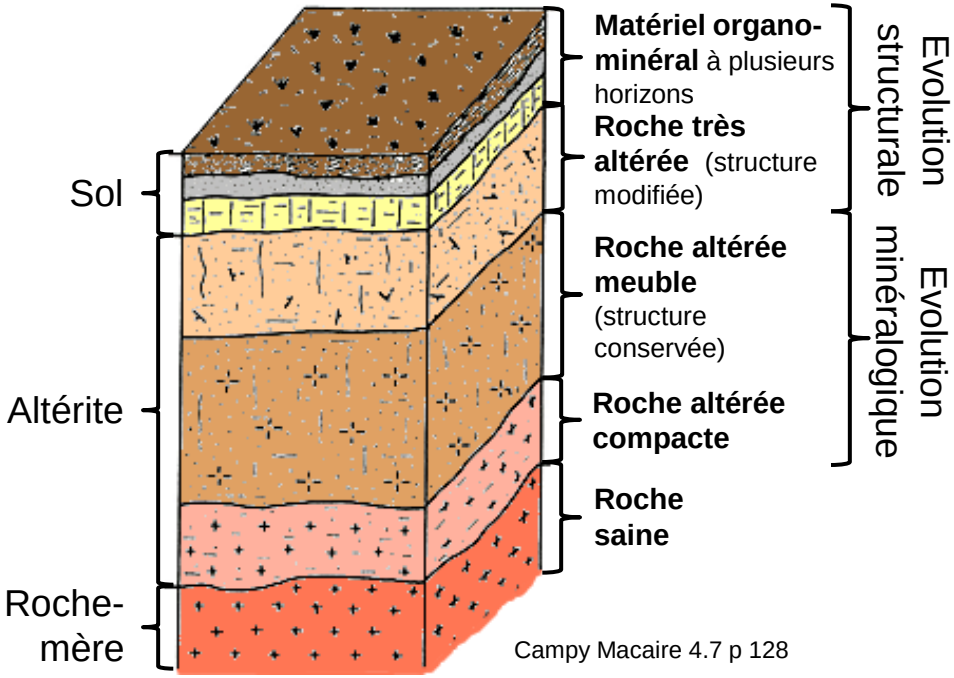
Introduction

I-Origine des sédiments

Les altérites : des résidus d'altération



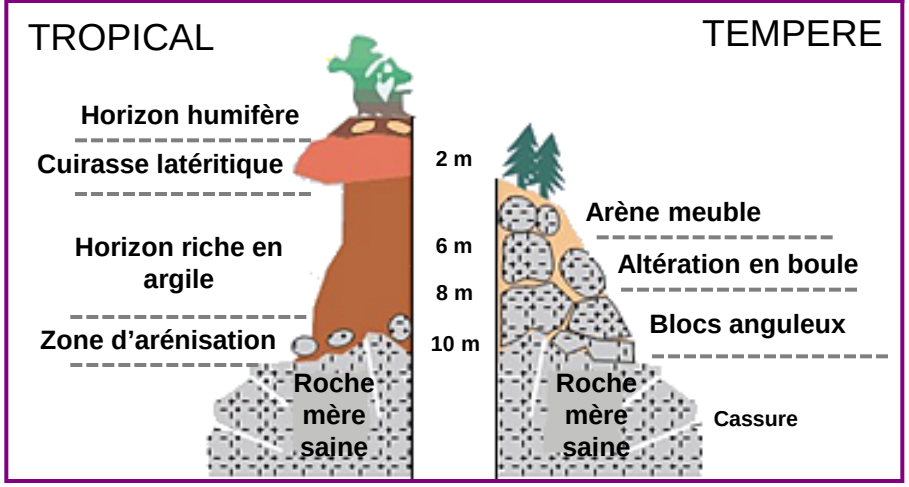
Boules de granite enrobées dans une arène granitique *(Le Conquet)*



Campy Macaire 4.7 p 128

Profil d'altération météorique

Selon le climat



II- Transport des sédiments

Introduction

I-Origine des sédiments

II-Transport des sédiments

Plan

2.1 Transport par gravité

2.1.1 Sans fluides

2.1.2 Avec fluides

2.2 Transport par écoulement de fluides

2.2.1 Transport particulaire

2.2.1.1 Fluides

2.2.1.2 Mise en mouvement des particules

2.2.1.3 Transport des particules

2.2.2 Transport de solutés

Introduction

I-Origine des sédiments

II-Transport des sédiments

Sans fluides = glissement en masse



Université de Liège, Faculté des Sciences, Dpt de Géologie

Avalanche de débris *dans un vallon, Piau Engaly*

Introduction

I-Origine des sédiments

II-Transport des sédiments

Avec fluides = écoulement gravitaire

(Le fluide lubrifie les unités transportées mais n'est pas à l'origine du mouvement)

- **Coulée de grains :**

Se déclenchent lorsque la pente d'un **dépôt est supérieure à la pente** d'équilibre.
L'air (l'eau) n'agit que comme un lubrifiant.

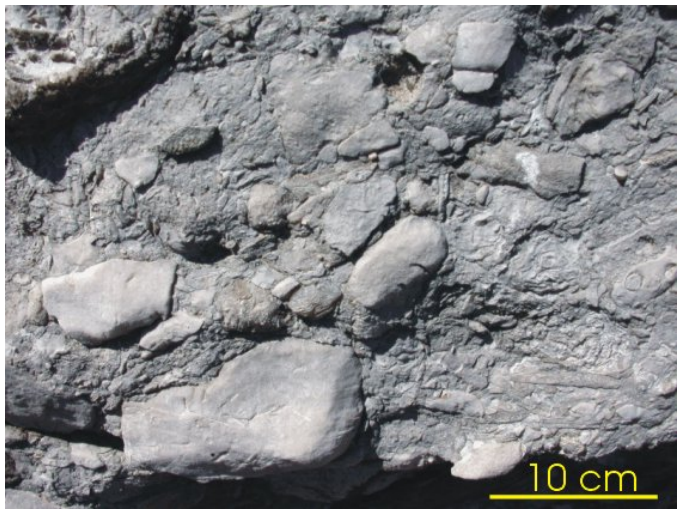


*Ecoulement (**grainflow**) de sable au flanc d'une dune*

- **Coulées de débris ou de boue :**

- **Écoulements de boue** (argile saturée en eau) sous l'action de la gravité comportant ou des gros éléments maintenus en suspension par la rigidité de la matrice.

Lahars = coulée de boue de débris volcaniques



***Debris flow** calcaire*

Introduction

I-Origine des sédiments

II-Transport des sédiments

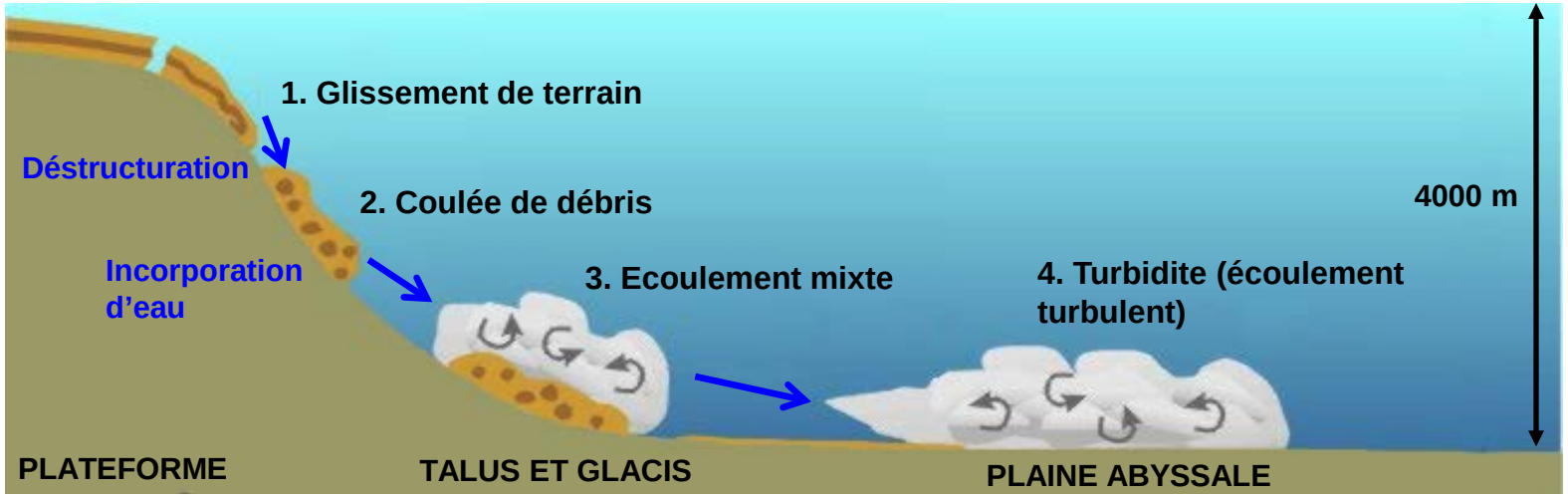
Avec fluides = écoulement gravitaire

- **Écoulement de densité et courants de turbidité :**

  - Le sédiment est maintenu **en suspension** par la turbulence du fluide interstitiel

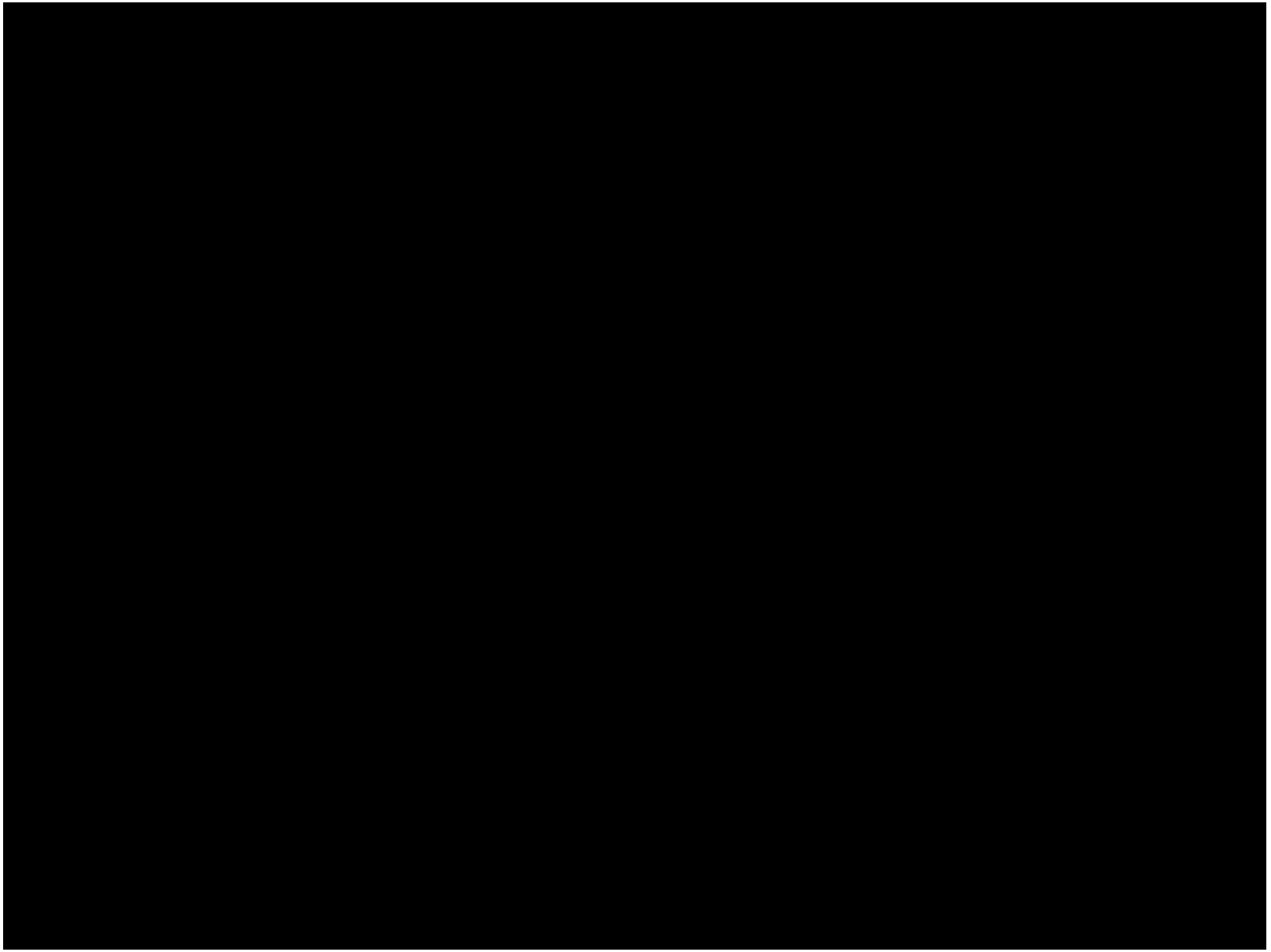
  - La masse de sédiments est ébranlée par un choc (tremblement de terre, vague)

  - L'eau se mélange aux sédiments et la **densité du mélange** devient **supérieure à celle de l'eau**



Naissance d'une turbidite

Vidéo : reconstitution d’un courant de turbidité



Introduction

I-Origine des sédiments

II-Transport des sédiments

Fluides

- **Caractéristiques des fluides :**

La capacité d'un fluide à mobiliser et transporter des sédiments dépend de nombreux facteurs dont les principaux sont sa **masse volumique**, sa **viscosité** et sa **vitesse**

	Glace	Eau de mer	Eau douce	Air
Masse volumique ρ	0,9 g/cm^3	1,03 g/cm^3	1 g/cm^3	**0,001 g/cm^3**
Viscosité dynamique η	**10^{14} Po**	10^{-2} Po	10^{-2} Po	10^{-5} Po
Sédiments transportés	Galets	Sable	Alluvions	Silts

Introduction

I-Origine des sédiments

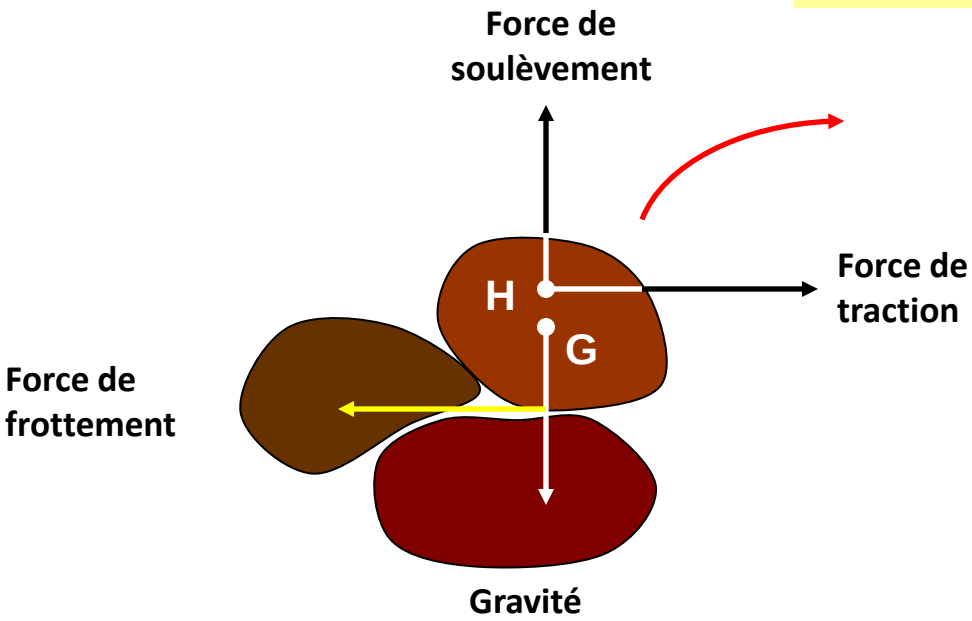
II-Transport des sédiments

Mise en mouvement des particules

Écoulement



Théorème de Bernouilli : Plus la vitesse de l'écoulement augmente plus la pression au-dessus des particules diminue



Selon la vitesse de l'écoulement et la taille des particules

Transport par **traction-saltation**

(Charge de fond)

Transport en **suspension**

(Matière en suspension)

Introduction

I-Origine des sédiments

II-Transport des sédiments

Transport des particules

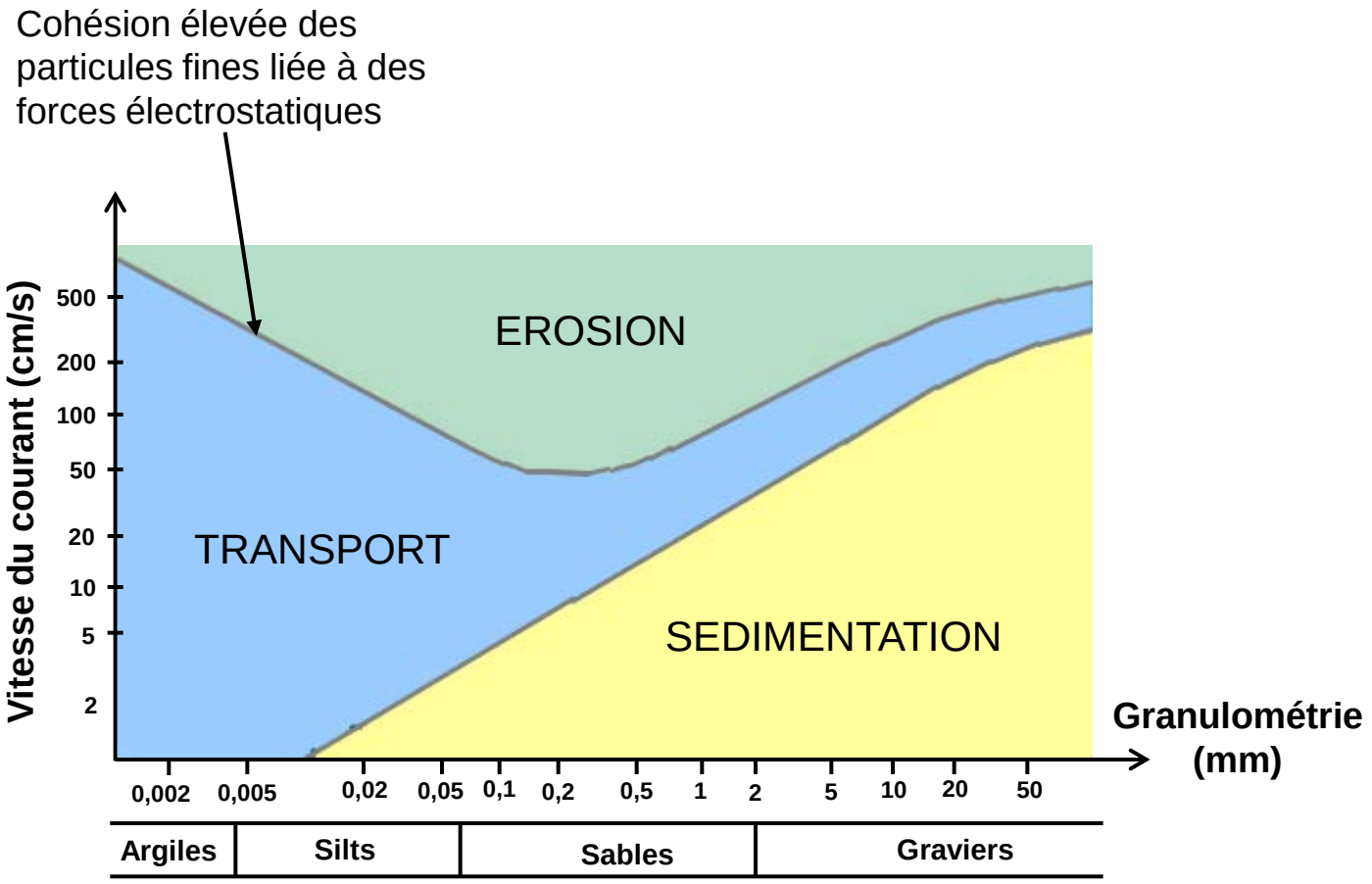


Diagramme de Hjulström

Introduction

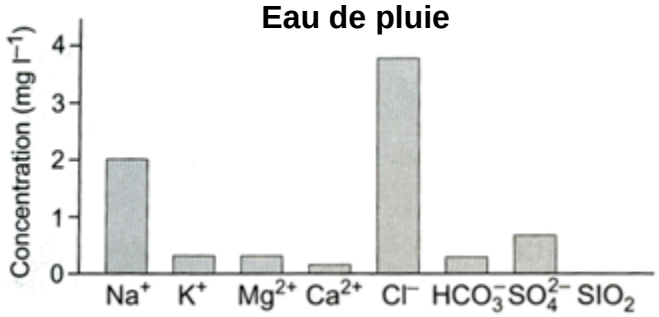
I-Origine des sédiments

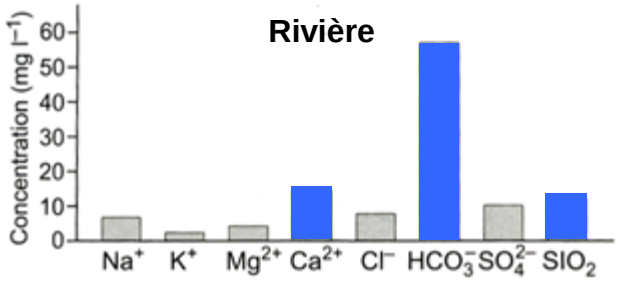
II-Transport des sédiments

Transport de solutés

Eau de pluie

(7 mg.L^{-1})





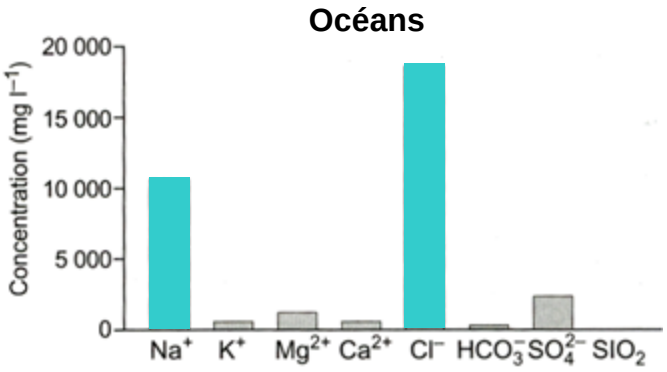
Rivière

Variable

(118 mg.L^{-1} en moyenne)

- **Charge dissoute calcique** en zone tempérée (bisiallitisation, dissolution des carbonates)

- **Charge dissoute siliceuse** en zone tropicale (monosiallitisation et latérisation)



Océans

(34,4 g.L^{-1})

La salinité des océans serait issue du dégazage et du lessivage des différentes assises au cours de la phase de différenciation terrestre

Sédimentation

- L'océan est en **équilibre dynamique** (entrées = sorties)

III- Sédimentation

Introduction

I-Origine des sédiments

II-Transport des sédiments

Plan

3.1 Sédimentation clastique

3.2 Sédimentation par précipitation ou bioprécipitation

3.2.1 Sédimentation carbonatée

3.2.2 Sédimentation siliceuse

3.2.3 Sédimentation évaporitique

3.2.4 Sédimentation de la matière organique (M.O.)

Introduction
I-Origine des sédiments
II-Transport des sédiments
III-Sédimentation
3.1 Sédimentation clastique

Stratification

Strate : Unité de sédimentation déposée sous des conditions physiques stables.
(Pas de notion d'épaisseur ou de composition)

• Stratification parallèle :

Litage horizontale des sables ou **laminations parallèles** des argiles



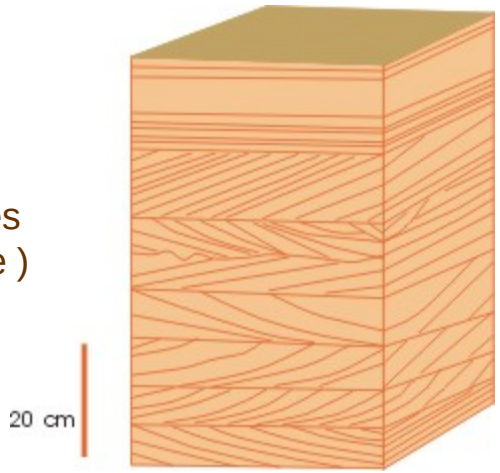
Stratifications planes sur une plage, le long de la berge d'un chenal

(Plage ou lit de rivières en crue)

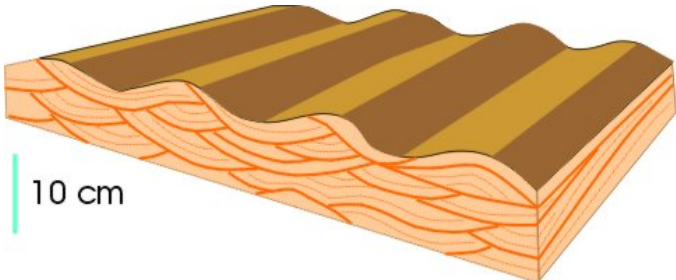
• Stratification entrecroisée :

- Stratifications en **arêtes de poisson**

(Inversions périodiques des courants de marée)



- Stratifications entrecroisées de **rides de vagues**

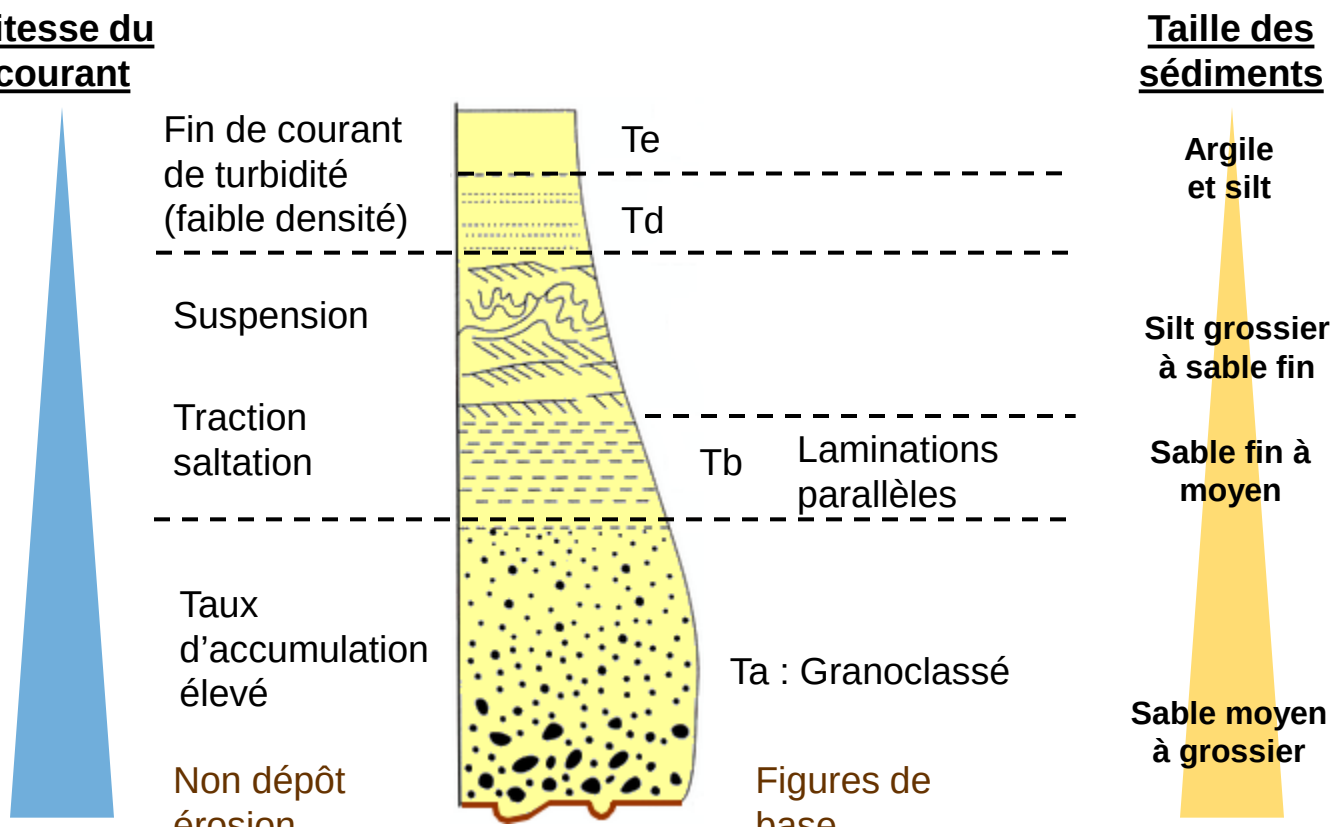


Introduction
I-Origine des sédiments
II-Transport des sédiments
III-Sédimentation
3.1 Sédimentation clastique

Stratification

- **Strates granoclassées :**
  - **Contact franc** avec les couches sous-jacentes
  - **Diminution de la granulométrie** moyenne selon un profil vertical

Dépôts dus aux courants de turbidité



Séquence de Bouma *: Turbidite argilo-silteuse de moyenne densité*

Introduction
I-Origine des sédiments
II-Transport des sédiments
III-Sédimentation
3.1 Sédimentation clastique

Stratification

- **Rythmites :**

Alternance de fines couches (lamines) de compositions, textures et couleurs différentes

Rythmites lacustres périglaciaires : varves

foncé	Argiles, silts	hiver
clair	Matériel détritique	été

Hanson et al, 2016 Quaternary Science review



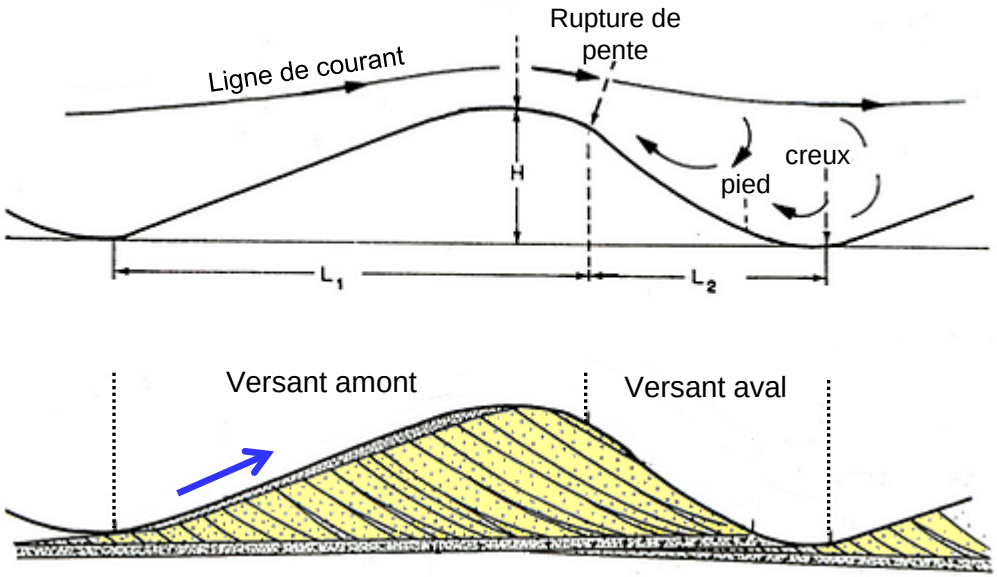
***Varves** (Lac glaciaire, Missoula, Washington)*

Permet de dater

Introduction
I-Origine des sédiments
II-Transport des sédiments
III-Sédimentation
3.1 Sédimentation clastique

Structures sédimentaires dues à l'écoulement

- **Rides de courant, mégarides, antidunes, rides balistiques ou dunes**



Cojan & Renard 3.3 p102

1. Le **courant transporte** les grains au-dessus de la crête

2. Les **grains retombant** se dispersent sur le versant aval (selon leur granulométrie)

3. Avec le temps l'angle de la pente avale augmente et devient instable

4. Une avalanche de grains réduit l'angle de la pente en créant une lamine inclinée en forme de biseau

Introduction
I-Origine des sédiments
II-Transport des sédiments
III-Sédimentation
3.1 Sédimentation clastique

Structures sédimentaires dues à l'écoulement

- **Rides de courant, mégarides :**

Petites rides : rivières et zone tidale



Ripples marks

Université de Liège, Faculté des Sciences, Dpt de Géologie



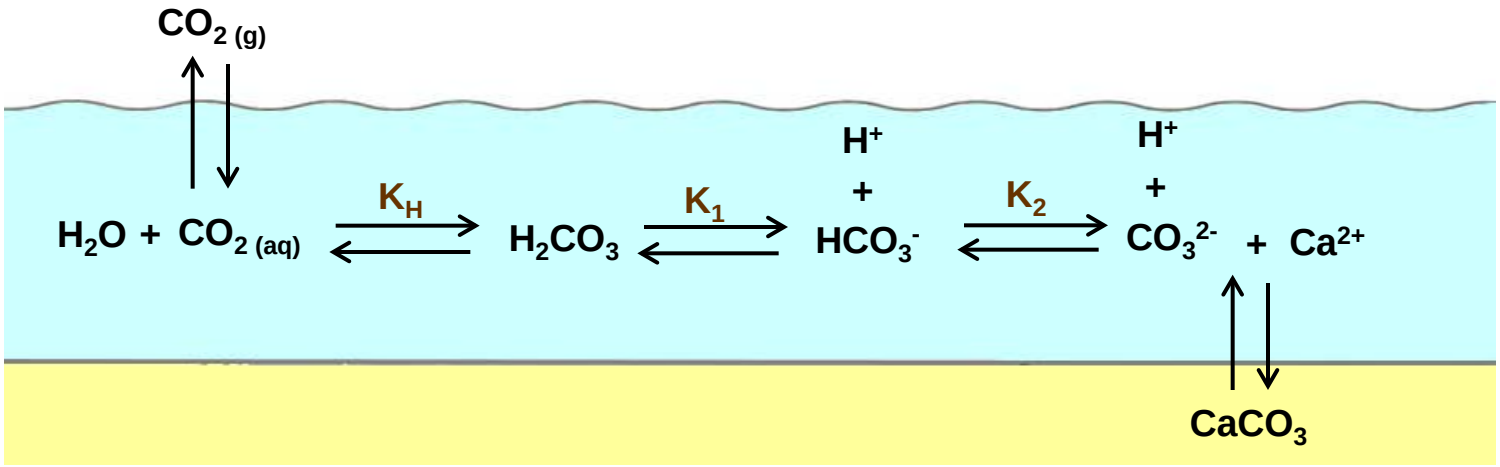
Mégarides : rivières sableuses, chenaux et plages

Mégarides *dans le chenal de la Somme, à marée basse*

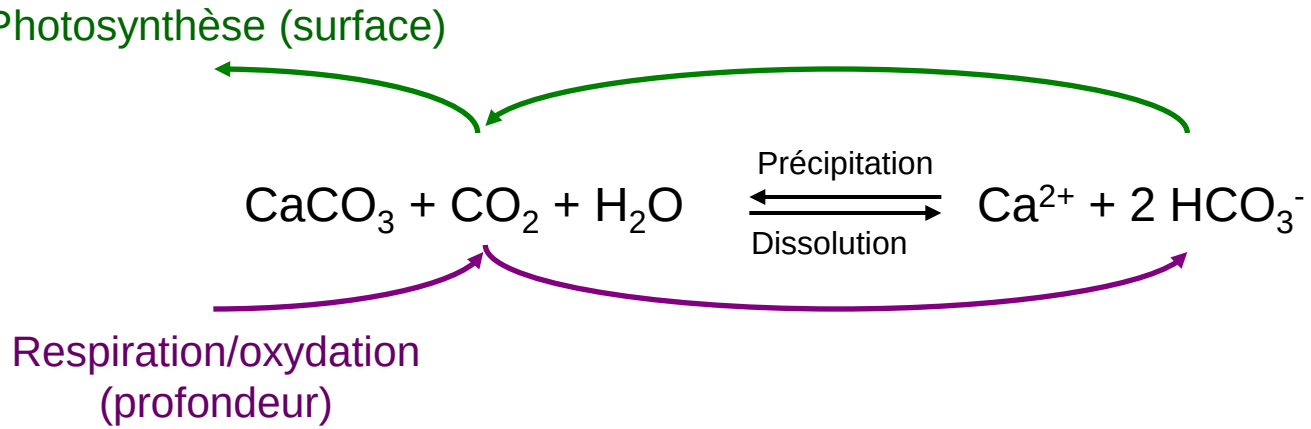
Introduction
I-Origine des sédiments
II-Transport des sédiments
III-Sédimentation
3.1 Sédimentation clastique
3.2 Sédimentation par précipitation

Sédimentation carbonatée

- **Le système des carbonates :**



- **Influence du pH et du CO_2**



Autres paramètres	
Augmentation	**Effet**
Température	**Précipitation**
Salinité	**Précipitation**

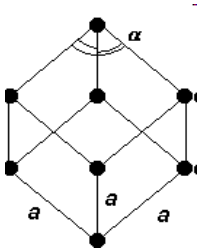
Introduction
I-Origine des sédiments
II-Transport des sédiments
III-Sédimentation
3.1 Sédimentation clastique
3.2 Sédimentation par précipitation

Sédimentation carbonatée

- **Minéralogie des carbonates :**

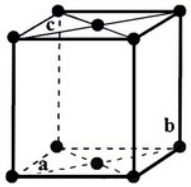
Qui contient du CO_3^{2-}

- $CaCO_3$ Calcite (rhomboèdrique)



Ca = 0,1 nm

Aragonite (orthorhombique)



- $CaMg\,[CO_3]_2$ Dolomite (alternance de couches de $CaCO_3$ et $MgCO_3$)

- $MgCO_3$: Magnésite



Introduction
I-Origine des sédiments
II-Transport des sédiments
III-Sédimentation
3.1 Sédimentation clastique
3.2 Sédimentation par précipitation

Sédimentation carbonatée

- **Précipitation non biotique :** De **calcite ou d'aragonite** en fonction de la période géologique

- **Production biogène :**

  - **Bio-induite** : Interaction entre les paramètres de l'environnement et les paramètres biologiques qui les modifient

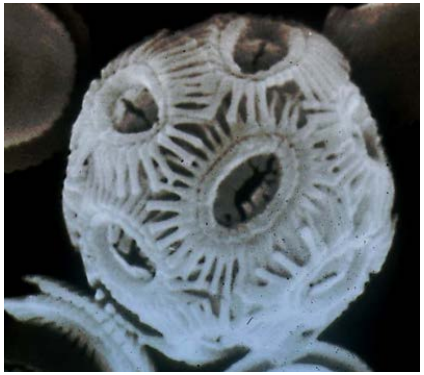
  - **Bio-contrôlée** : l'activité cellulaire commande la nucléation, le croissance, la morphologie et la localisation des cristaux

    Extracellulaire : Matrice moléculaire minéralisée par un transfert de cations actif (coquilles, coraux, ...)



Coquille de moule

Intracellulaire : Dans des compartiments cellulaires puis « expulsé » à l'extérieur de la cellule (Oursins, coccolithophoridés, certains foraminifères, ...)



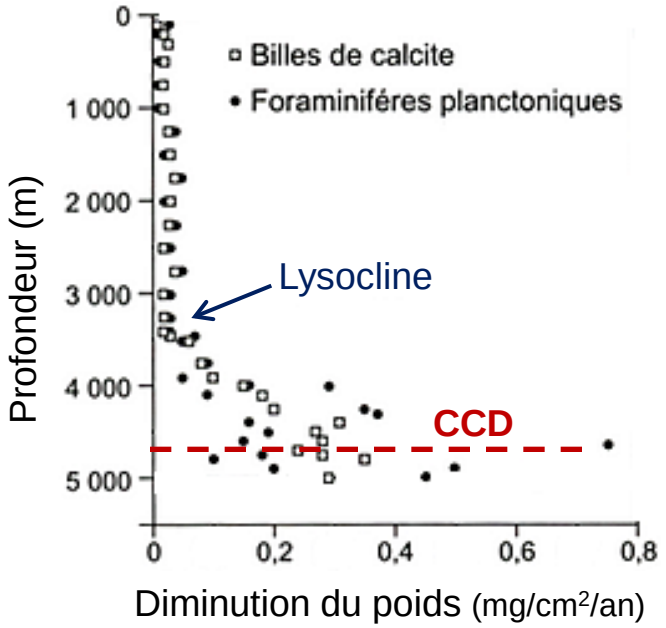
Coccolithophoridé

Introduction
I-Origine des sédiments
II-Transport des sédiments
III-Sédimentation
3.1 Sédimentation clastique
3.2 Sédimentation par précipitation

Sédimentation carbonatée

- **Production carbonatée pélagique :**

  - Niveau de compensation des carbonates



Cojan et Renard 4.19 p179

La dissolution des coquilles carbonatées est sélective et dépend de paramètres comme la minéralogie (par résistance croissante: aragonite-calcite Mg-calcite)

Mise en évidence de la sous-saturation des eaux océaniques profondes avec des billes de calcite

Lysocline : Profondeur correspondant à une brusque dissolution de $CaCO_3$ (3 500 m pour la calcite)

CCD : Profondeur correspondant à une compensation totale par dissolution du $CaCO_3$ venant de la surface (5000 m pour la calcite)

Introduction
I-Origine des sédiments
II-Transport des sédiments
III-Sédimentation
3.1 Sédimentation clastique
3.2 Sédimentation par précipitation

Sédimentation carbonatée

- **Production carbonatée marine :**

Système à l'équilibre : apports = sédimentation

	Productivité	Surface	
Domaine pélagique = océanique	Faible	Elevée	➡ 83% du $CaCO_3$ produit
Domaine de plateforme = près du continent	Forte	Faible	➡ 17% du $CaCO_3$ produit

Introduction
I-Origine des sédiments
II-Transport des sédiments
III-Sédimentation
3.1 Sédimentation clastique
3.2 Sédimentation par précipitation

Sédimentation siliceuse

- **Roches siliceuses :**

- Chert : Concrétions, nodules et lits siliceux intercalés dans les calcaires (Europe)

- **En lits** = recristallisation diagénétique ou sédimentation continue



Diatomite



Radiolarite



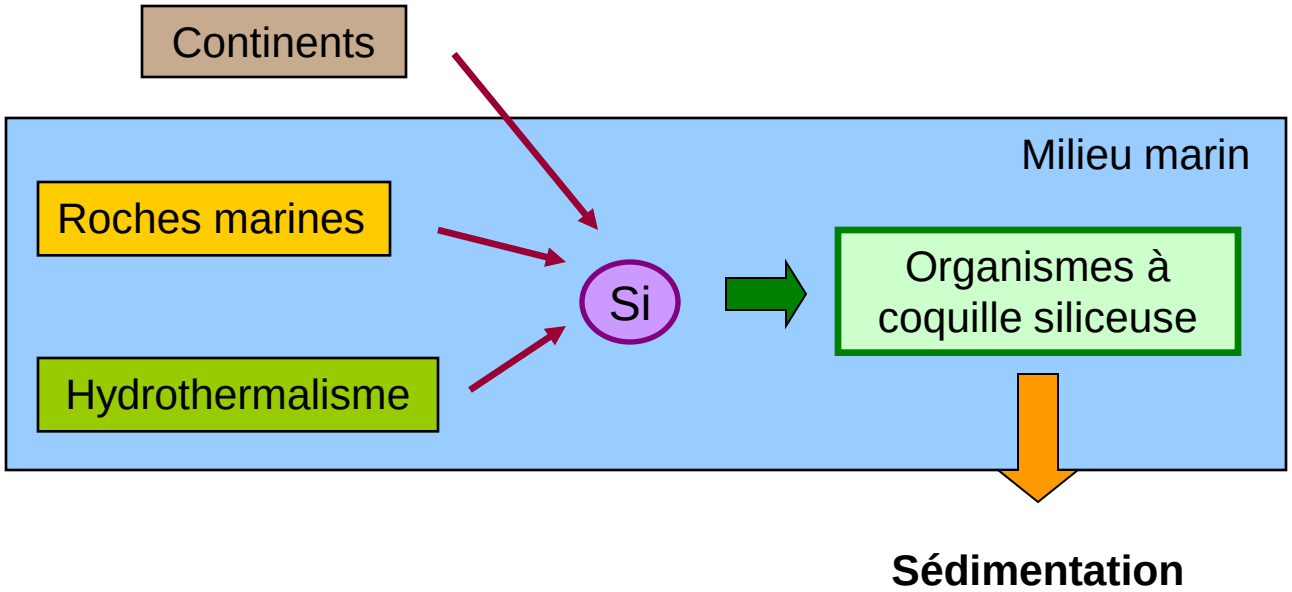


- **Nodulaire** : Remobilisation diagénétique de silice diffuse dans des carbonates (Silex)

Introduction
I-Origine des sédiments
II-Transport des sédiments
III-Sédimentation
3.1 Sédimentation clastique
3.2 Sédimentation par précipitation

Sédimentation siliceuse

- **Silice dans l'eau de mer :**
  - Sous forme particulaire
  - Sous forme dissoute



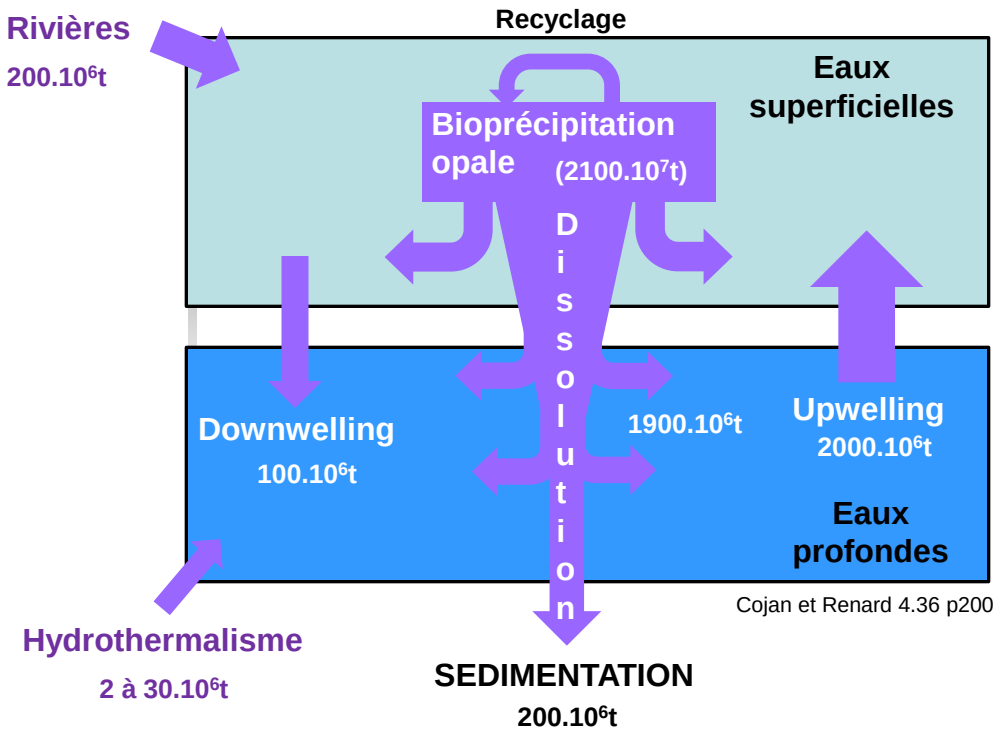
Précipitée par les **diatomées** (coquille), les **radiolaires** (coquille) sous forme d'Opale-A (SiO_2, nH_2O) dite amorphe

Introduction
I-Origine des sédiments
II-Transport des sédiments
III-Sédimentation
3.1 Sédimentation clastique
3.2 Sédimentation par précipitation

Sédimentation siliceuse

- **Silice dans l'eau de mer :**

Bilan de la silice océanique



Cojan et Renard 4.36 p200

- Apports essentiellement continentaux

- Seule **1% de la silice bioprécipitée sédimente** (les coquilles se solubilisent dès la mort des organismes et enrichissent les eaux profondes en silice)

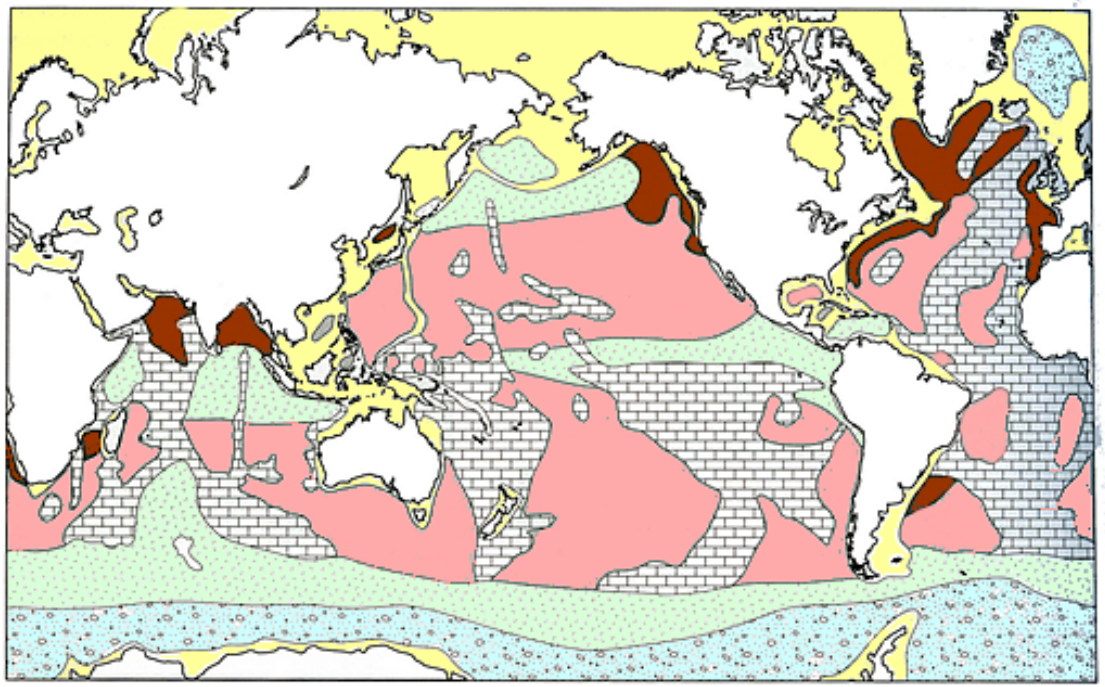
Introduction
I-Origine des sédiments
II-Transport des sédiments
III-Sédimentation
3.1 Sédimentation clastique
3.2 Sédimentation par précipitation

Sédimentation siliceuse

- **Dépôts siliceux marins :**

- **Zone de prolifération planctonique** (upwellings équatoriaux et hautes latitudes)

- **Profondeur d'eau importante** entre 4,5 km et 6 km (supérieure à la CCD, sous-saturation moindre)



Boues à diatomées : hautes latitudes

Boues à radiolaires : zone équatoriale

Cherts et silex lités

Introduction
I-Origine des sédiments
II-Transport des sédiments
III-Sédimentation
3.1 Sédimentation clastique
3.2 Sédimentation par précipitation

Sédimentation évaporitique

- **Minéralogie :**



Anhydrite
$CaSO_4$



Sylvite
KCl



Halite
NaCl



Gypse
$CaSO_4.2H_2O$



Carnallite
$KMgCl_3$, 6 H_2O

- **Importance :**

- **Économique** (valeur propre NaCl, KCl et leur capacité à piéger des hydrocarbures)
- **Tectonique** (diapir, couche savon)
- **Paléoenvironnementale** (marqueur des climats arides)

Introduction
I-Origine des sédiments
II-Transport des sédiments
III-Sédimentation
3.1 Sédimentation clastique
3.2 Sédimentation par précipitation

Sédimentation évaporitique

***

- **Caractéristiques :**

- Une très grande solubilité

Dépendant de la Température
(métastabilité en profondeur)



Gypse : 2,4 g/L (0°C)



Sylvite : 567 g/L (20°C)

→ Dépôt sous forte **aridité climatique**, forte concentration des saumures et un maintien à l'**abri de l'eau**

Marqueur de l'aridité climatique

- Une densité faible (<3)

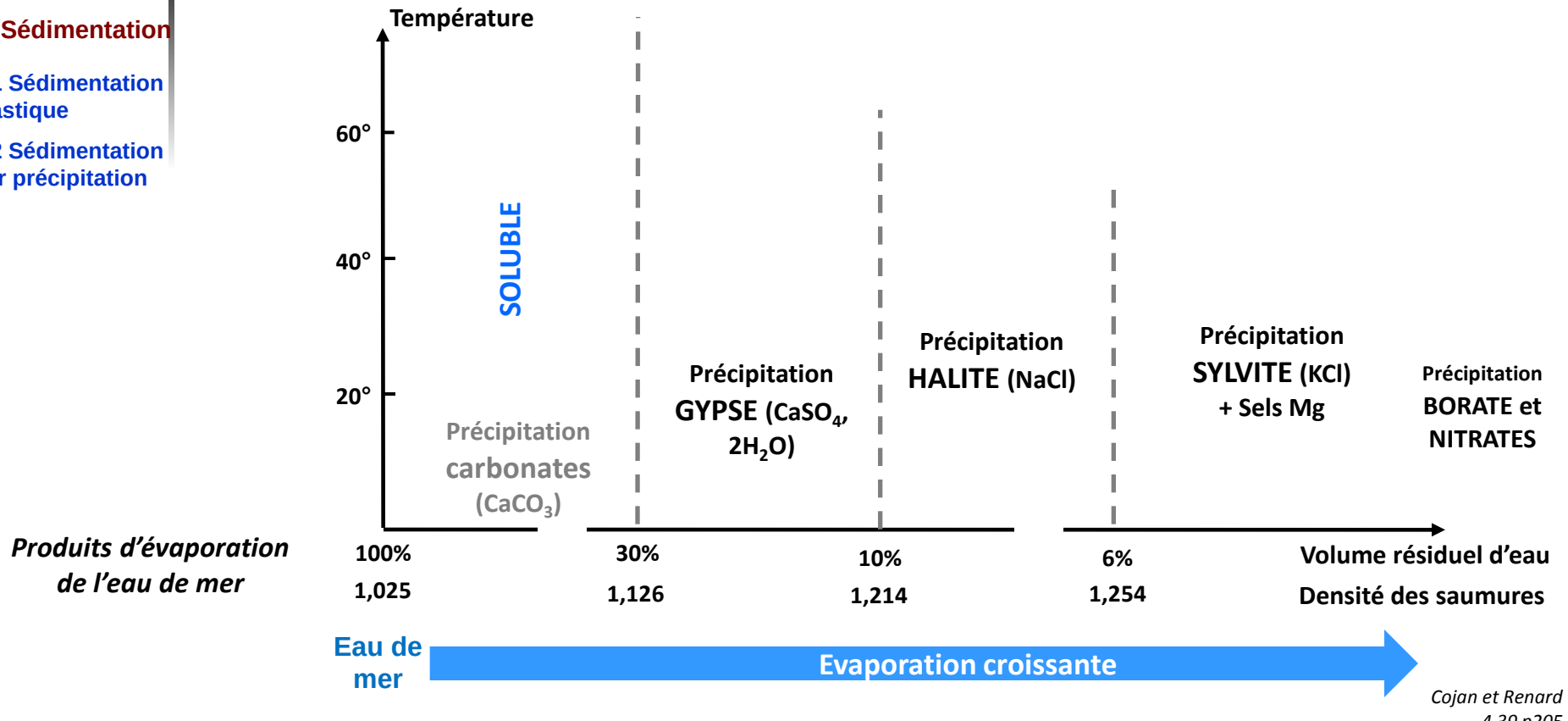
(sauf l'anhydrite) → **Déformation spontanée** et **migration** dans la colonne sédimentaire

Importance tectonique (diapirisme, couche savon, niveau de décollement)

Introduction
I-Origine des sédiments
II-Transport des sédiments
III-Sédimentation
3.1 Sédimentation clastique
3.2 Sédimentation par précipitation

Sédimentation évaporitique

- **Évaporites marines :**



Cojan et Renard 4.39 p205

De nombreuses évaporites sont hydratées et **participent à « l'évaporation »**

Les séries évaporitiques sont souvent des séquences cycliques

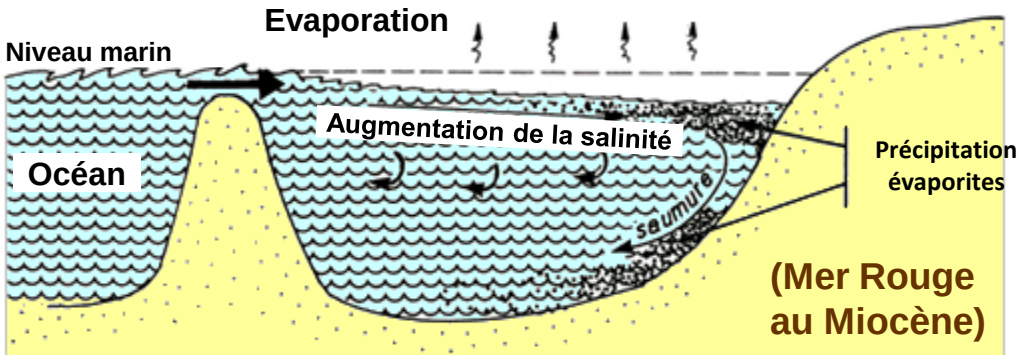
Introduction
I-Origine des sédiments
II-Transport des sédiments
III-Sédimentation
3.1 Sédimentation clastique
3.2 Sédimentation par précipitation

Sédimentation évaporitique

• Modèles de dépôt des évaporites marines :

- Précipitation subaquatique

- Bassin profond d'eau profonde



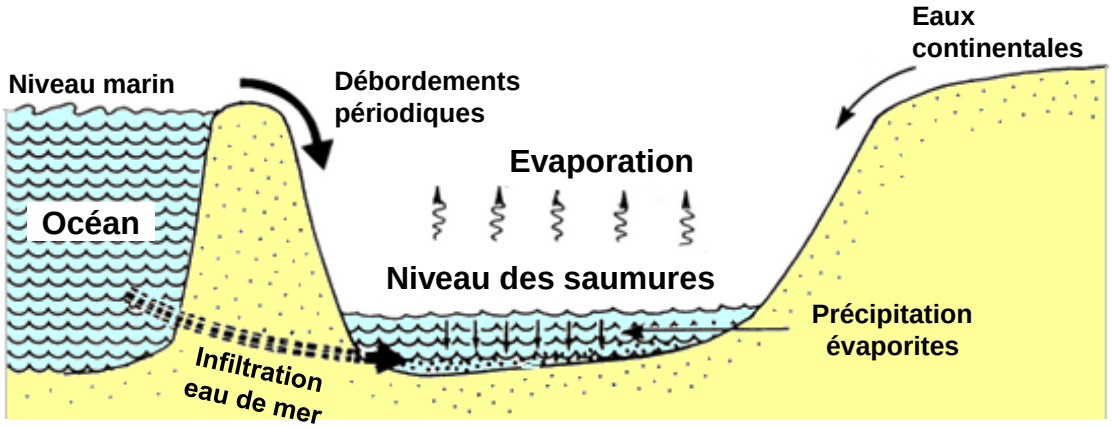
➡ restriction de la communication par tectonique ou eustatisme

Augmentation de la salinité en profondeur

⬇

Stratification des eaux et apparition d'une halocline

- Bassin profond d'eau peu profonde



➡ isolé de l'océan, rempli périodiquement par débordement

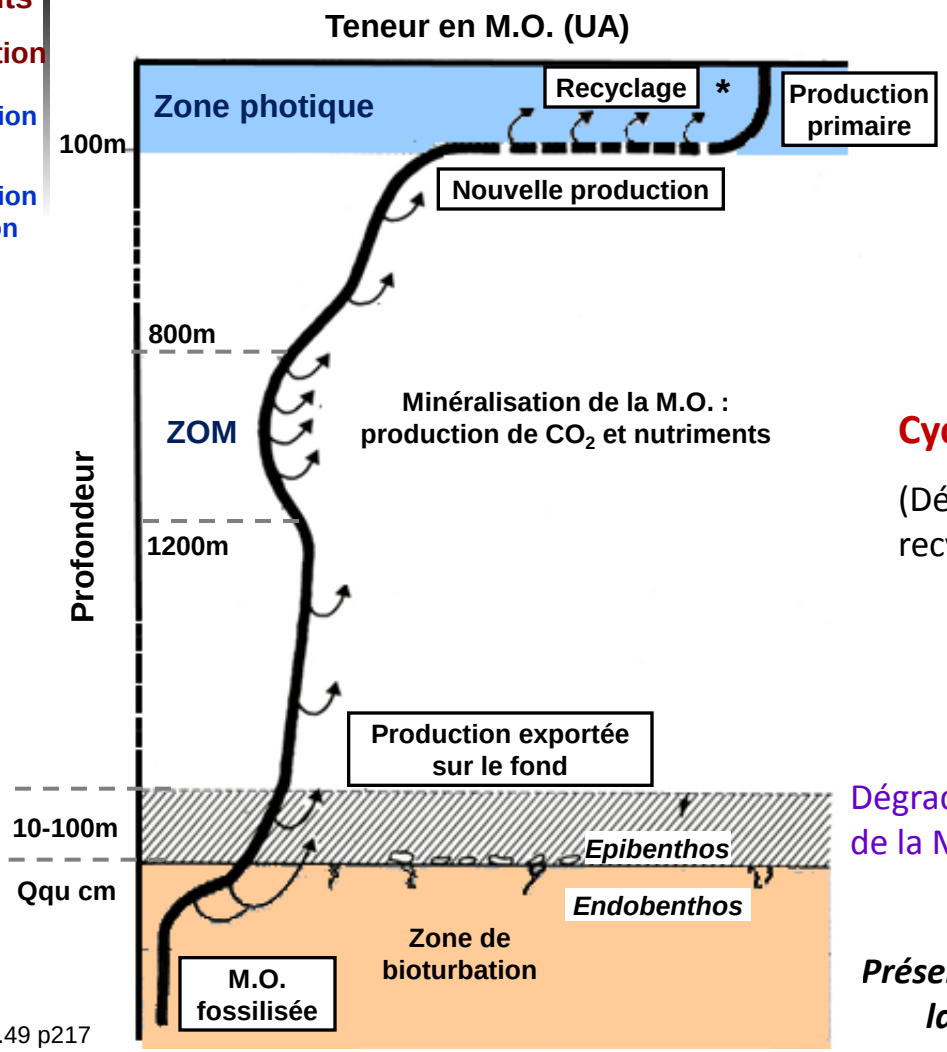
(Méditerranée au Messinien)

Cojan et Renard
4.42 p208

Introduction
I-Origine des sédiments
II-Transport des sédiments
III-Sédimentation
3.1 Sédimentation clastique
3.2 Sédimentation par précipitation

Sédimentation de la matière organique

- **Origine de la M.O. marine:**



Cojan et renard 4.49 p217

Photosynthèse :

$$6CO_2 + 6H_2O = C_6H_{12}O_6 + 6O_2$$

10^{10} t/an

99% → **Cycle biologique** : (Dégradation, recyclage rapide)

1% → **Cycle sédimentaire** : (Évolution vers pétrole, charbon, gaz ...)

Dégradation ultime de la M.O.

Préservation de la M.O.

* Recyclage = Consommation I

ZOM : Zone à oxygène minimum

Introduction
I-Origine des sédiments
II-Transport des sédiments
III-Sédimentation
3.1 Sédimentation clastique
3.2 Sédimentation par précipitation

Sédimentation de la matière organique

- **Méthodes d'étude, composition et origine de la M.O. sédimentaire :**

- Pyrolyse Rock Eval :

Chauffer 100 mg de roche de 300 à 600°C à 25°C/min sous atmosphère inerte et oxyder le carbone résiduel

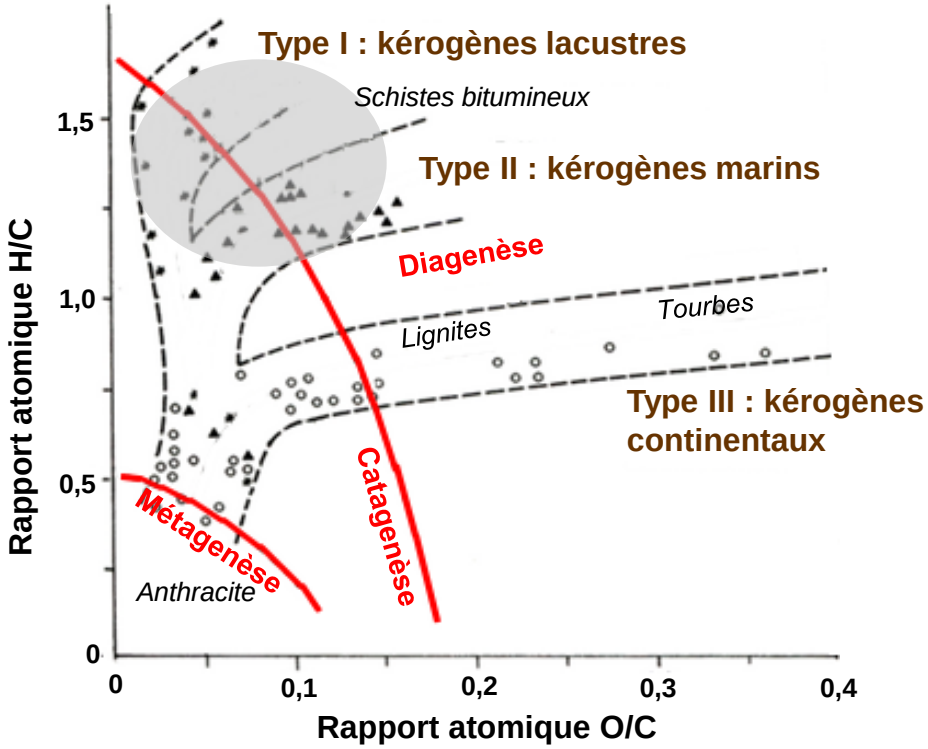


Diagramme de Van Krevelen

Type I : Kérogènes d'**origine lacustre** (Green River Shales)

Type II : Kérogènes d'**origine marine** (Lias du Bassin parisien) – dérivée du plancton

Type III : Kérogènes d'**origine continentale** (Westphalien du nord du bassin parisien) dérivé de plantes terrestres

Cojan et renard 4.52 p220

Introduction
I-Origine des sédiments
II-Transport des sédiments
III-Sédimentation
3.1 Sédimentation clastique
3.2 Sédimentation par précipitation

Sédimentation de la matière organique

- **Les environnements de sédimentation :**

Période de baisse du niveau marin → Favorable aux charbons

- **Gisements paraliques** : deltas et lagunes en bordure d'océan

(Bassin Belge, Nord de la France)

- **Gisements limniques** : lacs continentaux

(Montagne Noire, Lorraine, Massif Central)

Période de hausse du niveau marin → Favorable aux pétroles

- Essentiellement sur **plateforme continentale**

(Golfe de Guinée, plateforme angolaise)

Introduction
I-Origine des sédiments
II-Transport des sédiments
III-Sédimentation
3.1 Sédimentation clastique
3.2 Sédimentation par précipitation

Sédimentation de la matière organique

- **Modalités de conservation de la M.O. – facteurs :**

Oxydation de la M.O. : $CH_2O + O_2 = CO_2 + H_2O$

- Profondeur de dépôt :

La M.O. s'oxyde progressivement dans la colonne d'eau

- Granulométrie du sédiment :

Faible porosité et perméabilité du sédiment permettent d'éviter l'oxygénation de l'eau interstitielle et l'oxydation de la M.O.

(grès 0,05%, calcaires 0,3% et roches pélitiques 2% de M.O.)

- Taux de sédimentation :

Enfouissement rapide protège la M.O. de l'oxydation

- Conditions d'oxydo-réduction :

Des **eaux anoxiques** préservent la M.O. mais même sans O_2 des fermentations anaérobies bactériennes (à NO_3^- et SO_4^{2-}) dégradent la M.O.

- Production primaire de M.O. :

Plus la **production** sera **forte**, plus la probabilité de dégradation sera faible

(Estuaires, plateformes, upwellings)

anoxique = sans O_2

Introduction
I-Origine des sédiments
II-Transport des sédiments
III-Sédimentation
3.1 Sédimentation clastique
3.2 Sédimentation par précipitation

Sédimentation de la matière organique

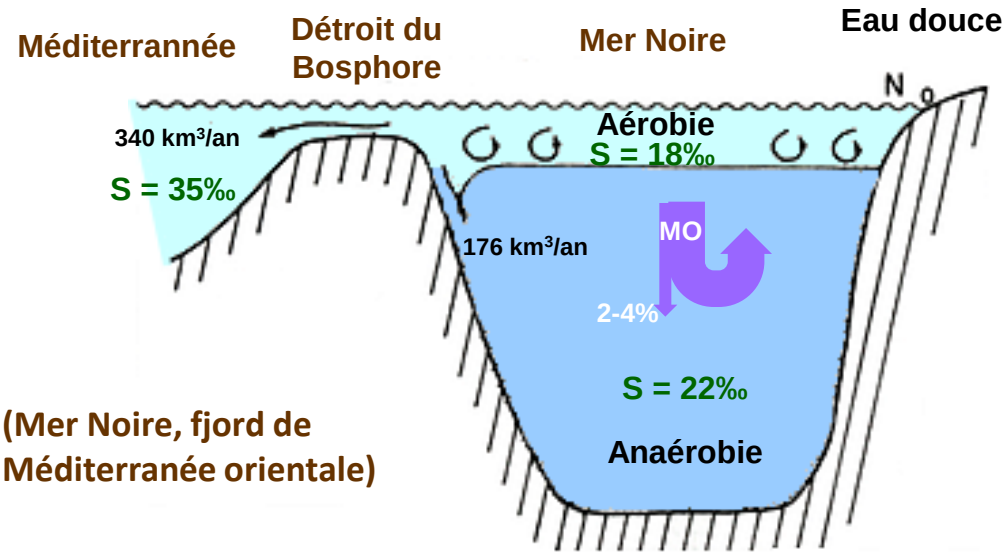
- **Modalités de conservation de la M.O. – Modèles :**

- Modèle euxinique

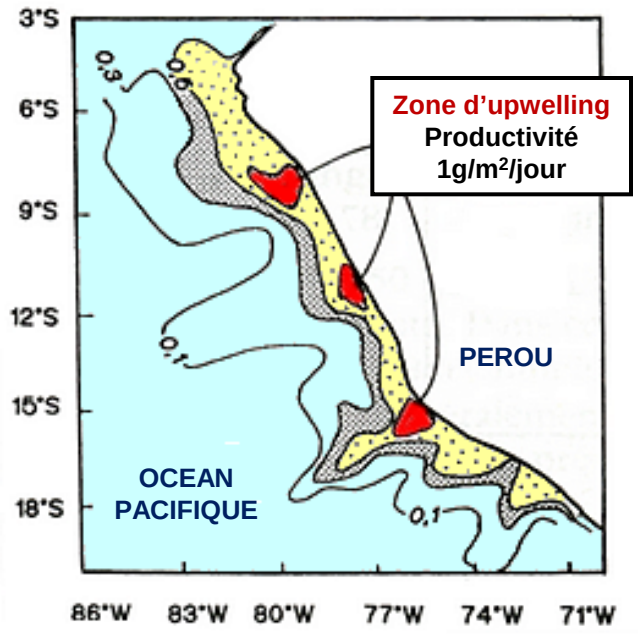
Productivité M.O. : moyenne

Conditions réductrices

COT 5%



(Mer Noire, fjord de Méditerranée orientale)



Cojan et renard 4.53 p223

- Modèle d'upwelling

Productivité M.O. : très forte

Conditions oxydantes

COT 10%

(Marge du Pérou)

COT : Carbone organique total

IV- Diagenèse

Introduction
I-Origine des sédiments
II-Transport des sédiments
III-Sédimentation
IV-Diagenèse

Plan

4.1 Les étapes

4.2 Les grands mécanismes

4.1.1 Mécanisme physique : compaction
4.1.2 Transformations chimiques

4.3 Exemple de la diagenèse des sédiments clastiques

4.1 Les grandes étapes

Introduction

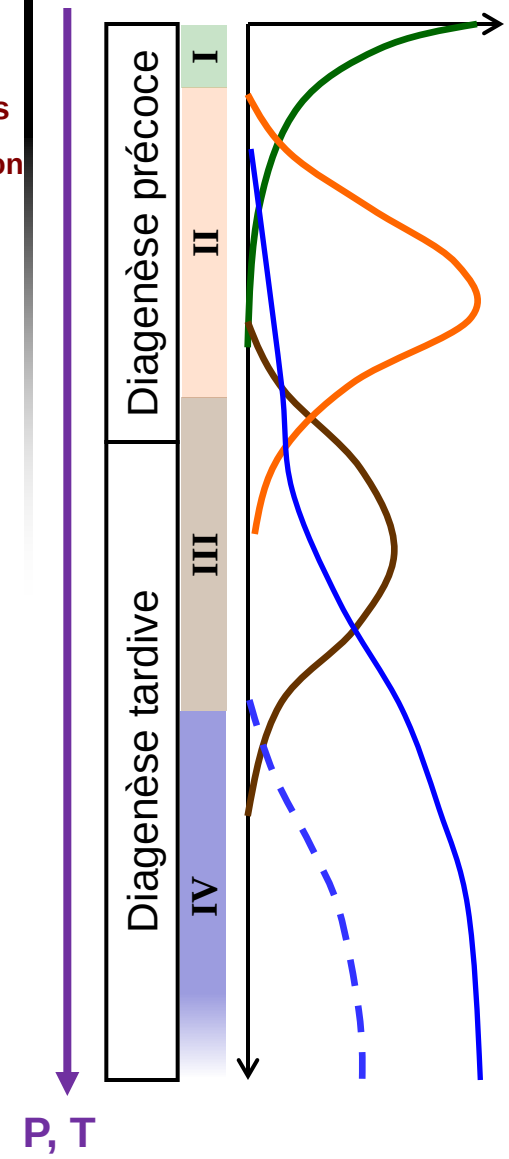
I-Origine des sédiments

II-Transport des sédiments

III-Sédimentation

IV-Diagenèse

***

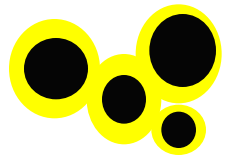


1. Diagenèse chimique et biochimique :

- Dégradation de la Matière organique
- Dissolution précoce des carbonates et de la silice

2. Authigenèse (épigenèse, néoformations)

- Précipitation de sulfures, argiles, oxydes à partir de fluides riches en ions



3. Cimentation et concrétionnement

- Disparition des pores et liaison entre les grains
- Formation de concrétions : nodules, géodes

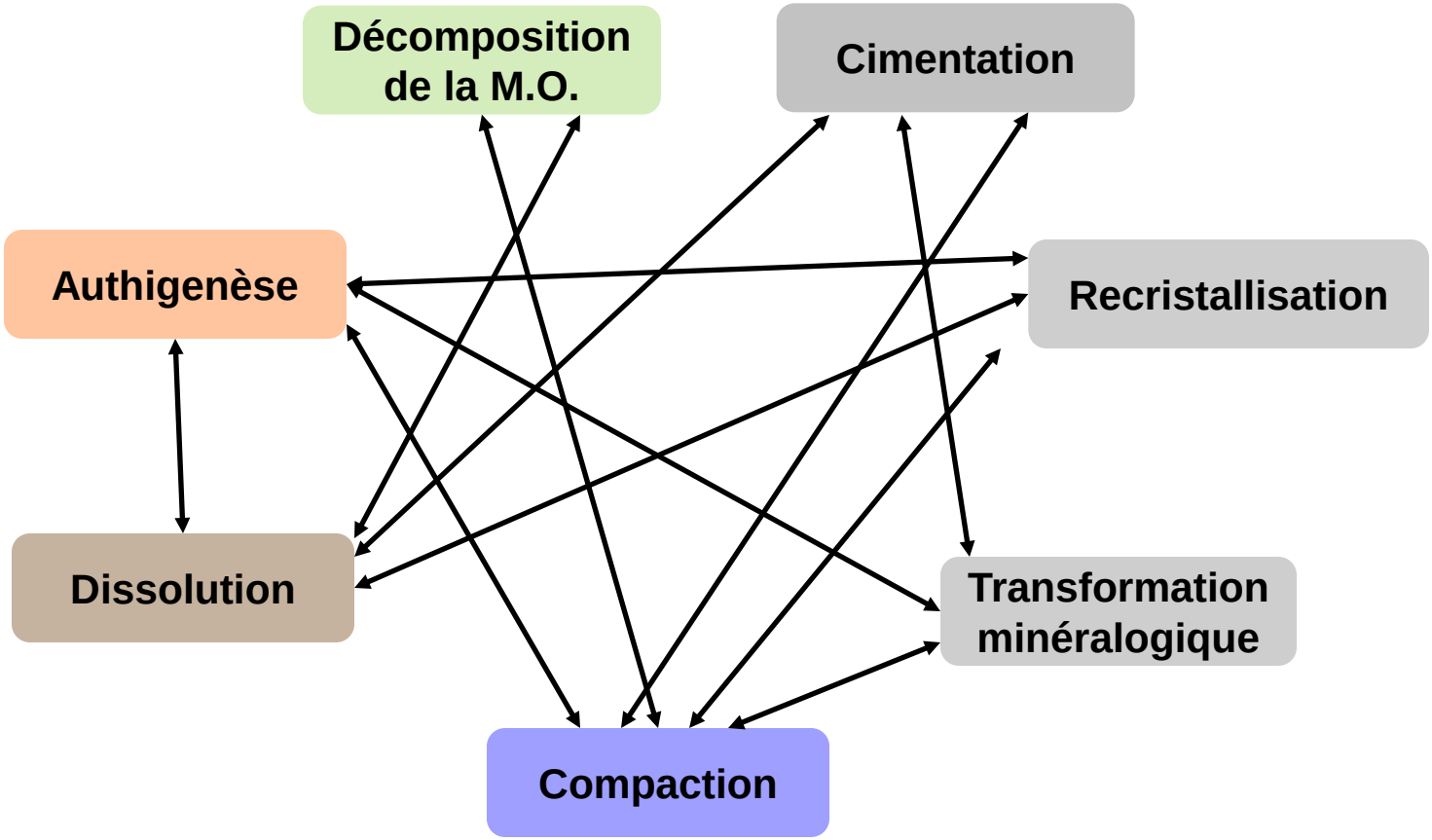
→ Redistribution du matériel sédimentaire

4. Déshydratation, compaction

Mais en réalité un continuum de phénomènes tous couplés et interdépendants

Introduction
I-Origine des sédiments
II-Transport des sédiments
III-Sédimentation
IV-Diagenèse

6 grands phénomènes



Mais en réalité tous couplés et interdépendants

Introduction

I-Origine des sédiments

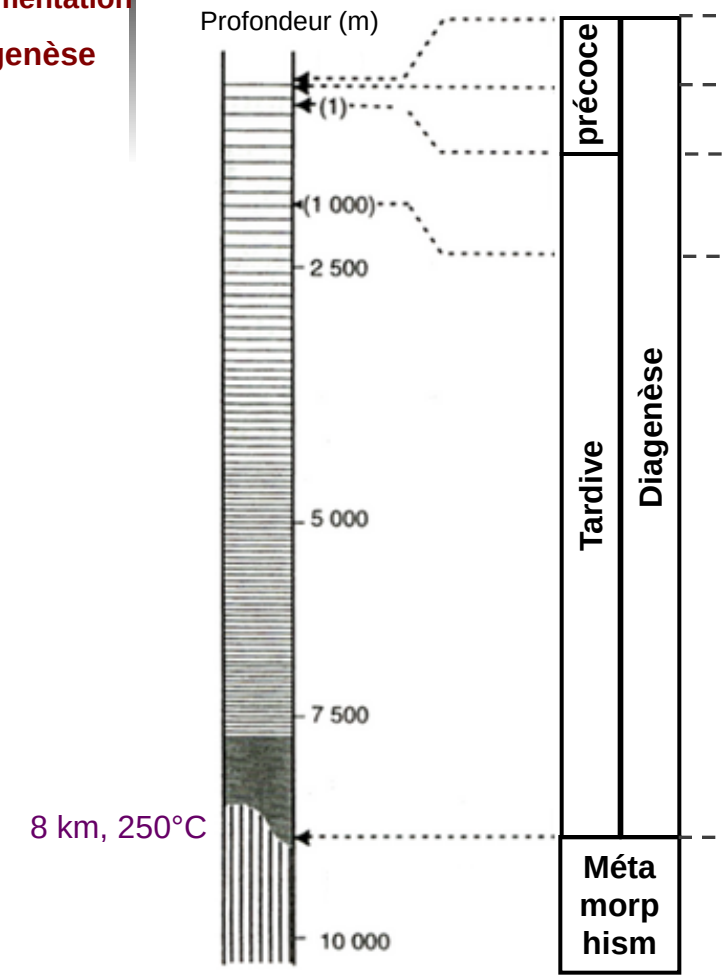
II-Transport des sédiments

III-Sédimentation

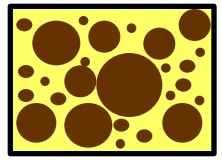
IV-Diagenèse

Mécanisme physique : compaction

Compaction : Tassement d'une couche sédimentaire sous l'action du poids des sédiments sus-jacents

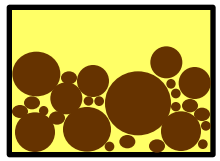


Sédiment



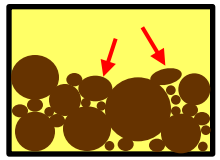
Compaction mécanique

Assemblage plus compact (expulsion de l'eau interstitielle)



Compaction chimique

Déformation et dissolution des particules

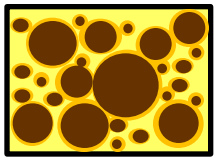


Cojan et Renard 5.1 p236

Introduction
I-Origine des sédiments
II-Transport des sédiments
III-Sédimentation
IV-Diagenèse

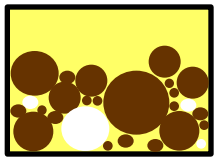
Transformations chimiques

- **La précipitation :**



  - **Cristallisation** de solides à partir d'une solution aqueuse
  - **Réduction de la porosité** par cimentation des pores (Roche tendre → Roche dure)

- **La dissolution :**



  - Inverse de la précipitation
  - Apparition d'une **porosité secondaire**, dissolution des ciments
  - **Pression-dissolution** : dissolution au niveau des points de contact des particules



Contact concavo-convexe

➡ Forte réduction de la porosité

Galets impressionnés

Cojan et Renard 5.6 p242

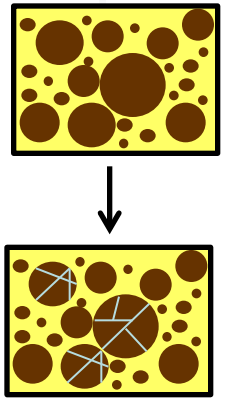
Introduction
I-Origine des sédiments
II-Transport des sédiments
III-Sédimentation
IV-Diagenèse

Transformations chimiques

- **La recristallisation :**

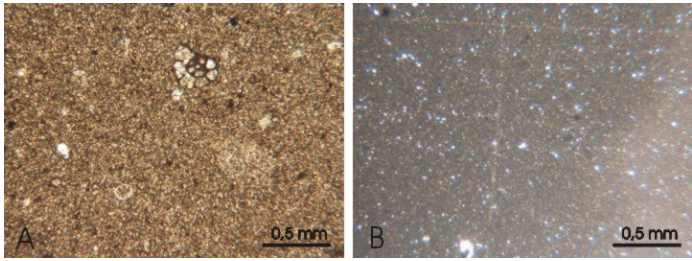
Pas de changement de composition des minéraux mais une évolution vers une **plus grande stabilité**

- Recristallisation d'un groupe de petits cristaux en un cristal unique



Opale A : Amorphe

Opale CT : Cristobalite-tridymite



Boue recristallisée, et boue à grain fin, non recristallisée

- Transformation en des formes cristallines plus stables

- $CaCO_3$ (aragonite) → $CaCO_3$ (calcite)

$$\Delta E = E_{calcite} - E_{aragonite} = -0,25 < 0$$

- Opale A → Opale CT → Quartz

- **Les fluides :**

Leur rôle est primordial pour le **transport des composés dissous**

4.3 Exemple de la diagenèse des sédiments clastiques

Introduction

I-Origine des sédiments

II-Transport des sédiments

III-Sédimentation

IV-Diagenèse

Sables et sédiments clastiques

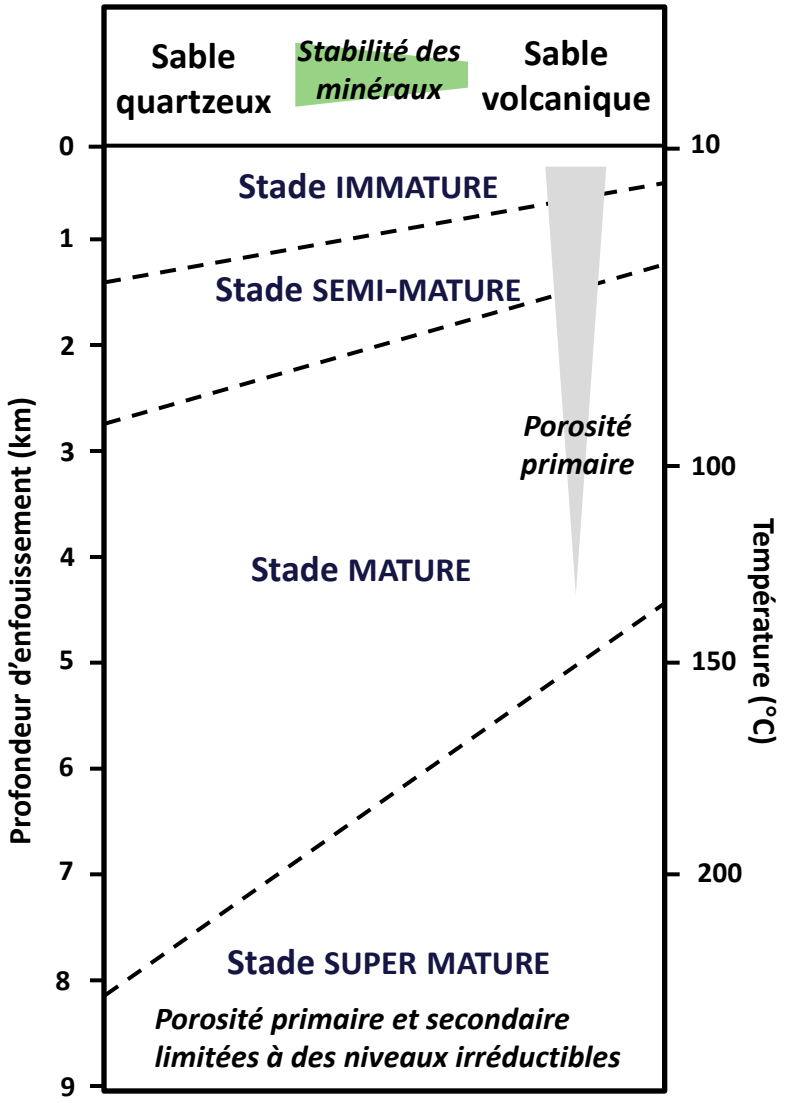
Processus

Compaction mécanique

Compaction chimique

Sous le signe de la compaction

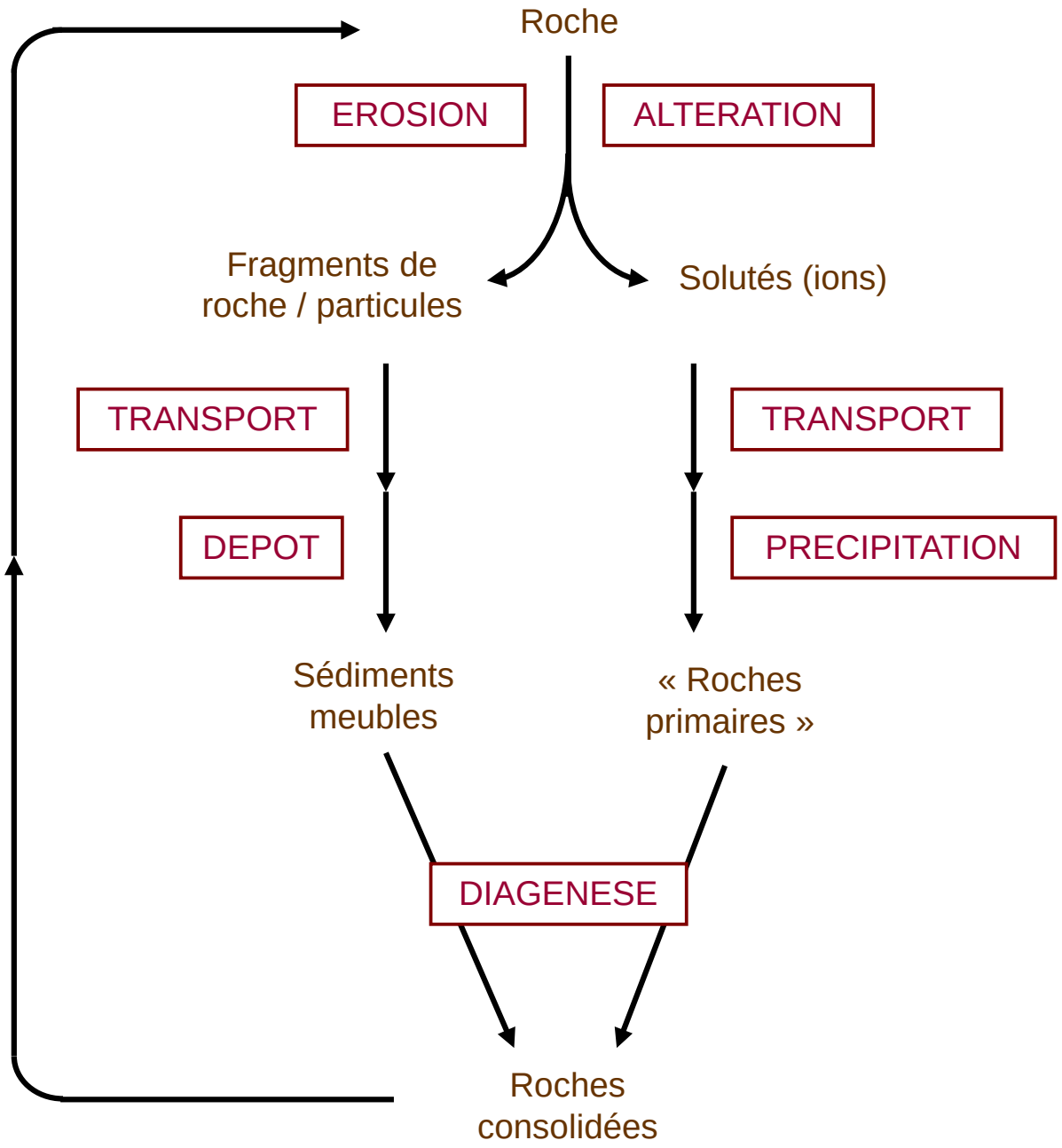
Grès



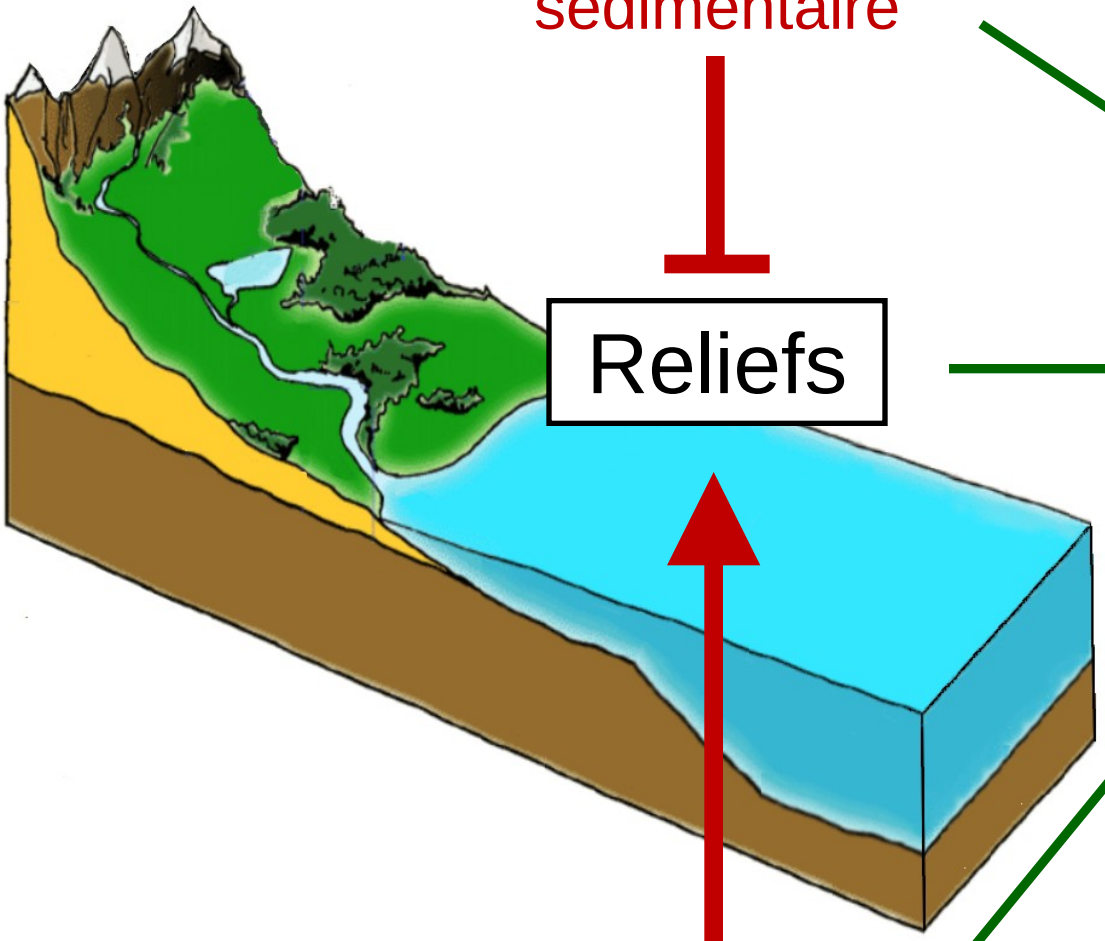
Nature du ciment dépend de la nature des sédiments, des roches alentours et des circulations de fluides

Cojan et Renard 5.17 p245

Conclusion


Roche
EROSION
ALTERATION
Fragments de roche / particules
Solutés (ions)
TRANSPORT
TRANSPORT
DEPOT
PRECIPITATION
Sédiments meubles
« Roches primaires »
DIAGENESE
Roches consolidées

Conclusion



Processus sédimentaire

Climat

Reliefs

Paysages

Tectonique

Lithologie