

PSTE 4228 Archives Environnementales



Cours 1

Apports, Chimie et Minéralogie des Archives Environnementales

Laurent Charlet

Groupe de Géochimie de l'Environnement
LGIT (futur Institut des Sciences de la Terre)

Website: <http://tinyurl.com/charlet>

Mail: charlet38@gmail.com

1. Forages
 - Reconnaissance sismique et bathymetrique
 - Méthodes de forage
2. Apports
 - Apports organiques
 - Apports inorganiques (détritiques ou éoliens)
3. Datation
 - Datations relatives (varves, tephra)
 - Datations absolues (isotopes)
4. Analyse chimique
 - Mesures chimiques du solide en continu: FluoX
 - Échantillonnage de l'eau porale
 - Mesures de chimie de l'eau
5. Minéralogie
 - Méthodes continues (optiques, magnétiques)
 - Méthodes discontinues (DRX)

1. Forages



Le prélèvement dans un lac



Le carottier

Carottes sédimentaires marines

Le Marion-Dufresne
(IPEV)

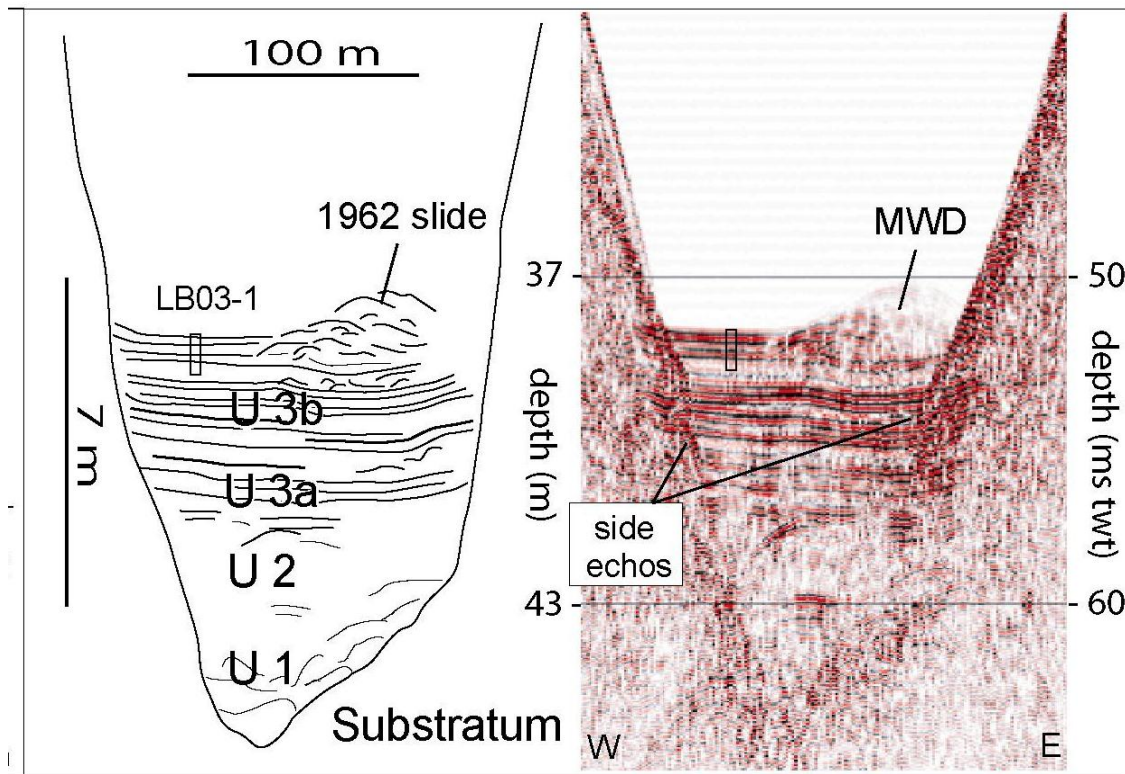
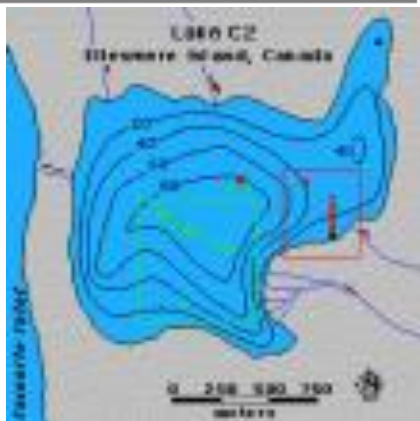
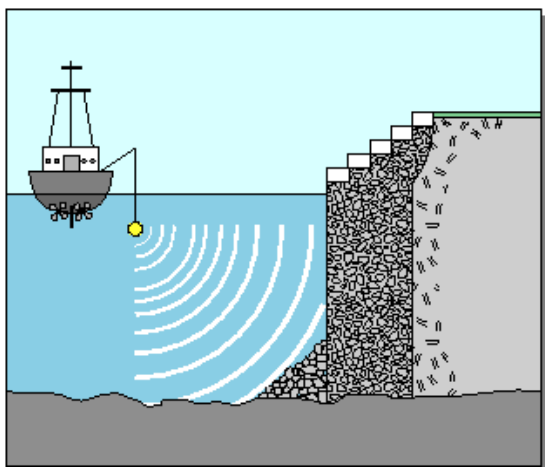


Sédiments: mesures d'isotopes (^{18}O , ^{210}Pb , Cs..), carbonates, susceptibilité magnétique, métaux,..

Reconnaissance bathymétrique et sismique

Sonar: bathymétrie

Sismique réflexion: stratification du sédiment



Lac Blanc d'Huez, Chapron et al., 2007

Méthodes de forage de sédiments



Benne: Sédiments mélangés

(ex: fond de l'océan au cours d'une croisière)

Carotte: sédiment intact

Si porosité conservée + absence de mélange

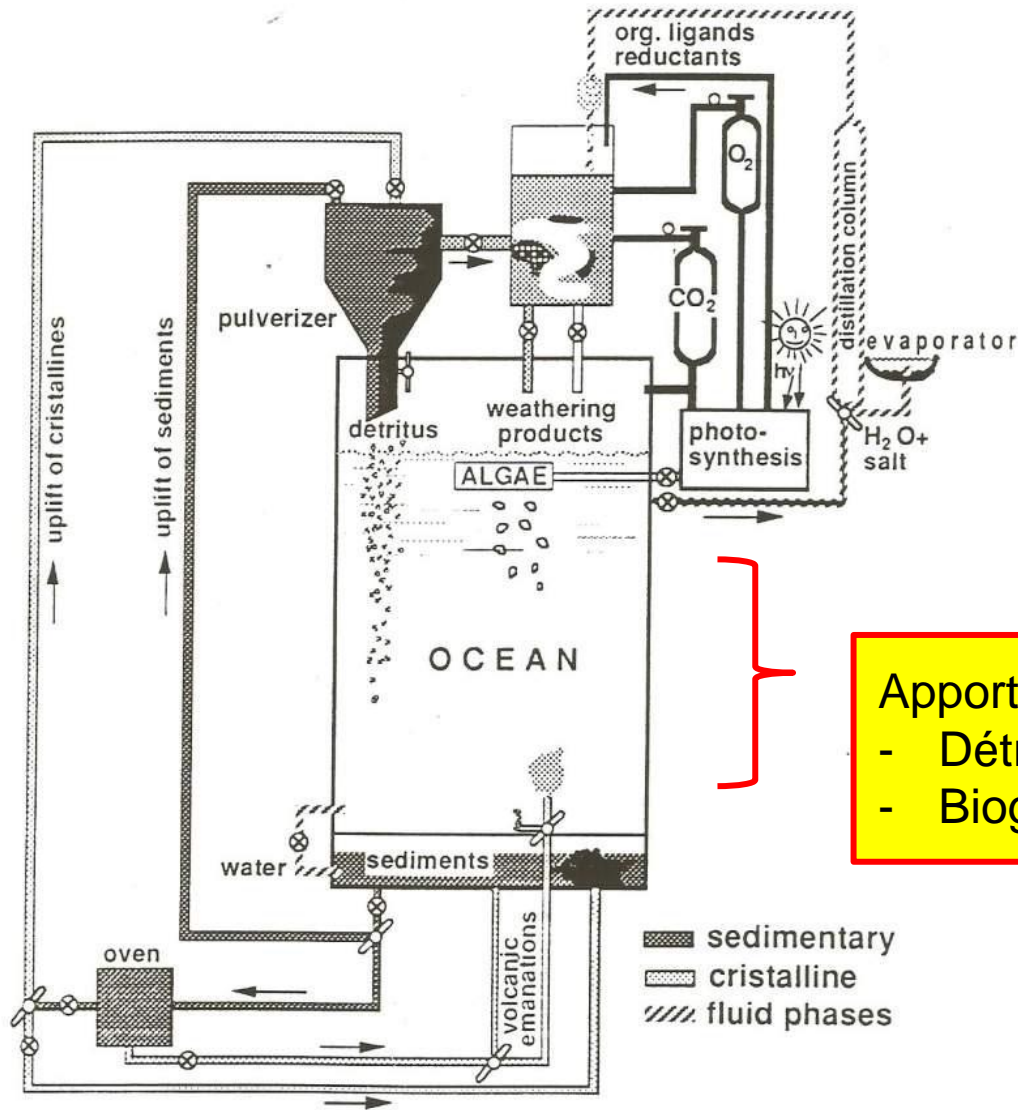


Carottage de tourbières

- Du carottier manuel aux forages professionnels



2. Apports (lac, océan)

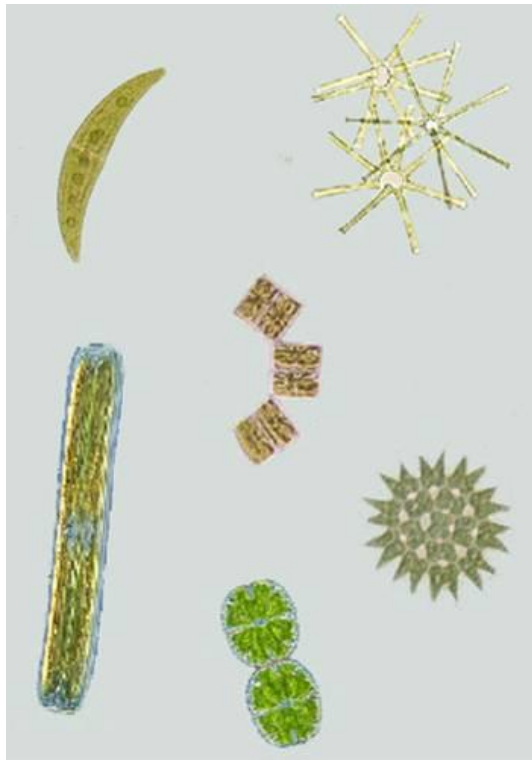


Apports:

- Détritique: info sur les sources
- Biogenique: info sur l'eau

Apports biogéniques

Production primaire nette **gC m⁻² an⁻¹**



Marais salés 1000-7600

Océan au large 125

Zones de Upwelling 500

Plateau continental 300

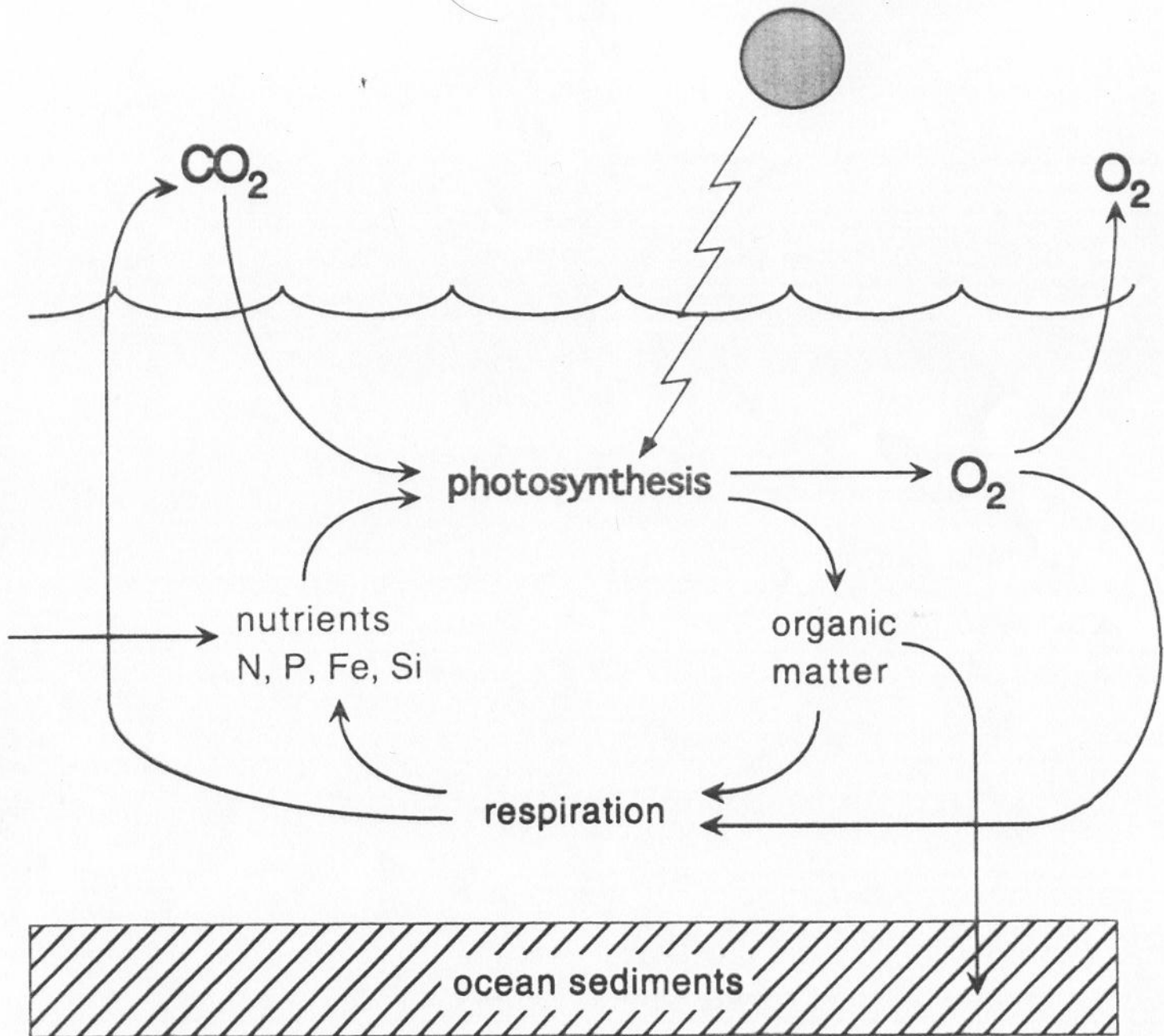
Barrière de corail 2500

Estuaires 1500

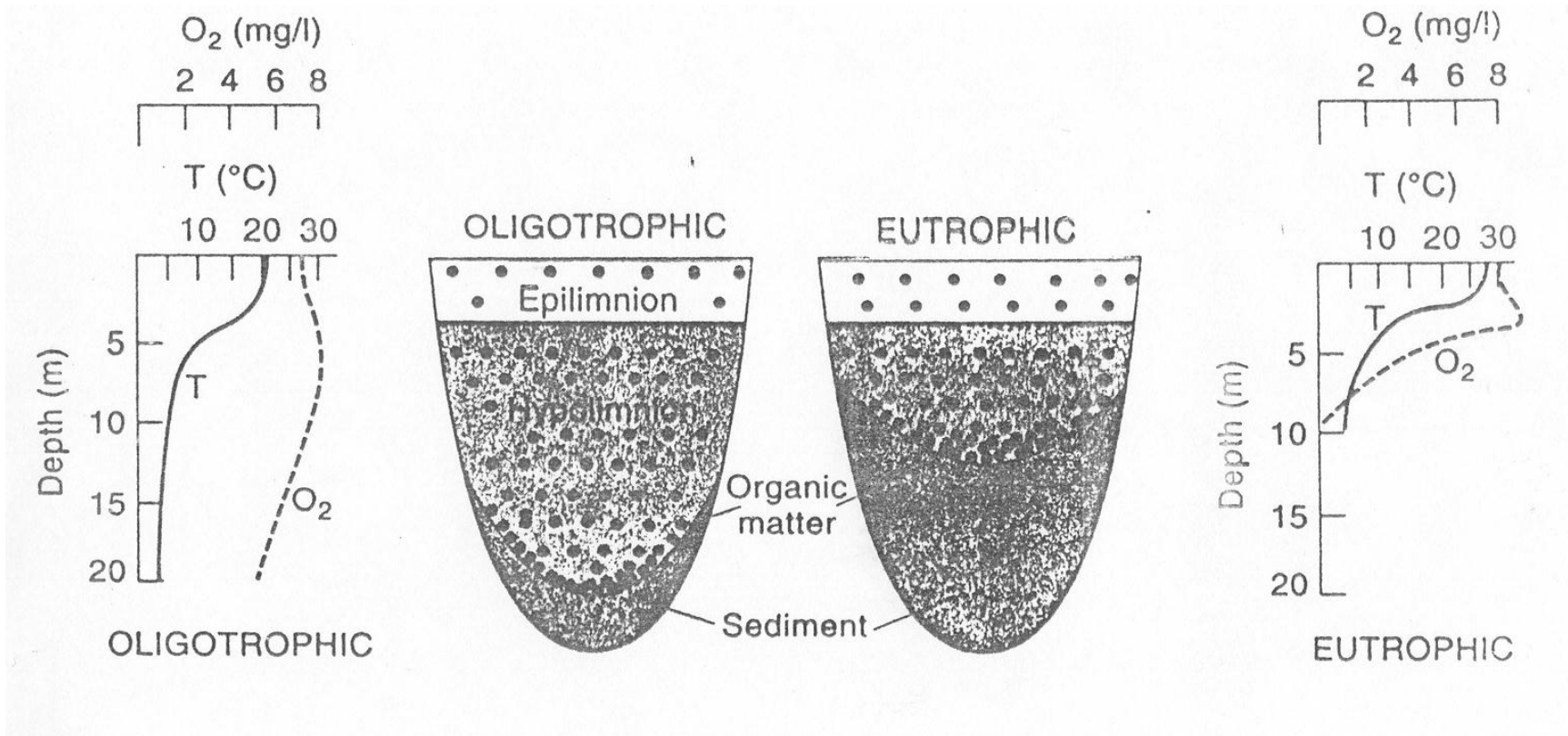
Environnements terrestres

737

C
O
N
T
I
N
S
E
S



Apports biogéniques: cas des lacs/mers eutrophisés



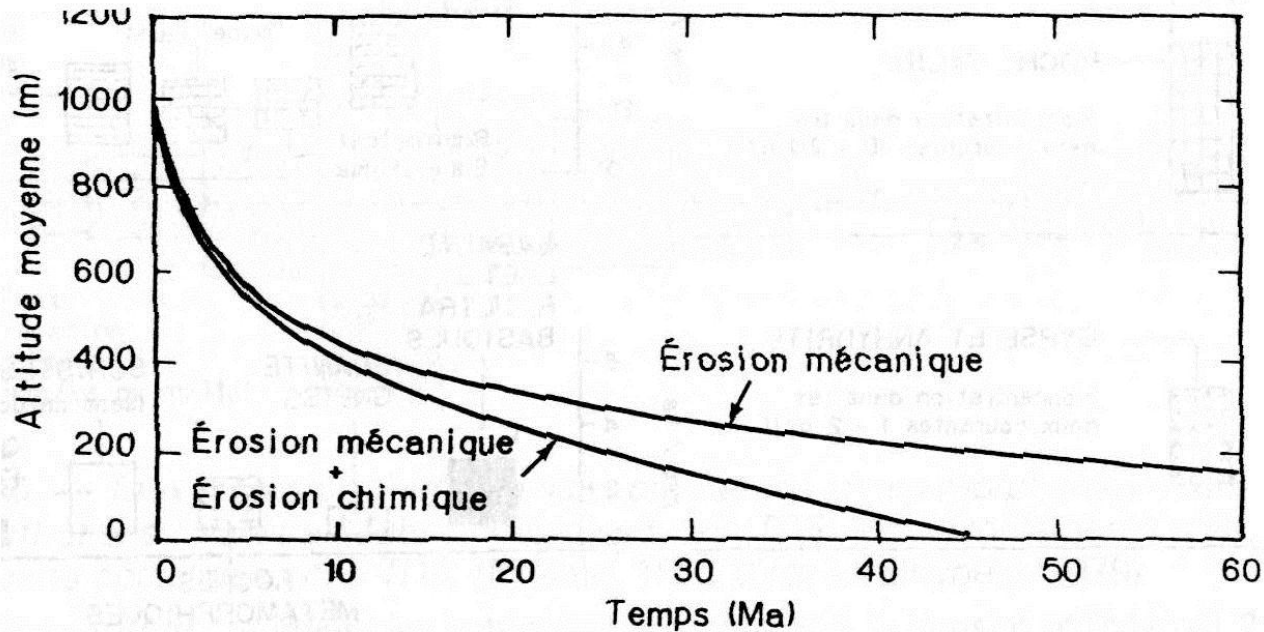
Les périodes d'intense activité biologique sont marquées par un appauvrissement de l'eau en ¹³C, les cellules prélevant préférentiellement les isotopes légers (et donc ¹²C), ce qu'on peut déceler en analysant $\delta^{13}\text{C}$ et le C_{org} .

Erosion mécanique vs. érosion chimique

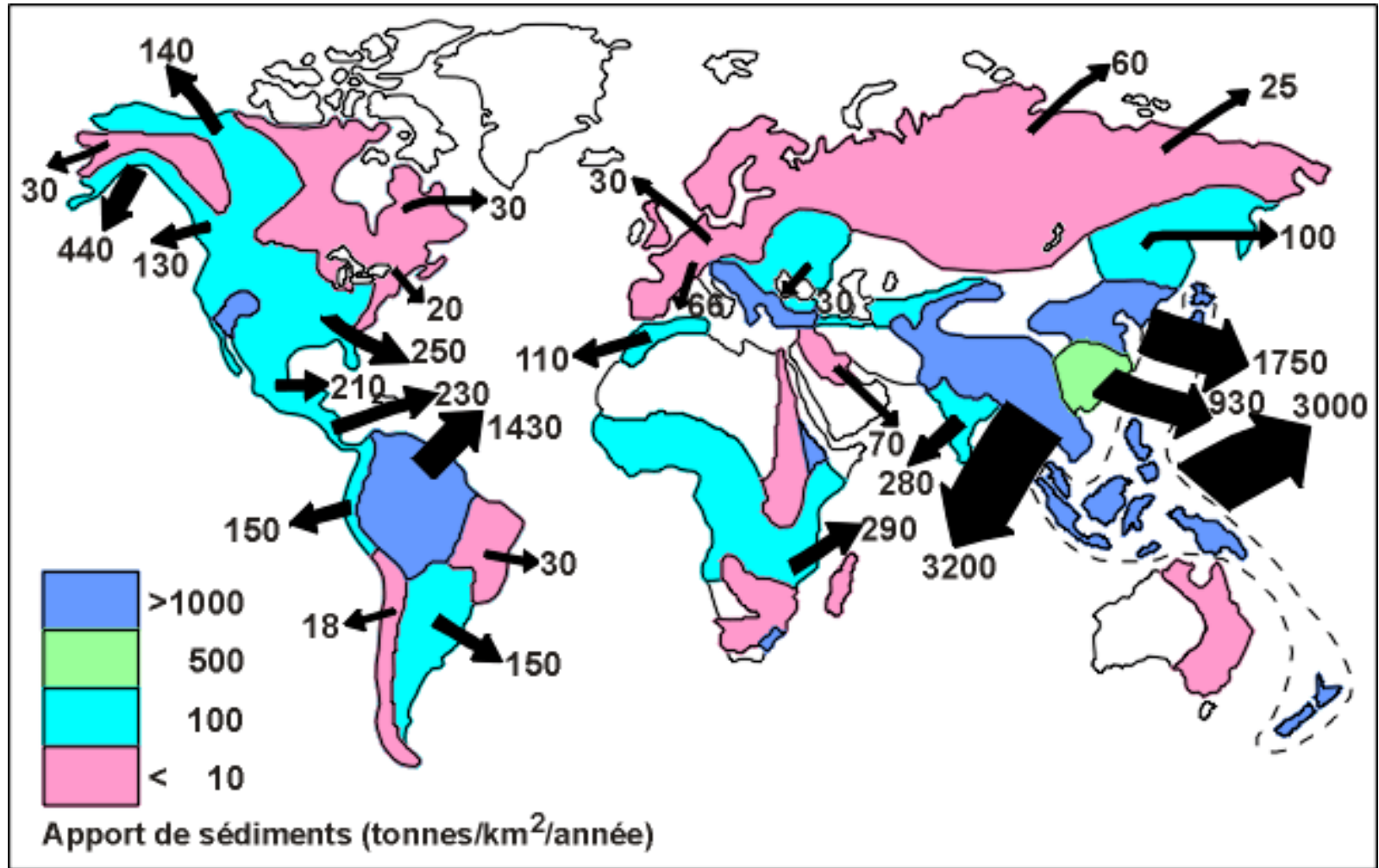
Erosion mécanique : très active dans les zones hautes, dès la formation du relief , produit les apports détritiques

→ message contenu dans les archives sédimentaires

Erosion chimique : sensible aux altitudes plus basses, favorisée par pluie et T° . Pour un âge donné, diminue l'altitude du relief. Produit les argiles et oxydes (constitutifs des sols) et les substances dissoutes, qui dans un lac ou l'océan conduiront aux précipitations biogènes

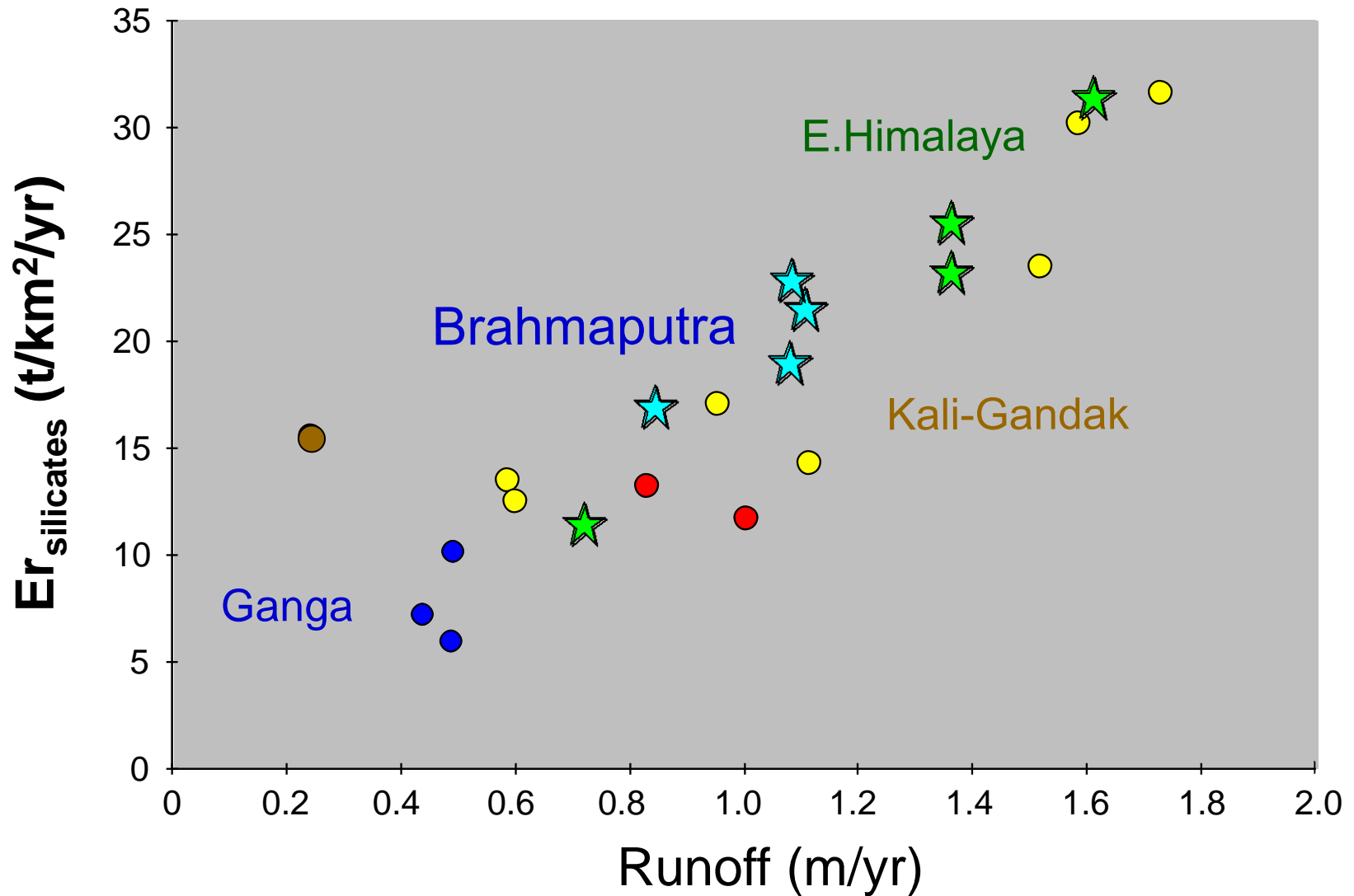


Apports détritiques (inorganiques)

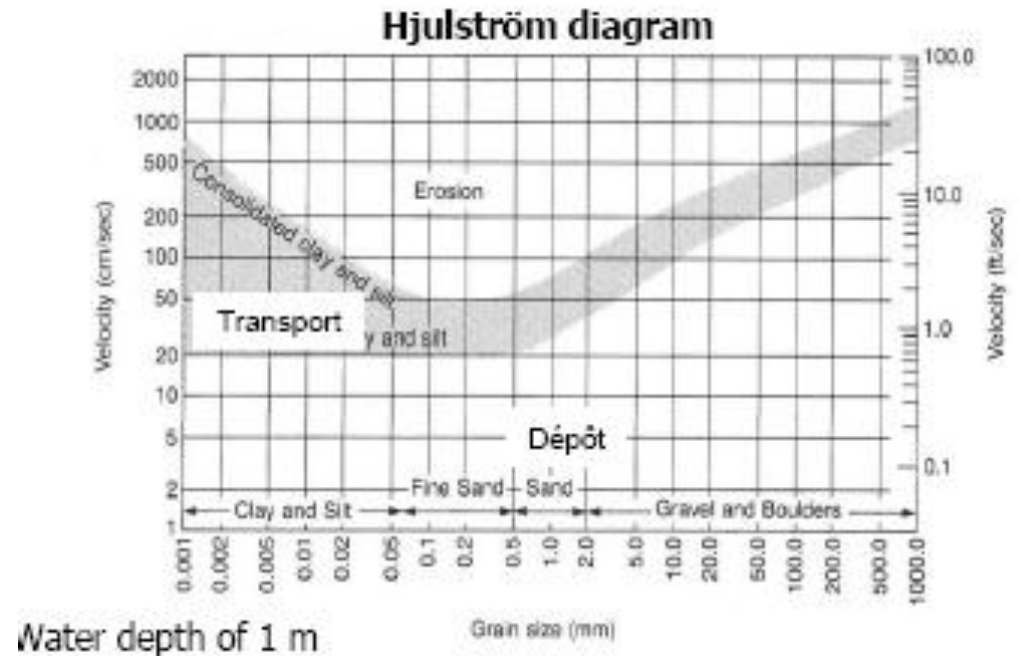
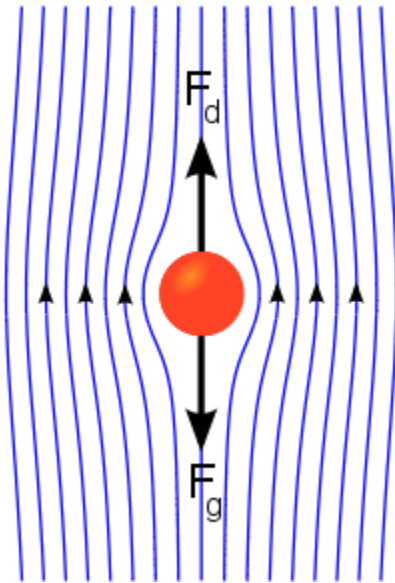


Rendement sédimentaire (Er en t/km²/yr): masse de sédiment solide (= détritique) transporté par km² de BV et par an

Rendement sédimentaire (E_r) dépend du débit (Runoff)



Dépôt ou transport des particules? La loi de Stockes



Loi de Stockes donne la vitesse à laquelle une particule sédimentera en fonction de son rayon r (en m)

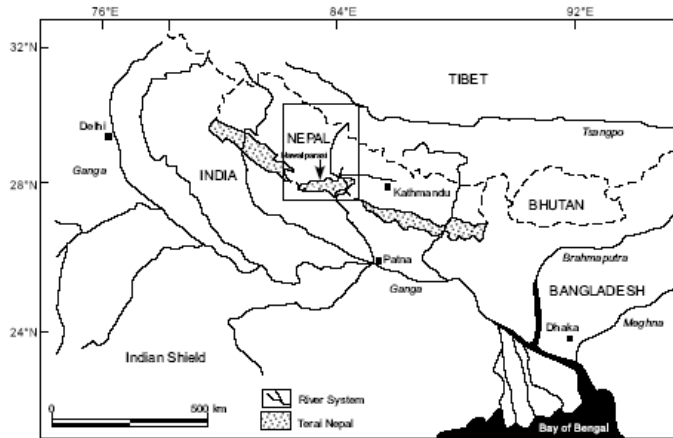
$$v = \frac{2r^2 g \Delta(\rho)}{9\eta}$$

où:

η est la viscosité de l'eau (en $[\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-1}]$),

$\Delta\rho$ la différence de masse volumique entre la particule et l'eau (en $[\text{kg m}^{-3}]$)

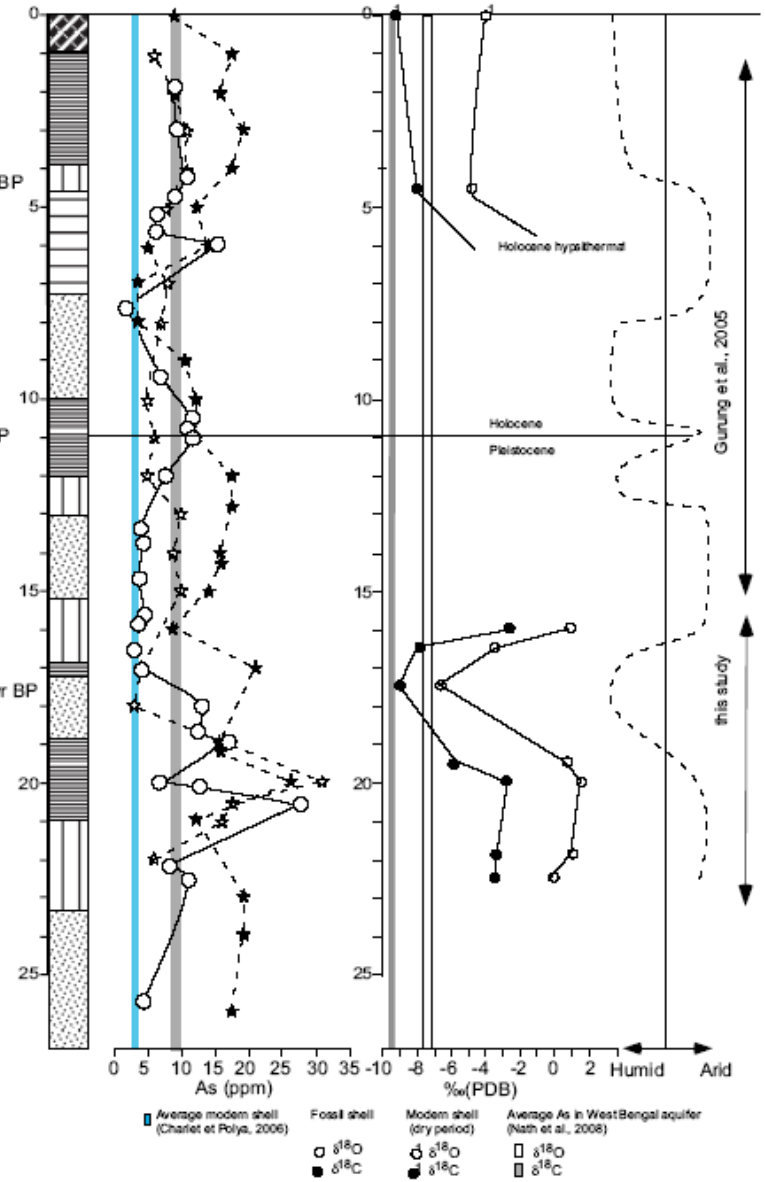
Des épisodes contrastés..



Érosion
Intense
(biotite/sable)

Lac
(argiles
et matière
organique)

Paléo sol
aride
(oxydes,
argiles)



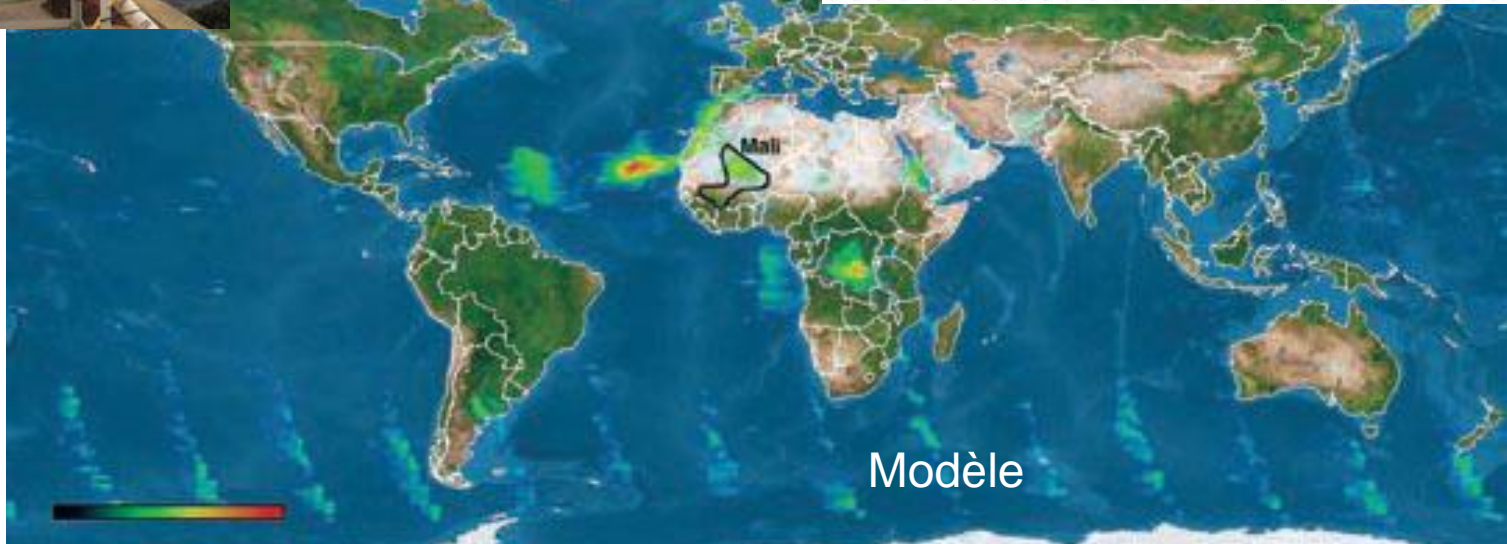
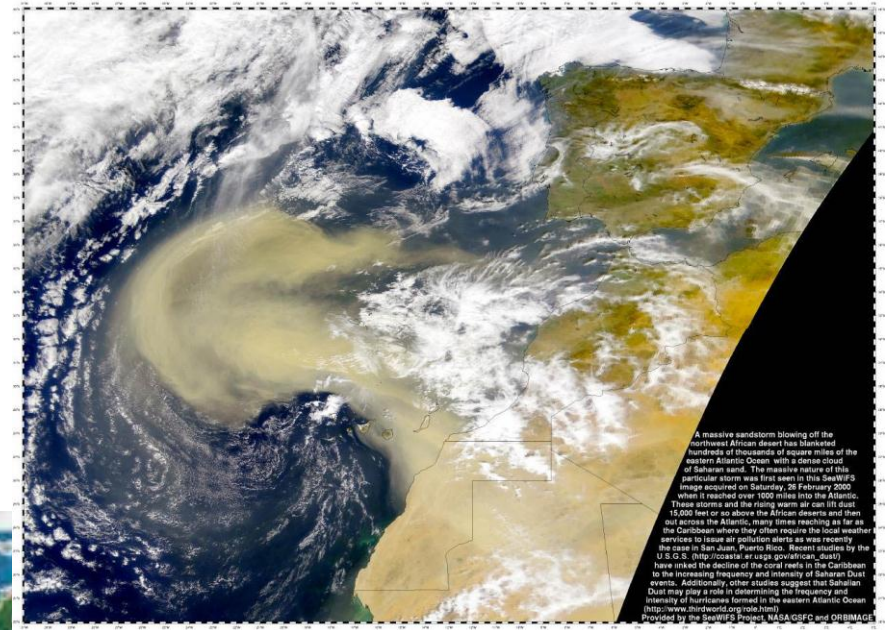
Apports éoliens

Mesures



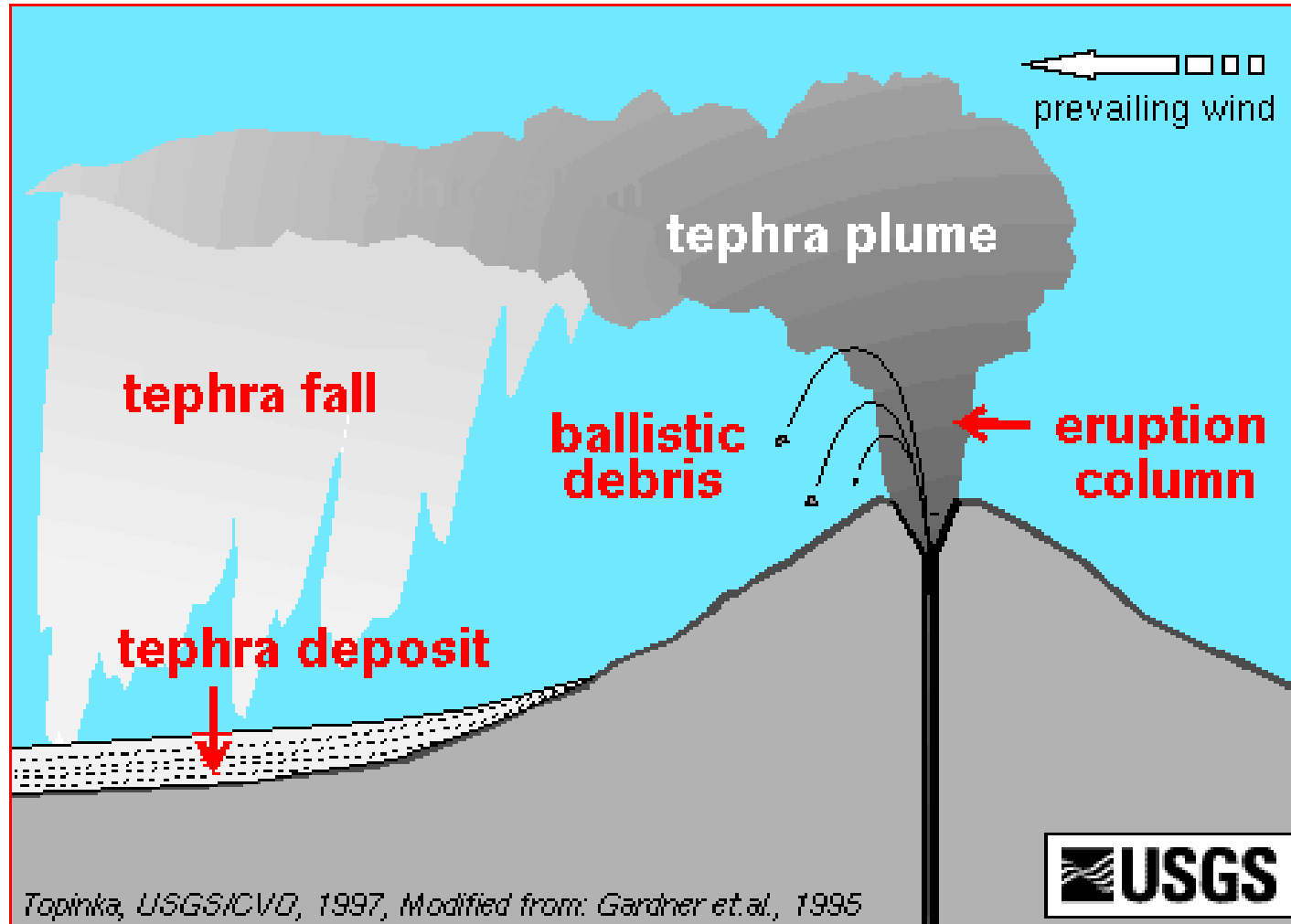
Particules du Sahara:
apport nutritif (Acores)
et bactérien (coraux
des caraïbes)

Satellite

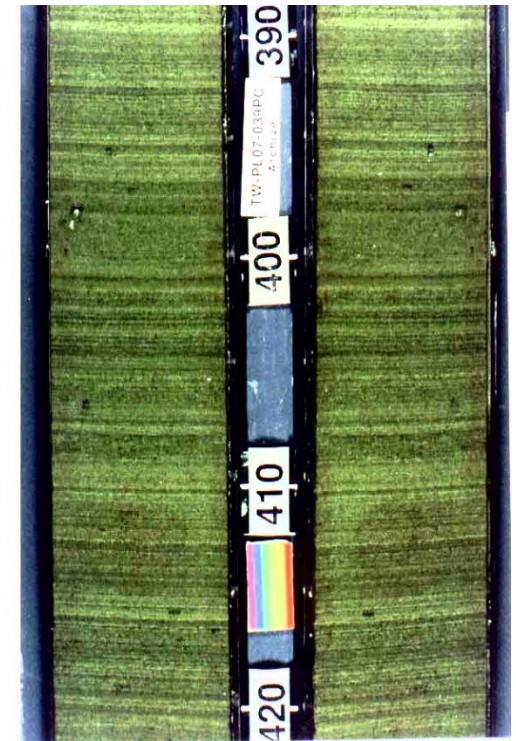
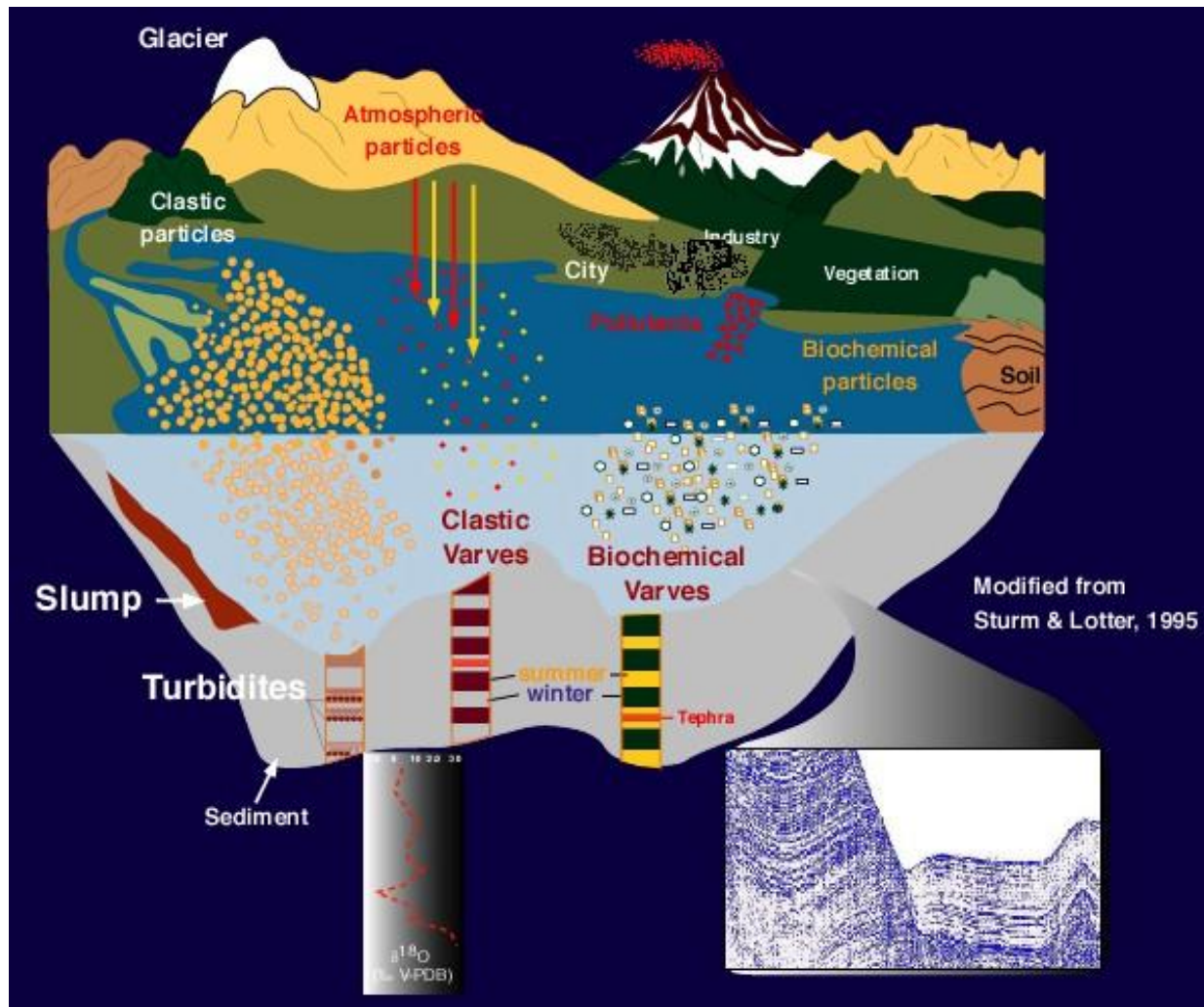


Modèle

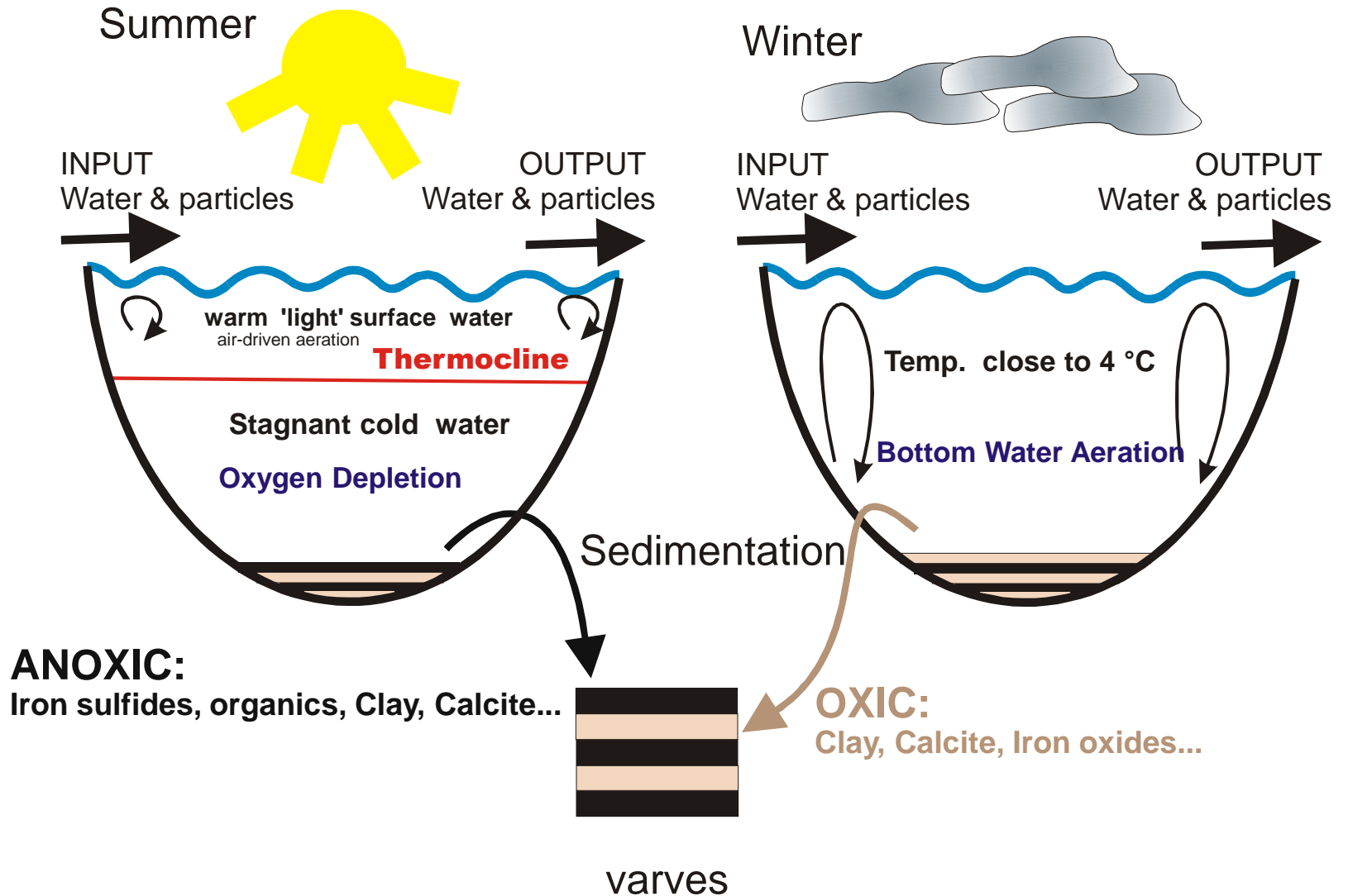
Apports inorganiques (tephras)



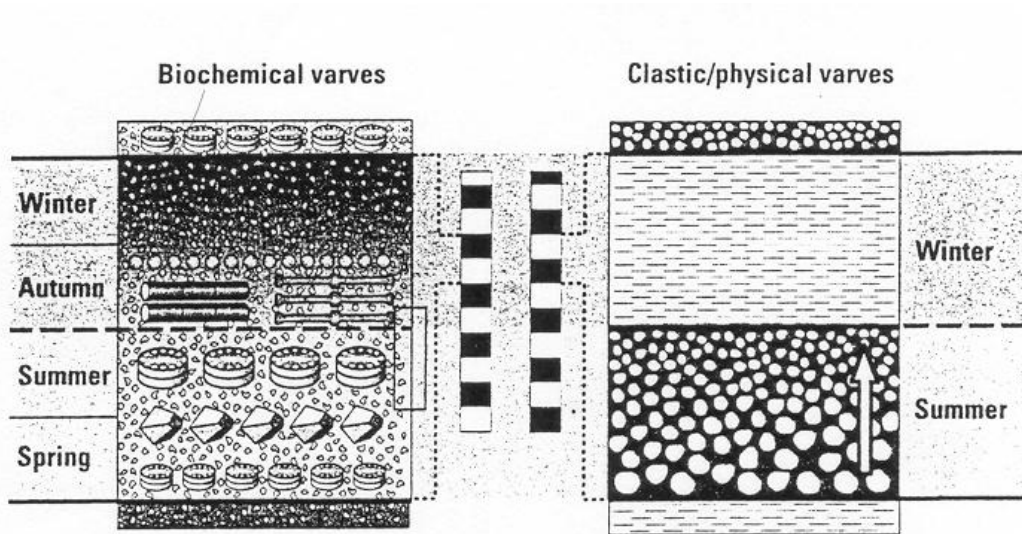
Datations relatives: varves et téphras



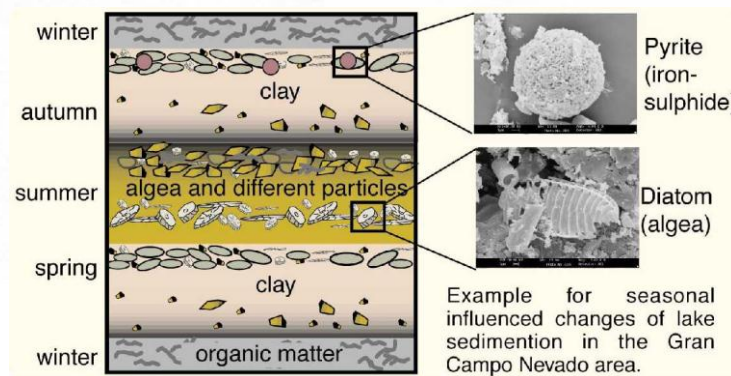
Formation des varves biogéniques



Deux types de varves



- Calcite crystals
- Centric diatoms
- Pennate diatoms
- Chrysophyte cysts



Ces couches sombres sont elles dues à une alternance annuelle de dépôts:

Varves clastiques:

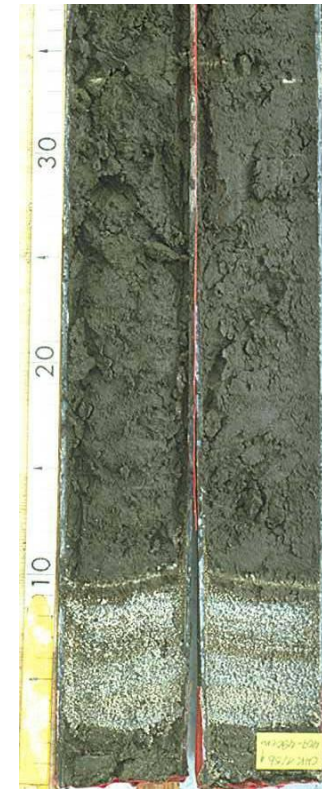
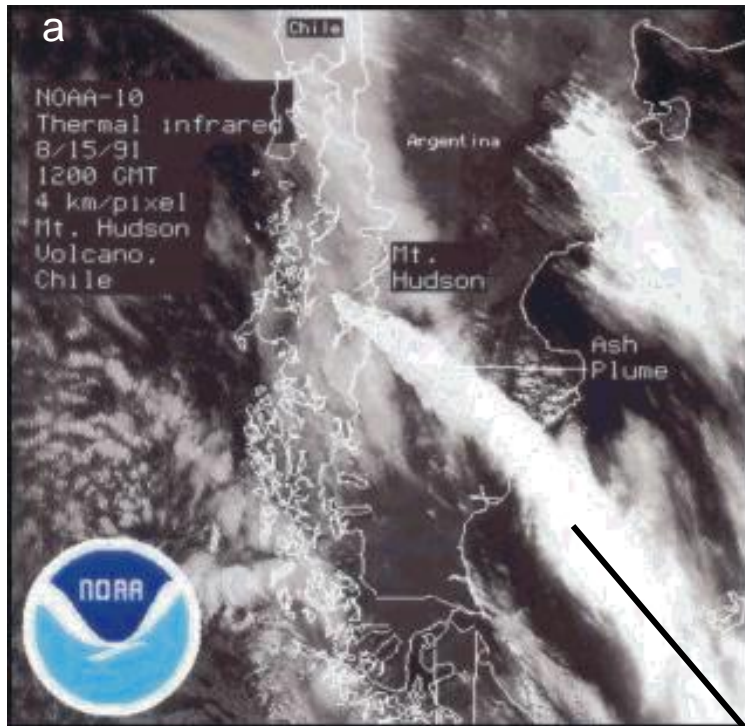
- Printemps: dépôt de silt, riche en matière organique, à la fonte des neiges (faciès « haute énergie »)
- Hivers: dépôt lent d'argile

Varves biochimiques,

- la calcite blanche correspondant à l'explosion de photosynthèse algale au printemps,
- les couches sombres à l'érosion de matière organique en hivers), ou à des phénomènes post-dépôt (de type précipitation in situ d'oxydes de Mn ou de FeS)

Datation relative: téphras

Amérique Latine



*Niveau de
Tephra (= cendres
Volcaniques)
(detecte par susce-
ptibilité magnétique)*

*Nuage de
cendres*

*S-Atlantic(fertilization)
and Antartica*

Datations absolues: les isotopes

$N = N_0 \exp(-\lambda t)$ avec $T = \ln 2 / \lambda$ la période et λ la constante de désintégration

Pour une espèce radioactive donnée on peut dater entre $0.01 T$ et $10 T$.

Pour $^{14}\text{C} \rightarrow ^{14}\text{N}$, $T = 5730\text{a}$ \Rightarrow datations $< 50\,000$ ans

Pour $^{210}\text{Pb} \rightarrow ^{210}\text{Bi}$, $T = 22.2\text{a}$ \Rightarrow datations < 200 ans

Pour $^{40}\text{K} \rightarrow ^{40}\text{Ar}$, $T = 1,1\text{ Ga}$ \Rightarrow datations roches récentes à qq 100 Ma

Pour $^{87}\text{Rb} \rightarrow ^{87}\text{Sr}$, $T = 5730\text{a}$ \Rightarrow datation de qq 10 Ma aux roches les + anciennes
(à la formation de la Terre: 4,55 Ga)

$$(^{87}\text{Rb})_{\text{initial}} = (^{87}\text{Sr})_{\text{mesuré}} + (^{87}\text{Rb})_{\text{restant}} = (^{87}\text{Rb})_{\text{mesuré}} \exp(\lambda t)$$

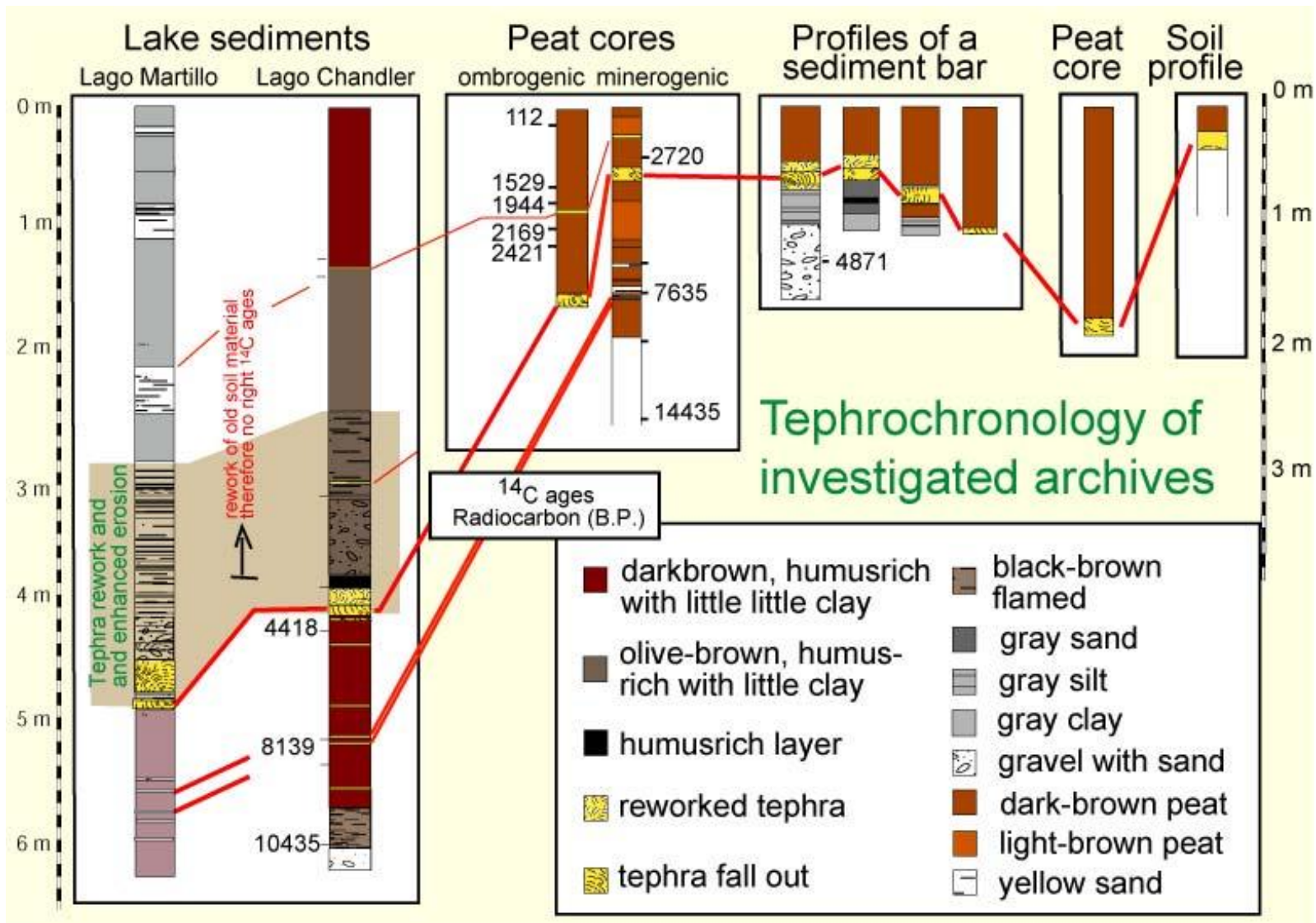
D'où:

$$\left(\frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}}\right)_{\text{mesuré}} = \left(\frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}}\right)_{\text{initial}} + \left(\frac{^{87}\text{Rb}}{^{86}\text{Sr}}\right)_{\text{mesuré}} (1 + \exp(-\lambda t))$$

La pente de la droite $(1 + \exp(-\lambda t))$ donne l'âge, t .

Si tous les minéraux d'une roche (plus rare pour un sédiment) sont sur la même droite (dite isochrone) ils ont été formés en même temps.

Datations relatives et datations absolues



3. Méthodes chimiques

Mesures continues

- Fluorescence X

- Méthodes op

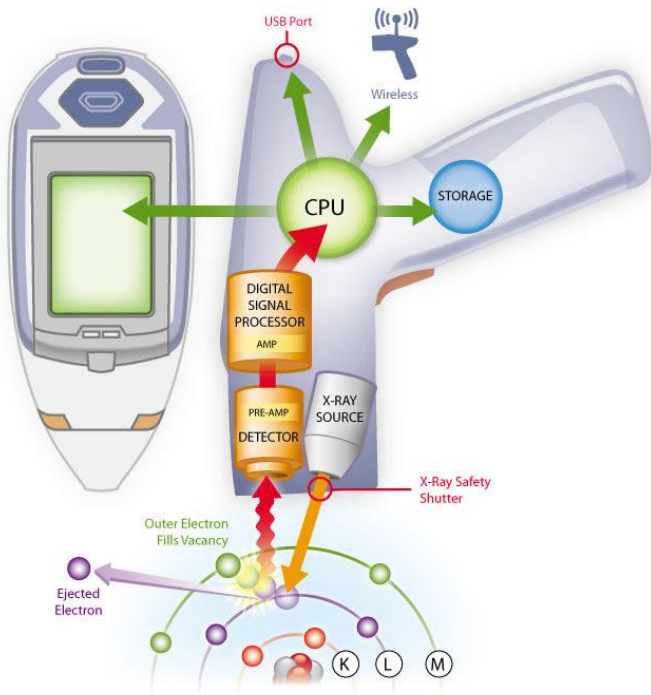
Mesures discontinues:

- Méthodes minéralogiques (DRX)

discontinues, elles requierent t une préparation d'échantillons poussée, contrairement à:

- tiques (réfléctance)

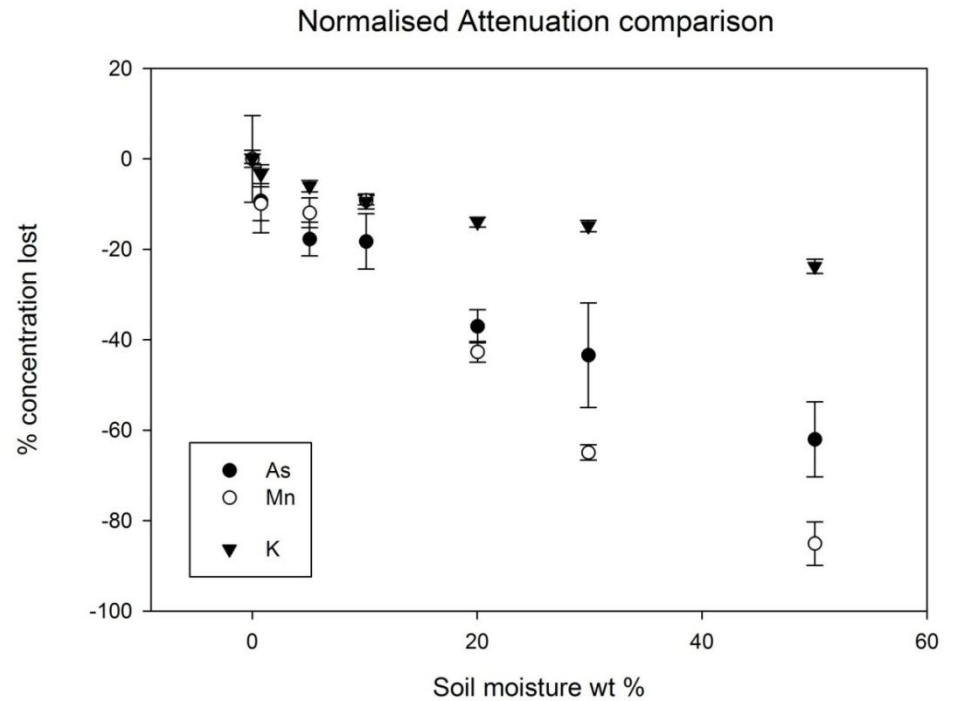
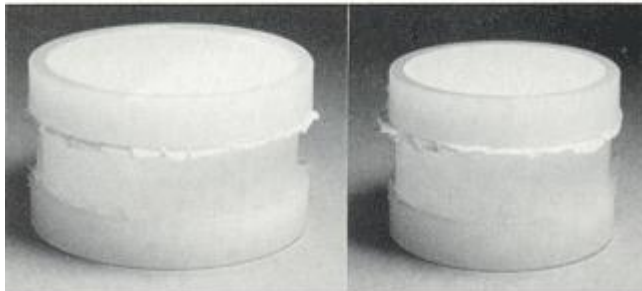
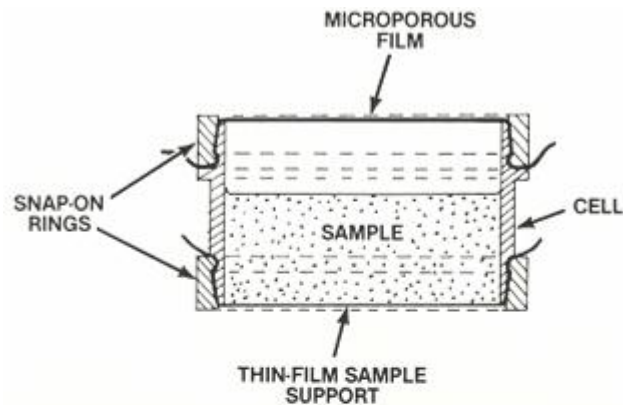
Analyse solide par μ FluoX (terrain)



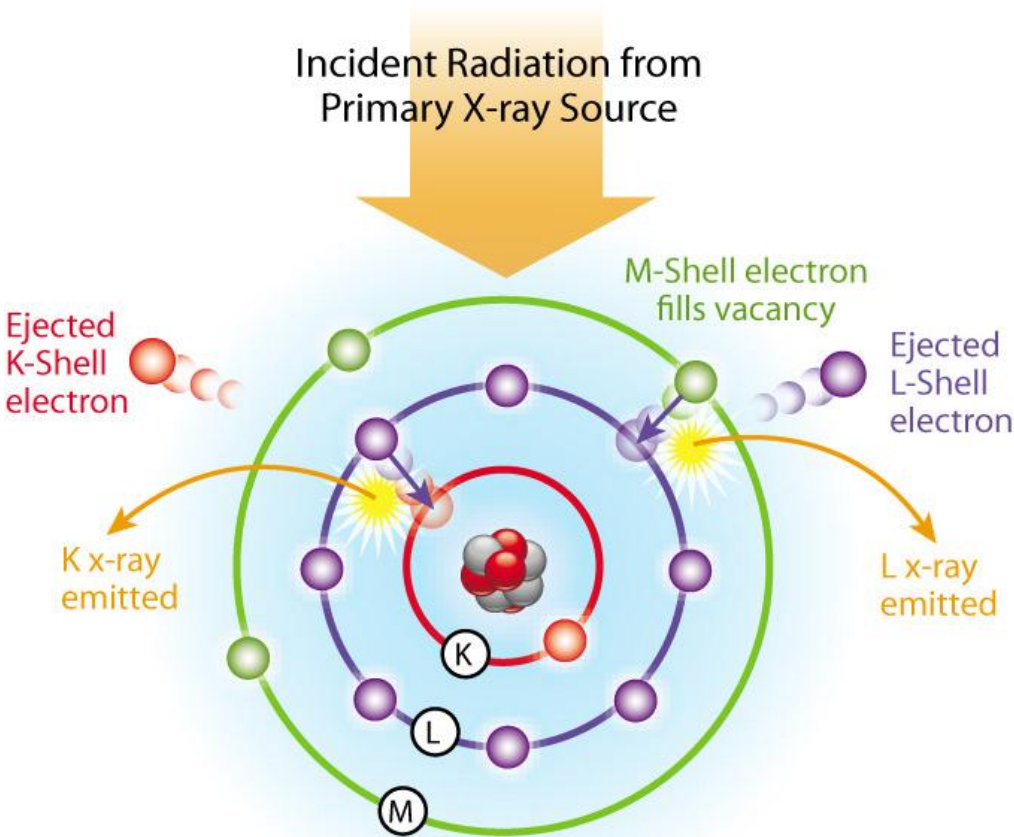
Sonde X portable – source radioactive: permet l'analyse des majeurs en géologie



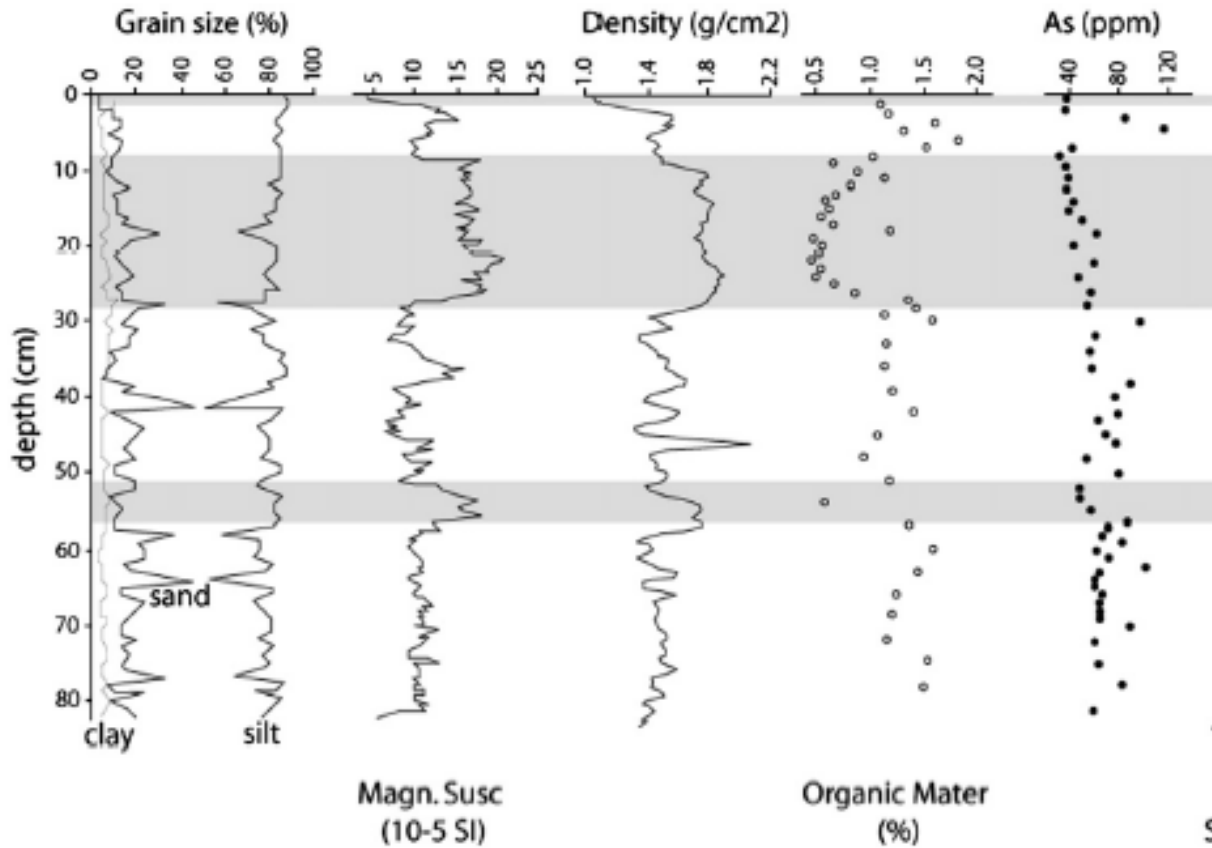
Chute de concentration apparente due aux variations d'humidité du sédiment



(7a) Analyse solide par μ FluoX en continu (résolution: $200\mu\text{m}$!)



Analyse solide en continu par μ FluoX



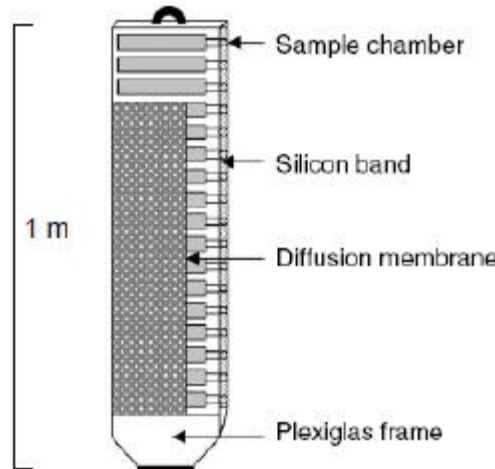
Pic d'As du aux explosifs utilisés pour aplanir les pistes!

Echantillonnage de l'eau Porale

Extraction de l'eau porale:

- par peepers:
- par centrifugation
- par extraction sous pression:

pression (N₂ 50 bars)



ou mesure directe des profils de concentration par microélectrodes enfoncées μm à μm dans le sédiment

Analyse Eau potale



Analyse des concentrations totales (AAS, ICP-AES, colorimétrie, ICP-MS)

Analyse des anions/cations
(Chromatographie ionique)

Analyse des isotopes: ICP-MS





Analyse cations et anions sur chromatographie (gauche) et
Analyse d'organiques sur HPLC-MS (droite)

Mesures chimiques discontinues

Méthode générale

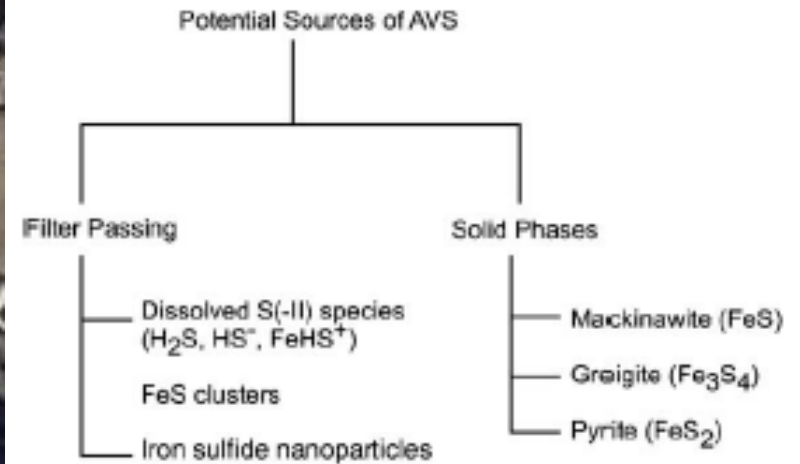
- sous échantillonner la carotte
- lyophiliser
- dissoudre (dans HNO_3 , avec ou sans H_2O_2)
- Analyser

Voir cours suivant par Alexandra Gourlan

Exemple: méthode pour les AVS (= FeS(s)):

- Principe: $\text{FeS} + \text{HCl} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + \text{H}_2\text{S} + 2 \text{Cl}^-$
- le $\text{H}_2\text{S(g)}$ passe dans un récipient où il réagit avec Zn^{2+} pour précipiter ZnS
- puis filtration et pesée
- avantage: les 2 premières étapes

Analyse discontinue: AVS = Acid Volatile sulfides (like FeS)



AVS = partie du sédiment formant H₂S
par addition de 1 M HCl au sédiment

4. Minéralogie

Mesures continues

- Susceptibilité magnétique
- Méthodes optiques (réflectance)

Mesures discontinues:

- Diffraction de rayons X (DRX)

discontinues, elles requierent t une préparation d'échantillons poussée, contrairement à:

Susceptibilité magnétique

But Définir la variabilité de la susceptibilité magnétique d'une carotte provenant de sédiments lacustres. Les mesures de susceptibilité magnétique sont utilisées pour corréler les différentes carottes d'un même lac et pour évaluer la variation de l'érosion. Pour plus de renseignements,

Principe: SM est la capacité d'un corps à acquérir une aimantation lorsqu'il est soumis à un champ magnétique. La mesure de SM donne une indication simple et rapide du contenu en fer. On distingue en effet différents comportements magnétiques

antiferromagnétisme: minerais de fer, tel l'hématite, et certains oxydes de fer.

paramagnétisme: les sels et minéraux contenant du fer, tel les argiles, la biotite, les ferromagnésiens et la pyrite. (SM >0)

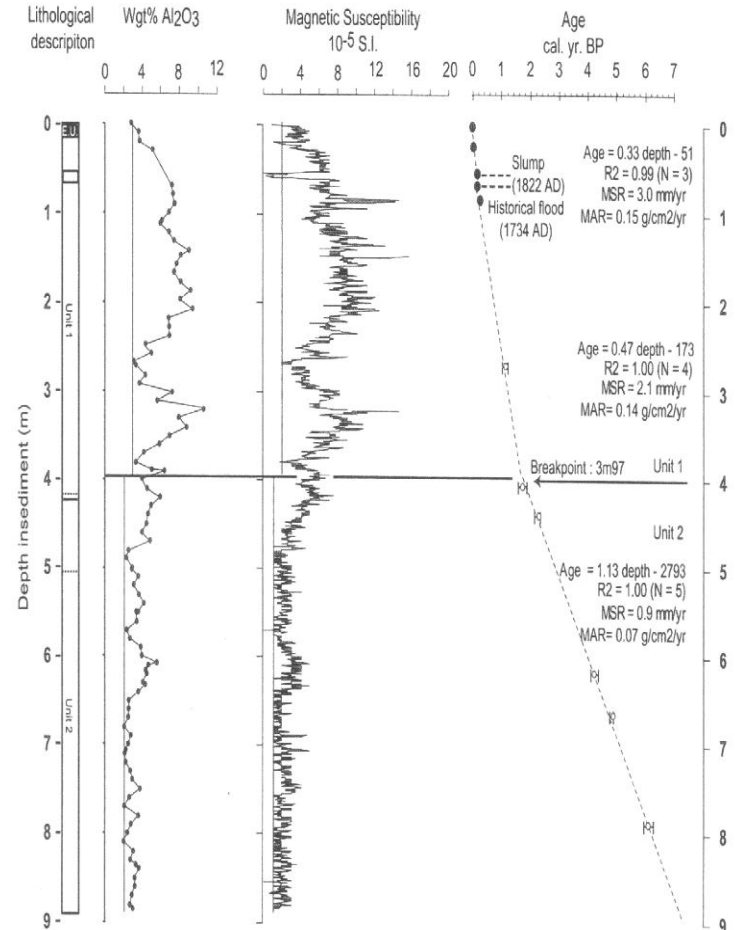
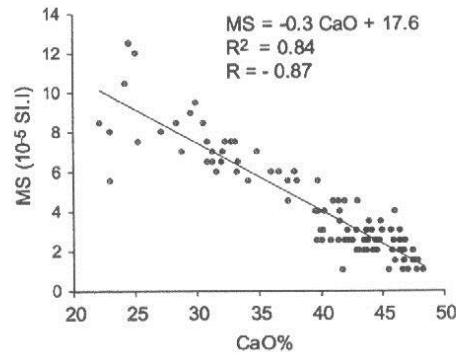
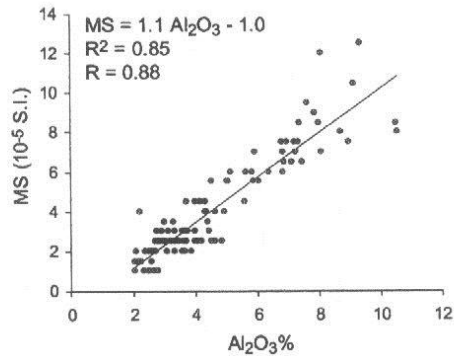
diamagnétisme. (SM <0). quartz et carbonate de calcium (calcite), matière organique

- Une SM importante correspond à un dépôt de silicates riches en Fe (biotite, illites), et donc une érosion plus forte
- Une SM faible correspond à un dépôt de carbonates, et donc une érosion faible

Susceptibilité Magnétique et Minéraux détritiques



La susceptibilité magnétique dépend donc de la minéralogie des sédiments.



Analyse solide en continu par spectroluminescence

Spectrocolorimétrie mesure la réflectance: La réflectance : est le rapport entre l'énergie réfléchiée et l'énergie incidente sur une surface (réflectance solaire = albedo)

La luminescence (L) est l'échelle des gris du noir (0) au blanc L=100 (calcte). L'espace des couleurs est a* (transition vert/rouge; vert= valeur négatives et rouge positives) et b* (transition vert/blanc; bleu = valeur négatives et le jaune positives).

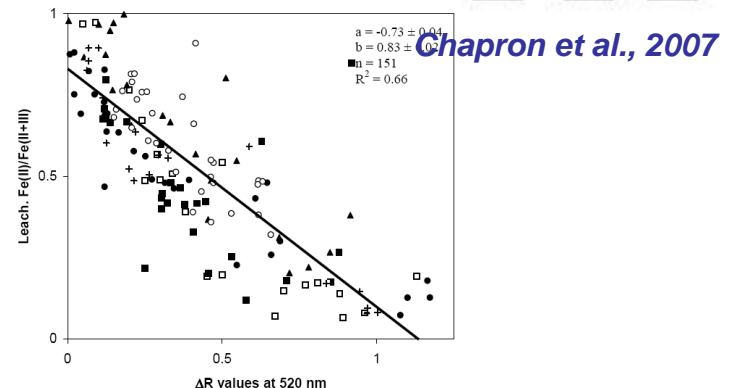
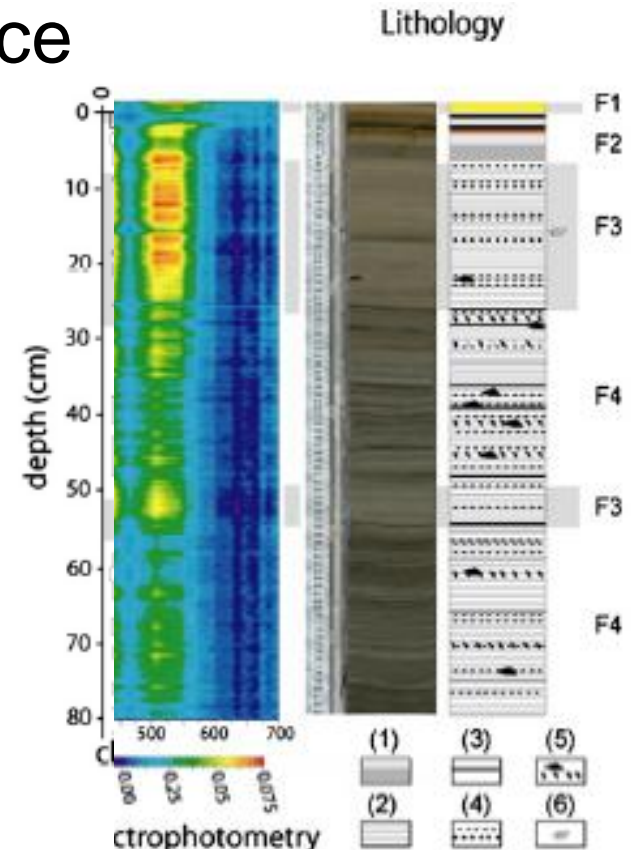
Minéralogie et géochimie:

- Oxydes de fer: pics à 555, 565, 575 nm
- Oxyhydroxide (goethite) : 445 et 525 nm
- Argiles (illite, montmorillonite, chlorite), calcite, composés organiques : de 605 à 695 nm

Debret et al (2006)

La dérivée de la reflectance est corrélée:

- à la teneur en matière organique (605 < l < 695 nm) (pic m.o. de 605 à 695 nm)
- au ratio Fe(II)/Fe_T (l ≤ 520 nm) (pic oxydes de Fe de 550 à 575 nm)



DRX: contraintes de préparation



Diffraction de rayons X (DRX)

Les rayons X, comme toutes les ondes électromagnétiques, provoquent un déplacement du nuage électronique par rapport au noyau dans les atomes ; ces oscillations induites provoquent une réémission d'ondes électromagnétiques de même fréquence ; ce phénomène est appelé diffusion Rayleigh.

La longueur d'onde des rayons X étant de l'ordre de grandeur des distances interatomiques (quelques angström), les interférences des rayons diffusés vont être alternativement constructives ou destructives. Selon la direction de l'espace, on va donc avoir un flux important de photons X, ou au contraire très faible ; ces variations selon les directions forment le phénomène de diffraction X.

Ce phénomène a été découvert par Max von Laue (Prix Nobel en 1914), et longuement étudié par sir William Henry Bragg et son fils sir William Lawrence Bragg (prix Nobel commun en 1915),

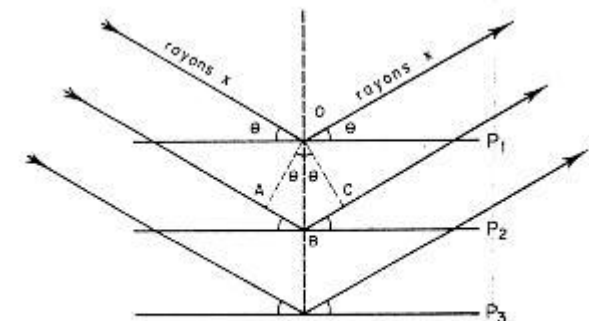
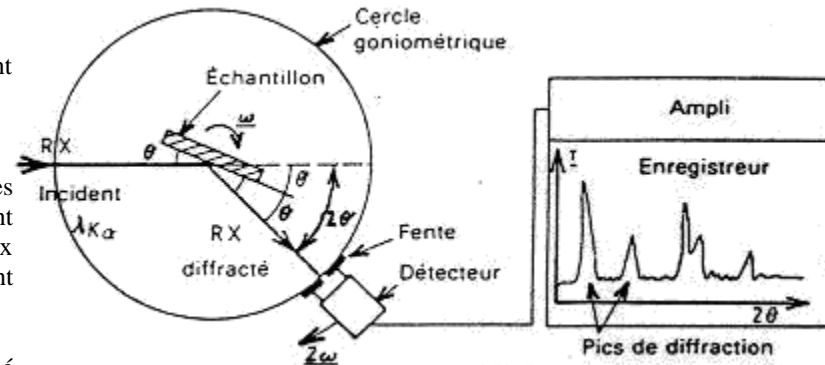
Les directions dans lesquelles les interférences sont constructives, appelées « pics de diffraction », peuvent être déterminées très simplement par la formule suivante, dite loi de Bragg :

$$2d \sin \theta = n \cdot \lambda$$

avec

- d = distance interréticulaire, c'est-à-dire distance entre deux plans cristallographiques ;
- θ = demi angle de déviation (moitié de l'angle entre le faisceau incident et la direction
- n = ordre de réflexion (nombre entier) ;
- λ =

..... ns cristallographiques peuvent être repérés par les



— Schéma de diffraction des rayons X par une famille de plans réticulaires P₁, P₂, P₃, etc., sont les plans de cette famille ; θ est l'angle de Bragg.