

L'ENREGISTREMENT DU TEMPS EN GEOLOGIE

l'intuition prise
en défaut....

Prof. Alain Pr at
Géologie-ULB

apreat@ulb.ac.be

15 mars 2010, ulb

plan de l'exposé

1. GEOMETRIE

Les lignes temps sont le plus souvent obliques (corps sédimentaires)
Ensuite les séries sont plissées, charriées ('déchiquetées')

2. TEMPS RELATIF ET ABSOLU

Les deux restent indispensables

3. VITESSE

La cinétique des phénomènes dépend de la résolution temporelle

2. GEOMETRIE ^{>1960}

Les lignes temps sont le plus souvent obliques (corps sédimentaires)
Ensuite les séries sont plissées, charriées ('déchiquetées')

^{<1800} 1a. TEMPS RELATIF ET 1b. ABSOLU ^{>1900}

Les deux restent indispensables

3. VITESSE ^{>1980-1990}

La cinétique des phénomènes dépend de la résolution temporelle

LE TEMPS EN GEOLOGIE

l'intuition prise en défaut....



0,5
à
5%

Préat 2004

série géologique 'normale' et 'continue'

LE TEMPS EN GEOLOGIE

l'intuition prise en défaut....



$T_{x'}$

0,5
à
5%

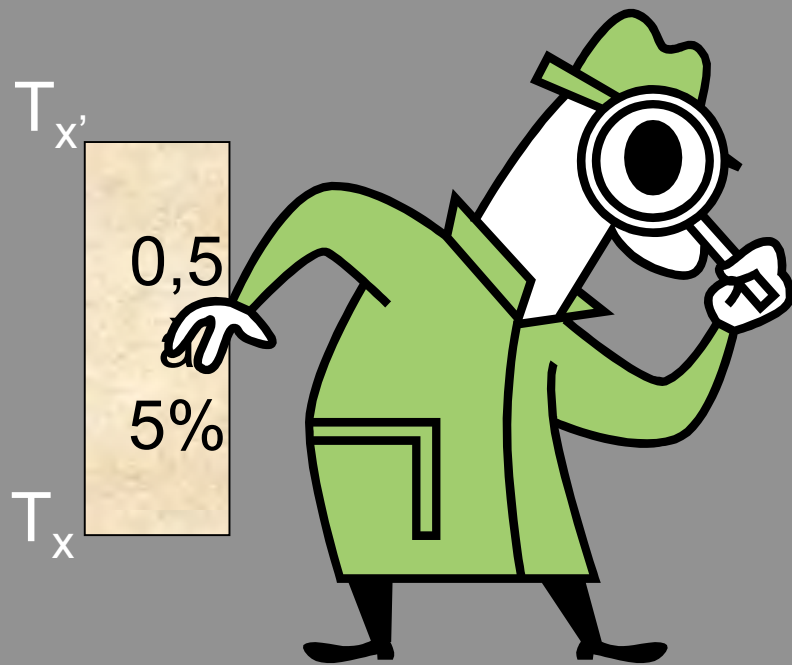
Il manque donc 95 à 99,5% du temps

T_x

série géologique 'normale' et 'continue'

$T_{x'}$

T_x



- En est-on sûr? **Oui**
- Est-ce la règle? **Oui**
- Conséquences? **Très nombreuses**
- Pourra t'on en sortir? **Non**
- Depuis quand le sait-on? **>1950**



Les autres disciplines ont également eu leur(s) biais et ont encore leur(s) limite(s) : physique, biologie ...

Physique

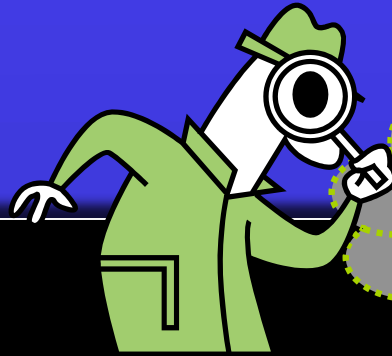
- **l'éther** ou hypothétique support matériel des vibrations d'une onde électromagnétique (comme la LUMIERE) n'existe pas (expériences de Michelson-Morley, années 1880' avec prix Nobel de physique en 1907 pour Michelson).
- **principe d'indétermination d'Heisenberg (1927)** : impossibilité de déterminer A LA FOIS la position et la vitesse d'une particule (cf mécanique quantique). Toujours vrai.

Biologie

- **génération spontanée**: il faut attendre Pasteur (1862) pour clore un débat de 2500 ans initié par Aristote (*'les poissons... mollusques... insectes... naissent spontanément de la vase, de la rosée ou de la neige'*). Plus tard : *'les mouches de la viande...'*

Géologie

- **'ponts transcontinentaux'** et autres explications fantaisistes avant l'établissement de la tectonique des plaques (1968).



Comment
le voit-on?

presque jamais sur le terrain!



1. GEOMETRIE

Les lignes temps sont le plus souvent obliques (corps sédimentaires)
Ensuite les séries sont plissées, charriées ('déchiquetées')

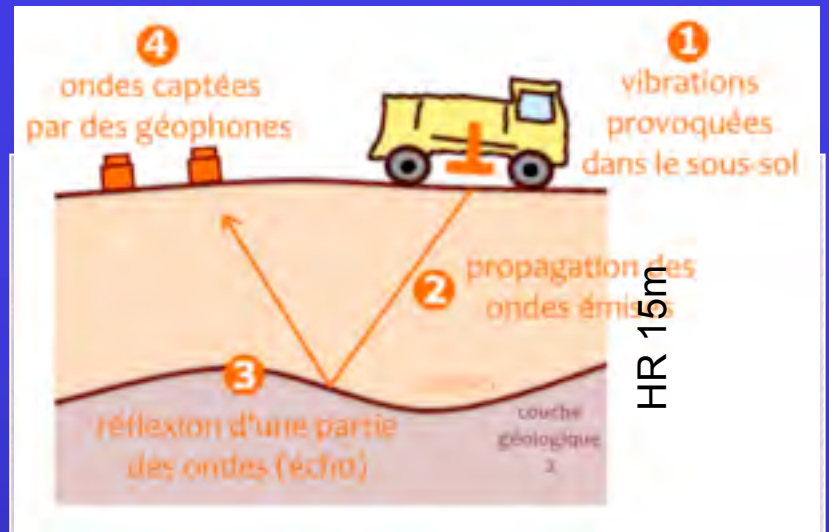
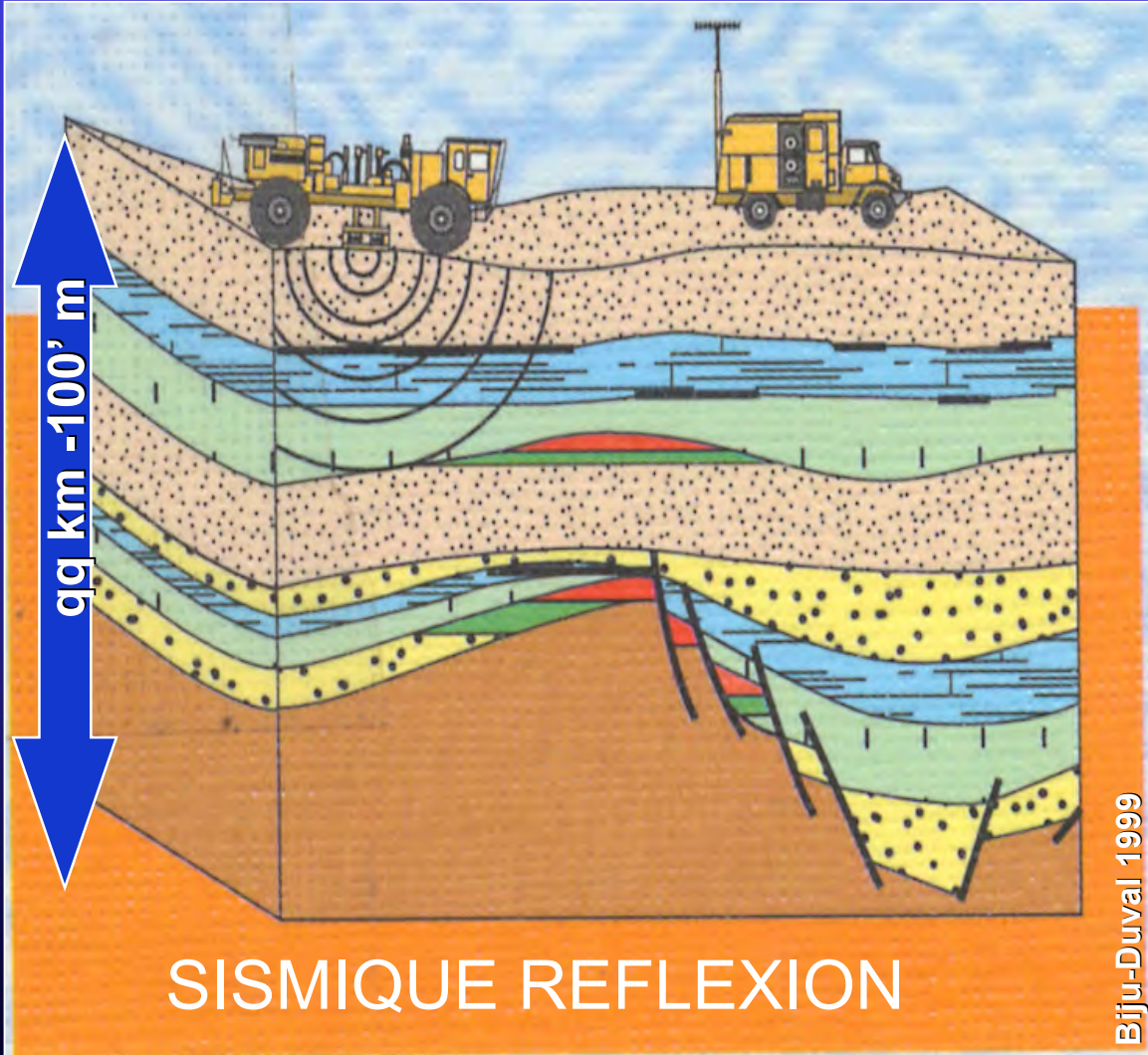
2. TEMPS RELATIF ET ABSOLU

Les deux restent indispensables

3. VITESSE

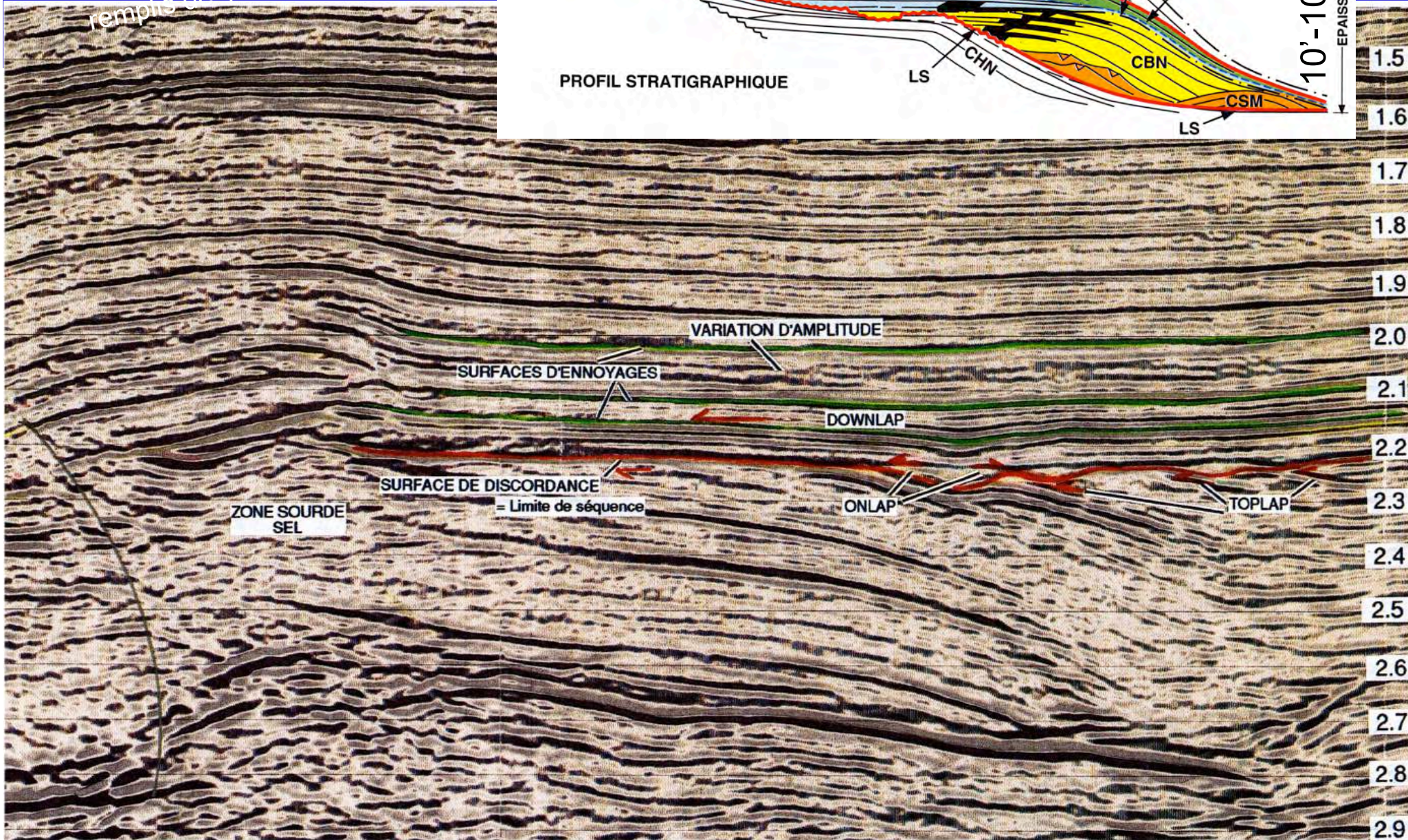
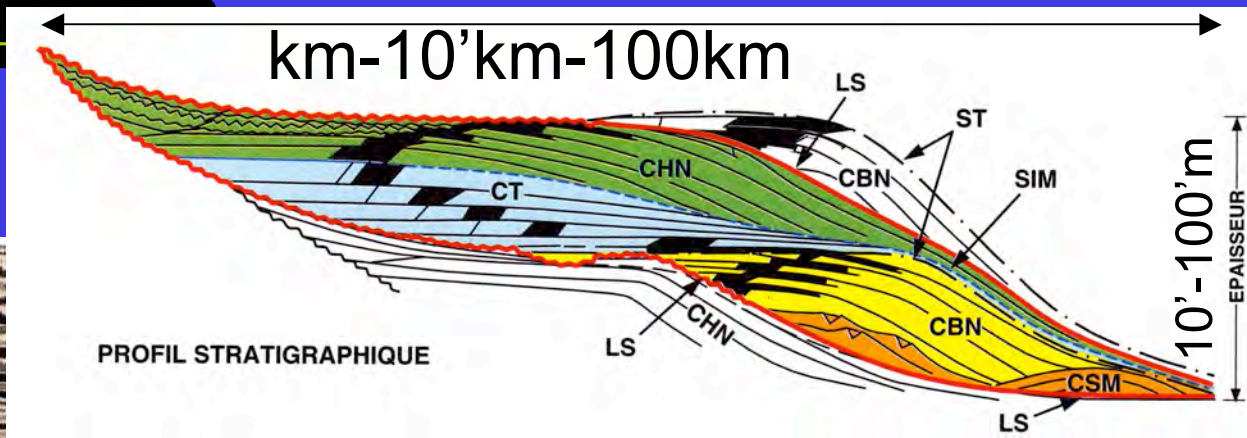
La cinétique des phénomènes dépend de la résolution temporelle

LES BASSINS SEDIMENTAIRES

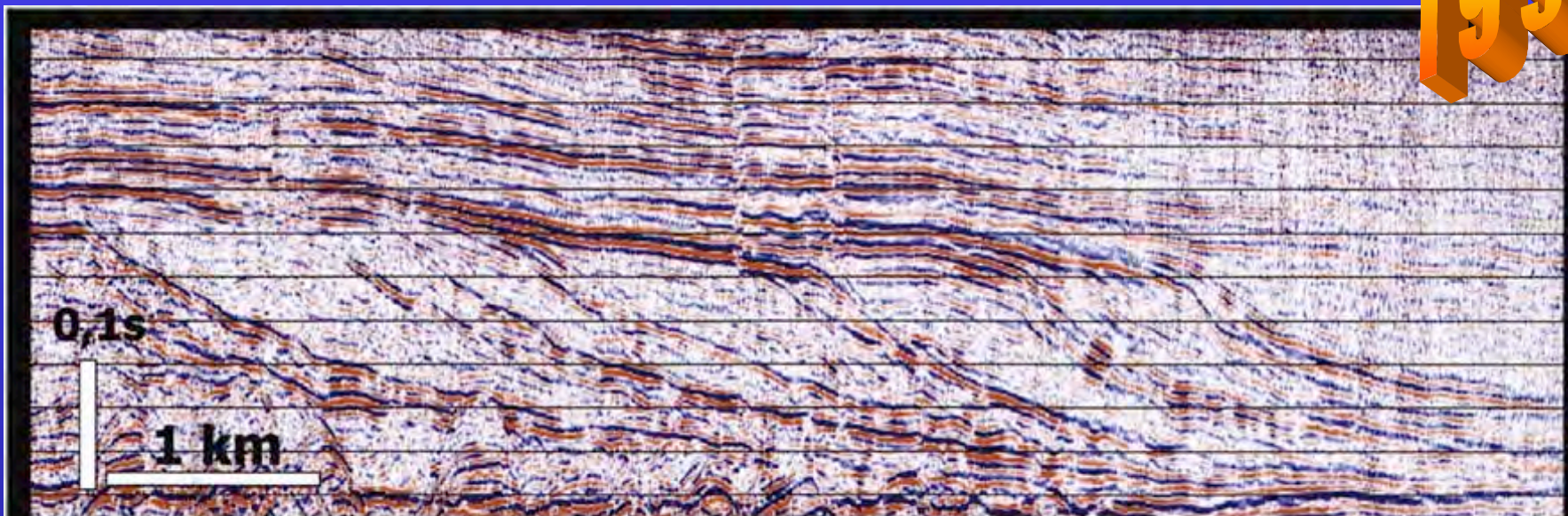


GEOMETRIE-TEMPS REL/ABS-

les corps sédimentaires
sont des sigmoïdes
remplis de 'paquets' = cortèges

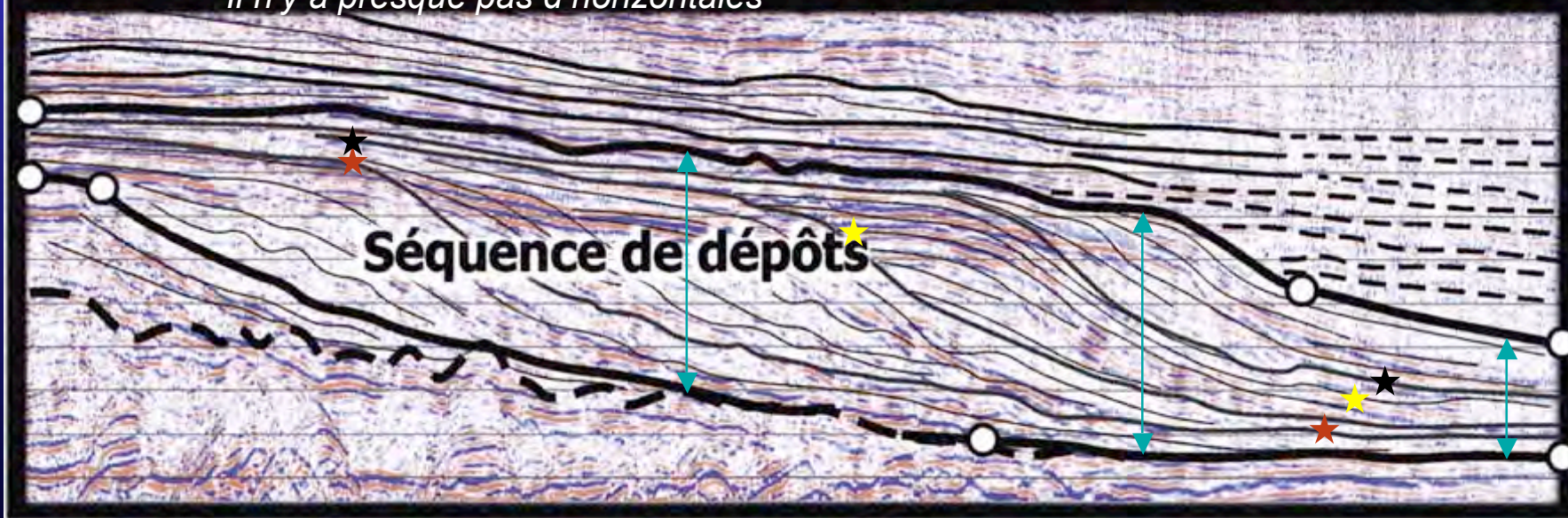


1990'



Les lignes temps (isochrones) sont obliques ★★★
Il n'y a presque pas d'horizontales

0.5
à
3 Ma

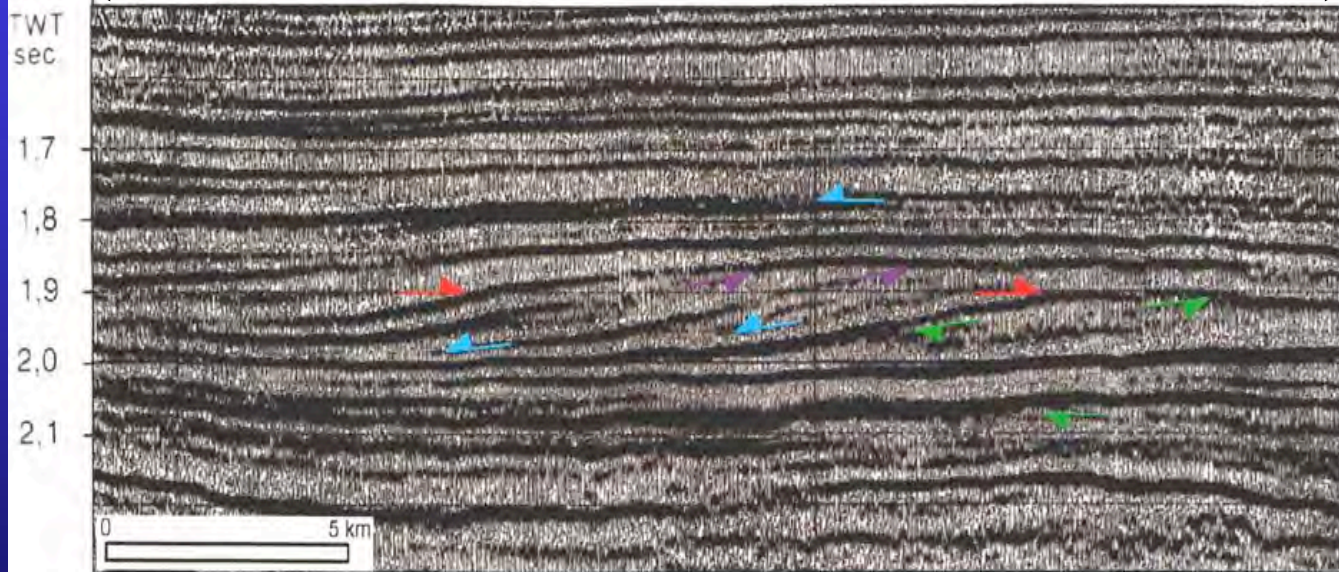
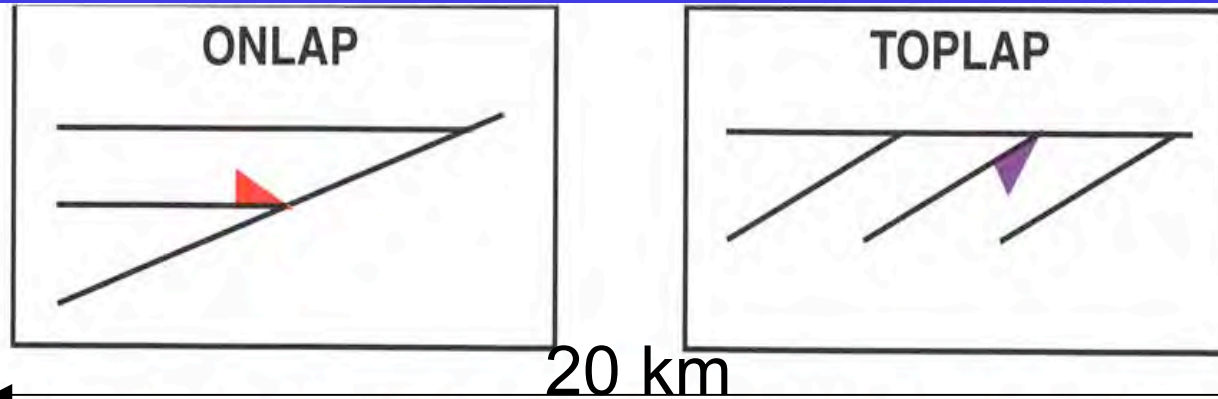


← Δ Epaisseur(s) 7km Sections ≠ →

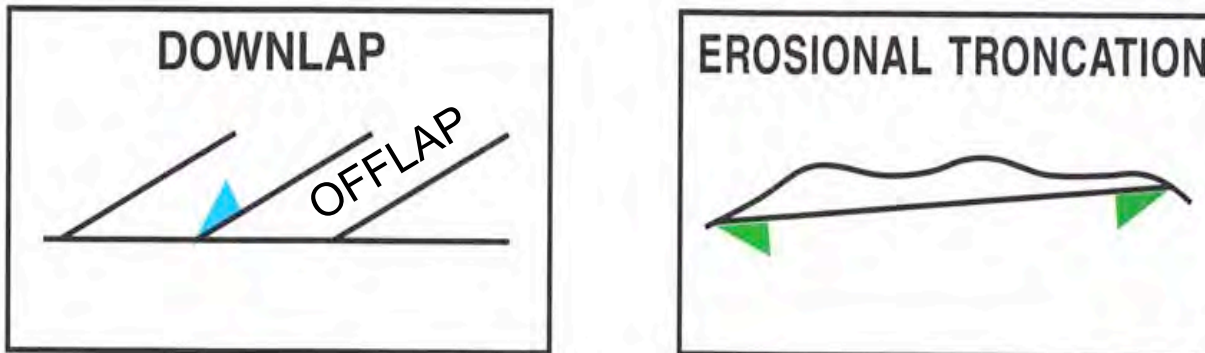
Mezeraud 2009

GEOMETRIE-TEMPS REL/ABS-VITESSE

schématiquement



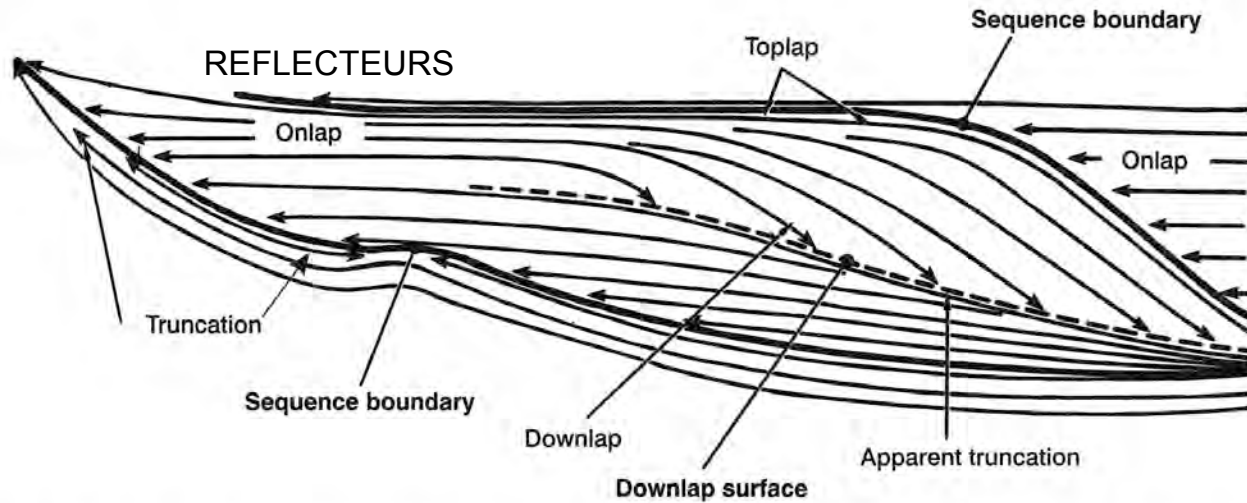
Il faut donc comprendre càd 'décortiquer' la géométrie



Homewood et al 2000

GEOMETRIE-TEMPS REL/ABS-VITESSE

km-10'km-100km



10'-100'm

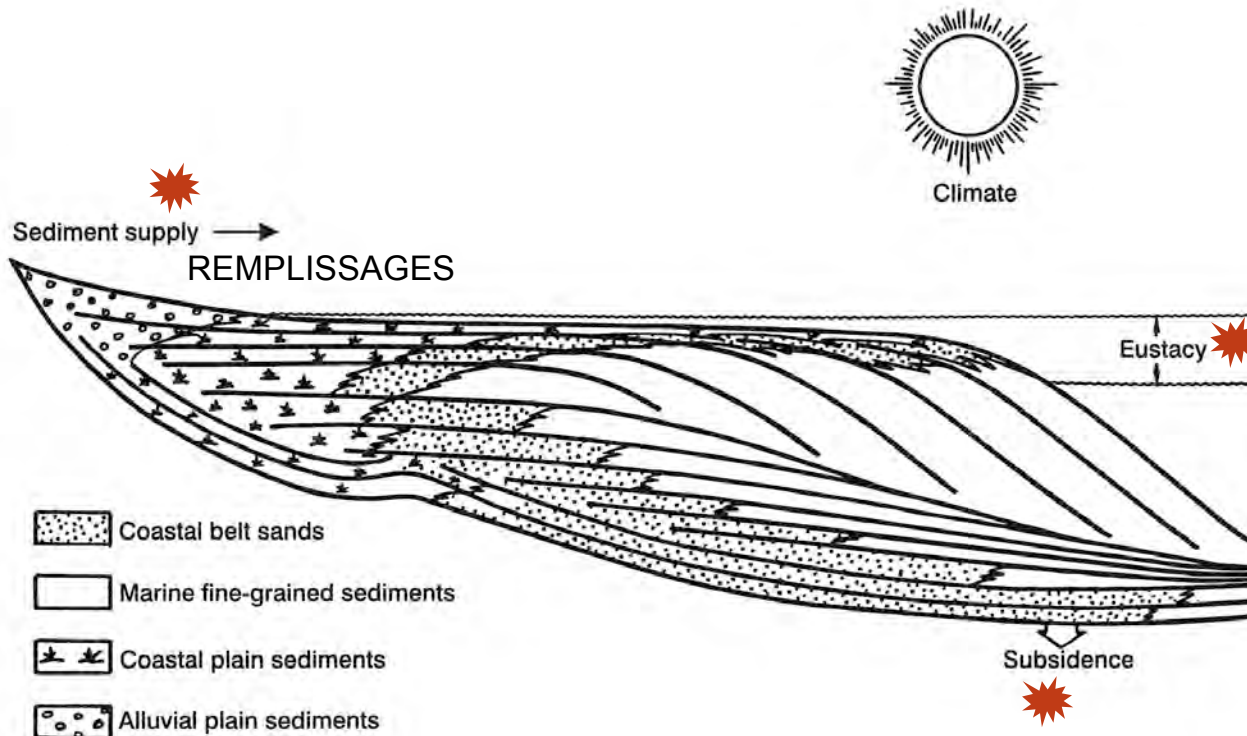
PF

pas profond

le plus souvent incomplet...

Bassin

profond



Vail 1987

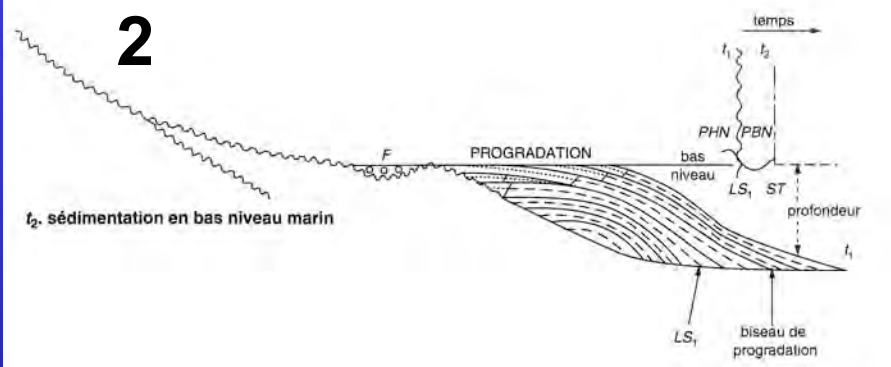
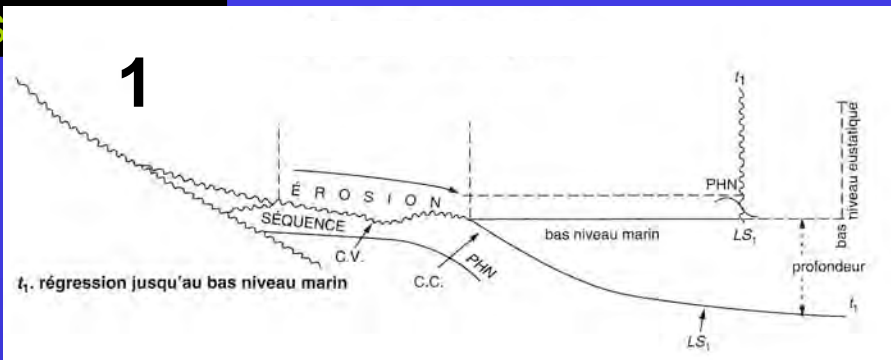
$$\Delta NMr = \Delta NMa + \text{Subsidence} + \text{Apports}$$

↓
ΔGEOMETRIE

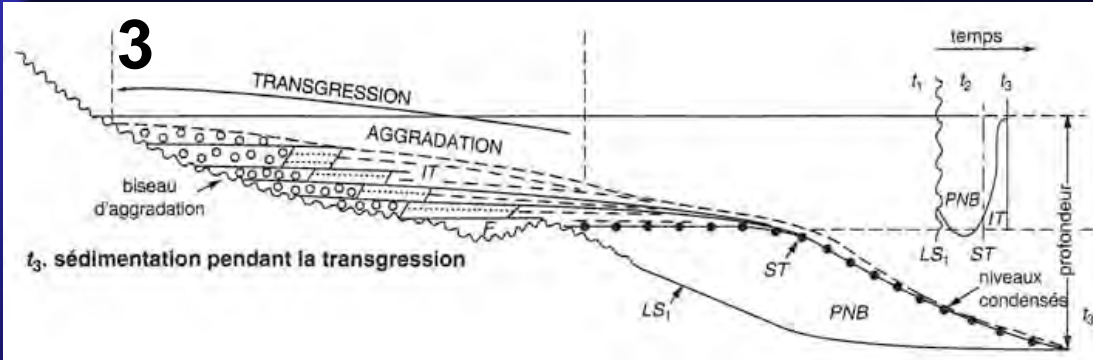
Formation d'une séquence
0.5-3Ma
Pcm-Actuel...

GEOMETRIE

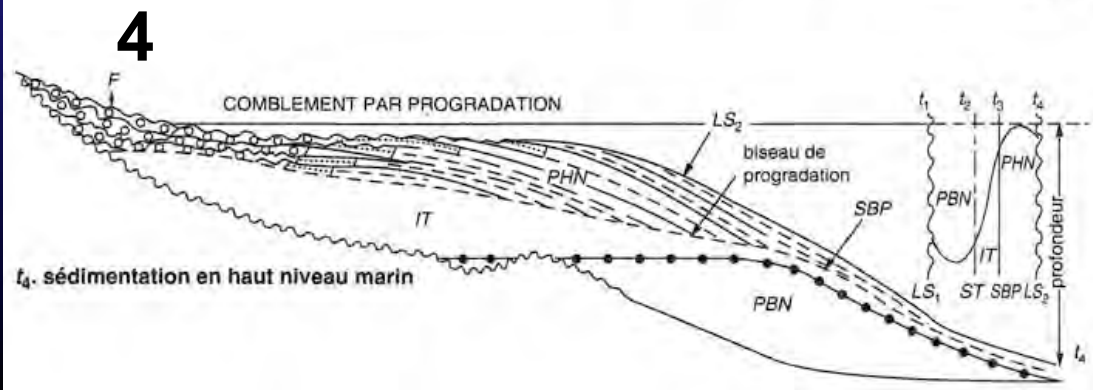
Réflecteurs sismiques
(Sismostratigraphie)
Exxon



offlap



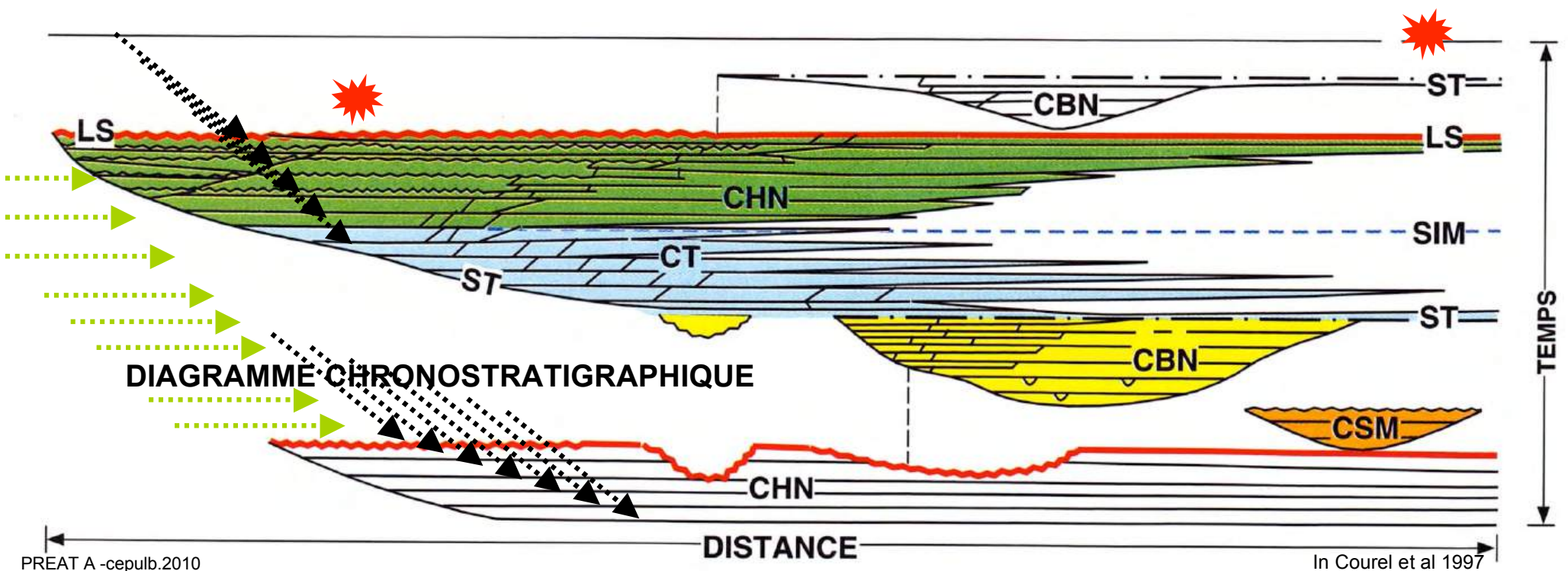
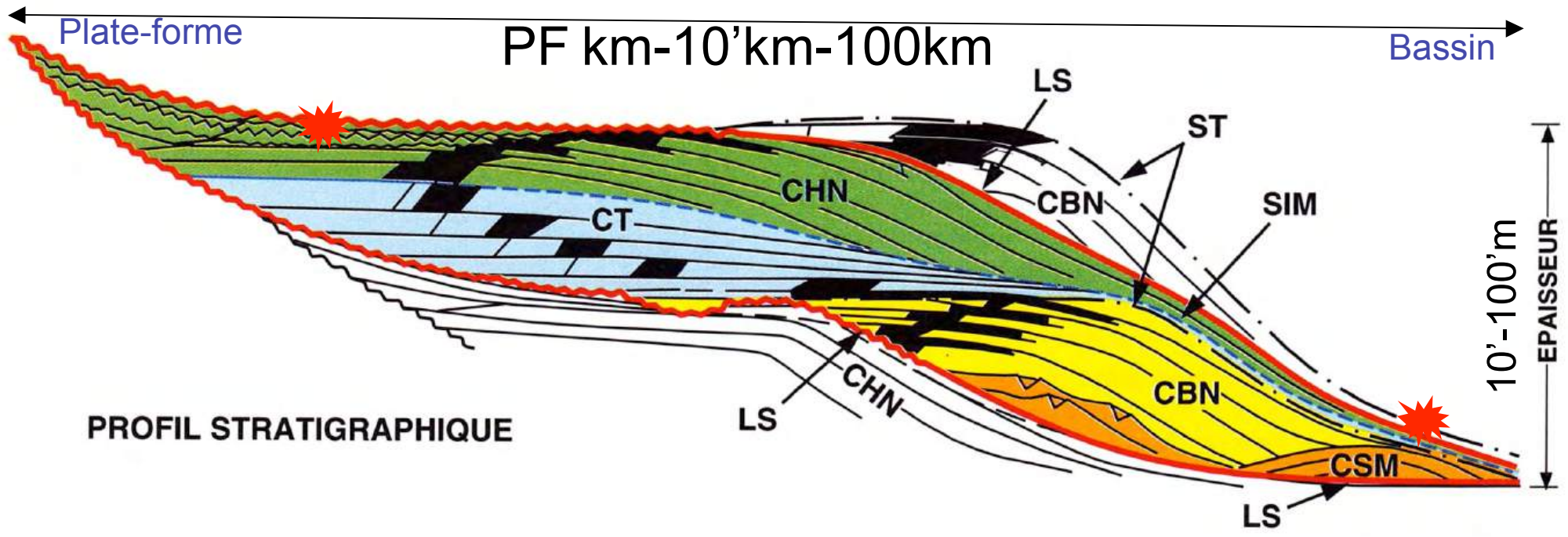
onlap



offlap
uplap

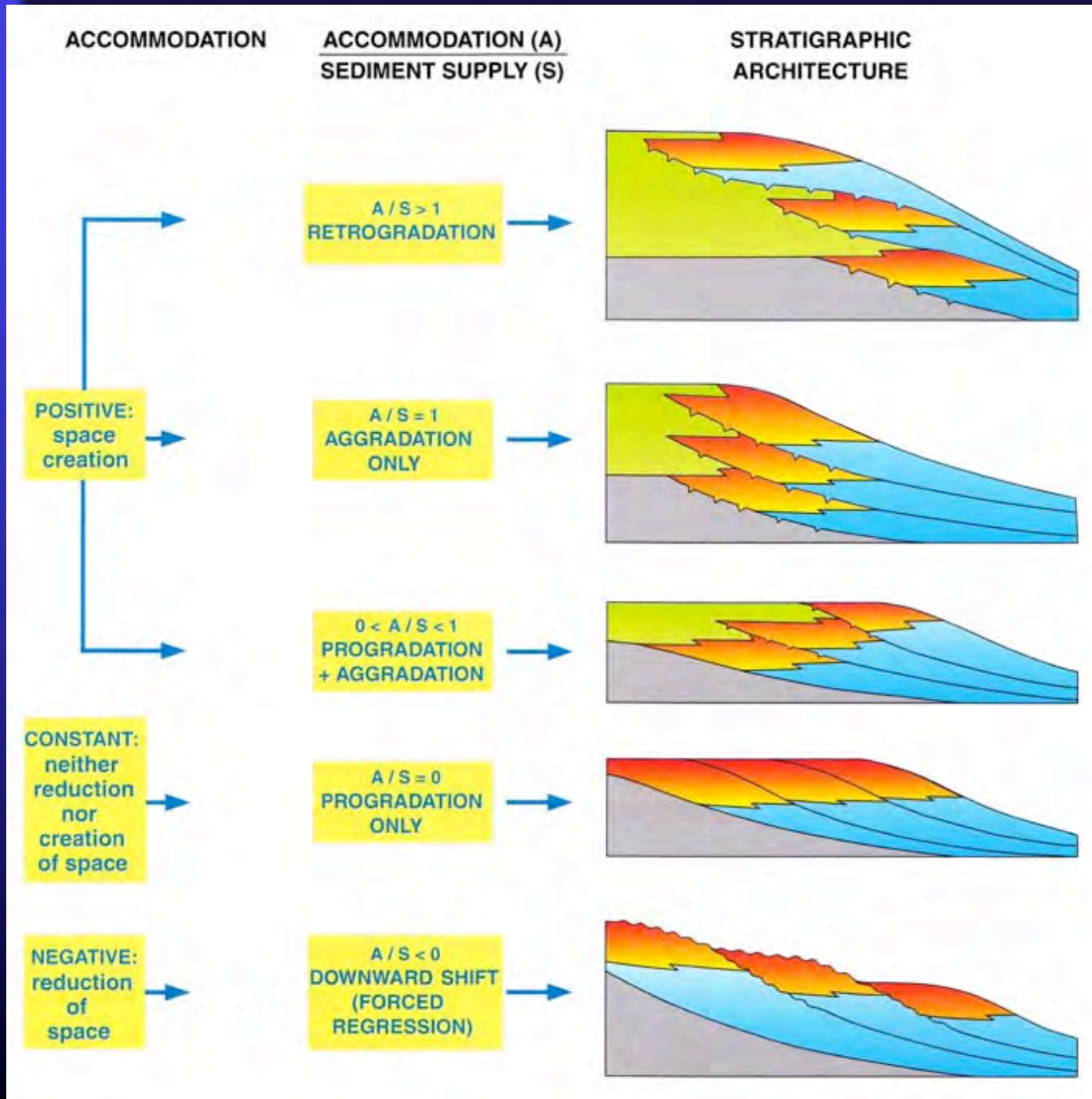
Bernard et al. 1995

GEOMETRIE-TEMPS REL/ABS-VITESSE



GEOMETRIE-TEMPS REL/ABS-VITESSE

km-10'km-100km



10' - 100' m

$$\Delta NMr = \Delta NMa$$

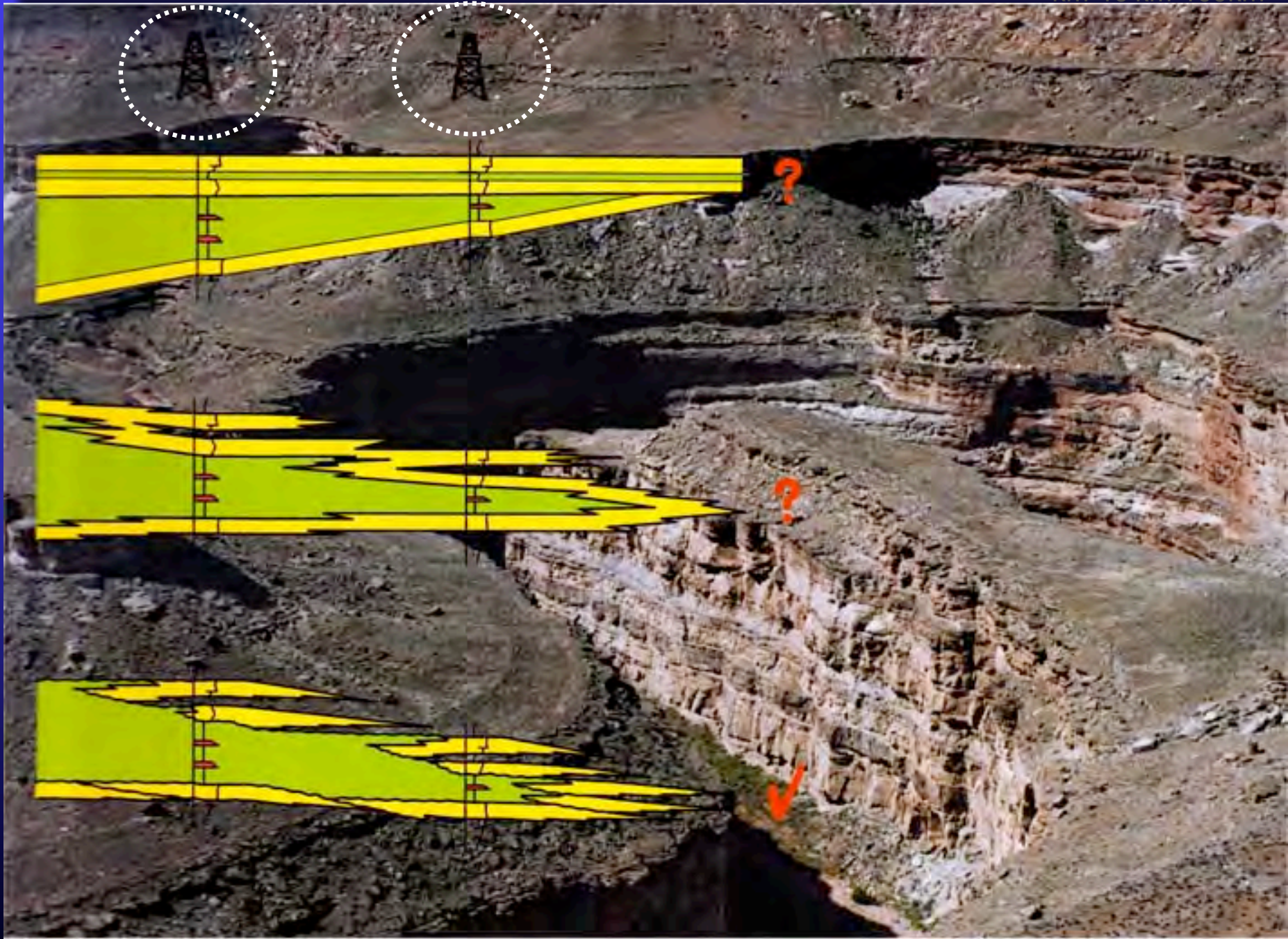
Subsidence Apports

↓
 Δ GEOMETRIE

Homewood et al 2000

GEOMETRIE-TEMPS REL/ABS-VITESSE

km-10'km-100km



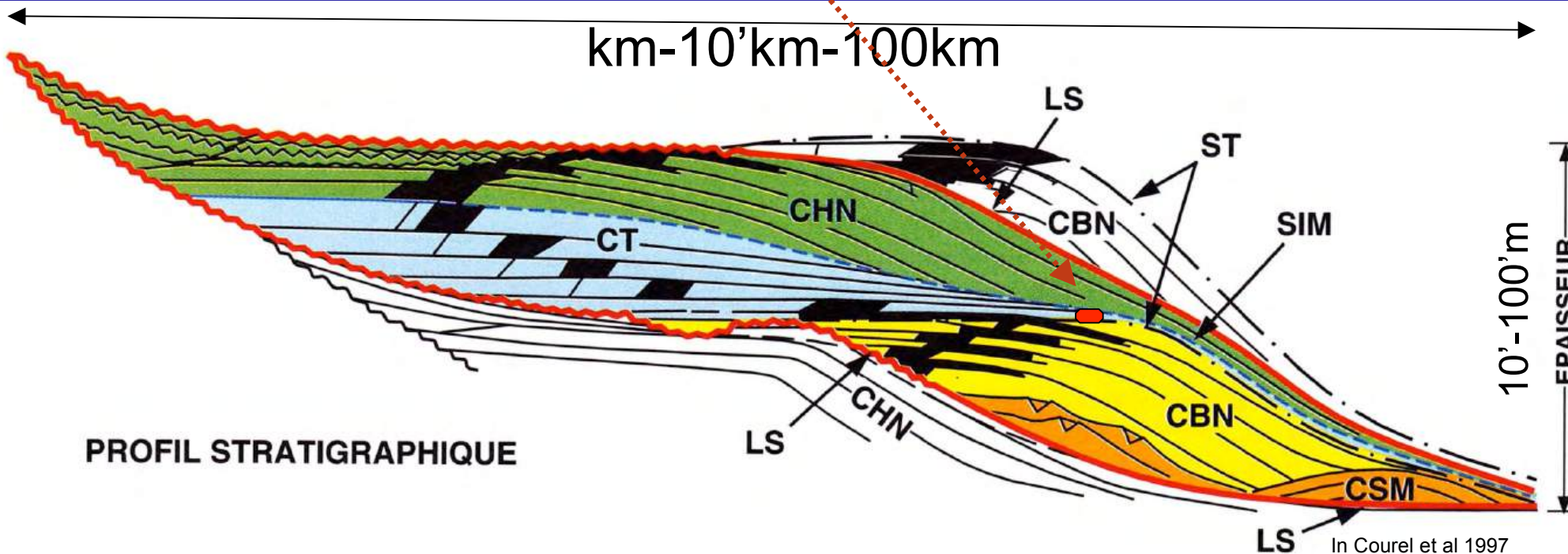
10'-100m

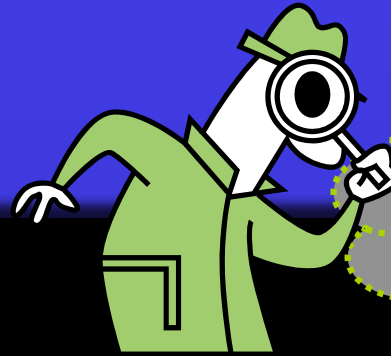
Homewood et al 2000

Dépôts continentaux permien (Canyonlands National Park, Utah)

GEOMETRIE-TEMPS REL/ABS-VITESSE

1990'





Comment
le voit-on?

presque jamais sur le terrain!

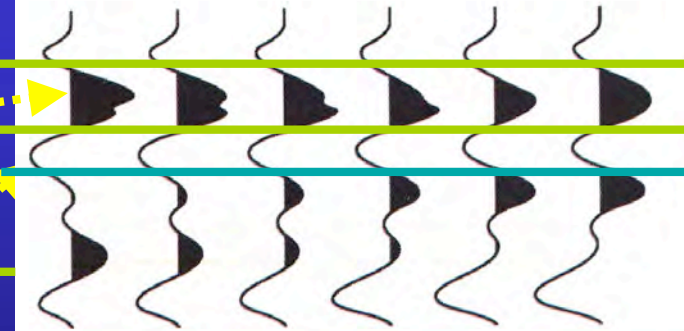
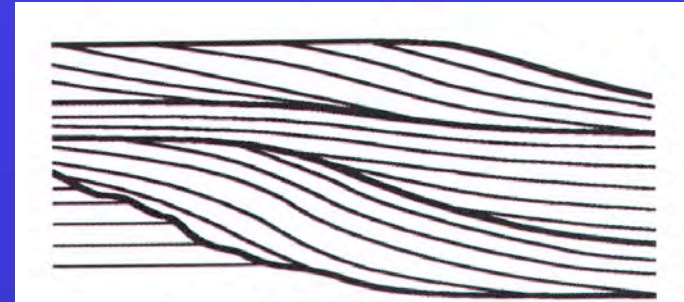
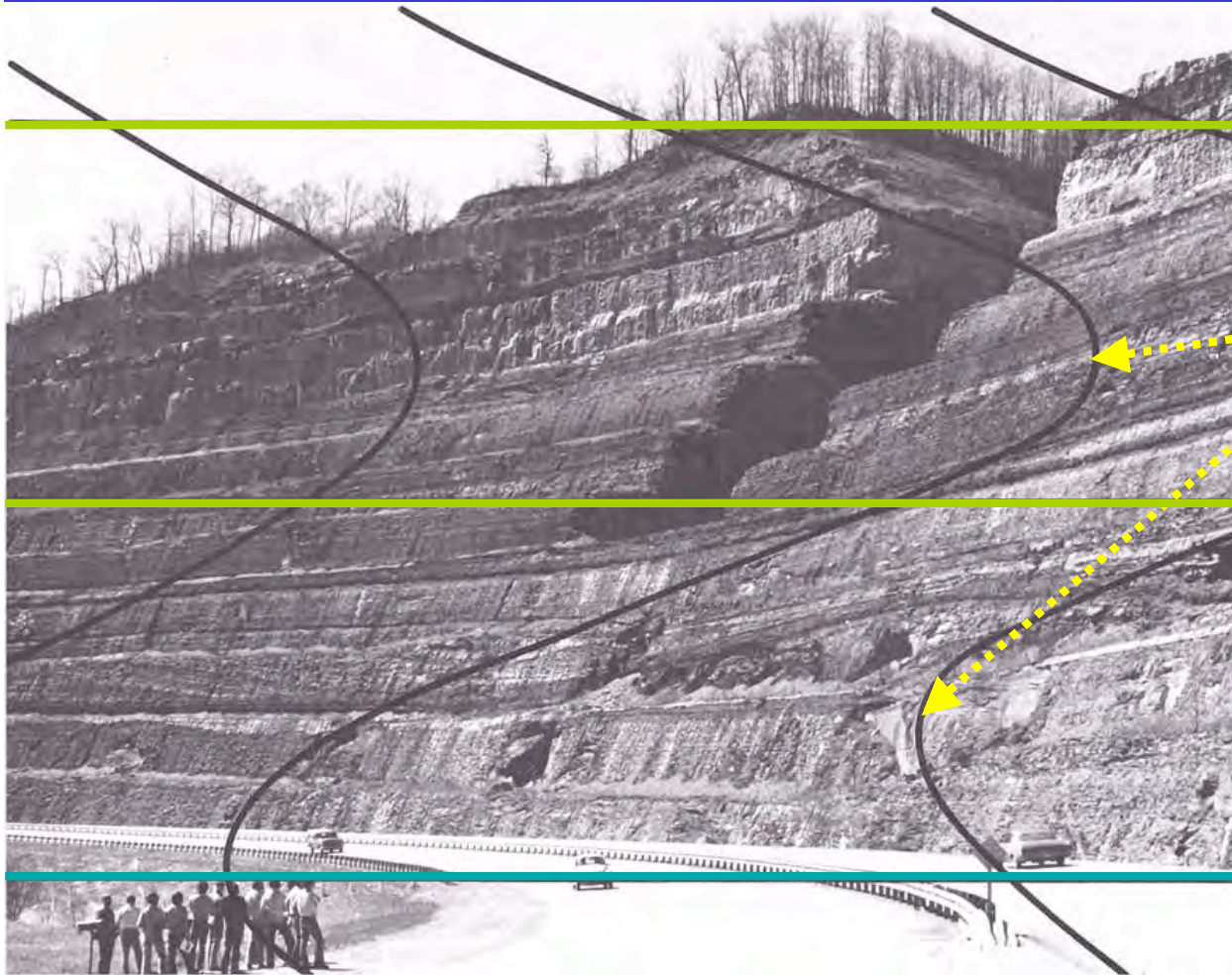
1. GEOMETRIE

Les lignes temps sont le plus souvent obliques (corps sédimentaires)
Ensuite les séries sont plissées, charriées ('déchiquetées')

Première (triste) conclusion...

ON NE VOIT DONC PAS GRAND CHOSE (géométrie) SUR LE TERRAIN...

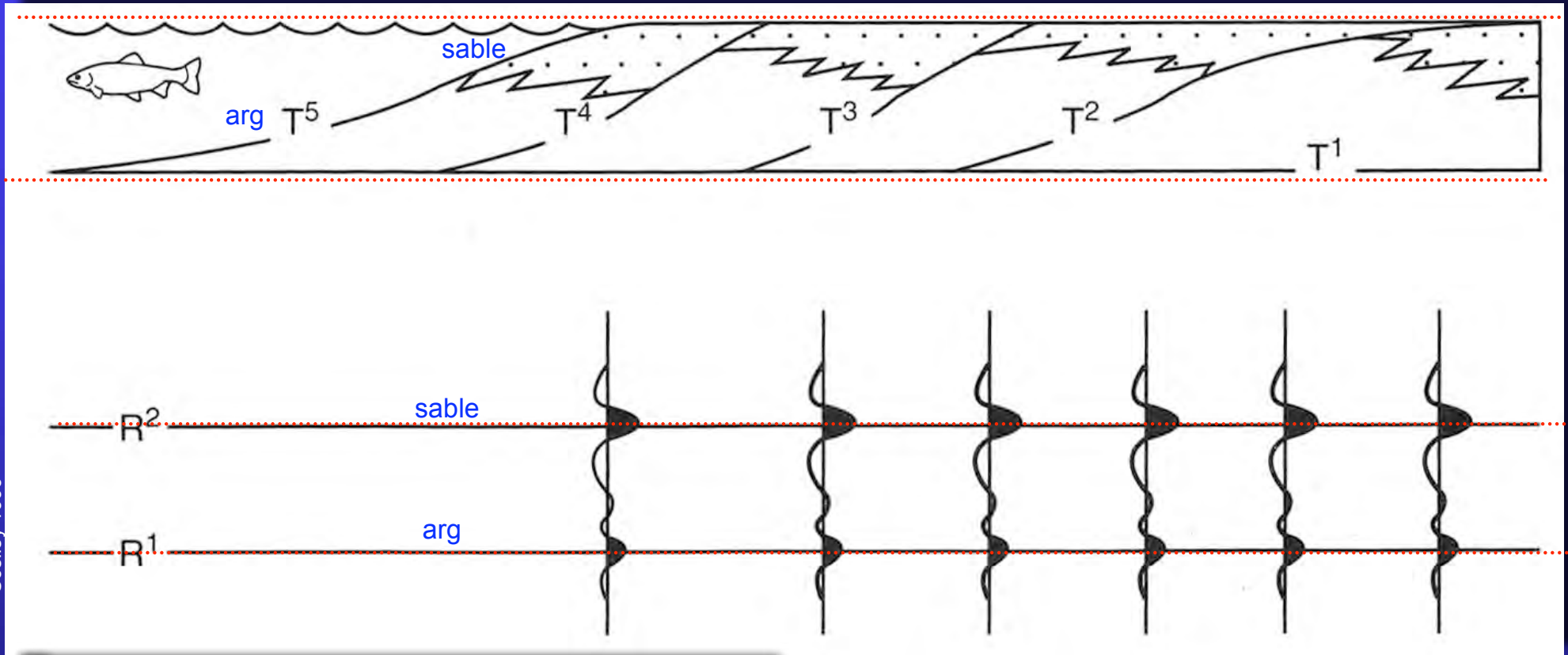
Les lignes temps (isochrones) paraissent horizontales à l'affleurement



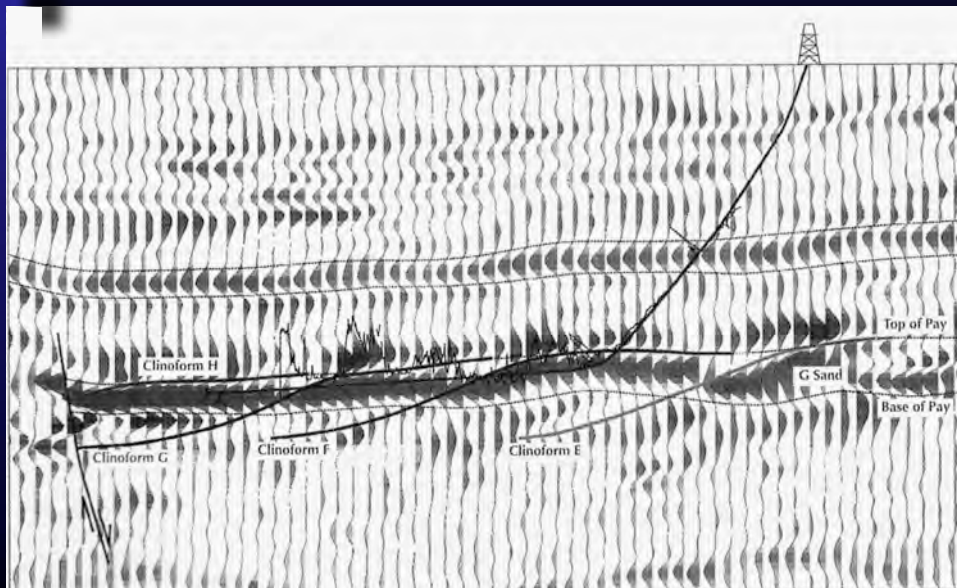
Homewood et al 2000

Miall 1990

GEOMETRIE-TEMPS REL/ABS-VITESSE



Scelley 1996

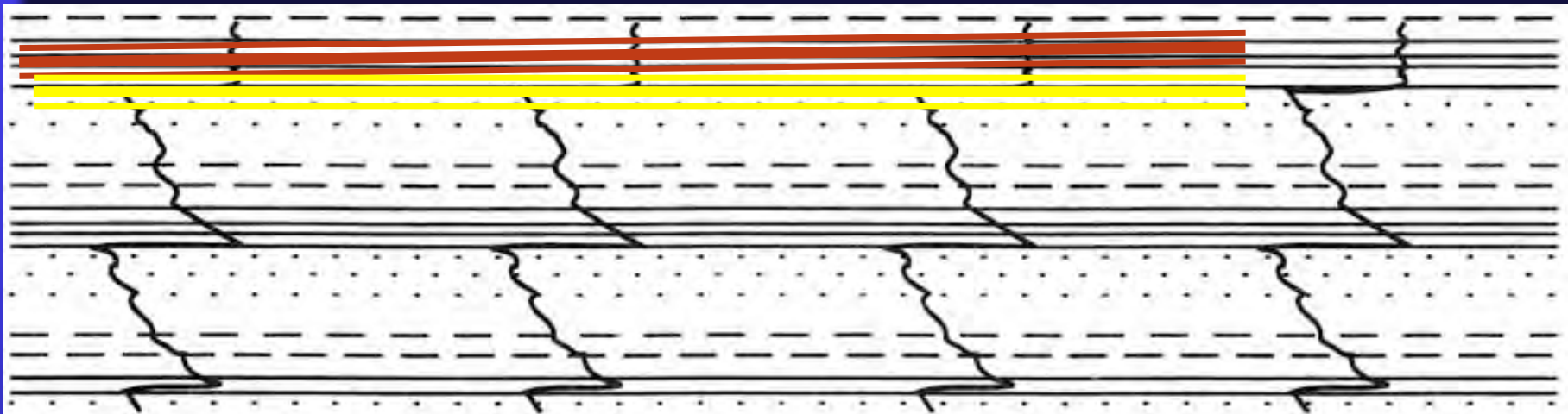


PREAT A -cepulb.2010

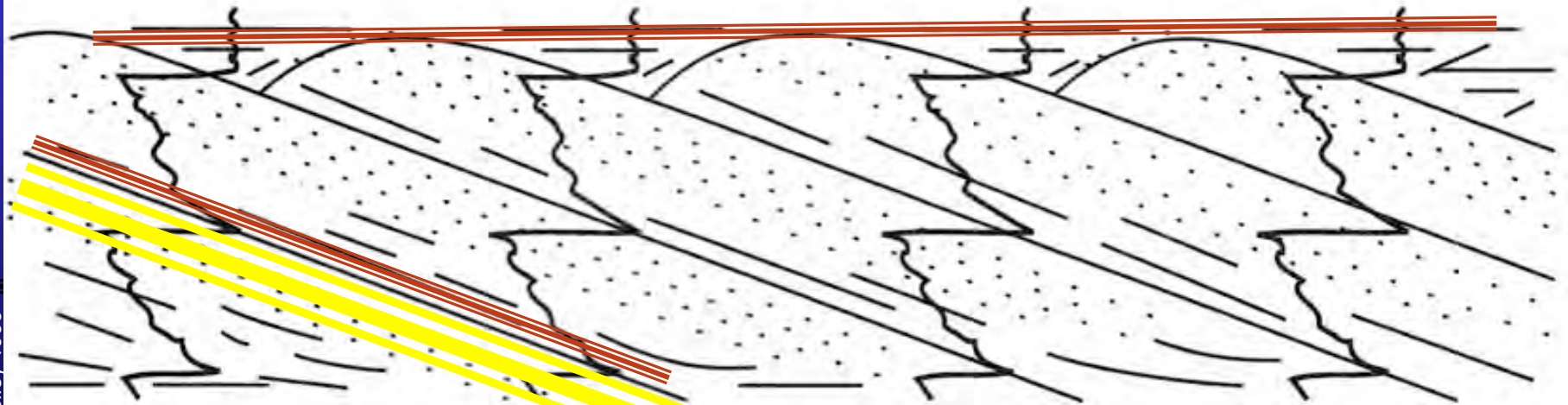
KISS

'Keep It Simple and Stupid'

GEOMETRIE-TEMPS REL/ABS-VITESSE



This? (Correlated using the KISS principle)



Or this? (Correlated using a model of prograding sand bars)

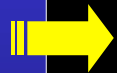
Scelley 1996

KISS

'Keep It Simple and Stupid'

1. GEOMETRIE

Les lignes temps sont le plus souvent obliques (corps sédimentaires)
Ensuite les séries sont plissées, charriées ('déchiquetées')



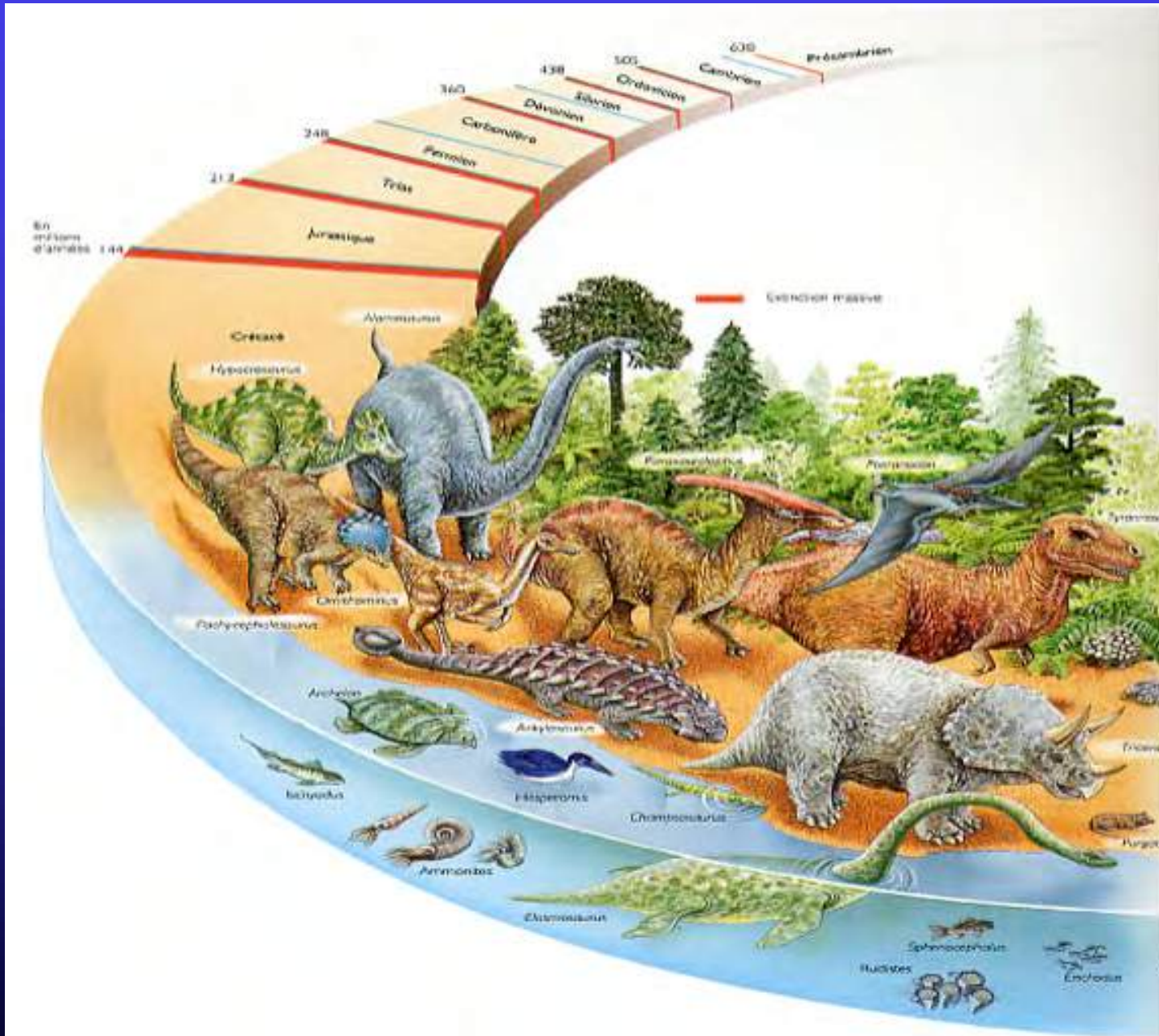
2. TEMPS RELATIF ET ABSOLU

Les deux restent indispensables

3. VITESSE

La cinétique des phénomènes dépend de la résolution temporelle

LE TEMPS EN GEOLOGIE



4,6 Ga  3,9

12%

0,542 Ga

BIOSTRATIGRAPHIE



Paléozoïque

Mésozoïque

4,6 Ga



3,9

12%

0,542 Ga

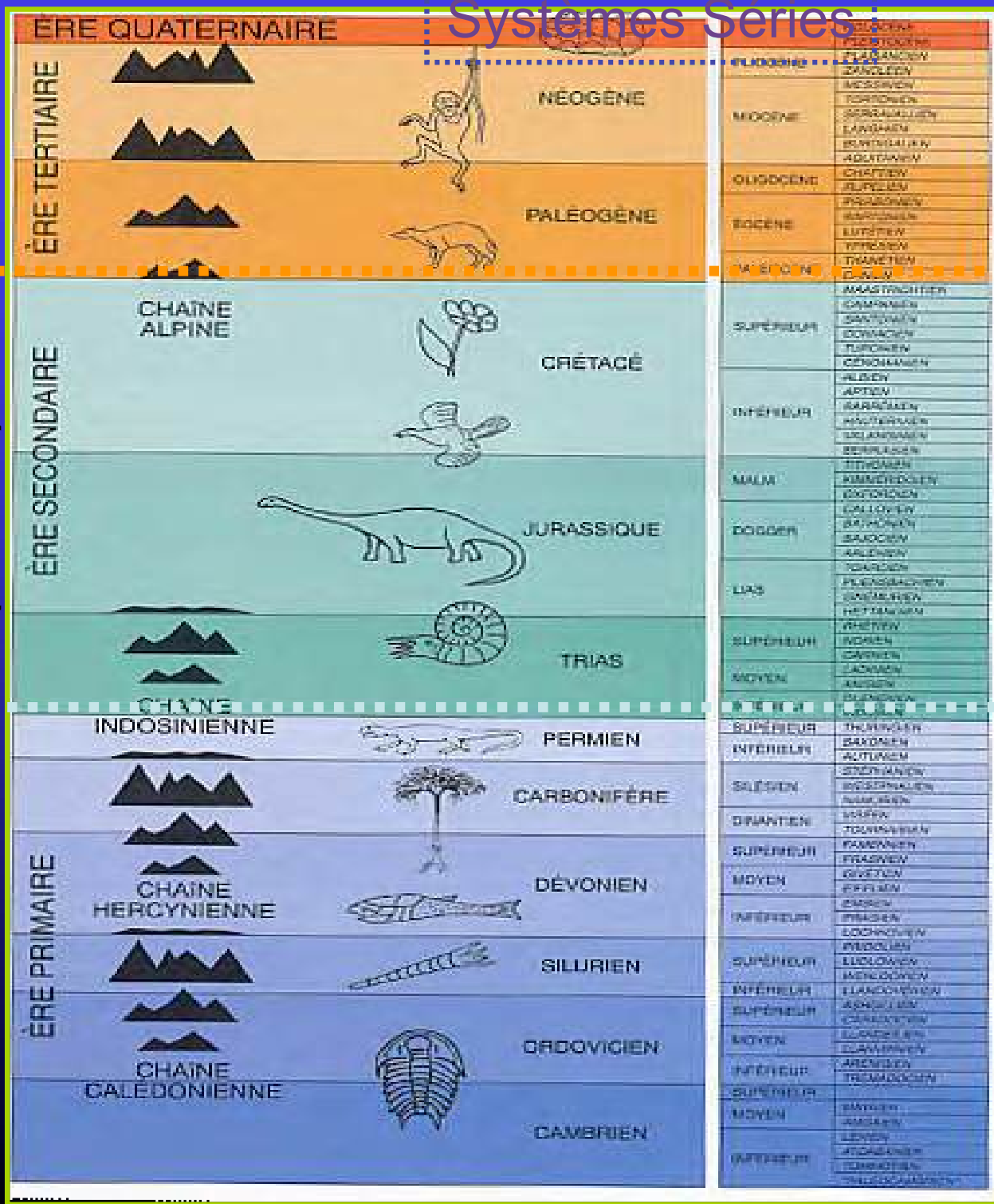
Systemes Series

ERES



H
-
E
-
R
A
R
I
T
E

1760 Giovanni ARDUINO
(vénitien)



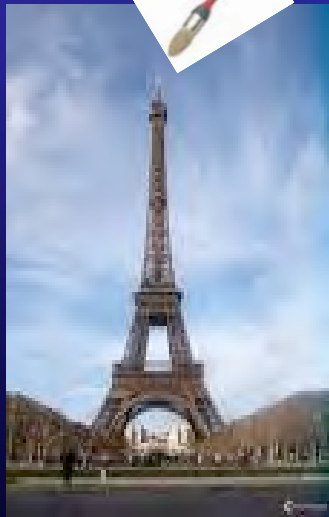
ETAGES



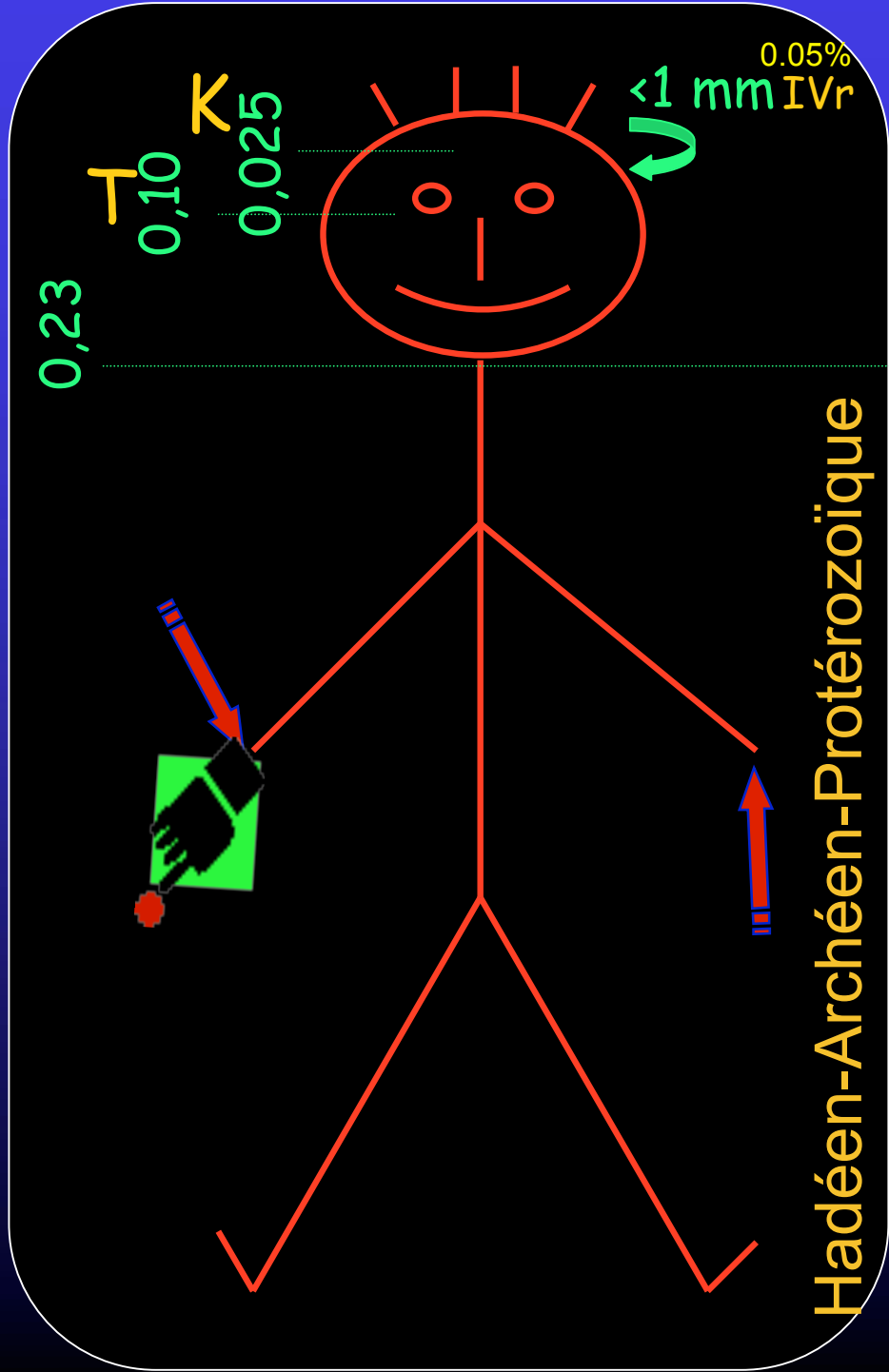
H
I
E
R
A
R
C
H
I
E

542 Ma

GEOMETRIE-TEMPS REL/ABS-VITESSE



1,85 m



Phanérozoïque
~1/9

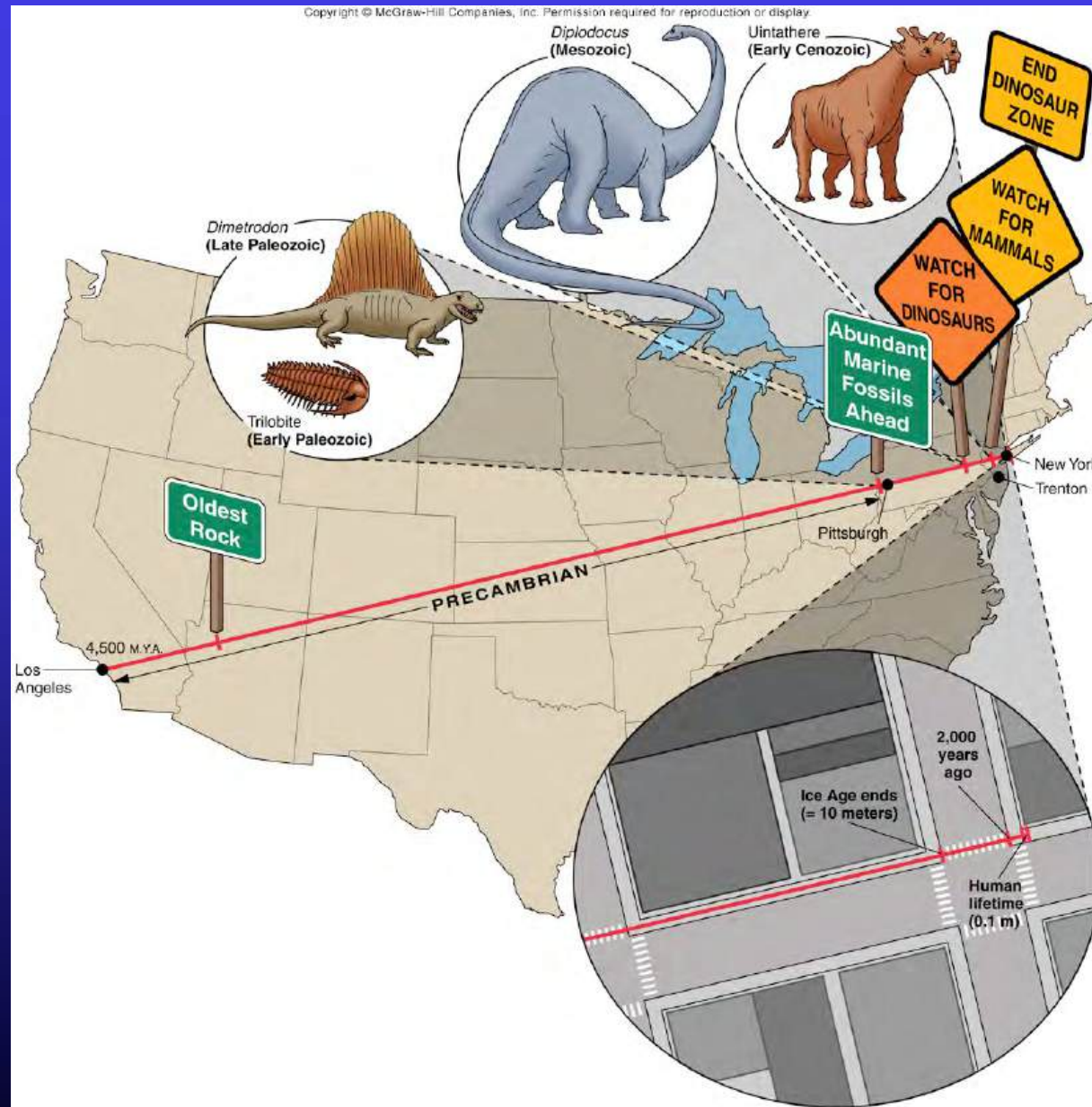
0,542 Ga

Précambrien
~8/9

4,6 Ga

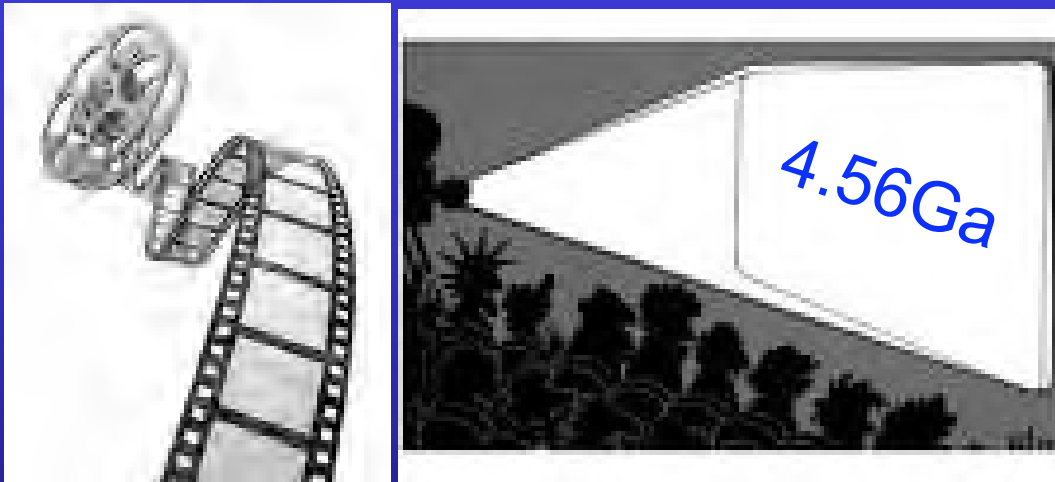
Numerical dating gives absolute age for Earth of about 4.56 billion years

AGES EN KILOMETRES



A long human lifetime (100 years) represents only about 0.000002% of geologic time

Le temps géologique - très, très, très long!



Cinéma: 32 images/sec

Si 1 image = 100 ans

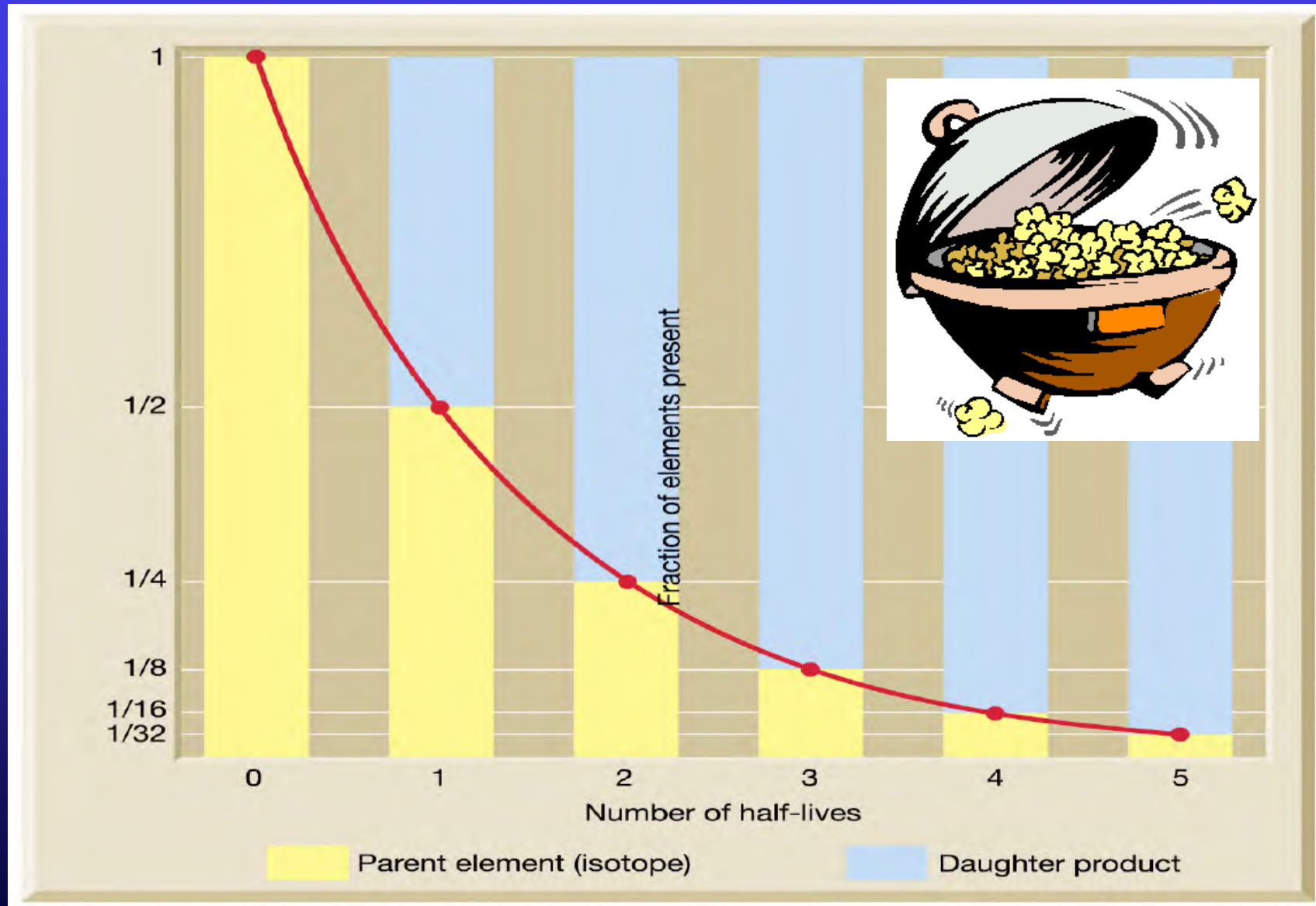
- Ere Chrétienne (BC) -3/4 sec
- Age Glaciaire: -7 sec
- Extinction Dinosaures (K/T): -6h
- Métazoaires (Pcm/Cm) : - 2j
- Début histoire Terre: -16j

déjà
0.03sec



CHRONOLOGIE ABSOLUE ou ISOTOPIQUE

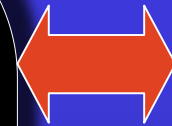
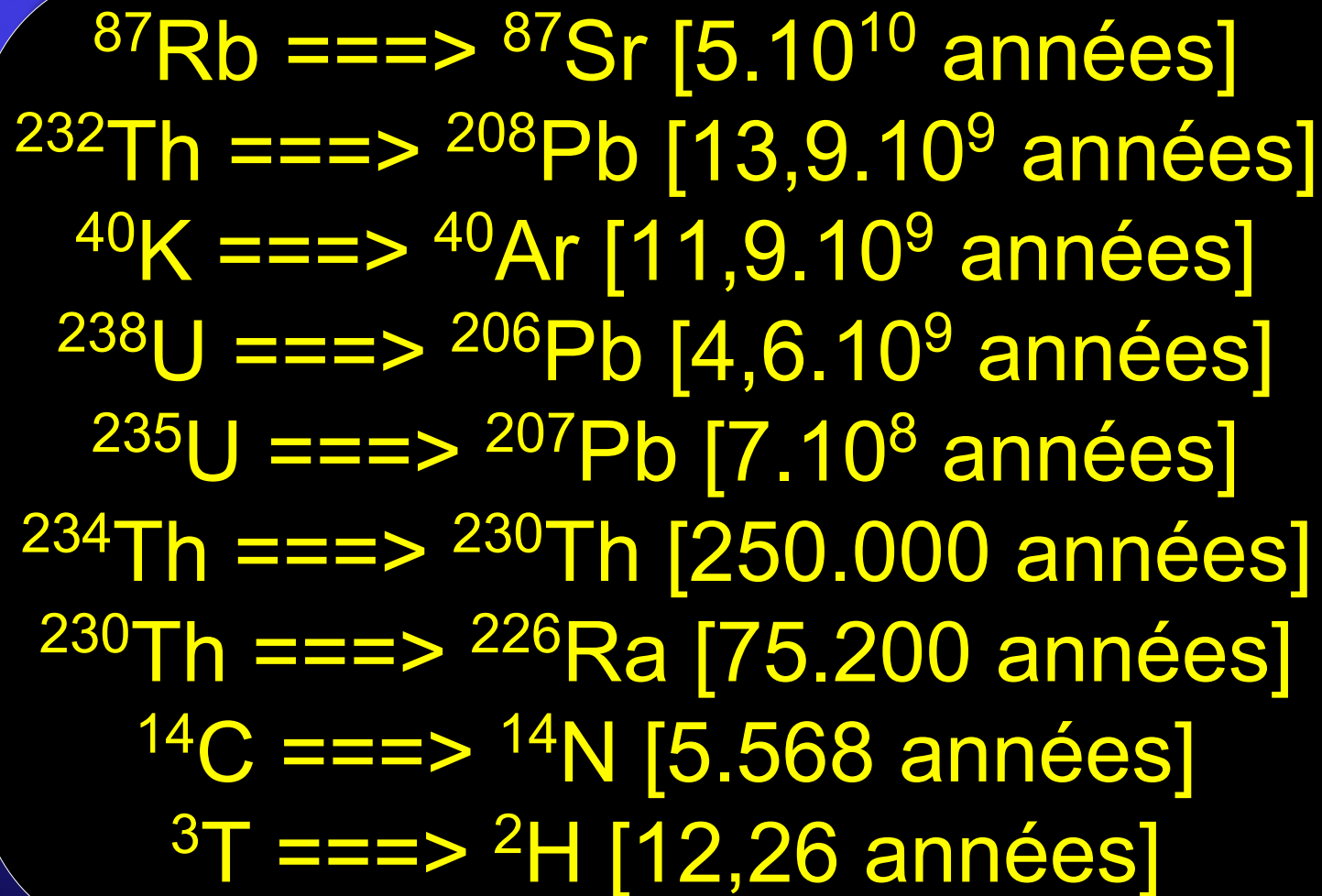
Radioactivité naturelle => datation (temps) + traçage transferts de matière (cinétique)



Ex: $^{99m}\text{Tc} \implies 6,01\text{h} = ^{99}\text{Tc}$ (=radiotraceur, m = métastable), après 24h il reste 6%...

On peut donner un âge à des échantillons jusqu'à une dizaine de périodes càd ne contenant plus que $1/2^{10}$, un millième de leur teneur initiale

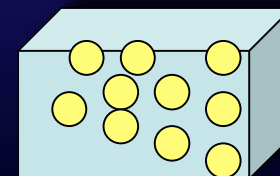
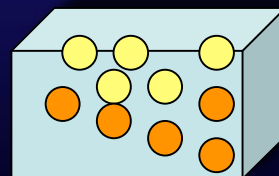
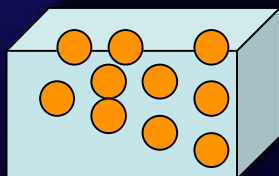
CHRONOLOGIE ABSOLUE ou ISOTOPIQUE



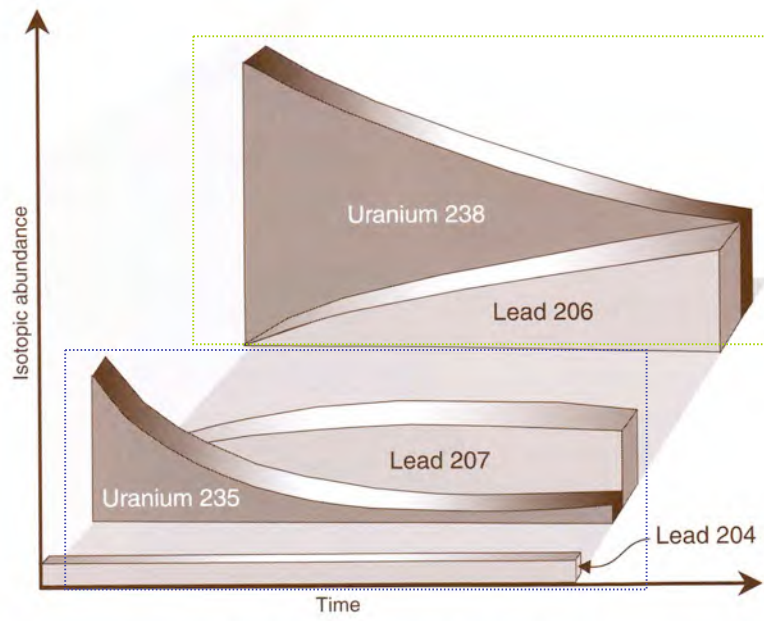
P R E C I S I O N



L E M R . R I C

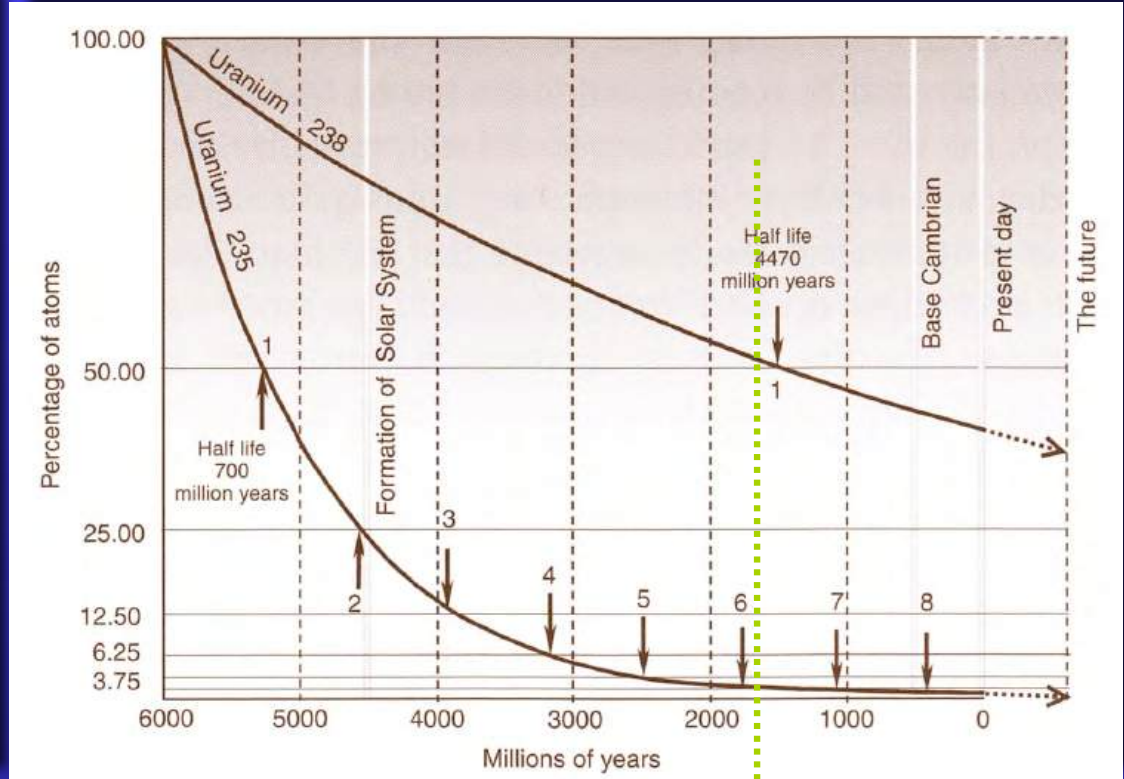


Le système doit être fermé...tout le temps (= nouveau problème)



Nier's three geological clocks.

Clock 1, uranium 238 → lead 206. Clock 2, uranium 235 → lead 207.
 Clock 3, the growth of lead 206 and 207, relative to 204.



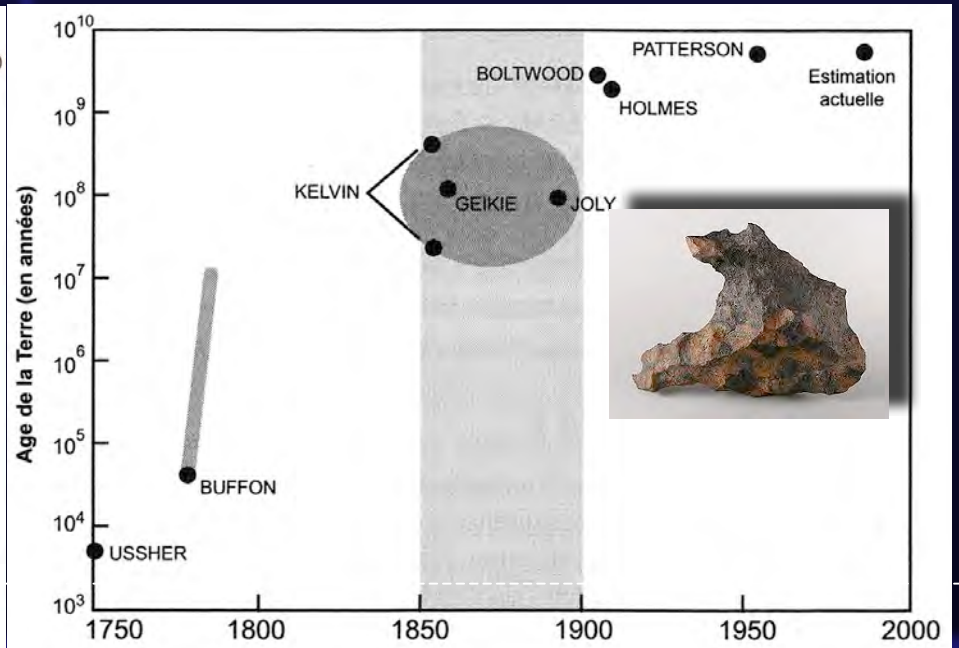
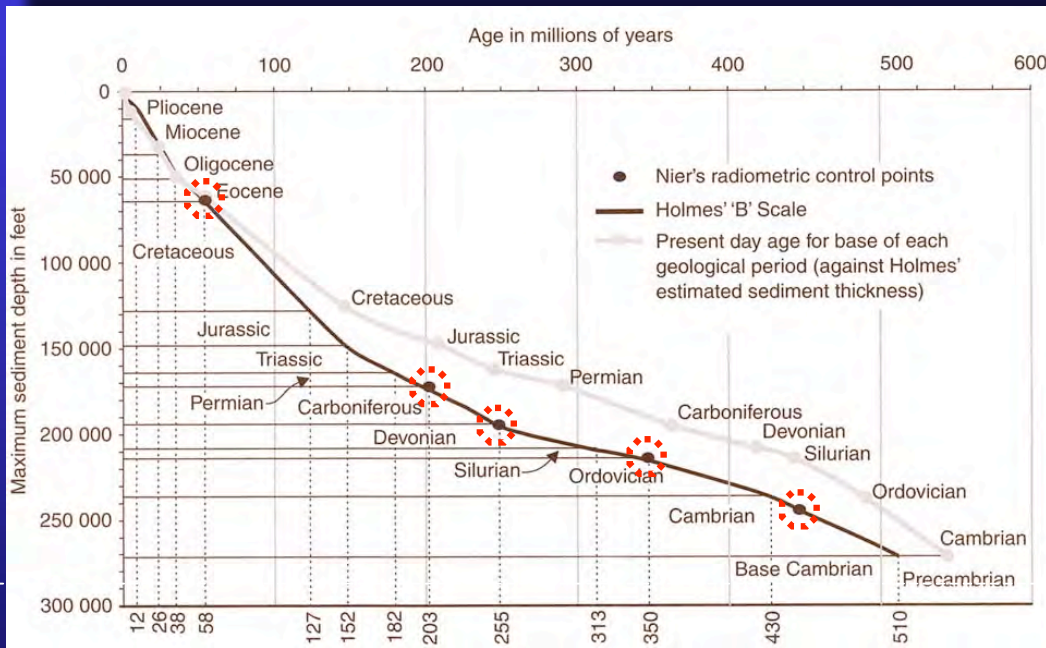
Méthode CONCORDIA

Deux 'horloges' indépendantes, avec chacune leurs périodes de demi-vie, donnant chacune un Pb (206 et 207) qui est comparé au ²⁰⁴Pb, ou Pb ordinaire à teneur constante (il ne dérive pas de désintégration radioactive)

1:6

CHRONOLOGIE ABSOLUE ou ISOTOPIQUE

±1600 Archevêque Ussher (Irl) : Bible, création débuta en 4004 BC, le 22 octobre à 9h du matin
 1721 Henri Gautier (Igr Ponts et Chaussées): ablation relief... => 35 000ans. En reprenant SES calculs => qq Ma! ==> Gautier aurait volontairement publié de 'faux âges'.... (Bible)
 1779 Jean Etienne Guettard : les vallées de la région d'Etampes ont >10000 ans càd >6000 ans (Bible) => il renonce...
 1850 Lord Kelvin : refroidissement Terre =>24 à 400 Ma, finalement 100 Ma
 1859 Darwin (creusement d'une vallée SE U.K.) => 300 Ma depuis la fin du Secondaire
 1897 John Joly (Dublin) salinisation océan => 80 à 89 Ma (en réalité = 13 Ma car dynamique...)



LEWIS 2000

De Wever et al 2005

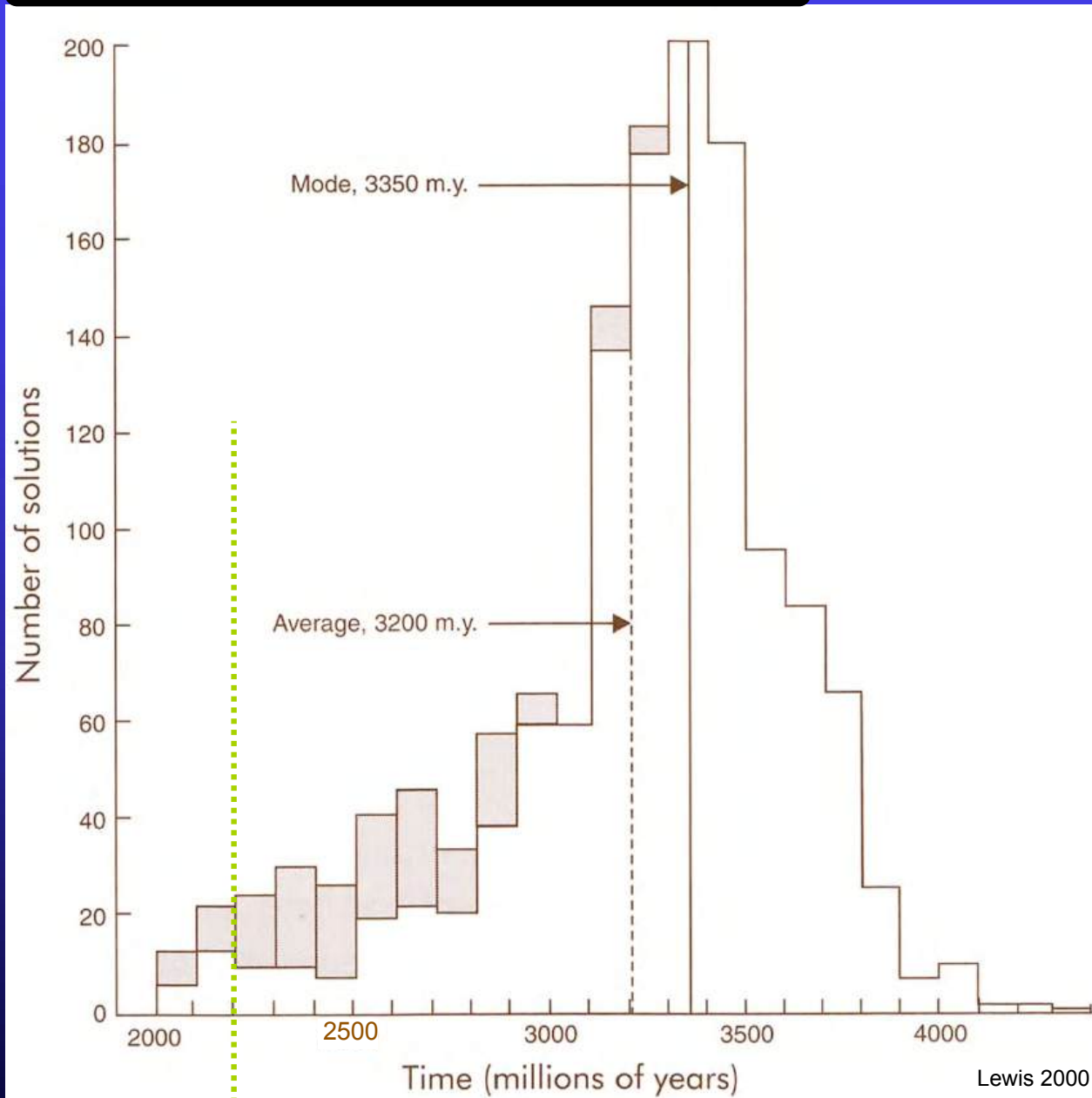
1947 - A. HOLMES
 PREMIERE ECHELLE
 DES TEMPS GEOLOGIQUES
 (temps absolu vs épaisseurs max)

1953 - C. PATTERSON
 Météorite de Canyon Diablo
 AGE DE LA TERRE : 4,55 Ga ± 70Ma

PREAT A -cepulb.2010

CHRONOLOGIE ABSOLUE ou ISOTOPIQUE

GEOMETRIE-TEMPS REL/ABS-VITESSE



2200

Méthode Pb/Pb
= 2 chronomètres internes

A. Nier
années 30'-40'
25 échantillons
pegmatite du Manitoba

2200 Ma
fut rejeté car
plus vieux que
l'Univers
2000 Ma

....

UNITES ET CORRELATIONS CHRONOSTRATIGRAPHIQUES

ABSOLU



Pas
de référence
matérielle
pour le
Précambrien
[8/9^è tps géol]

Un
S
T
R
A
T
O
T
P
E



RELATIF



UnLIMITOTYPE

STRATOTYPE et/ou LIMITOTYPE

GSSP Global Stratotype Section and Point

Jebel Mech Irdane (Erfoud, Anti-Atlas, Maroc)
[Conodontes, Goniatites, Trilobites ...]
391,8Ma ± 2,7Ma



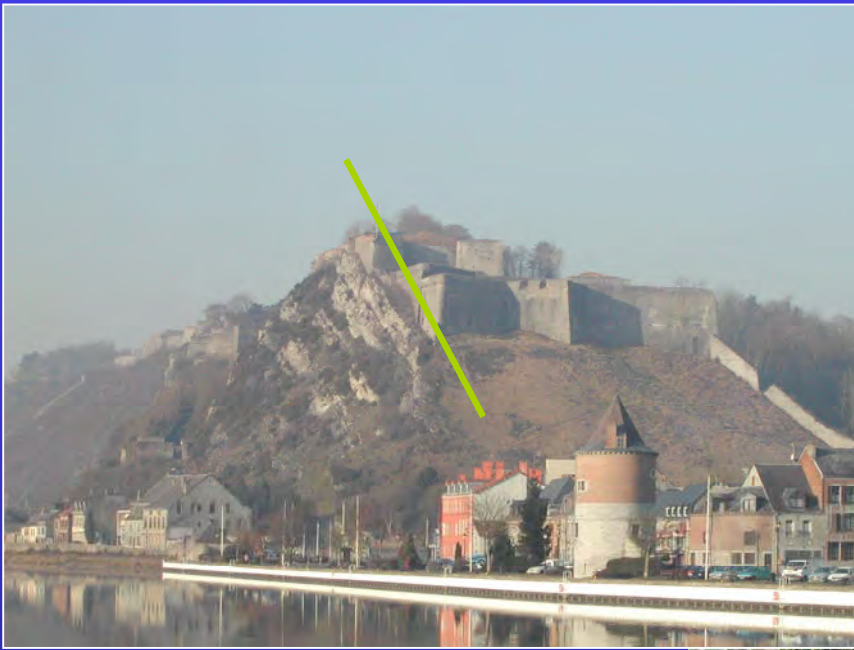
G
I
V
E
I
F

Preat 2004

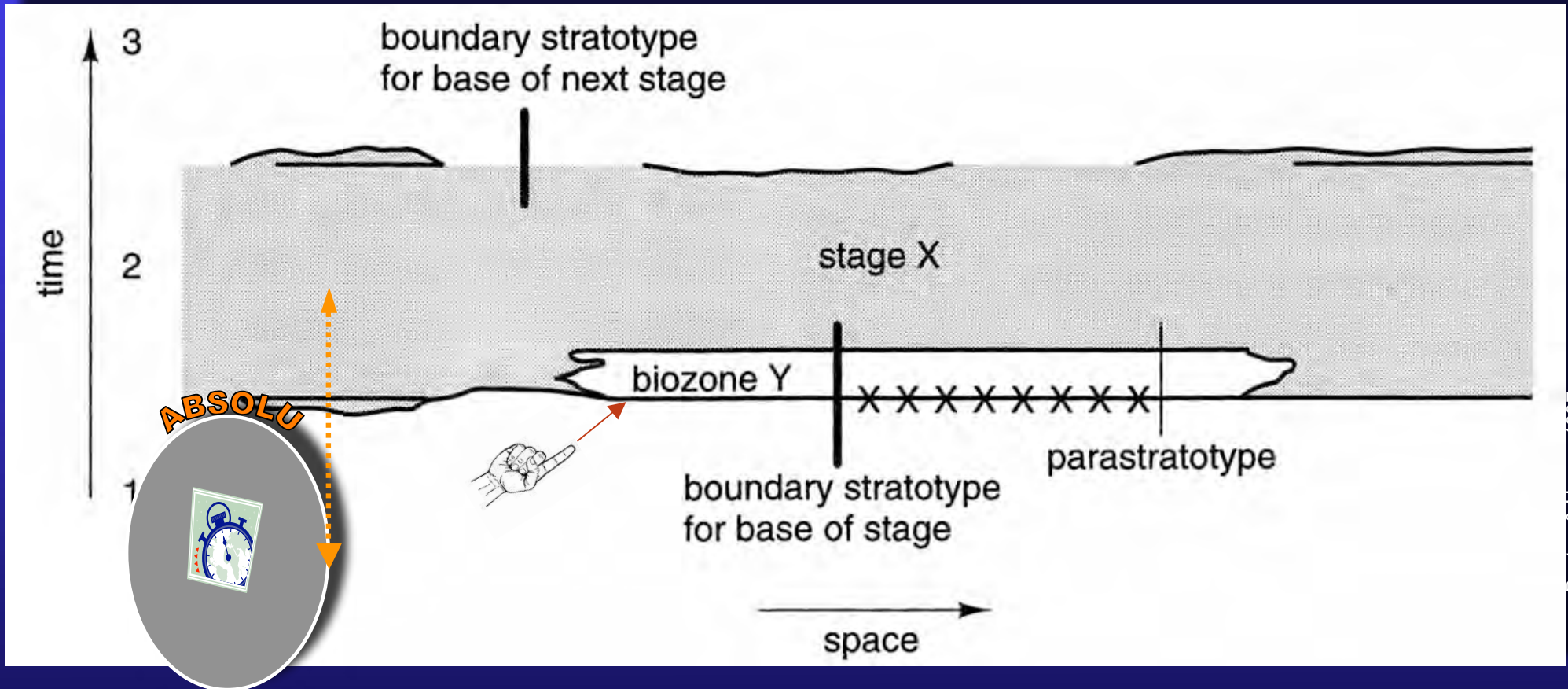
STRATOTYPE HISTORIQUE

Gosselet 1879

Finalemt les lithologies sont presque toujours indépendantes des limites chronostratigraphiques...



LIMITOTYPE : la base de l'étage X est défini par la base d'une biozone Y



Benton & Harper 1997

Le parastratotype est hors du bassin et également défini par la base de la biozone Y
(il existe un peu moins de 100 étages géologiques hors PCm)

GEOMETRIE-TEMPS REL/ABS-VITESSE

Finalement les lithologies sont presque toujours indépendantes des limites chronostratigraphiques... et la biostratigraphie de la radiochronologie....

www.stratigraphy.org

A Geologic Time Scale 2004

Felix Gradstein, James Ogg and Alan Smith

The Concise Geologic Time Scale 2008

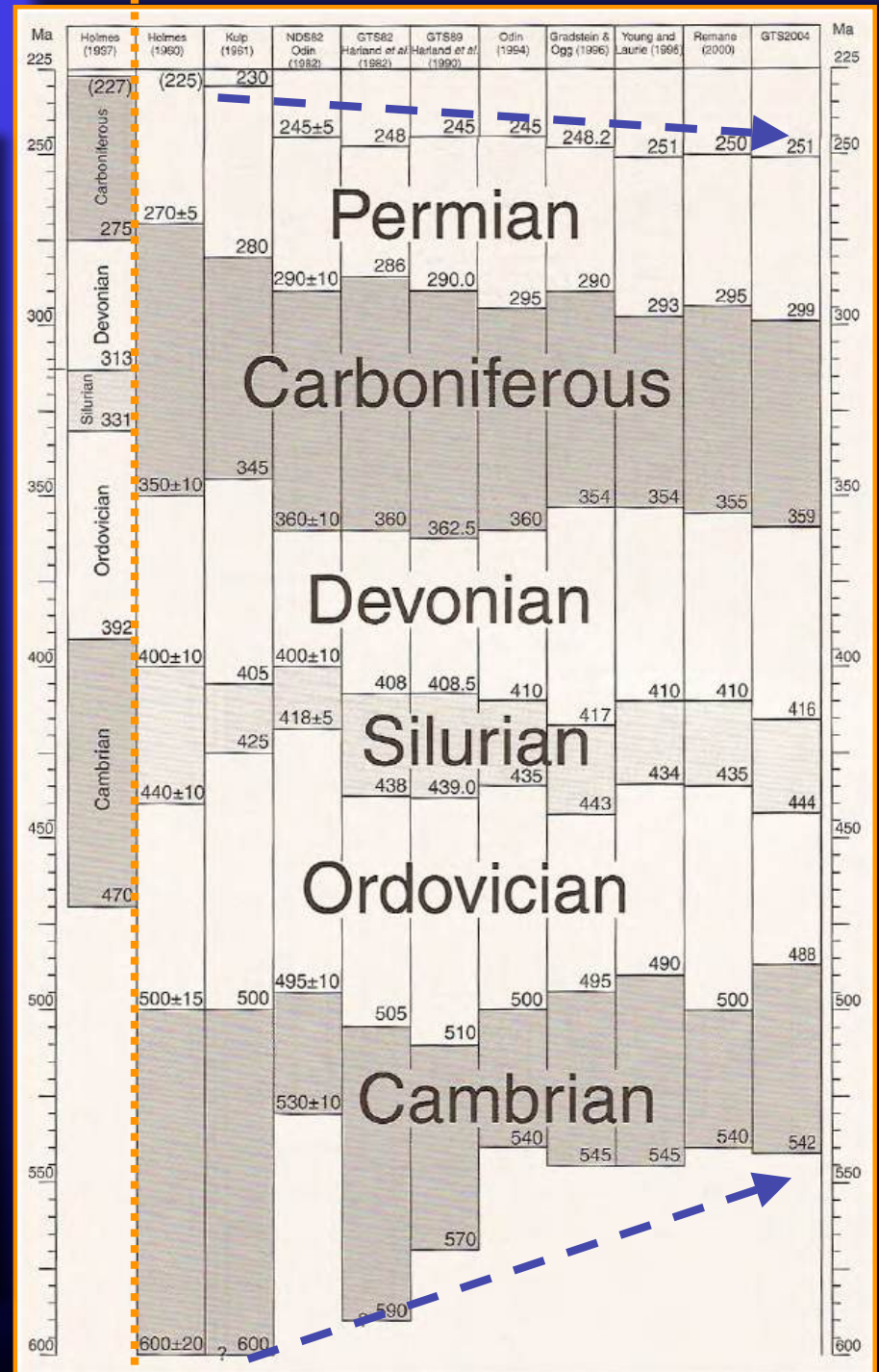
James G. Ogg, Gabi Ogg and Felix M. Gradstein

2008

ICS



CAMBRIDGE



GTS août 2004 (2008)

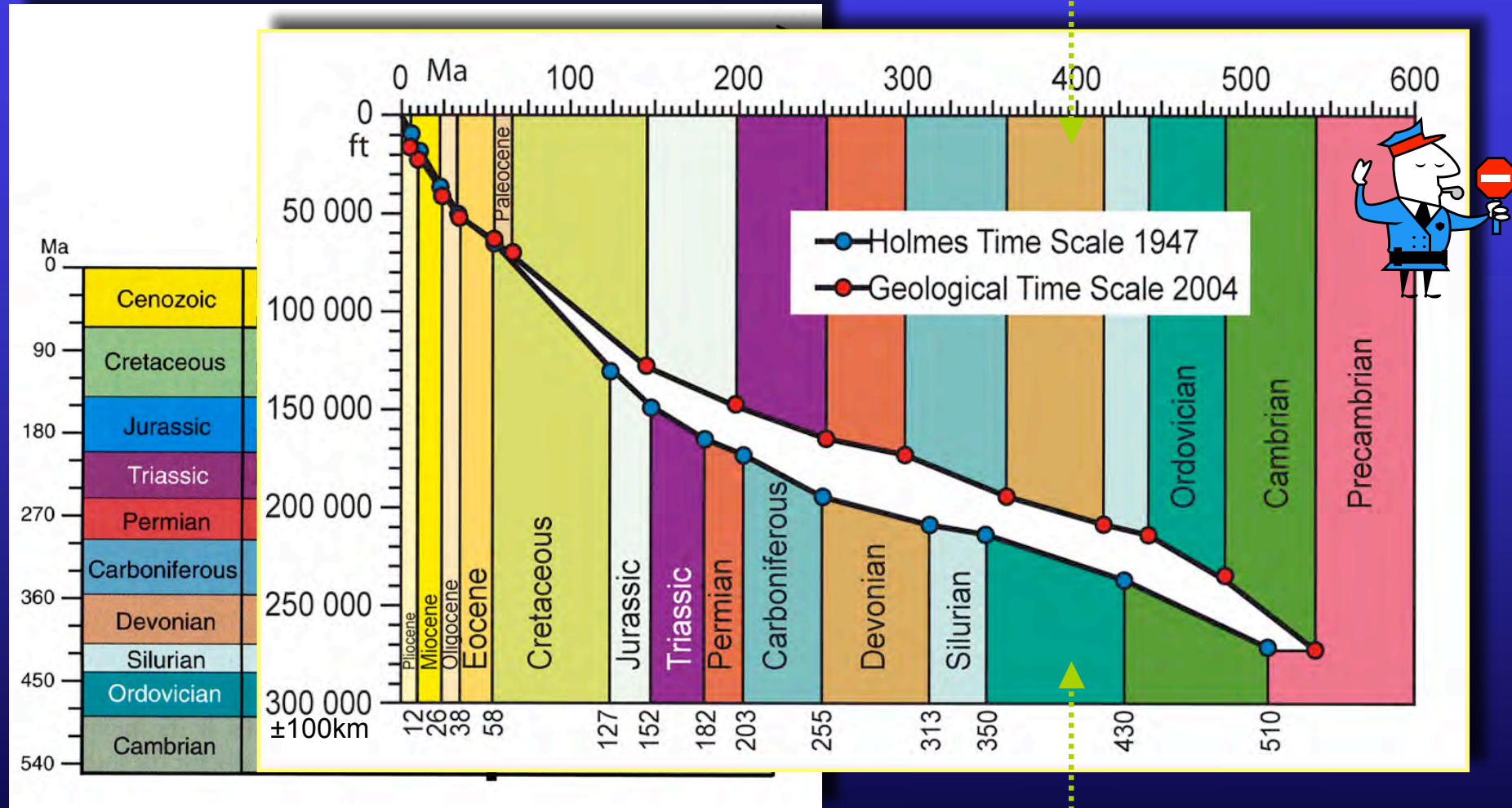
INTERNATIONAL STRATIGRAPHIC CHART



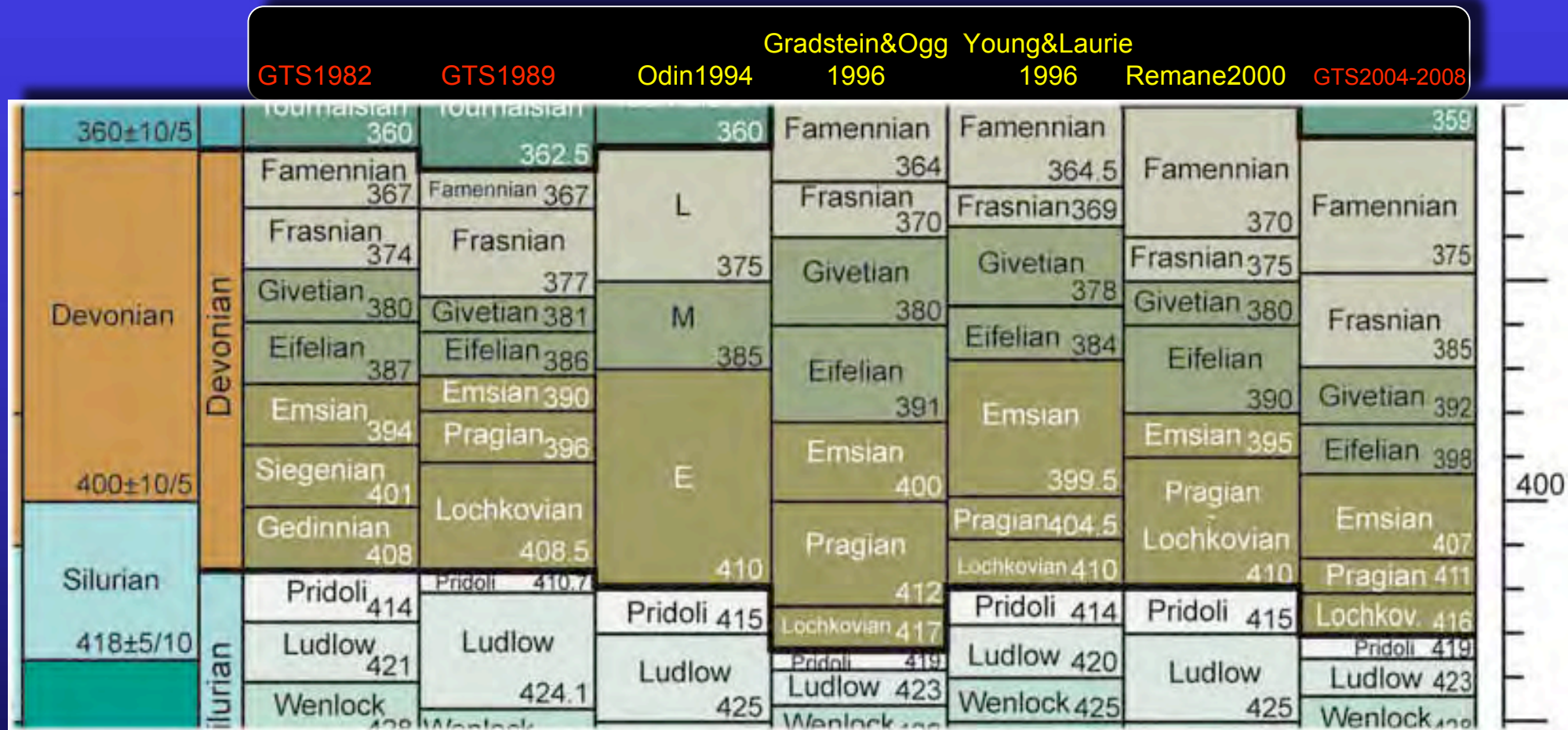
International Commission on Stratigraphy

Phanerozoic							Phanerozoic							Phanerozoic							Precambrian																																																																	
Eonothem Era	System Period	Series Epoch	Stage Age	Age Ma	GSSP		Eonothem Era	System Period	Series Epoch	Stage Age	Age Ma	GSSP		Eonothem Era	System Period	Series Epoch	Stage Age	Age Ma	GSSP		Eonothem Era	System Period	Age Ma	GSSP	GSSA																																																													
Phanerozoic	Cenozoic	Quaternary*	Holocene		0.0118	▶	Phanerozoic	Mesozoic	Jurassic	Upper	Tithonian	145.5 ± 4.0	▶	Phanerozoic	Paleozoic	Devonian	Upper	Famennian	359.2 ± 2.5	▶	Phanerozoic	Proterozoic	Neo-proterozoic	Ediacaran	542	▶	Phanerozoic	Archean	Meso-proterozoic	Cryogenian	~630	▶	Paleo-proterozoic	Tonian	850	▶	Neoproterozoic	Stenian	1000	▶	Archean	Ectasian	1200	▶	Archean	Calymnian	1400	▶	Archean	Statherian	1600	▶	Archean	Orosinian	1800	▶	Archean	Rhyaciian	2050	▶	Archean	Siderian	2300	▶	Archean	Neoproterozoic	2500	▶	Archean	Mesoarchean	2800	▶	Archean	Palaeoarchean	3200	▶	Archean	Eoarchean	3600	▶	Archean	Lower limit is not defined				
			Neogene	Pleistocene	Upper	0.126					Triassic	Lower	Pridoli				416.0 ± 2.8	▶	Paleozoic	Ordovician				Upper	Ludfordian	422.9 ± 2.5				▶	Cambrian	Series 3		Stage 5	-506.5 *	▶		Cambrian	Series 2	Stage 4		-510.0 *	▶	Cambrian		Series 1	Stage 3	-517.0 *		▶	Cambrian	Stage 2		-521.0 *	▶	Cambrian		Stage 1	-534.6 *	▶		Cambrian	Stage 2	-534.6 *		▶	Cambrian	Stage 1		542.0 ± 1.0	▶															
				Miocene	Pliocene	Gelasian				2.588		▶	Triassic				Upper	Ludlow						422.9 ± 2.5	▶	Paleozoic				Ordovician		Middle		Wenlock	426.2 ± 2.4	▶			Cambrian	Series 3		Stage 4	-510.0 *			▶	Cambrian	Series 2		Stage 3		-517.0 *		▶	Cambrian			Stage 2	-521.0 *	▶			Cambrian	Stage 1		-534.6 *		▶		Cambrian	Stage 2	-534.6 *		▶	Cambrian	Stage 1		542.0 ± 1.0	▶							
					Eocene	Oligocene				Chattian		28.4 ± 0.1					▶	Triassic						Middle	Llandovery							436.0 ± 1.9		▶	Paleozoic	Ordovician				Lower		Llandovery	439.0 ± 1.8			▶		Cambrian		Series 3		Stage 3		-510.0 *				▶	Cambrian	Series 2				Stage 2		-521.0 *		▶			Cambrian	Stage 1		-534.6 *		▶		Cambrian	Stage 2	-534.6 *		▶	Cambrian	Stage 1	542.0 ± 1.0	▶
						Paleocene				Eocene		Rupelian					33.9 ± 0.1							▶	Triassic							Lower		Wenlock						443.7 ± 1.5		▶	Paleozoic			Ordovician				Upper		Wenlock		443.7 ± 1.5				▶		Cambrian				Series 3		Stage 2		-510.0 *				▶		Cambrian		Series 2			Stage 1	-517.0 *		▶		Cambrian	Stage 1	-534.6 *
		Paleocene							Eocene	Prabonian		37.2 ± 0.1				▶	Triassic						Lower	Wenlock					443.7 ± 1.5			▶	Paleozoic	Ordovician			Upper			Wenlock	443.7 ± 1.5	▶			Cambrian				Series 3	Stage 1		-510.0 *	▶	Cambrian			Series 2	Stage 1			-517.0 *			▶	Cambrian	Stage 1		-534.6 *	▶			Cambrian	Stage 2			-534.6 *	▶		Cambrian	Stage 1	542.0 ± 1.0	▶				
			Paleocene						Eocene	Bartonian	40.4 ± 0.2	▶				Triassic			Lower	Wenlock			443.7 ± 1.5	▶					Paleozoic		Ordovician	Upper					Wenlock	443.7 ± 1.5		▶	Cambrian	Series 3		Stage 1					-510.0 *	▶	Cambrian	Series 2	Stage 1			-517.0 *	▶	Cambrian			Stage 1	-534.6 *		▶		Cambrian	Stage 2	-534.6 *	▶				Cambrian			Stage 1	542.0 ± 1.0			▶						
				Paleocene					Eocene	Lutetian	48.6 ± 0.2	▶	Triassic						Lower	Wenlock			443.7 ± 1.5	▶		Paleozoic				Ordovician		Upper					Wenlock	443.7 ± 1.5	▶	Cambrian		Series 3		Stage 1			-510.0 *		▶	Cambrian		Series 2	Stage 1		-517.0 *	▶	Cambrian				Stage 1	-534.6 *	▶	Cambrian			Stage 2	-534.6 *	▶	Cambrian					Stage 1	542.0 ± 1.0	▶									
					Paleocene				Eocene	Ypresian	55.8 ± 0.2	▶						Triassic	Lower	Wenlock			443.7 ± 1.5	▶								Paleozoic			Ordovician	Upper	Wenlock	443.7 ± 1.5	▶			Cambrian		Series 3			Stage 1	-510.0 *	▶			Cambrian	Series 2		Stage 1	-517.0 *			▶		Cambrian	Stage 1	-534.6 *				▶	Cambrian	Stage 2		-534.6 *				▶	Cambrian	Stage 1	542.0 ± 1.0		▶						
						Paleocene			Eocene	Thanetian	58.7 ± 0.2	▶							Triassic	Lower			Wenlock	443.7 ± 1.5	▶											Paleozoic	Ordovician	Upper	Wenlock				443.7 ± 1.5	▶		Cambrian	Series 3	Stage 1	-510.0 *				▶		Cambrian	Series 2			Stage 1	-517.0 *		▶	Cambrian				Stage 1		-534.6 *		▶			Cambrian	Stage 2		-534.6 *	▶		Cambrian	Stage 1	542.0 ± 1.0	▶			
	Paleocene	Eocene						Selandian	61.7 ± 0.2	▶	Triassic	Lower		Wenlock	443.7 ± 1.5		▶			Paleozoic	Ordovician	Upper	Wenlock	443.7 ± 1.5	▶		Cambrian	Series 3					Stage 1	-510.0 *				▶	Cambrian				Series 2	Stage 1	-517.0 *		▶	Cambrian	Stage 1				-534.6 *	▶		Cambrian			Stage 2	-534.6 *		▶			Cambrian		Stage 1		542.0 ± 1.0		▶															
		Paleocene	Eocene					Danian	65.5 ± 0.3	▶		Triassic		Lower	Wenlock	443.7 ± 1.5	▶					Paleozoic	Ordovician	Upper	Wenlock			443.7 ± 1.5	▶		Cambrian		Series 3	Stage 1				-510.0 *			▶		Cambrian	Series 2	Stage 1		-517.0 *		▶		Cambrian		Stage 1	-534.6 *				▶	Cambrian	Stage 2		-534.6 *				▶	Cambrian		Stage 1		542.0 ± 1.0	▶														
			Paleocene	Eocene				Maastrichtian	70.6 ± 0.6	▶			Triassic	Lower	Wenlock	443.7 ± 1.5	▶							Paleozoic	Ordovician	Upper		Wenlock	443.7 ± 1.5	▶			Cambrian	Series 3				Stage 1		-510.0 *	▶			Cambrian	Series 2		Stage 1		-517.0 *	▶			Cambrian	Stage 1			-534.6 *	▶		Cambrian		Stage 2		-534.6 *		▶			Cambrian	Stage 1	542.0 ± 1.0	▶														
				Paleocene	Eocene			Campanian	83.5 ± 0.7	▶				Triassic	Lower	Wenlock	443.7 ± 1.5	▶								Paleozoic		Ordovician	Upper	Wenlock		443.7 ± 1.5		▶	Cambrian			Series 3		Stage 1	-510.0 *	▶			Cambrian		Series 2		Stage 1	-517.0 *		▶		Cambrian			Stage 1	-534.6 *			▶	Cambrian		Stage 2		-534.6 *		▶		Cambrian	Stage 1	542.0 ± 1.0	▶													
					Paleocene	Eocene		Santonian	85.8 ± 0.7	▶					Triassic	Lower	Wenlock	443.7 ± 1.5	▶										Paleozoic	Ordovician		Upper		Wenlock		443.7 ± 1.5	▶	Cambrian		Series 3	Stage 1	-510.0 *				▶	Cambrian		Series 2	Stage 1		-517.0 *			▶		Cambrian	Stage 1			-534.6 *		▶	Cambrian		Stage 2		-534.6 *			▶	Cambrian	Stage 1	542.0 ± 1.0	▶											
	Paleocene					Eocene		Coniacian	89.3 ± 1.0	▶	Triassic					Lower	Wenlock	443.7 ± 1.5	▶	Paleozoic	Ordovician						Upper					Wenlock		443.7 ± 1.5		▶	Cambrian		Series 3	Stage 1	-510.0 *	▶				Cambrian		Series 2	Stage 1	-517.0 *		▶			Cambrian	Stage 1		-534.6 *			▶		Cambrian		Stage 2	-534.6 *		▶			Cambrian		Stage 1	542.0 ± 1.0	▶											
		Paleocene				Eocene		Turonian	93.5 ± 0.8	▶		Triassic				Lower	Wenlock	443.7 ± 1.5	▶			Paleozoic	Ordovician				Upper				Wenlock	443.7 ± 1.5		▶		Cambrian			Series 3	Stage 1	-510.0 *	▶	Cambrian					Series 2	Stage 1	-517.0 *	▶	Cambrian				Stage 1		-534.6 *	▶		Cambrian				Stage 2	-534.6 *	▶	Cambrian					Stage 1	542.0 ± 1.0	▶											
			Paleocene			Eocene		Cenomanian	99.6 ± 0.9	▶			Triassic			Lower	Wenlock	443.7 ± 1.5	▶					Paleozoic	Ordovician		Upper				Wenlock	443.7 ± 1.5	▶	Cambrian					Series 3	Stage 1	-510.0 *	▶		Cambrian				Series 2	Stage 1	-517.0 *	▶		Cambrian			Stage 1		-534.6 *	▶	Cambrian					Stage 2	-534.6 *	▶		Cambrian				Stage 1	542.0 ± 1.0	▶											
				Paleocene		Eocene		Albian	112.0 ± 1.0	▶				Triassic		Lower	Wenlock	443.7 ± 1.5	▶							Paleozoic	Ordovician	Upper			Wenlock	443.7 ± 1.5	▶		Cambrian				Series 3	Stage 1	-510.0 *	▶			Cambrian			Series 2	Stage 1	-517.0 *	▶			Cambrian		Stage 1		-534.6 *	▶			Cambrian			Stage 2	-534.6 *	▶			Cambrian			Stage 1	542.0 ± 1.0	▶											
					Paleocene	Eocene		Aptian	125.0 ± 1.0	▶					Triassic	Lower	Wenlock	443.7 ± 1.5	▶									Paleozoic	Ordovician	Upper	Wenlock	443.7 ± 1.5	▶					Cambrian	Series 3	Stage 1	-510.0 *	▶					Cambrian	Series 2	Stage 1	-517.0 *	▶					Cambrian	Stage 1	-534.6 *	▶					Cambrian	Stage 2	-534.6 *	▶					Cambrian	Stage 1	542.0 ± 1.0	▶											
	Paleocene					Eocene		Barremian	130.0 ± 1.5	▶	Triassic					Lower	Wenlock	443.7 ± 1.5	▶	Paleozoic	Ordovician									Upper	Wenlock	443.7 ± 1.5	▶				Cambrian		Series 3	Stage 1	-510.0 *	▶				Cambrian		Series 2	Stage 1	-517.0 *	▶				Cambrian		Stage 1	-534.6 *	▶				Cambrian		Stage 2	-534.6 *	▶				Cambrian		Stage 1	542.0 ± 1.0	▶											
		Paleocene				Eocene		Hauterivian	136.4 ± 2.0	▶		Triassic				Lower	Wenlock	443.7 ± 1.5	▶			Paleozoic	Ordovician							Upper	Wenlock	443.7 ± 1.5	▶			Cambrian			Series 3	Stage 1	-510.0 *	▶	Cambrian					Series 2	Stage 1	-517.0 *	▶	Cambrian					Stage 1	-534.6 *	▶		Cambrian				Stage 2	-534.6 *	▶	Cambrian					Stage 1	542.0 ± 1.0	▶											
			Paleocene			Eocene		Valanginian	140.2 ± 3.0	▶			Triassic			Lower	Wenlock	443.7 ± 1.5	▶					Paleozoic	Ordovician					Upper	Wenlock	443.7 ± 1.5	▶	Cambrian					Series 3	Stage 1	-510.0 *	▶		Cambrian				Series 2	Stage 1	-517.0 *	▶		Cambrian				Stage 1	-534.6 *	▶	Cambrian					Stage 2	-534.6 *	▶		Cambrian				Stage 1	542.0 ± 1.0	▶											
				Paleocene		Eocene		Berriasian	145.5 ± 4.0	▶				Triassic		Lower	Wenlock	443.7 ± 1.5	▶							Paleozoic	Ordovician			Upper	Wenlock	443.7 ± 1.5	▶		Cambrian				Series 3	Stage 1	-510.0 *	▶			Cambrian			Series 2	Stage 1	-517.0 *	▶			Cambrian			Stage 1	-534.6 *	▶			Cambrian			Stage 2	-534.6 *	▶			Cambrian			Stage 1	542.0 ± 1.0	▶											
					Paleocene	Eocene		Berriasian	145.5 ± 4.0	▶					Triassic	Lower	Wenlock	443.7 ± 1.5	▶									Paleozoic	Ordovician	Upper	Wenlock	443.7 ± 1.5	▶					Cambrian	Series 3	Stage 1	-510.0 *	▶					Cambrian	Series 2	Stage 1	-517.0 *	▶					Cambrian	Stage 1	-534.6 *	▶					Cambrian	Stage 2	-534.6 *	▶					Cambrian	Stage 1	542.0 ± 1.0	▶											
	Paleocene					Eocene		Berriasian	145.5 ± 4.0	▶	Triassic					Lower	Wenlock	443.7 ± 1.5	▶	Paleozoic	Ordovician									Upper	Wenlock	443.7 ± 1.5	▶				Cambrian		Series 3	Stage 1	-510.0 *	▶				Cambrian		Series 2	Stage 1	-517.0 *	▶				Cambrian		Stage 1	-534.6 *	▶				Cambrian		Stage 2	-534.6 *	▶				Cambrian		Stage 1	542.0 ± 1.0	▶											
		Paleocene				Eocene		Berriasian	145.5 ± 4.0	▶		Triassic				Lower	Wenlock	443.7 ± 1.5	▶			Paleozoic	Ordovician							Upper	Wenlock	443.7 ± 1.5	▶			Cambrian			Series 3	Stage 1	-510.0 *	▶	Cambrian					Series 2	Stage 1	-517.0 *	▶	Cambrian					Stage 1	-534.6 *	▶		Cambrian				Stage 2	-534.6 *	▶	Cambrian					Stage 1	542.0 ± 1.0	▶											
			Paleocene			Eocene		Berriasian	145.5 ± 4.0	▶			Triassic			Lower	Wenlock	443.7 ± 1.5	▶					Paleozoic	Ordovician					Upper	Wenlock	443.7 ± 1.5	▶	Cambrian					Series 3	Stage 1	-510.0 *	▶		Cambrian				Series 2	Stage 1	-517.0 *	▶		Cambrian				Stage 1	-534.6 *	▶	Cambrian					Stage 2	-534.6 *	▶		Cambrian				Stage 1	542.0 ± 1.0	▶											
				Paleocene		Eocene		Berriasian	145.5 ± 4.0	▶				Triassic		Lower	Wenlock	443.7 ± 1.5	▶							Paleozoic	Ordovician			Upper	Wenlock	443.7 ± 1.5	▶		Cambrian				Series 3	Stage 1	-510.0 *	▶			Cambrian			Series 2	Stage 1	-517.0 *	▶			Cambrian			Stage 1	-534.6 *	▶			Cambrian			Stage 2	-534.6 *	▶			Cambrian			Stage 1	542.0 ± 1.0	▶											
					Paleocene	Eocene		Berriasian	145.5 ± 4.0	▶					Triassic	Lower	Wen																																																																					

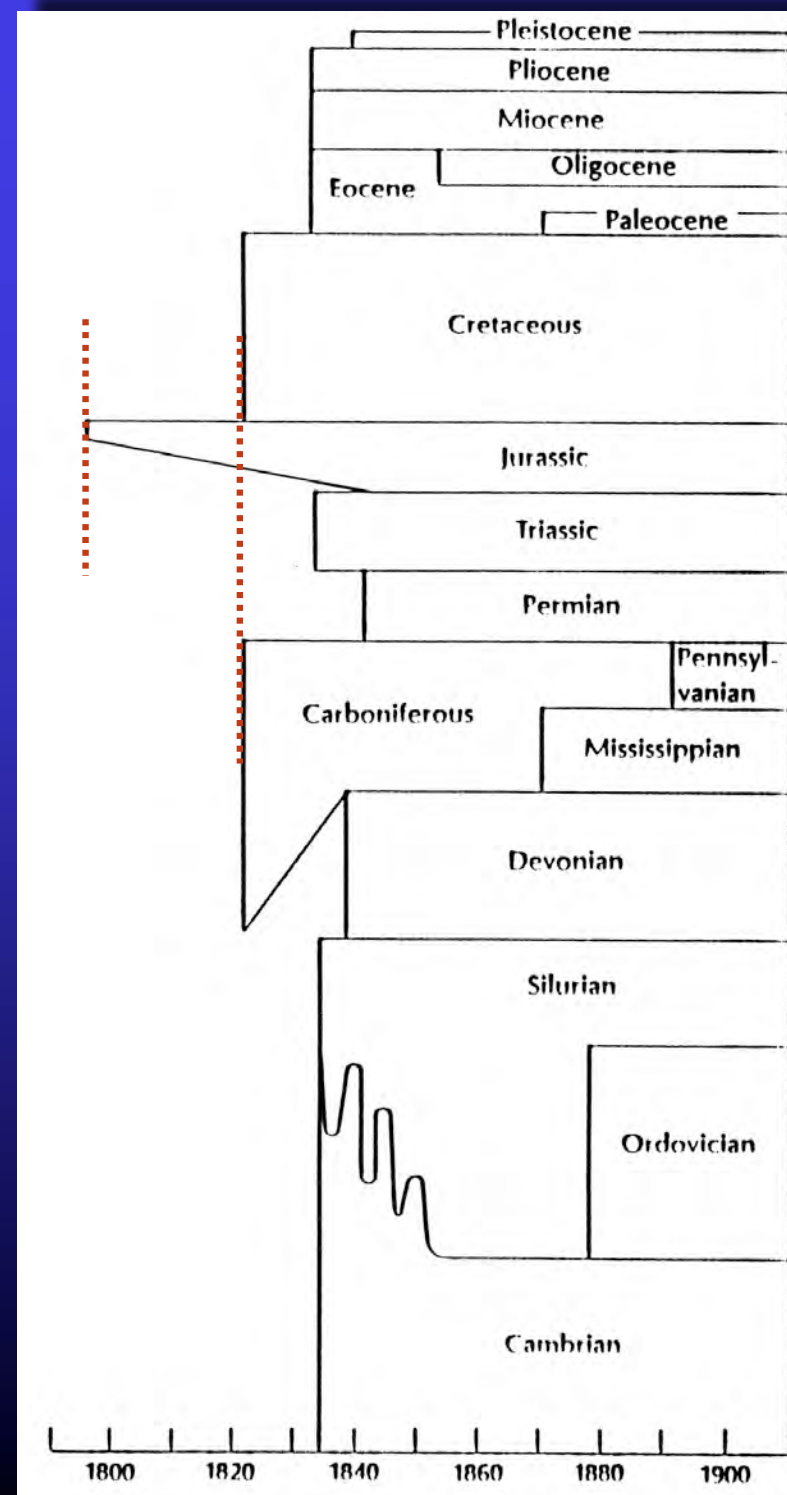
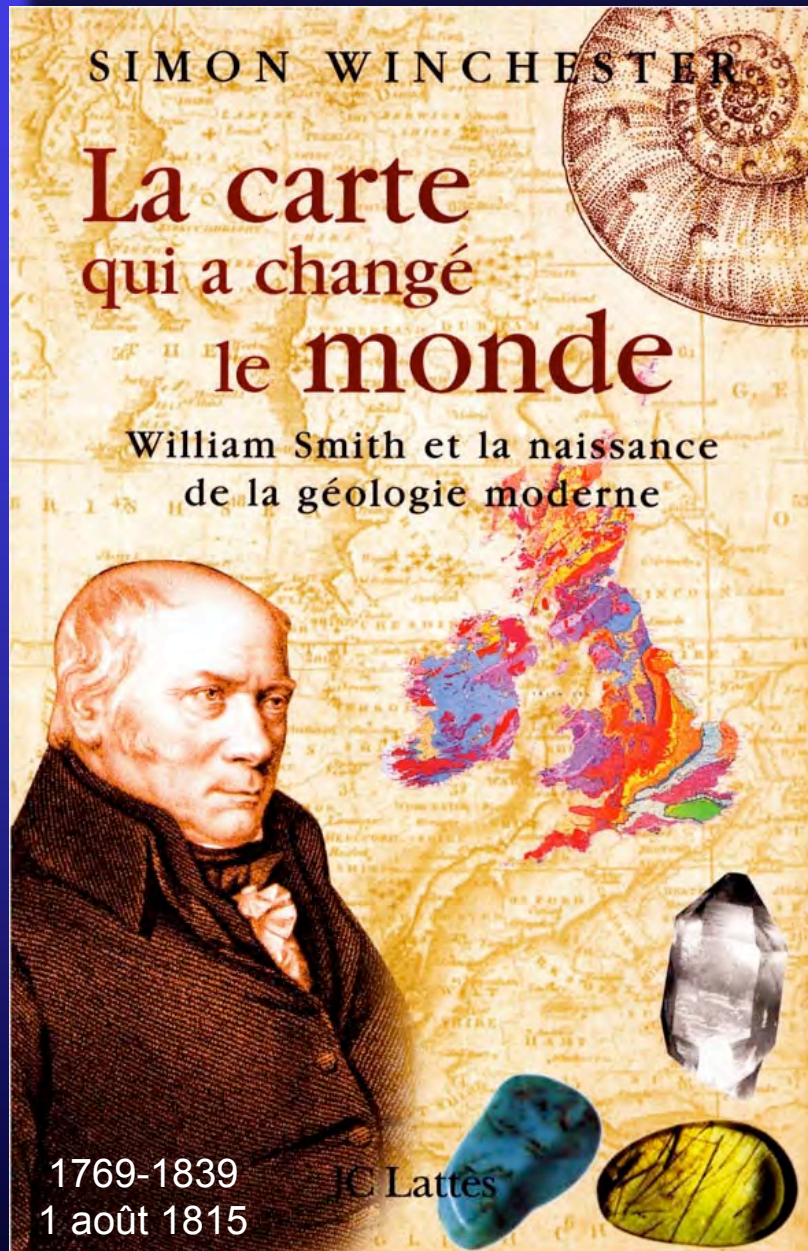
GTS août 2004 (2008)



(Les noms), les âges et donc les durées changent

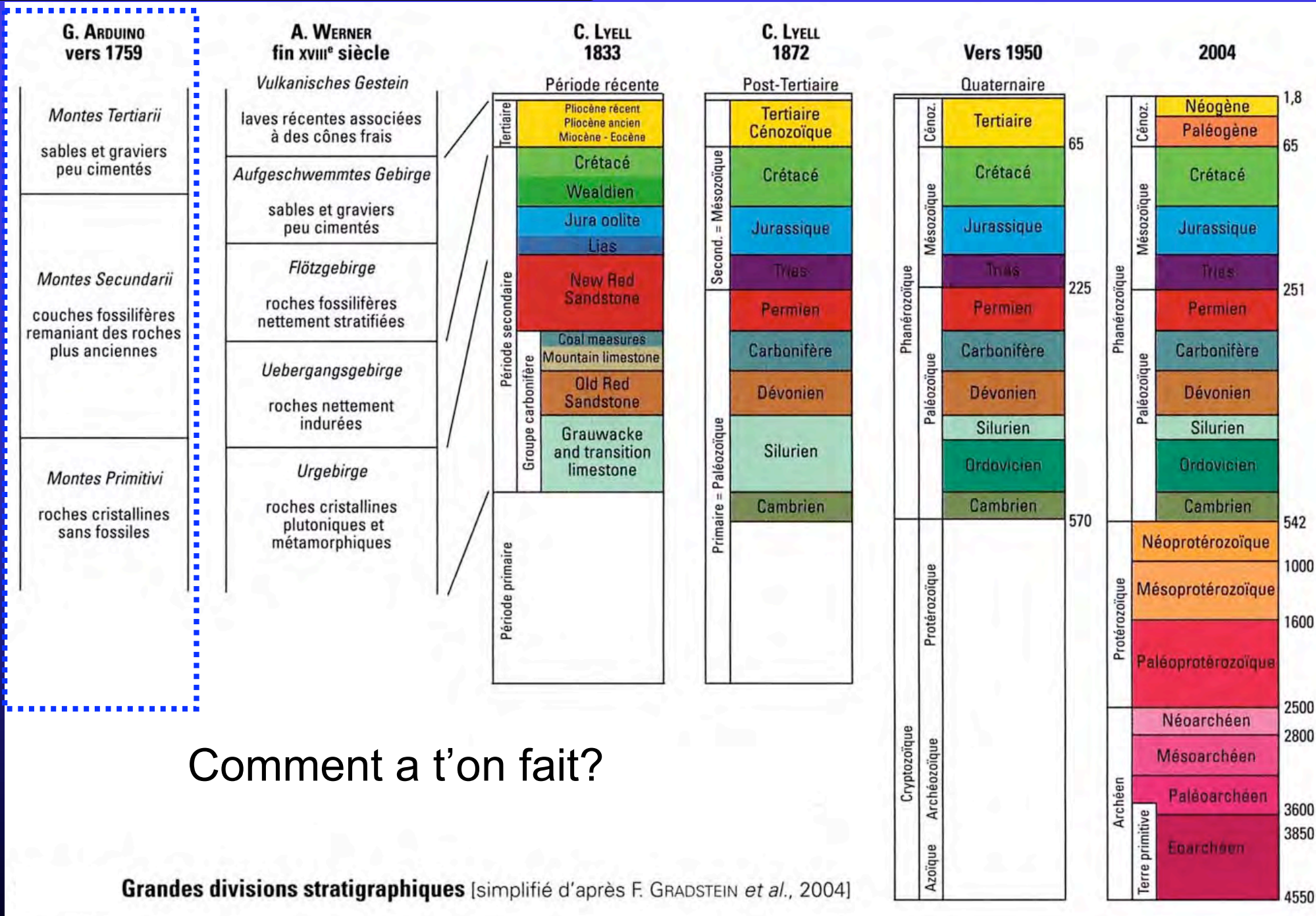


Comment arrive t'on à ces échelles?



Moore 1955

GEOMETRIE-TEMPS REL/ABS-VITESSE



Comment a t'on fait?

Grandes divisions stratigraphiques [simplifié d'après F. GRADSTEIN *et al.*, 2004]

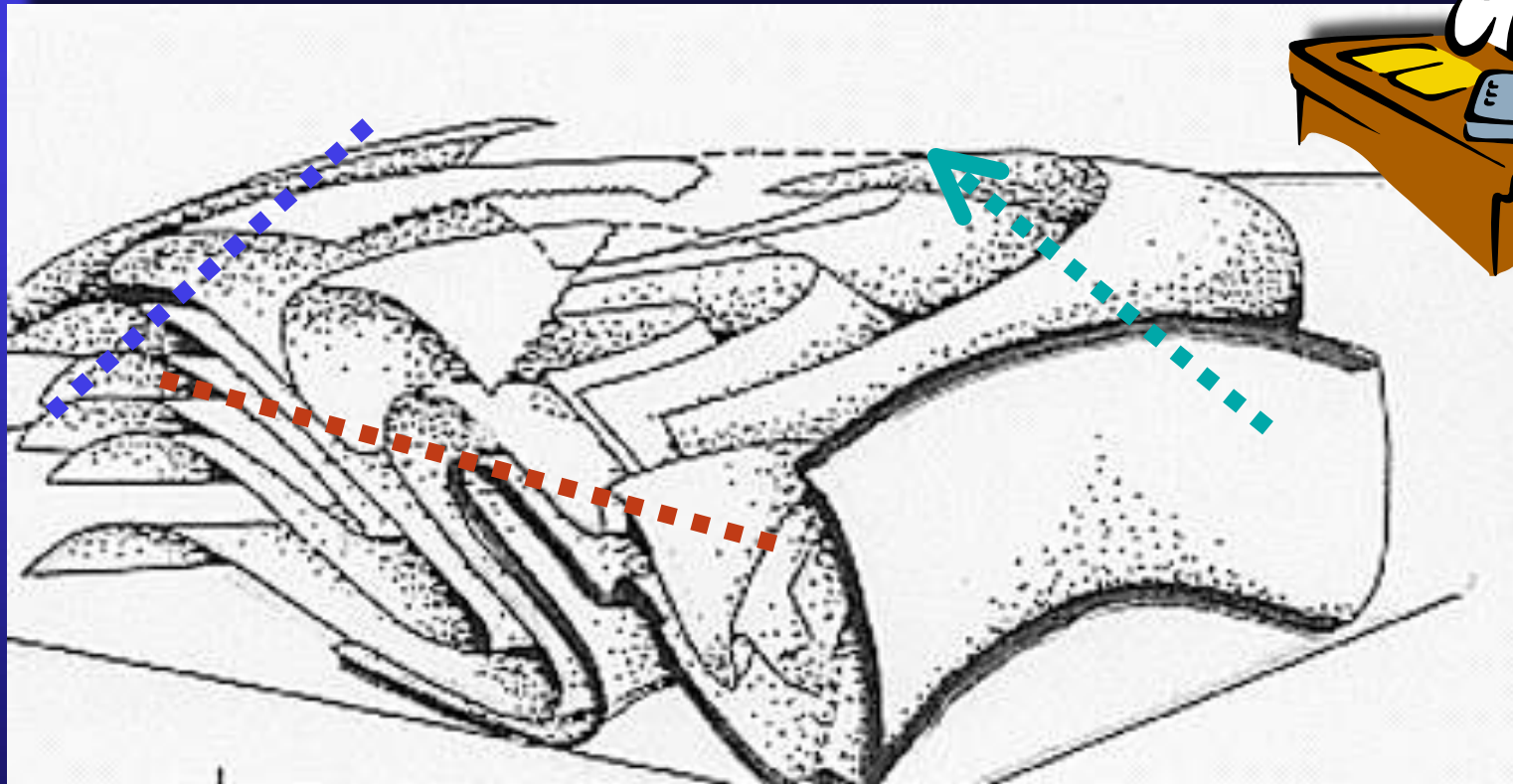
BUT

ETABLIR UNE CHRONOLOGIE
OU CHRONOSTRATIGRAPHIE

- = reconstituer la chronologie des événements ayant affecté la Terre
- = établir les synchronismes entre formations de même âge mais non reliées géographiquement et de caractères (lithologiques) souvent différents

AFFLEUREMENTS
= cahier plissé,
technique... = CARTO

Affleurements = cahier plissé, déchiqueté
.... cartographie en premier lieu = constat
déjà TRES incomplet à ce premier stade



métamorphisme \Leftrightarrow compression
APPALACHES SUD (Caroline)

les plissements sont si souvent complexes
qu'il est difficile de les représenter
même sous forme de diagrammes!

Comment faire...?

2D 'local' (déconnecté)



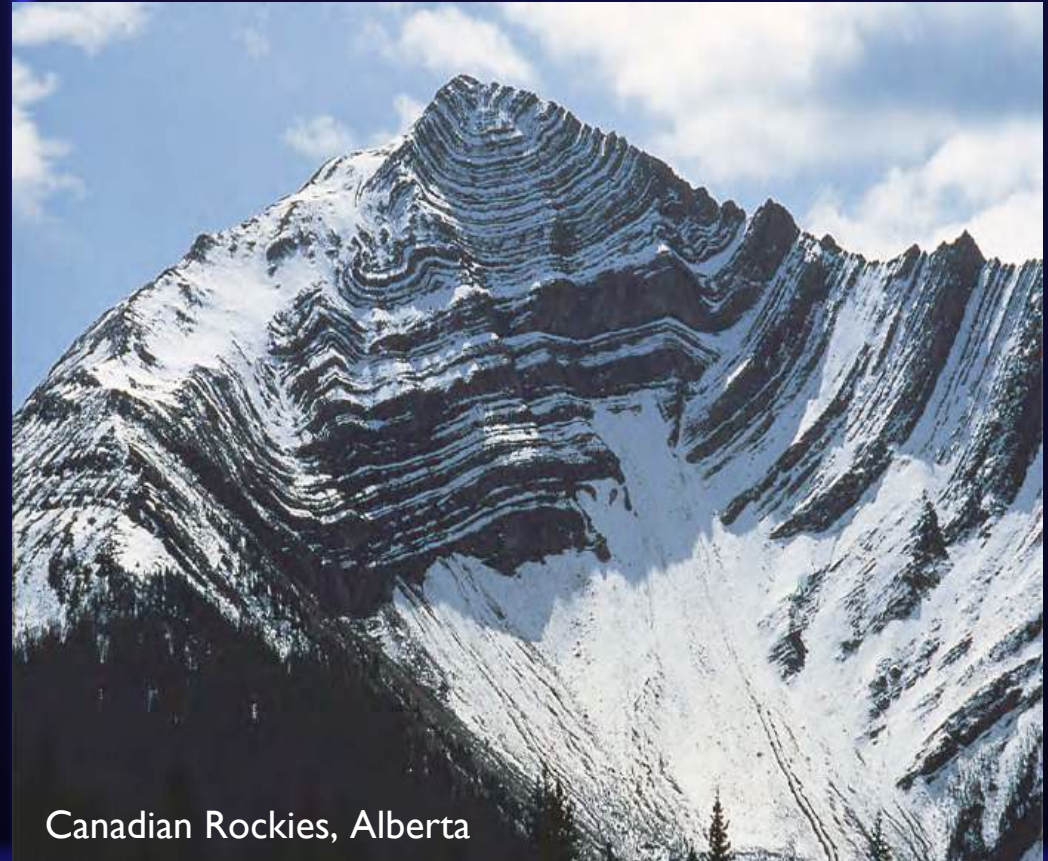
© Giuliano Mantovani

apparente
simplicité
...

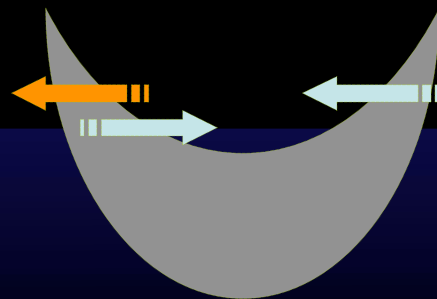
1. Principe de superposition
2. Principe de continuité
3. Principe d'identité paléontologique



Principe de superposition (horizontalité d'origine)



Principe de superposition (horizontalité d'origine)

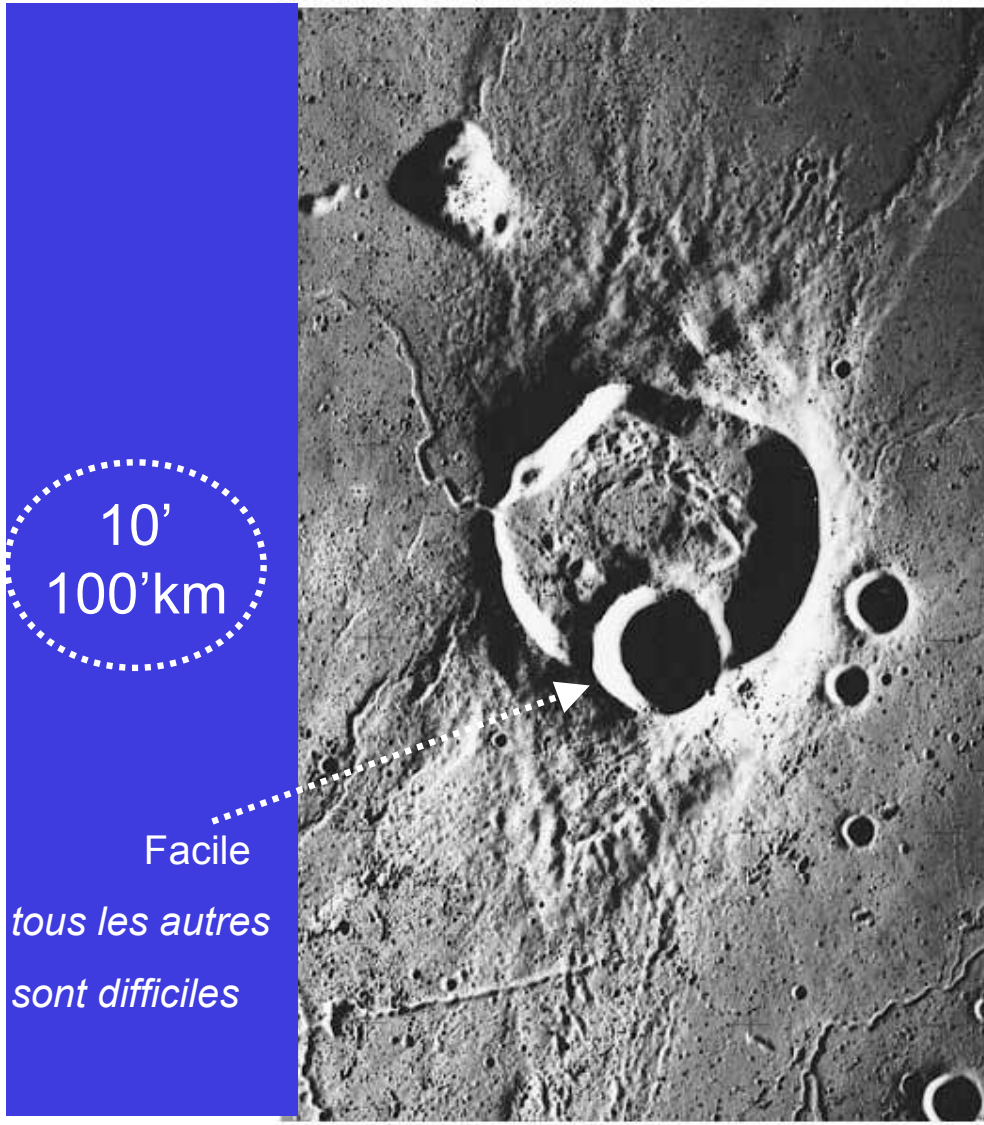


Principe de superposition (horizontalité d'origine)



Givétien inf, Flöhimont, France, Prétat 2010

Principe de superposition valable à toutes les échelles



1 Principe de superposition

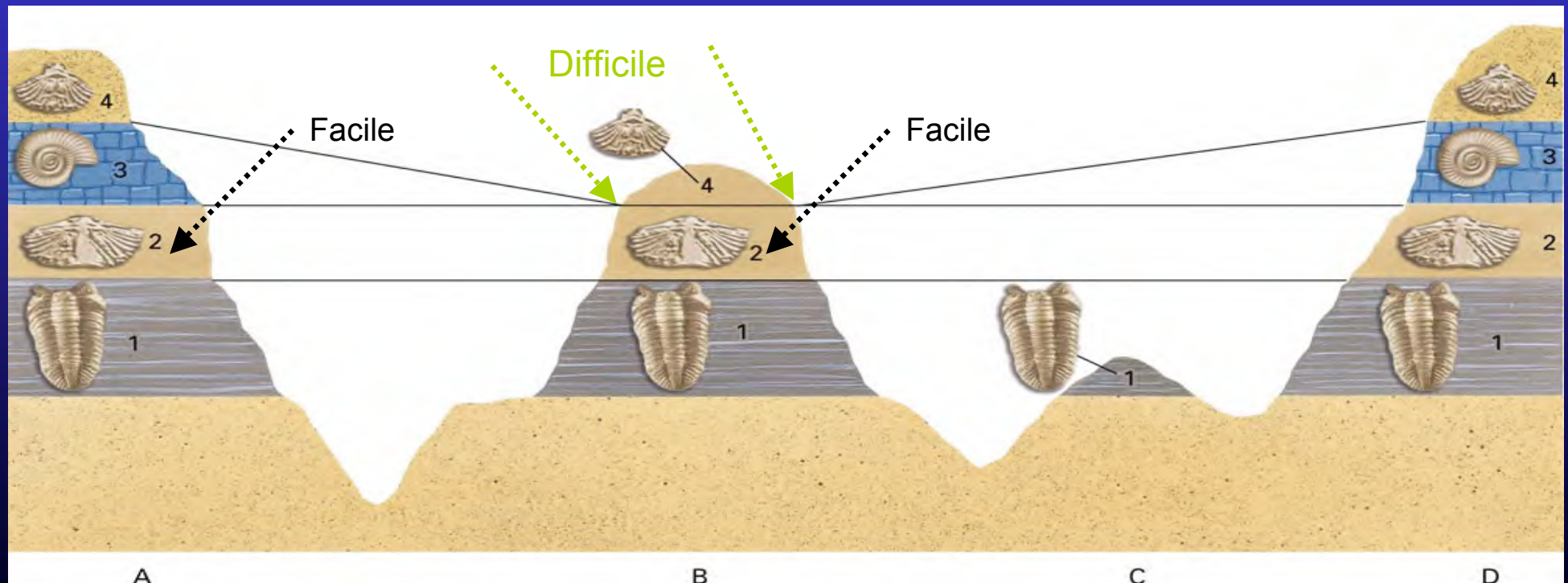
2 Principe de continuité

3 Principe d'identité paléontologique

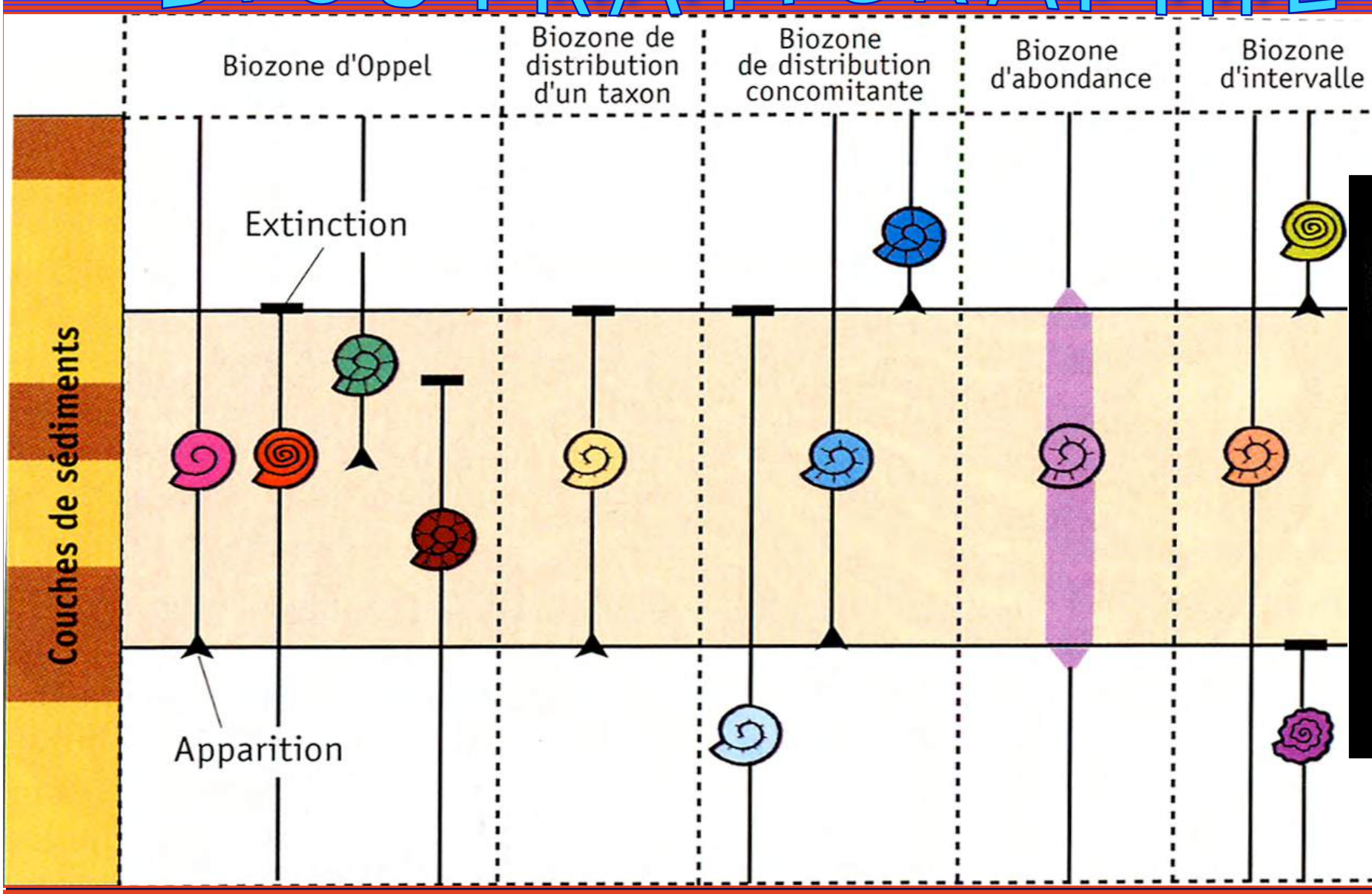
= 'Fossiles index'

Abondants (préservation) - Grande distribution géographique

Rapide évolution (tachytélie) - Facilement reconnaissables



BIOSTRATIGRAPHIE

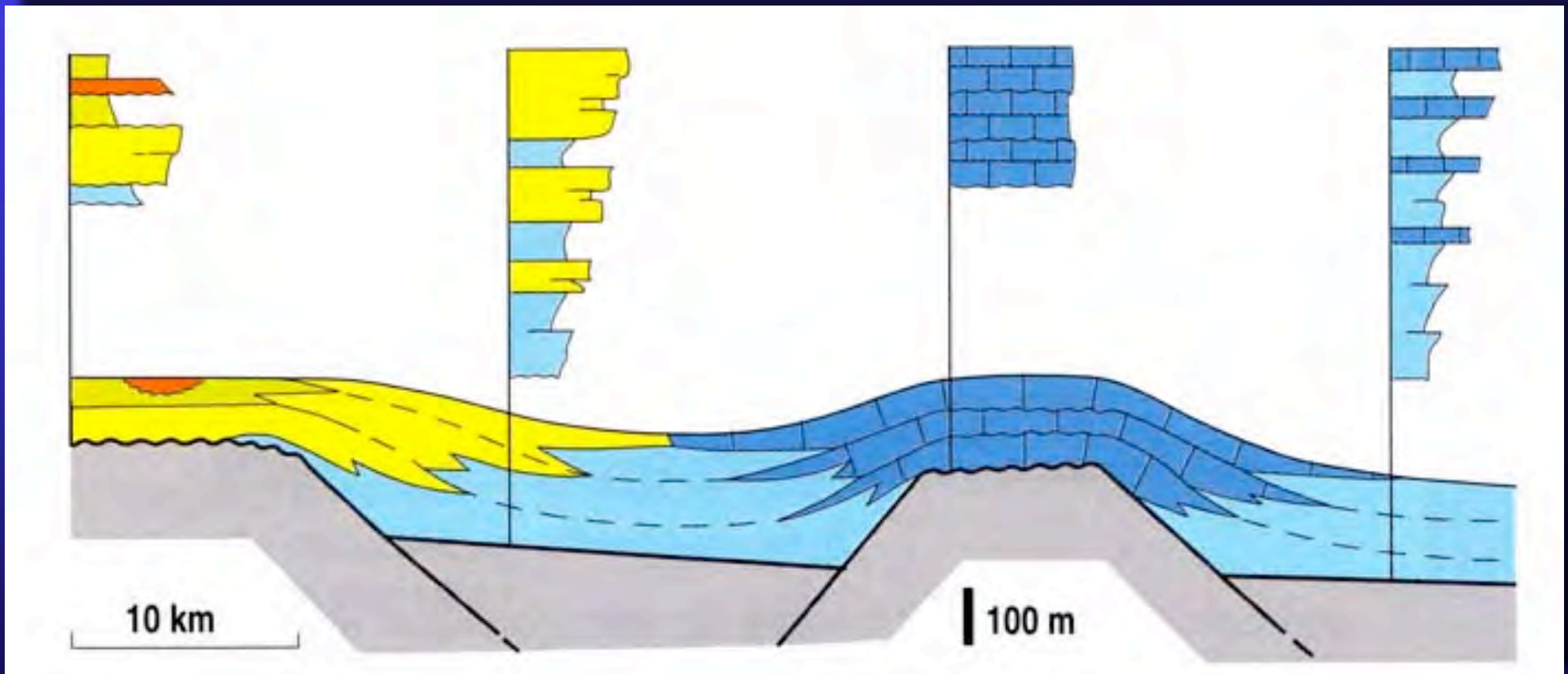


Un fossile 'seul' n'est d'aucune utilité.... (hélas...)

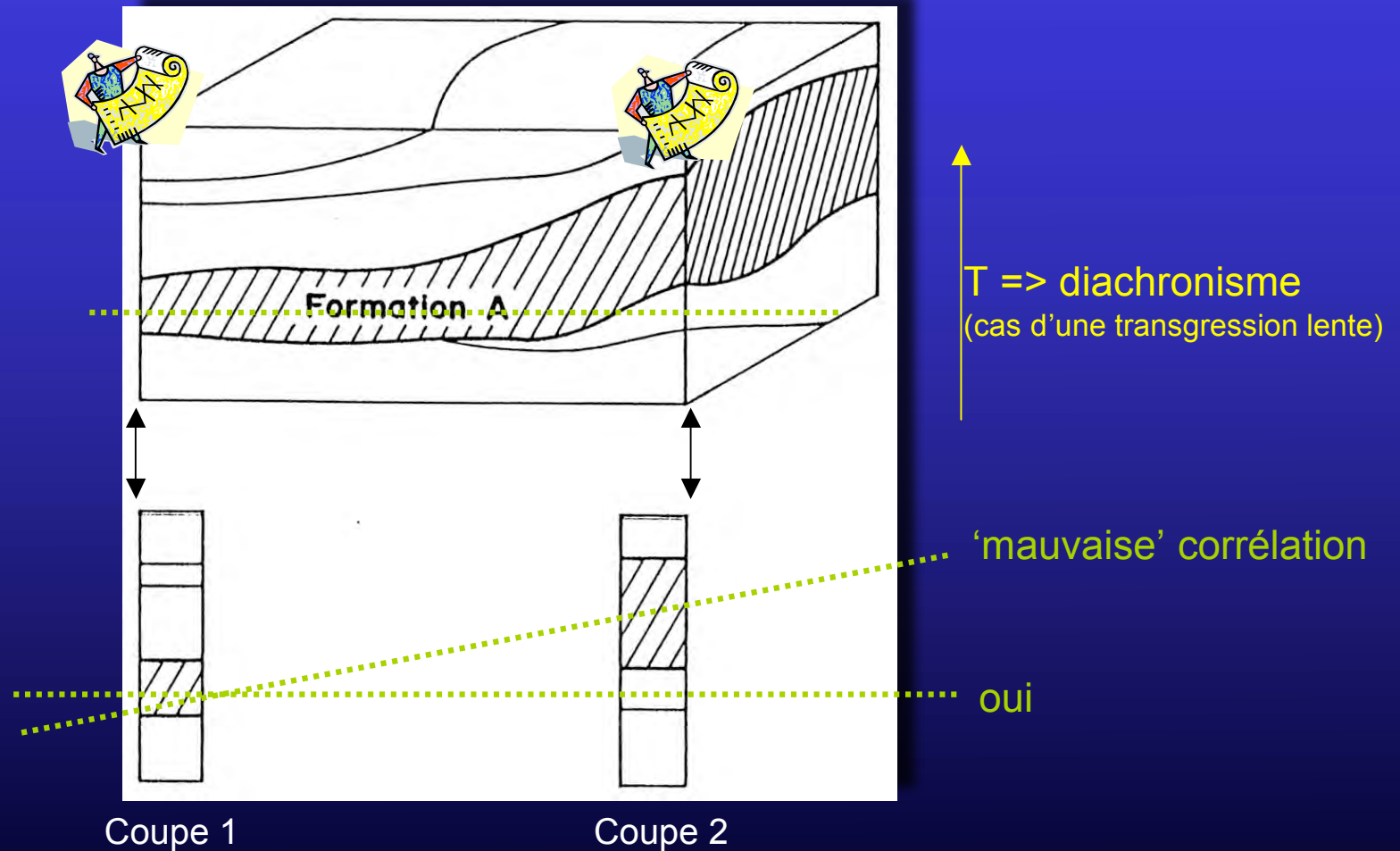


POURQUOI LE PRINCIPE DE SUPERPOSITION
(et les deux autres)
NE RESOUT-IL PAS IMMEDIATEMENT LES
PROBLEMES LIES AUX CORRELATIONS?

Les variations latérales de faciès sont la règle
Fossiles de faciès vs Fossiles stratigraphiques



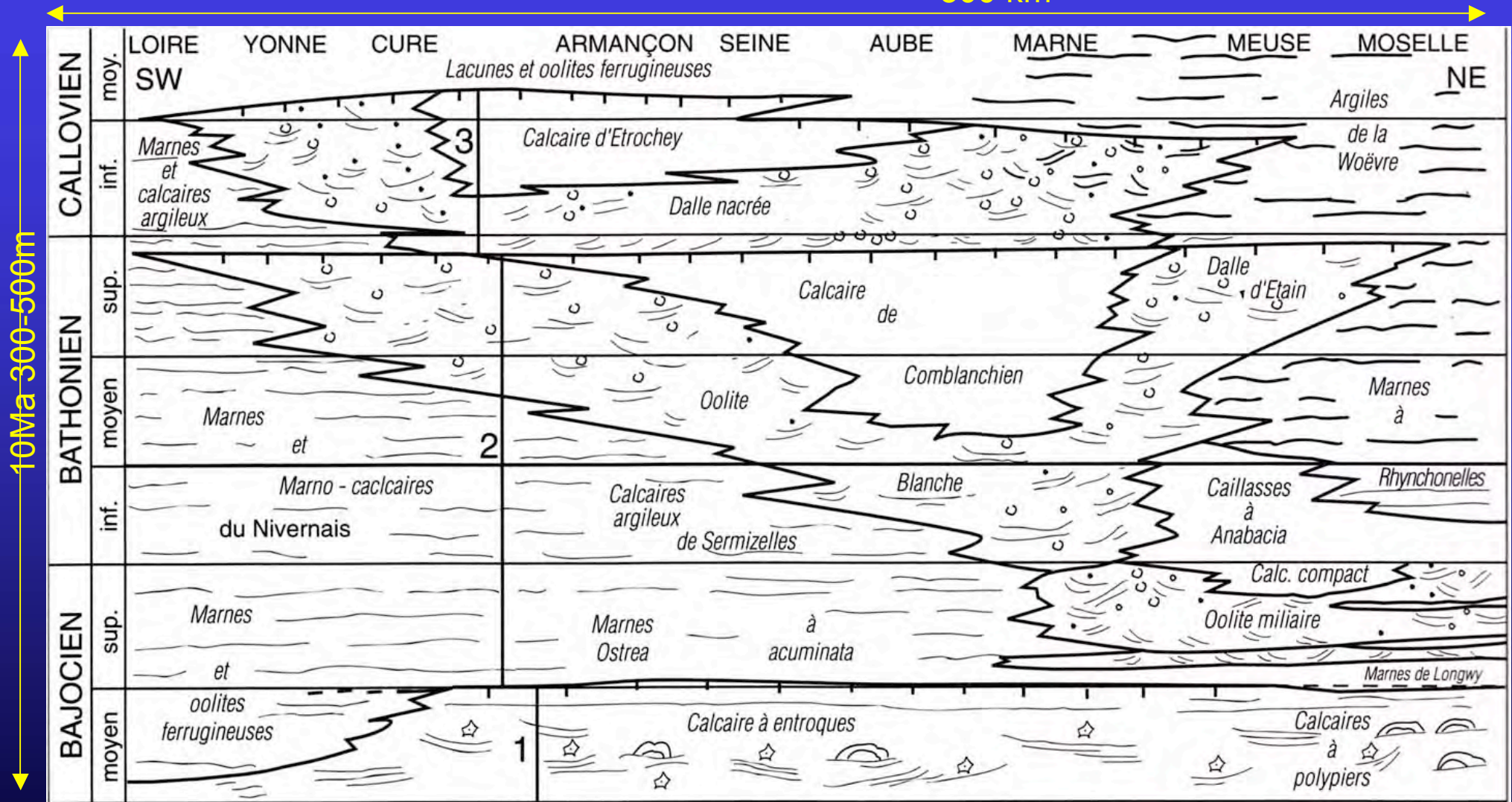
Les variations latérales de faciès sont la règle (toutes échelles)



Exemple: tout le Dévonien
Inférieur de Belgique, ... d'Europe

2D 'reconstitué'

500 km



Cavelier et al 1980

DOGGER - BASSIN DE PARIS
systèmes sédimentaires progradants

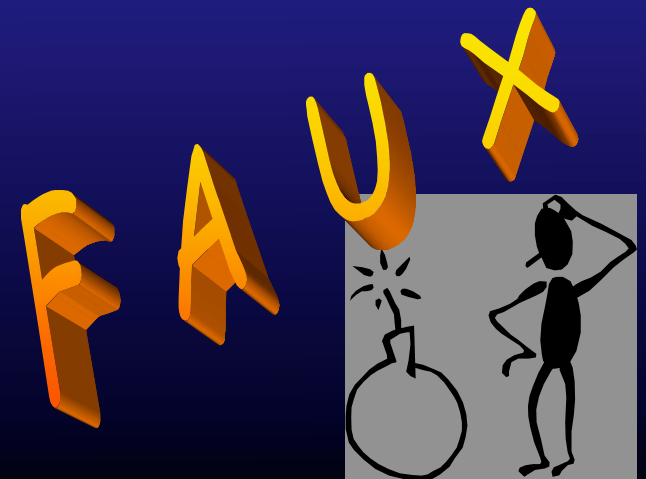
COMMENT FAIRE?

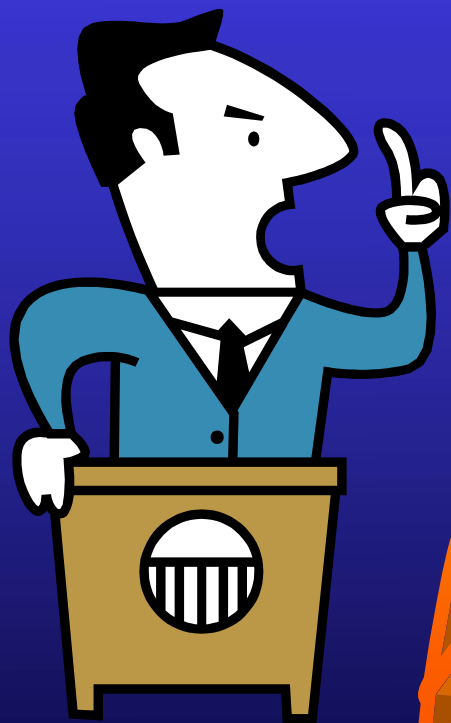


PRINCIPE(S) DE BASE est INTUITIF

à savoir que le dépôt d'une certaine quantité de matériau
(donc l'épaisseur d'une couche) = un certain laps de temps
(...qui augmente avec la quantité....)

...cela fonctionne comme cela pendant 2 siècles!





FAUX et FAUX ARCHI-FAUX

Samuel Haughton (1821-1897, Irish geologist)
« the maximum thickness of the strata are
proportional to the times of their formation »
=> 'one foot = 8616 years!....'

soit 1an = 0,03 mm



série géologique 'normale' et 'continue'

Pourquoi est-ce faux, archi-faux?

- séries condensées vs séries compréhensives (Frasnien 'Coumiac' vs Frasnien belge)
très nombreux autres exemples => 1:10 à 1:1000 (rapport épaisseurs)
- subsidence différentielle: séries de rifts = blocs basculés sur quelques km, 10' km ou 100'km
- joints/pas joints : exemples des séries carbonatées (=> également discontinuité 'cryptiques')
- compaction différentielle : séries argileuses vs les autres
-
-
- événements exceptionnels préservés (tempestites): Golfe du Mexique avec accumulation côtière de 10cm/1000ans (très élevé). Chaque segment de côte a une probabilité de 95% d'être touché par un 'hurricane' qui érode > 30 cm (très fréquent à l'échelle géologique)
=> en quelques sec, min, h on érode 3000 ans de sédimentation...
- ...



**LA SEDIMENTATION N'EST PAS CONTINUE
ET IL Y A PLUS DE 'GAPS' QUE DE 'RECORDS'**

COMMENT FAIRE?

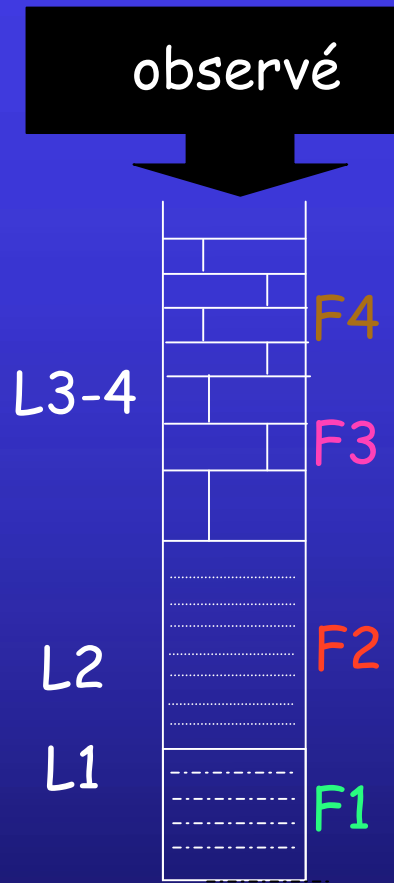
INITIALEMENT apparitions/disparitions successives de groupes d'organismes
=> terrains non métamorphisés, terrains non magmatiques (ou volcaniques)
=> terrains uniquement sédimentaires (marins surtout)

STRATIGRAPHIE = CHRONOLOGIE RELATIVE

déjà au 18ème siècle

... et les âges des terrains sont exprimés les uns par rapport aux autres

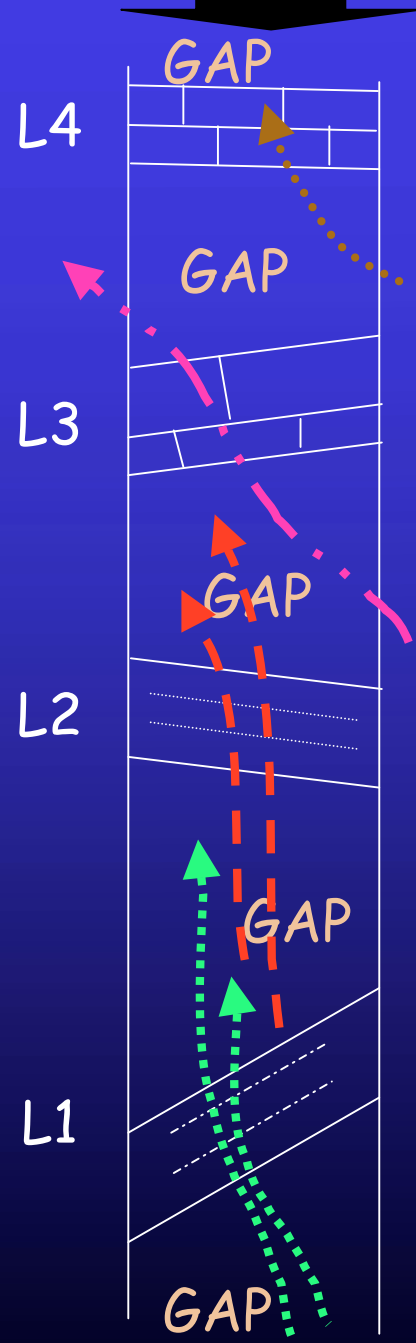
SANS UNITE DE TEMPS



Temps



L = lithofaciès
F = 'fossiles'

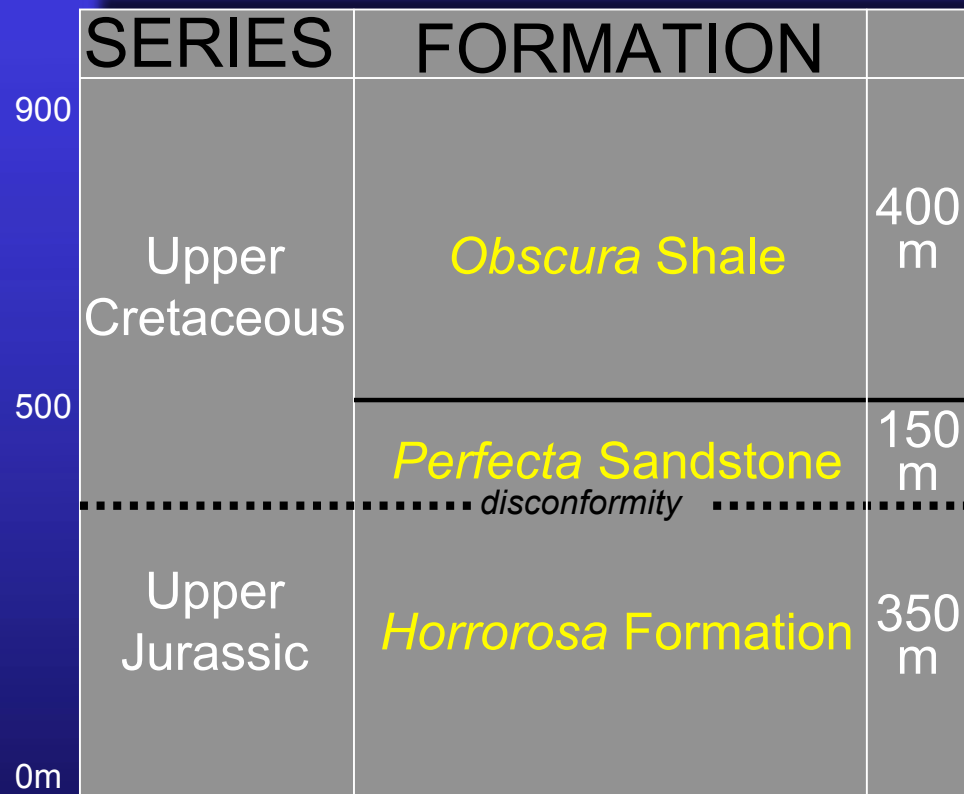


+ DÉCOMPACTION

NOMBREUSES CONSEQUENCES

Exemple de la représentation des diagrammes

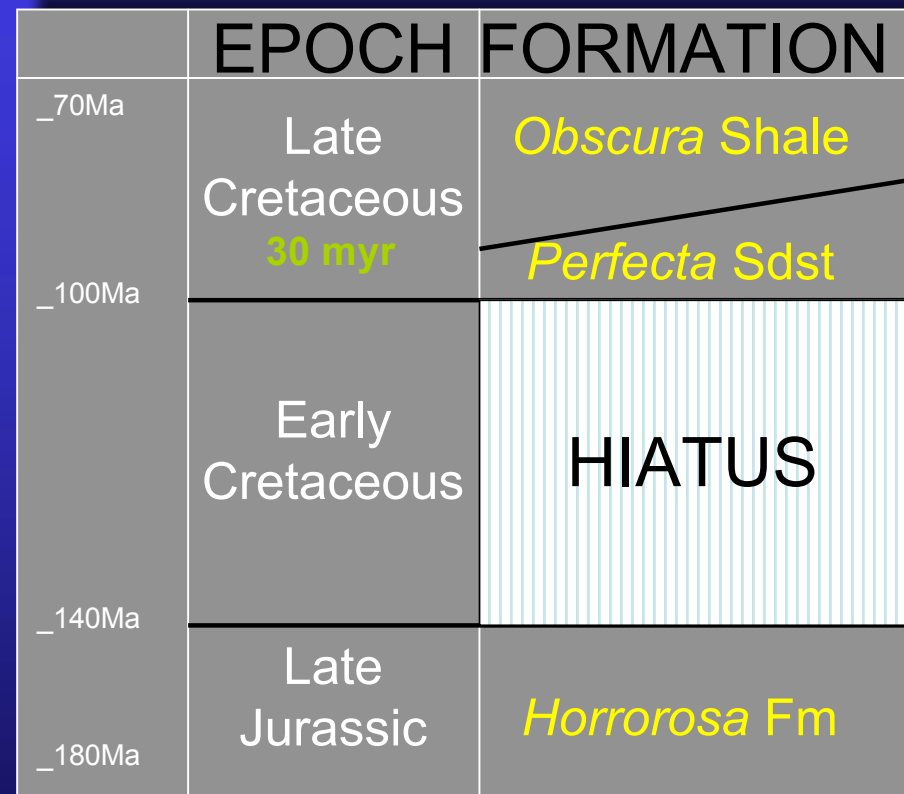
LITHOSTRATIGRAPHIE



New Mexico

observé

CHRONOSTRATIGRAPHIE

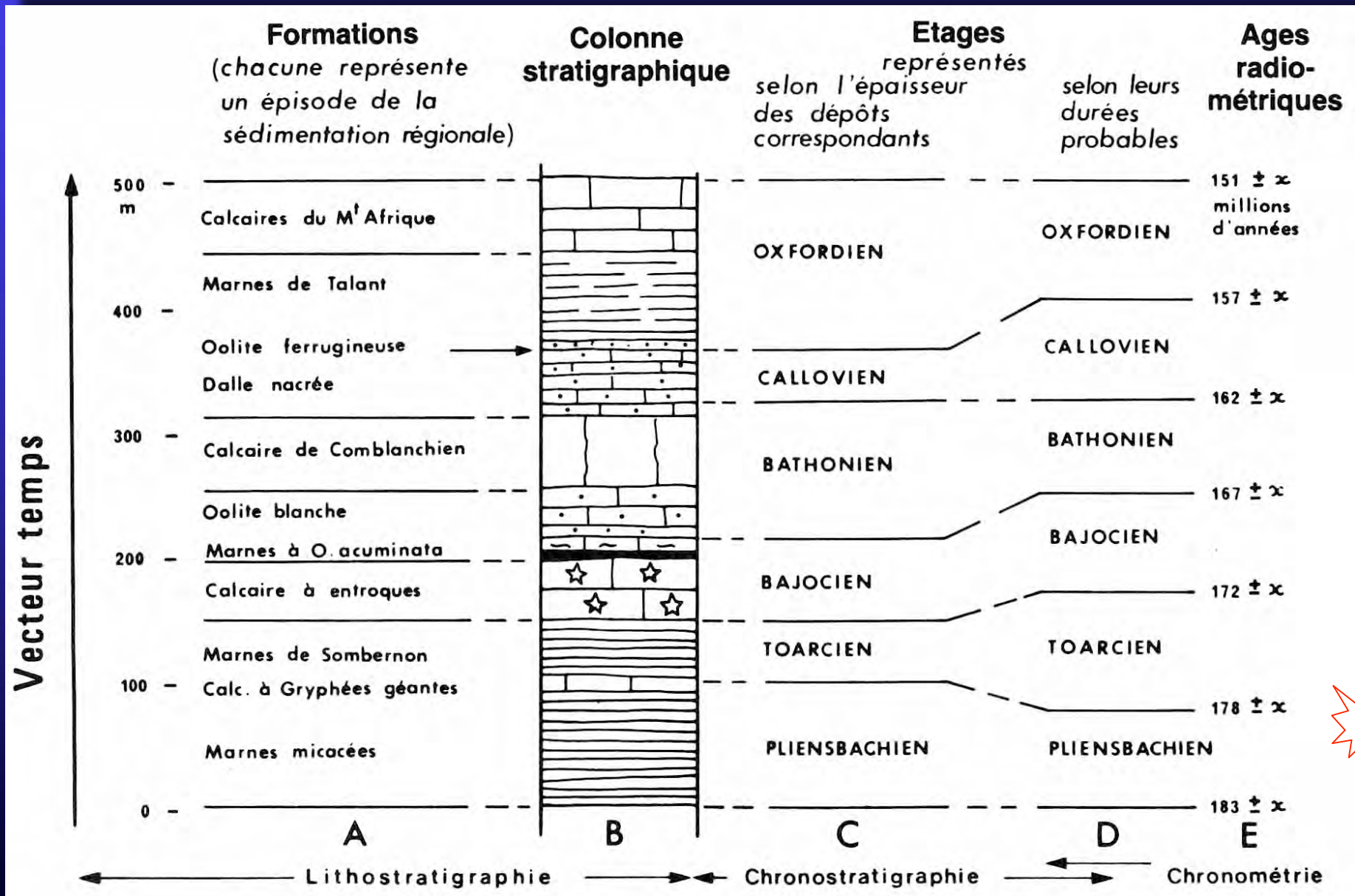


non observé

déduit

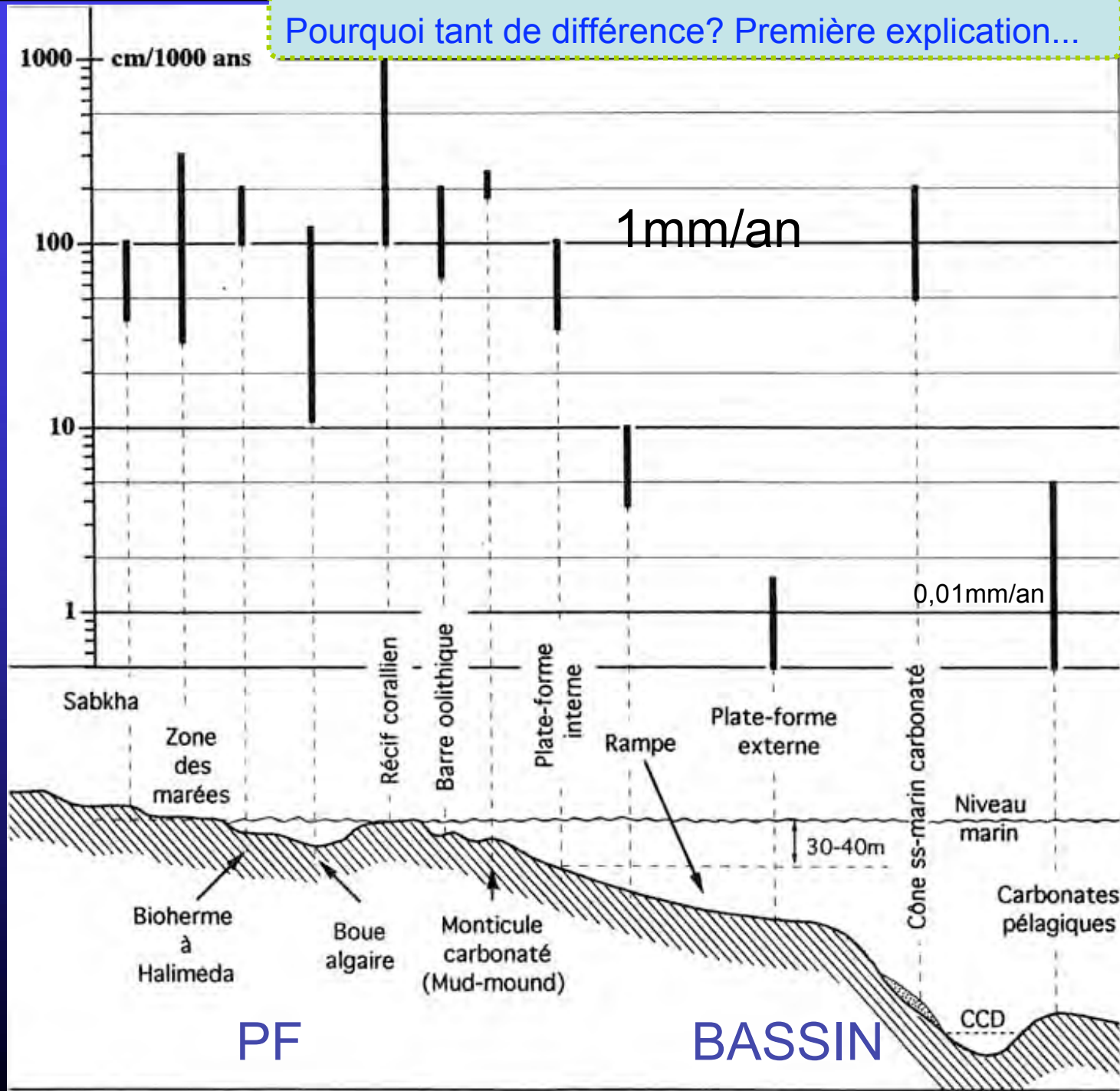
observation

'non-observation'



Pomerol et al. 1987

Pourquoi tant de différence? Première explication...



Taux de sédimentation
+
Non-dépôt
+
Erosion (syn-, post)

Cojan et Renard 1997

BATHONIEN SUP
LUC-SUR-MER



60cm/500.000 ans = 0,001mm/an

12m/500.000 ans = 0,02mm/an

= FAUSSE VALEUR

en est-on sûr...?

soit 0,01mm/an pour 12,6m/1Ma ±1% temps géologique

1. GEOMETRIE

Les lignes temps sont le plus souvent obliques (corps sédimentaires)
Ensuite les séries sont plissées, charriées ('déchiquetées')

2. TEMPS RELATIF ET ABSOLU

Les deux restent indispensables

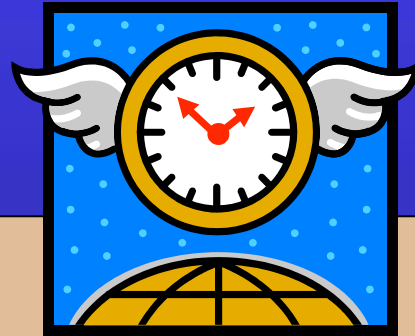


3. VITESSE

La cinétique des phénomènes dépend de la résolution temporelle

LE TEMPS EN GEOLOGIE

l'intuition prise en défaut....



$T_{x'}$

0,5
à
5%

Il manque donc 95 à 99,5% du temps

T_x

série géologique 'normale' et 'continue'

$T_{x'}$

T_x

COMMENT LE PROUVER?

REPRESENTATIVITE DU TEMPS 'GEOLOGIQUE' DANS LES ROCHES OU LES SERIES...

Crétacé
inférieur
Fara
San Martino



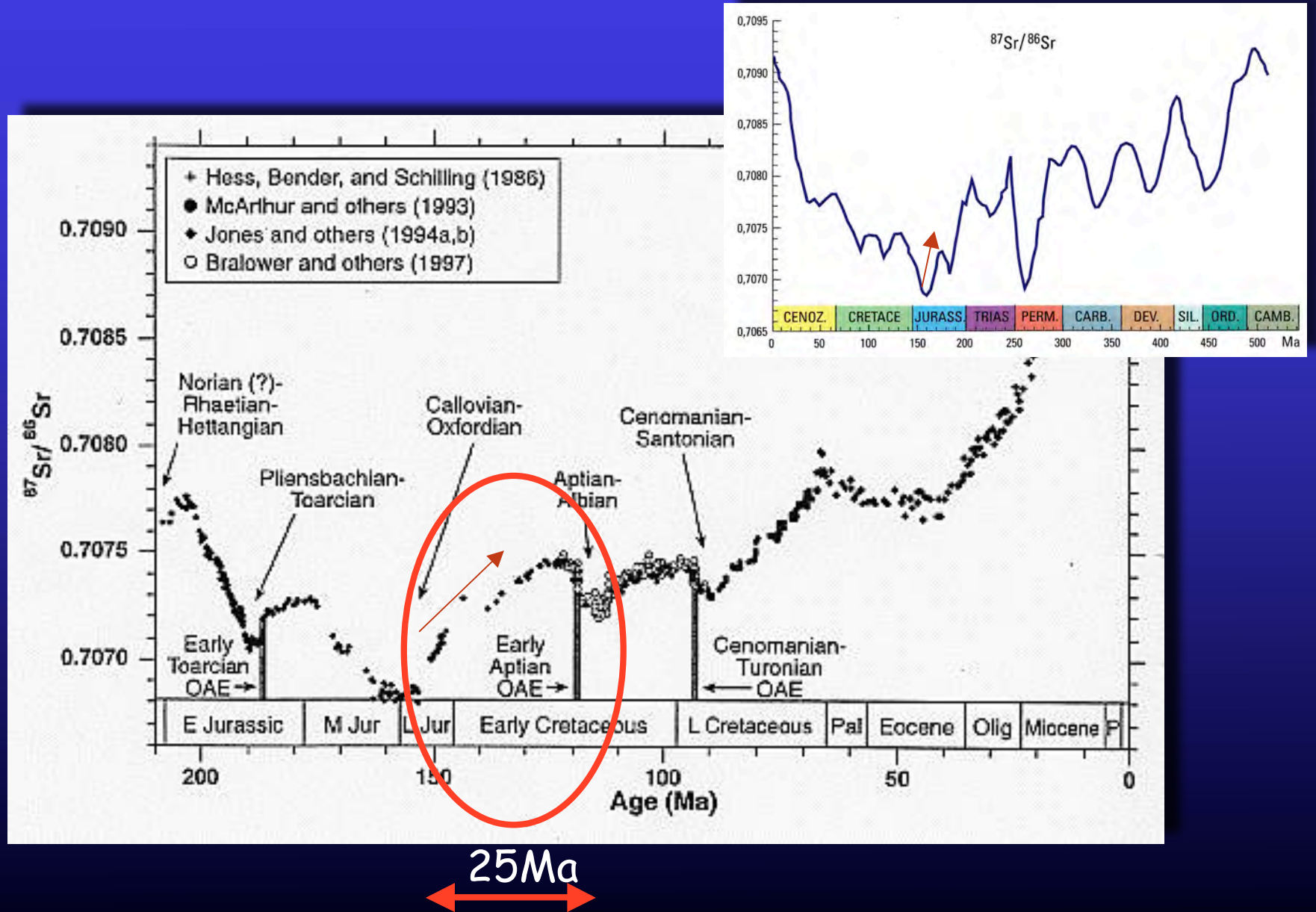
joints de
stratification
+
LOFERITES
(tidal flats)
0,3-3 mm/an

Maiella
Abruzzes



Utilisation des isotopes radiogéniques « stables »

CRETACE INFERIEUR D'ITALIE: PLATE-FORME CARBONATEE



CRÉTACÉ INFÉRIEUR Italie Centrale



4%

1000 ans

LOFERITES (tidal flats)
0,3-3 mm/an



± 30 cm

cyanobactéries

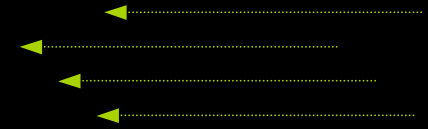
100 ans

$0.3 \text{ mm} \implies 300 \text{ m/Ma}$
soit $1 \text{ Ma}/25 \text{ Ma} = 4\%$
[ou $0,4\%$ si 3 mm]

LES SERIES NE SONT DONC PAS CONTINUES



96 à 99.6%



joints de stratification

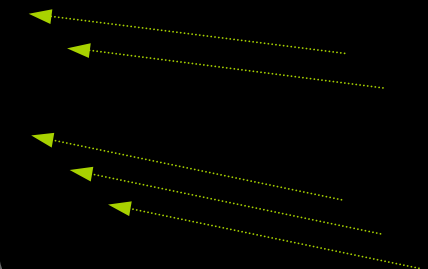
+

LOFERITES
(tidal flats)

0,3-3 mm/an
et diasthèmes
(disc. cryptiques)



96 à 99.6%



GRES D'ANNOT Oligocène 35Ma max 250m, NE Castellane



2 à 6m

Jt
qq 10^3 a
à 10^5 a

Bc
qq h/j



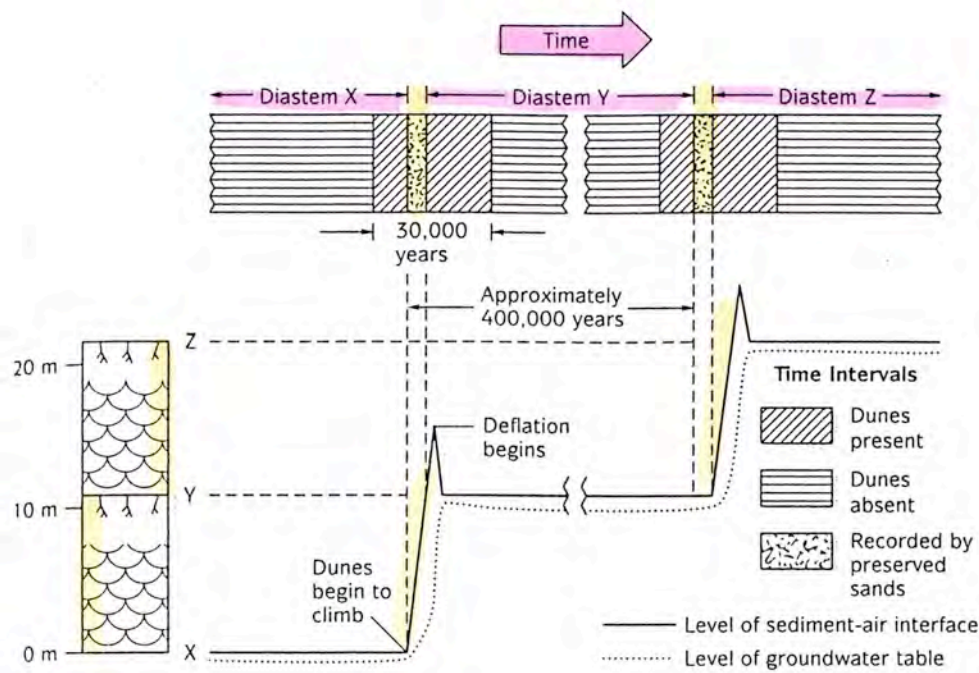
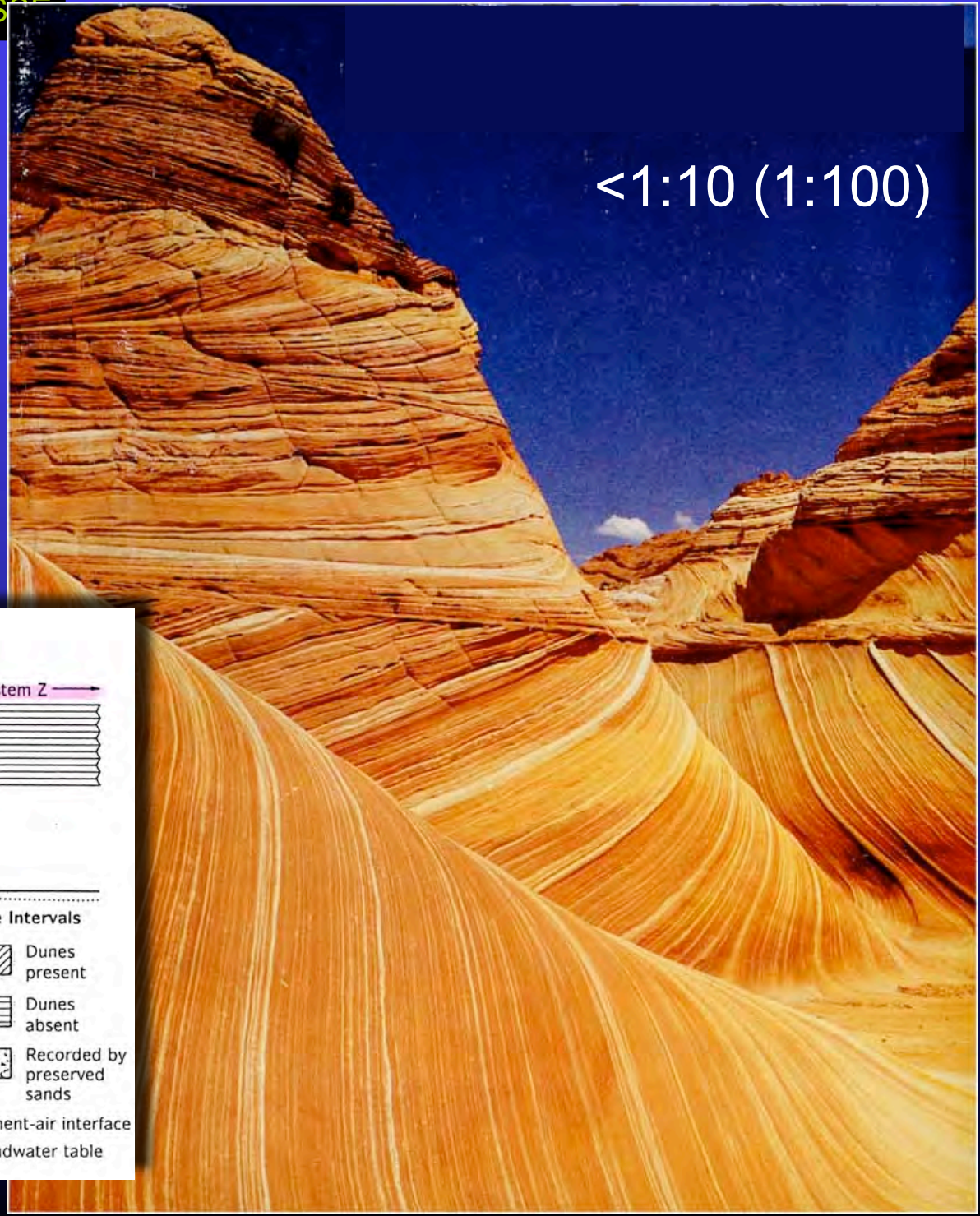
<mm-cm

E

E

De Wever et al 2005

Navajo Sdst,
Utah-Arizona
±60000km²,
600m épMAX,
35mMax -1dune
J, dunes éoliennes



Loepe 1985

...nombreux autres exemples...

La période de dépôt d'un corps sédimentaire est
TRES COURTE et sa surface supérieure correspond
à un arrêt de sédimentation avec ou sans érosion,
d'une durée 'impossible' à déterminer mais qui est
beaucoup PLUS LONGUE que la période de sédimentation

GRAND CANYON

Question
série continue??
quid par rapport
à 0,3 mm/an

1200m/500Ma

M

PHANEROZOIQUE

A

154km = 0,28 mm/an

X

y compris 'gaps' et discontinuités

situation la plus réaliste

GD CANYON (USA)

1,2Km = 500 Ma

1an = 0,0024 mm HORS PCm

**>100X
MOINS!**

**>1000X
MOINS!**
par rapport
à l'ACTUEL

Les séries géologiques sont donc des 'gruyères' temporels

NOMBREUSES CONSEQUENCES

- Extinctions 'massives'
- Spéciation
- Impact météoritique
- Eruption volcanique
- Dégazage clathrates
- Corrélations
- métallogénie, hydrologie etc ...



1975	M.R.H. Gon.	G.K. Conod.	J.T.D. Brach.	W.A. O. Coraux	A.R.O. Trilobites	1982 Absolu	1989 Absolu
Famennien	23.0%	22.9%	20.4%	15.0%	14.6%	14.6%	9.8%
Frasnien	15.3	18.7	14.2	13.3	16.6	14.6	22.6
Givetien	15.3	12.5	14.2	16.6	18.7	12.5	7.4
Eifelien	15.3	12.5	10.2	16.6	12.5	14.6	11.3
Emsien	7.7	12.5	20.4	8.3	20.8	14.6	9.5
Praguien	15.3	8.3	10.2	16.6	4.2	14.6	12.8
Lochkovien	7.7	12.5	10.2	13.3	12.5	14.6	26.5

	1986	1990	1982	1989	2008	
Famennien	13 Ma	10	7	13	15.3±2.5	359.2 Ma
Frasnien	9	5	7	9	10.8±2.6	
Givetien	12		6	12	6.5±2.7	
Eifelien	7		7	7	5.7±2.7	
Emsien	6		7	6	9.5±2.7	
Praguien	4		7	4	4.2±2.8	
Lochkovien	9		7	9	4.8 ±2.8	416.0 Ma

GEOMETRIE-TEMPS REL/ABS-VITESSE

	1986	1990	1982	1989	2008	2006	
359.2 Ma							360.7 Ma
Famennien	13 Ma	10	7	13	15.3±2.5	15.4±2.7	
Frasnien	9	5	7	9	10.8±2.6	7.6±3.6	
Givetien	12		6	12	6.5±2.7	4.4±3.1	
Eifelien	7		7	7	5.7±2.7	3.8±2.6	
Emsien	6		7	6	9.5±2.7	17.2±3.4	
Praguien	4		7	4	4.2±2.8	3.2±3.8	
Lochkovien	9		7	9	4.8 ±2.8	5.8±3.0	
416.0 Ma							418.1.0 Ma

Kaufmann 2006



Méthode U-Pb
sur zircon et
monazite
(cendres volcaniques
= bentonites-K)

**57,4±5,7 pour 57 biozones à conodontes
=> 1 bioZ = ± 1Ma (0.6-5.5)**

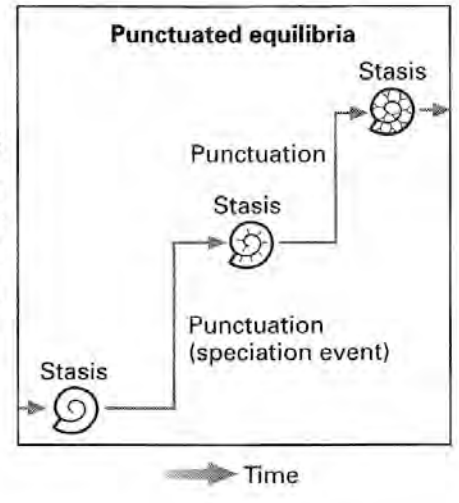
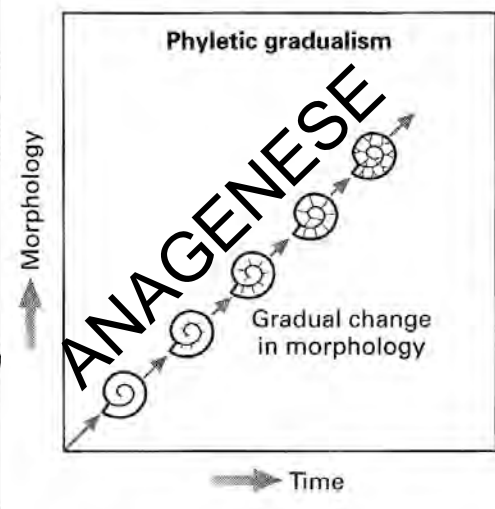
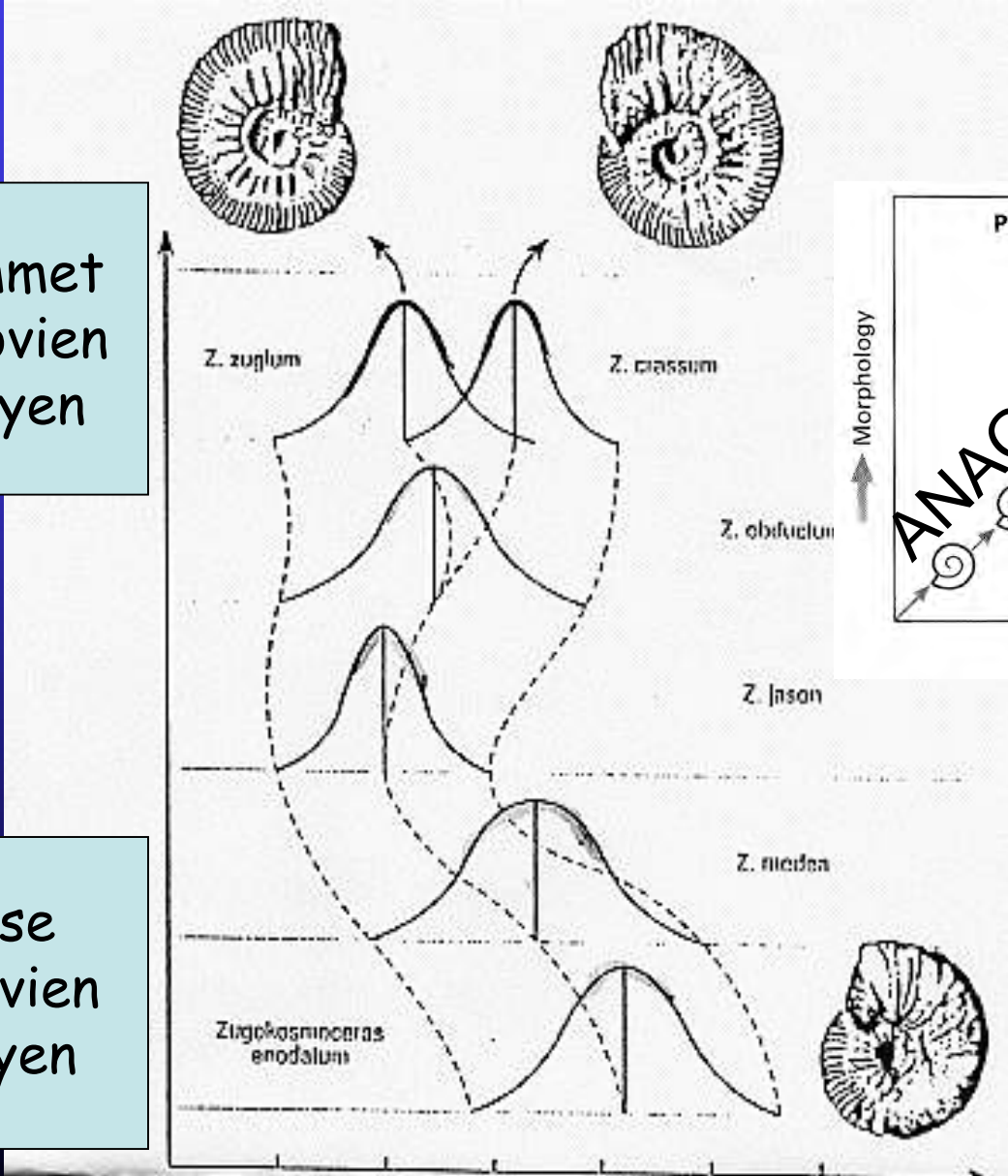
NOMBREUSES CONSEQUENCES

Exemple de l'évolution des espèces

cladogenèse quantitative
**EQUILIBRE
PUNCTUE**

sommet
Callovien
moyen

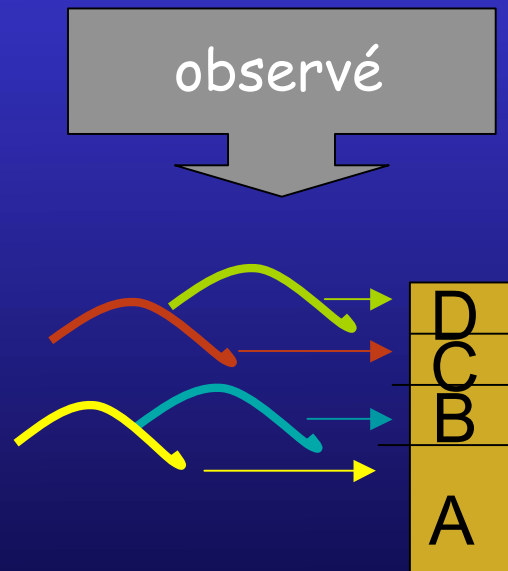
base
Callovien
moyen



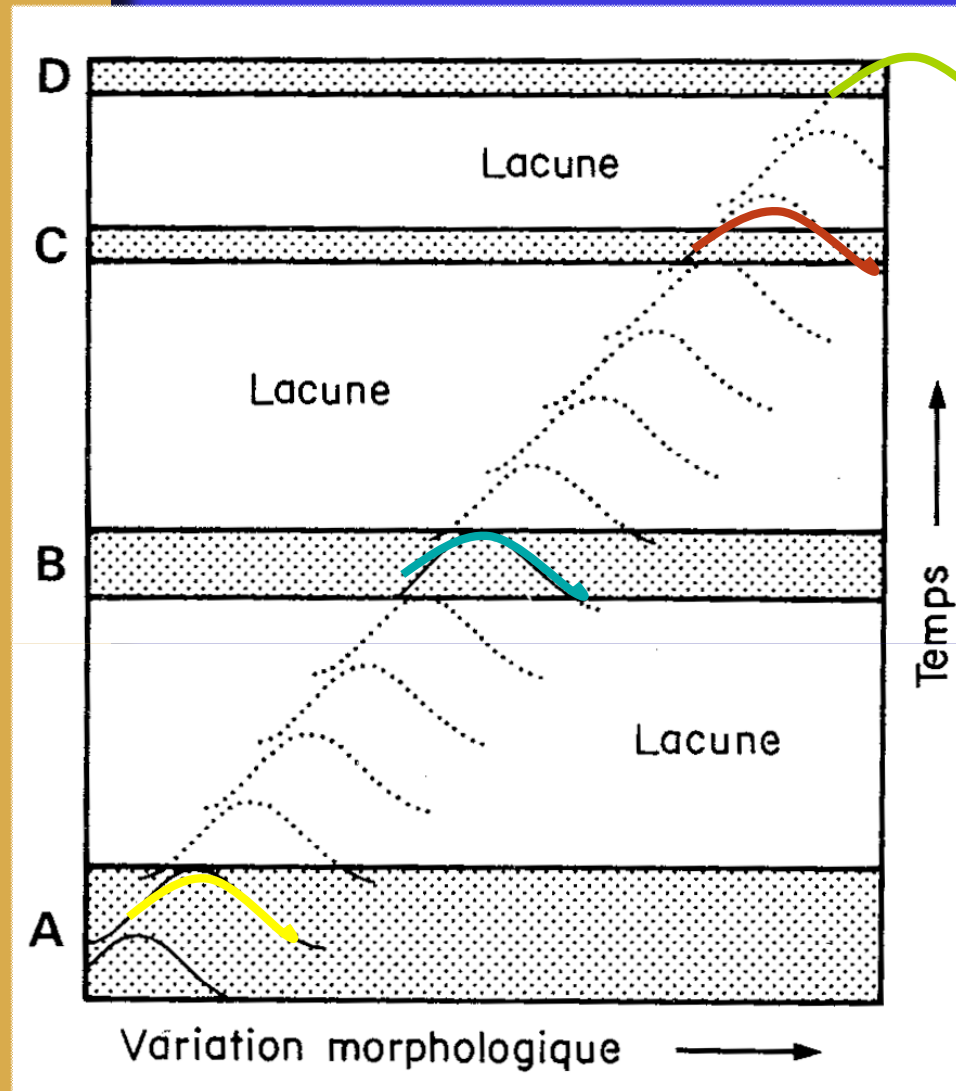
Nichols 1999

Tintant 1963

SPECIATION ACTUELLE
LACS EST-AFRIQUE
Poissons cichlidae
Spéciation < 4000 ans



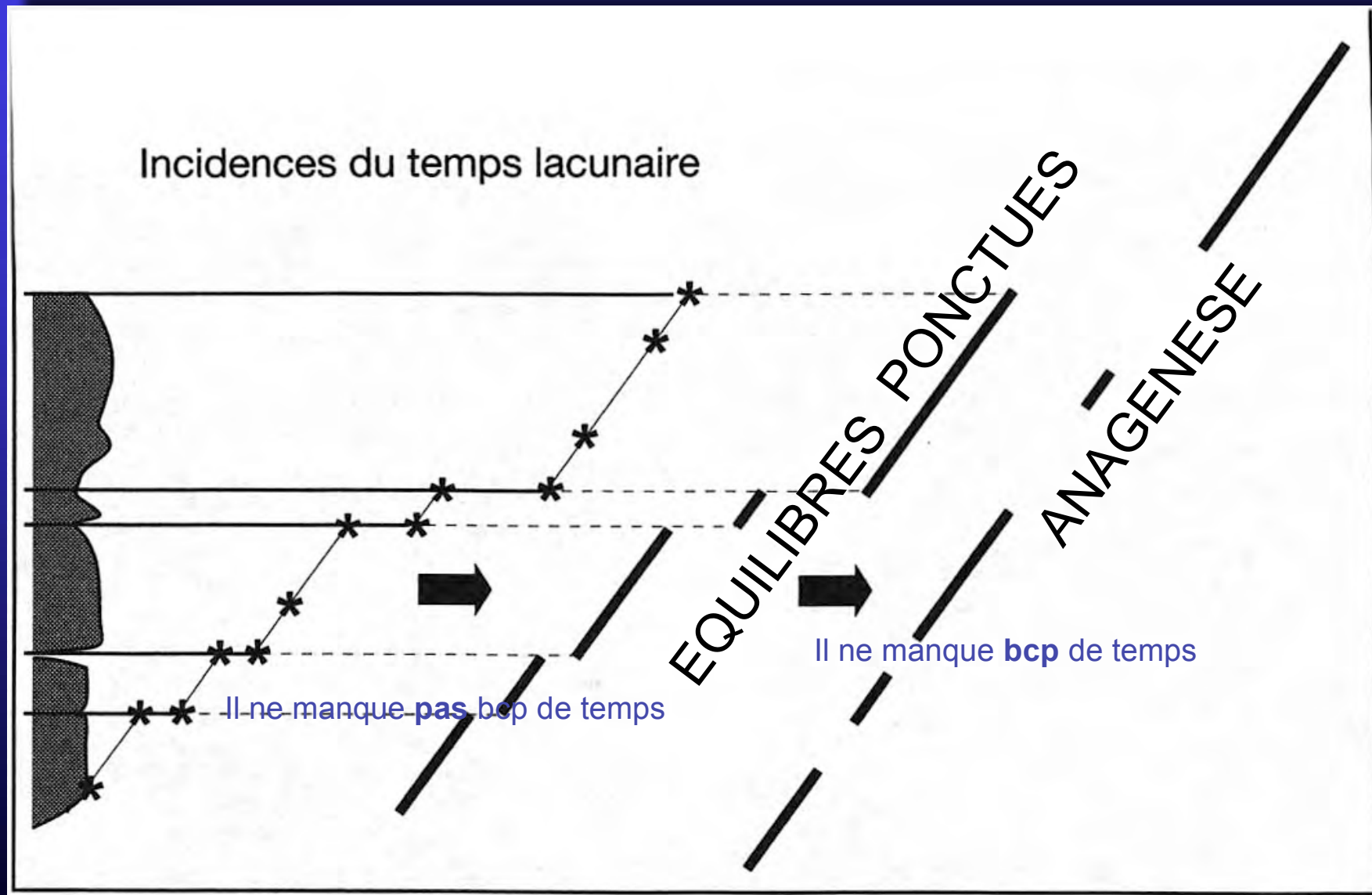
déduit?



L'interprétation peut dépendre de l'échantillonnage (temporel)

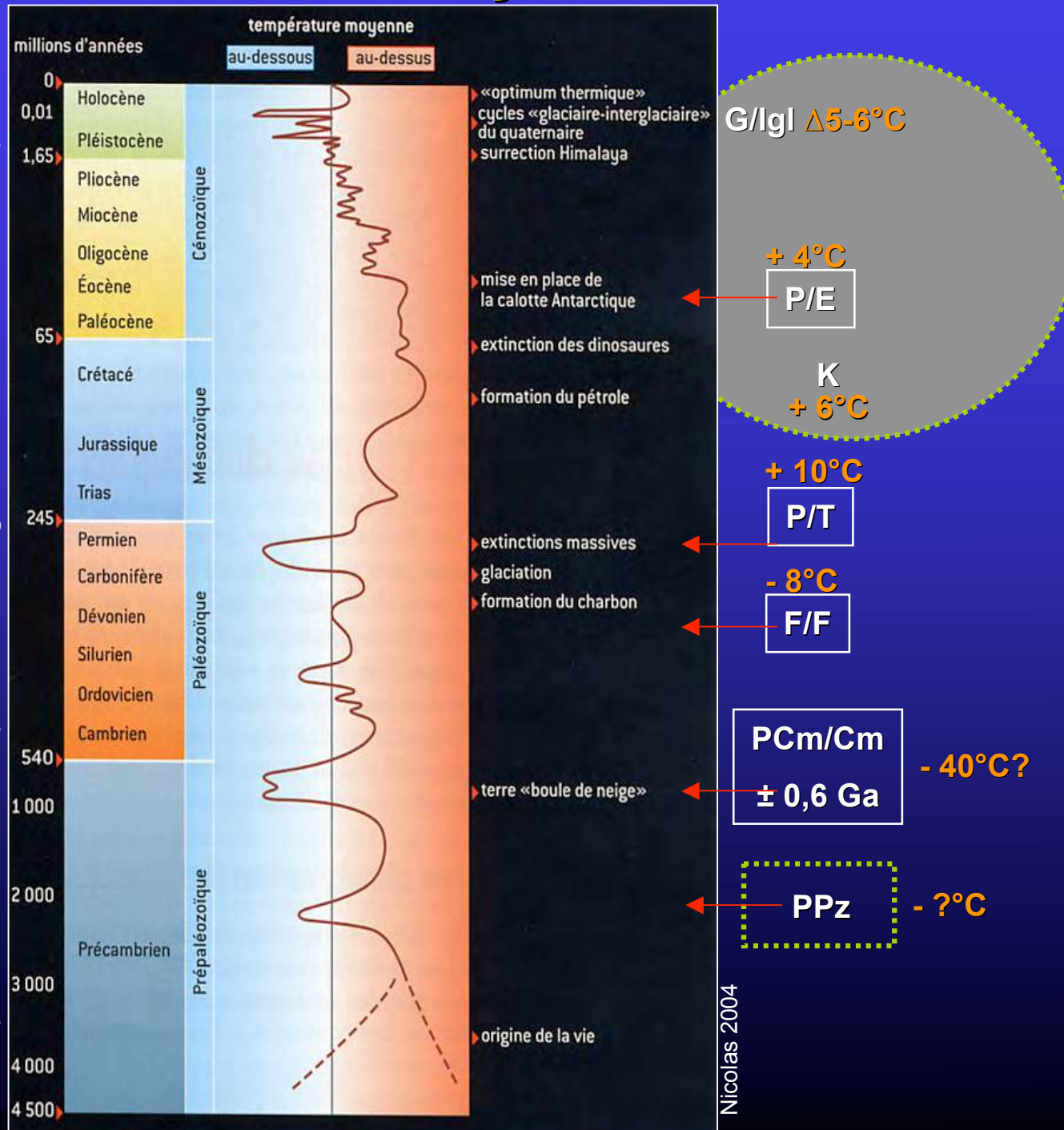
NOMBREUSES CONSEQUENCES

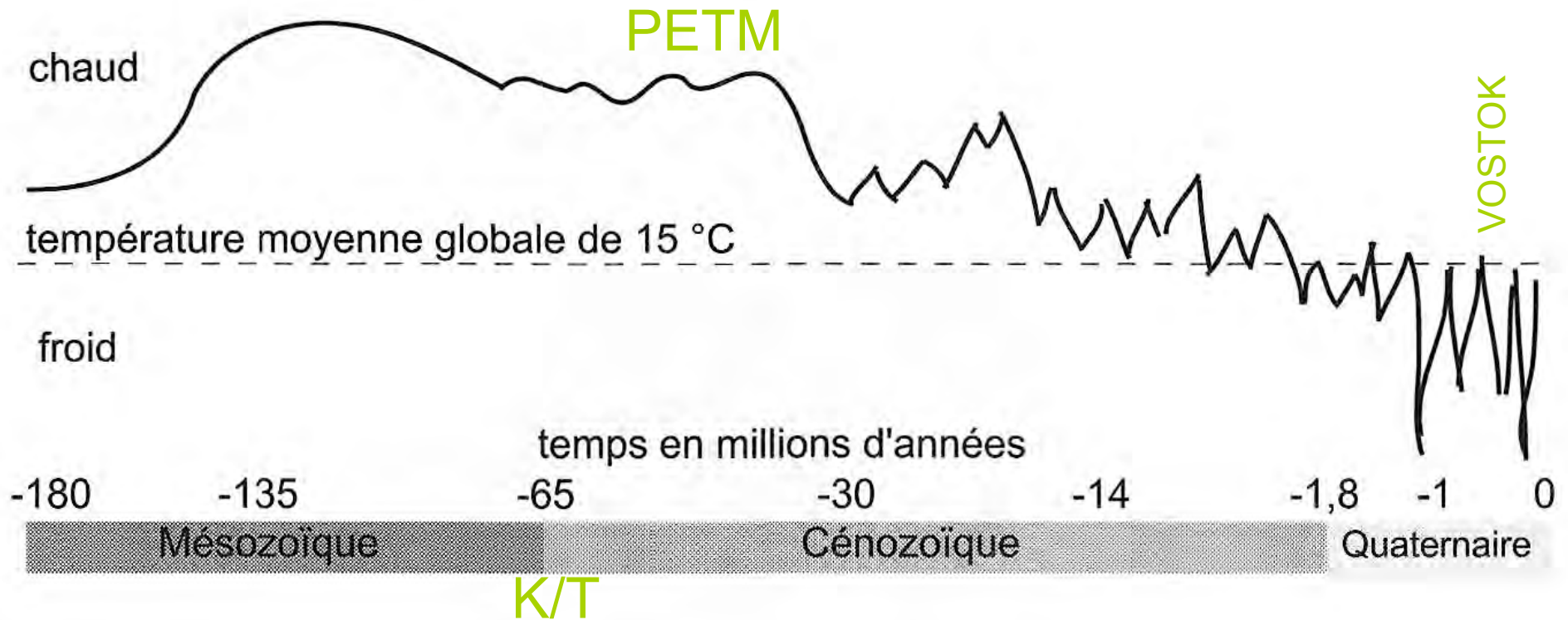
Exemple de l'évolution des espèces



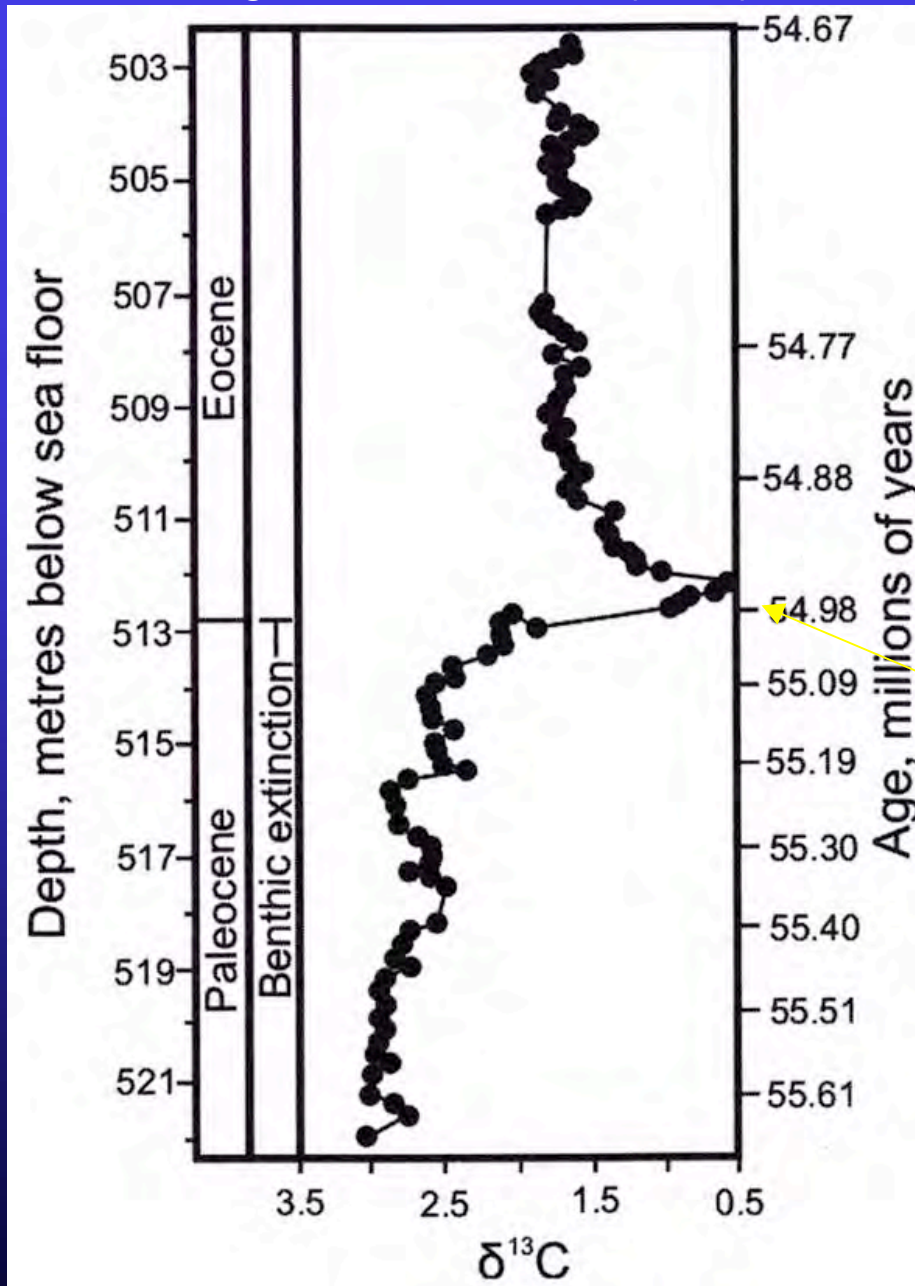
Variations de la T° moyenne de la Terre

Echelle des temps géologiques est logarithmique (dilatation des temps récents également mieux connus)

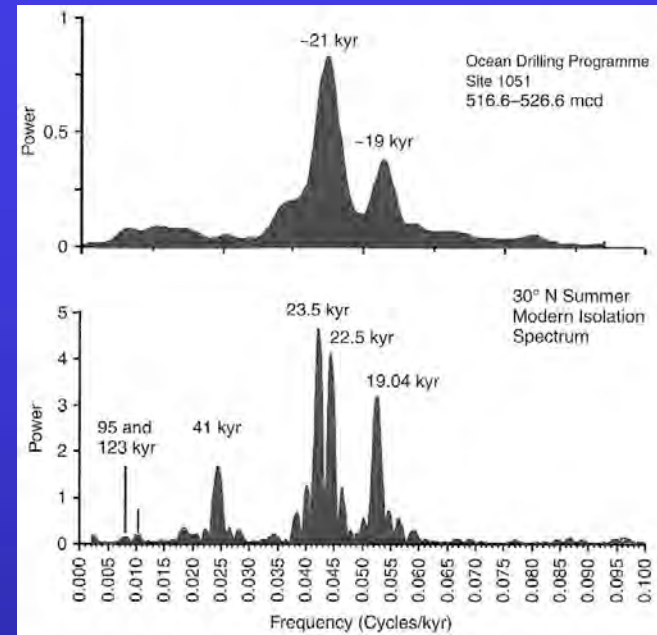




Forage ODP Site 1051 (N Atl)



Norris & Röhl 1999



PETM ou LPTM Lower Paleocene Thermal Maximum

Largage rapide de ^{12}C
 = clathrates ($\delta^{13}\text{C} = -60\text{‰}$)
 ou R sce riche en MO
 RAPIDE càd
 qq 1000'ans et NON Ma!
 +

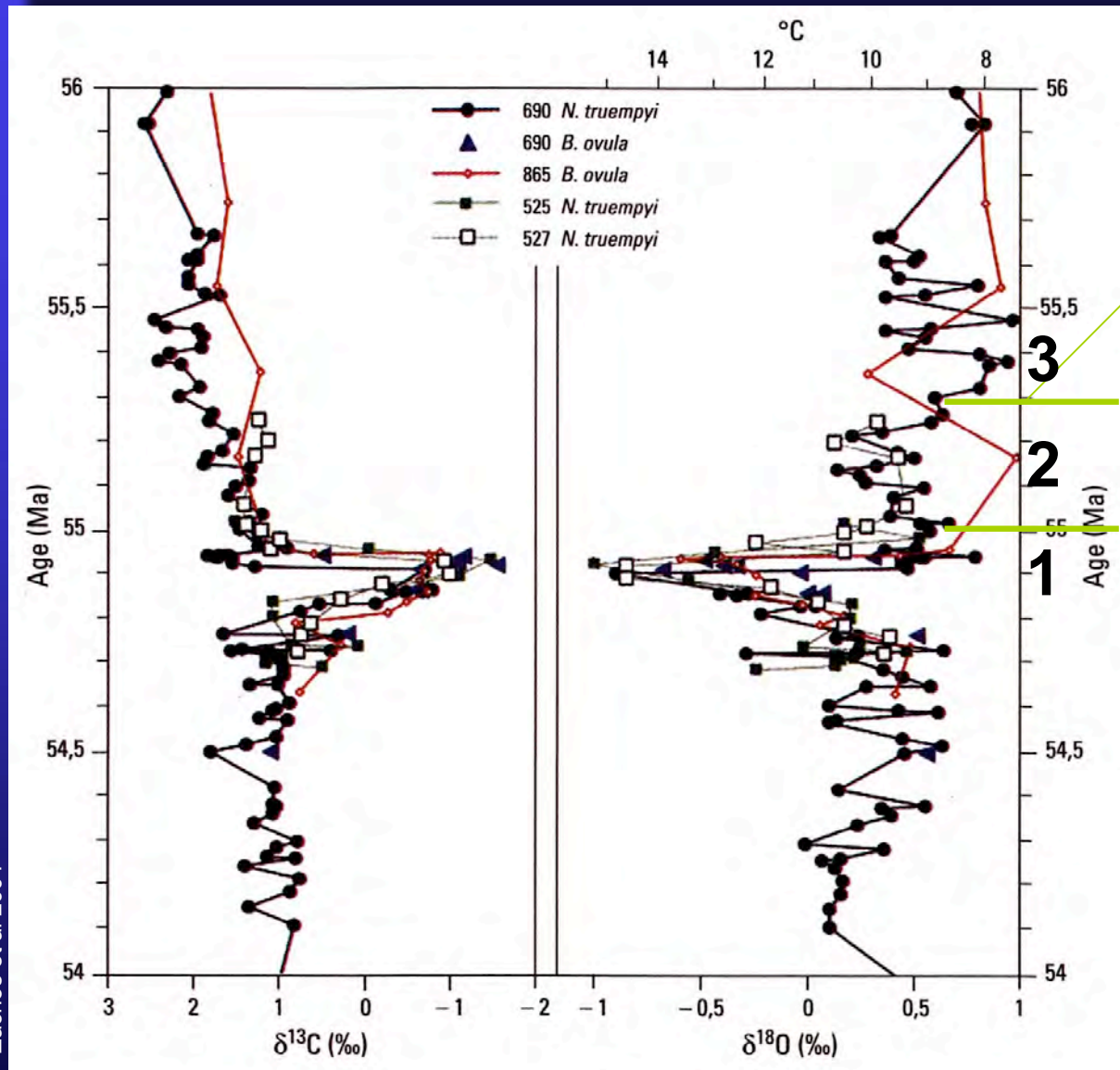
Extinction du benthos à partir de 54.98Ma
 et crise (biodiversité de 30-50%) Foraminifères
 suite à acidification ... +

= RECHAUFFEMENT

de 5 à 7°C dans les océans profonds des
 hautes latitudes (NM +5 à +6m) en <20 000ans

PETM coquilles benthiques avec $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{18}\text{O}$ LEGERS pendant env. 10 000 ans

Zachos et al 2001



Feedback négatif
Altération des silicates

3

2

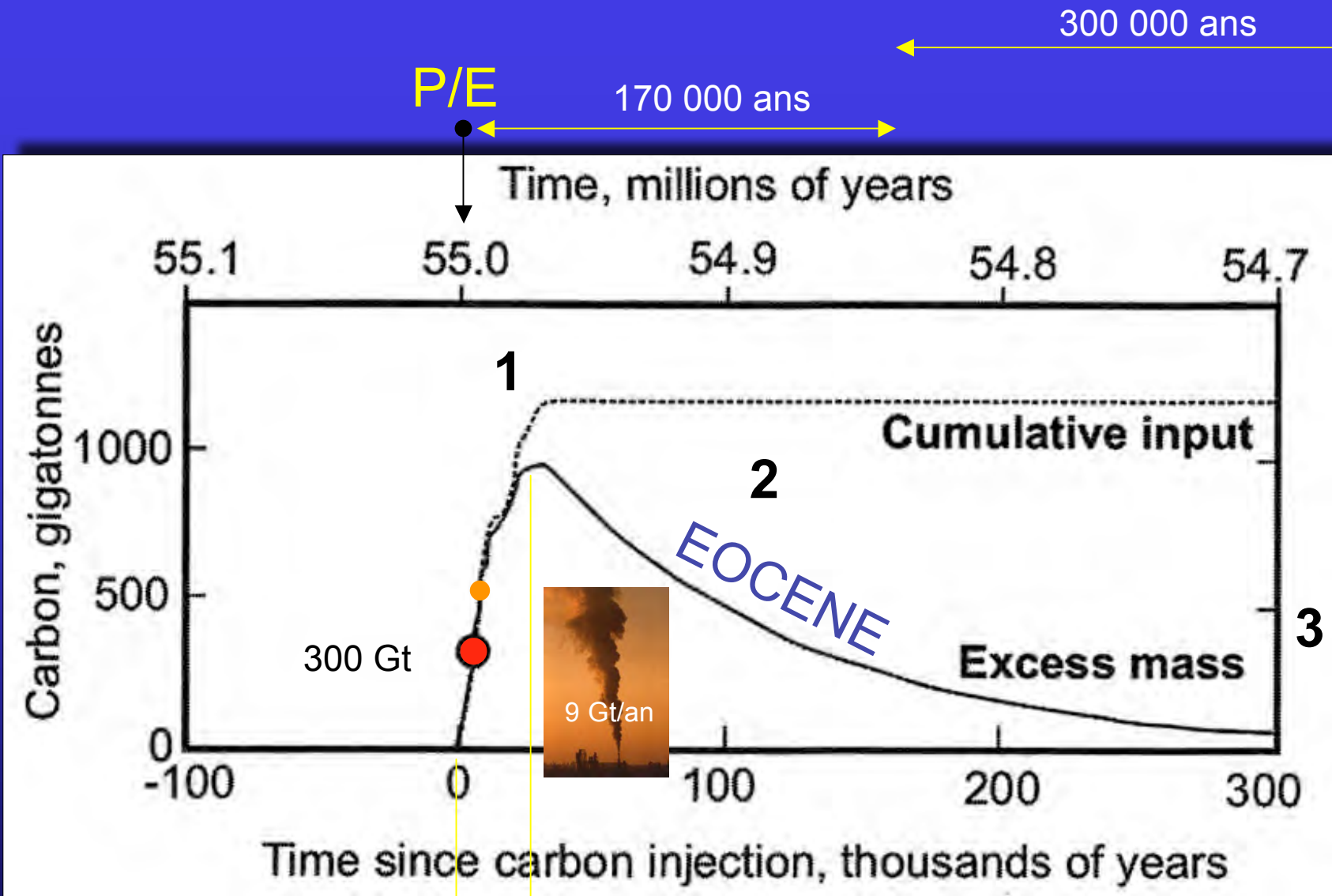
1

1

Les conséquences de cet événement (très rapide) s'estompent en moins de 300 000 ans

Les effets (T° , diminution des carbonates, de la MO, acidification y compris dans les bassins profonds...) sont BIEN MARQUES pendant 170 000 ans

Ces événements font DONC suite au largage de 2000GtC pendant 10 000ans ($T^\circ = +5^\circ\text{C}$)
pH7,6 et $\text{CO}_{2\text{atm}}$ 1800ppm (simulation)

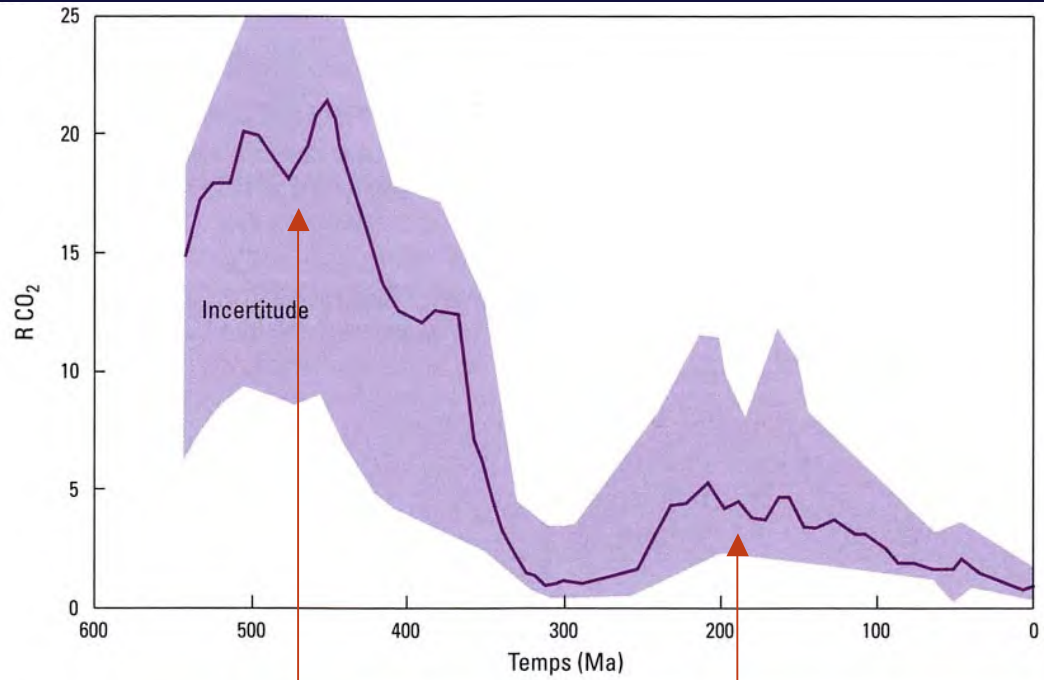


Dickens 1999

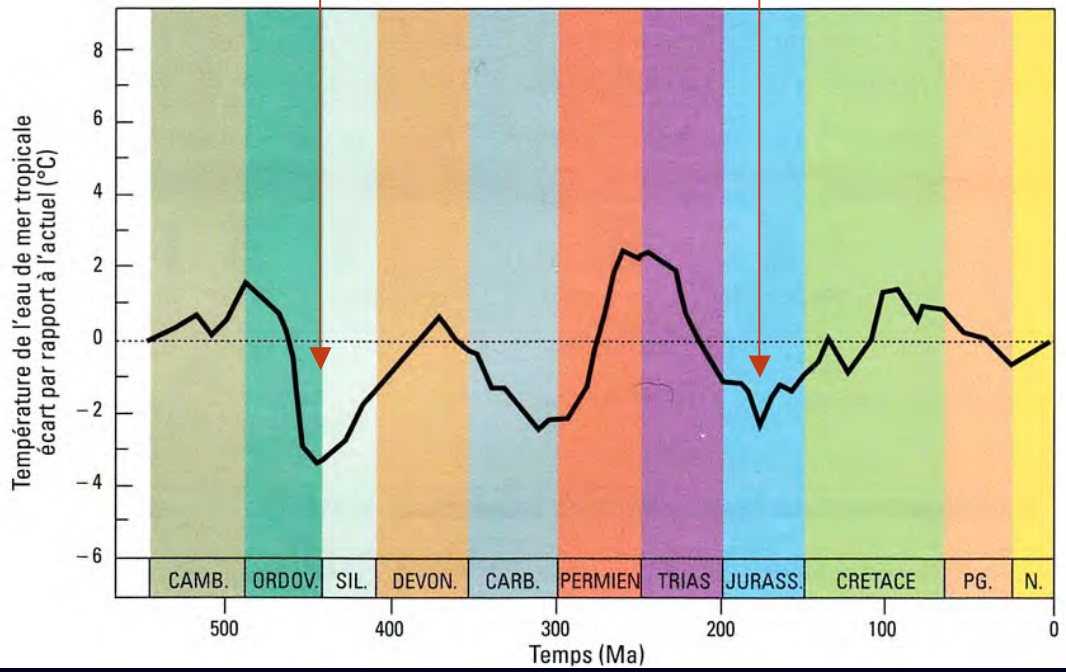
Injection pdt deux périodes de 1000ans de 1500 à 2000GtC lors du PETM de 10 000 à 20 000ans

CO₂ atm

T° eau de mer
en surface,
Tropiques



Berner 1998 Geocarb



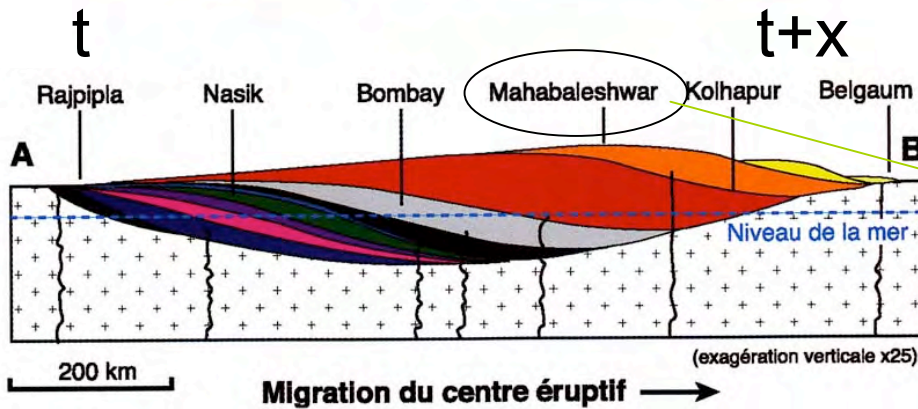
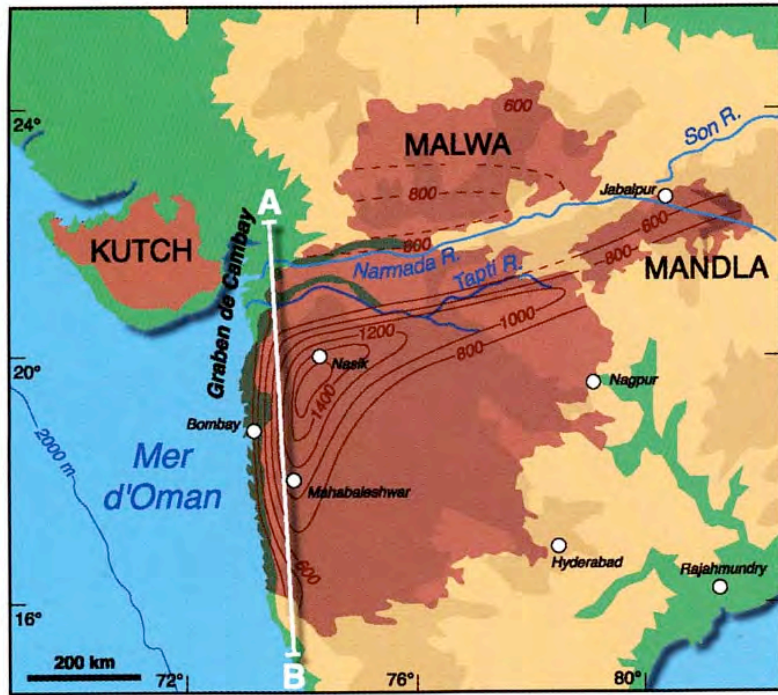
Veizer et al 2000

TRAPS DU DECCAN

3000m (+1000m érodé)
 500 000km²
 soit 2 millions km³
 (Panache mantéllique, 1000km diamètre
 Mise en place à -67Ma sous la lithosphère Inde)

Au début: 30 à 70Ma?
 ensuite...

= paléomagnétisme
 1800m dans un MEME épisode de
 polarité magnétique inverse
 Soit qq milliers d'années



1200m = 70 coulées de laves
 en 6 paquets ou 'PULSES'
 de 50 à 200m => certains paquets
 = 2000 à ?10000km³
 => petit nombre d'éruptions majeures
 mises en place en qq 10' années

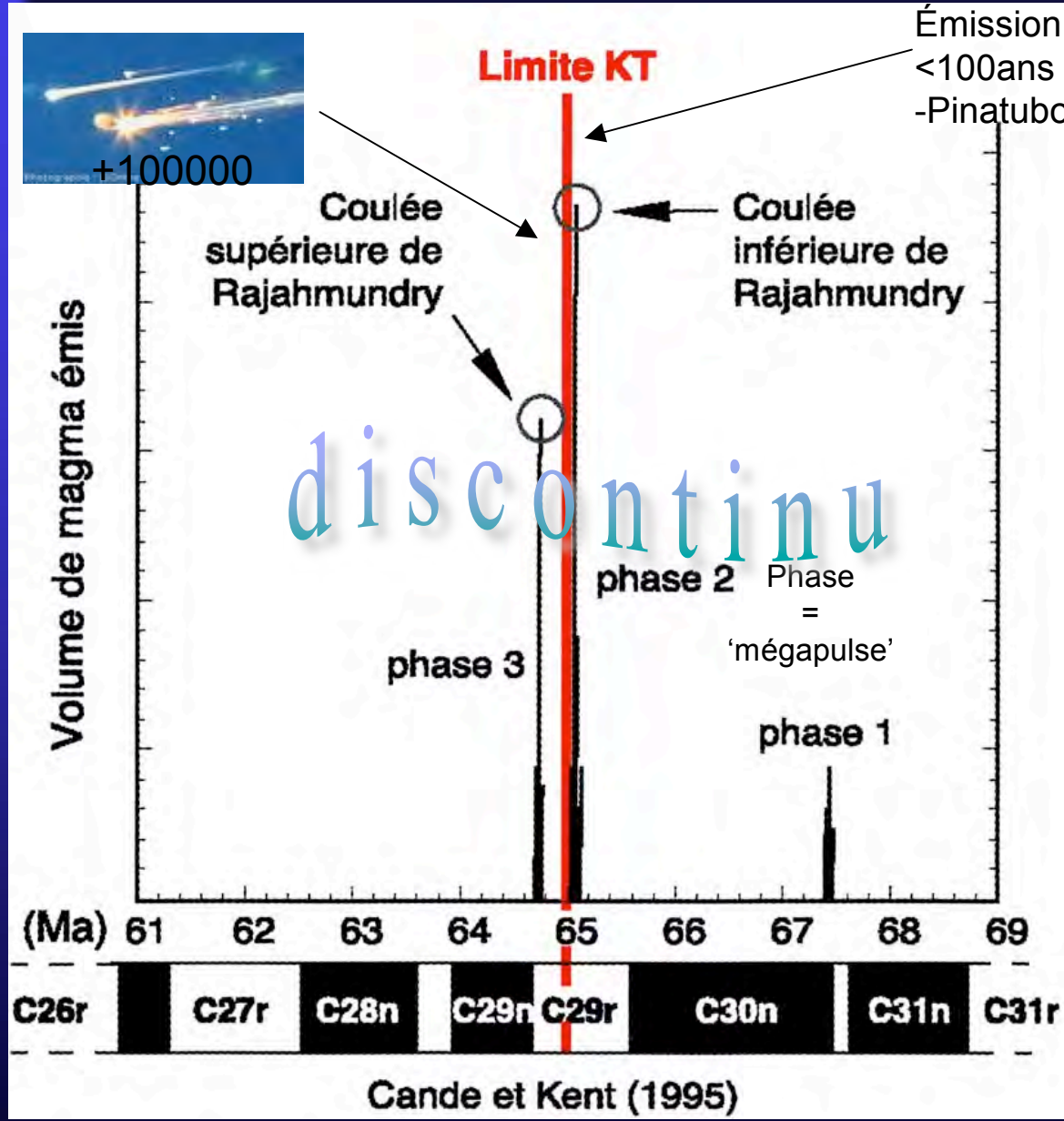
Q? Quel est le temps entre les paquets?
 R! =! Red Boles <1000ans (sont peu nbx),
 les plus fins (qq dm) <10-100ans

CONCLUSION les 3000m < 10000ans
 et non 10'Ma estimés en 1980

Courtilot 2009

Groupe	Sous groupe	Formation	Code	Pol.
PLATEAU BASALTIQUE DU DECCAN	WAI	Desur		200m C 29 N C 29 R
		Panhala		
		Mahabaleswar		
		Ambenali		
		Poiadpur		
	LONAVALA	Bushe		1800m
		Khandala		
	KALSUBAI	Bhismashankar		
		Thakurvadi		
		Neral		
		Igatpuri		
		Jawahar		

CONCLUSION les 3000m < 10000ans
(dont 180m en 10ans, 40 m en 10 ans ...)



Emission totale SO₂
=10 000 Gt
soit 20 à 200X
Chicxulub

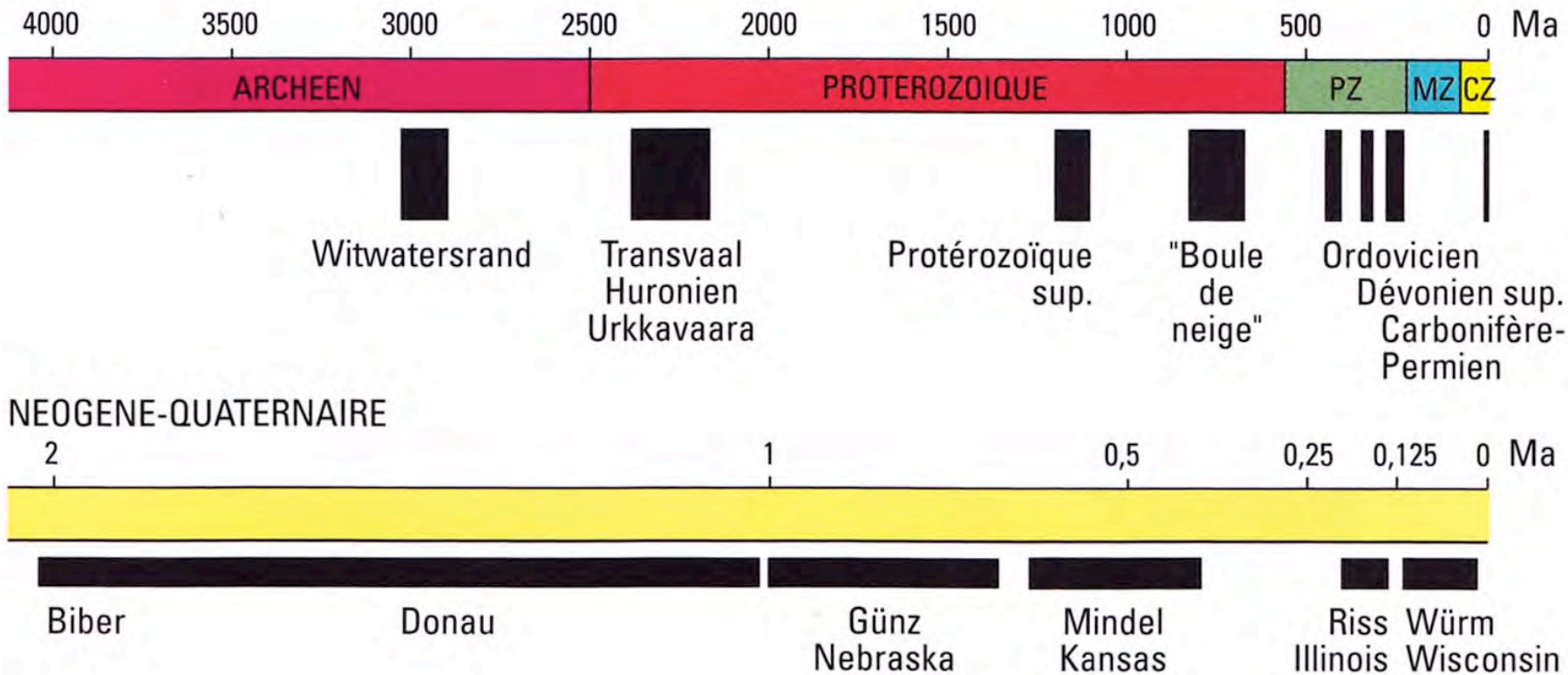


Limite K/T = 64.7Ma ±1%, ±0.6Ma
[65.5±0.3 GTS2008]

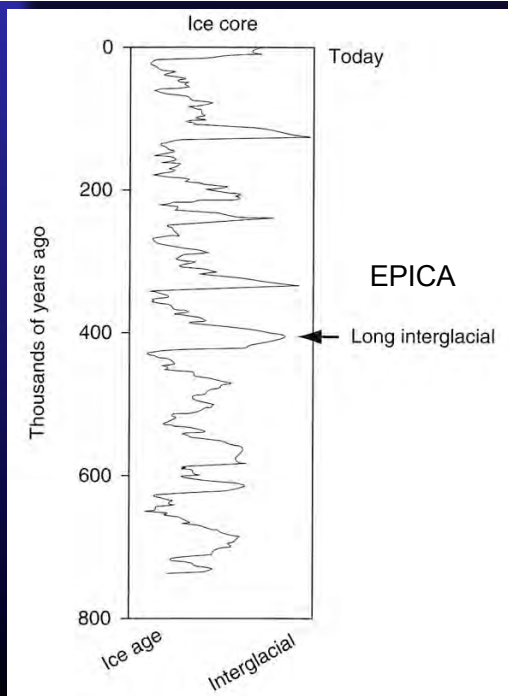
Courtilot 2009

Le volcanisme des traps du Deccan s'étale finalement sur 2Ma mais n'a été paroxysmal que lors des trois phases ou 'mégapulses' de quelques milliers d'années, les deux principales étant séparées de quelques centaines de milliers d'années

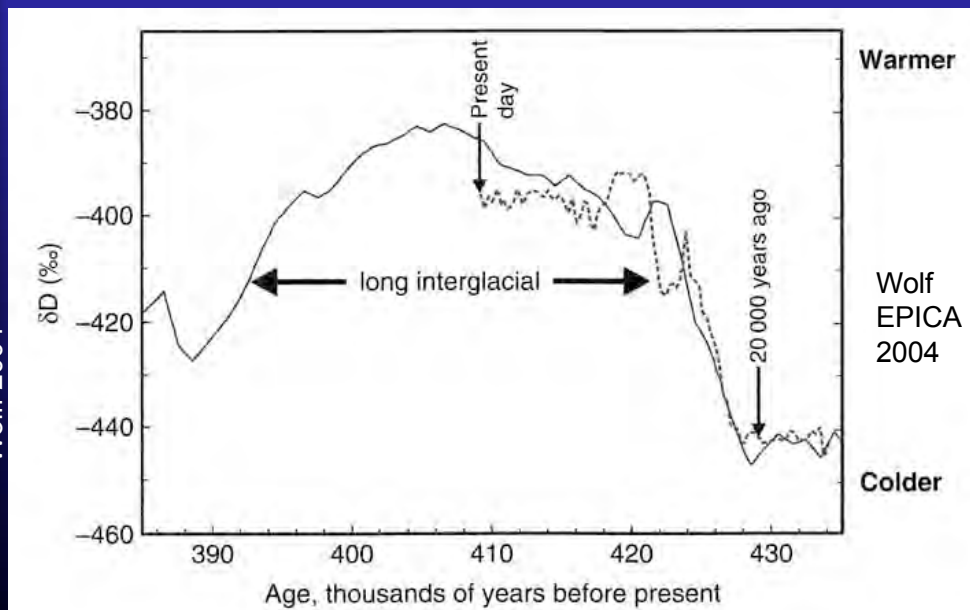




Masclé 2008

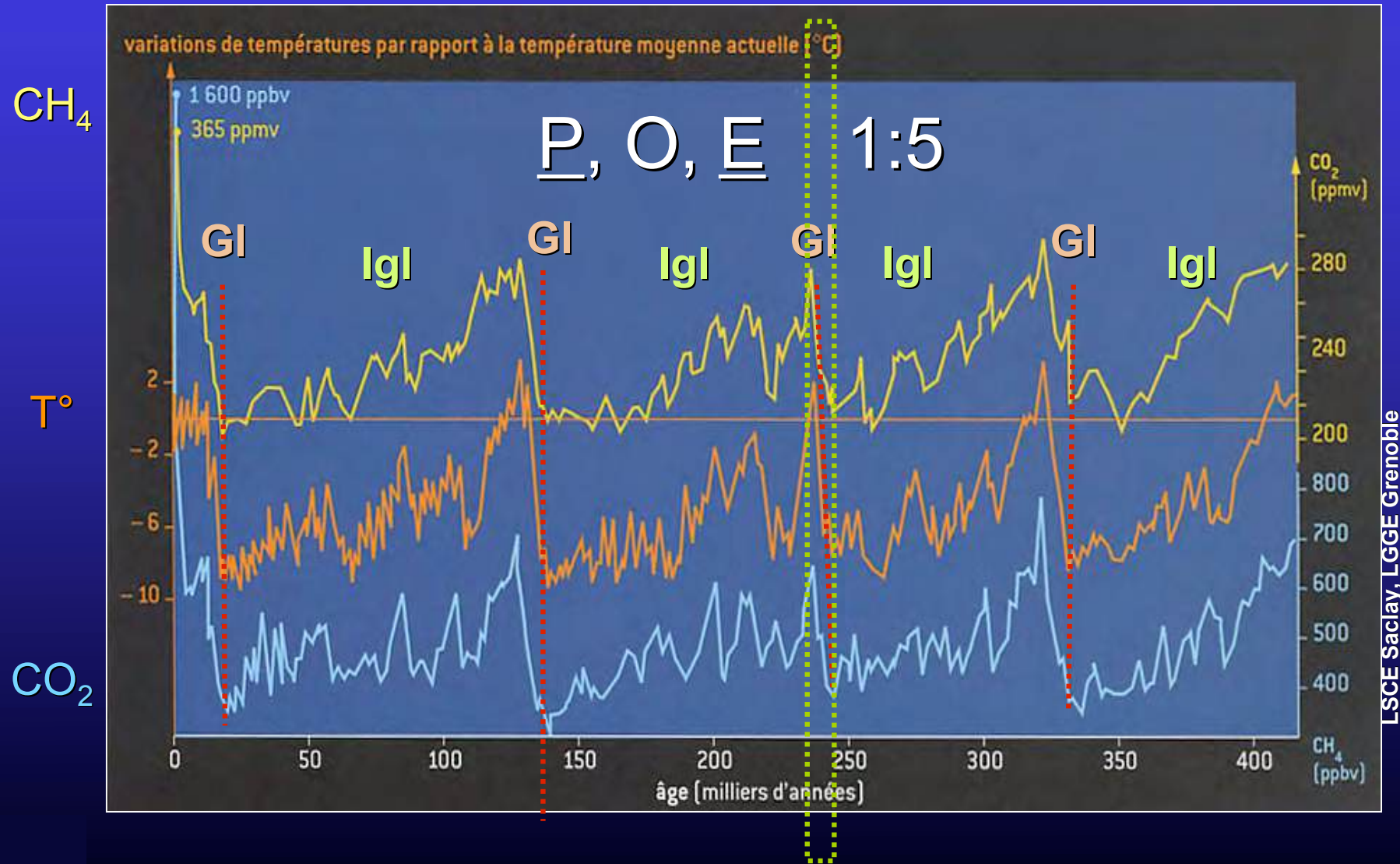


Wolff 2004



Variations couplées T°, CO₂, CH₄ depuis 420 000 ans

Données précises, carottes glaciaires forage VOSTOK, Antarctique
= cycles réguliers de 'M I L A N K O V I T C H' ou variations périodiques
de l'ensoleillement de la Terre ==> RECHAUFFEMENT ACTUEL?...

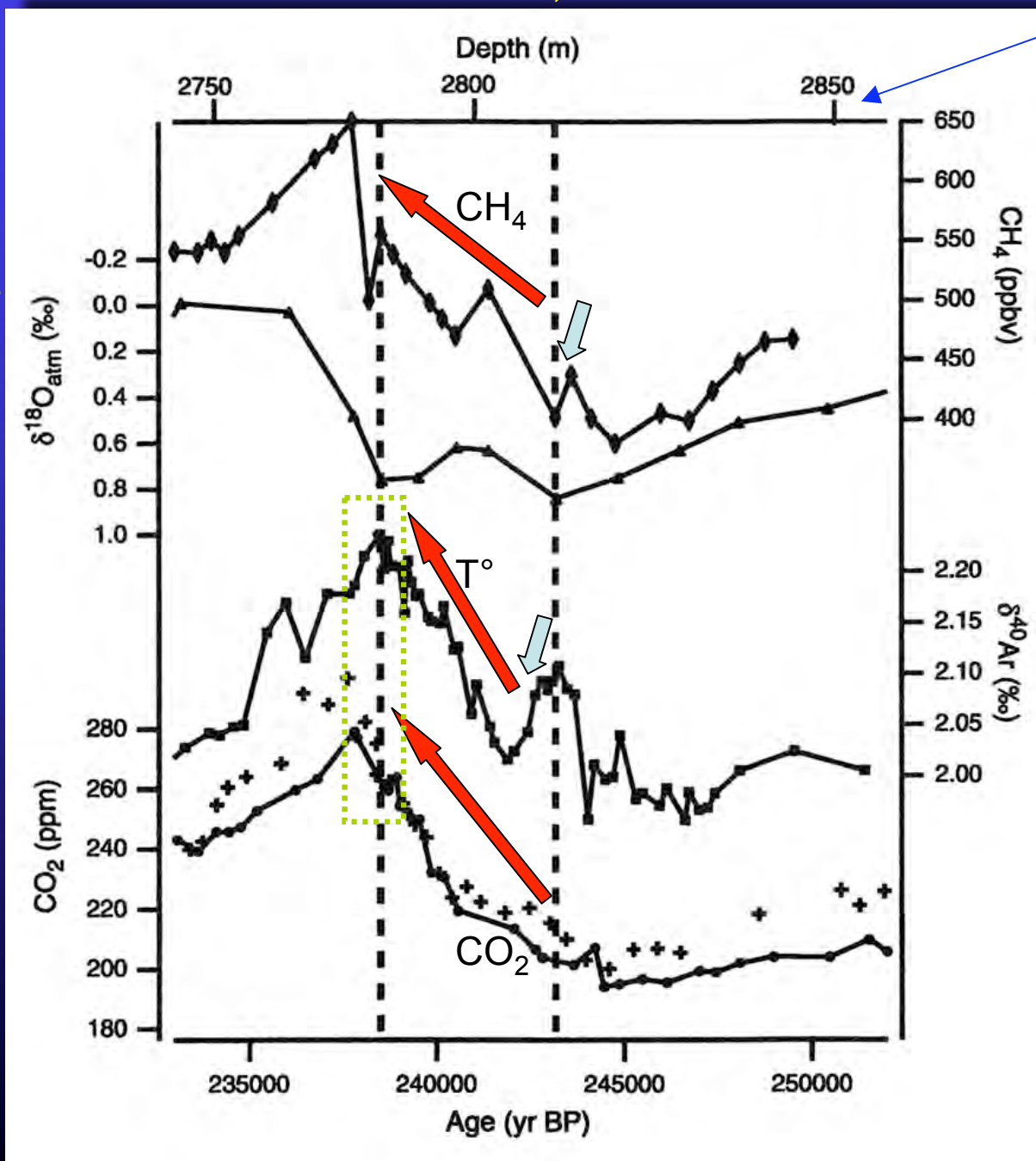


FORAGE DE VOSTOK (ANTARCTIQUE)

0-3310m utile, =>3623m

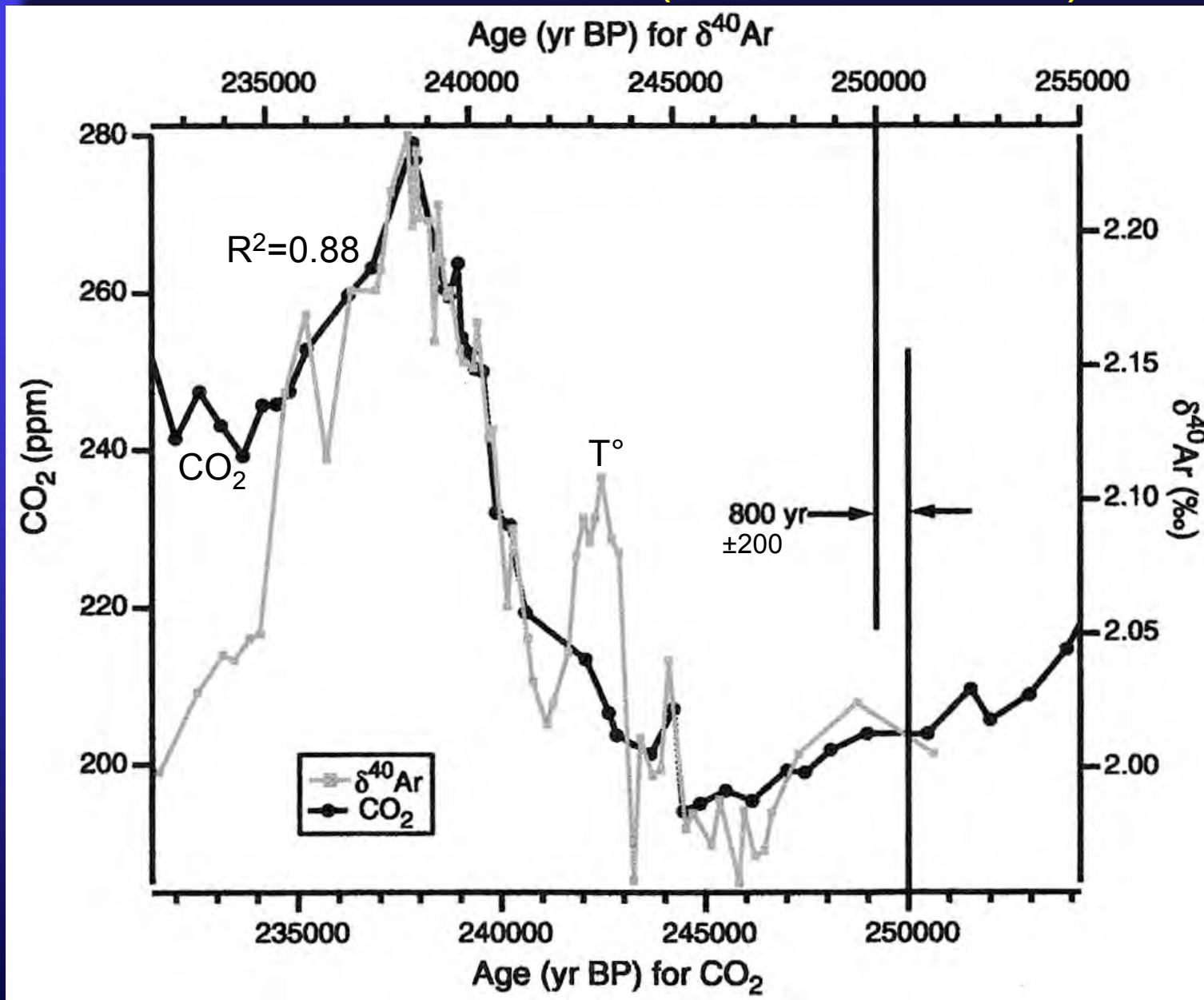
δD (‰)
résolution
10cm = 20ans

- Déglaciation 6000ans avant Hémisphère N
- +150ppmv CH_4 en ± 5000 ans



$\delta^{40}Ar$ (‰) // T°

FORAGE DE VOSTOK (ANTARCTIQUE)



$\delta^{40}\text{Ar} (\text{‰})$
//
T°

Caillon et al 2003, Science vol 299

Le CO₂ n'est PAS le mécanisme forçant à l'origine (= ? insolation)

Ensuite, il exerce un effet 'greenhouse' pendant ± 5000 ans ET précède la déglaciation Hémisphère Nord

Origine: mélange 'vertical' eaux océaniques?, changement surfaces banquises??, productivité biologique....???

A petite échelle, elle est la plus fiable

GEOMETRIE

Elle est compliquée (obliques) et ensuite hyper-compliquée (plissement)

Mais elle doit être calibrée à grande échelle

TEMPS RELATIF ET ABSOLU

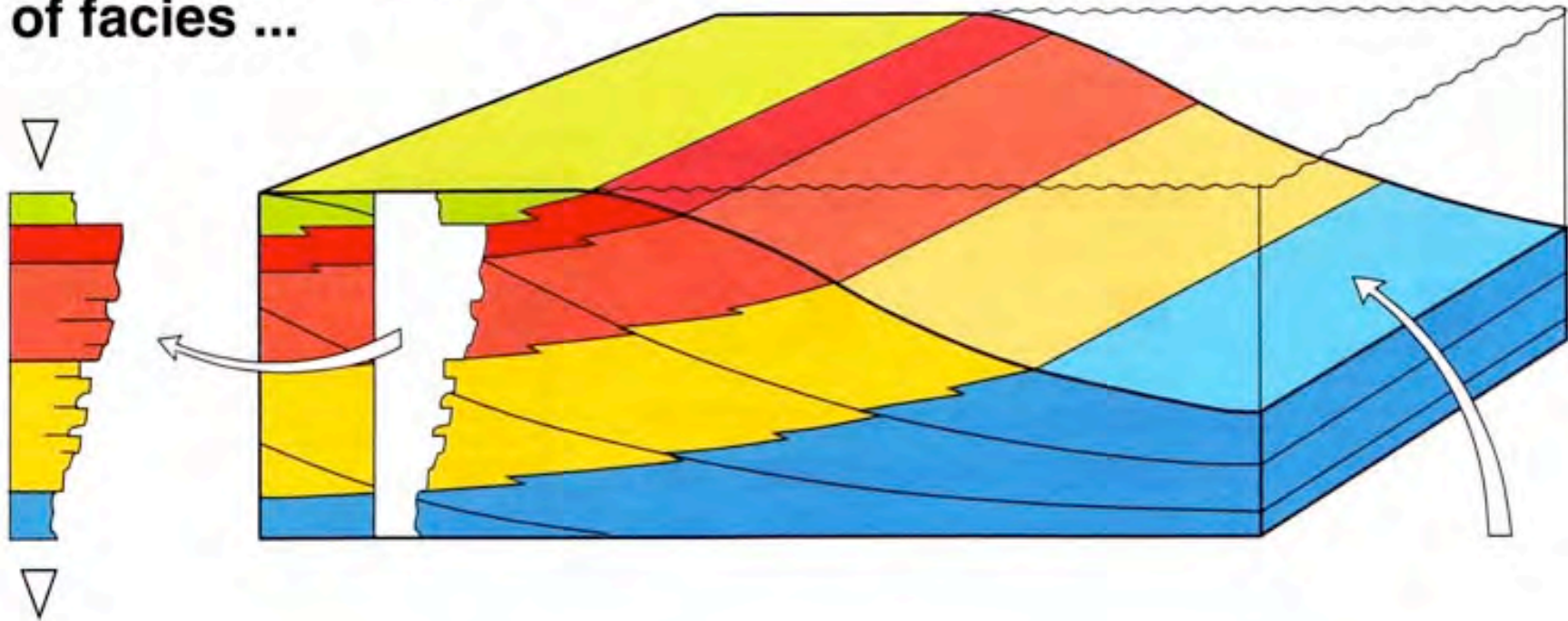
L'enregistrement temporel est l'exception... les séries sont des gruyères temporels

VITESSE-CINETIQUE

Alors seulement les processus peuvent être quantifiés 'spatio-temporellement'

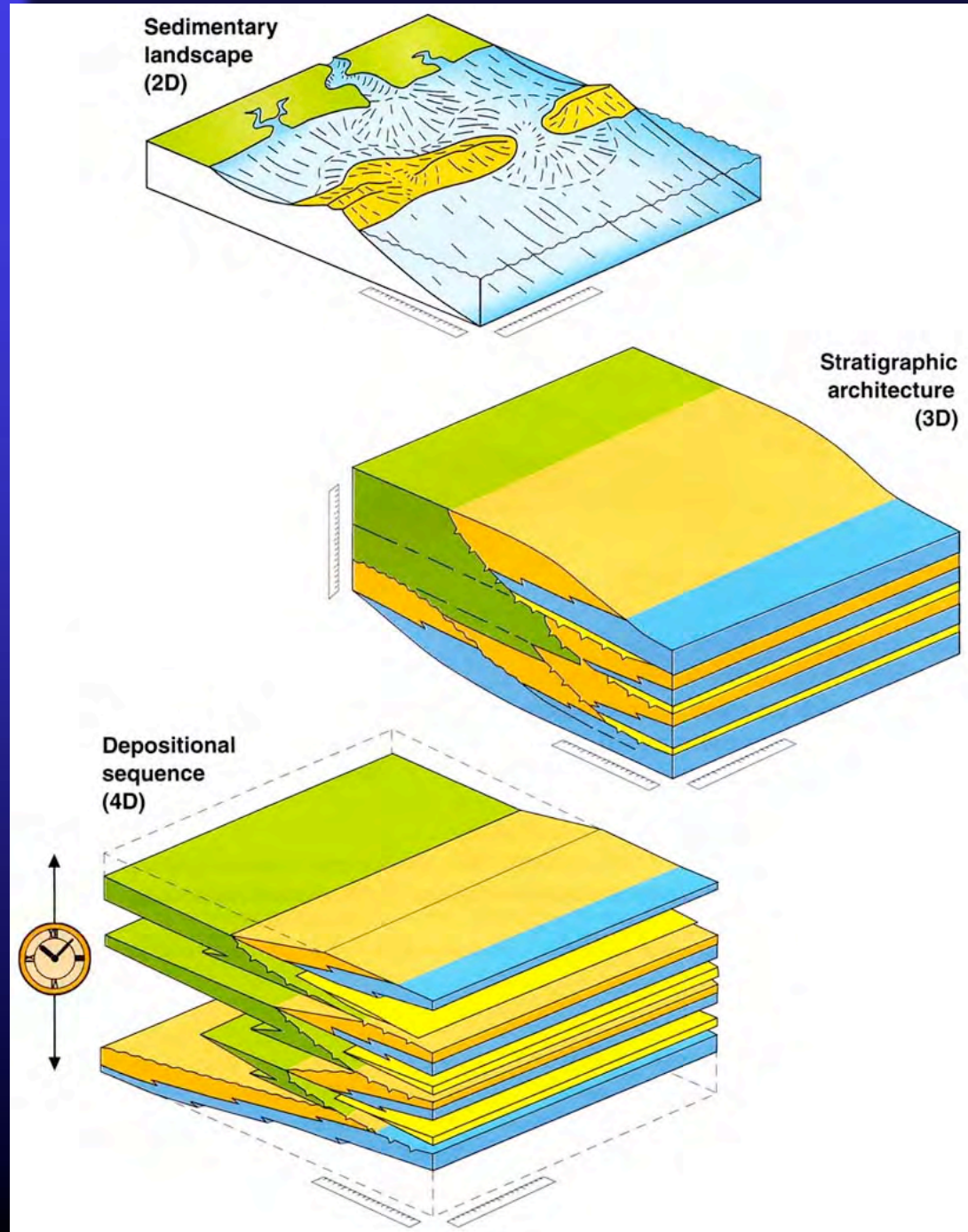
Les couches ne sont pas partout strictement horizontales
Il s'agit plutôt de corps sédimentaires 'sigmoïdes' progradants

A vertical sequence
of facies ...



Terrain > < Sismique (+KISS?)

Le temps n'est presque pas enregistré et cela ne se voit pas



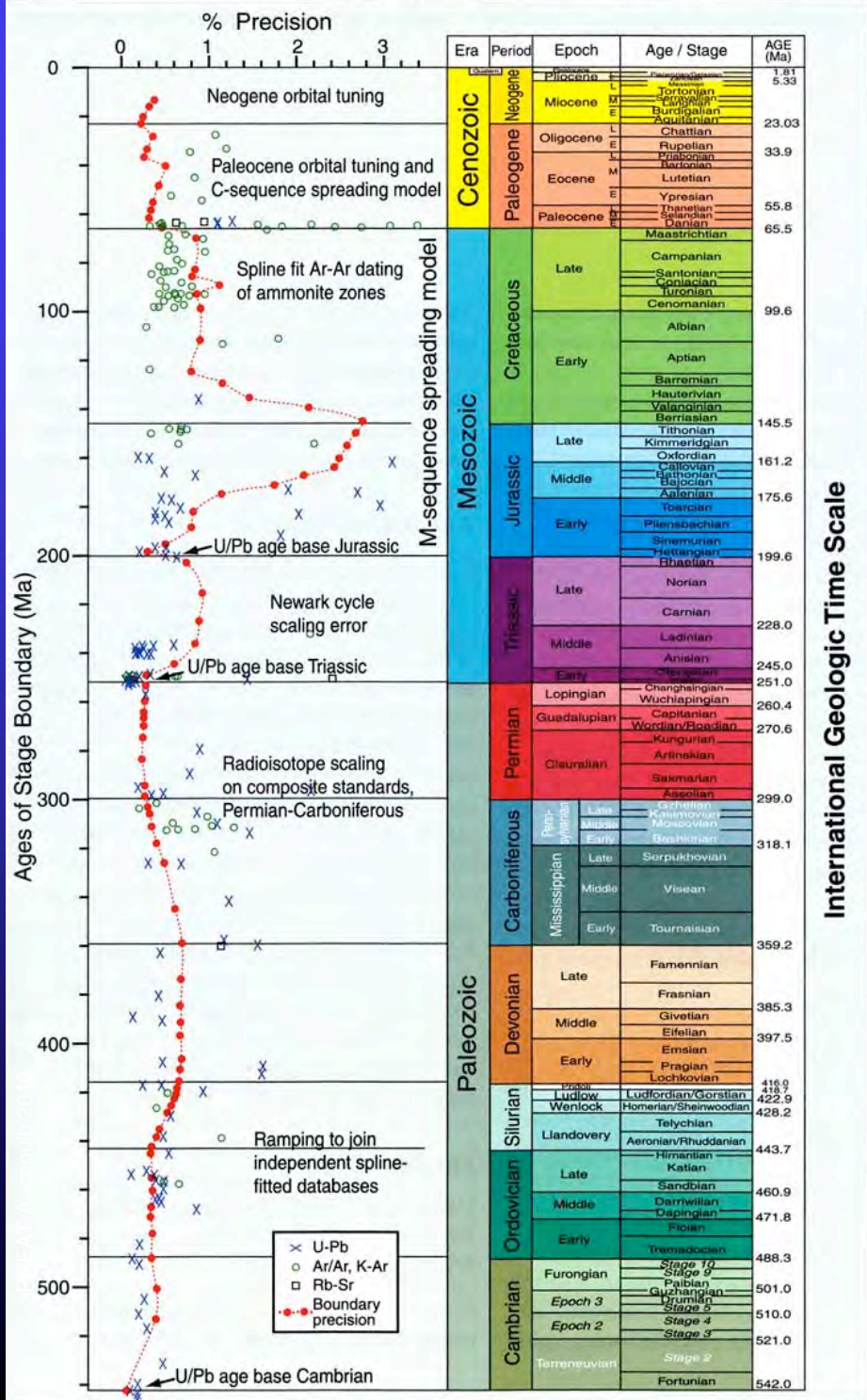
Quelques %



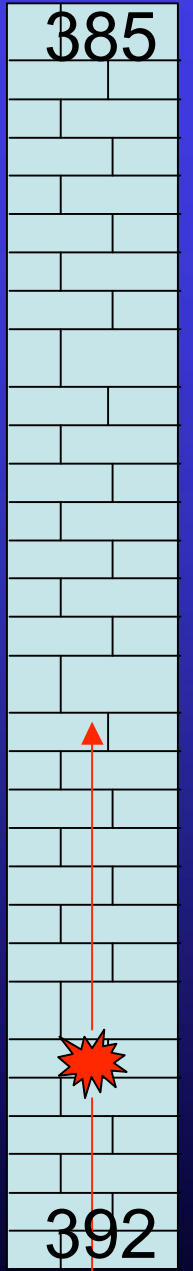
La période de dépôt d'un corps sédimentaire est TRES COURTE et sa surface supérieure correspond à un arrêt de sédimentation avec ou sans érosion, d'une durée 'impossible' à déterminer mais qui est beaucoup PLUS LONGUE que la période de sédimentation

un instantané géologique?
(sur 10'km)

Resolution of Geologic Time (GTS2004 uncertainties)



450m



GTS août 2004 (2008)



chronologie absolue = 'imprécis...'

A petite échelle, elle est la plus fiable

GEOMETRIE

Elle est compliquée (obliques) et ensuite hyper-compliquée (plissement)

Mais elle doit être calibrée à grande échelle

TEMPS RELATIF ET ABSOLU

L'enregistrement temporel est l'exception... les séries sont des gruyères temporels

VITESSE-CINETIQUE

Alors seulement les processus peuvent être quantifiés 'spatio-temporellement'

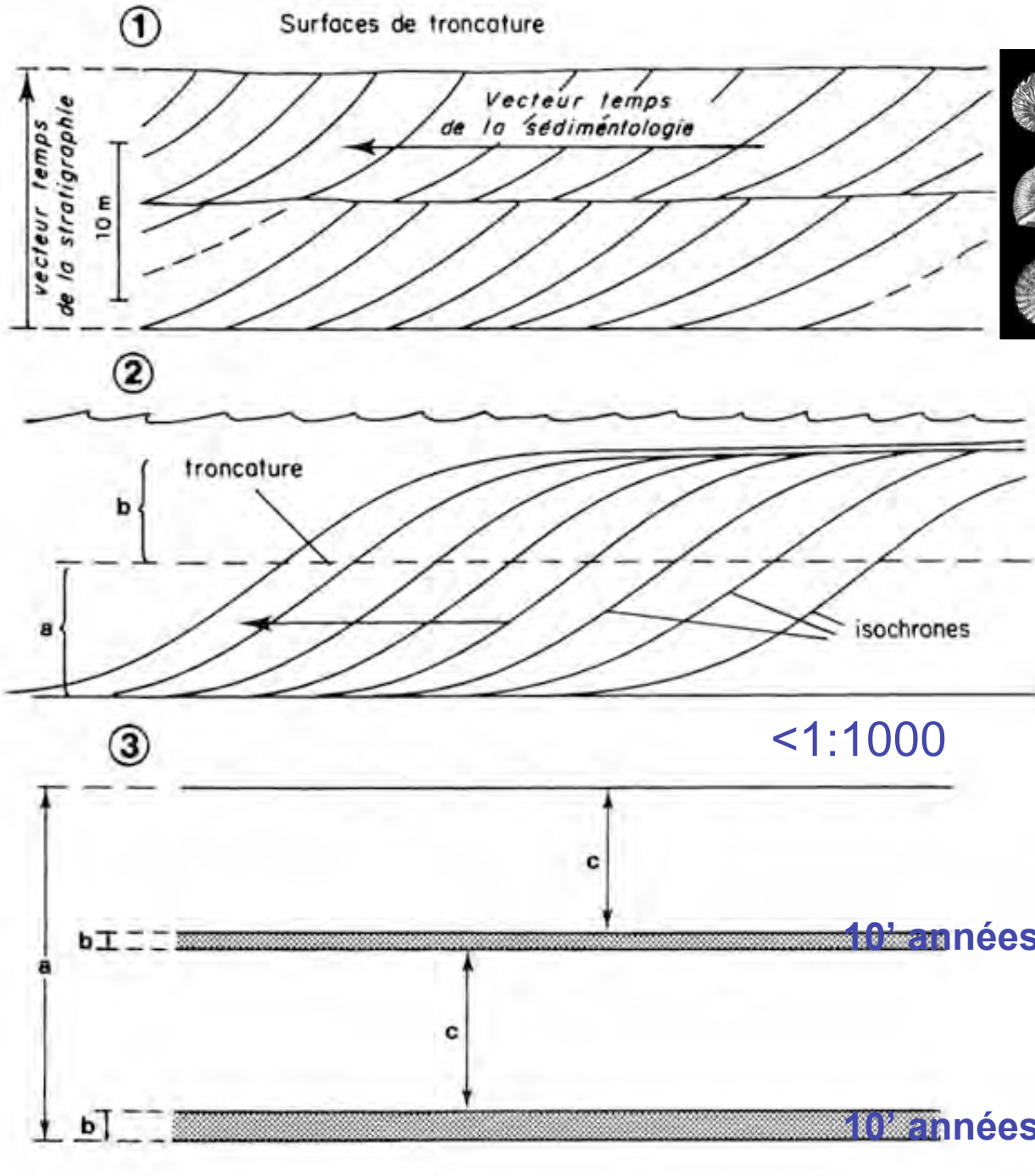
« STRATIGRAPHY MAY BE DEFINED AS THE COMPLETE TRIUMPH OF TERMINOLOGY OVER FACTS AND COMMON SENSE! » ...



A. Gale in Selley 1996



Calcaires crinoïdiques bajociens de Bourgogne



200 000 ans

