



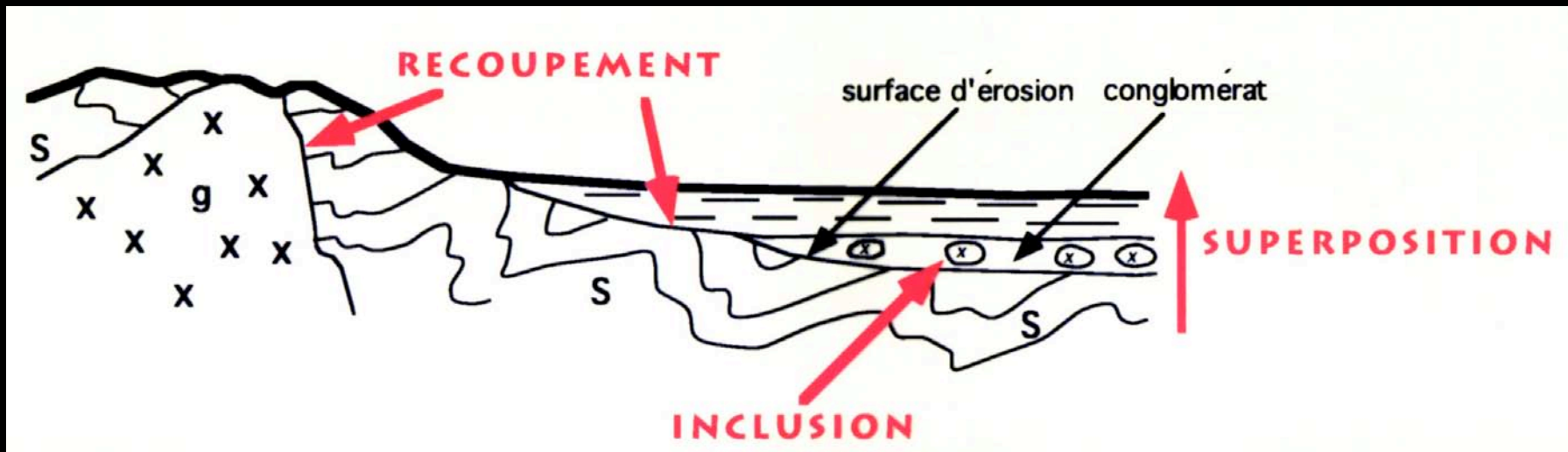
## Le Temps en Géologie : quelques notions de base



**Rappel de  
QUELQUES GRANDS  
PRINCIPES DE BASE EN  
Géologie**

*Datations relatives*

# Trois principes de base



# Lois de Steno

## *Nicolaus Steno (1669)*

- Principe de superposition
- Principe d'horizontalité originelle

**Ces lois s'appliquent aux roches sédimentaires et volcaniques.**

# **Principe de Superposition**

**Dans une séquence non perturbée (tectonique) de roches litées, les roches les plus anciennes sont à la base.**

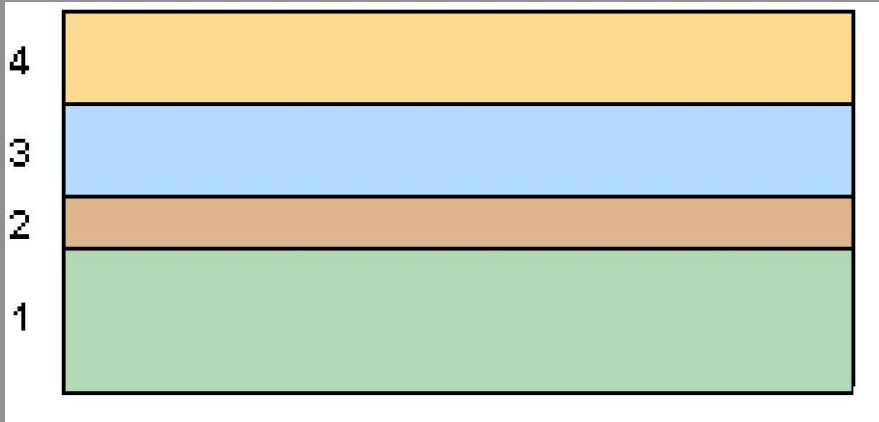
# Principe de superposition



**Roches les plus jeunes**

**Roches les plus vieilles**

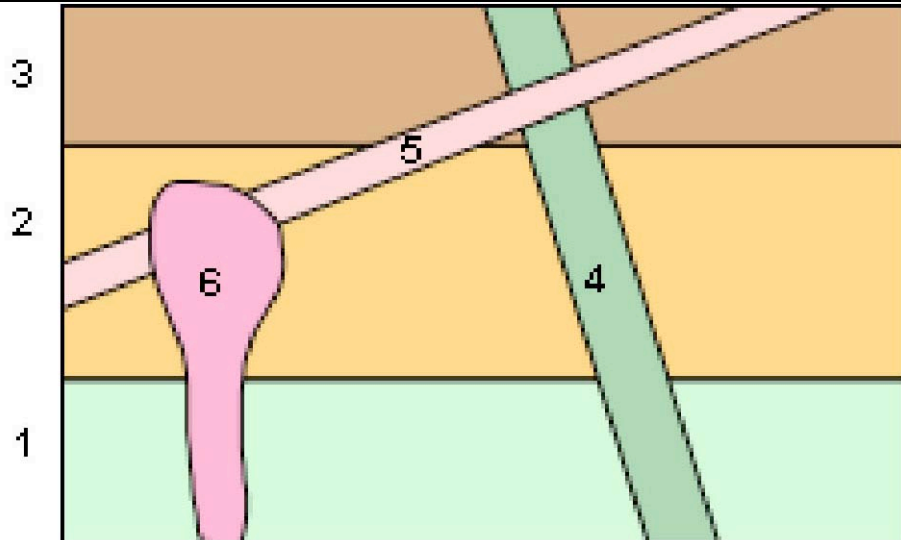
# Règle de superposition



Les couches sédimentaires se déposent d'abord à l'horizontale, les couches se sont superposées les unes aux autres, ce qui implique que celle qui est en dessous d'une autre est plus vieille que cette dernière.

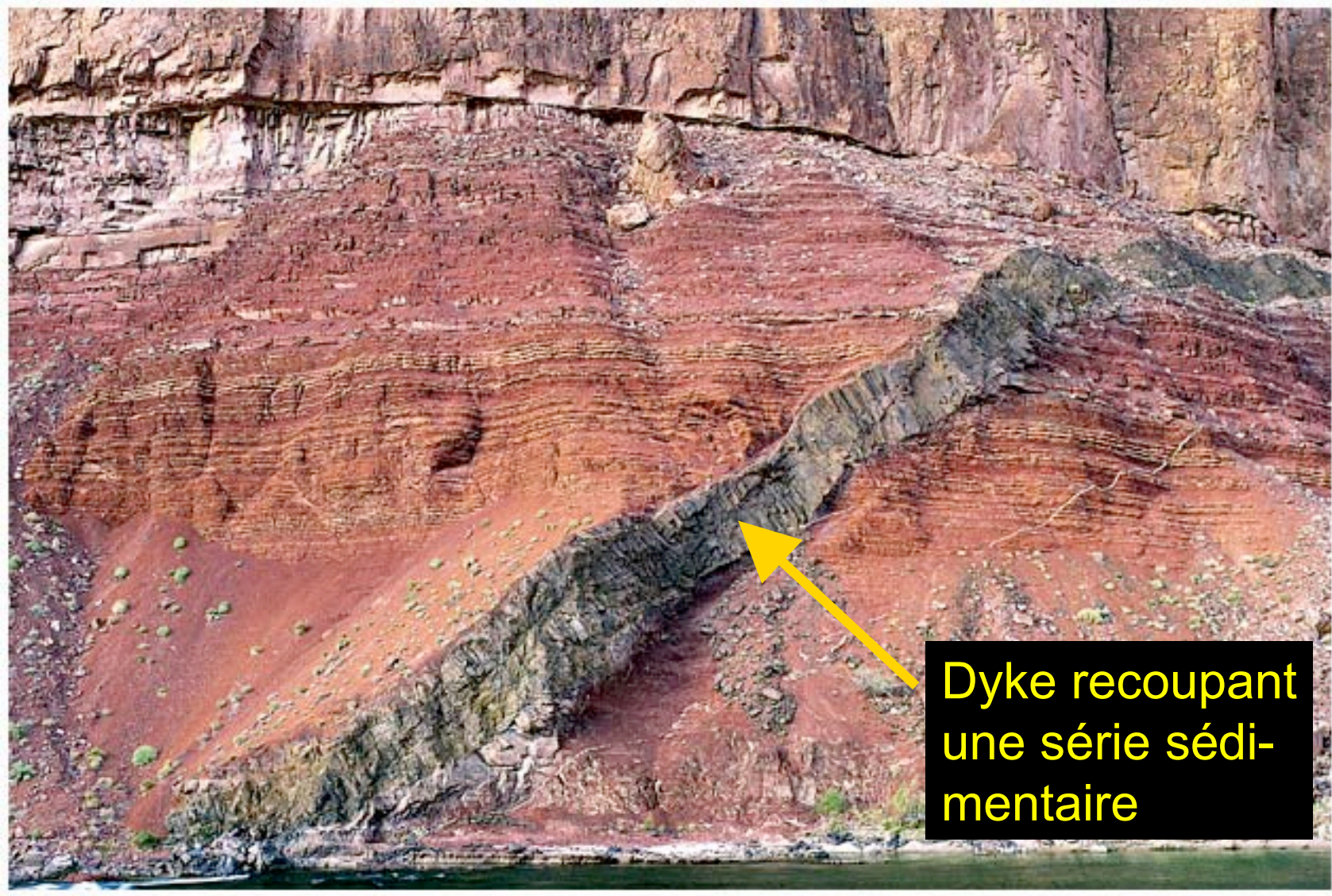
***ATTENTION : les déformations ultérieures peuvent venir modifier la disposition originelle : existence de séries basculées voir à l'envers, d'où l'utilité des « critères de polarité », et de l'âge des fossiles***

# Règle des recoupements



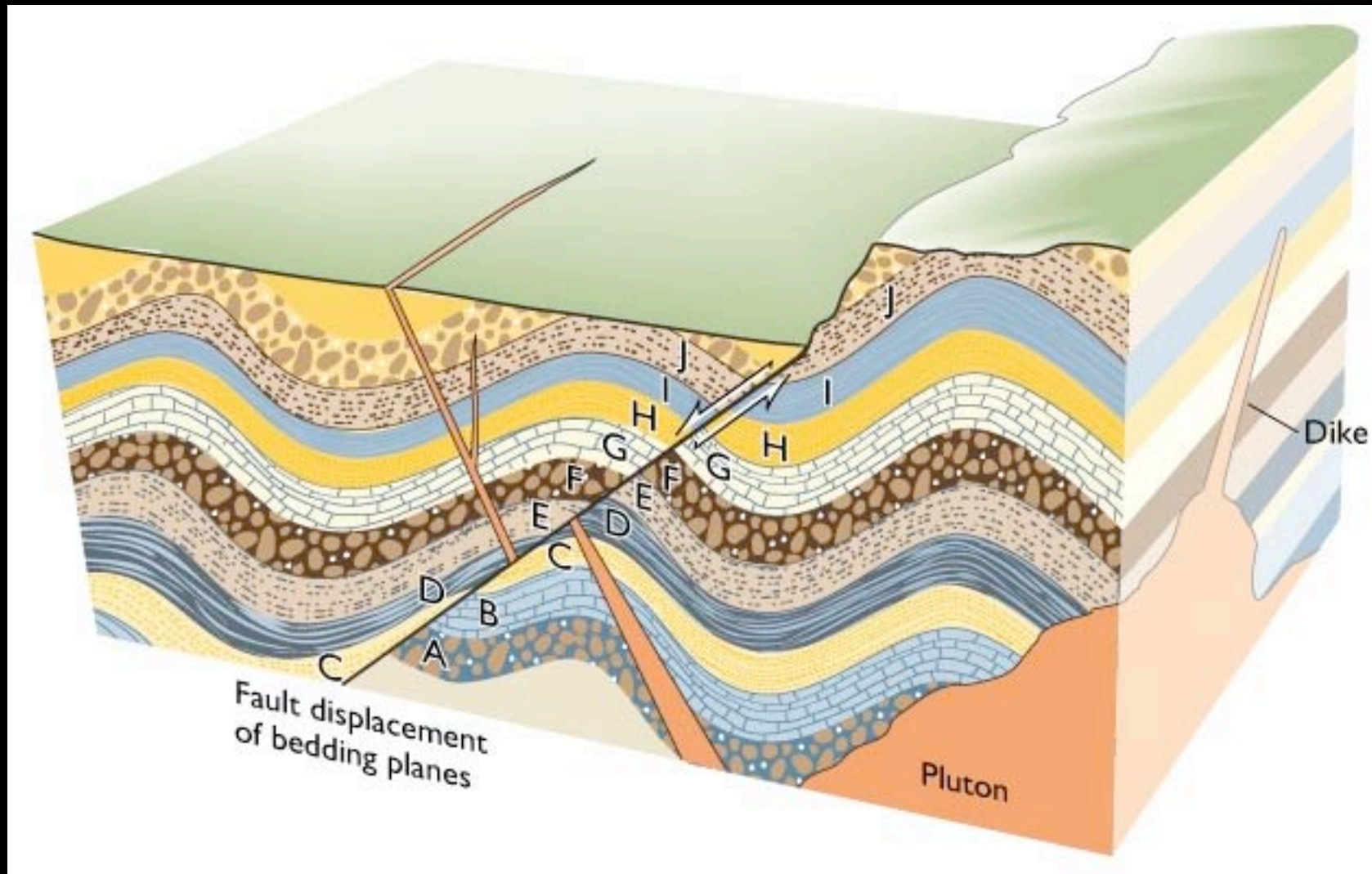
1, 2, 3 sont superposés,  
les niveaux intrusifs 4 5 et 6  
recoupent 1 2 et 3 ils sont donc  
plus récents, 5 recoupe le dyke  
4 qui est donc plus ancien, enfin  
l'intrusif 6 qui recoupe 5 est  
donc le plus récent.



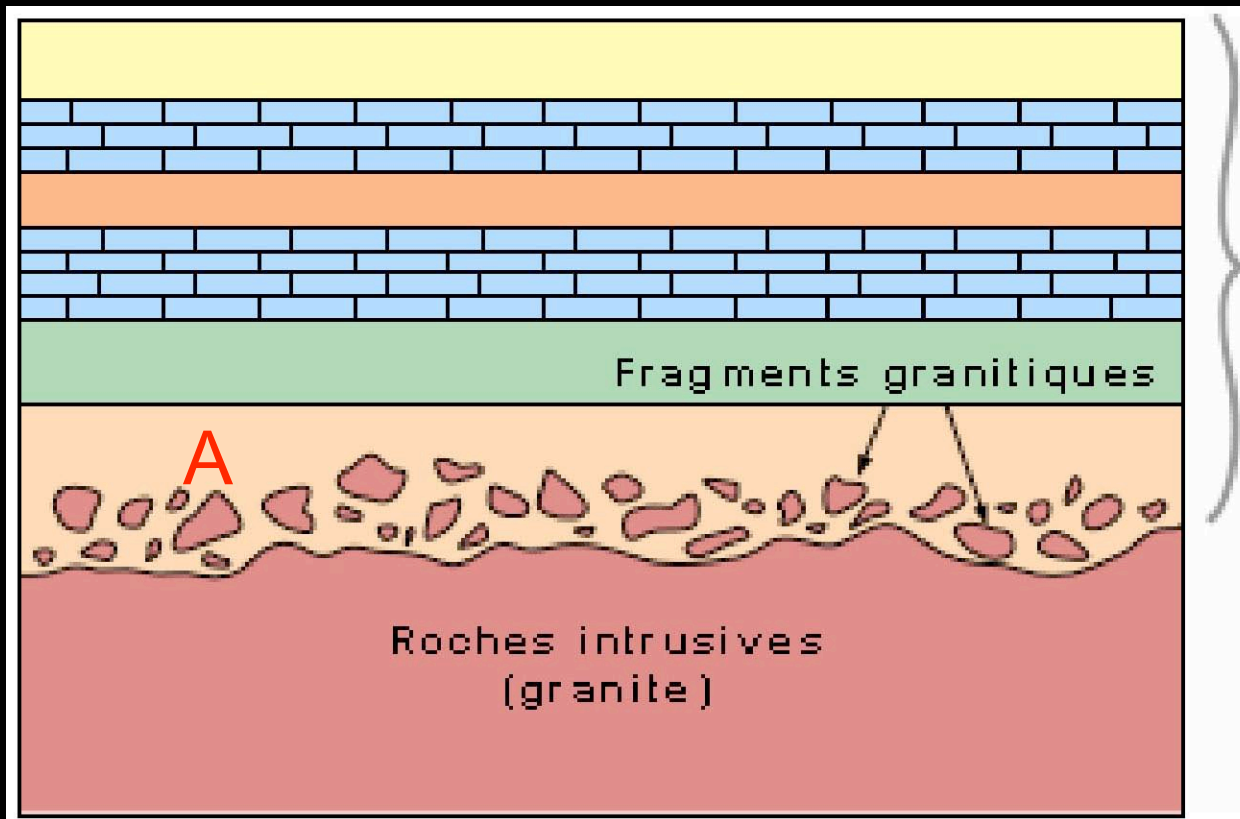


Dyke recoupant  
une série sédi-  
mentaire

# Diverses relations d'intersection



# Règle d'inclusion

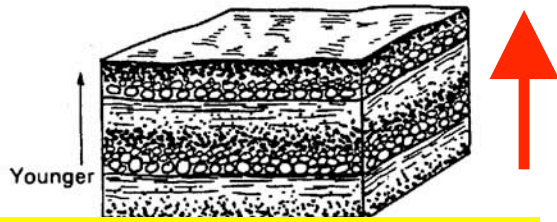


Roches sédimentaires

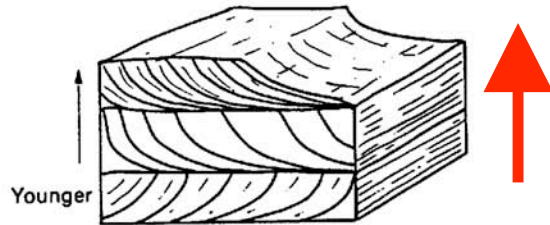
**Le niveau A remanie des fragments de granite il est donc plus récent que celui-ci.**



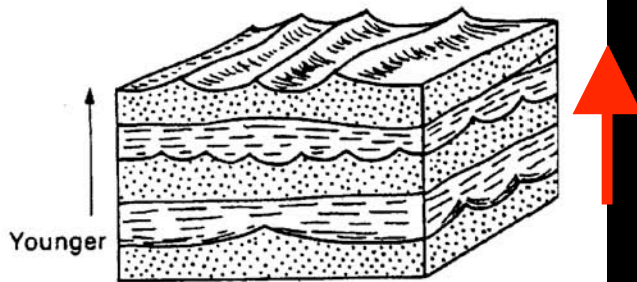
**Terrasses alluviales emboîtées (Nord Tibet - Kun Lun)**



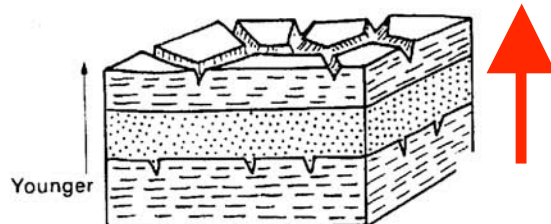
**Granoclassement**



**Strati. entrecroisées**

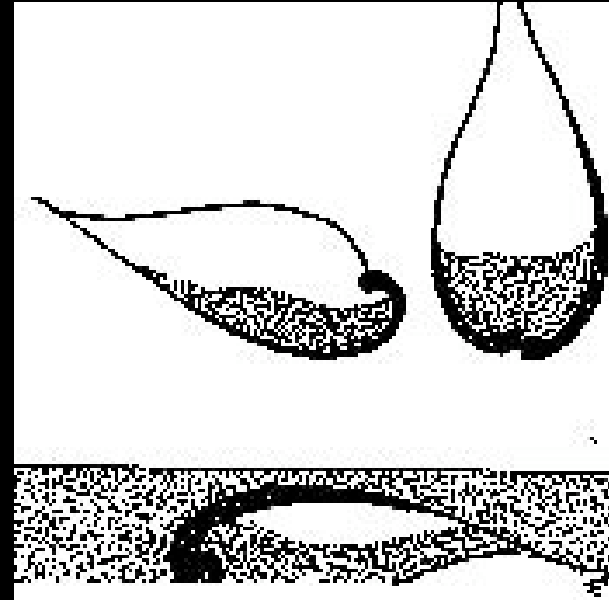


**Rides**

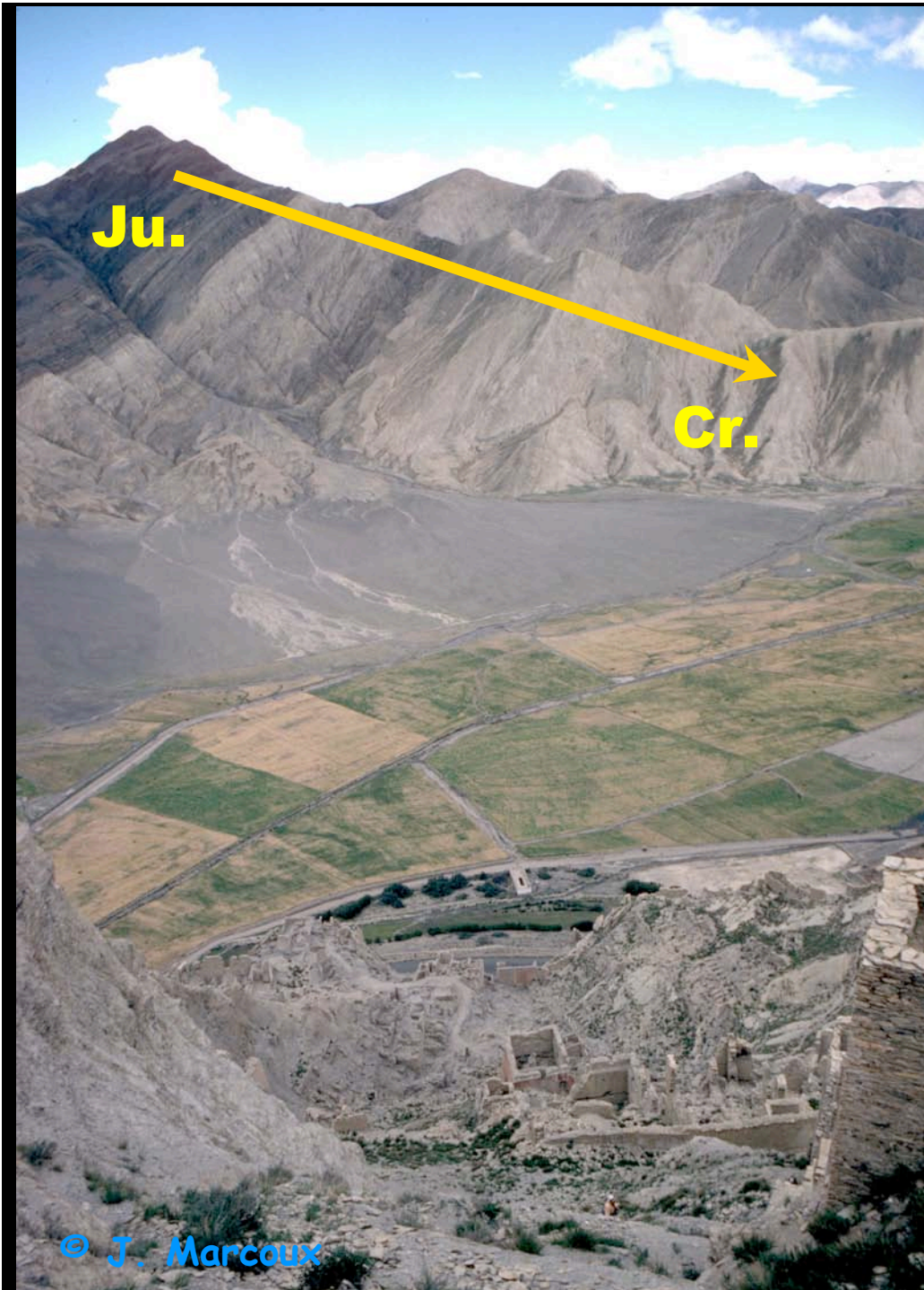


**Fentes de dessiccation**

**Quelques exemples de critères de polarité**



**Autre exemple de critère de polarité :  
Structure géopétale**



© J. Marcoux

**Exemple de série renversée  
par la tectonique :  
le jurassique vient au des-  
sus du crétacé**

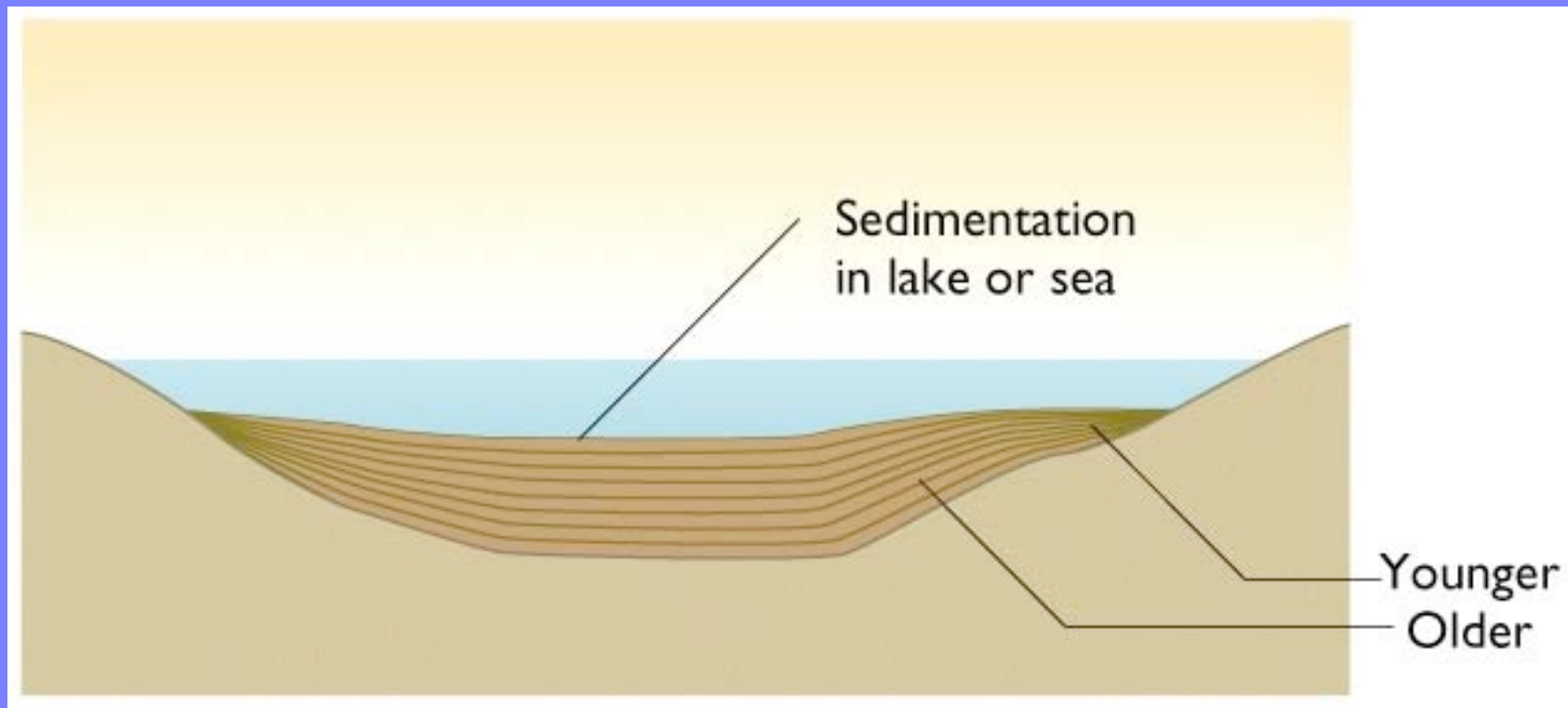
*(séries de la marge indienne  
au sud Tibet-Himalaya)*

# Principe d'horizontalité originelle

**Les couches sédimentaires  
se déposent  
horizontalement et/ou  
parallèlement à la surface  
terrestre.**



# Principes d'horizontalité originelle et de superposition

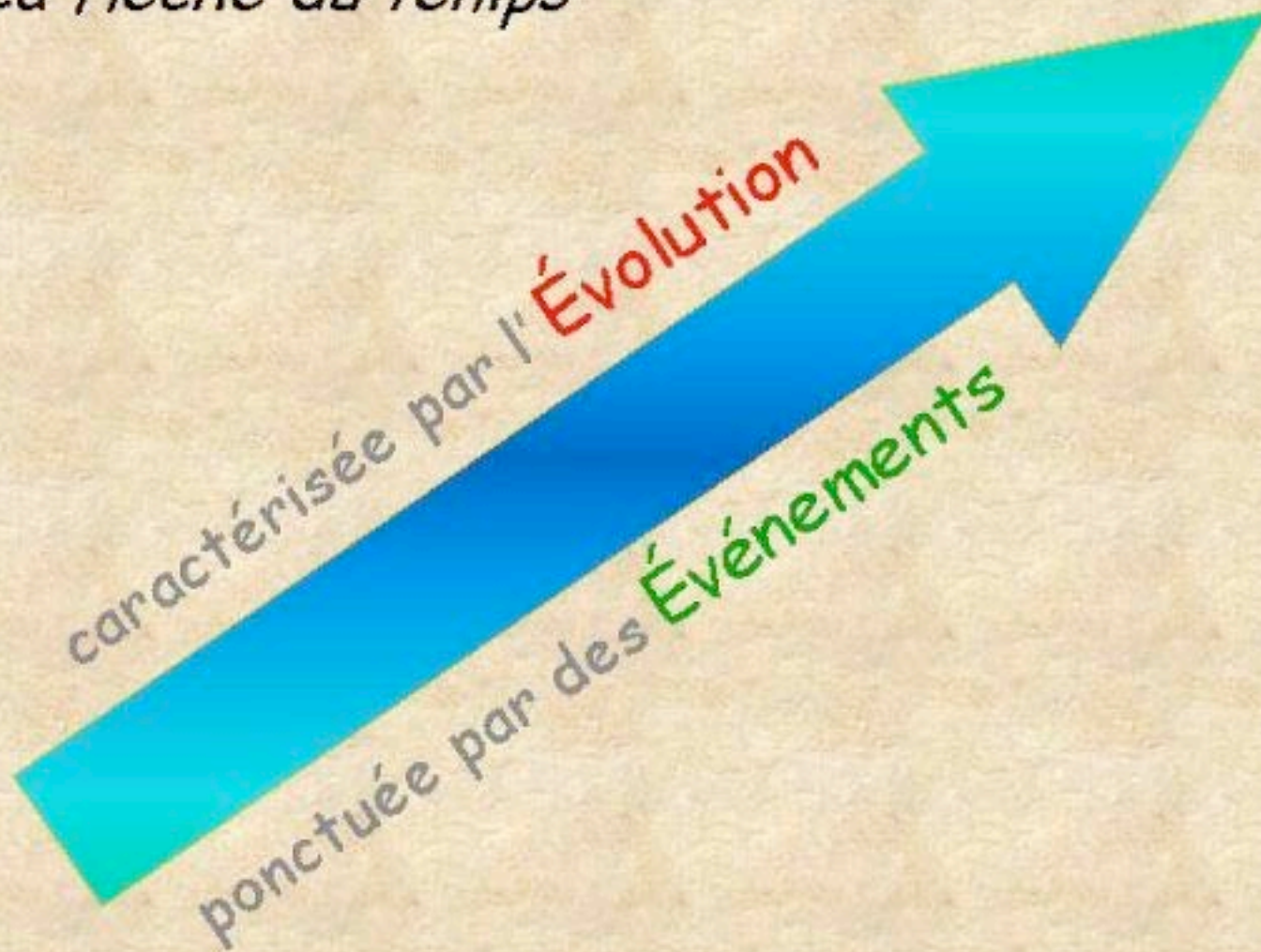


# Le temps géologique

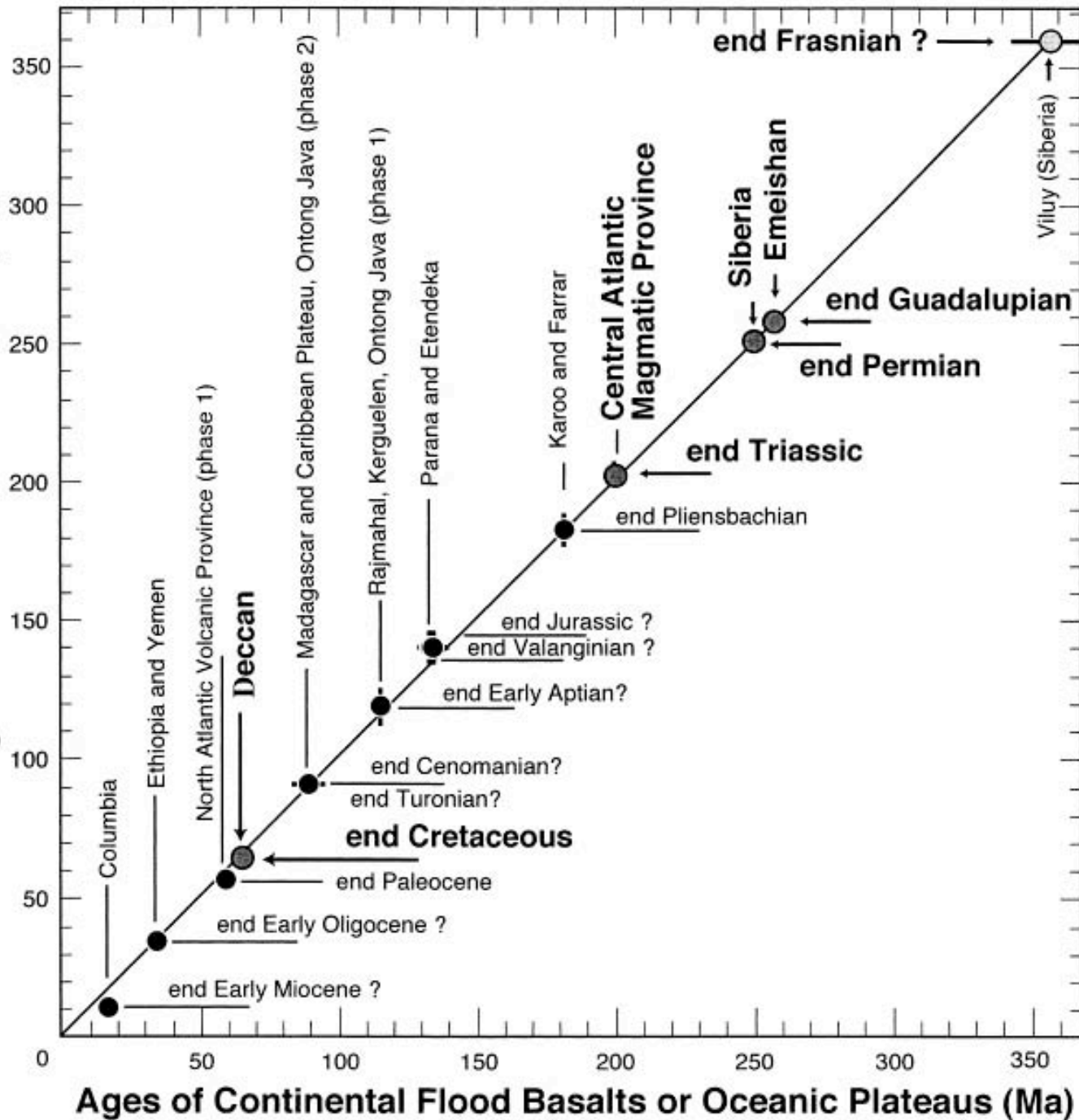
Il existe une très grande différence entre les géologues et les autres scientifiques en ce qui concerne le facteur "temps".

Ainsi pour les géologues un temps "long" ne sera important que s'il dépasse 1 MA !!!

## La flèche du temps

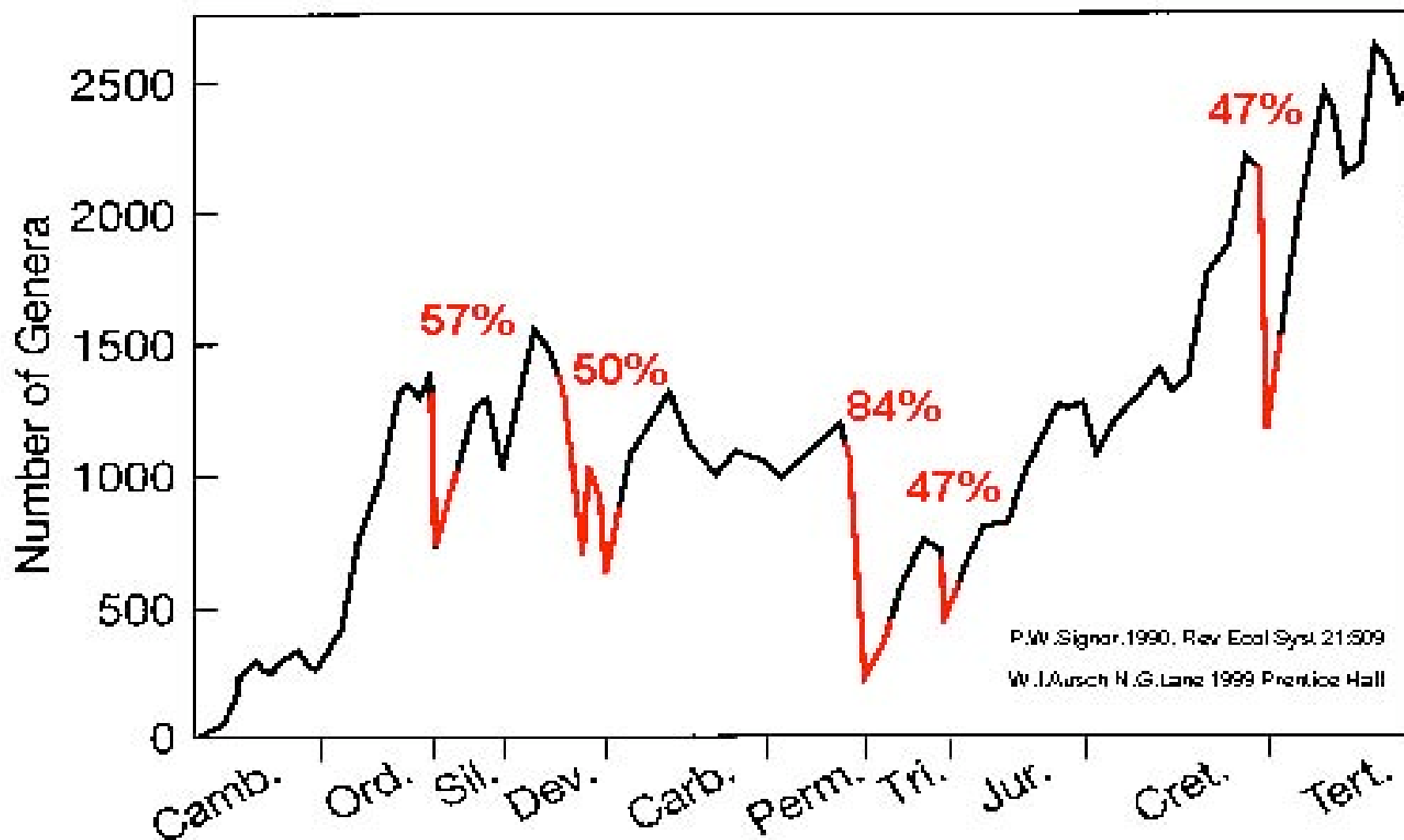


# Ages of Mass Extinctions, Oceanic Anoxia Events and Geological Time Scale Boundaries (Ma)



Courtilot & Renne  
2003

# Mass Extinctions



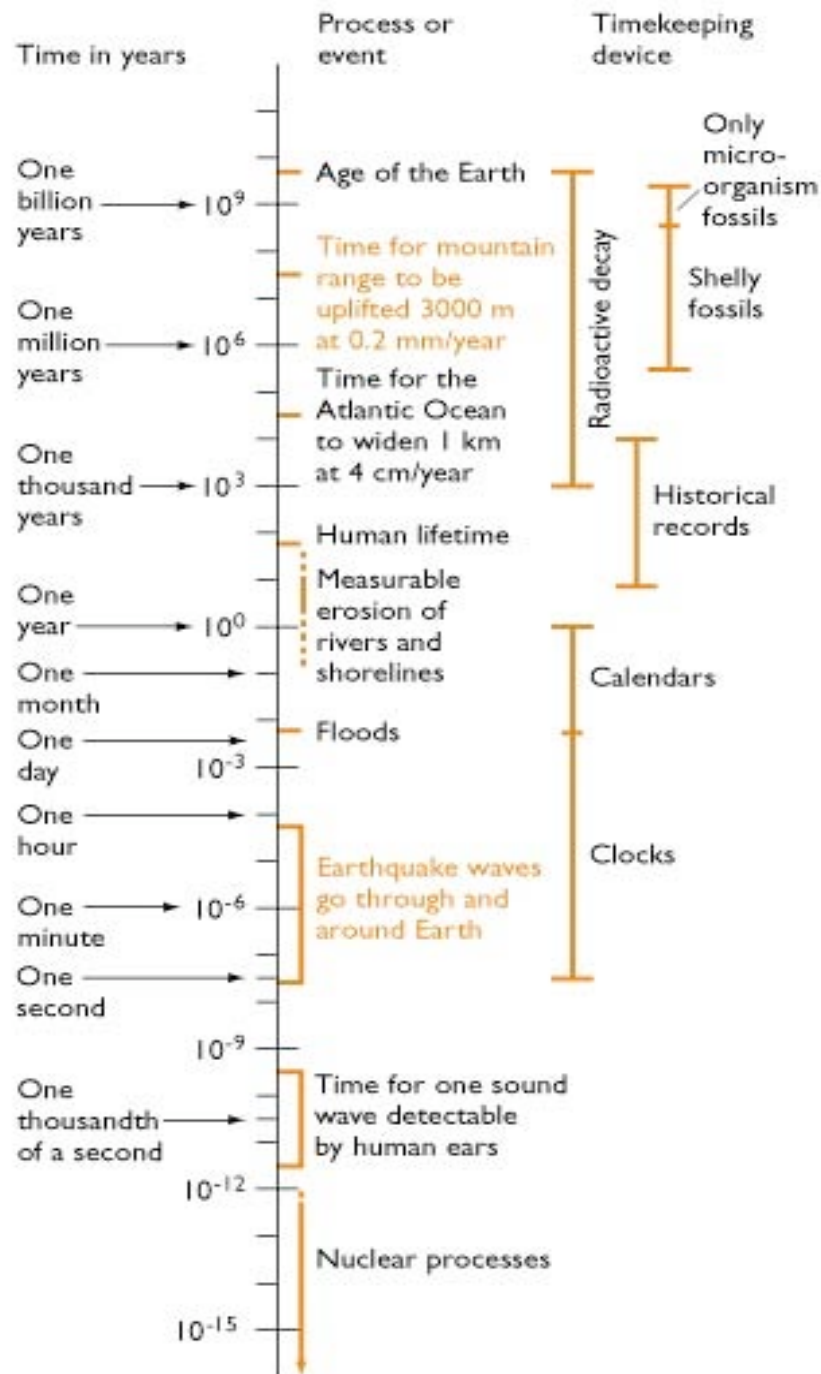
**La mesure du temps:**  
les sciences de la Terre sont des  
sciences **historiques**

Les échelles de temps sont emboîtées sur  
plus de **17 ordres de grandeur:**  
**de la seconde...**

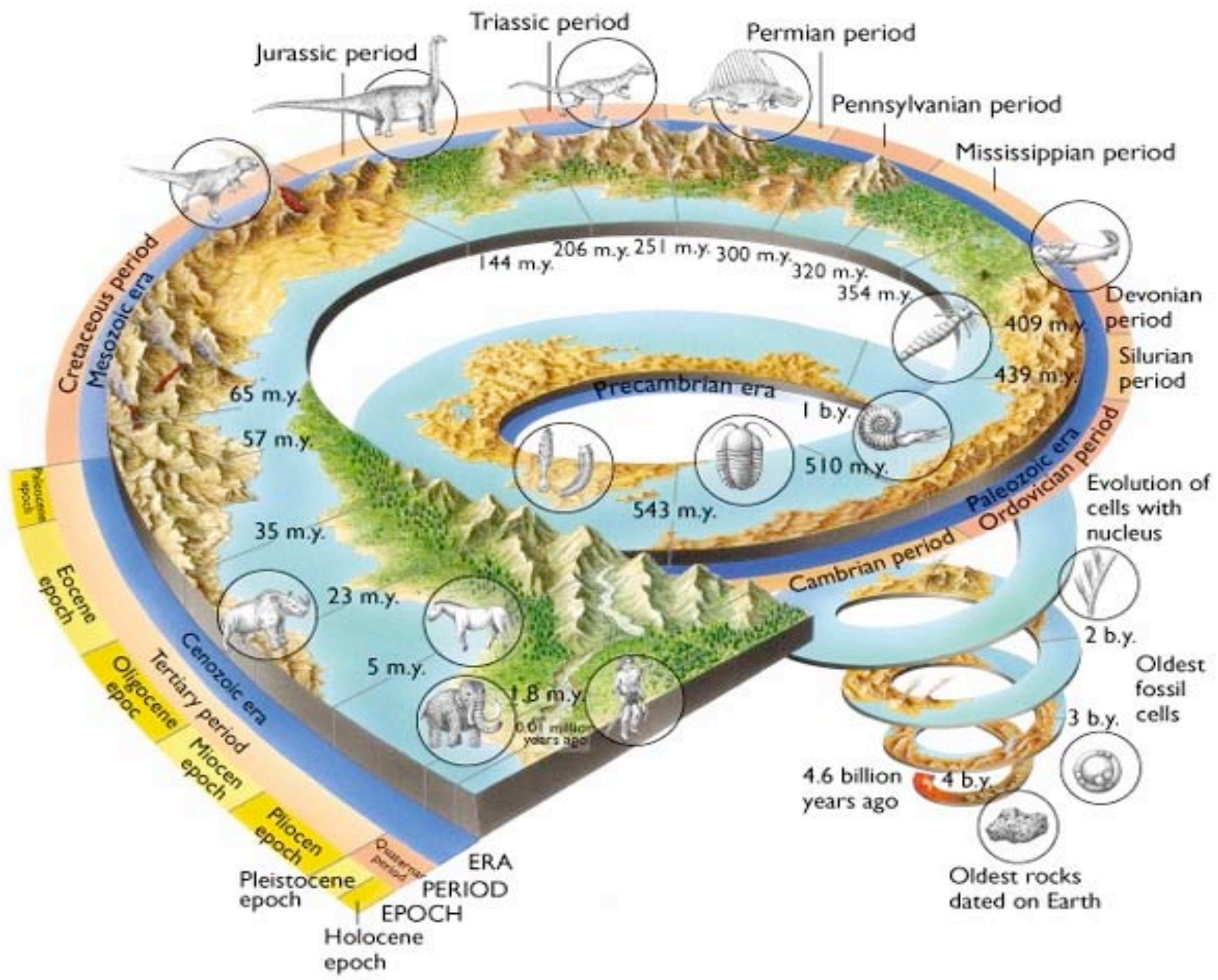
(séisme, orage magnétique)

**...aux milliards d'années**

(origine du système solaire)



Durée temporelle de quelques processus et événements géologiques.

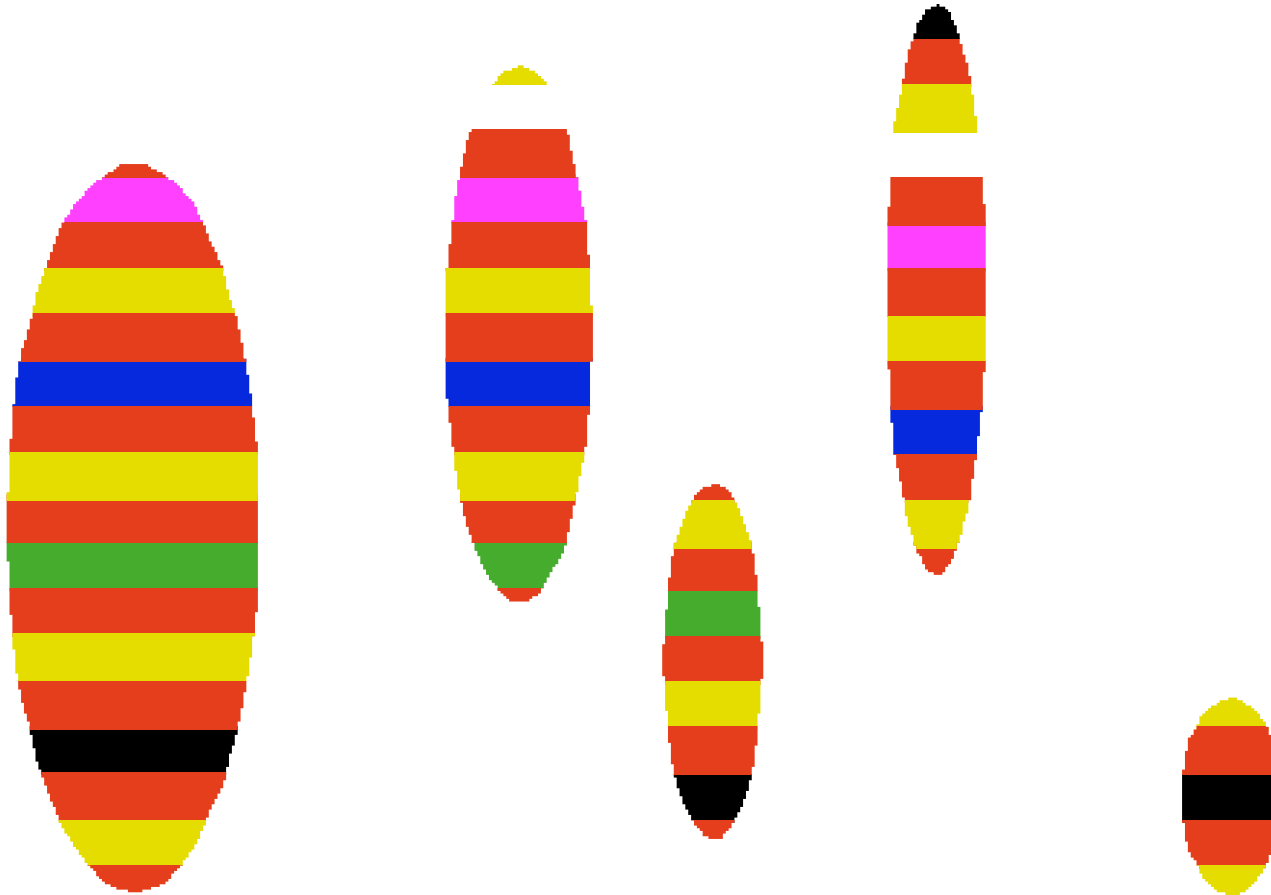




# Temps et stratigraphie

- ✓ La stratigraphie est le domaine de la géologie qui intègre historiquement les événements, ainsi que les produits préservés de ces événements (roches, fossiles, structures) dans un ordre chronologique.
- ✓ La géochronologie permet d'attribuer des âges "absolus" à ces événements.
- ✓ Toute stratigraphie débute par la construction d'une succession lithologique locale, respectant les relations de juxtaposition directement observées sur le terrain.
- ✓ Relier une telle succession mesurée en un endroit à des événements enregistrés ailleurs nécessite une corrélation, celle-ci est l'outil de base pour construire une succession globale et par suite une échelle chronologique globale.

# Temps et stratigraphie



- Local sequences and correlation...within each outcrop the sequence of colors is fixed by direct observation. Matching this sequence with what is observed in a different outcrop is correlation.

***Construction d'une échelle des temps géologiques : Une démarche pluridisciplinaire***

- **Lithostratigraphie**
- **Biostratigraphie**
  - **Taxonomie**
  - **Biochronologie**
- **Chronostratigraphie**
- **Litho. et Biofaciès**
  - **Stratigraphie séquentielle**
  - **Chimiostratigraphie**
  - **Magnétostratigraphie**
  - **Cyclostratigraphie**
  - **Calibration géochronologique**

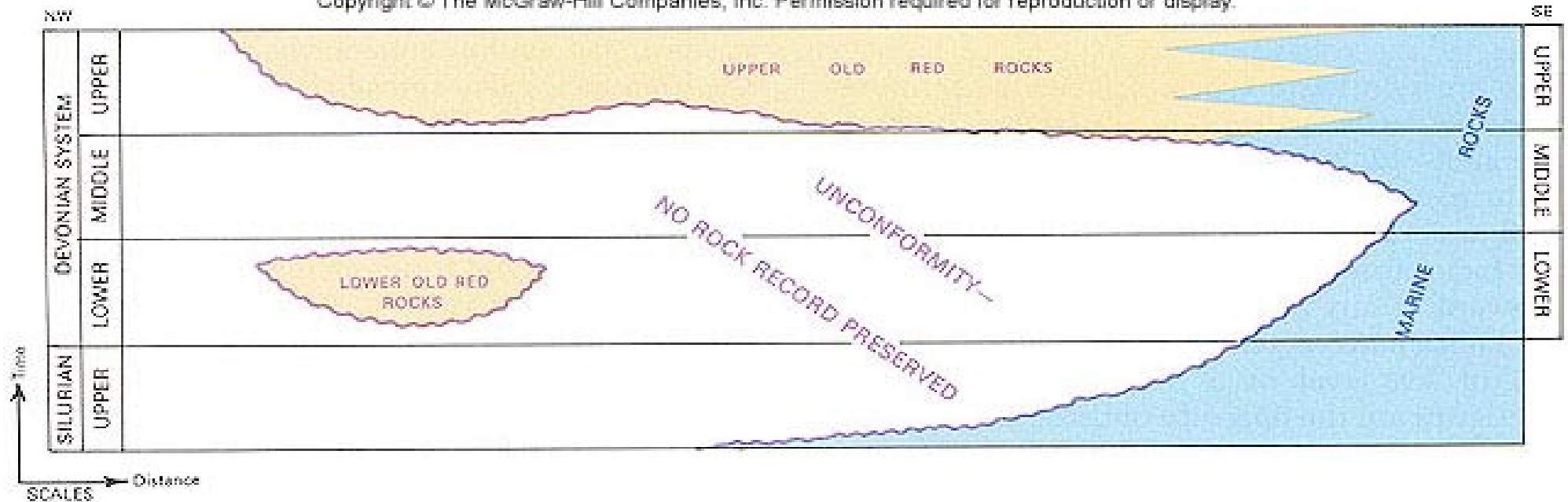
# Roches *versus* Temps

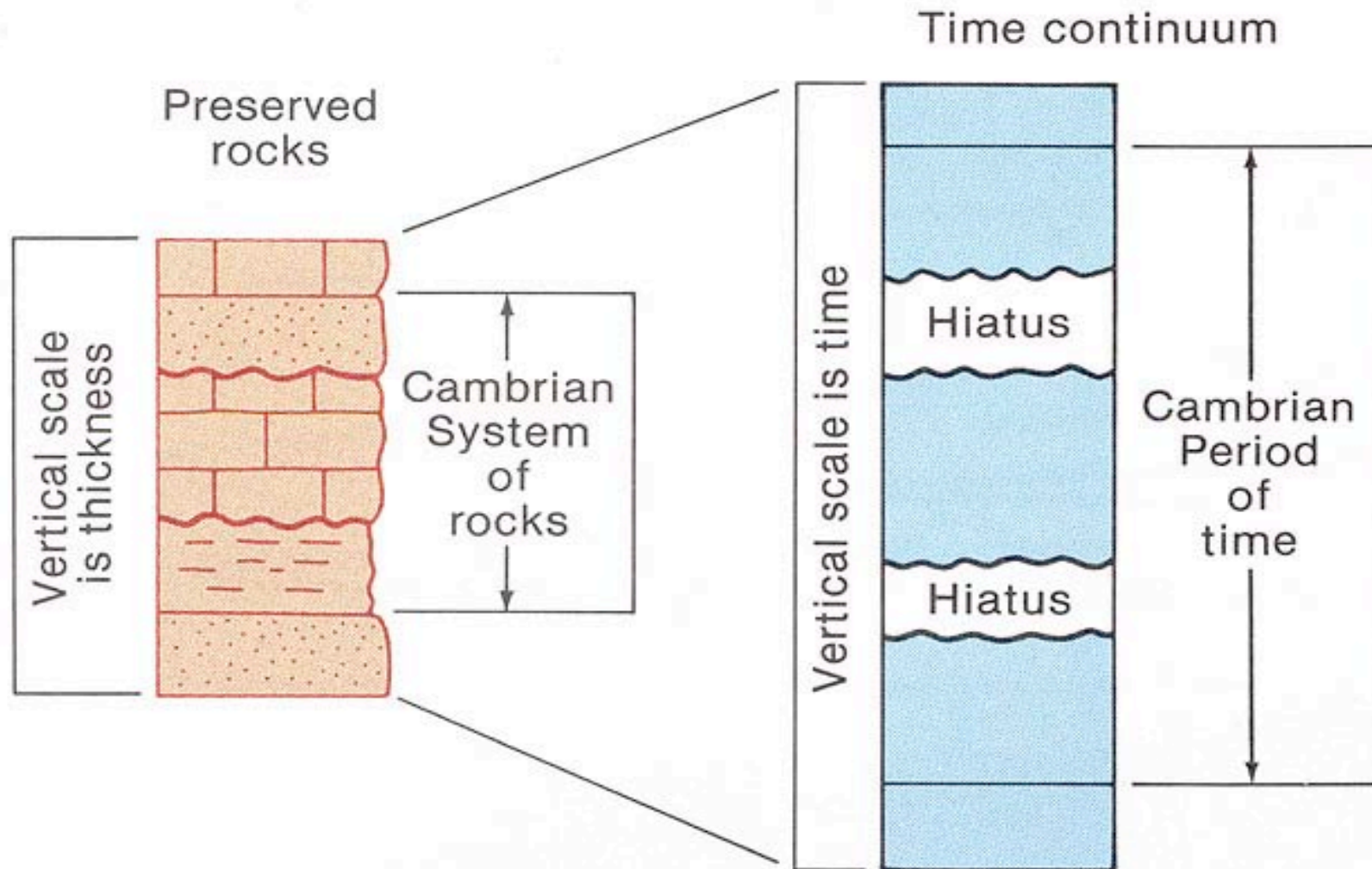
**Le temps est complet et  
vectoriel**

**L'enregistrement sédimentaire  
ne l'est pas !!**

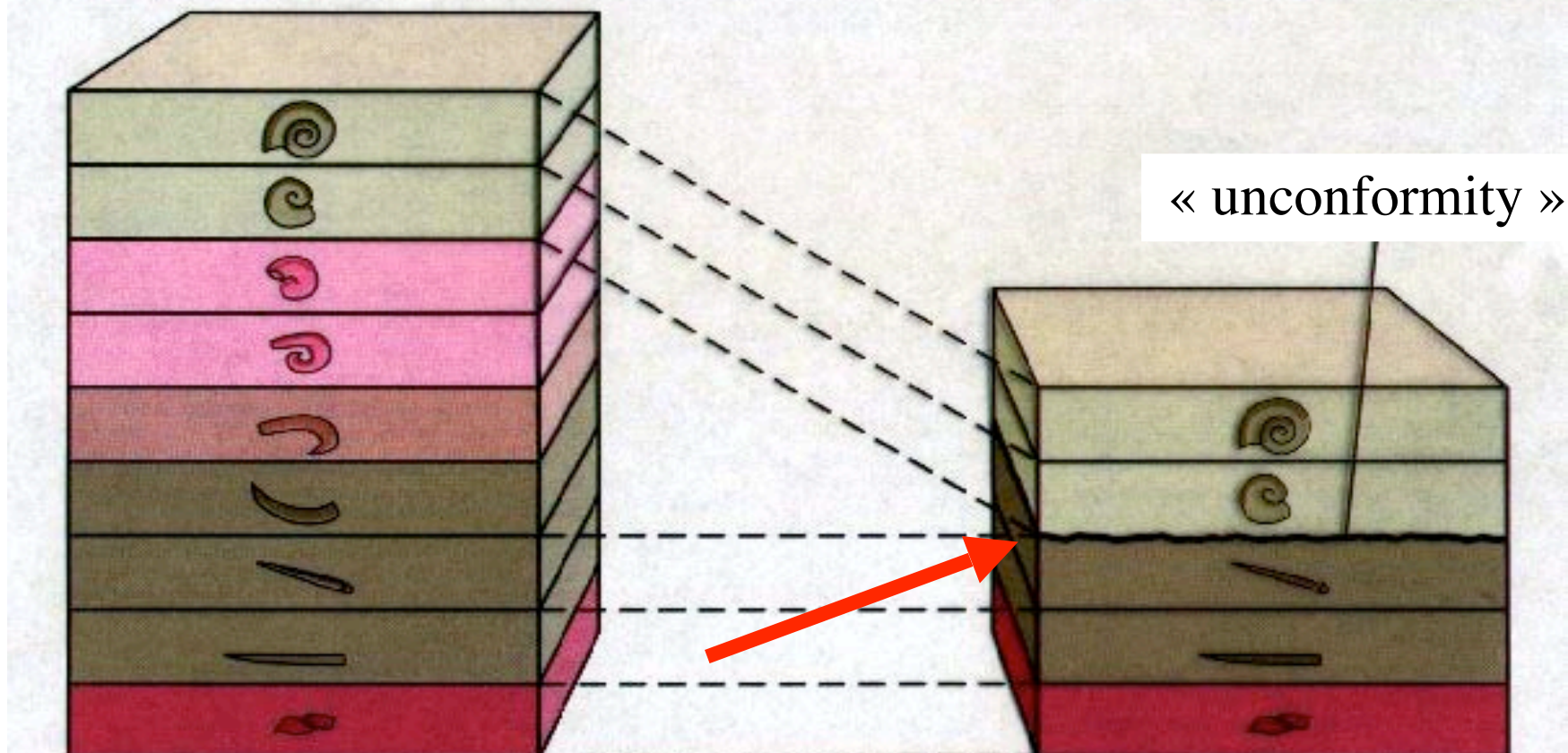
# Time Diagram Contrasting Preserved versus Missing Rock Record

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.



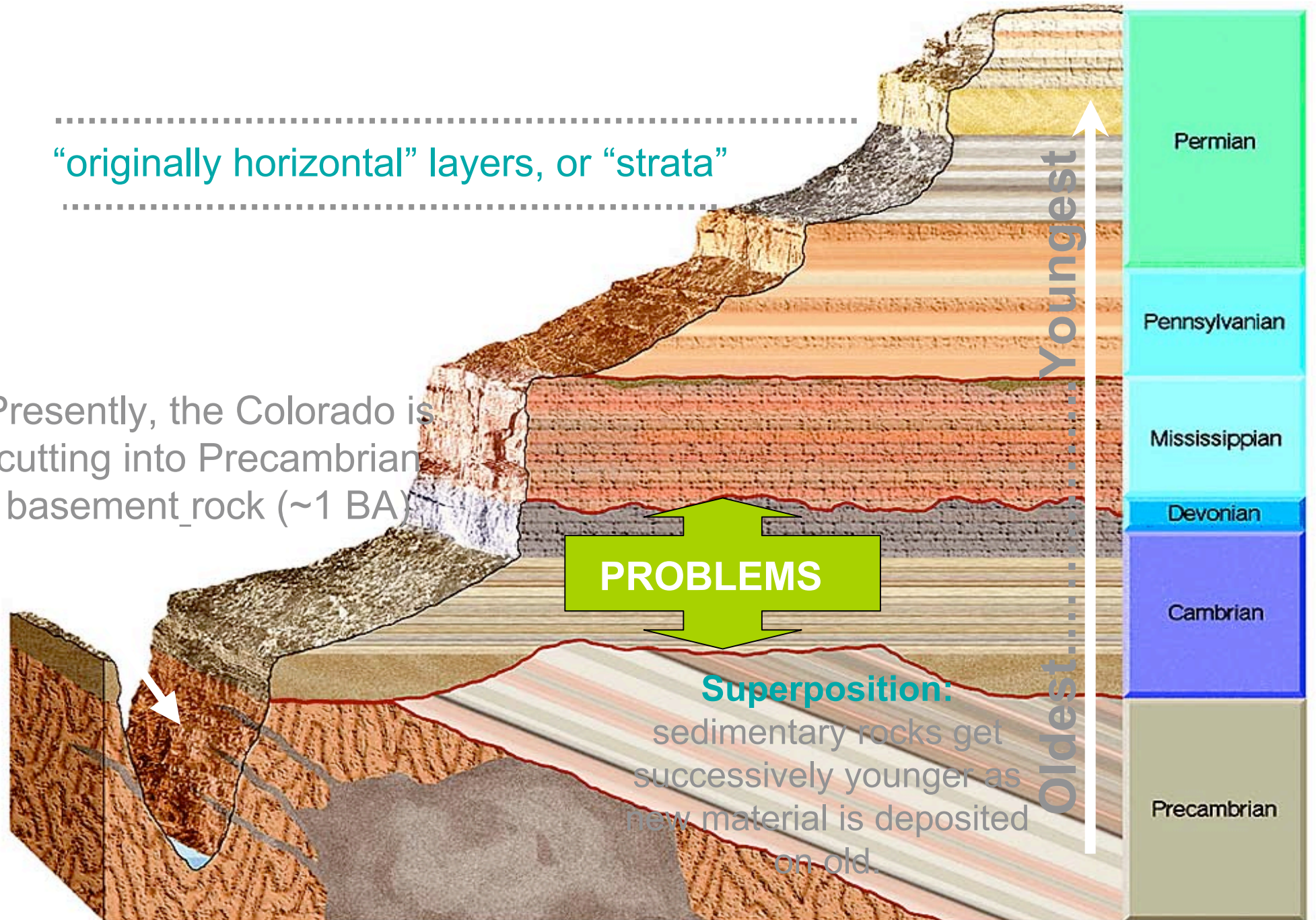


Des roches manquent ...  
mais le temps est continu !!



“originally horizontal” layers, or “strata”

Presently, the Colorado is cutting into Precambrian basement rock (~1 BA)





**CHRONOSTRATI.**  
© ICS 2004

**OMAN EXOTICS FORMATIONS**

AGE (Ma)	Period	Epoch	Stage	AGE (Ma)
65.5	Cretaceous	Late	Maastrichtian	65.5
70.6			Campanian	70.6
83.5			Santonian	83.5
85.8			Coniacian	85.8
89.3			Turonian	89.3
93.5			Cenomanian	93.5
99.6	Cretaceous	Early	Albian	99.6
112.0			Aptian	112.0
125.0			Barremian	125.0
130.0			Hauterivian	130.0
136.4			Valanginian	136.4
140.2			Berriasian	140.2
145.5	Jurassic	Late	Tithonian	145.5
150.8			Kimmeridgian	150.8
155.7			Oxfordian	155.7
161.2			Callovian	161.2
164.7			Bathonian	164.7
167.7			Bajocian	167.7
171.6	Jurassic	Middle	Aalenian	171.6
175.6			Toarcian	175.6
183.0			Pliensbachian	183.0
189.6			Sinemurian	189.6
196.5			Hettangian	196.5
199.6			Rhaetian	199.6
203.6	Triassic	Late	Norian	203.6
216.5			Carnian	216.5
228.0			Ladinian	228.0
235.0			Induan	235.0

AL KAHAFA Fm

Hiatus 4 ?

SAFIL Fm

Forams

*Hiatus 35 Ma*

NADAN Fm

Radiolarians

*Hiatus 20 Ma*

FATAH Fm

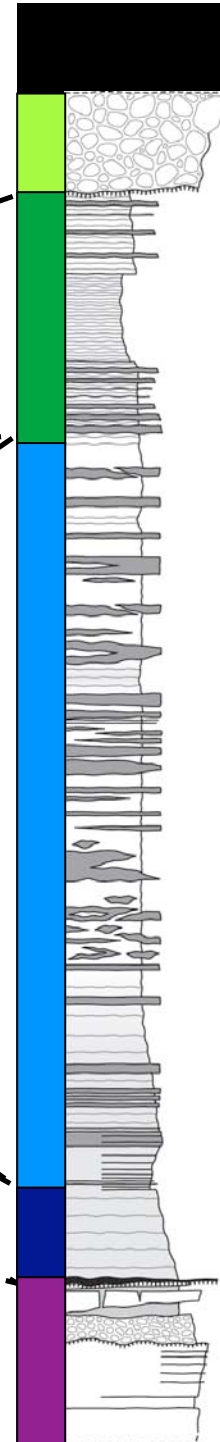
Ammonites

Ammonites

*Hiatus 25 Ma*

MISFAH Fm

Forams



= 20 m.

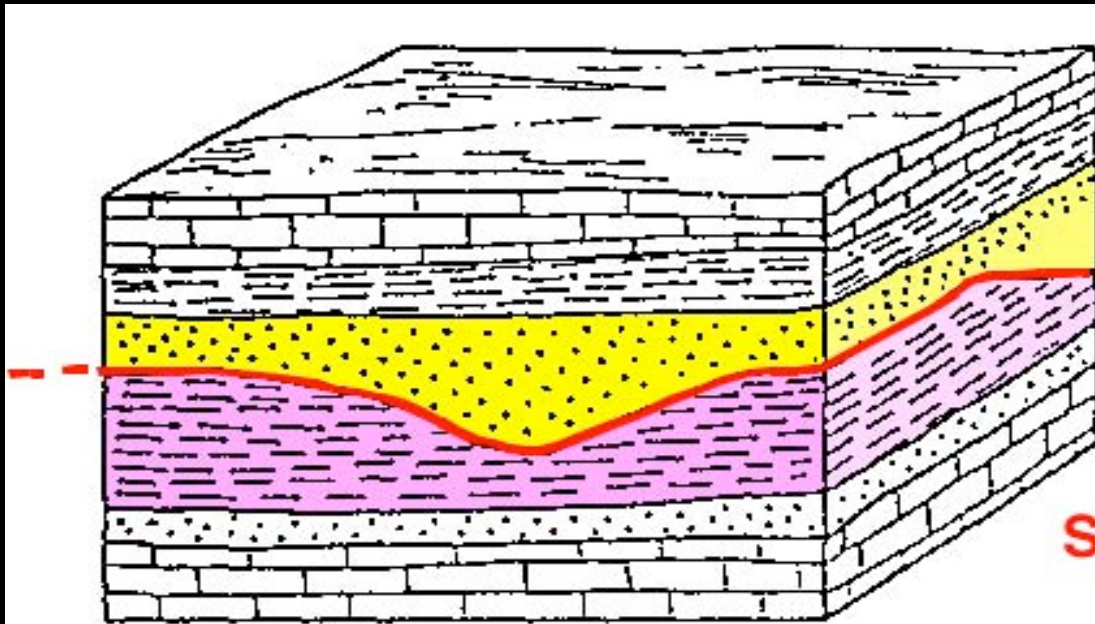
*J. Marcoux, L. Barrier & al. 2005*

# **“Unconformity” ou surface de discontinuité**

✓ période d'érosion

et/ou

✓ période de non dépôt = Hiatus



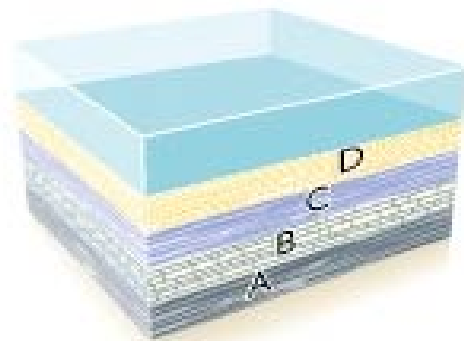
## « unconformity »

pas de discordance angulaire,  
mais présence d'une surface d'érosion  
là où le grès est venu remplir  
un chenal creusé dans les argillites

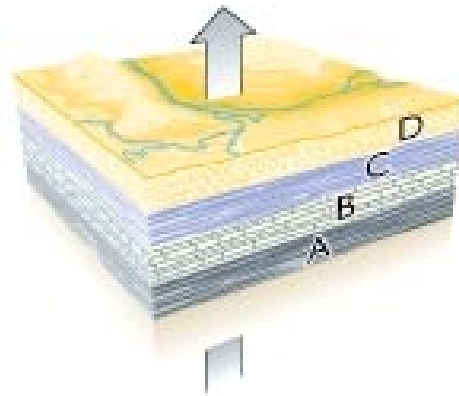
Surface d'érosion

# Formation d'une "unconformity"

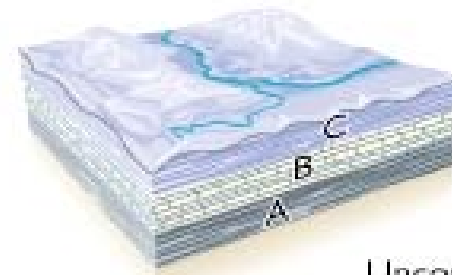
Sedimentation of beds A–D beneath the sea



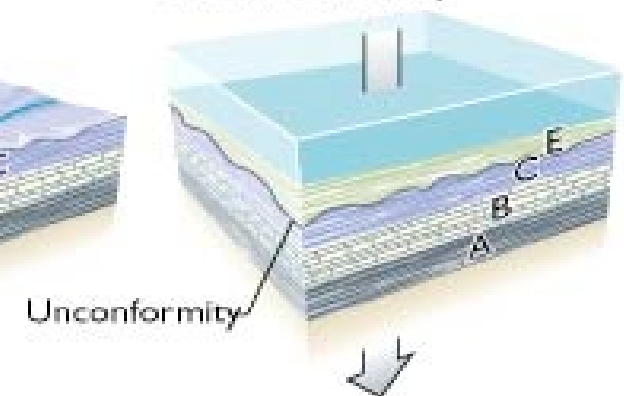
Uplift above sea level and exposure of D to erosion



Continual erosion strips D away completely and exposes C to erosion



Subsidence below the sea and sedimentation of E over C; erosion surface of C preserved as an unconformity



# Une très célèbre discordance historique

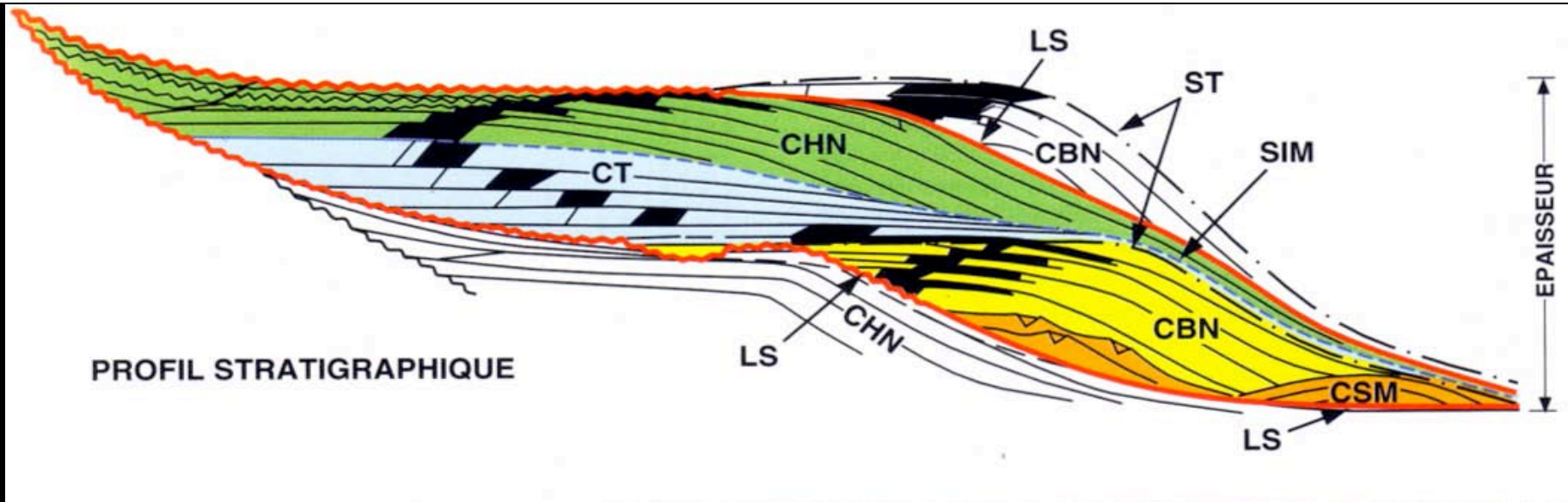
## Siccar Point (Ecosse), *James HUTTON 1788*



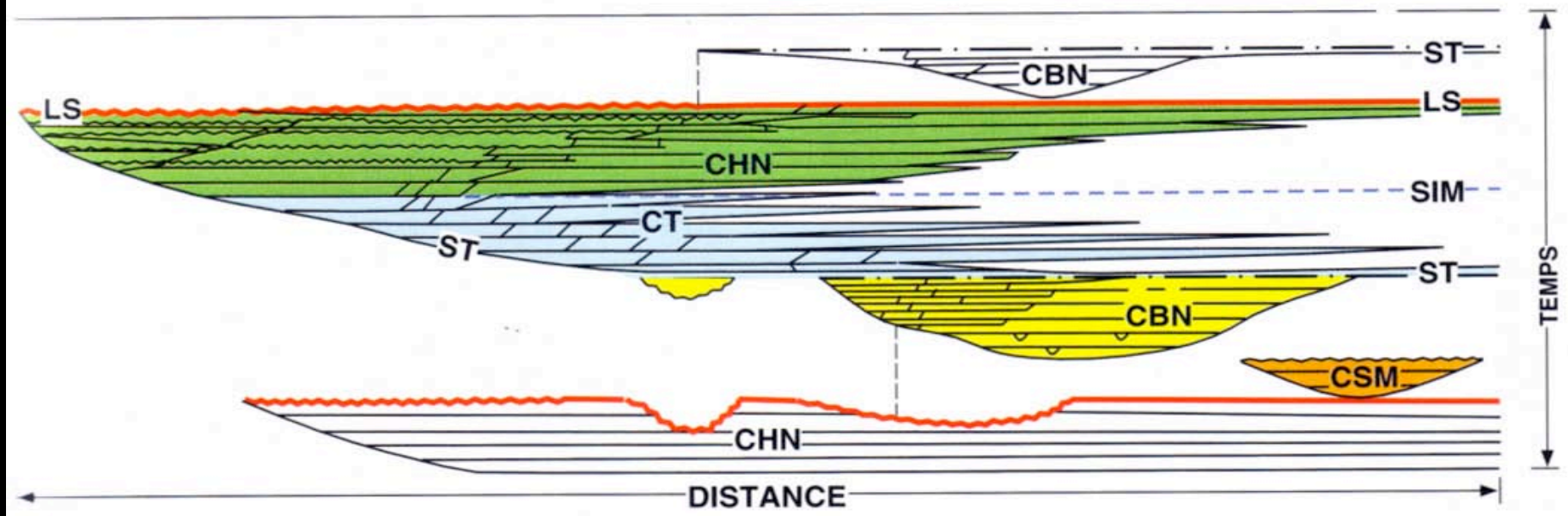
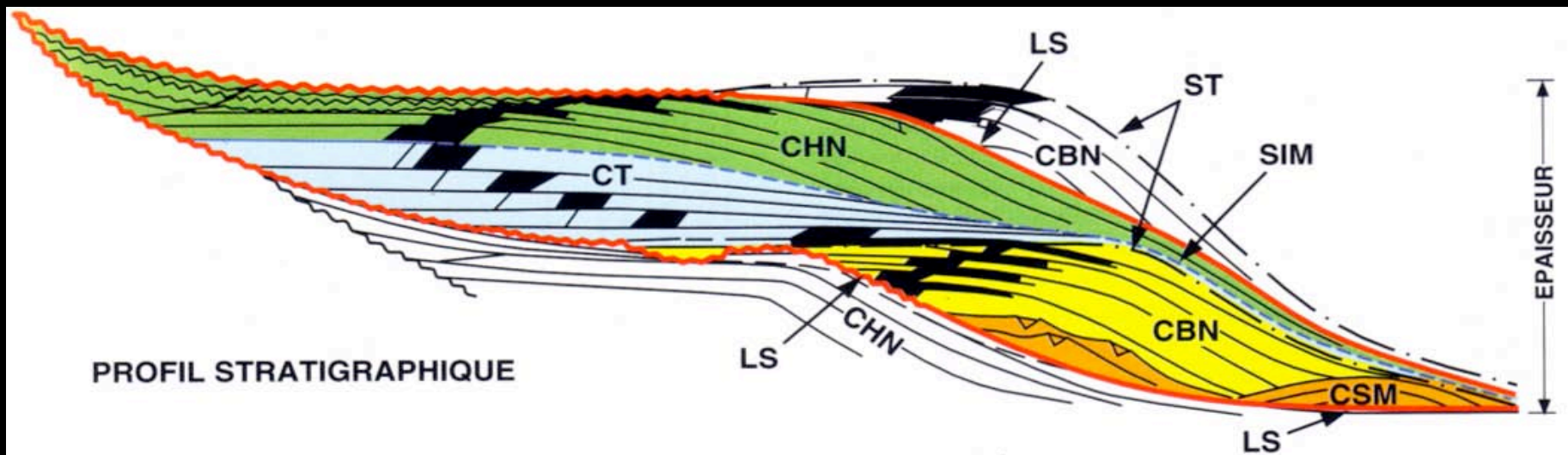


Discordance du Trias sur du Carbonifère plissé et érodé  
(sud du Portugal)

*Cliché Matte*

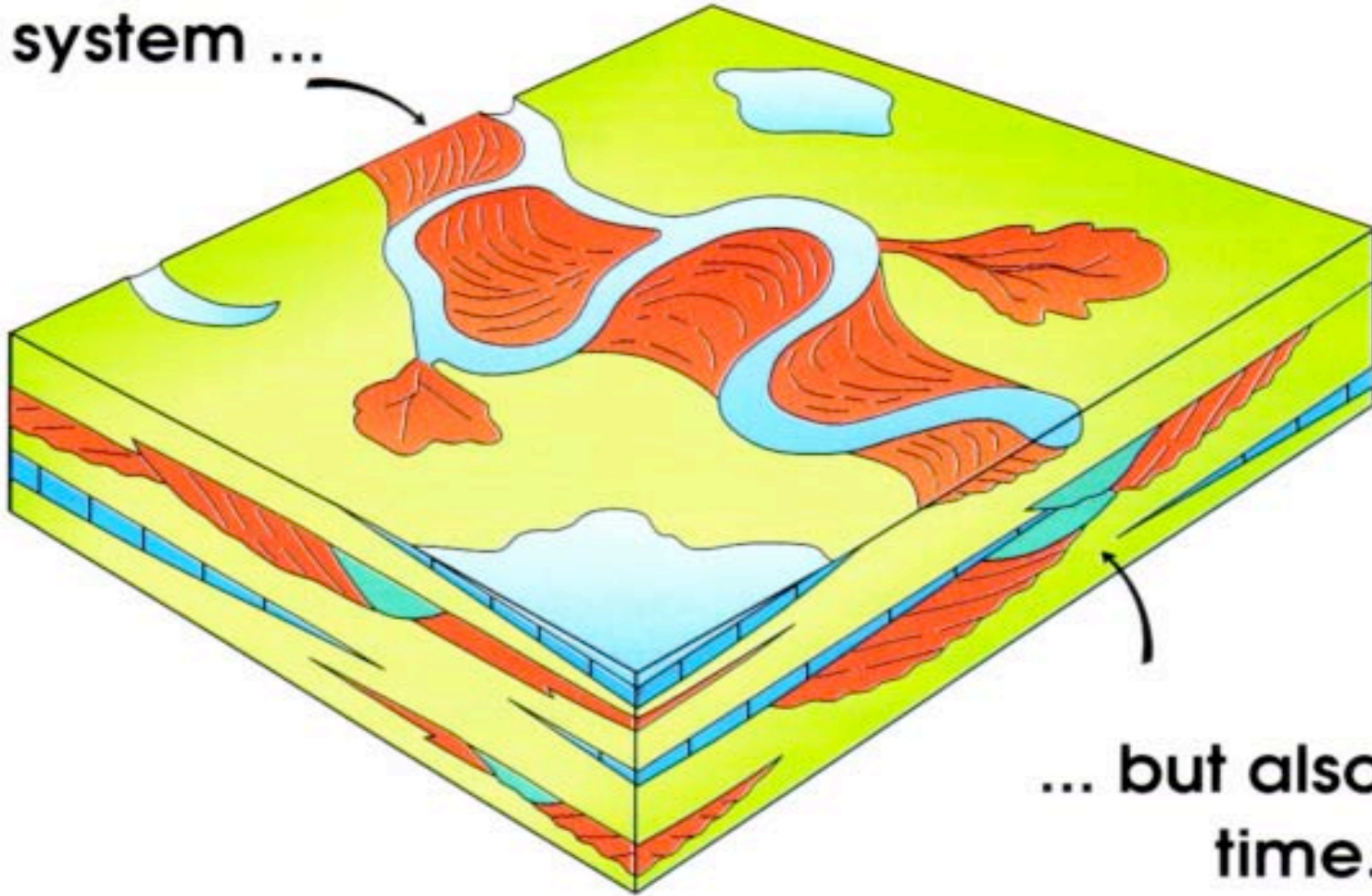


- LS = Limite de séquence
- CSM = cône sous marin
- CBN = cortège de bas-niveau
- CHN = cortège de haut-niveau
- CT = cortège transgressif
- ST = surface de transgression
- SIM = surface d'inondation maximale



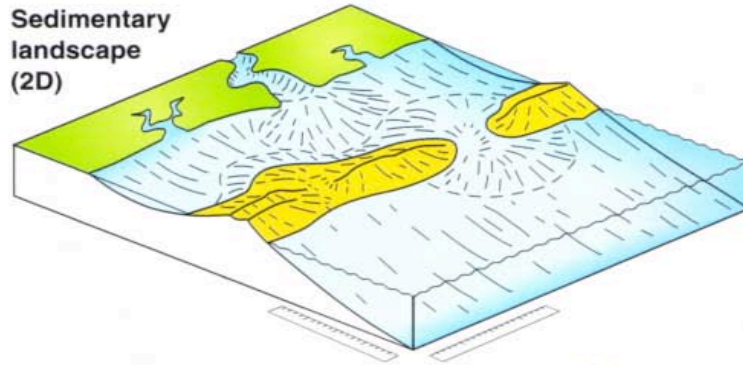


A sedimentary system ...

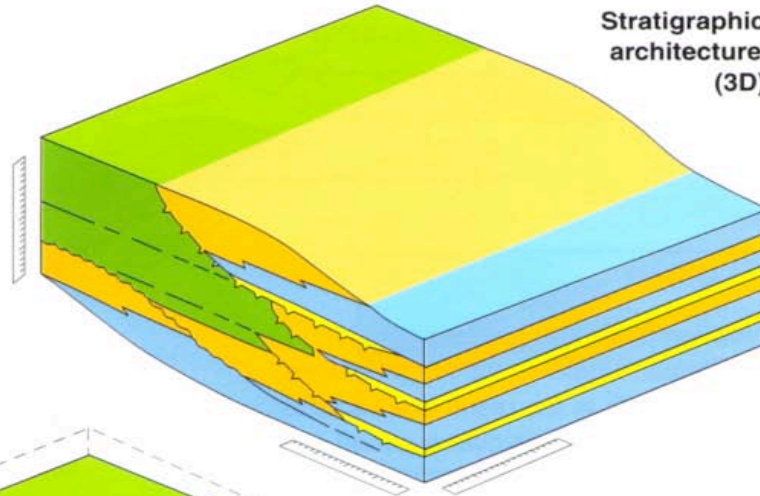


... but also time.

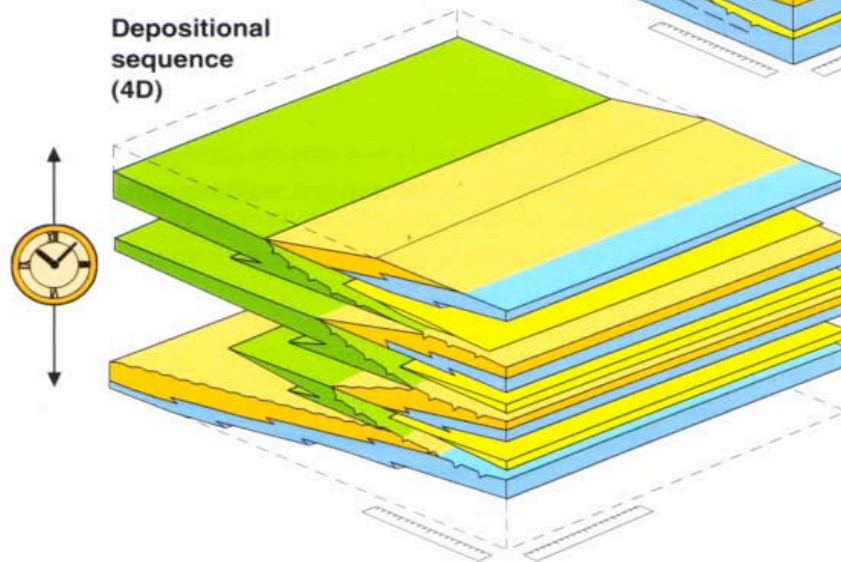
**Sedimentary  
landscape  
(2D)**



**Stratigraphic  
architecture  
(3D)**

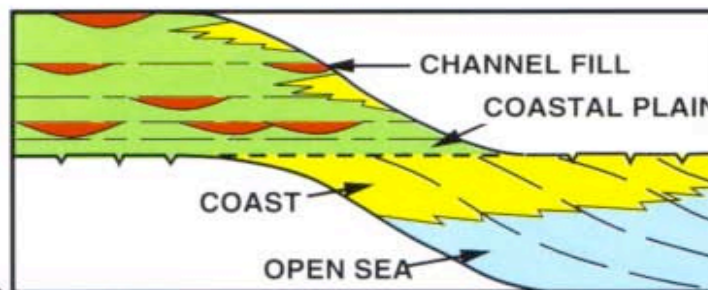


**Depositional  
sequence  
(4D)**

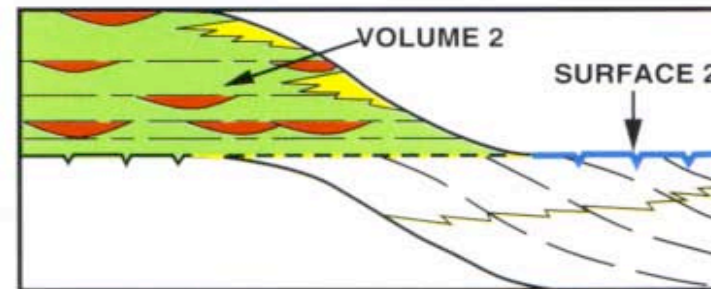
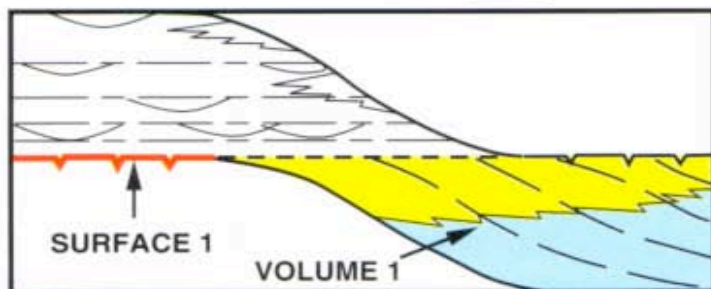


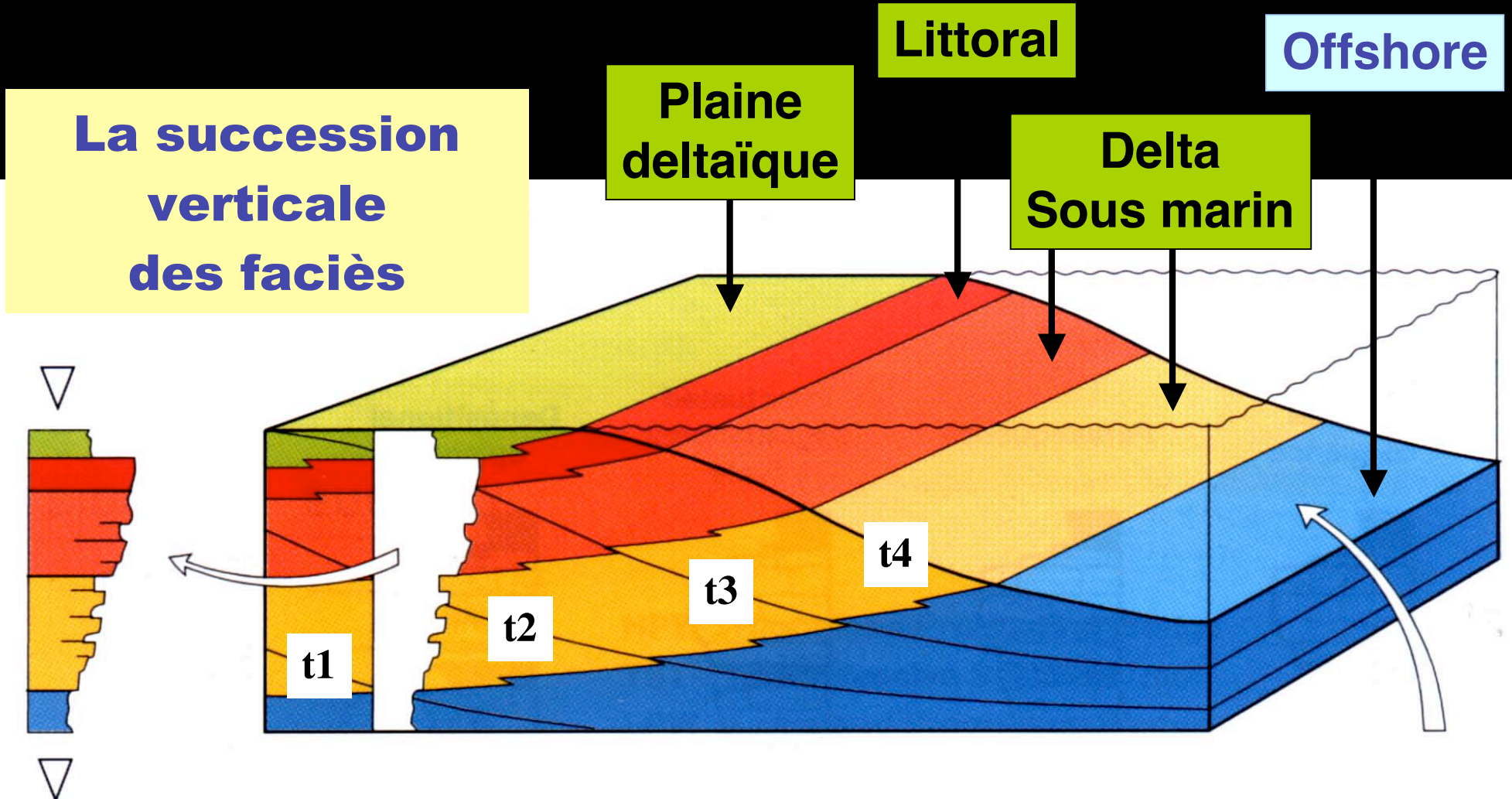
## Time is continuously recorded

A time period which is recorded in one place as a surface...

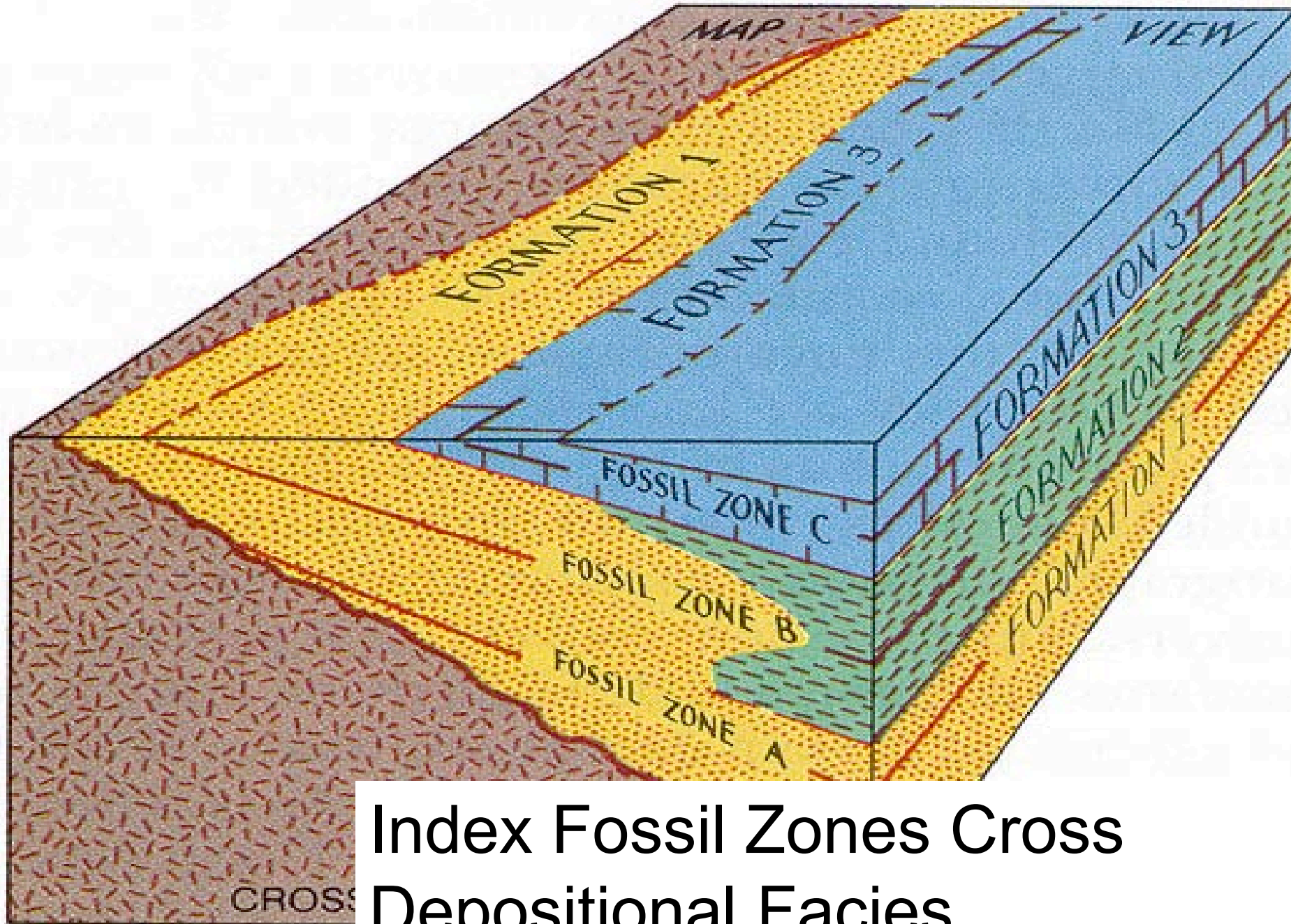


... is recorded elsewhere as a volume of sediments.





***... correspond à l'enregistrement dans le temps de leur succession latérale***



Index Fossil Zones Cross  
Depositional Facies

# GEOCHRONOLOGY

- **RELATIVE DATING** is accomplished through stratigraphy and correlation:
  - the oldest rocks/fossils are deeper in the record
  - a global “picture” of succession emerges through stratigraphic correlation
- **ABSOLUTE DATING** is accomplished through the application of radioactive decay.
  - some atoms (parent) are unstable and decay to other atoms (daughter)
  - happens at a constant & known rate (half life)
  - measure ratio of parent to daughter
  - calculate the time elapsed

# TEMPS et FOSSILES

BIOCHRONOLOGIE

# BIOSTRATIGRAPHY

## Stratigraphic Succession

- William “Strata” Smith, 1816.
  - Fossil organisms succeed one another in a definite, determinable order.
  - Time periods can be recognized by the fossils
- Index fossils:
  - Brief (a few MA) age range
  - Easily recognized
  - Widely distributed
- Application of Principle of Superposition.
  - Can be used to correlate across great distances



# Biostratigraphie

The art and science of telling time from rocks.

Traditional core of paleontology, and of geology.

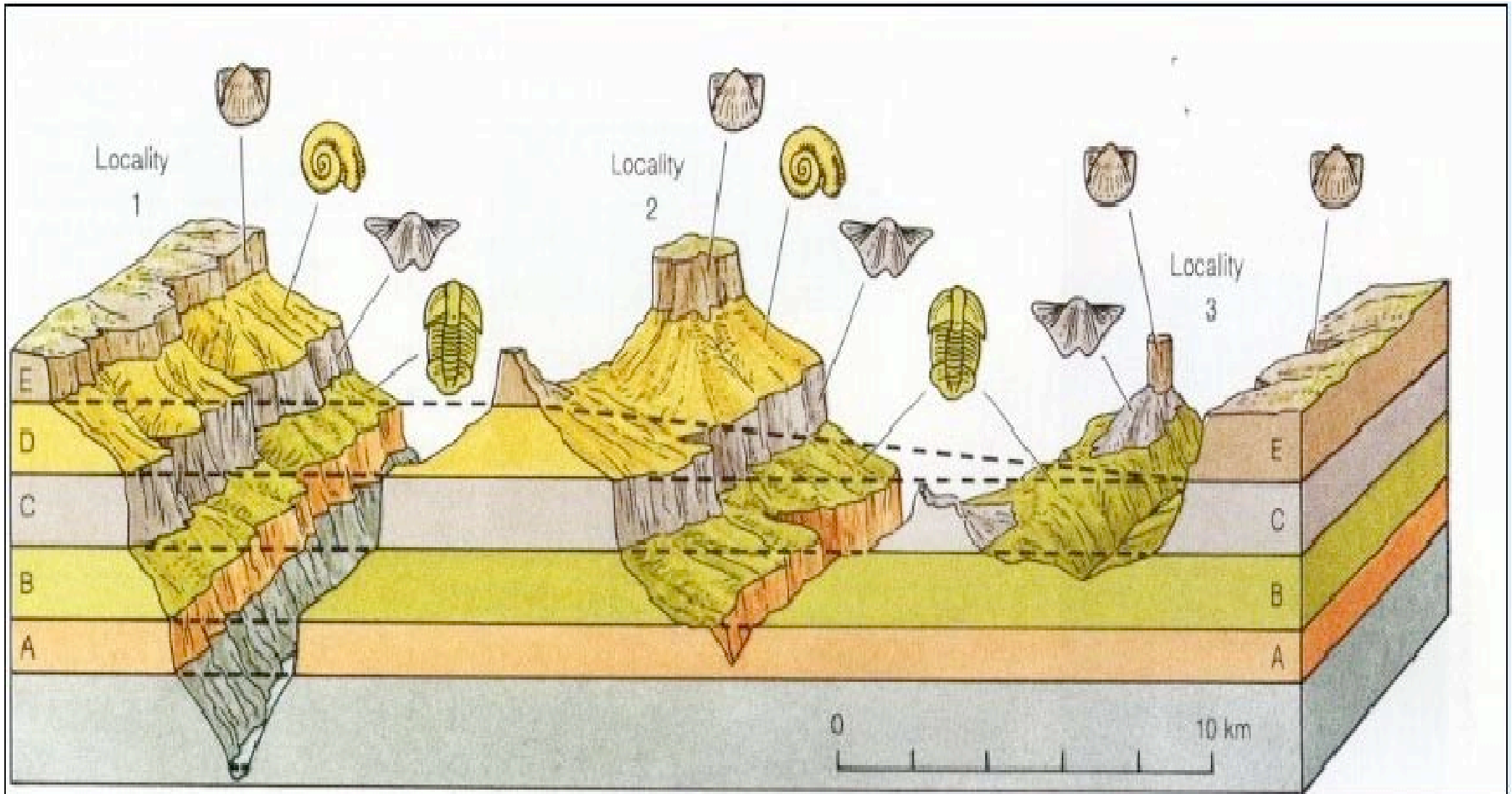
The geologic time scale  
is all based on fossils,  
relative time scale.

Most paleontologists  
working in industry  
do biostratigraphy.



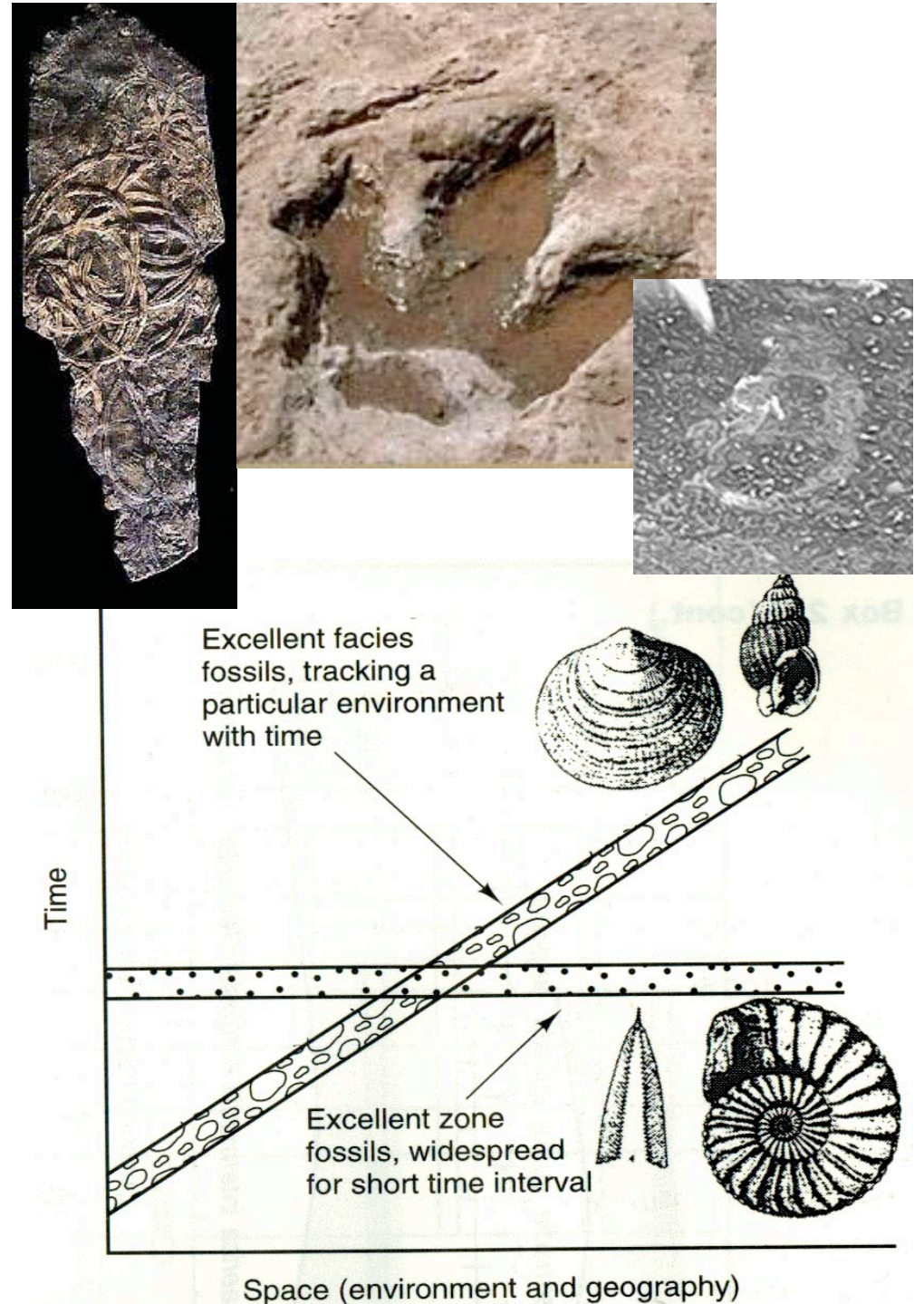
# Biostratigraphic Correlation:

By matching index fossils between locations, an age correlation can be made

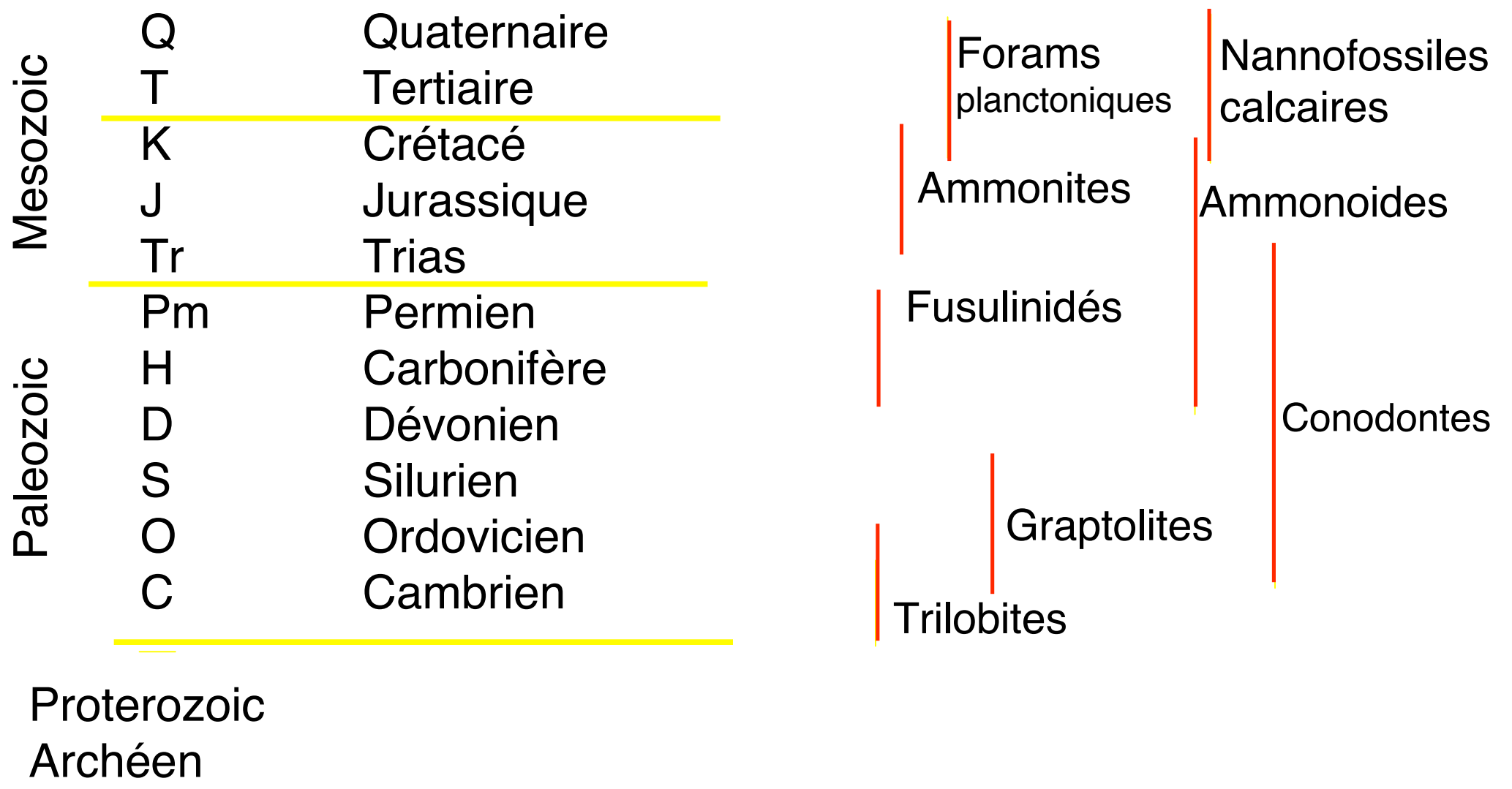


# Biostratigraphy

- Life evolves over time and leaves recognizable traces in rocks called *fossils*.
  - Fossils can be actual preserved body parts of ancient organisms, casts or impressions of body parts preserved in surrounding rocks, or traces left by the passage of an organism (e.g., a worm burrow or footprint)
- Where distinctive species have a limited age range and a wide geographic range, an *index fossil* or a characteristic fossil assemblage can be used to correlate the ages of distant rock sequences in which they appear.
  - In general, biostratigraphy is a vastly better tool for correlation than lithostratigraphy, since evolution imprints a timestamp on fossils, whereas rock deposition environments move around but do not really evolve with time (except where biologically controlled!).
  - Some care is required: organisms migrate, and biostratigraphic zones can be time-transgressive.



Eres Principaux groupes de fossiles utilisés en biostratigraphie (milieu marin) :



## Metazoan Invertebrates

### Graptolithina (Graptolites)

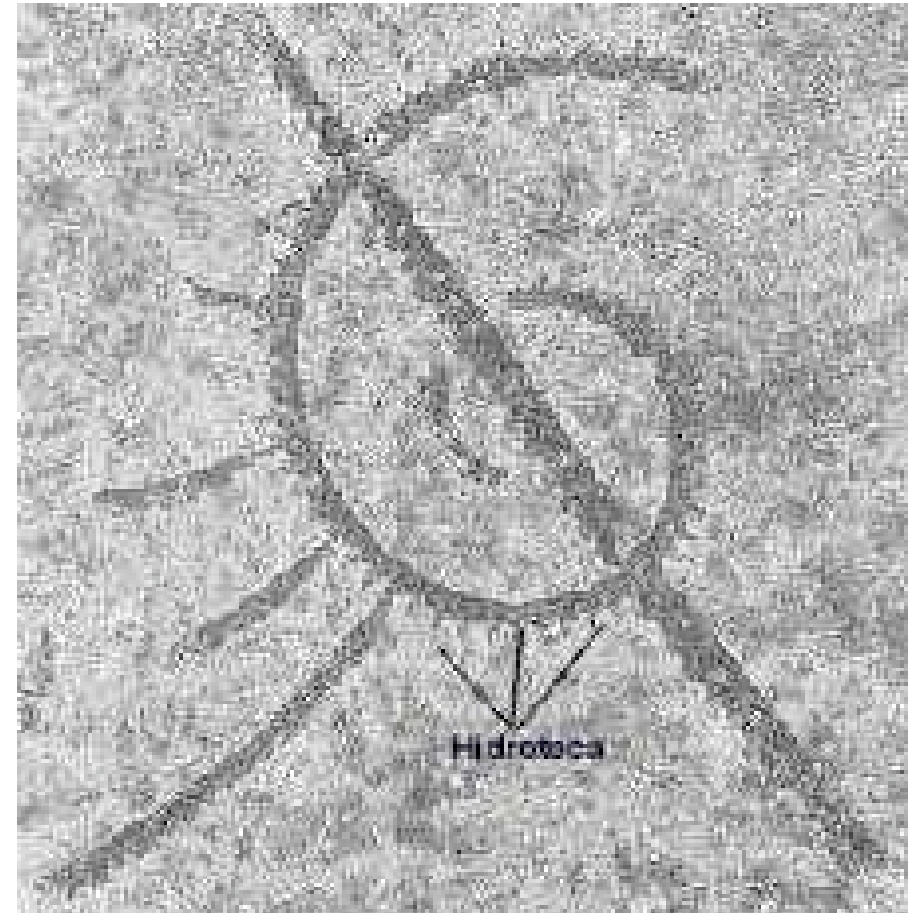
Marine

Planktonic or epiplanktonic

Sessile benthonic

Chitin skeleton

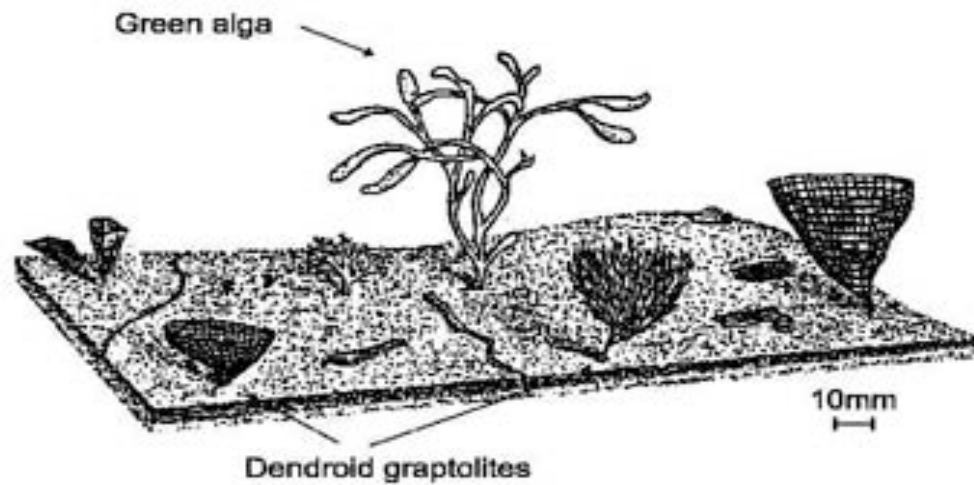
Cambrian to Carboniferous?



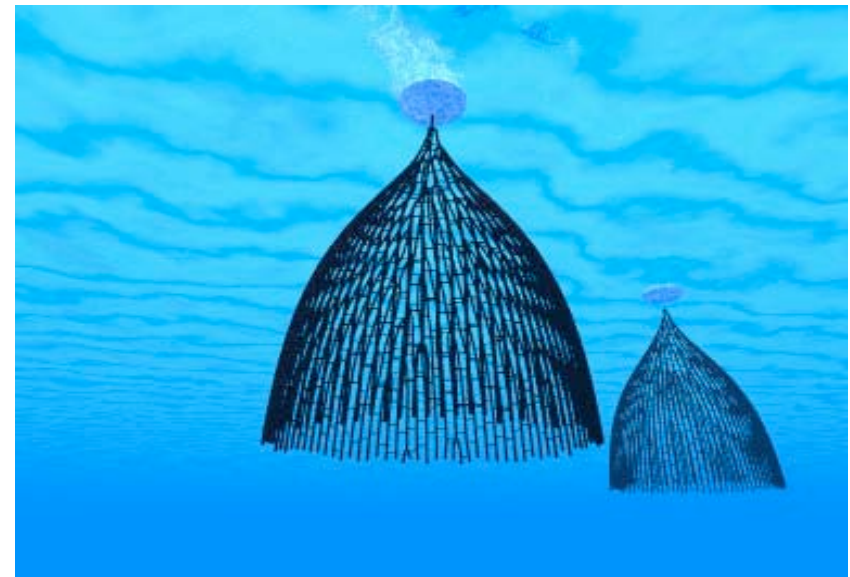
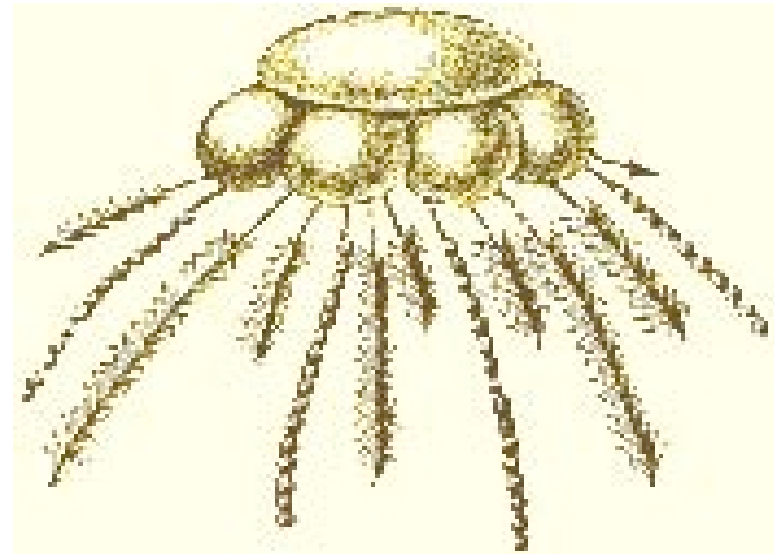
**Good index fossil for Ord-Sil**

# Metazoan Invertebrates

## Graptolithina (Graptolites)



MONOGRAPTUS



## Vertebrates

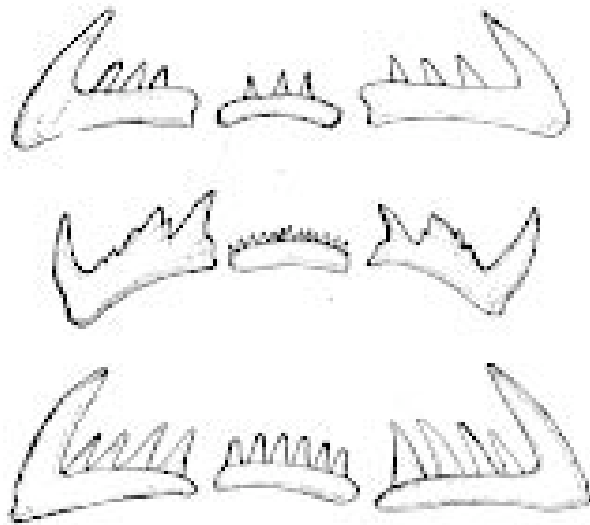
Conodonts

Chordate

Resemble teeth

Proterozoic to Triassic

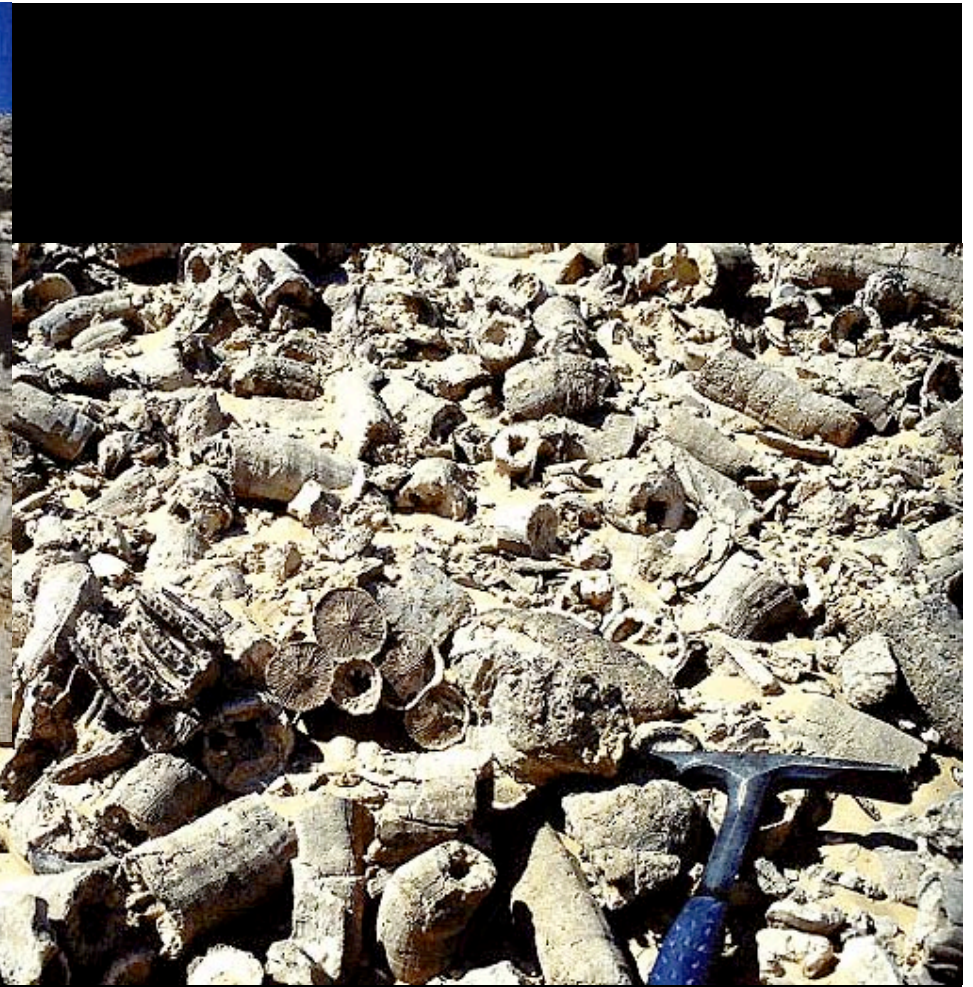
Calcium phosphate





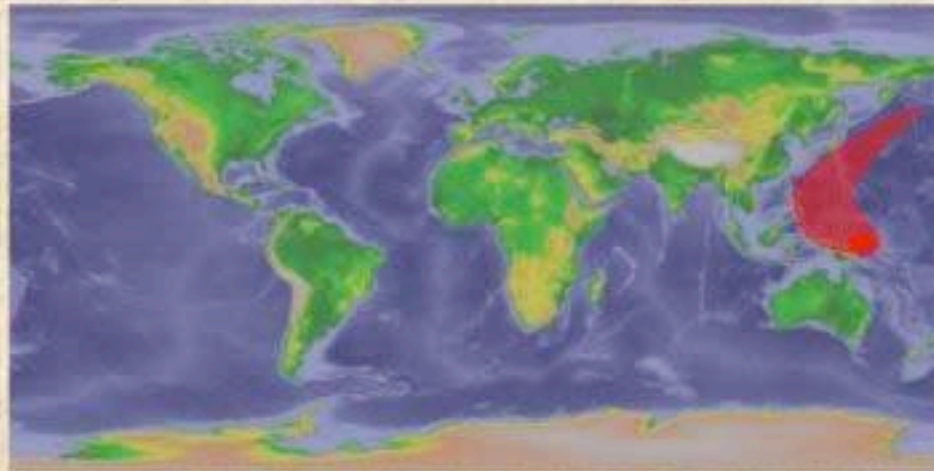
**TRILOBITES (Arthropodes)**  
**Disparition à la fin du Permien**



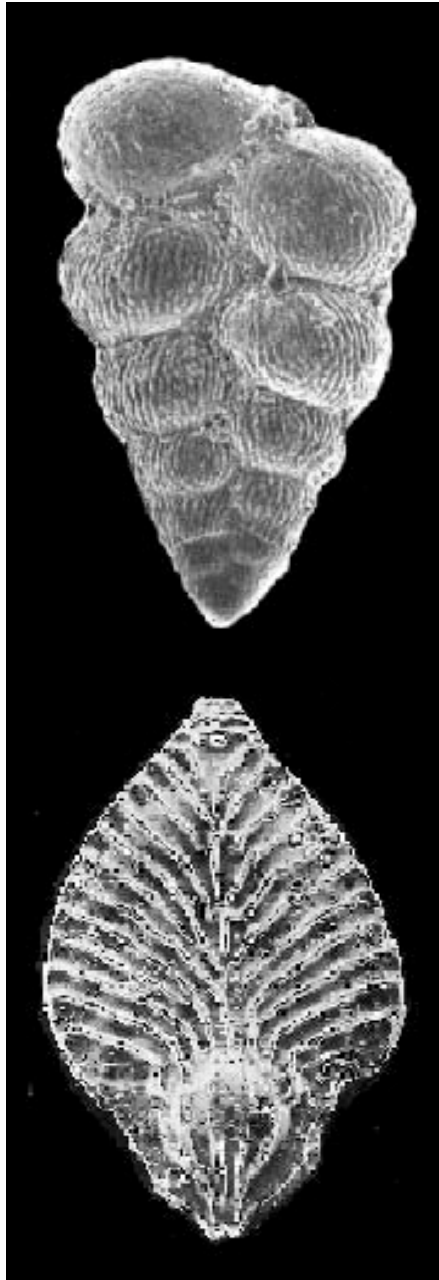


**Rudistes (lamellibranches fixés)  
CRETACE**

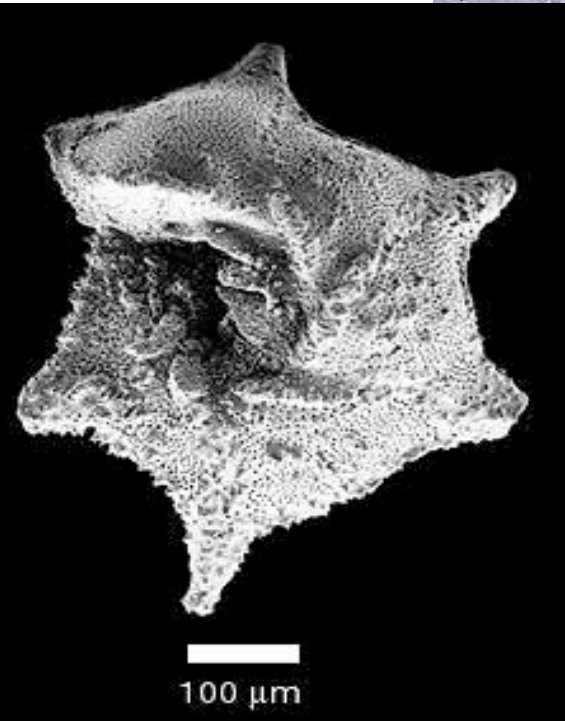
## *Le fossile stratigraphique*



# Foraminifera (forams)



*Heterohelix*

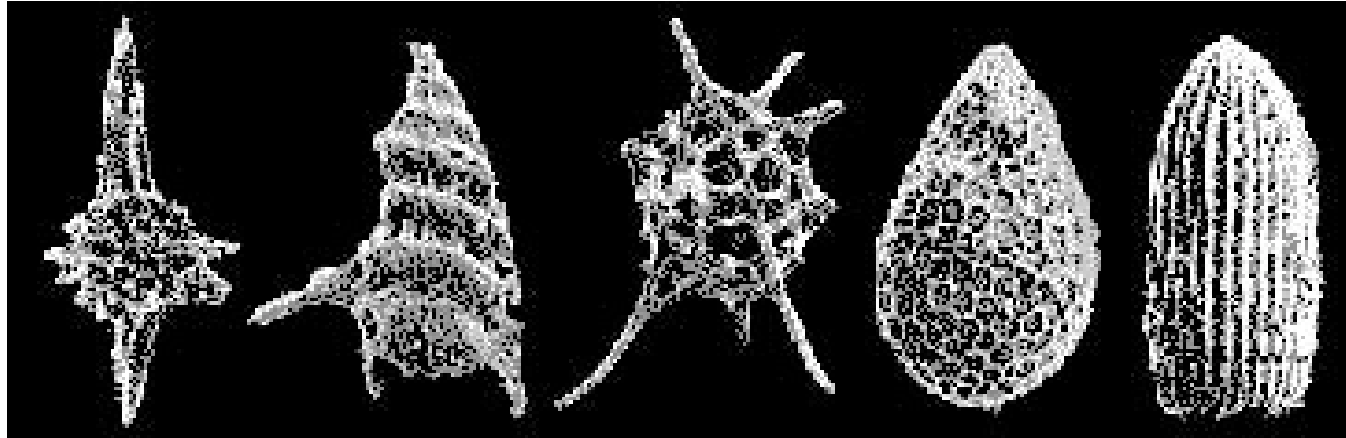


*Radotruncana*

*Frondicularia*

- mostly microscopic, planktonic, single-celled animals
- complex shells of  $\text{CaCO}_3$
- Cambrian – Recent;
- good for biostratigraphy

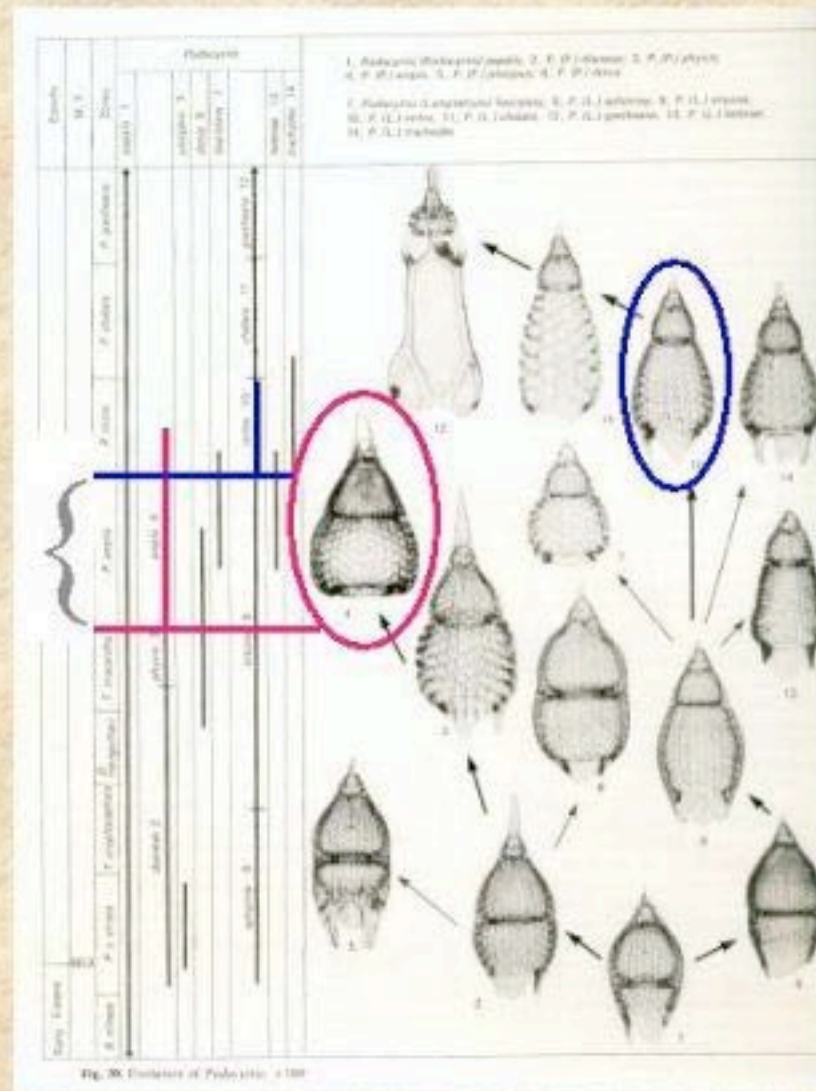
# Radiolaria (radiolarians)

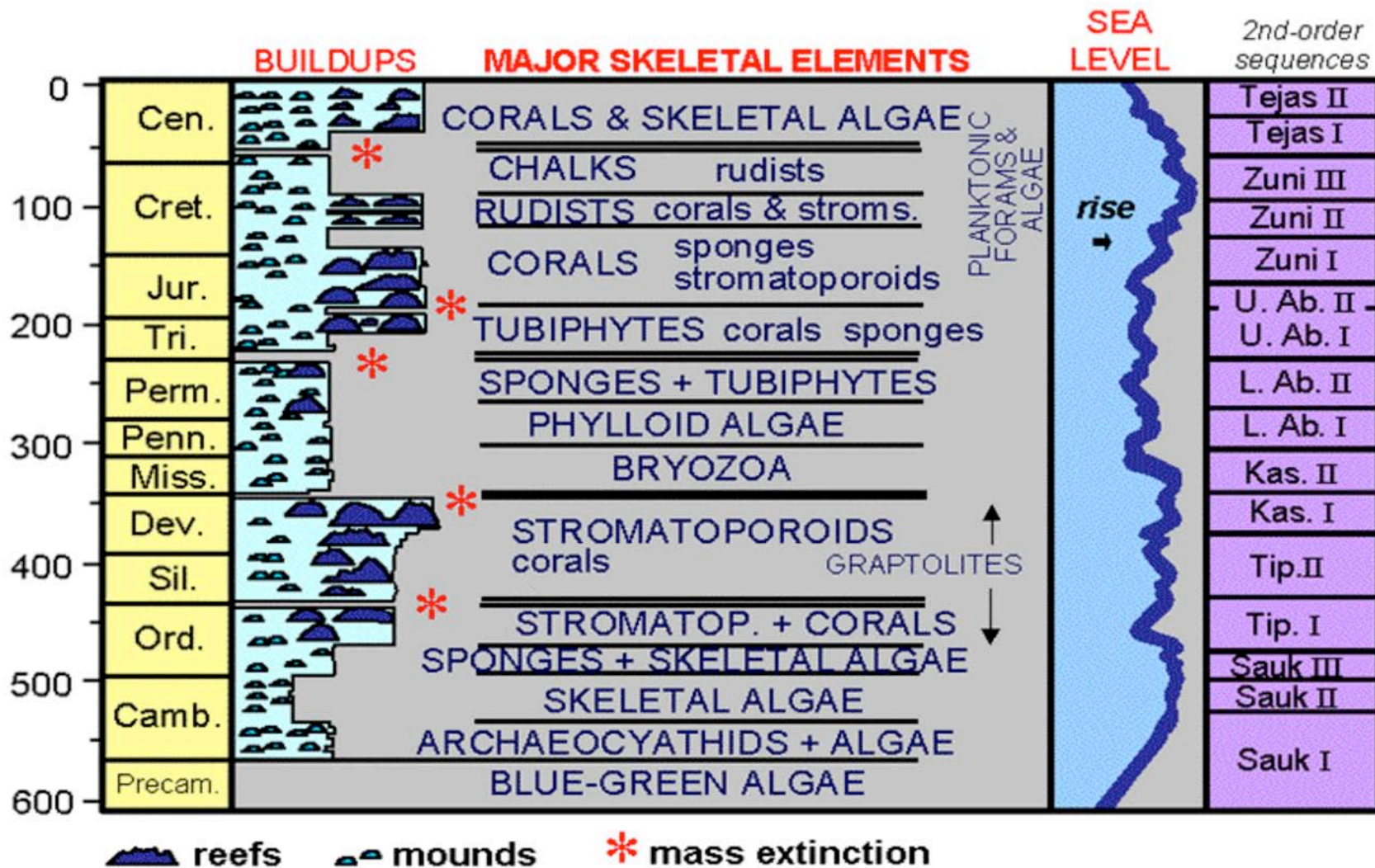


- microscopic, planktonic, single-celled animals
- complex shells of  $\text{SiO}_2$
- ?Precambrian – Recent; common from Mesozoic - present



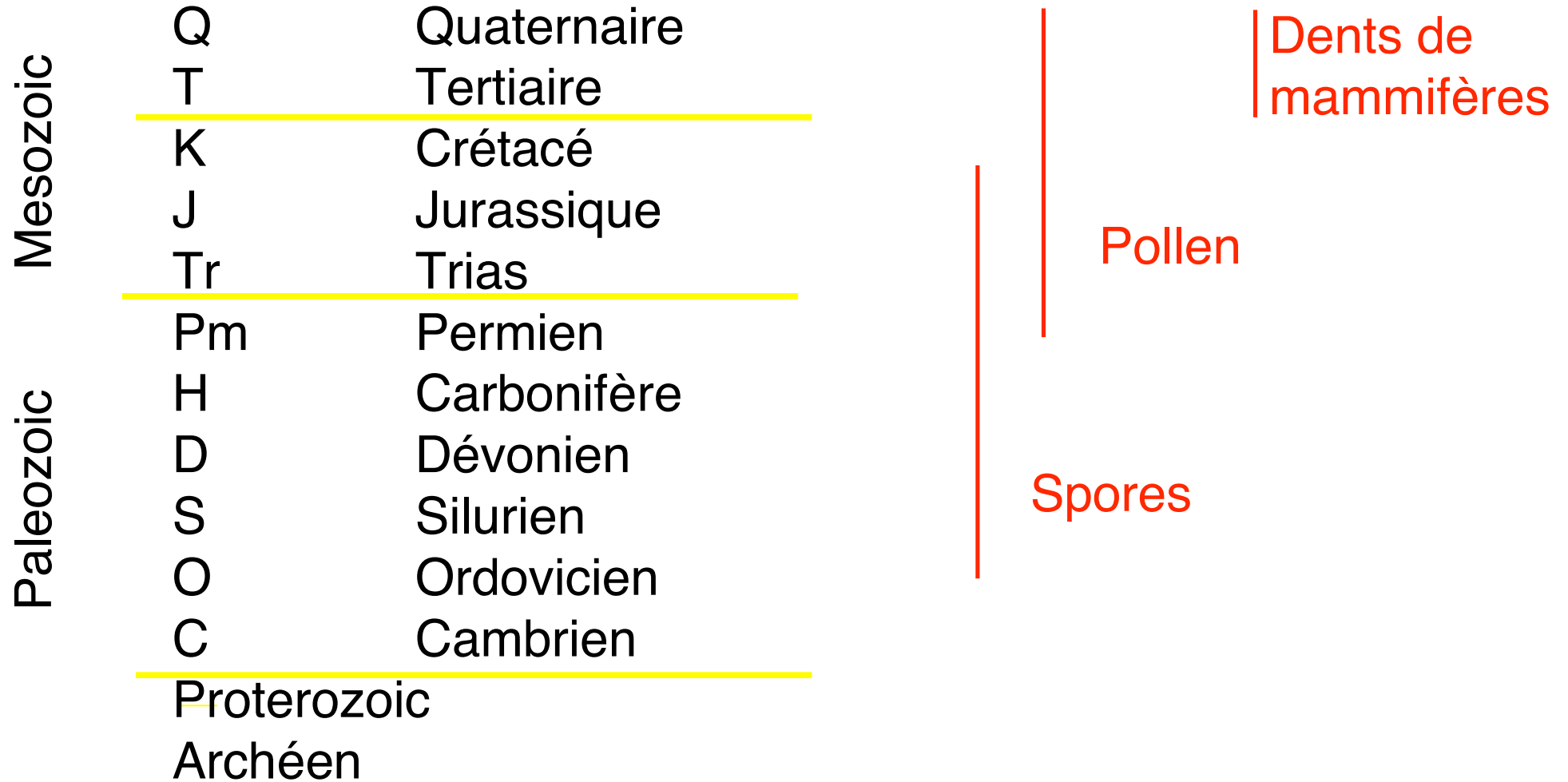
La biozone à  
*Podocyrtytis ampla*





*Drafted by Waite 99, after James 1984)*

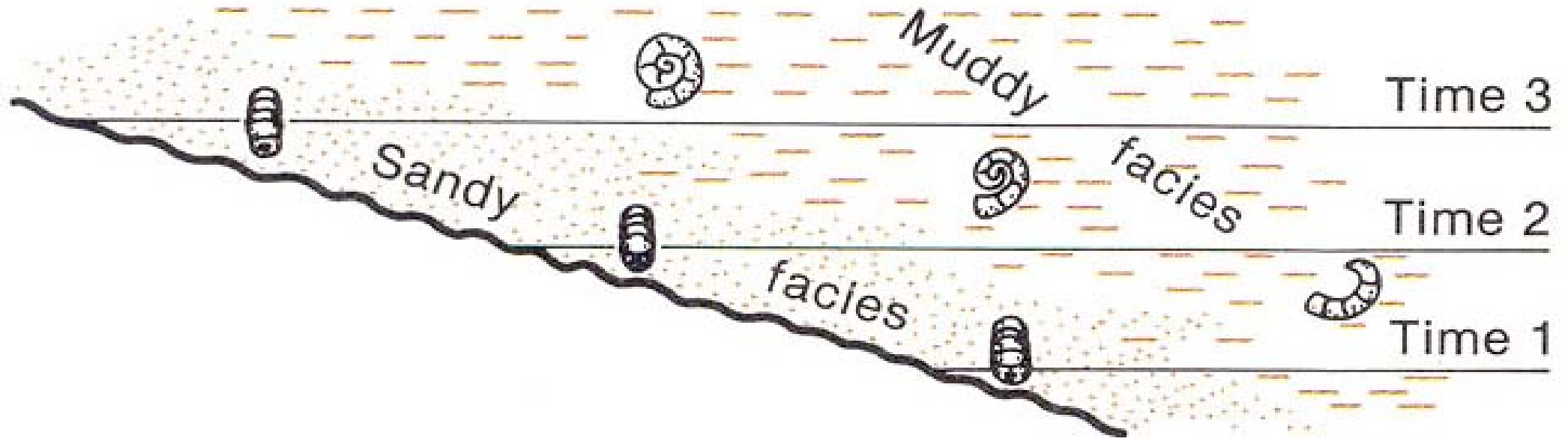
# Principaux groupes de fossiles utilisés en biostratigraphie (milieu continental) :



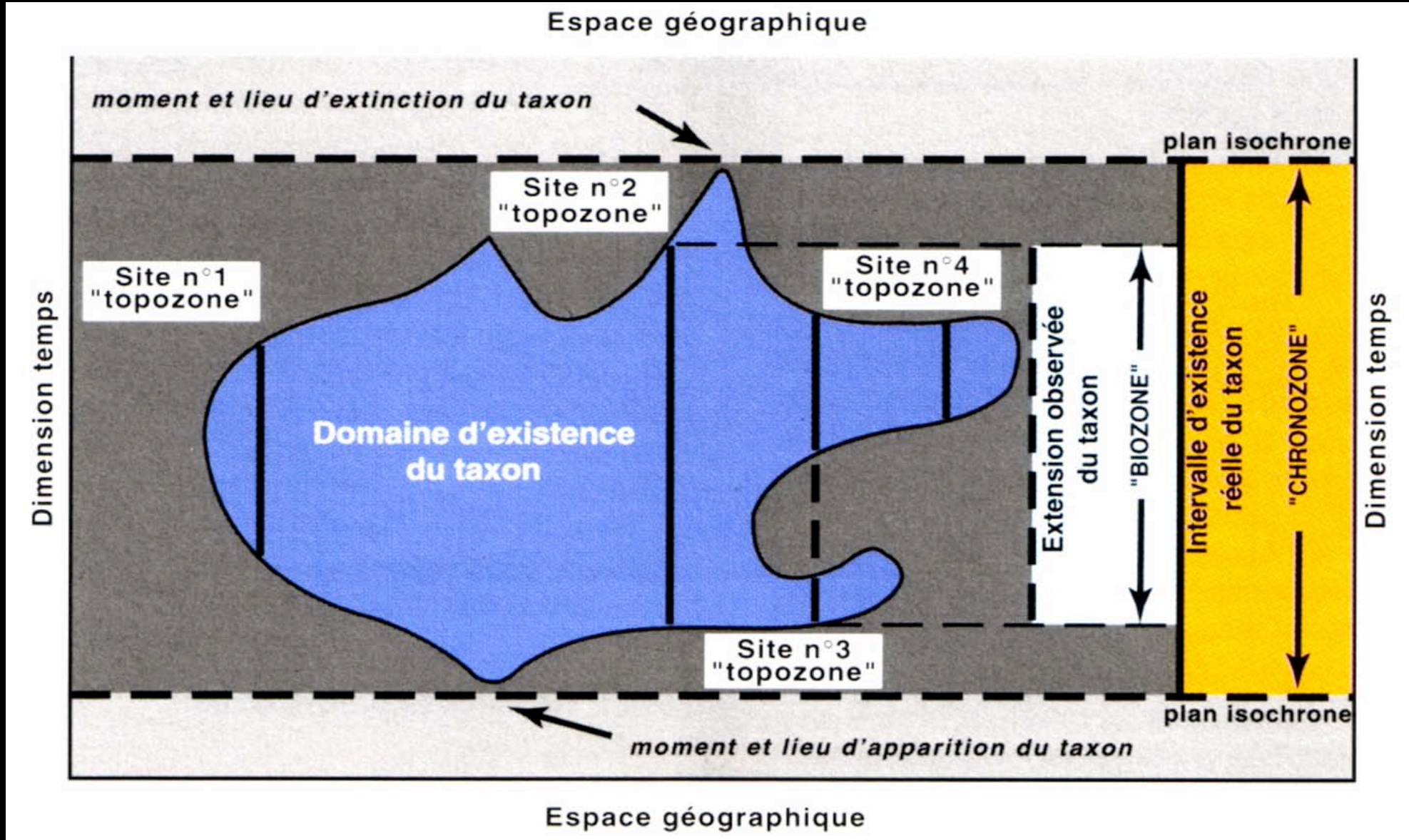




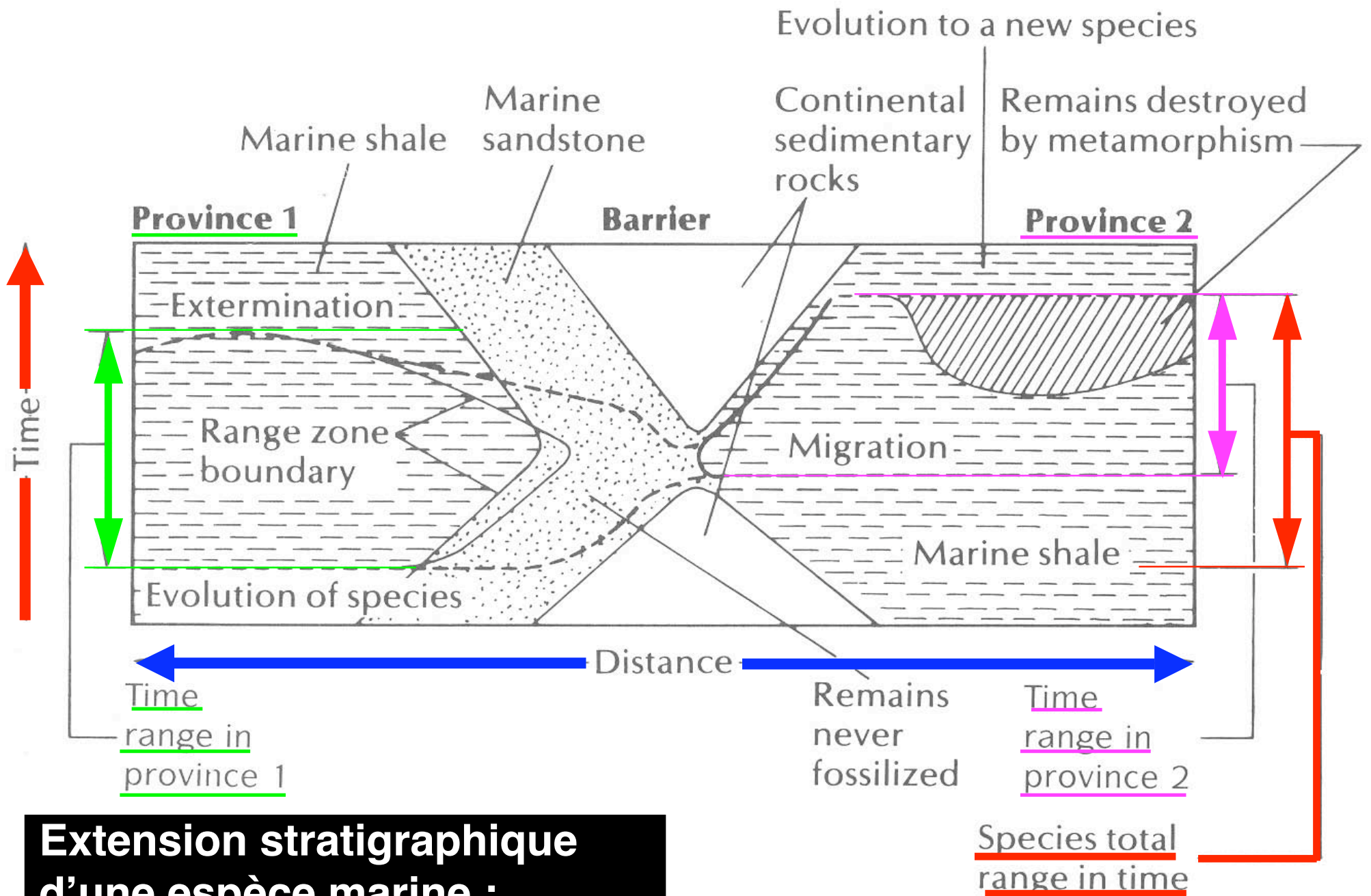
Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.



Environnement Préférentiel



**Taxon : relations espace/temps**

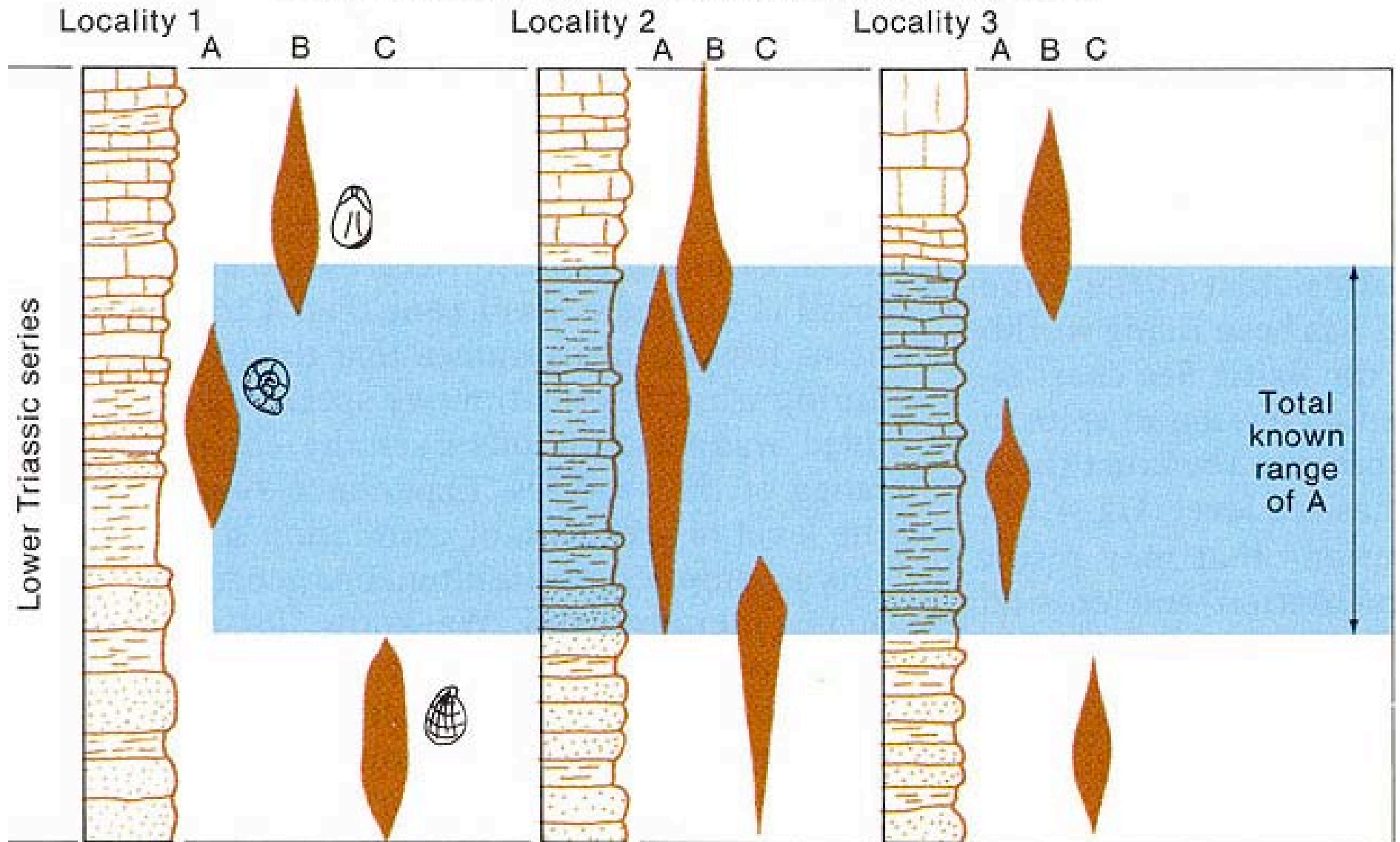


**Extension stratigraphique  
d'une espèce marine :**

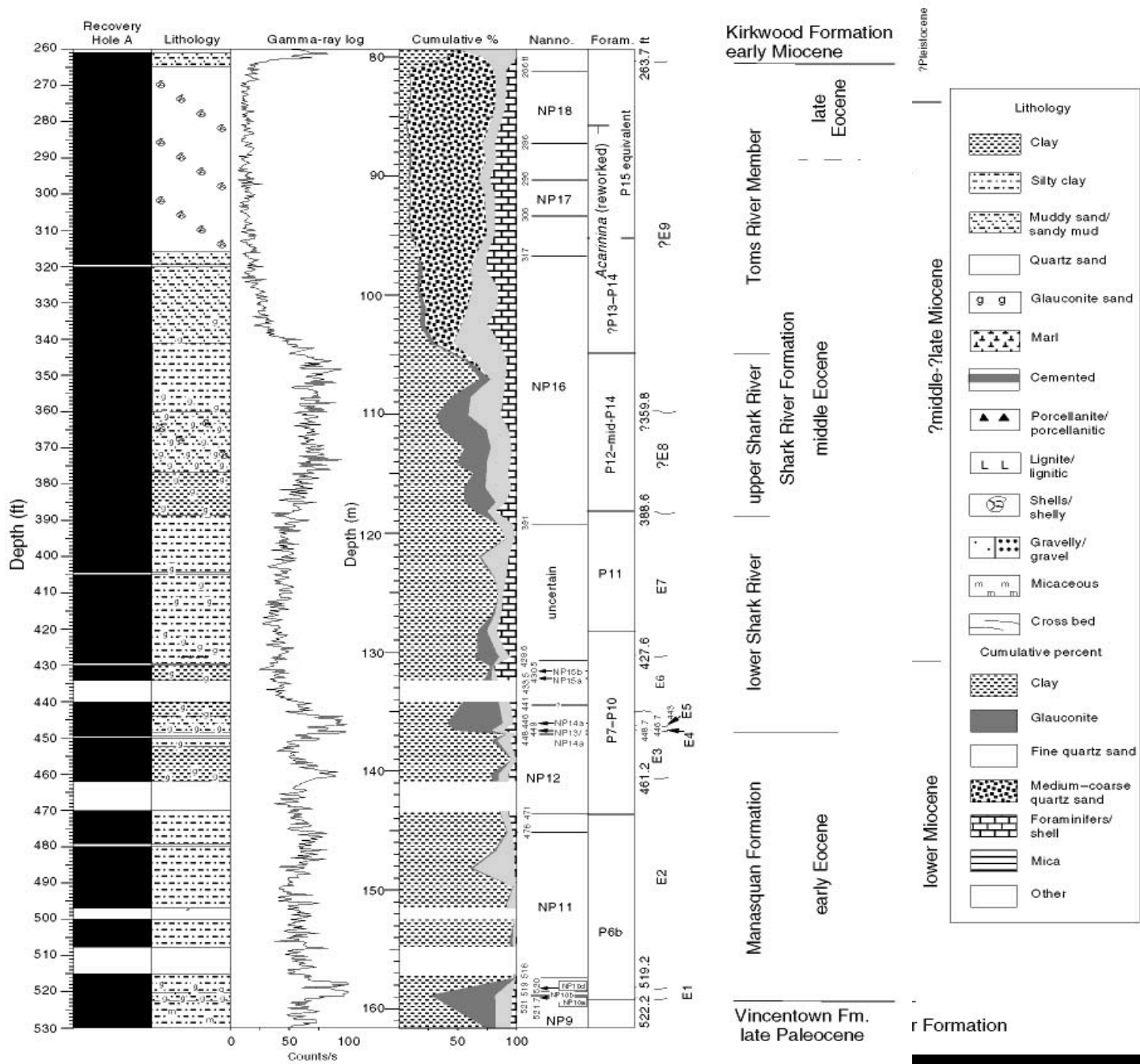
➤ Paléogéographie

# Événements paléobiologiques

- Premières apparitions de nouvelles espèces
- Premières apparitions de nouveaux taxons
- Extinctions d'espèces
- Extinctions de masse de multiples taxons
- Ces événements sont uniques au cours des temps géologiques



## Correlation Using 3 Index Fossils



Exemple de "log" d'un forage océanique.

Ocean Drilling Project, Texas A&M University

Raisons pour lesquelles les FAD et les LAD ne peuvent avoir qu'une valeur locale et NON globale :

## **Biogéographie**

- toutes les espèces ont une origine géographique,
- elles peuvent migrer vers d'autres régions
- elles peuvent être soumises à des extinctions locales

*Comparer les coupes locales permet de mettre en évidence des migrations et/ou des disparitions*

## **Préservation**

absence de roche/lithologie compatible avec la préservation de l'organisme (fossilisation)

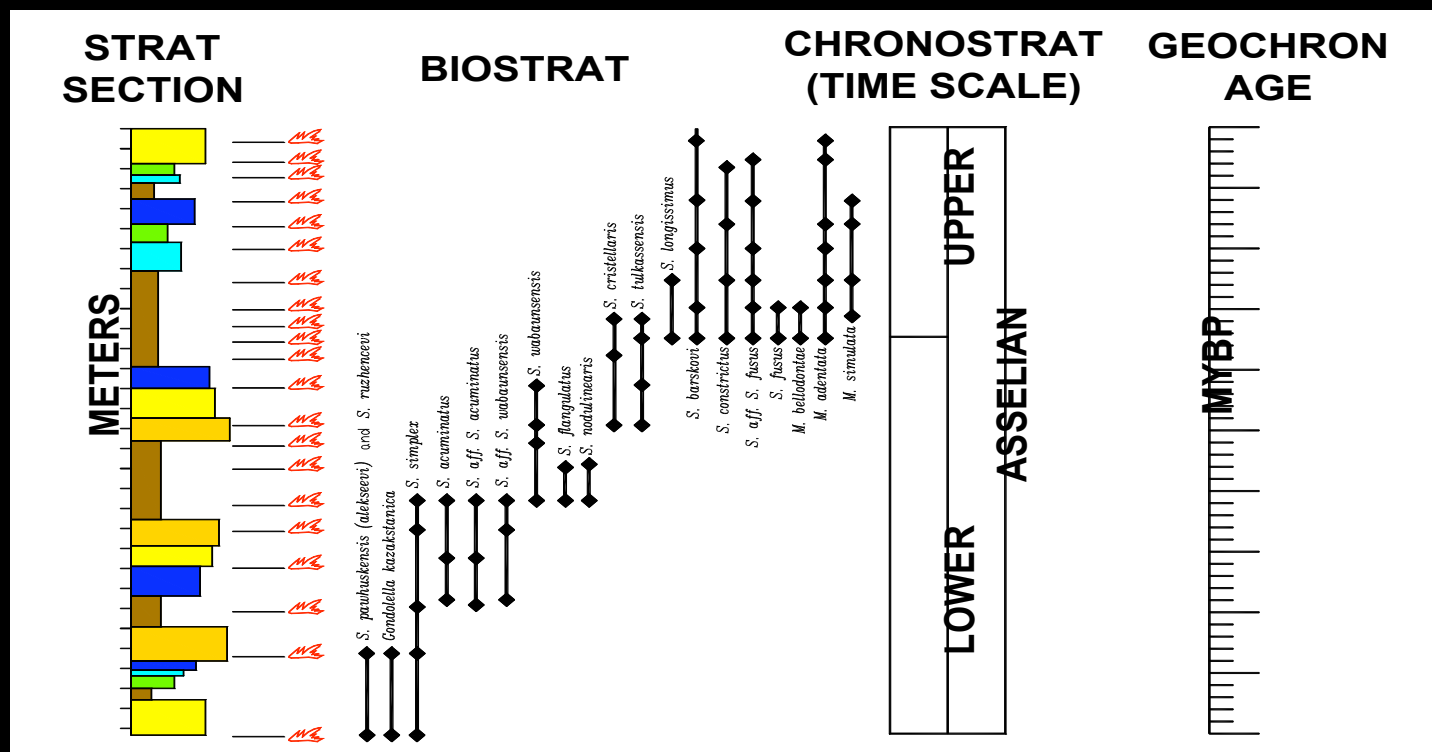
## **Type de faciès**

- absence d'une lithologie reflétant un faciès compatible avec le mode de vie de l'espèce

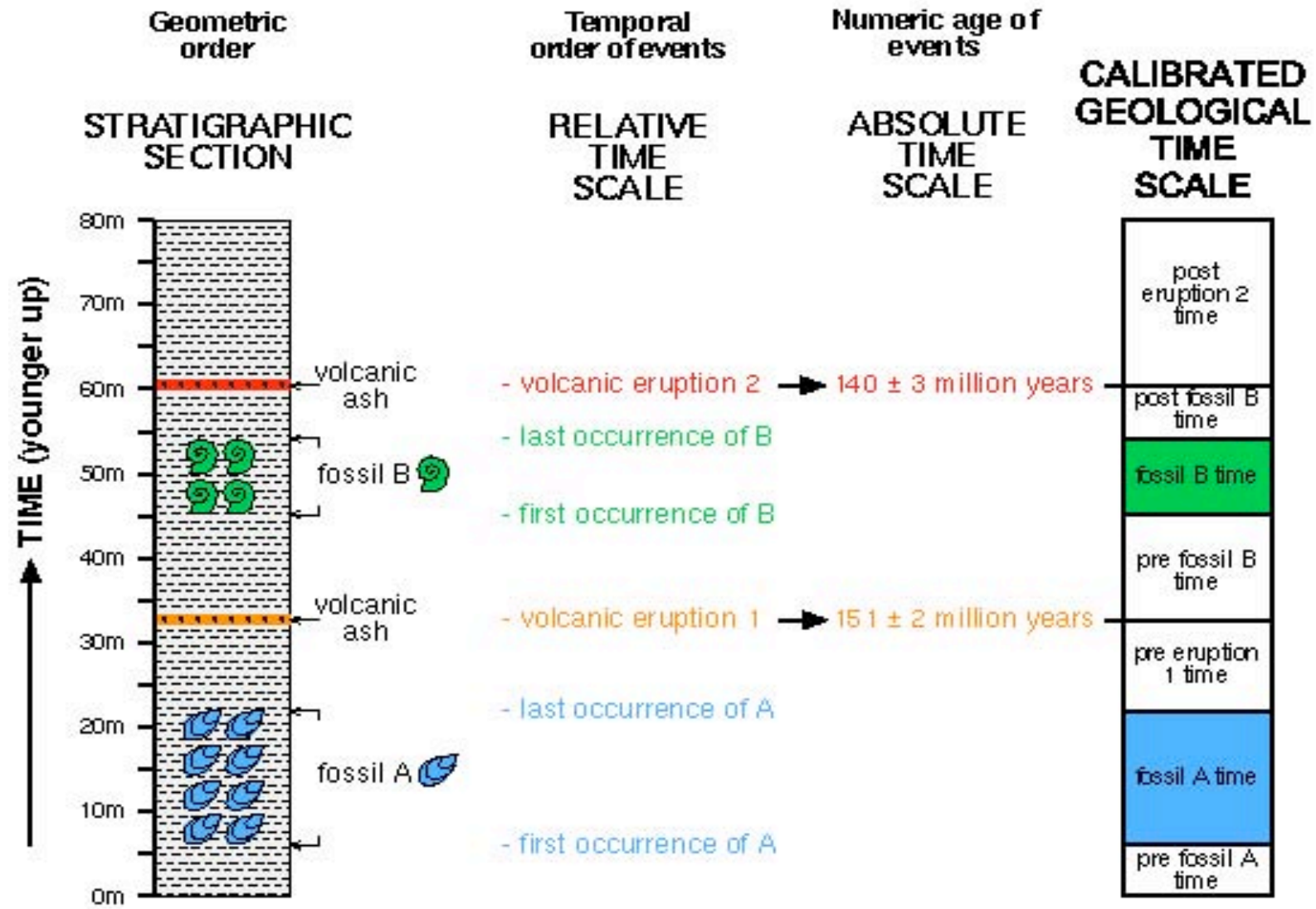
**"Unconformities"** - pas de roche de cet âge dans la coupe

# Réalisation d'une échelle temporelle précise et à haute résolution

- STRATOTYPES “ICS”
- RATIFICATION
- CORRELATION →
- CALIBRATION







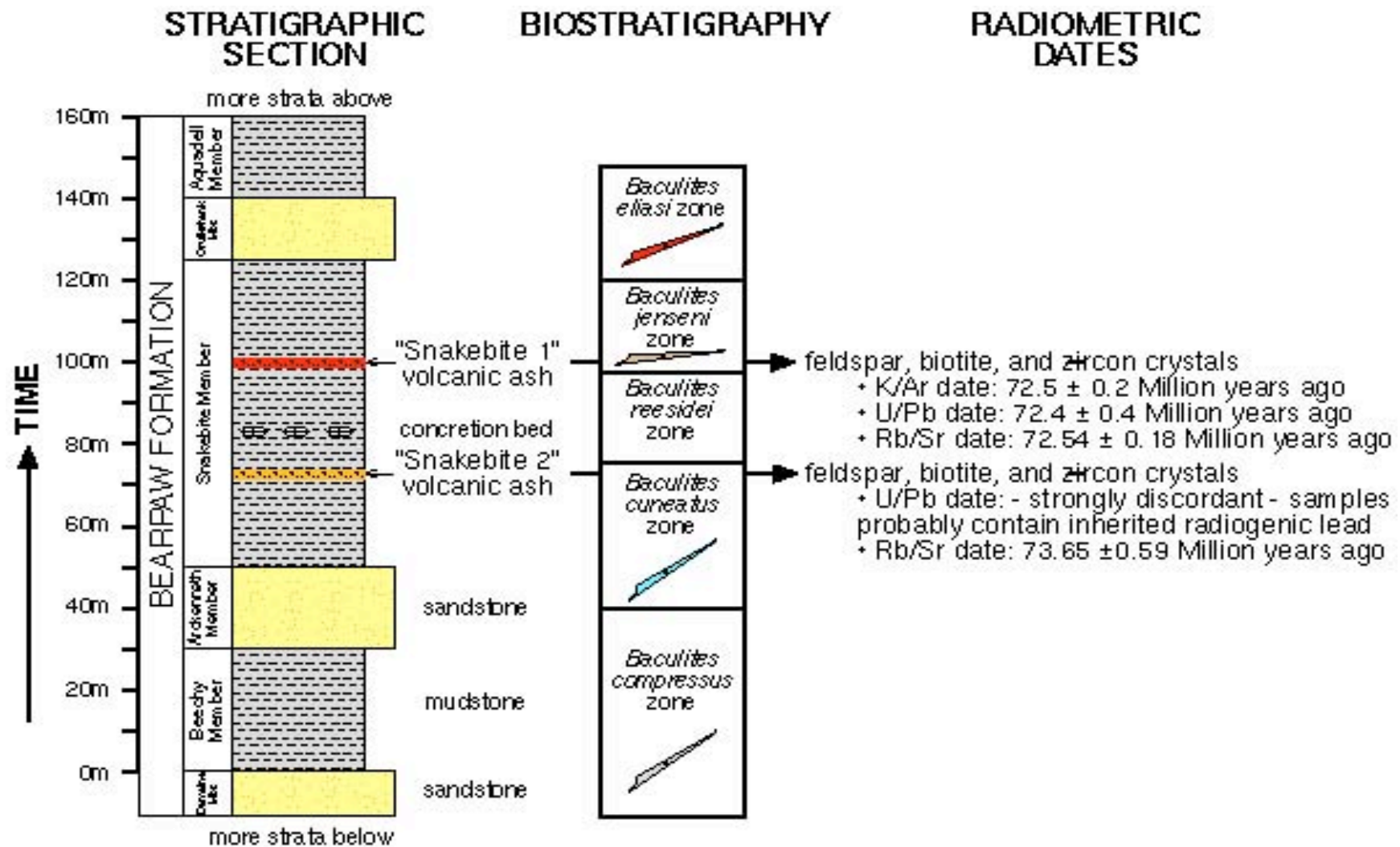
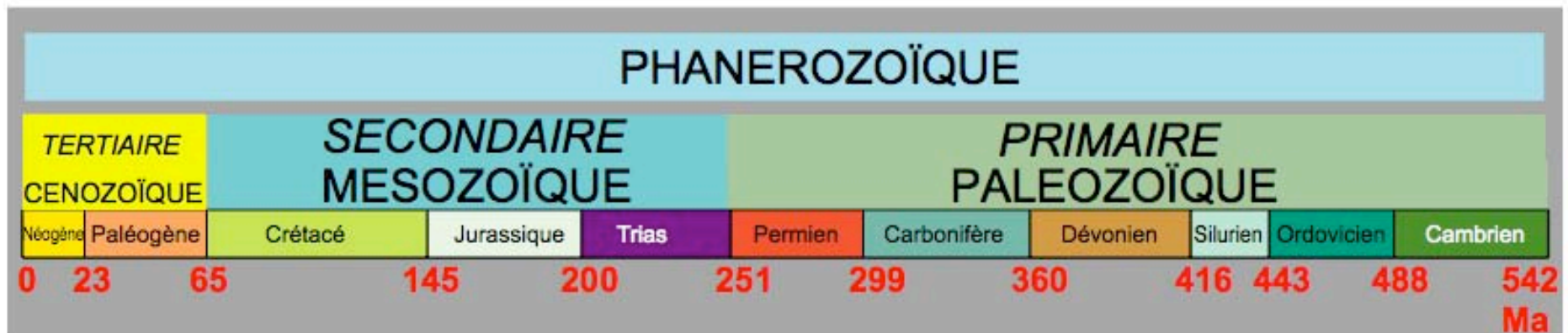


Figure 3. Lithostratigraphy (i.e. the sedimentary rocks), biostratigraphy (fossils) and radiometric dates from the Bearpaw Formation, southern Saskatchewan, Canada. Modified from Baadsgaard et al., 1993. The section is measured in metres, starting with 0m at the bottom (oldest).

# ECHELLE DES TEMPS GEOLOGIQUES

principales subdivisions du Phanérozoïque  
*(à connaître par coeur !)*





<http://www.stratigraphy.org/>

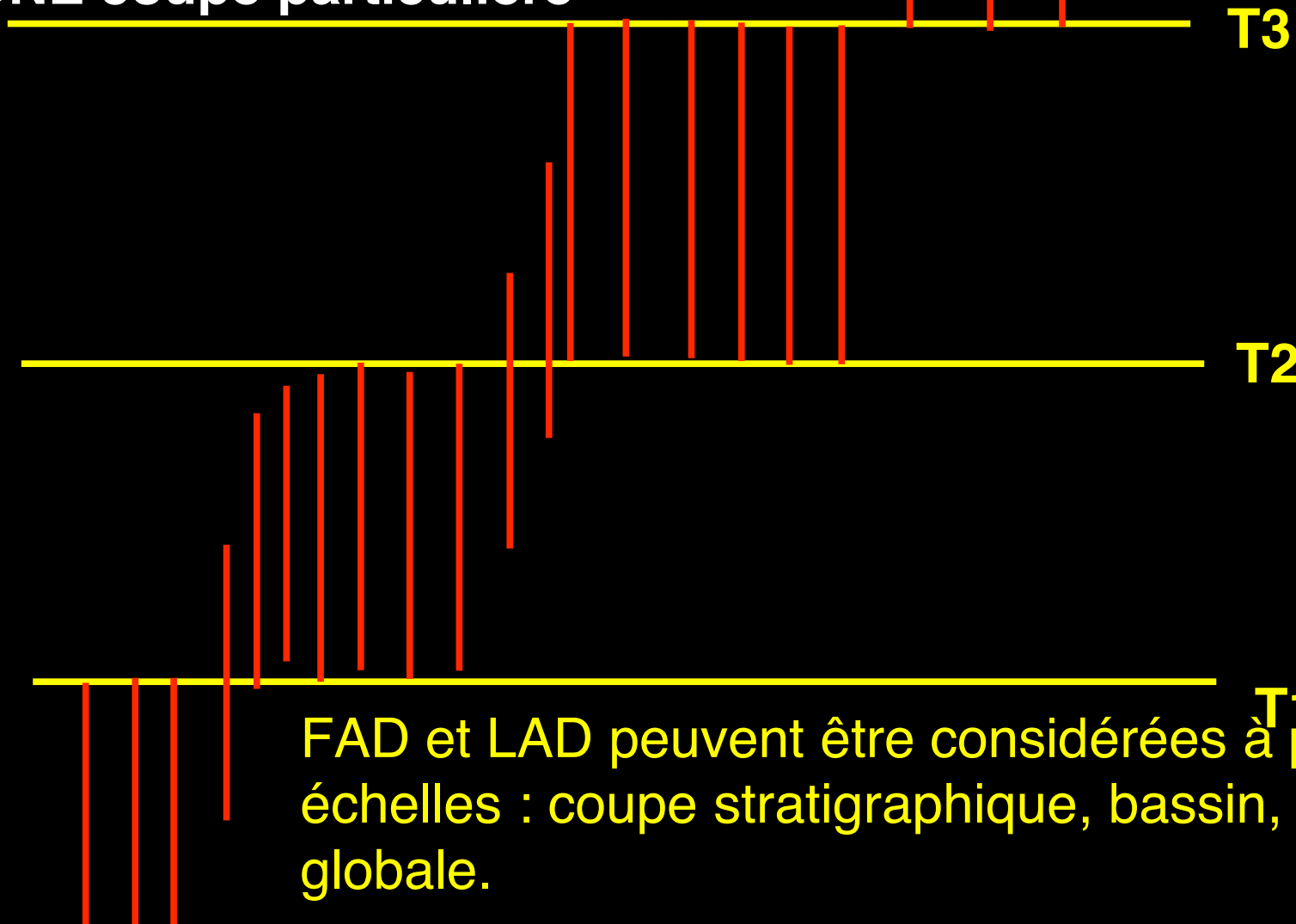
# Données de base de la biostratigraphie : tableau d'extension

LAD: last appearance datum

FAD: first appearance datum

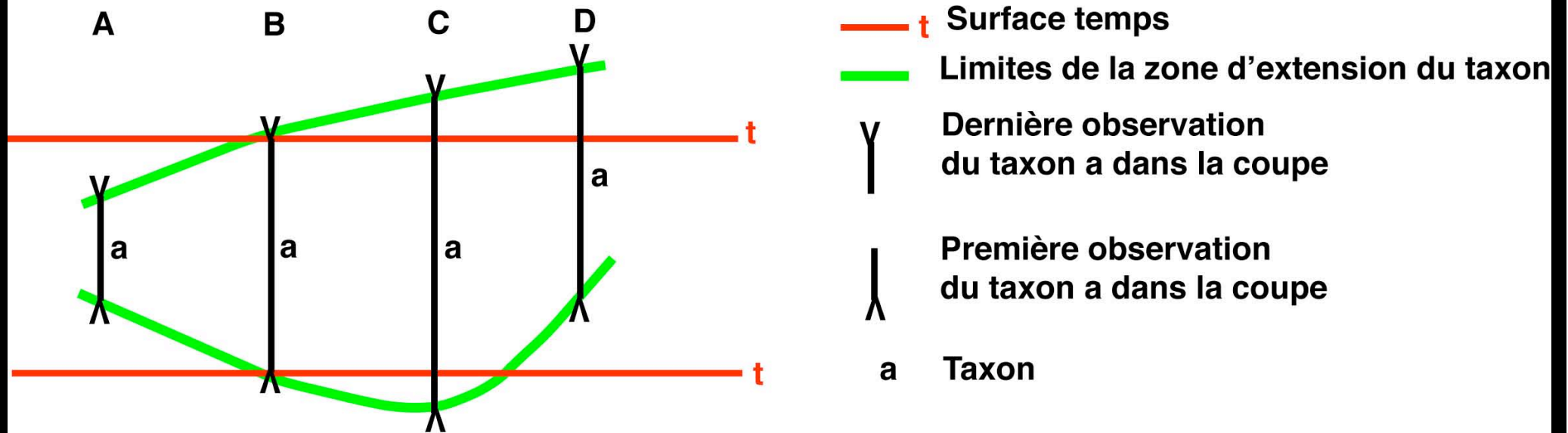
Toujours pour

UNE coupe particulière



FAD et LAD peuvent être considérées à plusieurs échelles : coupe stratigraphique, bassin, régionale ou globale.

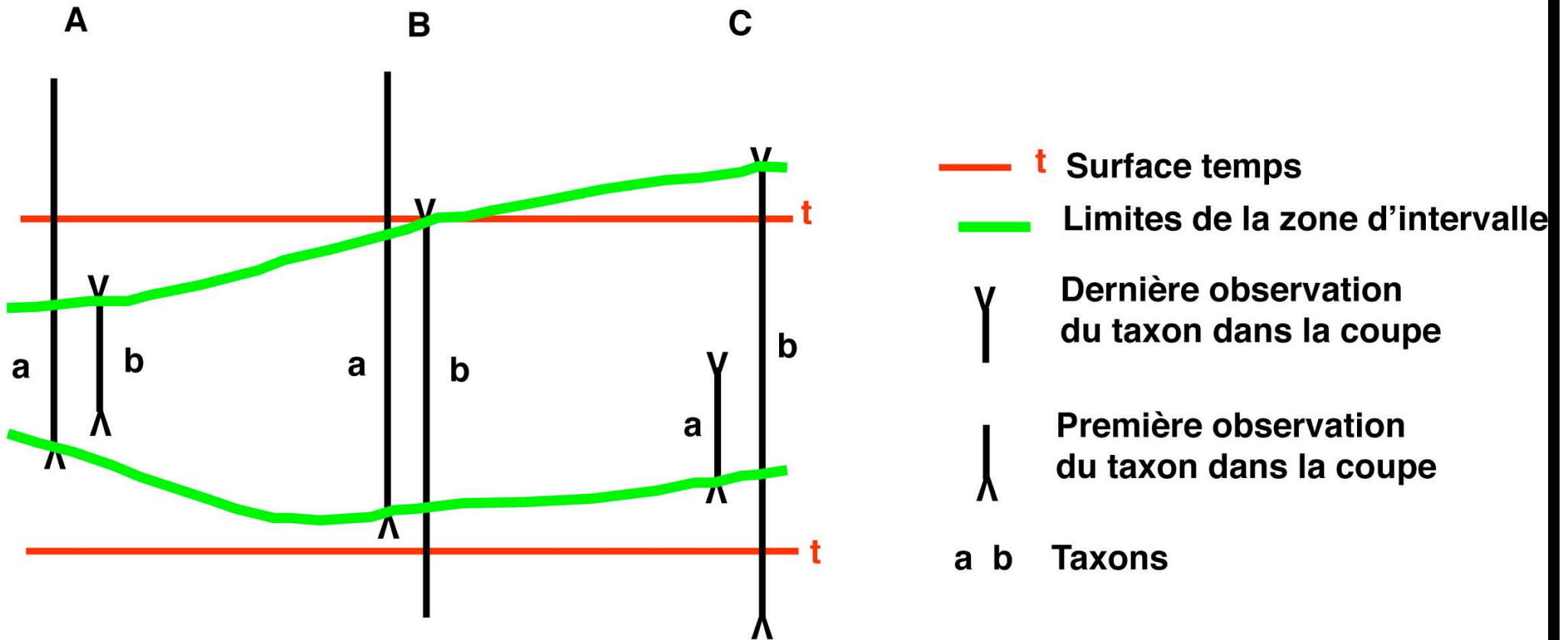
## Coupes stratigraphiques



### Zone d'extension d'un taxon

les limites de cette zone sont déterminées par les limites de présence de ce taxon

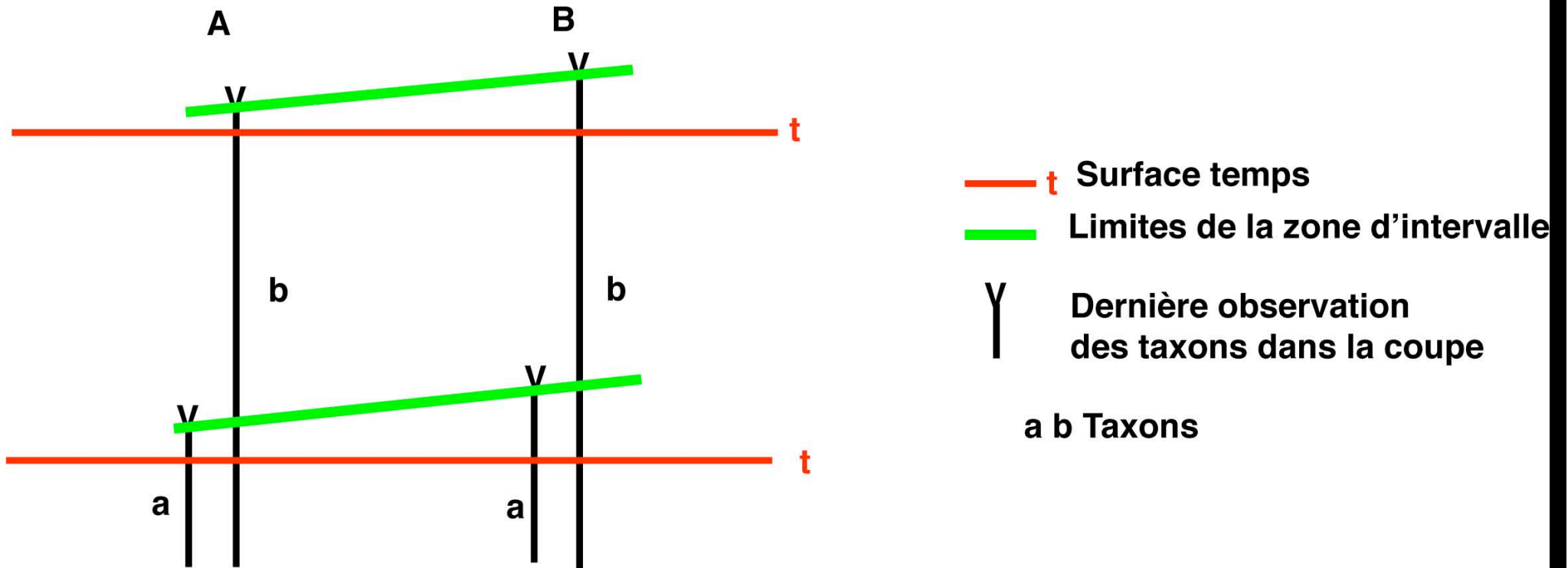
# Coupes stratigraphiques



## Zone d'intervalle

les limites de cette zone sont déterminées par les limites de première observation de a et de dernière observation de b

## Coupes stratigraphiques

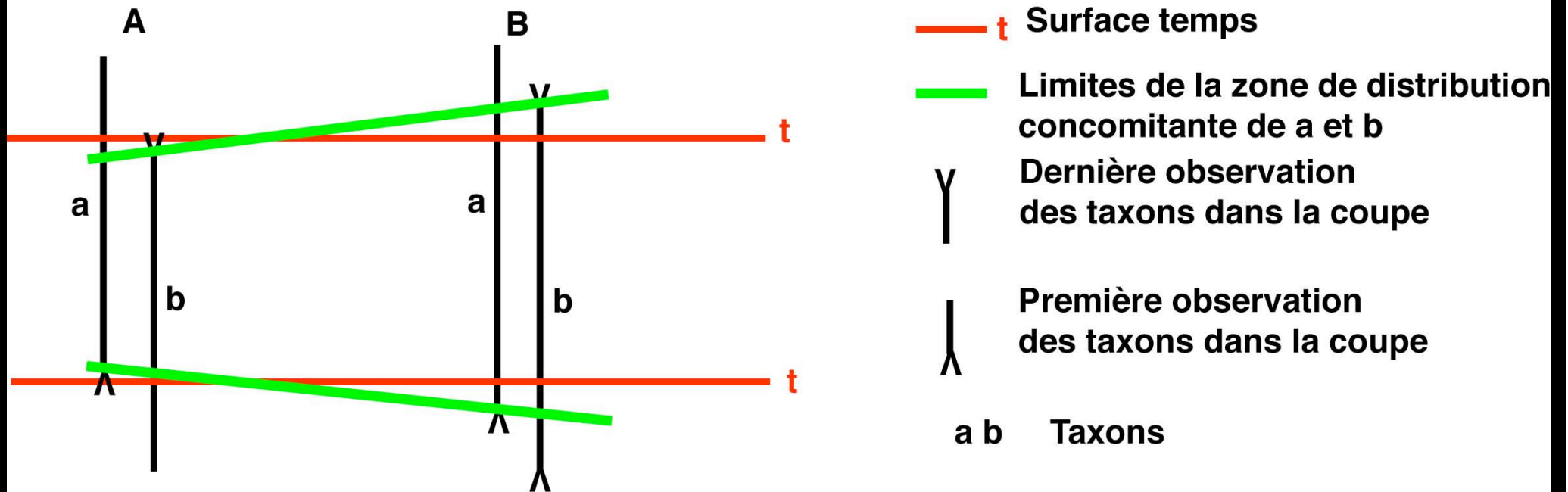


### Zone d'intervalle

les limites de cette zone sont déterminées par les dernières occurrences des taxons  
(zonation particulièrement utilisée dans les forages)



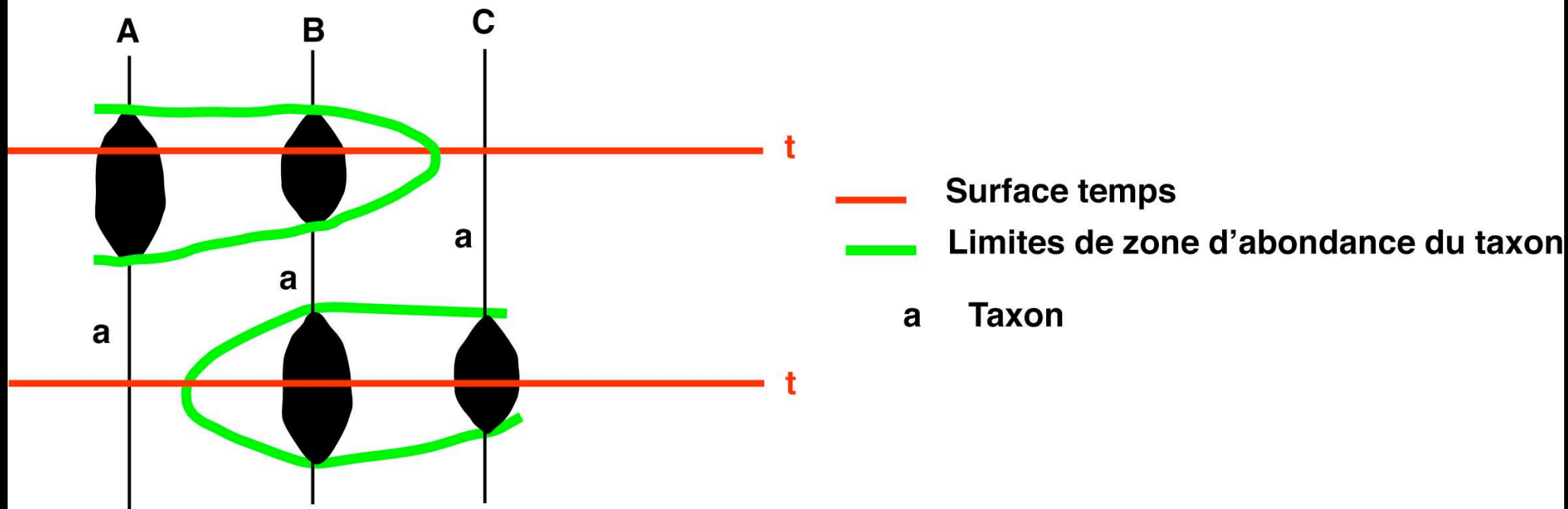
## Coupes stratigraphiques



### Zone de distribution concomitante

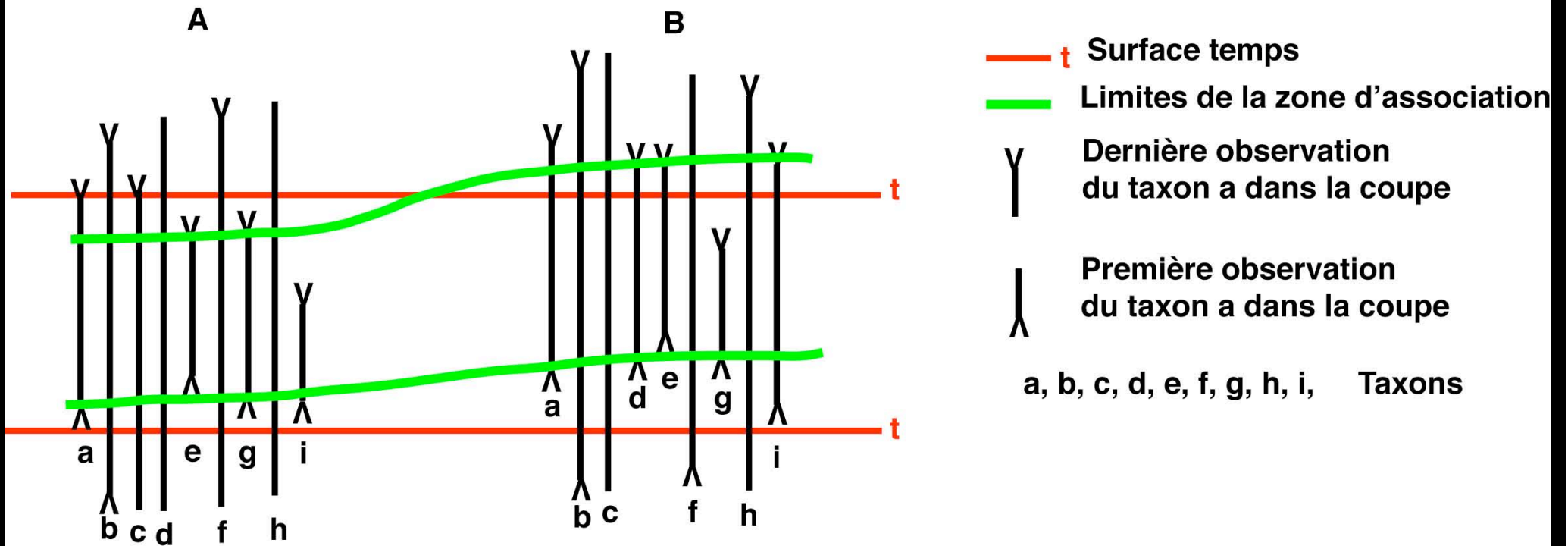
les limites de cette zone sont déterminées par les limites de présence concomitante de ces taxons

# Coupes stratigraphiques



Zone d'abondance

## Coupes stratigraphiques



- t Surface temps
- Limites de la zone d'association
- Y Dernière observation du taxon a dans la coupe
- ∧ Première observation du taxon a dans la coupe
- a, b, c, d, e, f, g, h, i, Taxons

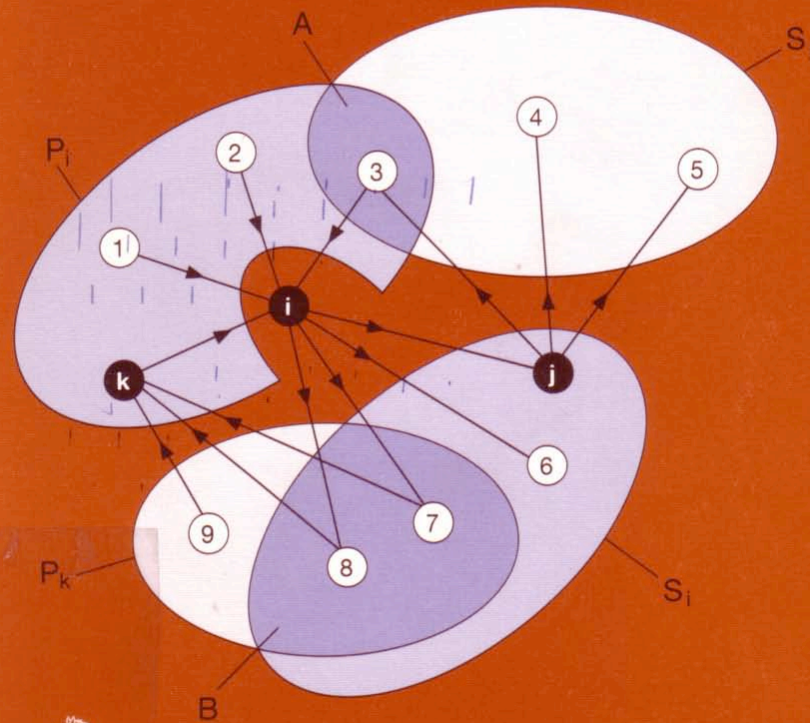
Zone d'extension d'une zone d'association

**<http://planet-terre.ens-lyon.fr/planetterre/>**

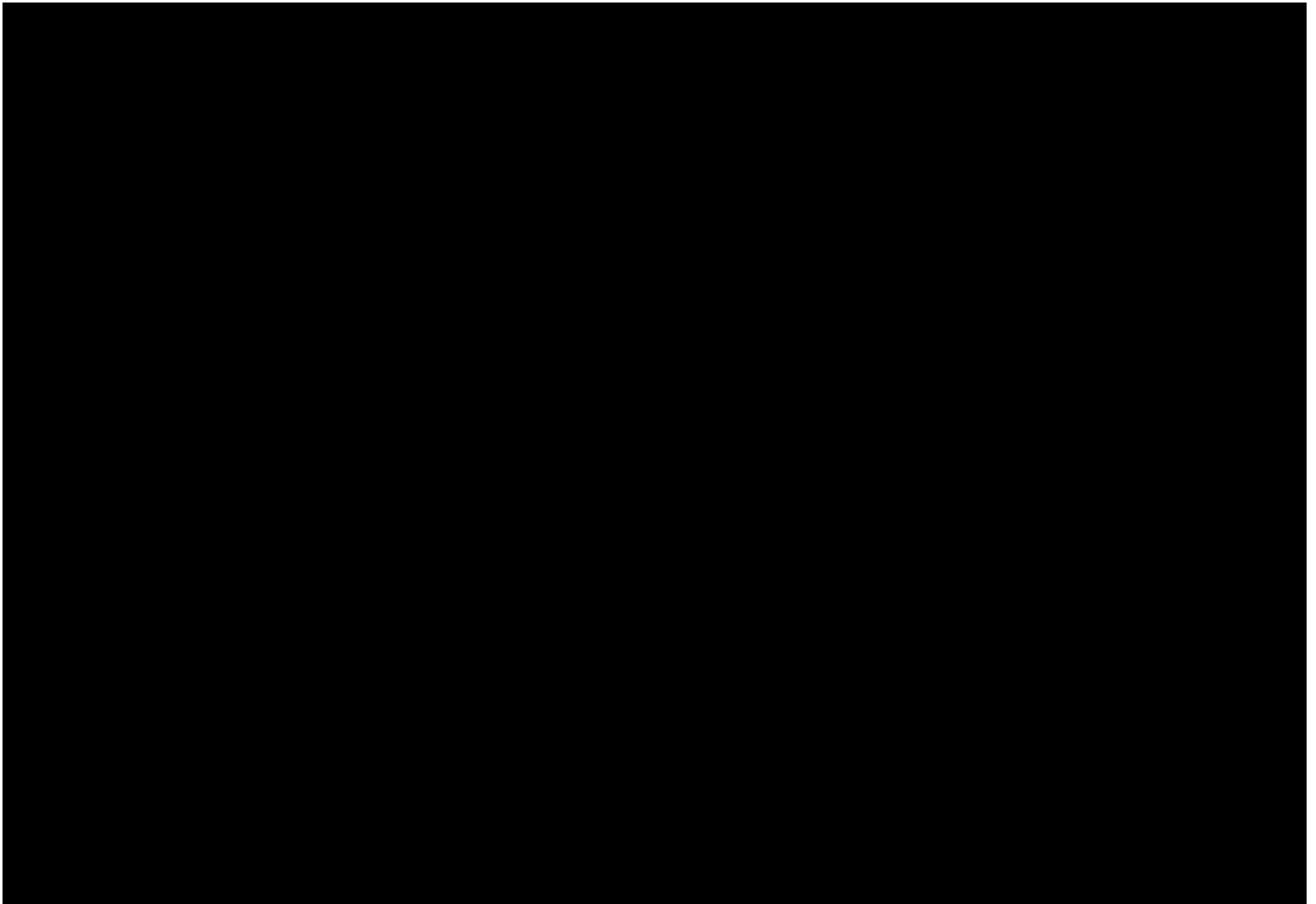
<http://planet-terre.ens-lyon.fr/planetterre/XML/db/planetterre/metadata/SMIL-SGF-SCHAAF.xml>

<http://www.ens-lyon.fr/Planet-Terre/Infosciences/Histoire/Temps/Articles/datation.htm>

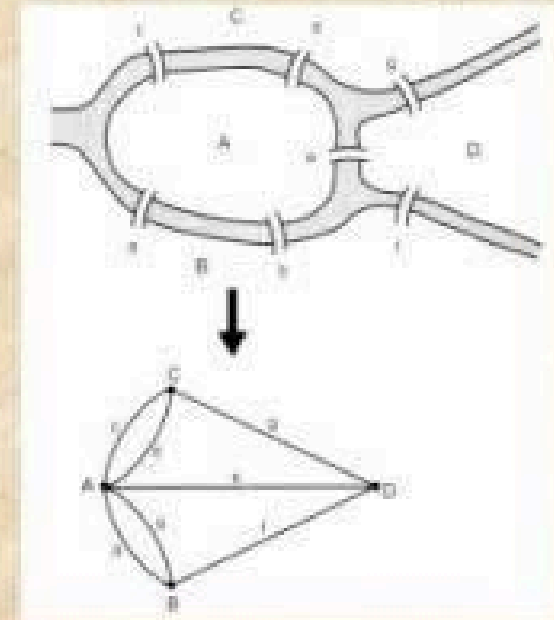
Jean Guxex **Bio-  
chronological  
Correlations**



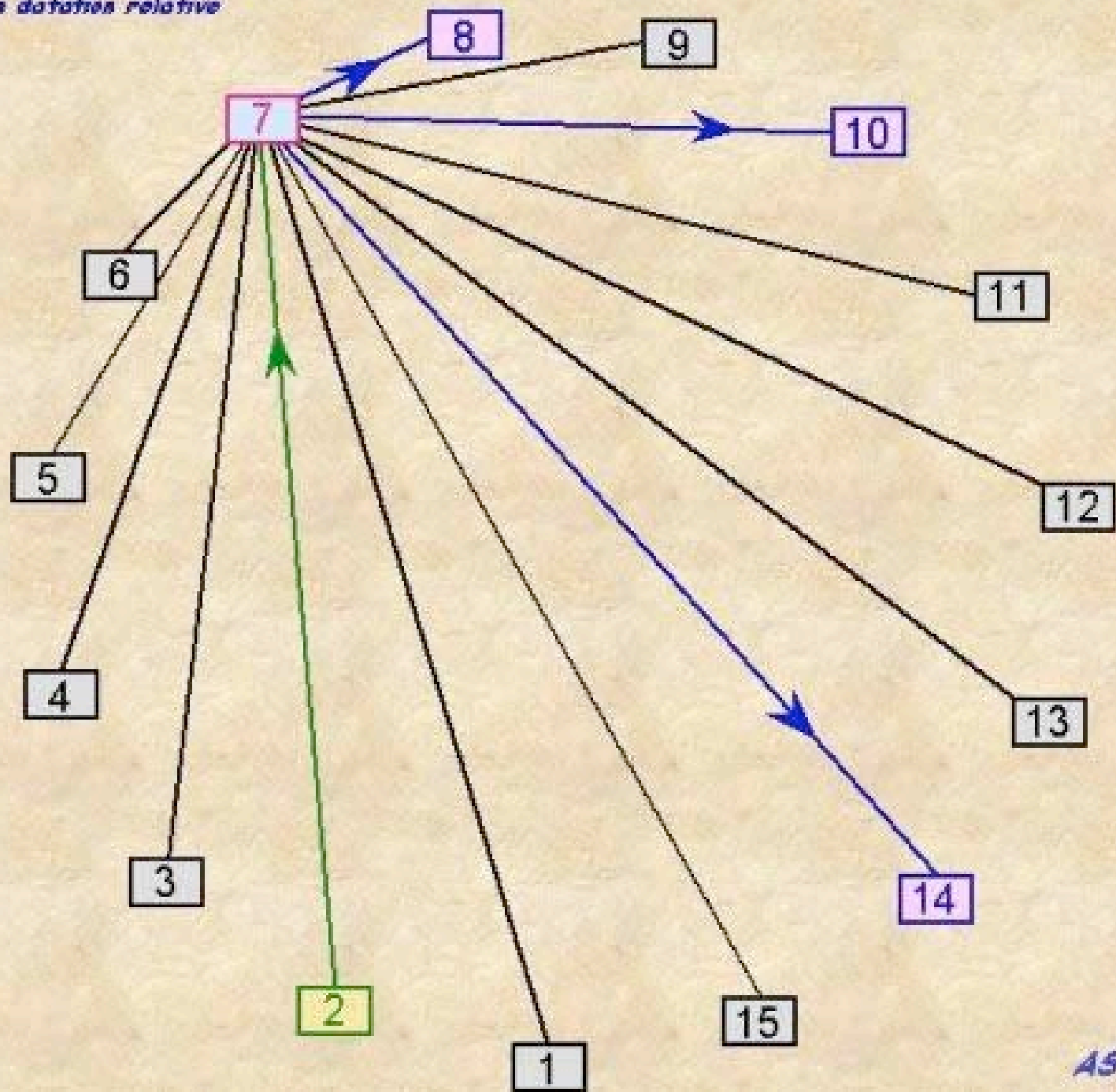
Springer-Verlag



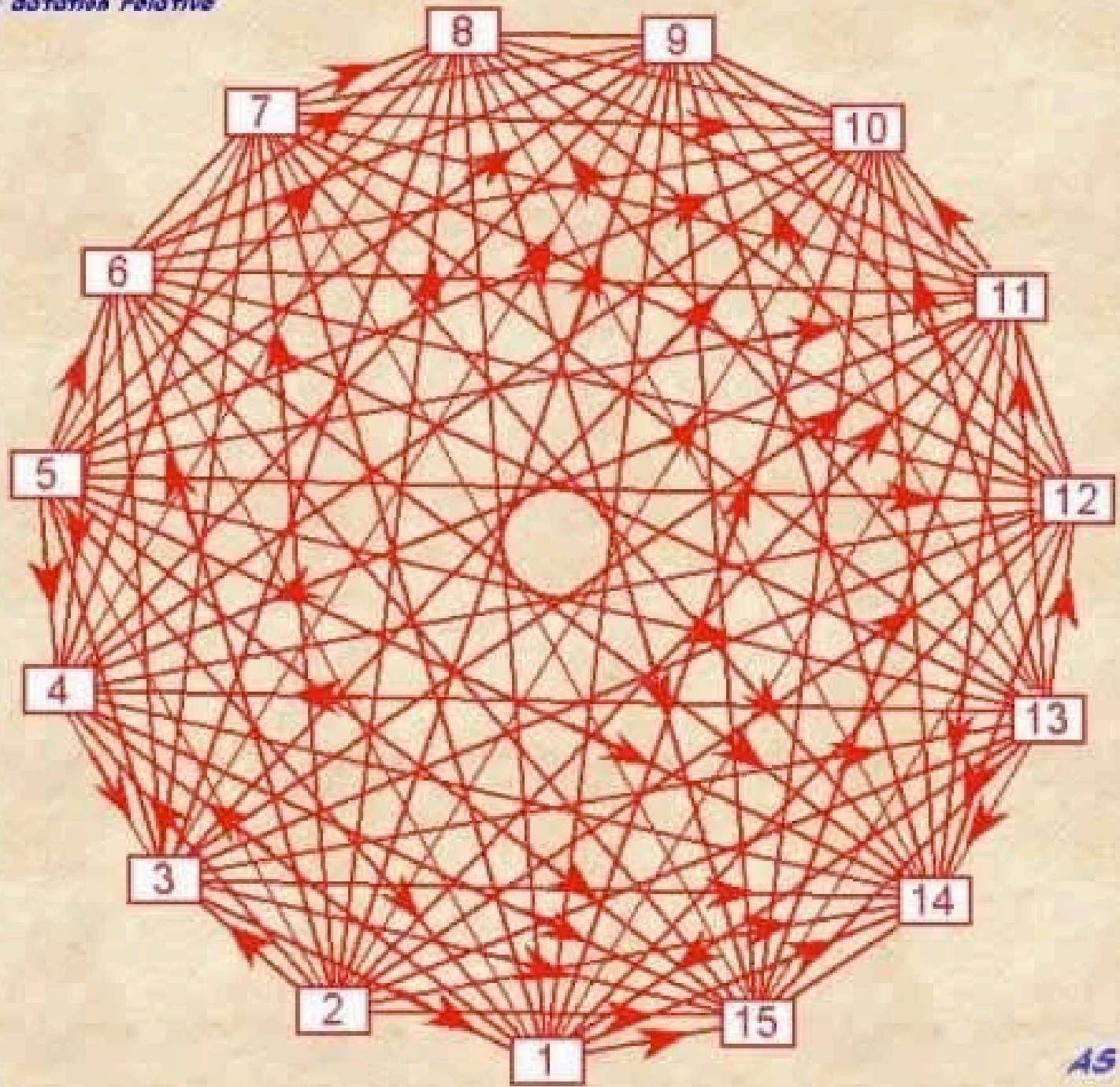
# La biochronologie quantitative ... ... et la théorie des graphes

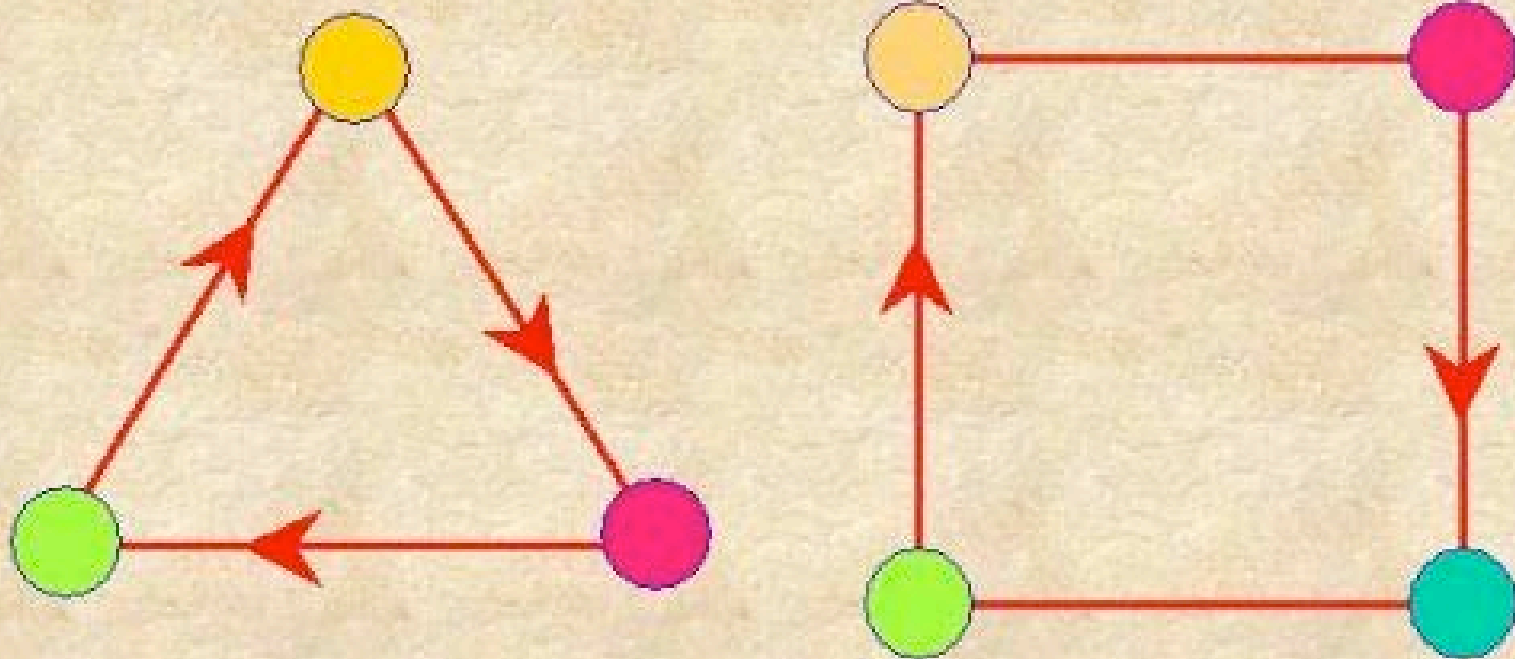


*Les sept ponts de Königsberg*

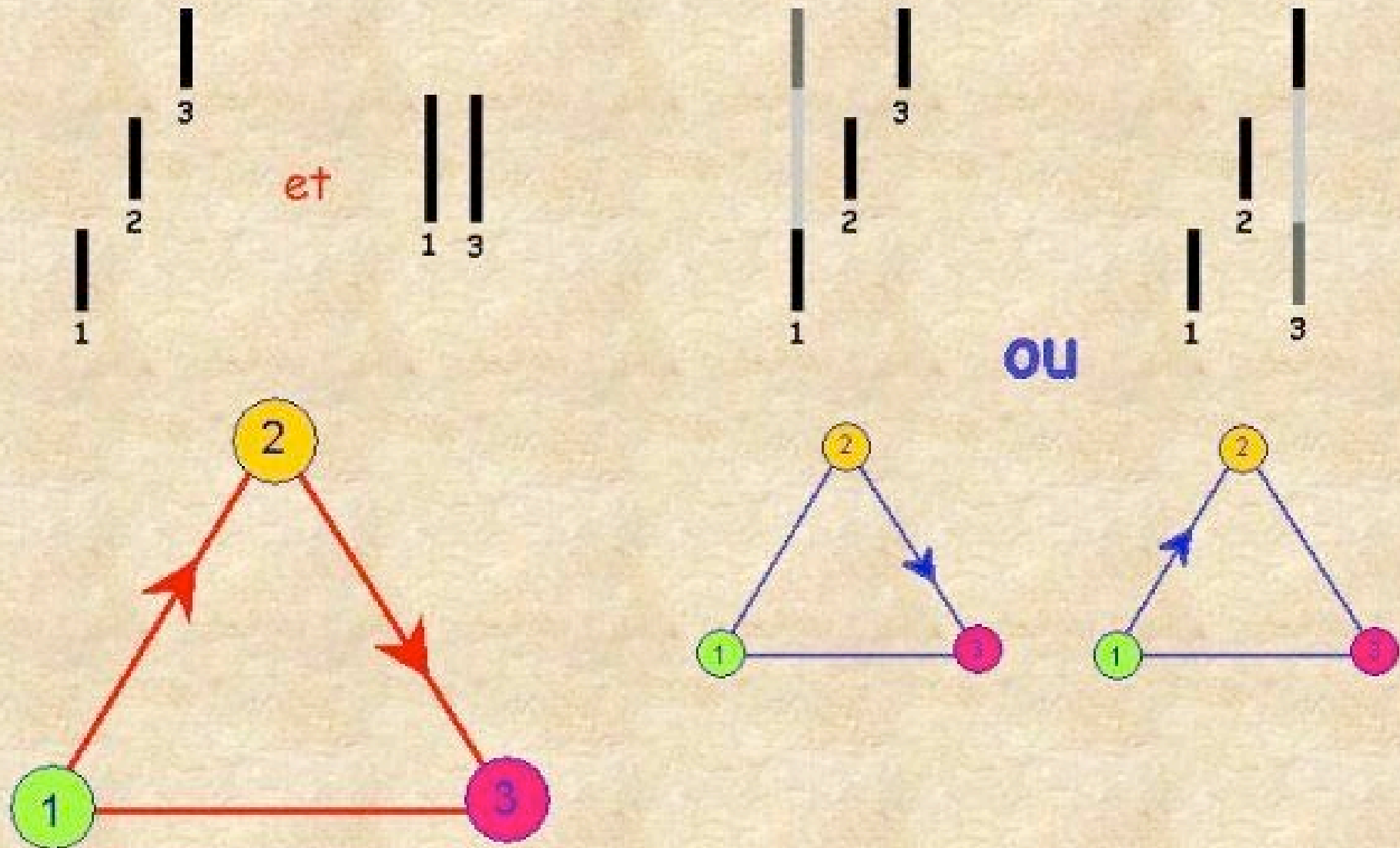




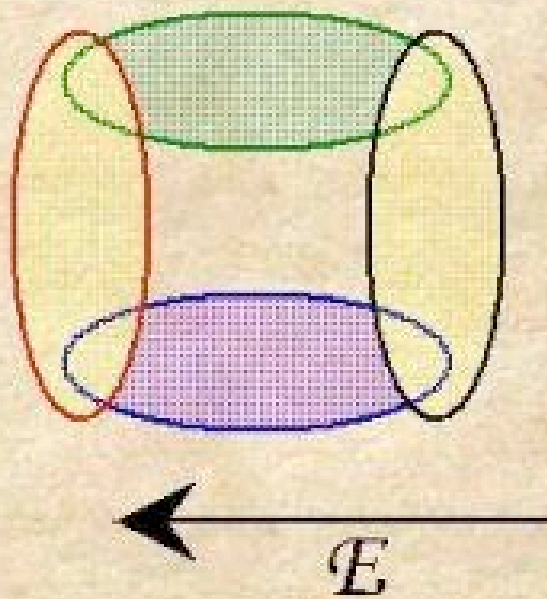
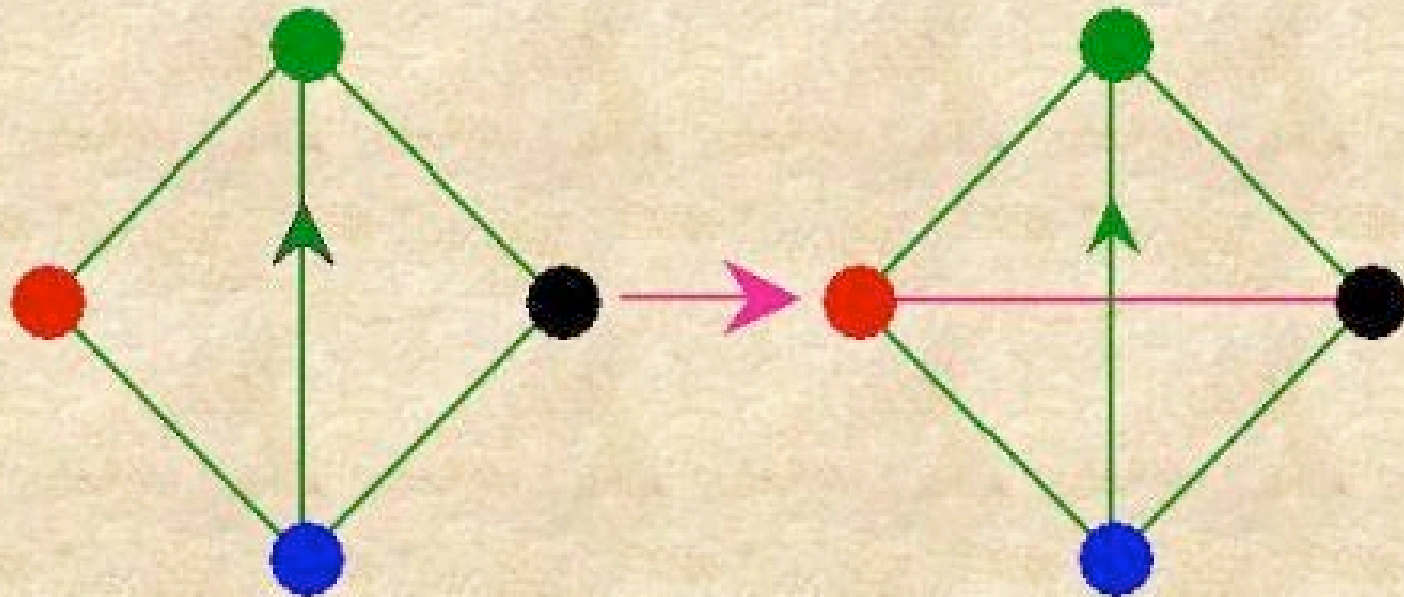




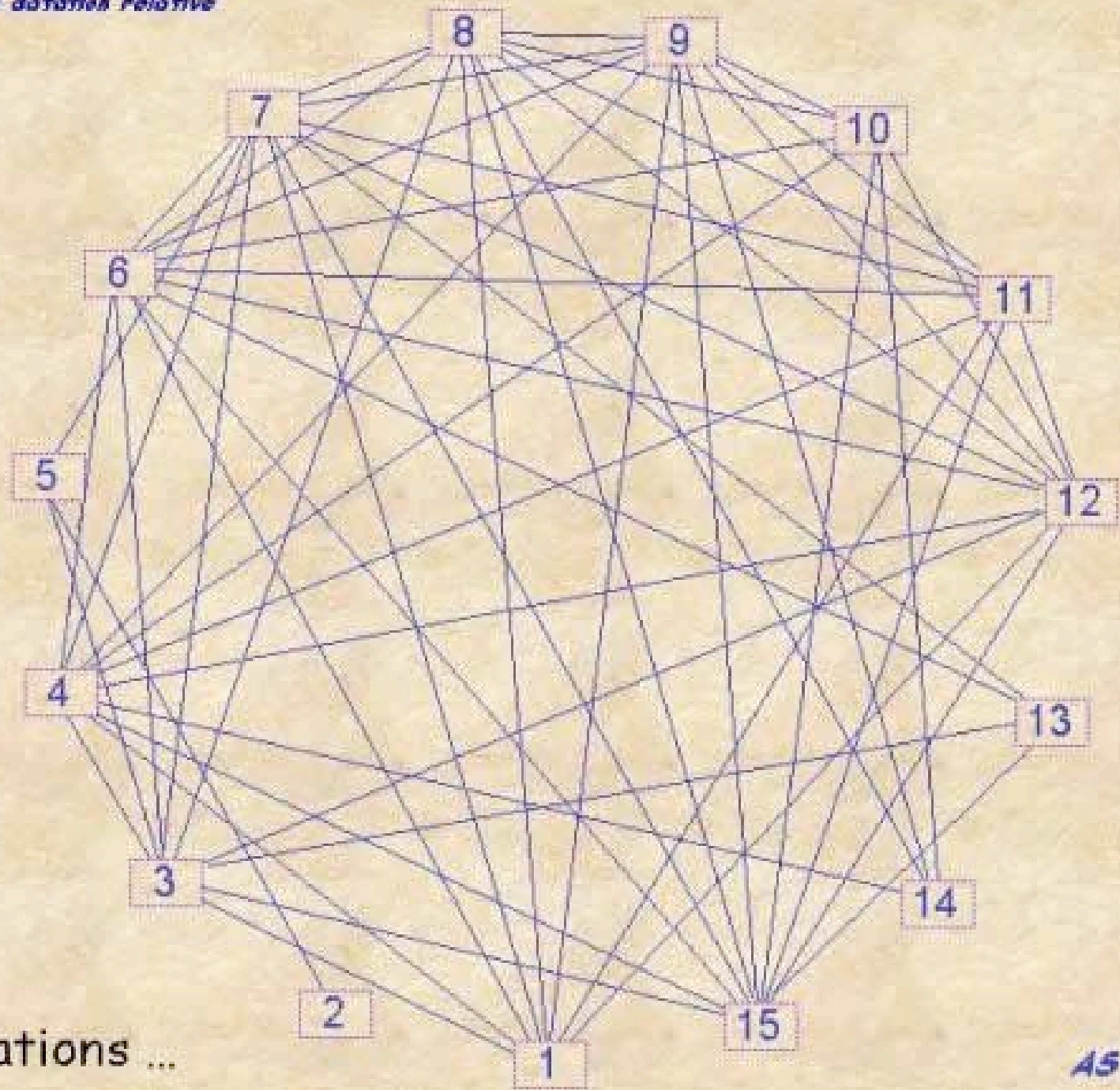
Les configurations impossibles



Identifier des configurations virtuelles

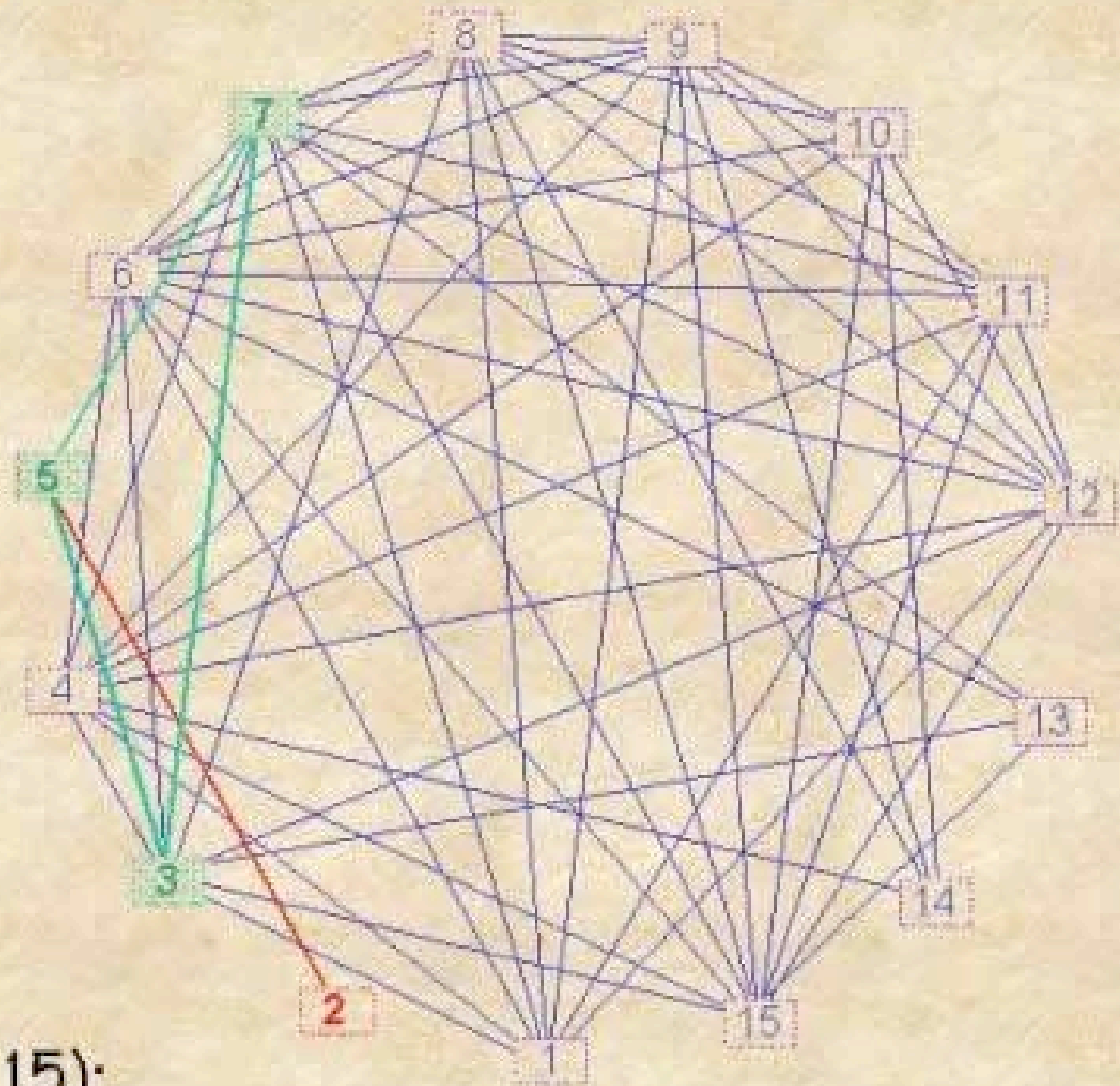


Augmenter l'information



Et, après  
moultiples opérations ...

## Les associations



$$k_1 = (2, 5);$$

$$k_2 = (3, 5, 7);$$

$$k_3 = (3, 6, 7, 13, 15);$$

$$k_4 = (1, 3, 4, 6, 7, 8, 12, 15);$$

$$k_5 = \{1, 4, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 15\};$$

$$k_6 = \{4, 6, 8, 9, 10, 12, 15\};$$

$$k_7 = \{4, 8, 9, 10, 14, 15\}.$$

# Index Fossils and International Stratotypes

The Case of the Silurian – Devonian  
Boundary

# Index Fossils and the Silurian - Devonian Boundary



- Graptolites \*
- Conodonts \*
- Chitinozoans \*
- Trilobites
- Brachiopods
- Cephalopods



# Definition of the S-D Boundary

- Stratotype: Klonk,  
near Suchomasty,  
Czech Republic



# S-D GSSP



- GSSP = Global Stratotype, Sequence and Point
- First appearance of *Monograptus uniformis uniformis*
- Bed 20
- Klonk, Czechia

Qu'elles sont les caractéristiques d'un bon fossile stratigraphique ?

distinctive

abundant

Widespread geographic distribution

not facies-specific

rapid evolution,

short temporal range

these types of fossils are called index fossils.

Alternative is facies fossils,

good at indicating environment,

but often not good at indicating time.