

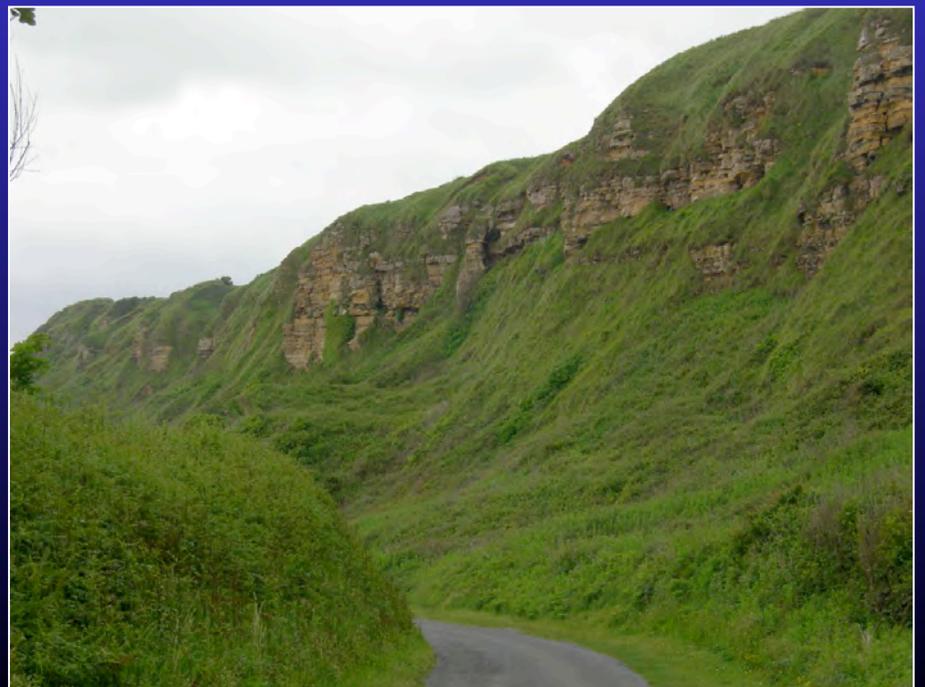
L'ENREGISTREMENT DU TEMPS EN GEOLOGIE

l'intuition prise
en défaut....

Prof. Alain Préat
Géologie-ULB

apreat@ulb.ac.be

DOUR, le novembre 2014





plan de l'exposé

I. 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

impossibilité de l'enseigner...

I. GEOMETRIE => 2. TEMPS REL/ABS => 3. CINETIQUE

Historiquement càd pendant plus de 150 ans

I. TEMPS REL/ABS => 2. GEOMETRIE => 3. CINETIQUE

2. GEOMETRIE

>1960

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

<1800

Ia. TEMPS RELATIF ET Ib. ABSOLU

>1900

Les deux restent indispensables

3. VITESSE

>1980-1990

La cinétique des phénomènes dépend de la résolution temporelle



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

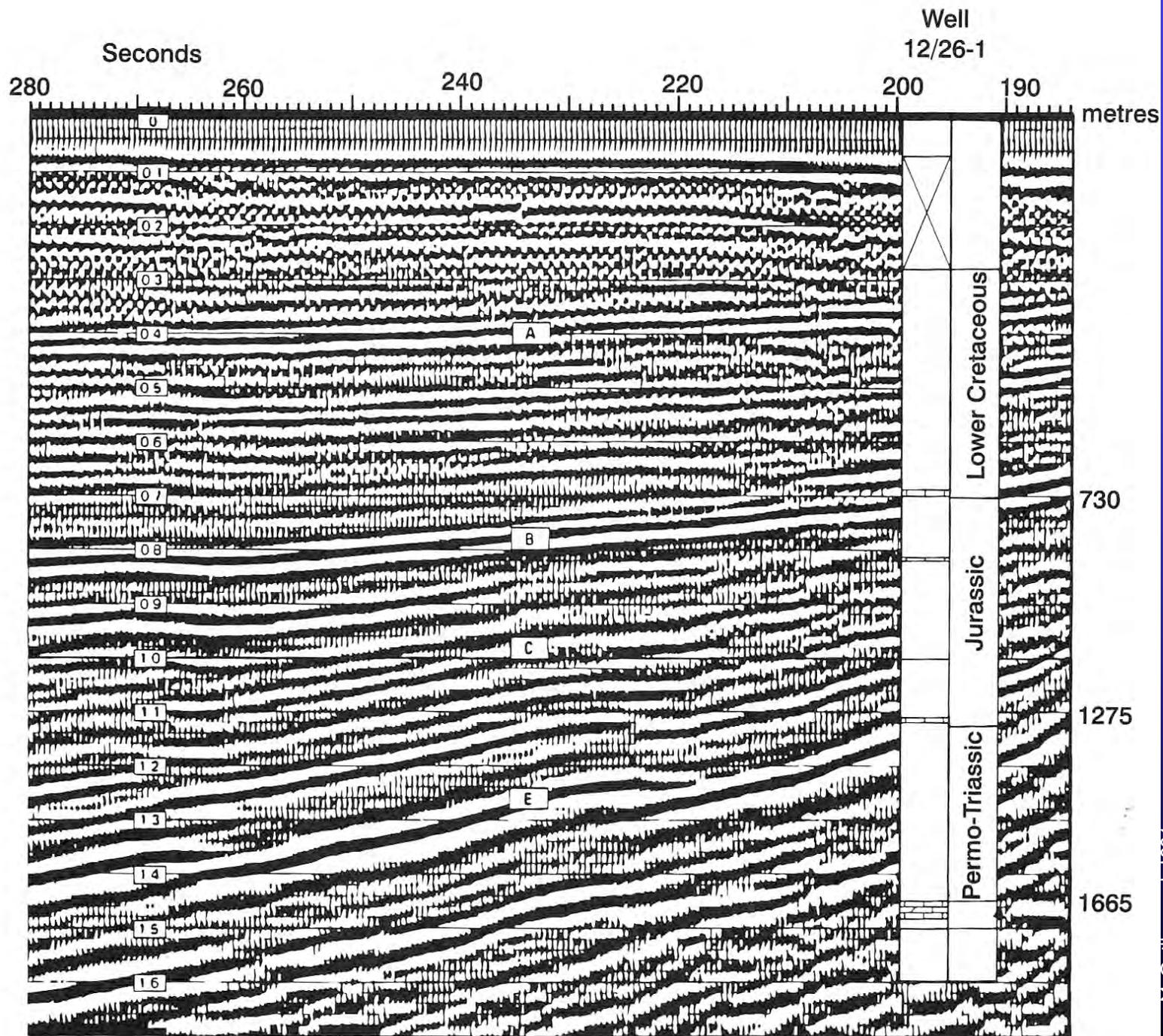
3. VITESSE

La cinétique des phénomènes dépend de la résolution temporelle

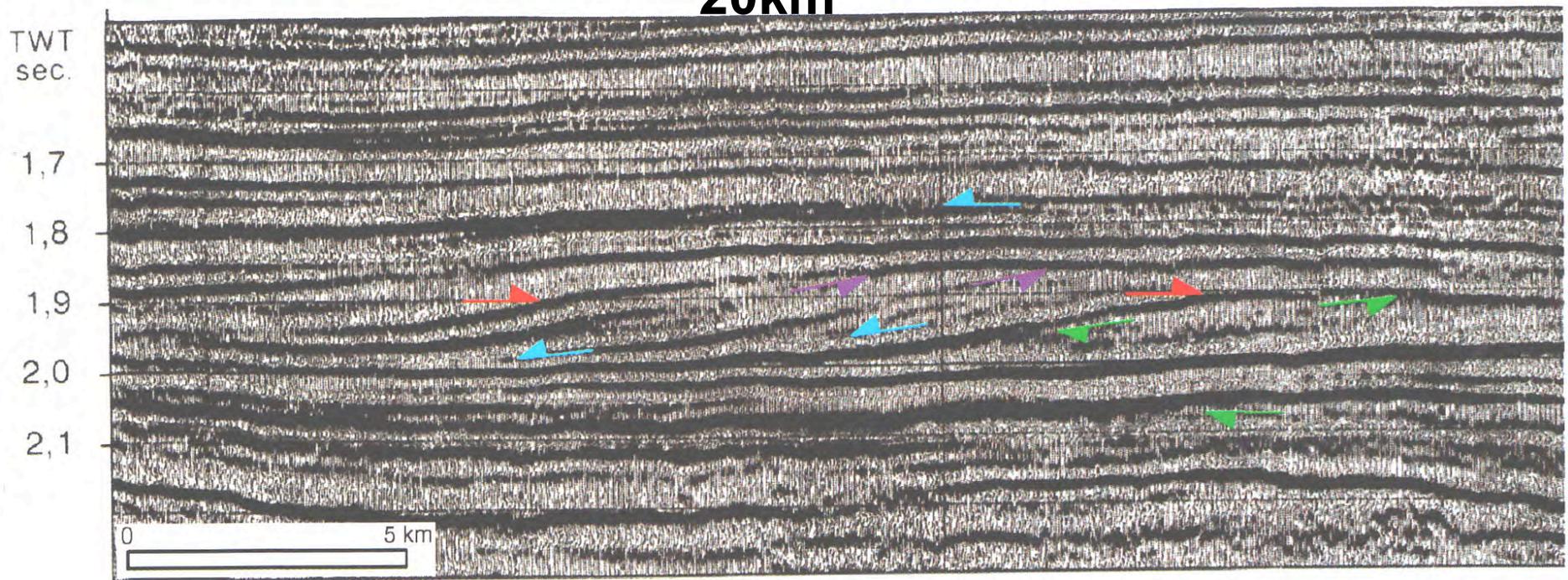
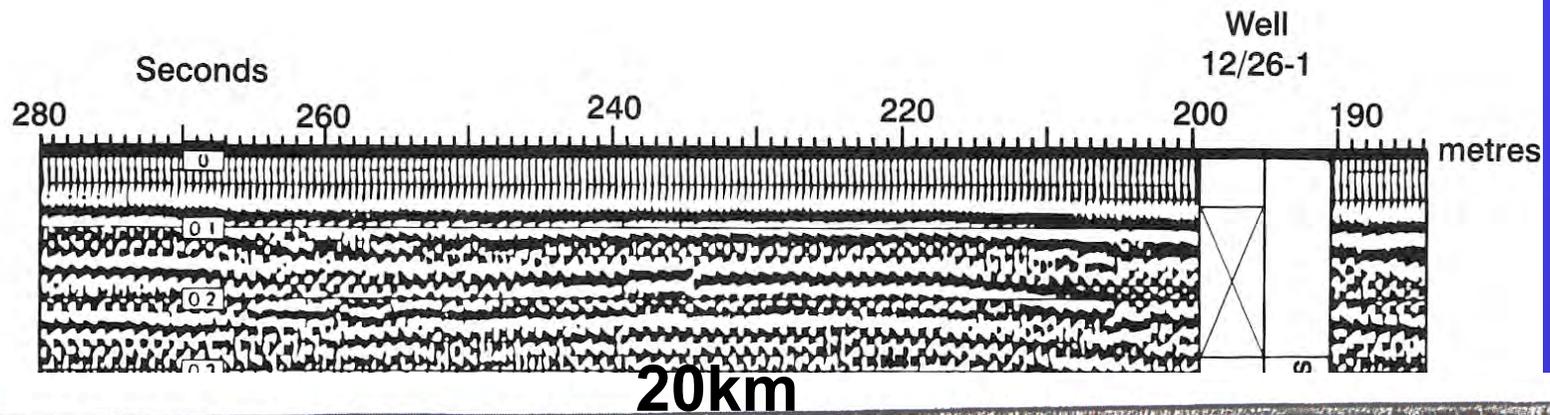
10'-100'km
X 100'm-km'
+'3D'

Vail et al 1977

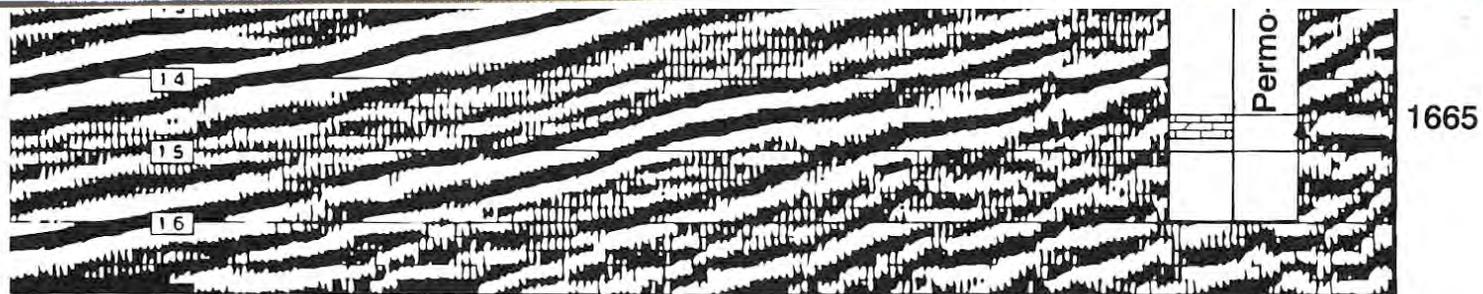
SISMIQUE



McQuillan et al. 1894

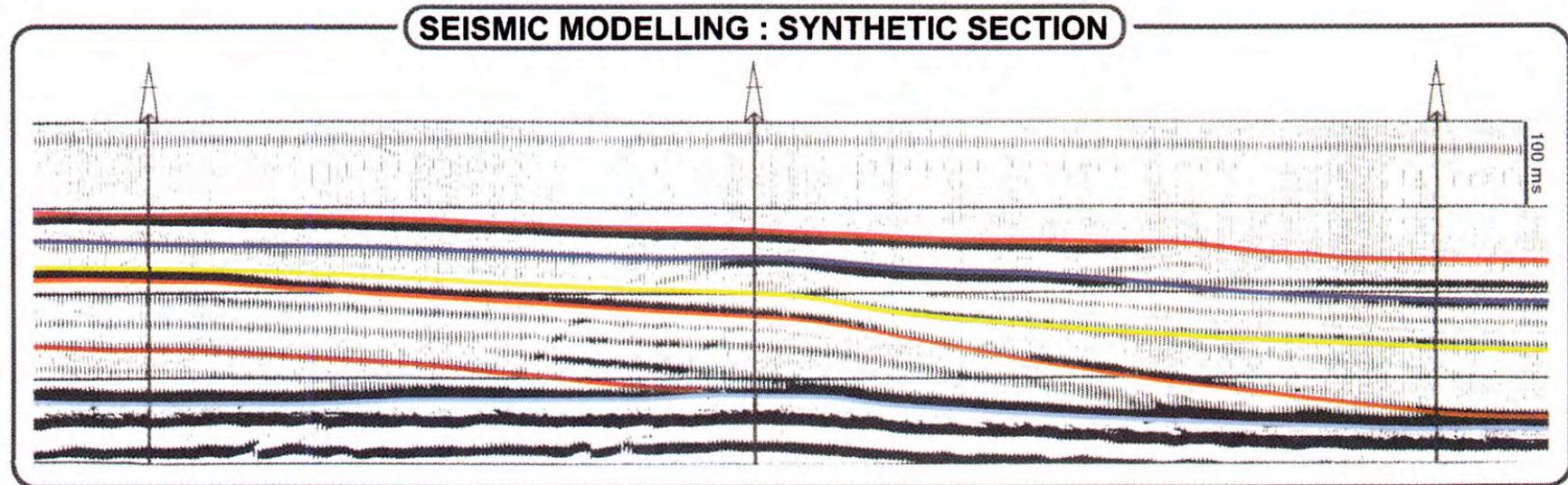
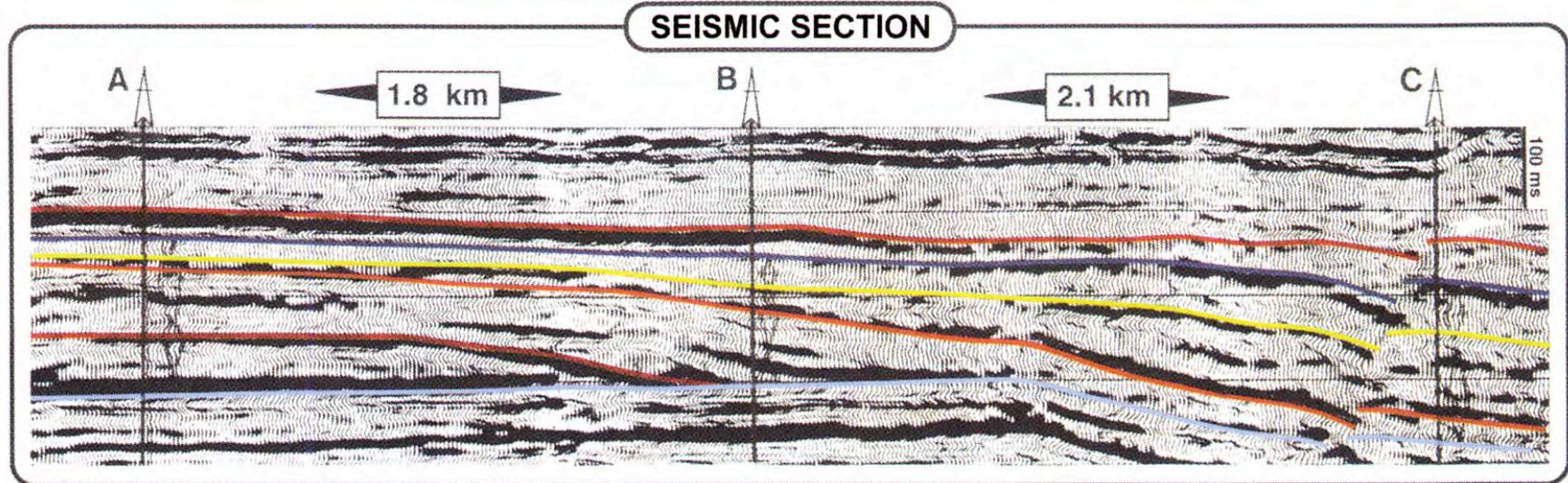


Homewood et al 2000



McQuillan et al. 1894

5km



77° 76° 75° 74° 73° 72°W 41°N

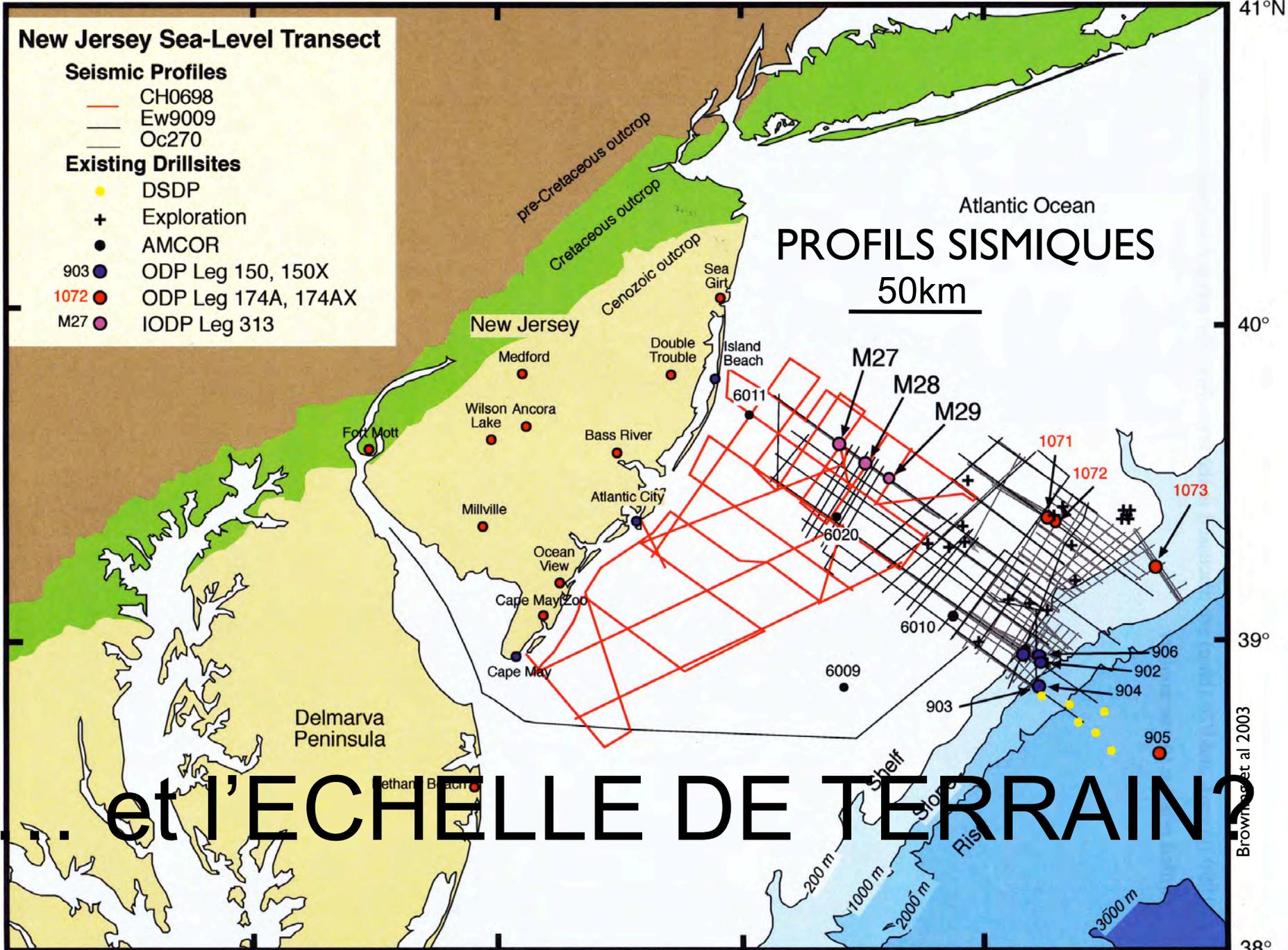
New Jersey Sea-Level Transect

Seismic Profiles

- CH0698
- Ew9009
- Oc270

Existing Drillsites

- DSDP
- Exploration
- AMCOR
- 903 ODP Leg 150, 150X
- 1072 ODP Leg 174A, 174AX
- M27 IODP Leg 313



PROFILS SISMIQUES

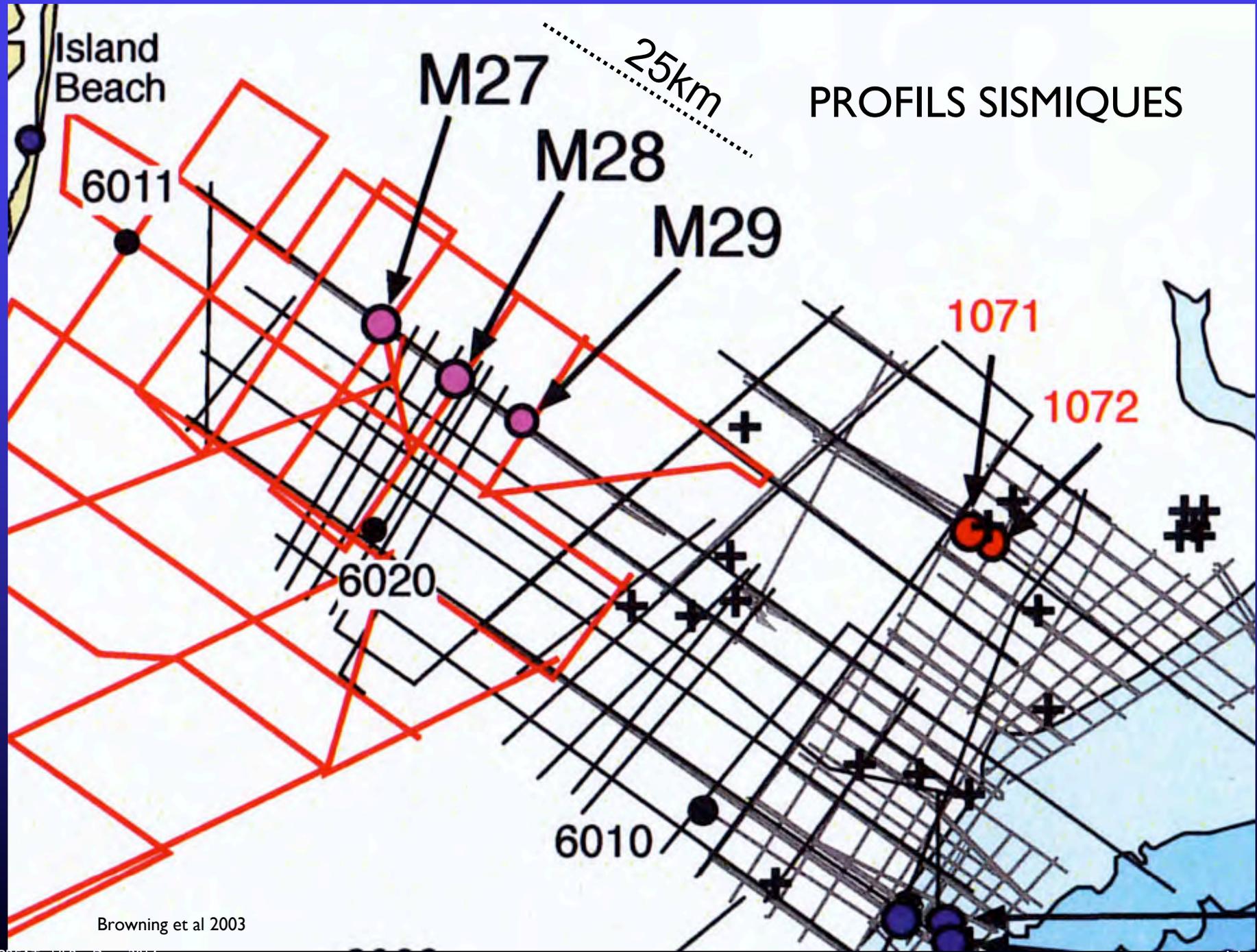
50km

et l'ECHELLE DE TERRAIN?

Brown et al 2003

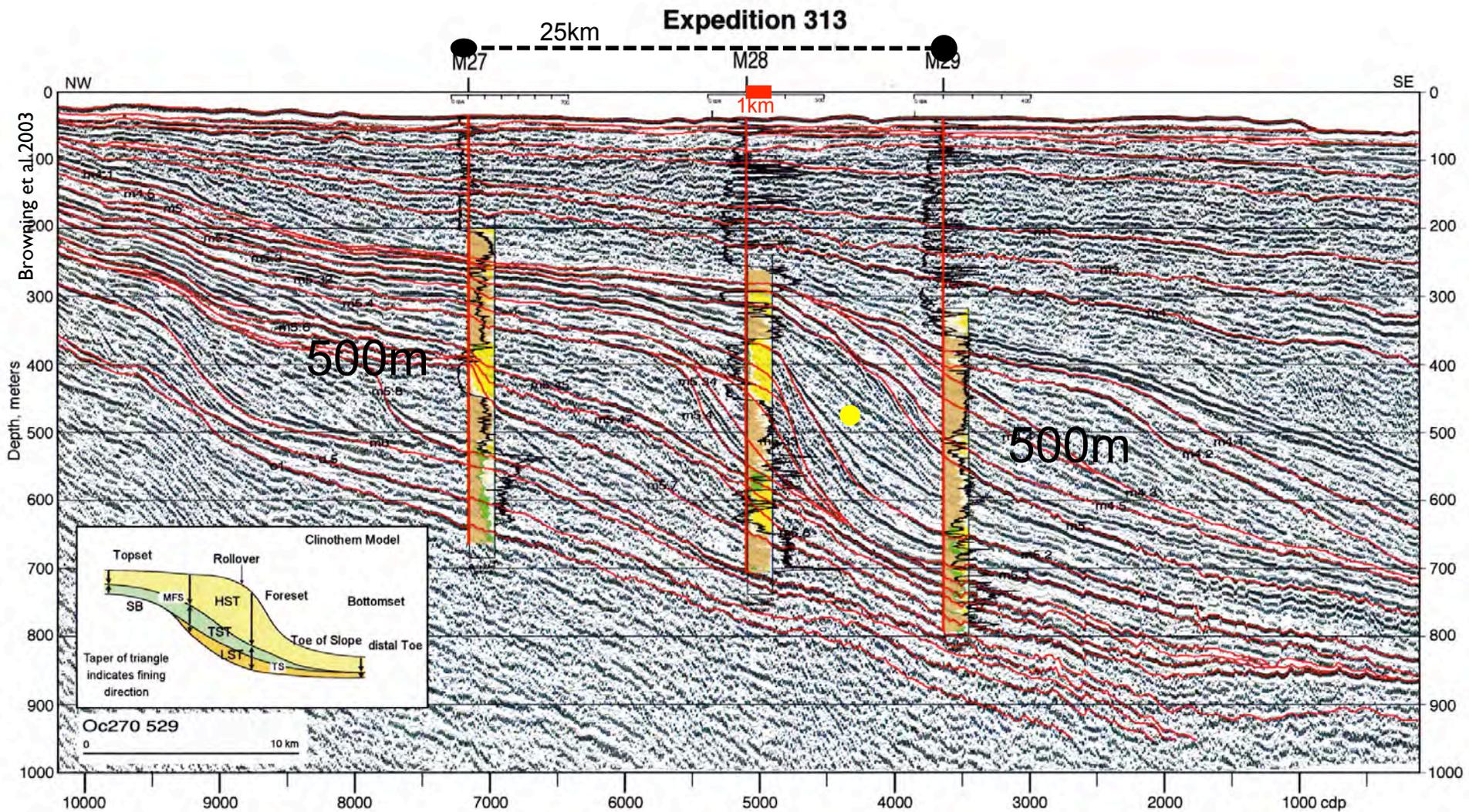
38°

PROFILS SISMIQUES



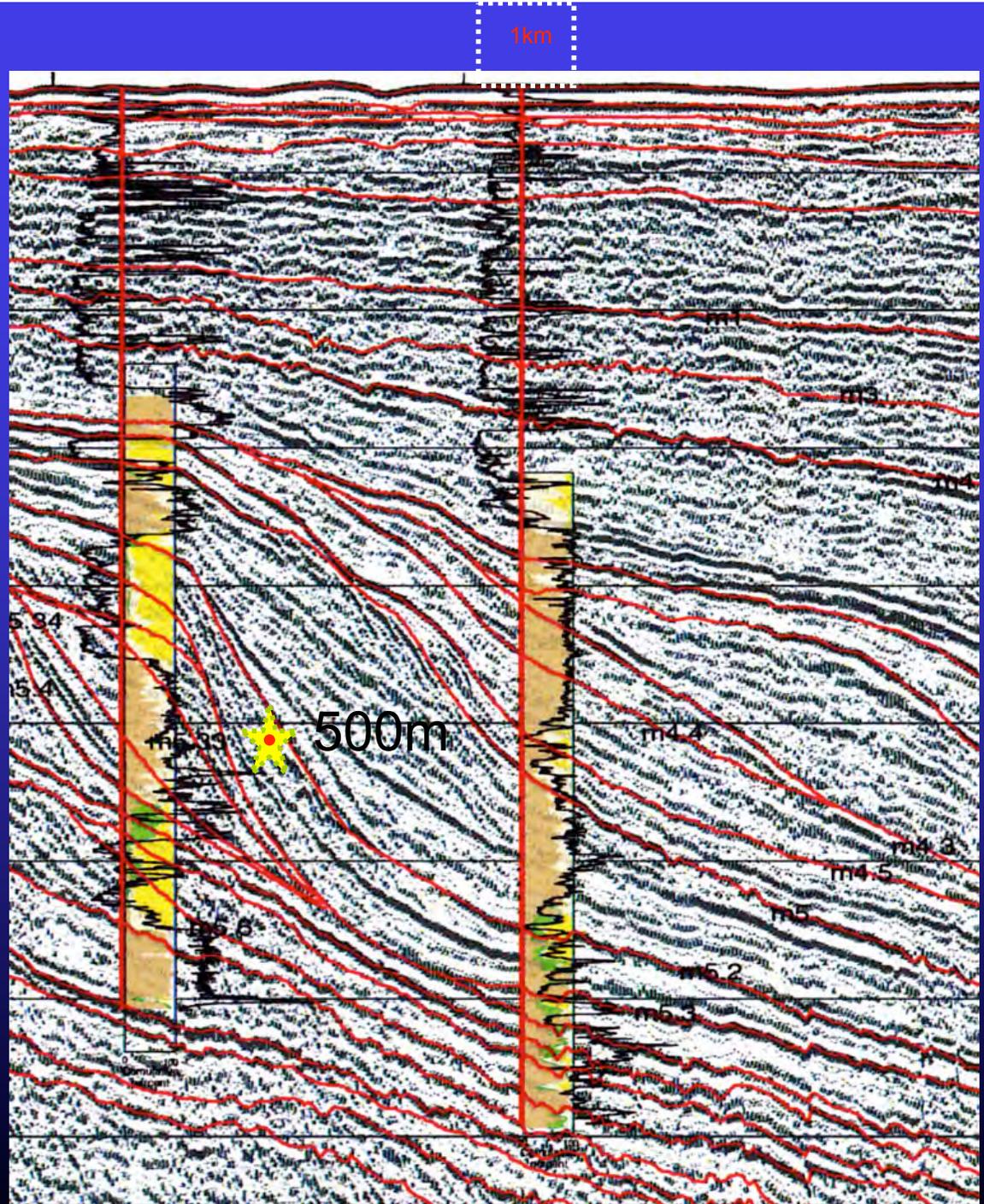
Browning et al 2003

PROFILS SISMIQUES



Eocene-Miocene [...25-11...Ma] à 0.5Ma près

Taux de séd : < 0.1mm/an (à 1mm/an ou 1km/Ma => 14km?) DISCONTINU



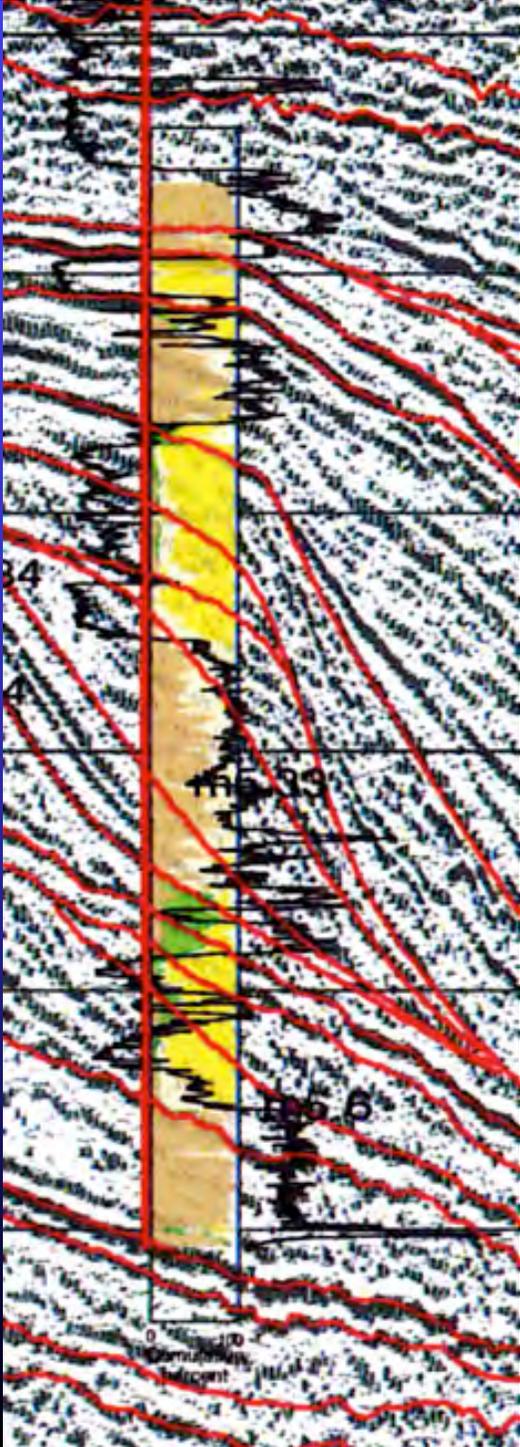
Browning et al 2003

1km

position 'moderne'

- . pas de plissements
- . pas de charriages
- . pas d'érosion
-

500m



Browning et al. 2003

I.GEOMETRIE =>2.TEMPS REL/ABS=>3. CINETIQUE

Historiquement càd pendant plus de 150 ans

I.TEMPS REL/ABS=>2.GEOMETRIE =>3. CINETIQUE

2. GEOMETRIE

>1960

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

<1800

Ia. TEMPS RELATIF ET Ib. ABSOLU

Les deux restent indispensables

>1900

3. VITESSE

>1980-1990

La cinétique des phénomènes dépend de la résolution temporelle



LE TEMPS EN GEOLOGIE

l'intuition prise en défaut....

$T_{x'}$



T_x



0,5
à
5%

Préat 2004

série géologique 'normale' et 'continue'

LE TEMPS EN GEOLOGIE

l'intuition prise en défaut....



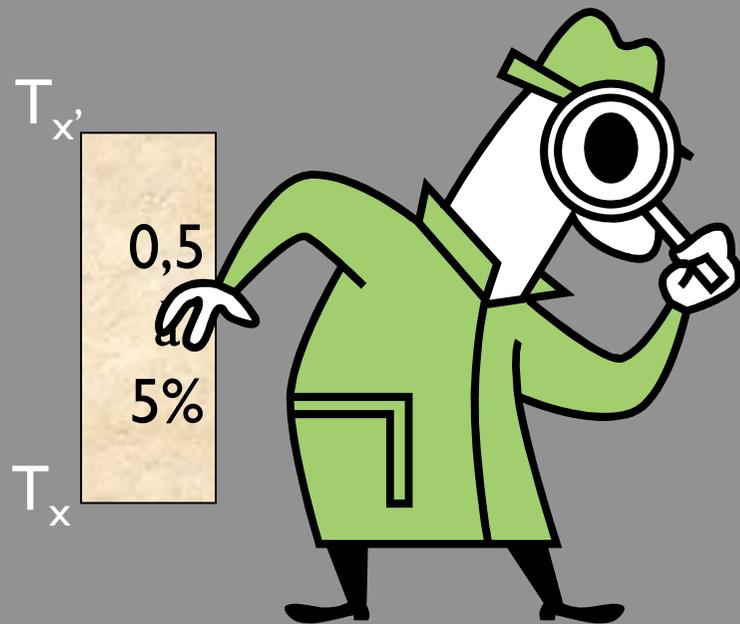
T_x'

0,5
à
5%

Il manque donc 95 à 99,5% du temps

T_x

série géologique 'normale' et 'continue'



- 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')

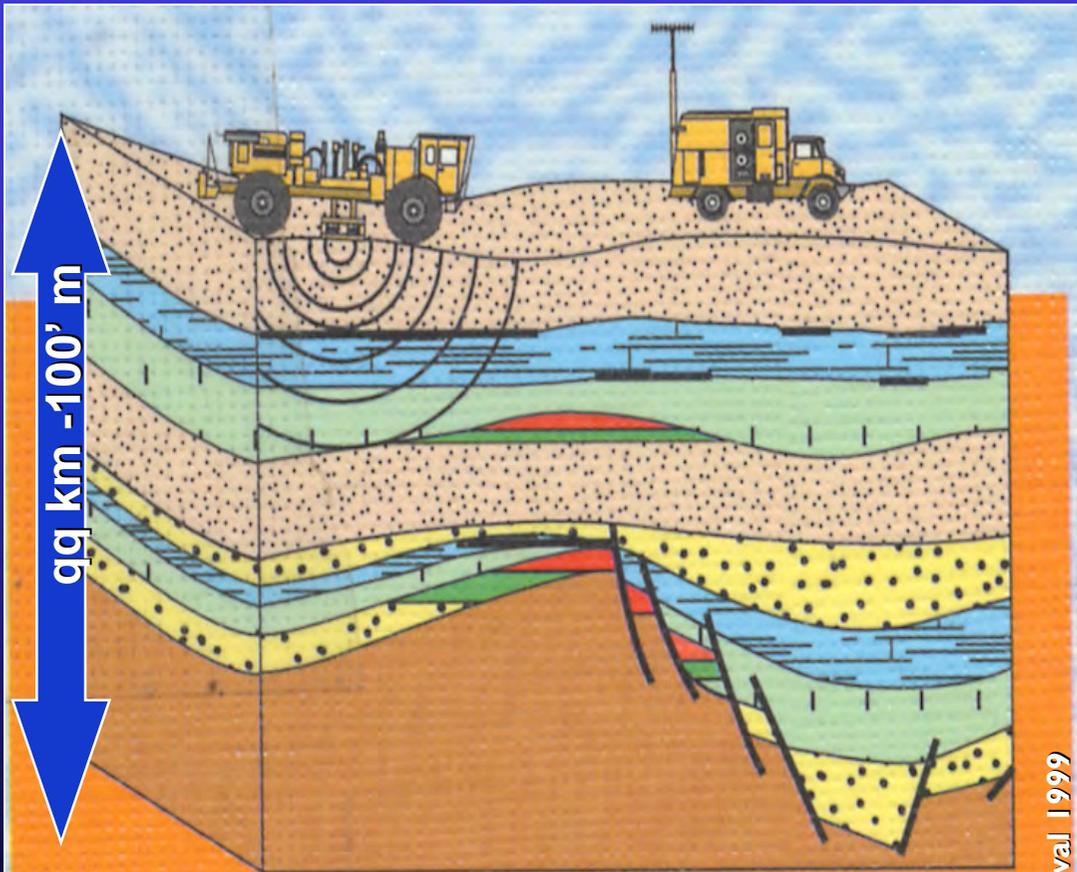
2. TEMPS RELATIF ET ABSOLU

Les deux restent indispensables

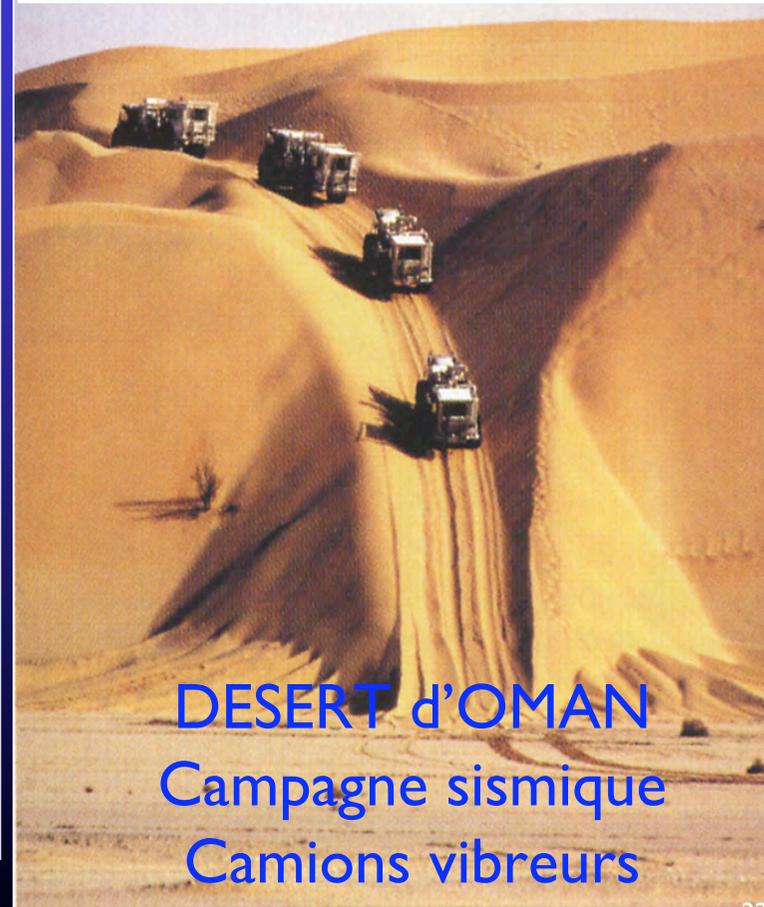
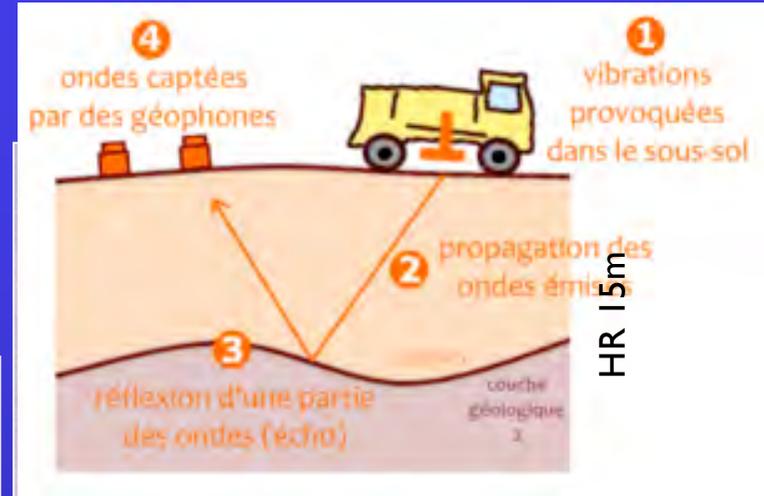
3. VITESSE

La cinétique des phénomènes dépend de la résolution temporelle

LES BASSINS SEDIMENTAIRES

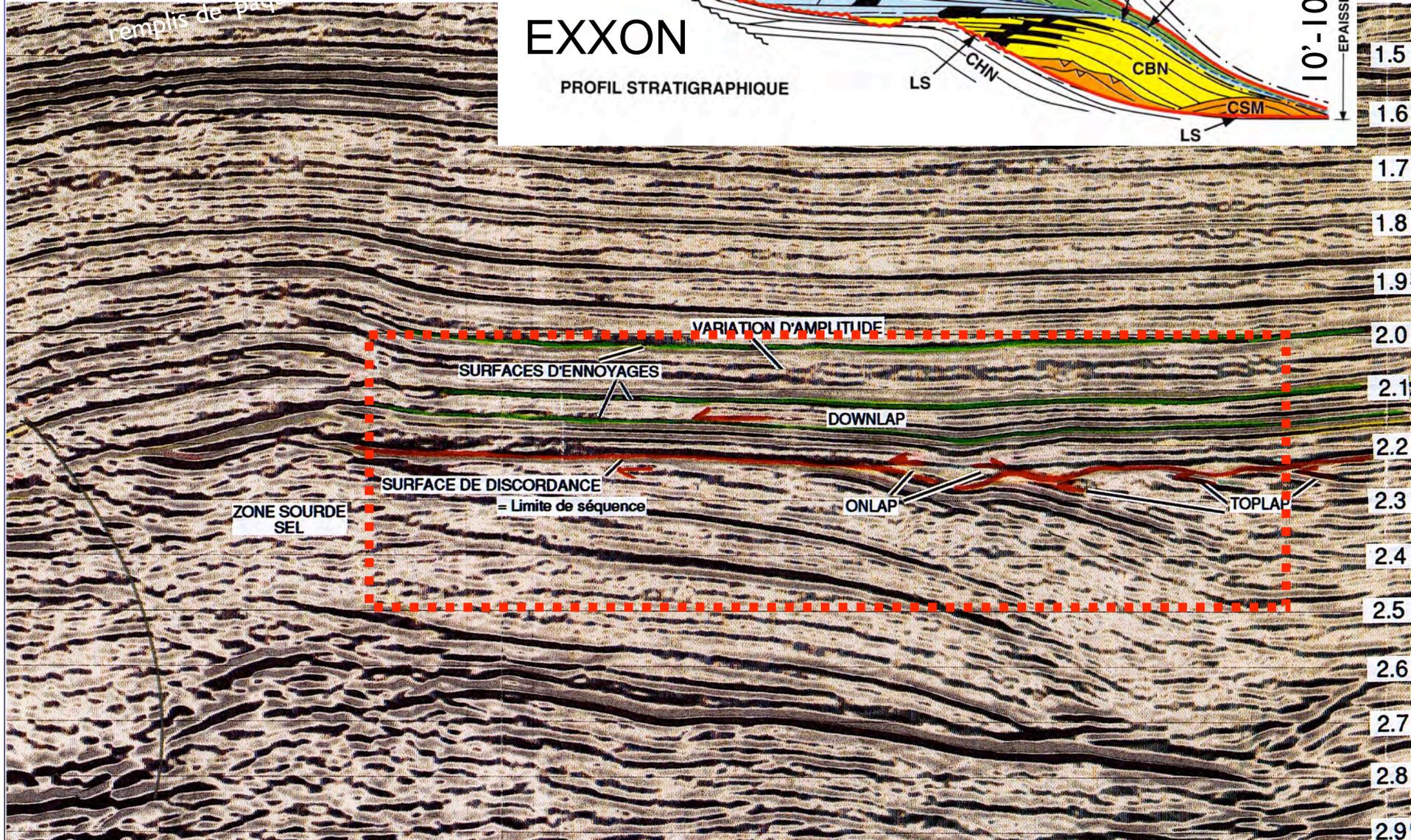
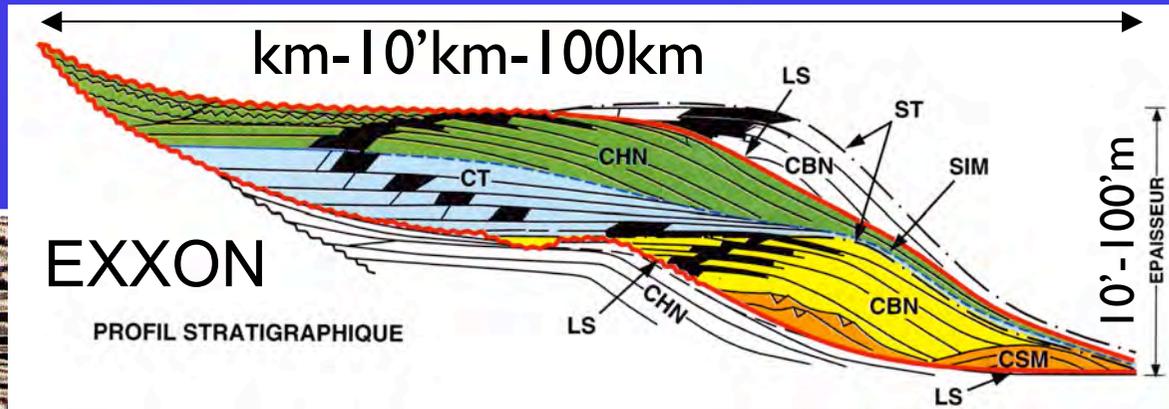


Biju-Duval 1999



de la Tour 2004

les corps sédimentaires
sont des **sigmoides**
remplis de 'paquets' = cortèges

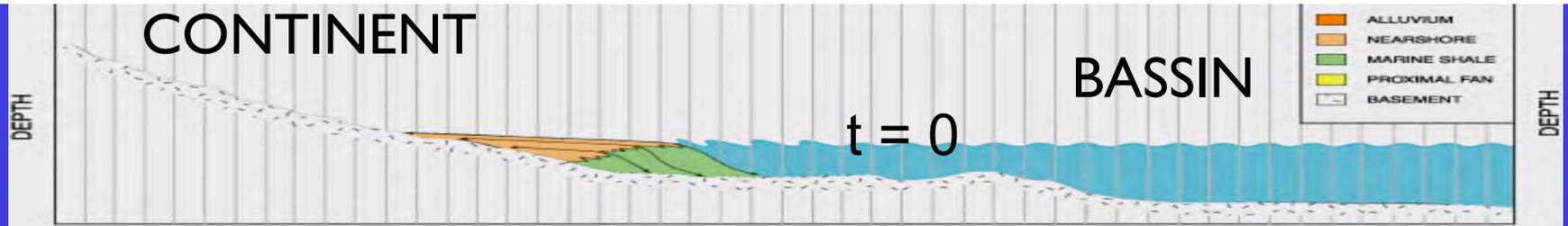


100'km x qq km

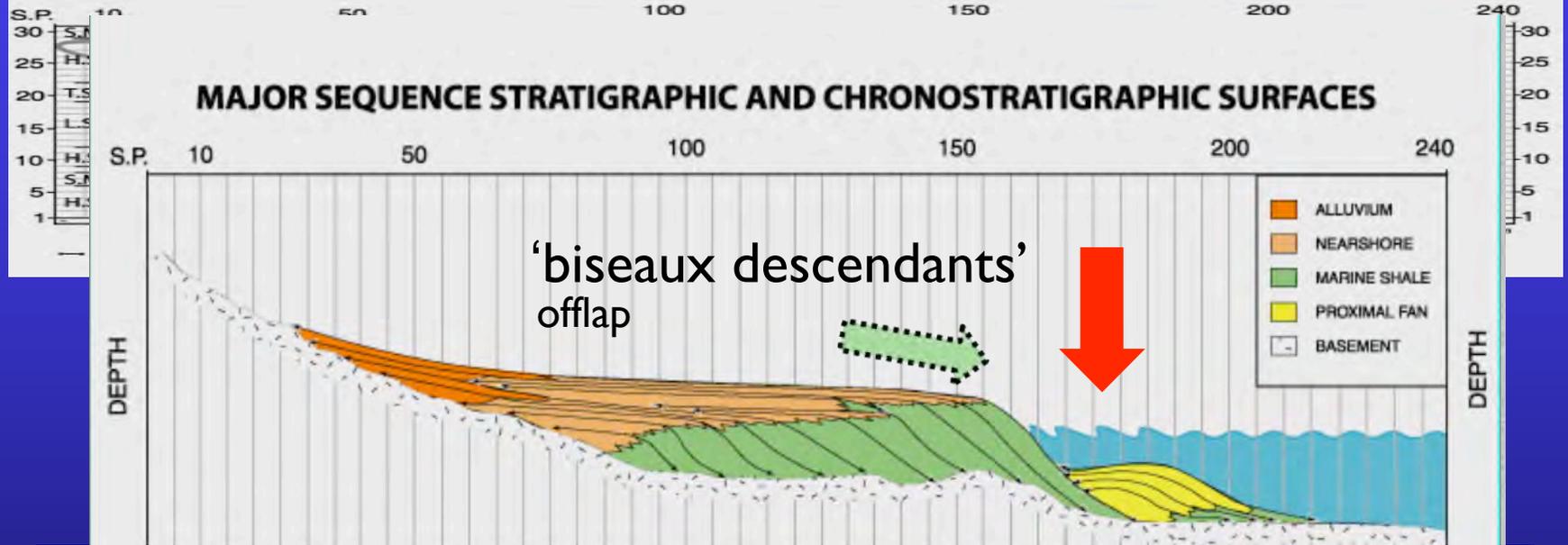
CONTINENT

BASSIN

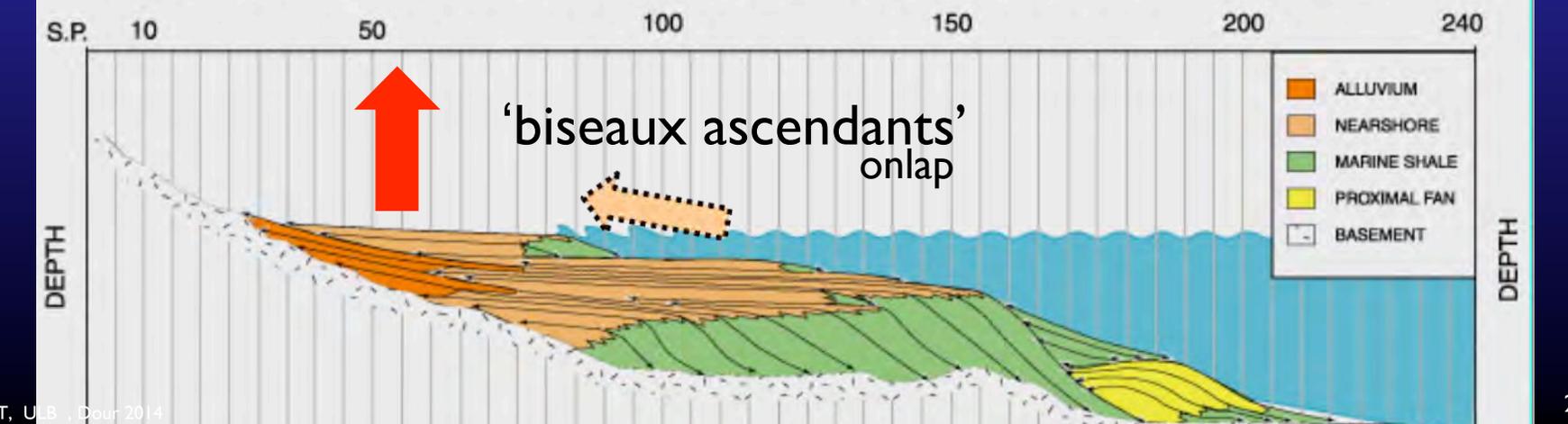
$t = 0$



MAJOR SEQUENCE STRATIGRAPHIC AND CHRONOSTRATIGRAPHIC SURFACES

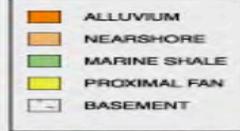


MAJOR SEQUENCE STRATIGRAPHIC AND CHRONOSTRATIGRAPHIC SURFACES

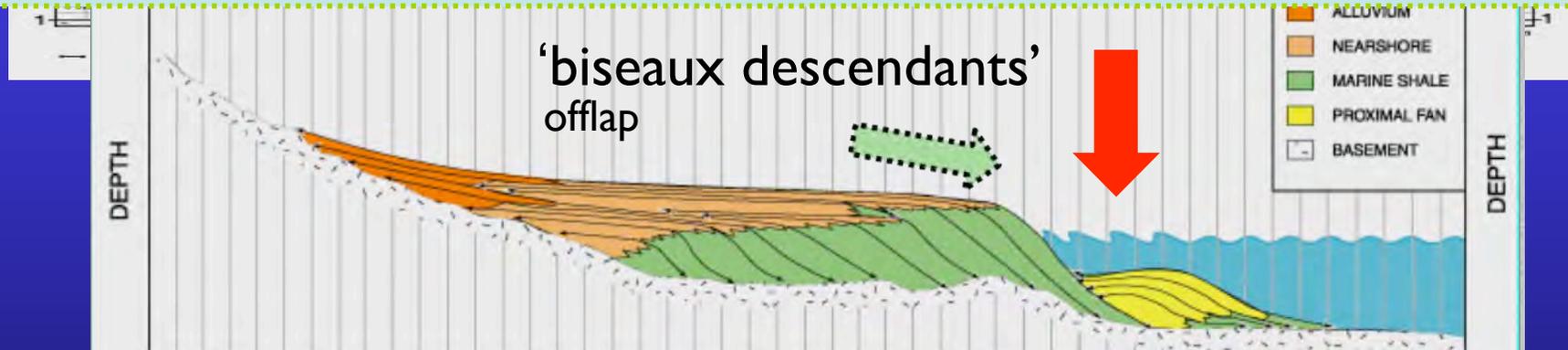


CONTINENT

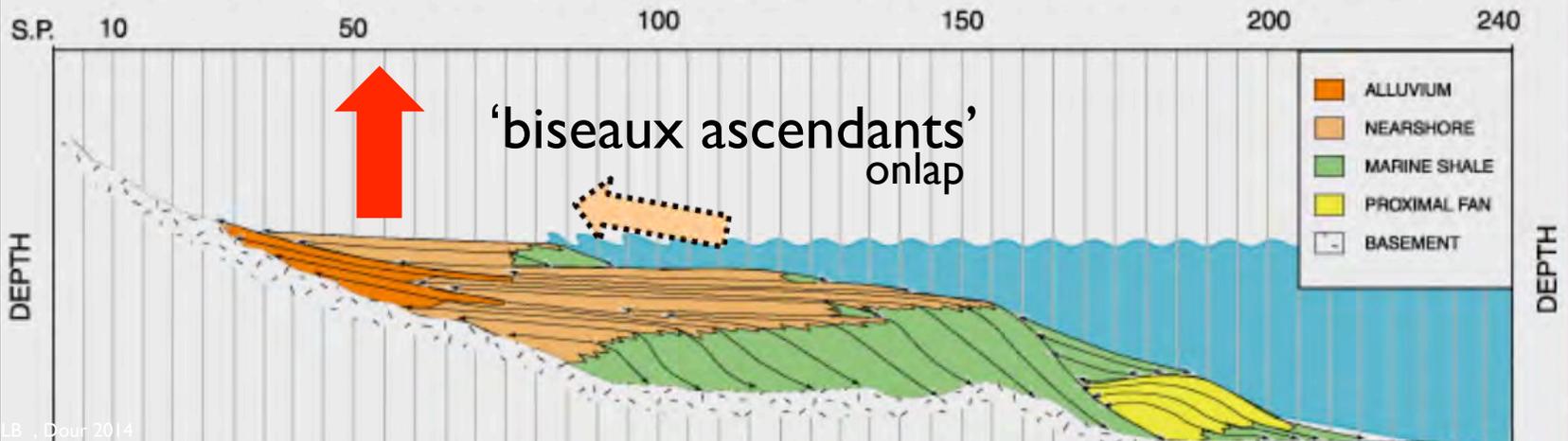
BASSIN



ISOCHRONES = OBLIQUES

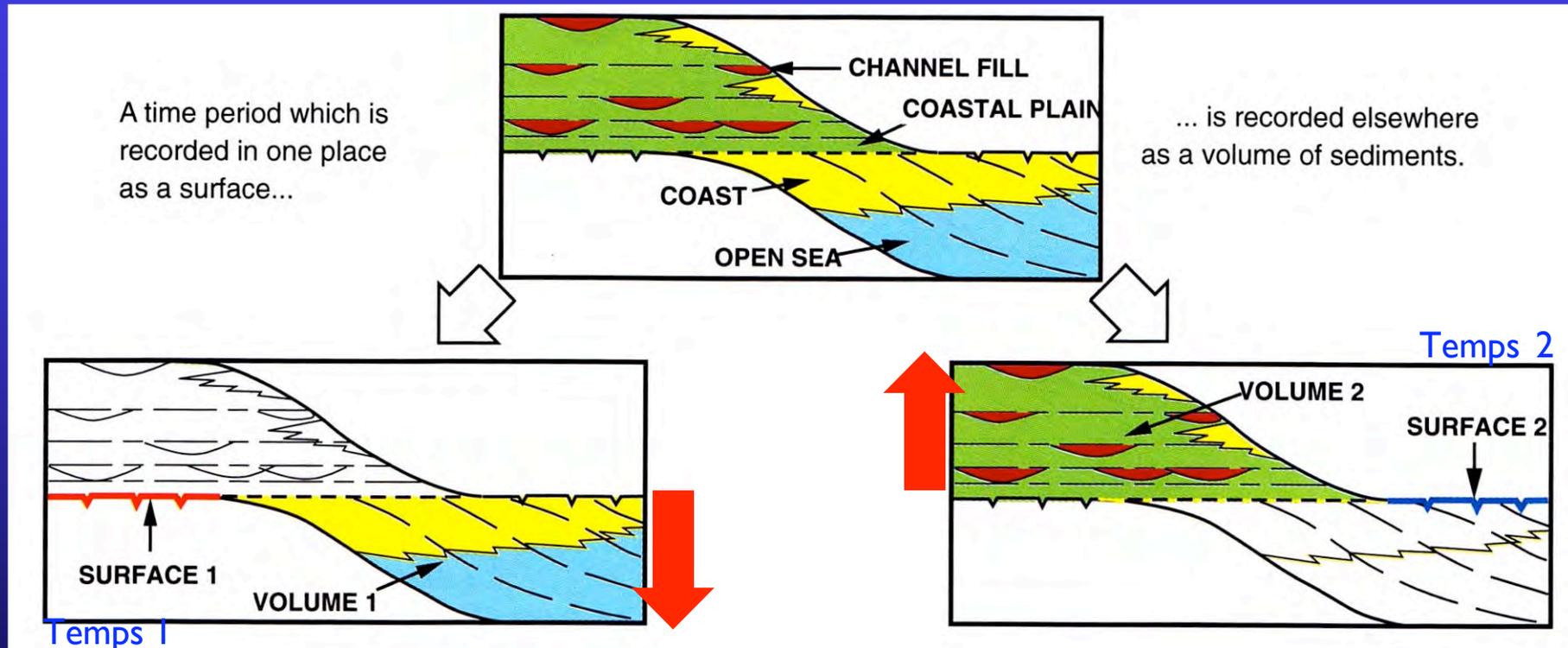


MAJOR SEQUENCE STRATIGRAPHIC AND CHRONOSTRATIGRAPHIC SURFACES



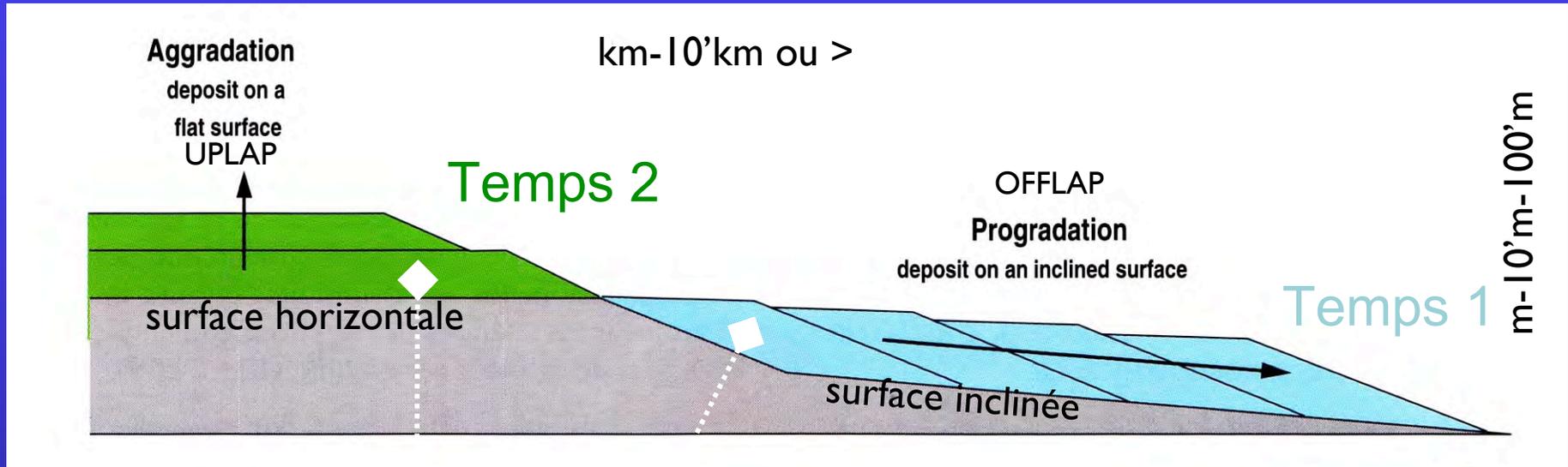
FRACTIONNEMENT SPATIAL DES SEDIMENTS

Surface \gg Volume



LE 'TEMPS' S'ENREGISTRE SOIT SOUS FORME DE **SEDIMENT** (ROCHE), SOIT SOUS FORME DE **SURFACE** (DISCONTINUTE DANS LA ROCHE)

Homewood et al. 2000



UNITE GENETIQUE ou STRATIGRAPHIQUE

délimitée par deux surfaces isochrones

successives d'origine semblables

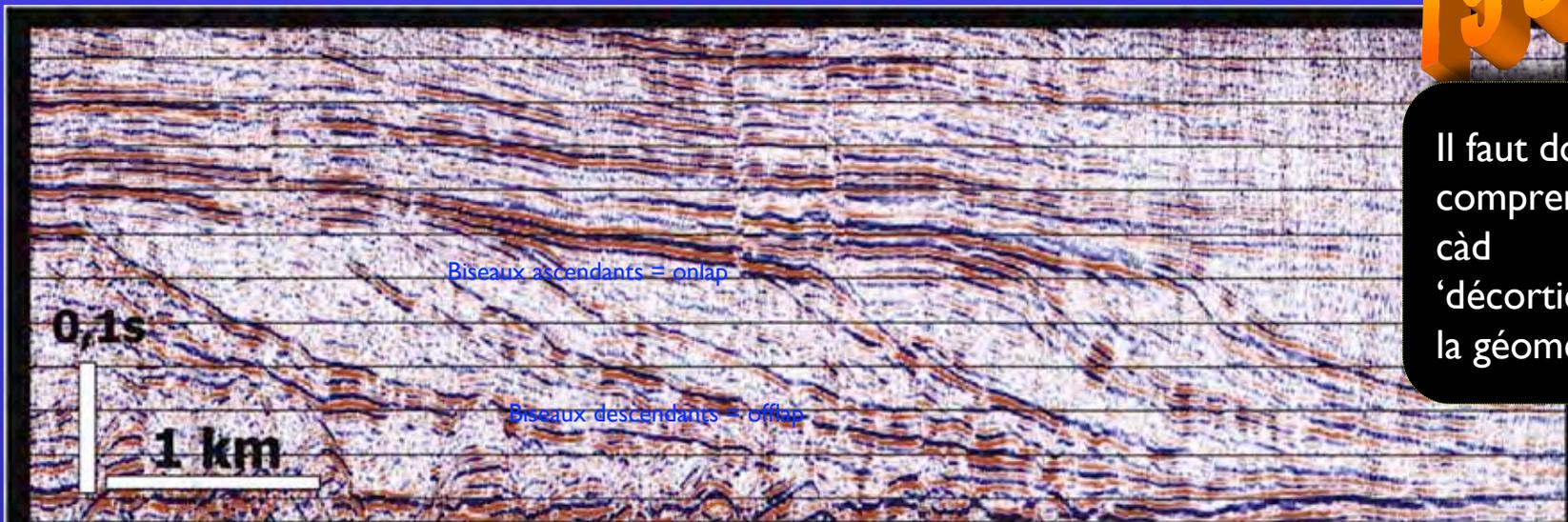
Epaisseur : métrique à décimétrique

Durée : 10 000 à 100 000 ans

Observation : sismique, diaggraphie, rarement terrain

1990'

Il faut donc comprendre càd 'décortiquer' la géométrie

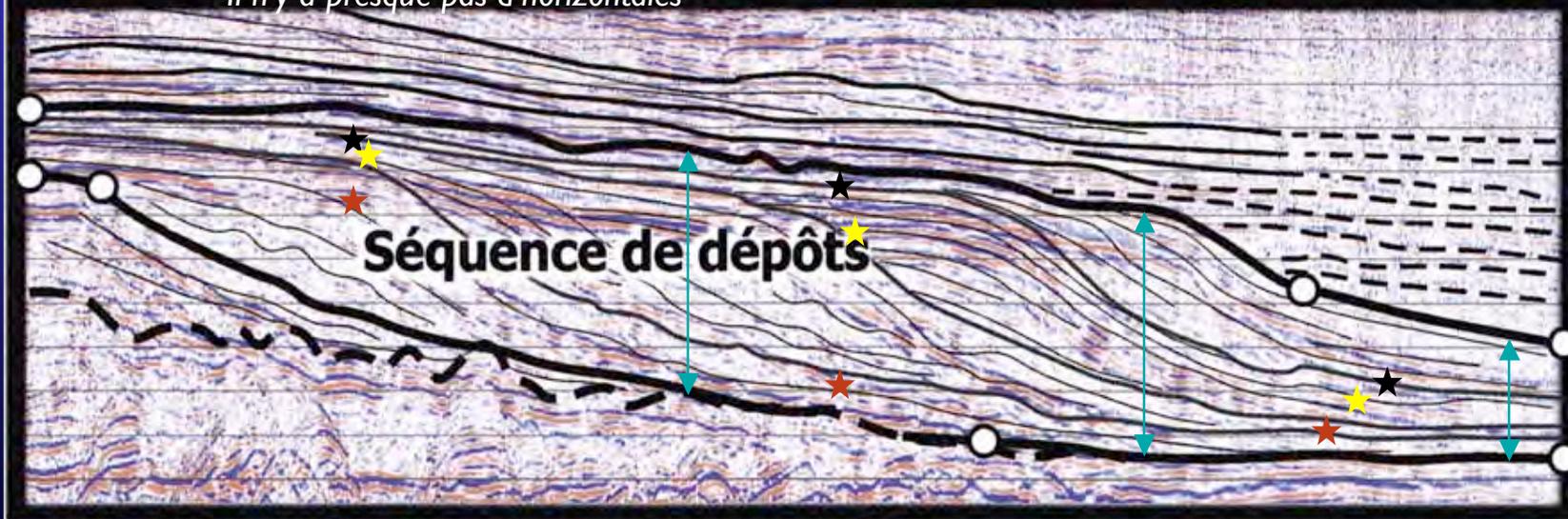


Les lignes temps (isochrones) sont obliques

Il n'y a presque pas d'horizontales

★★★

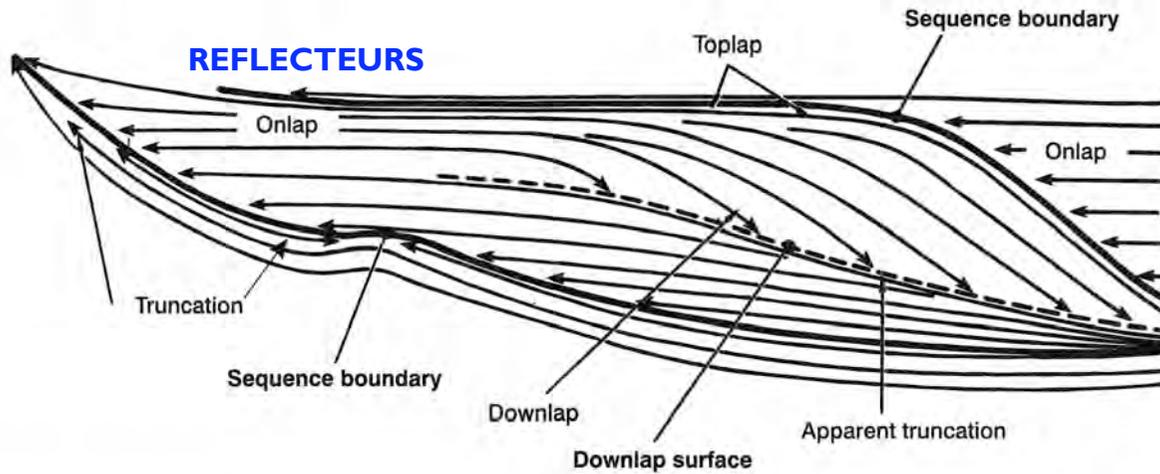
0.5 à 3 Ma



△ Epaisseur(s)

7km

Sections ≠

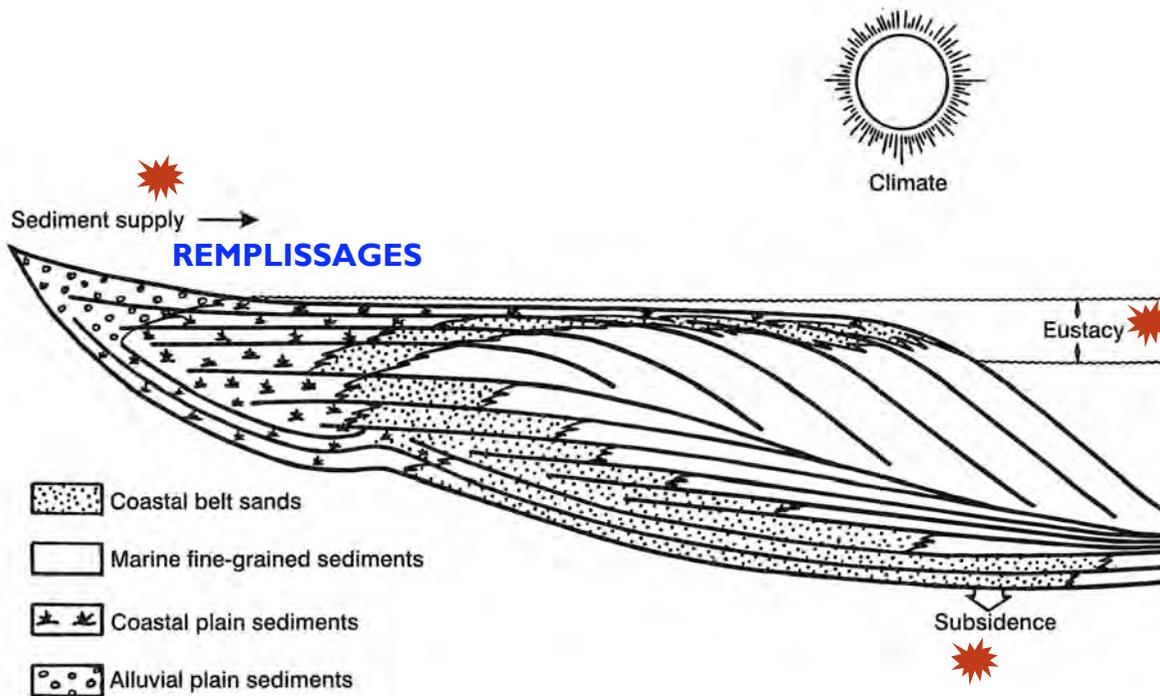


10'-100'm

PF

pas profond

le plus souvent incomplet...



Bassin

profond

$$\Delta NMr = \Delta NMa$$

Subsidence Apports

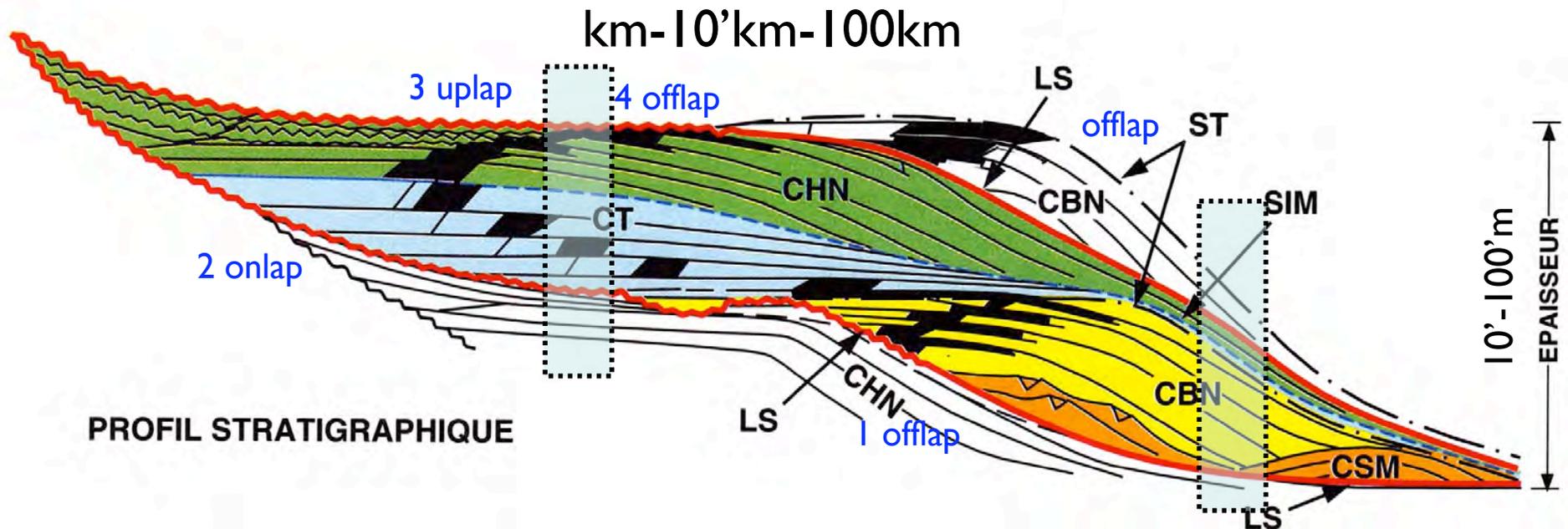
Vail 1987

ΔGEOMETRIE

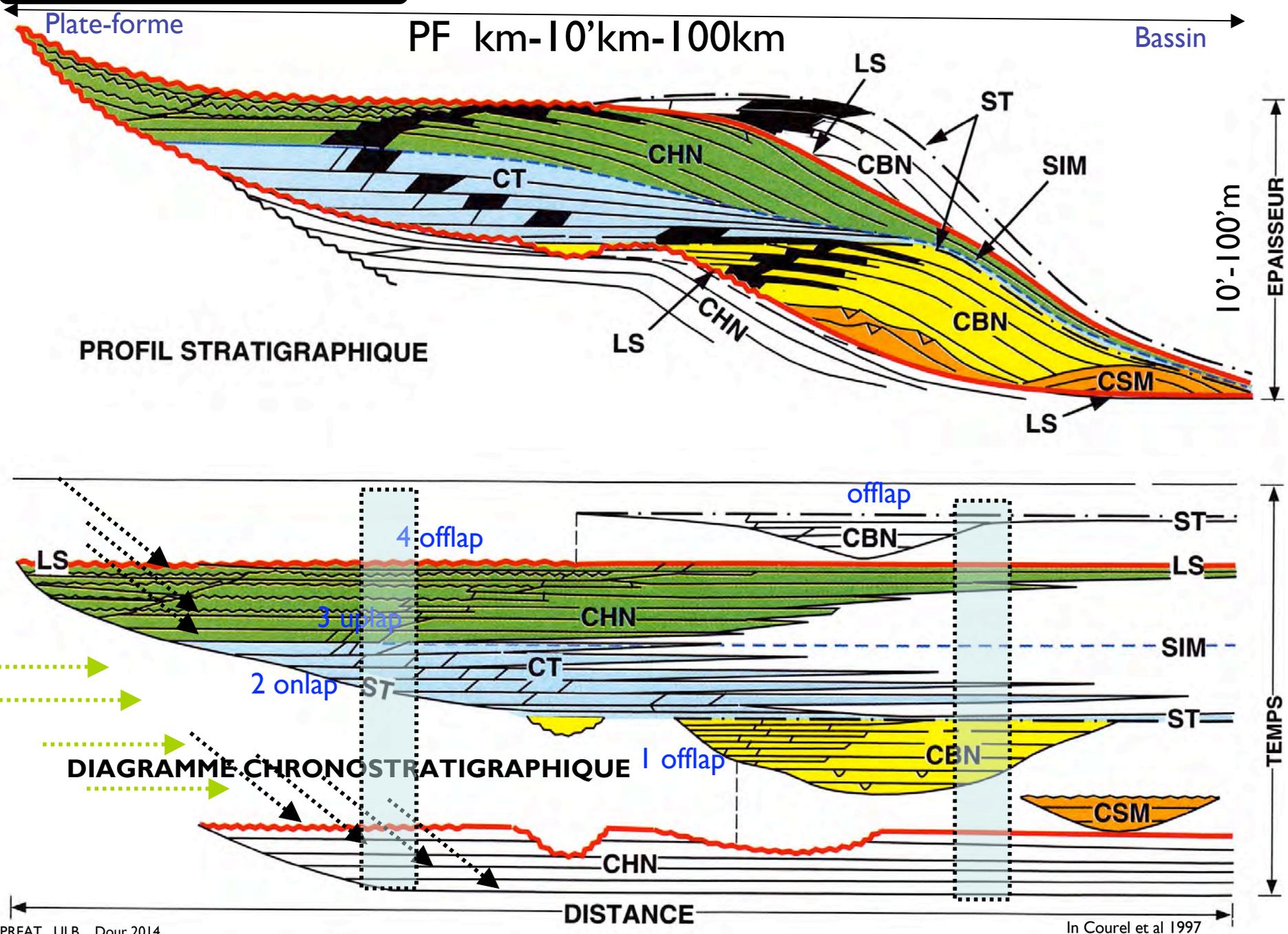
Formation
d'une séquence
0,5-3Ma
Pcm-Actuel...

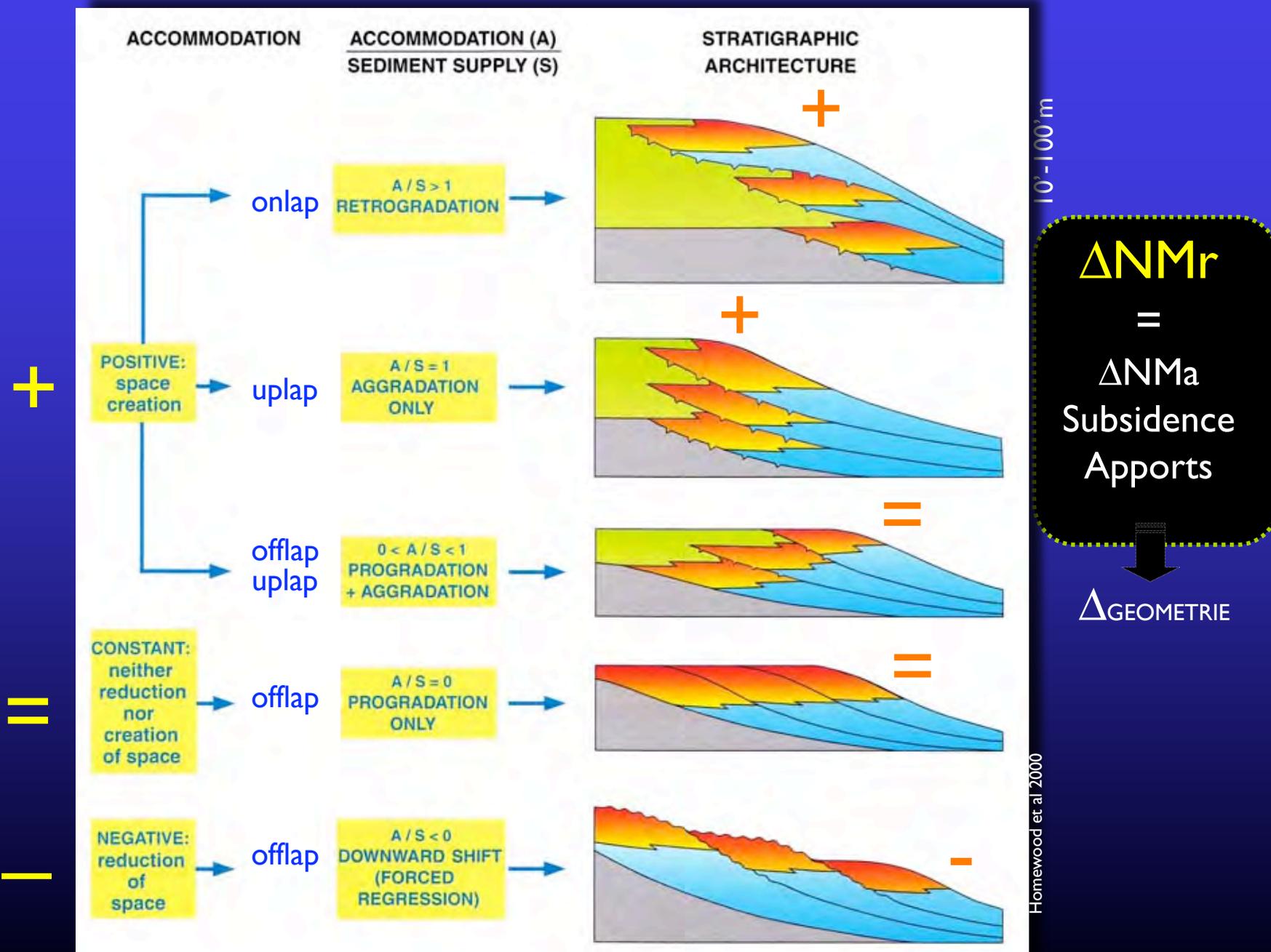
GEOMETRIE

Réflecteurs
sismiques
(Sismostratigraphie)
Exxon



Empilements d' UNITES GENETIQUES





10' - 100' m

$$\Delta NMr = \Delta NMa$$

Subsidence Apports

↓
△GEOMETRIE

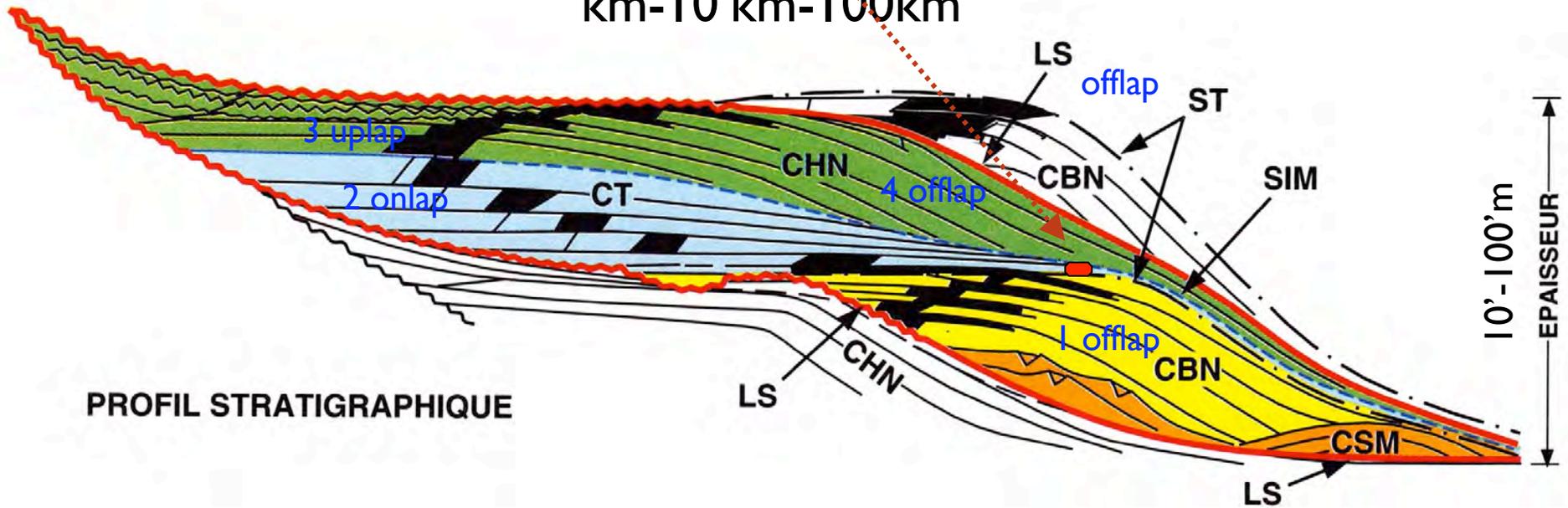
Homewood et al 2000



1990'

Affleurement suivant à?

km- 10'km- 100km





Comment
le voit-on?

presque jamais sur le terrain!

I. GEOMETRIE

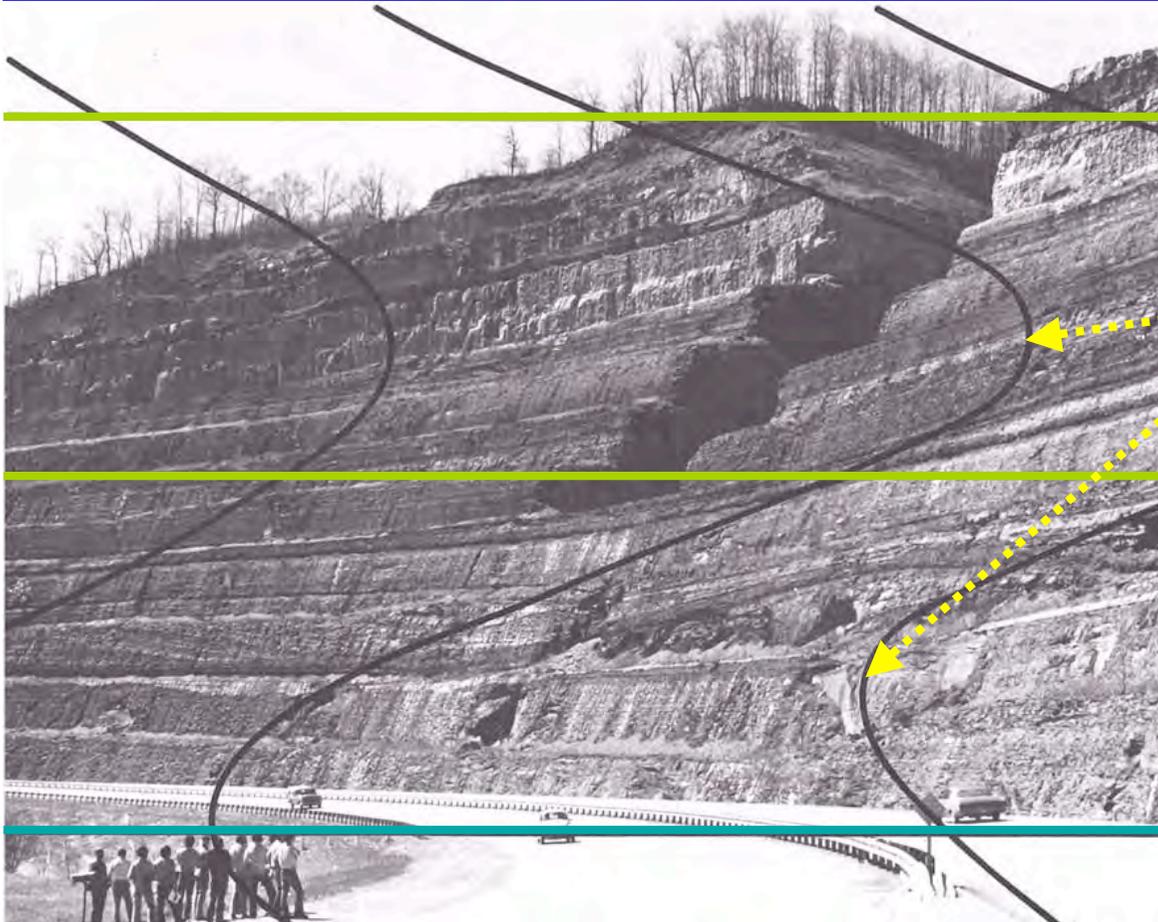
Les lignes temps sont le plus souvent obliques (corps sédimentaires)
Ensuite les séries sont plissées, charriées ('déchiquetées')

Première (triste) conclusion...

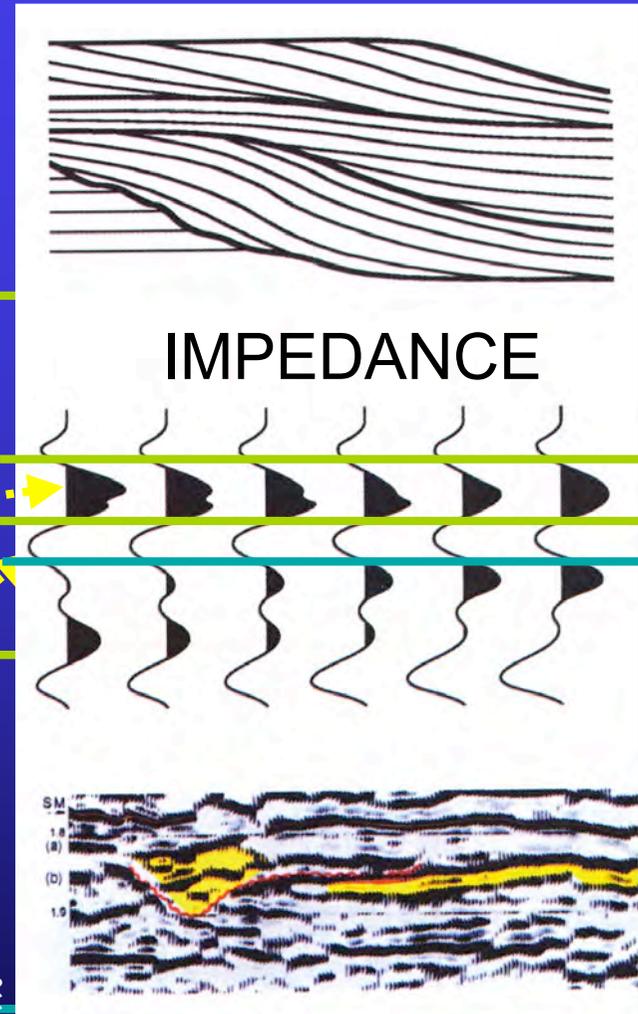


ON NE VOIT DONC PAS GRAND CHOSE (géométrie) SUR LE TERRAIN...

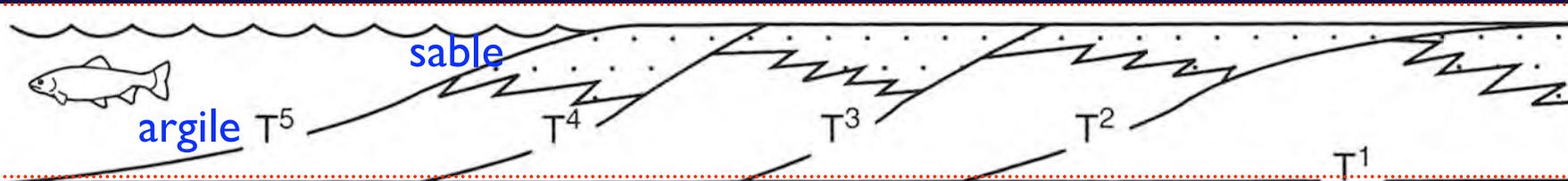
Les lignes temps (isochrones) paraissent horizontales à l'affleurement



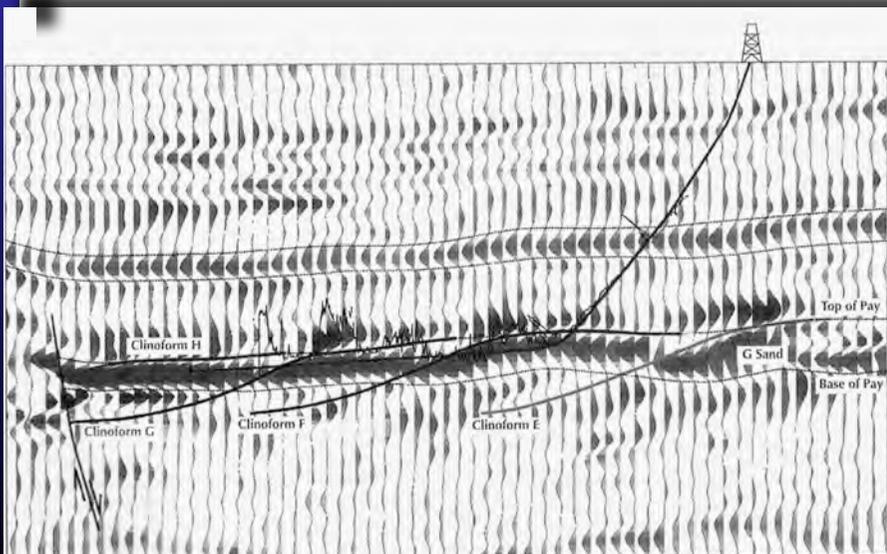
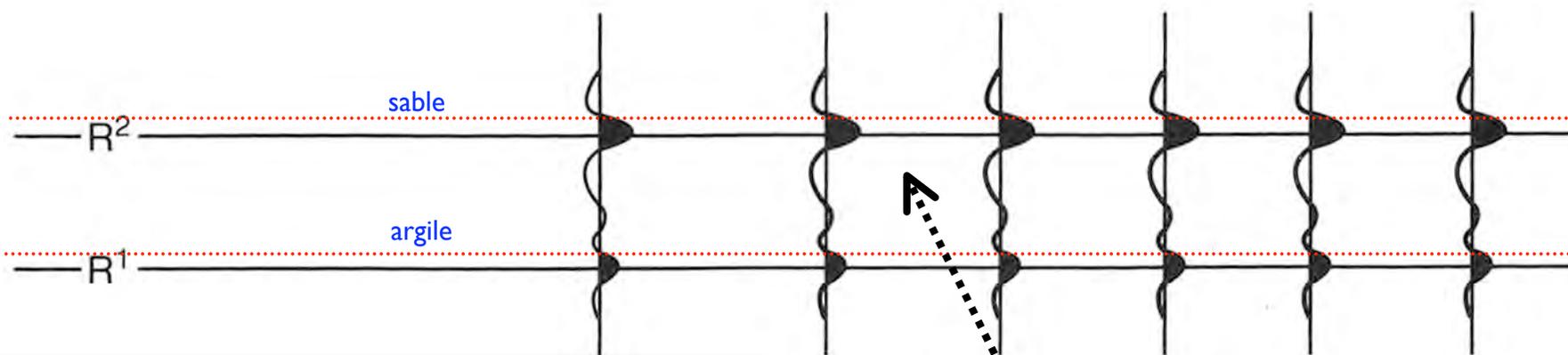
Miall 1990



Homewood et al 2000

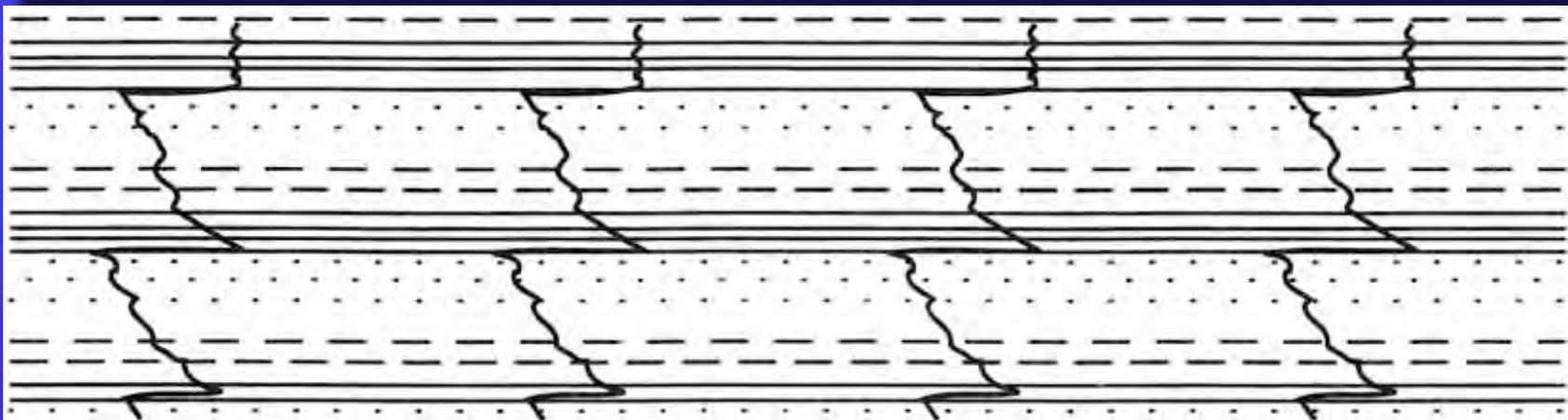


ON NE VOIT PAS LES VRAIES ISOCHRONES MAIS LES FACIES

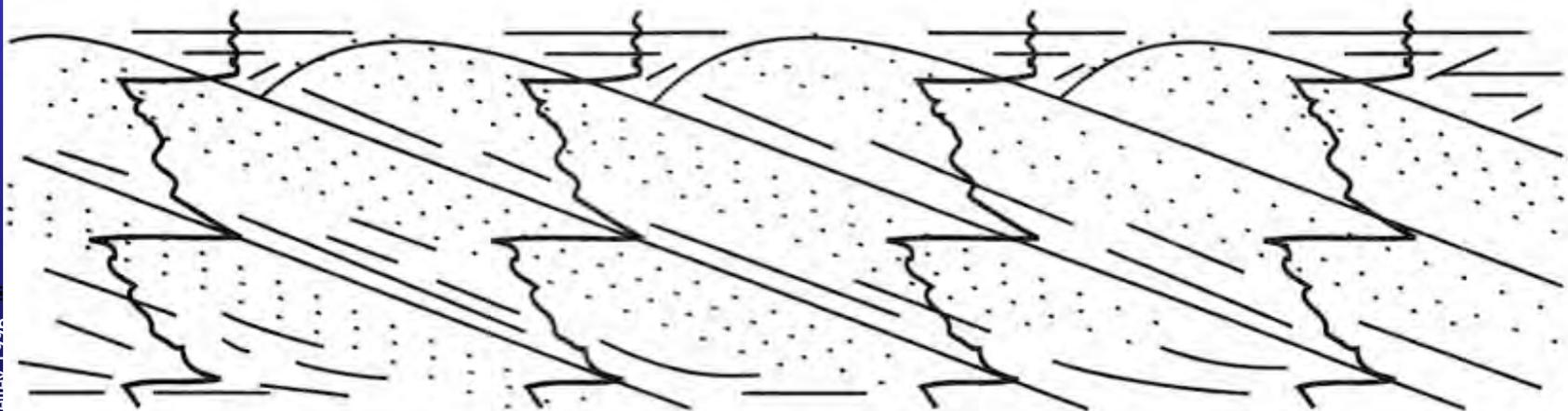


KISS

'Keep It Simple and Stupid'

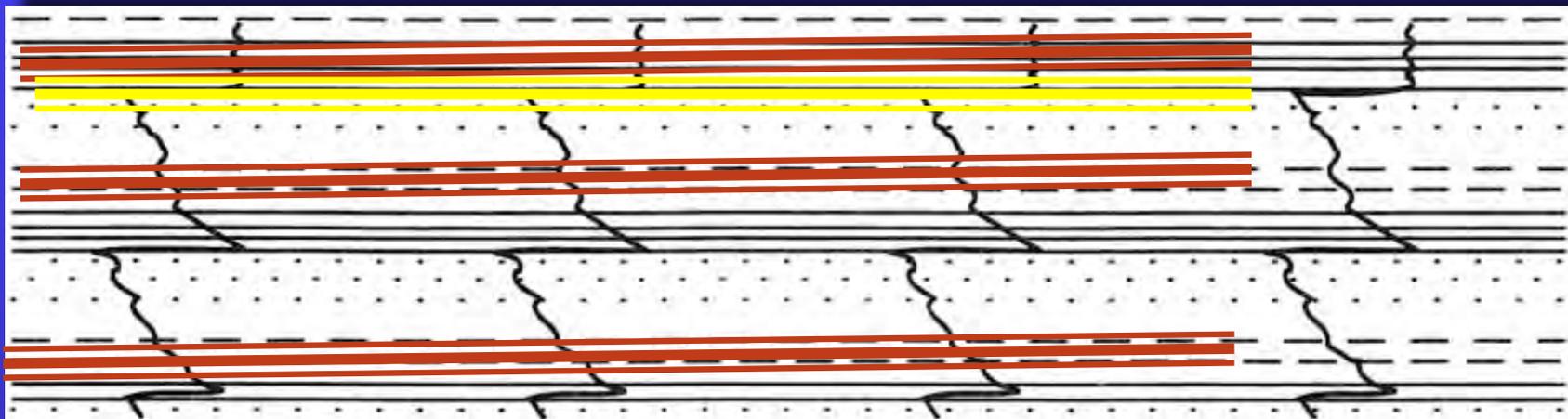


This? (Correlated using the KISS principle)

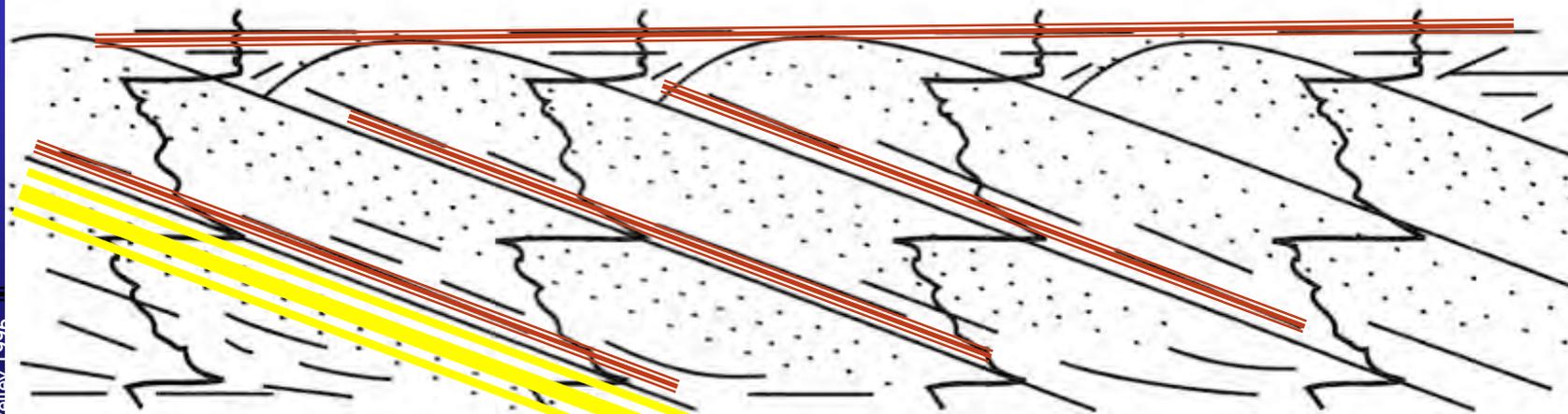


Or this? (Correlated using a model of prograding sand bars)

Scallan, 1996



This? (Correlated using the KISS principle)

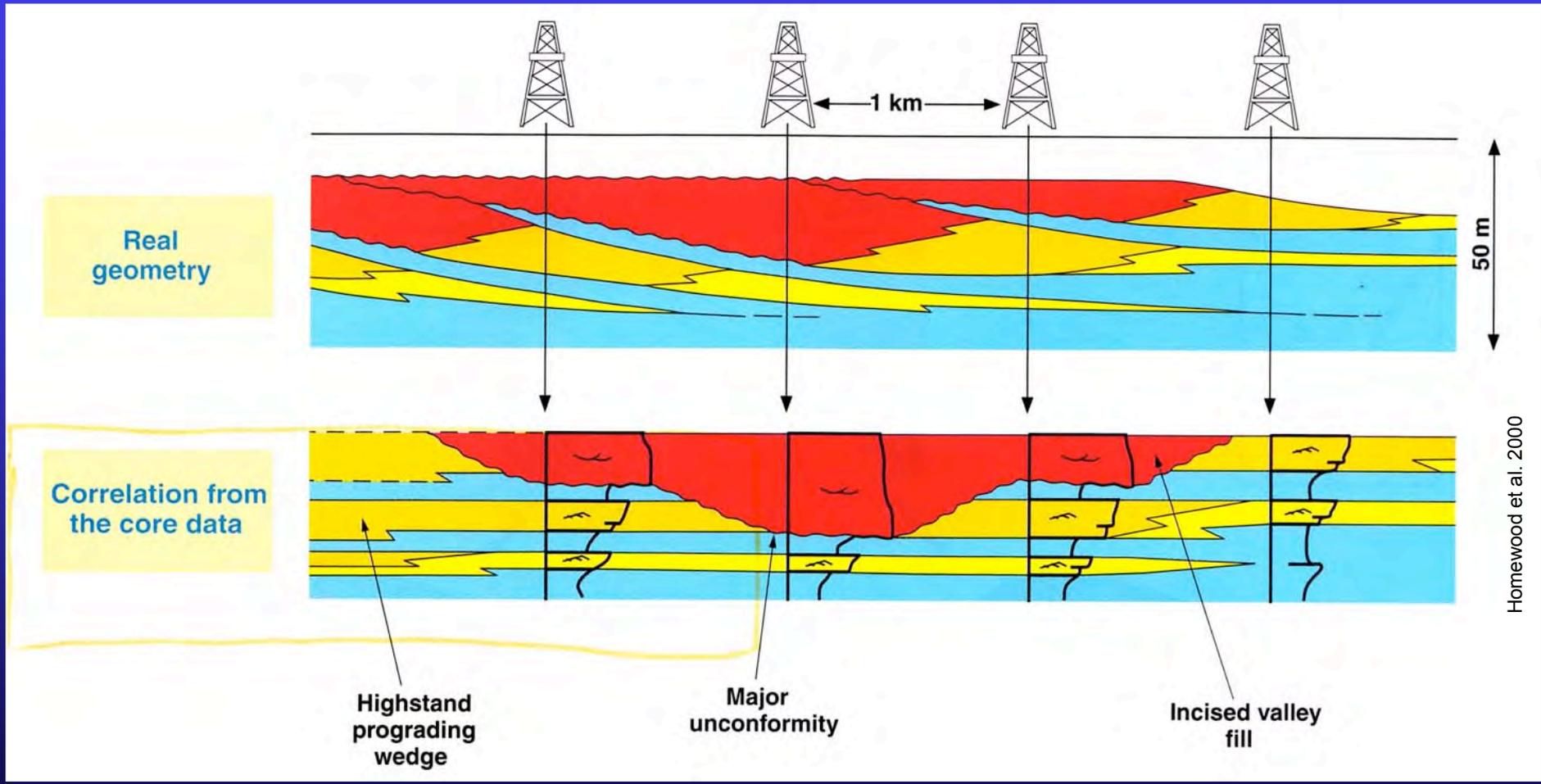


Or this? (Correlated using a model of prograding sand bars)

Scallan, 1996

KISS

‘Keep It Simple and Stupid’



Homewood et al. 2000

1. GEOMETRIE

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



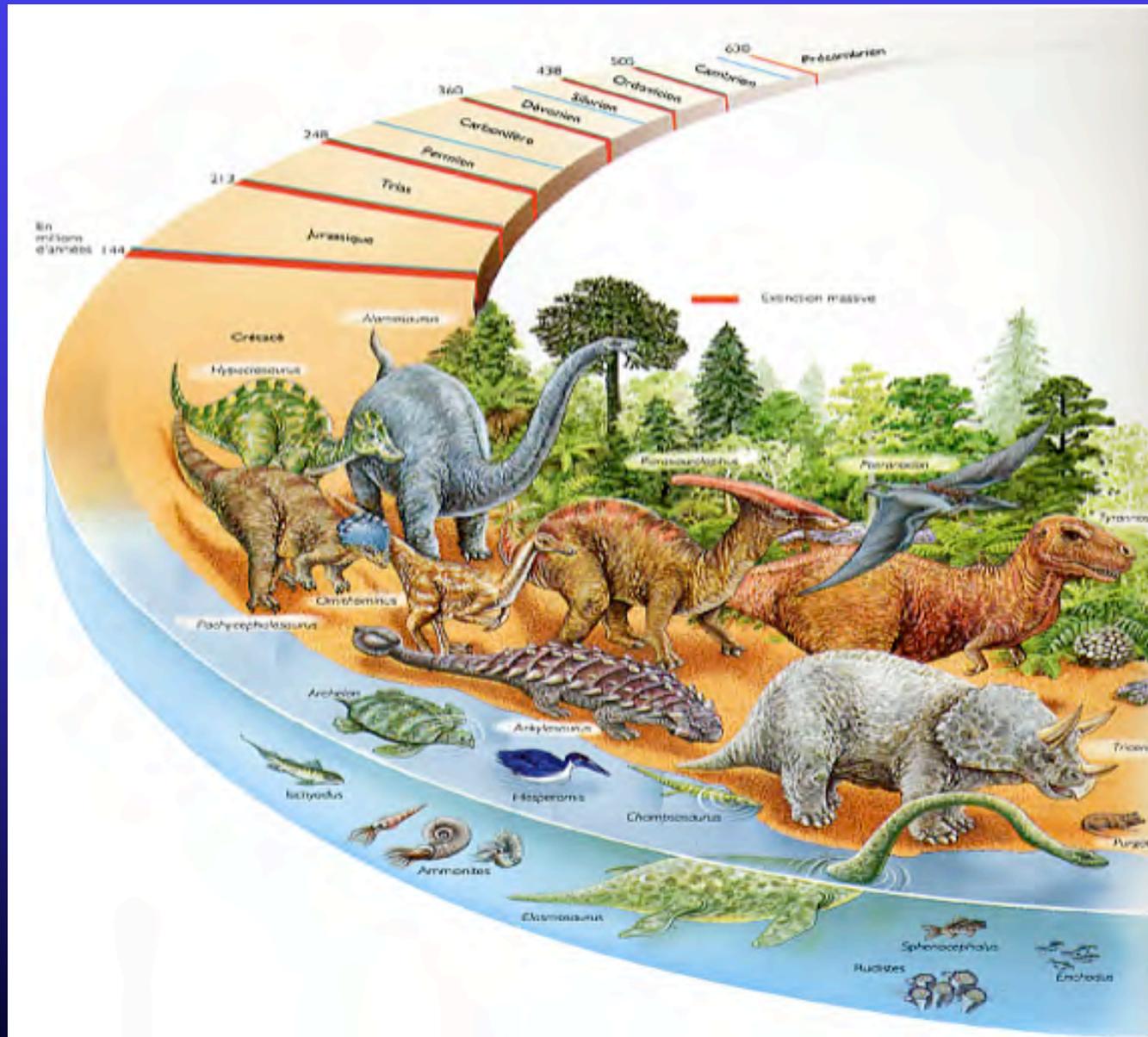
2. TEMPS RELATIF ET ABSOLU

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%

0,541 Ga

BIOSTRATIGRAPHIE



Paléozoïque

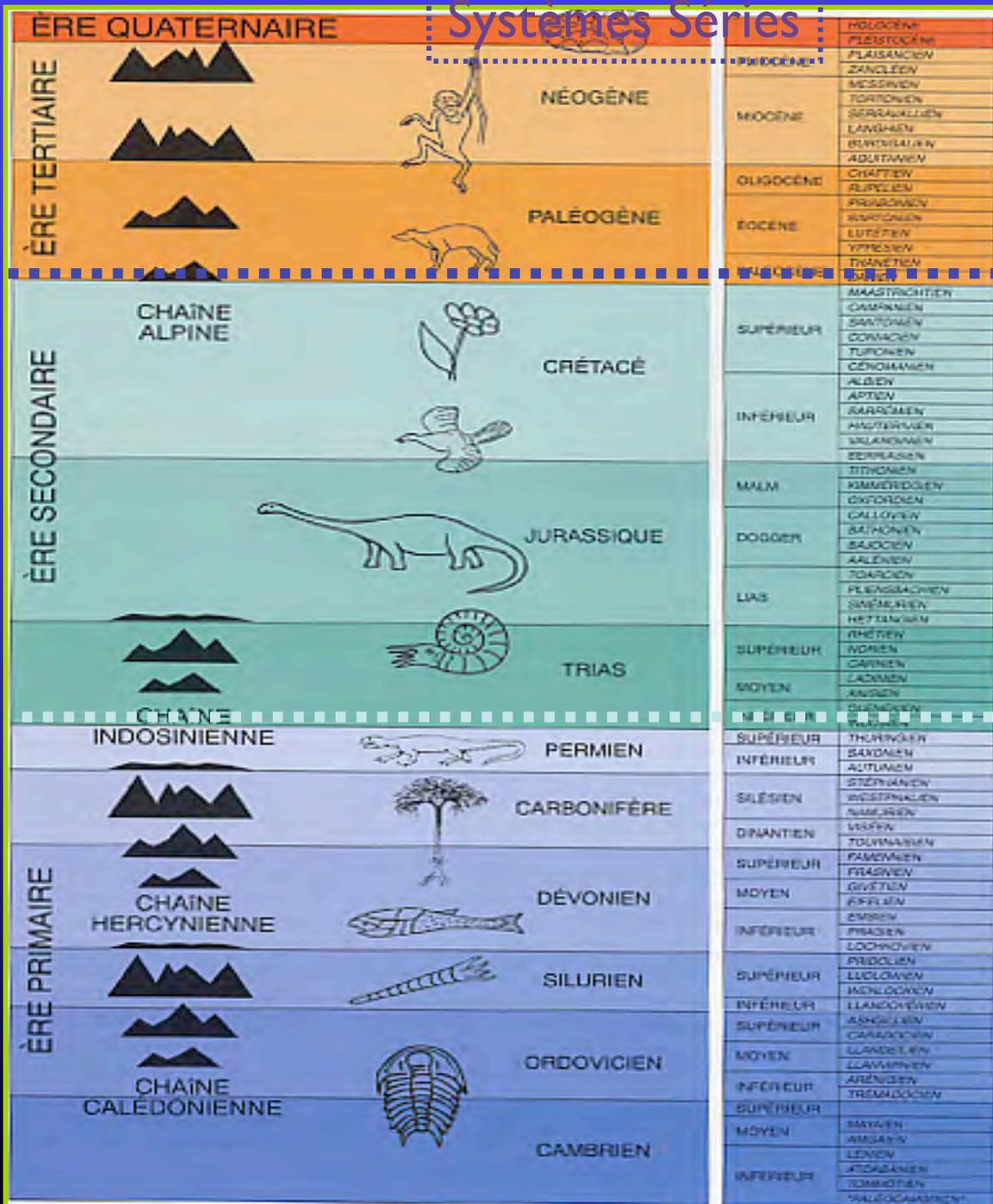
Mésozoïque



ERES



**1760 Giovanni ARDUINO
(vénitien)**



ETAGES



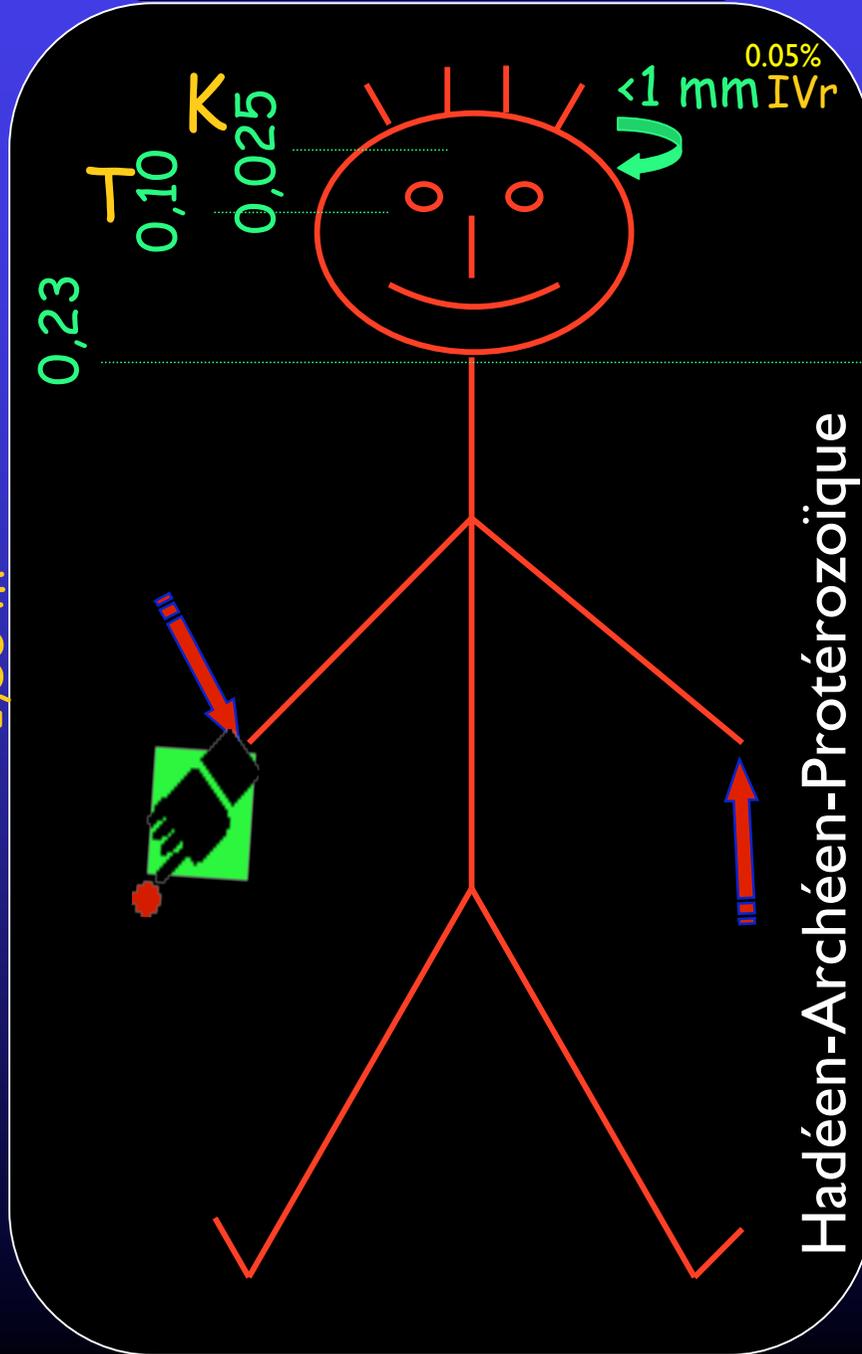
HIERARCHIE

541 Ma

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



1,85 m



Phanérozoïque
~1/9

0,541 Ga

Précambrien
~8/9

4,56 Ga

Le temps géologique - très, très, très long!



Cinéma: 32 images/sec

Si une image = 100 ans

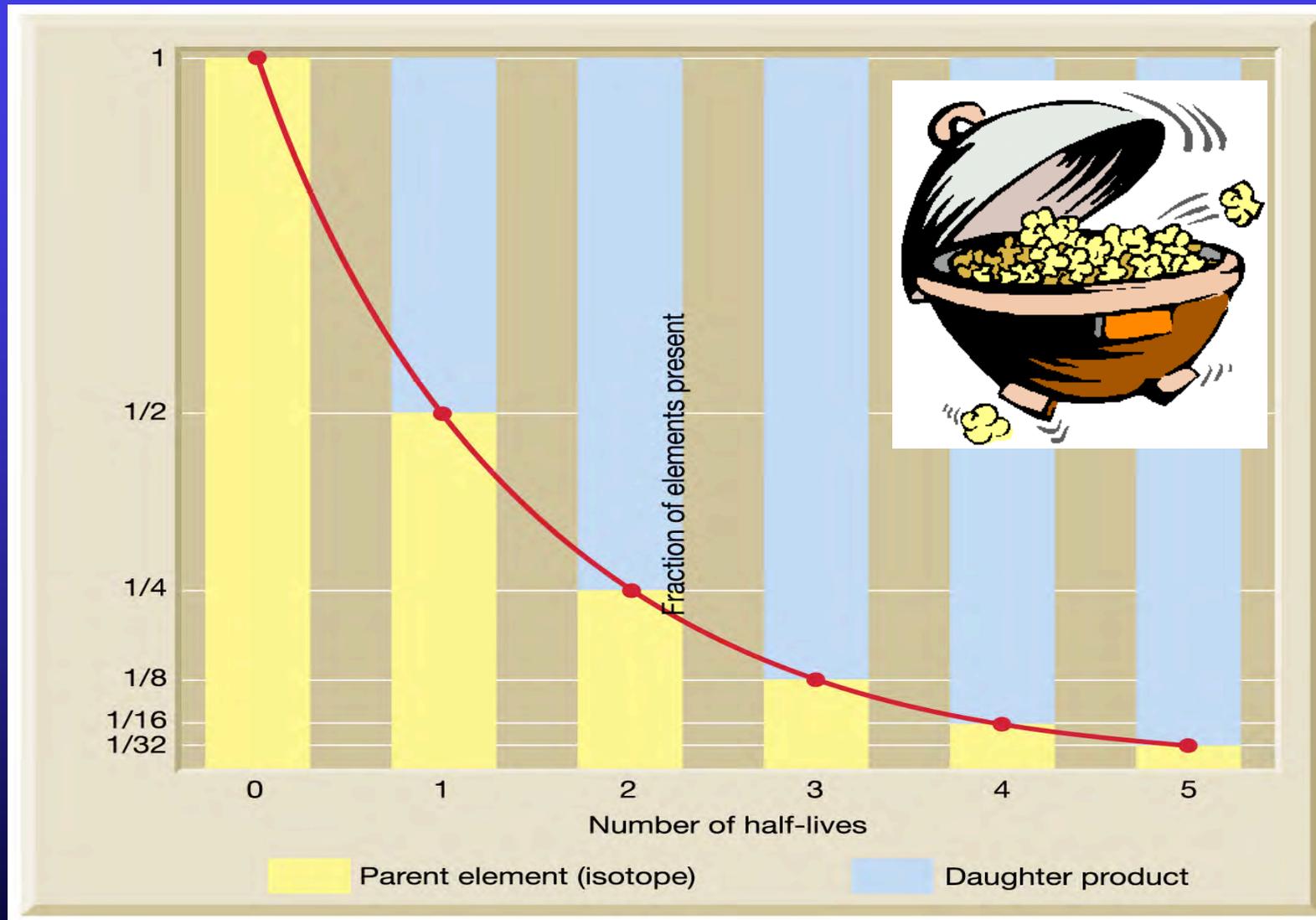
- Ere Chrétienne (BC) - 3/4 sec
- Age Glaciaire: -7 sec
- Extinction Dinosaures (K/T): -6h
- Métazoaires (Pcm/Cm) : - 2j
- Début histoire Terre: -16j



A long human lifetime (100 years) represents only about 0.000000002% of geologic time

CHRONOLOGIE ABSOLUE ou ISOTOPIQUE

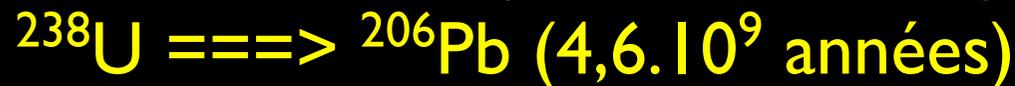
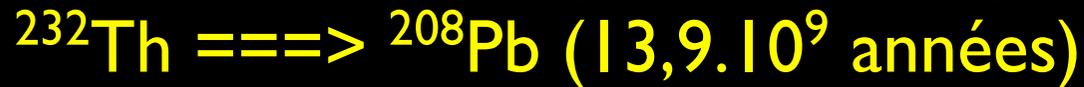
Radioactivité naturelle => datation (temps) + traçage transferts de matière (cinétique)



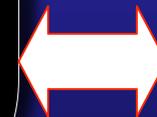
Ex: $^{99m}\text{Tc} \implies 6,01\text{h} = ^{99}\text{Tc}$ (=radiotraceur, m = métastable), après 24h il reste 6%...

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

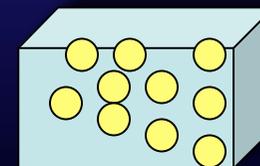
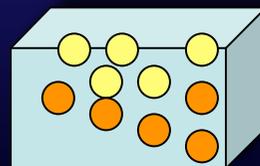
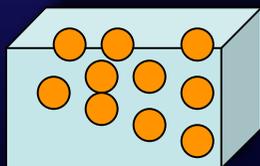
CHRONOLOGIE ABSOLUE ou ISOTOPIQUE



P
R
E
C
I
S
I
O
N

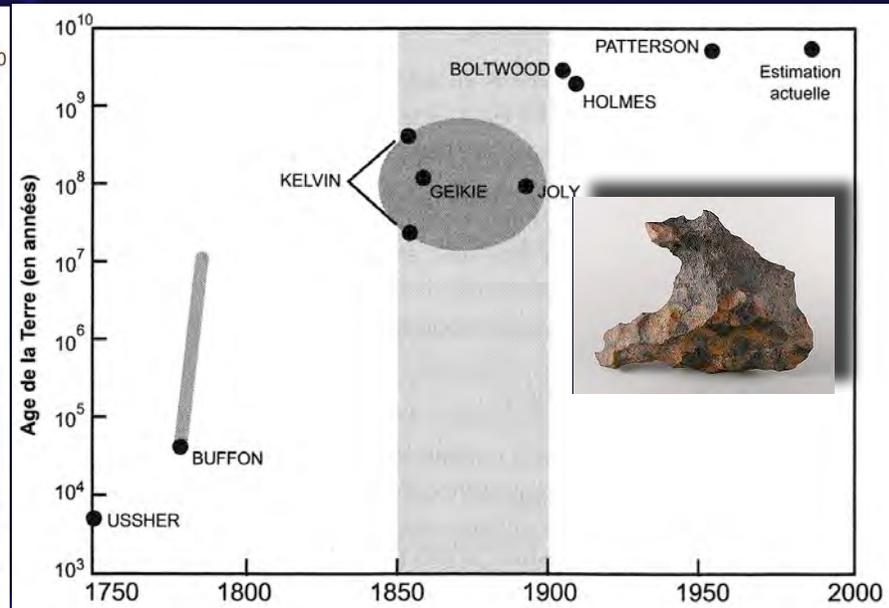
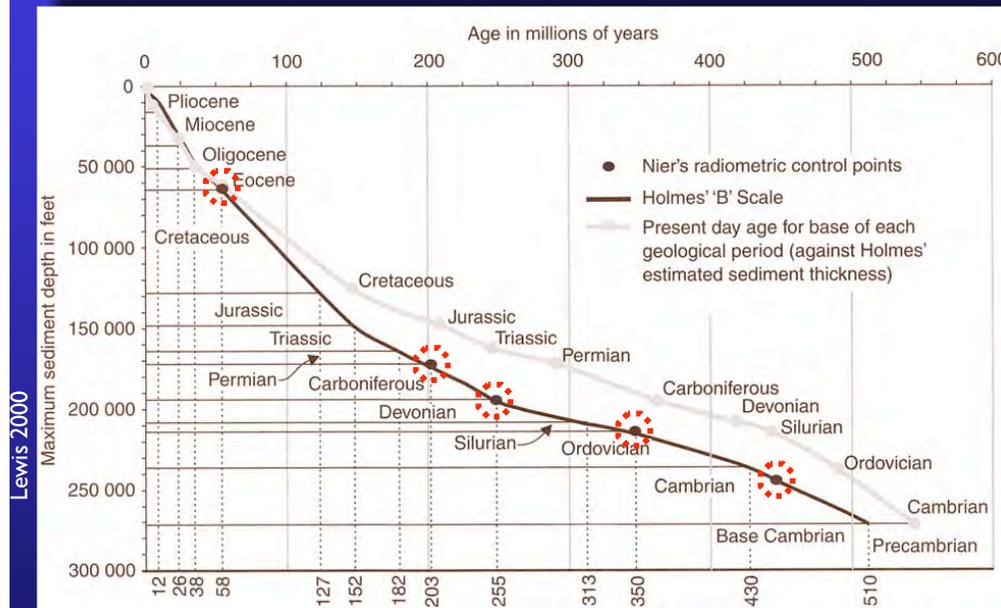


C
H
R
O
N
O
L
O
G
I
E
A
B
S
O
L
U
E



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

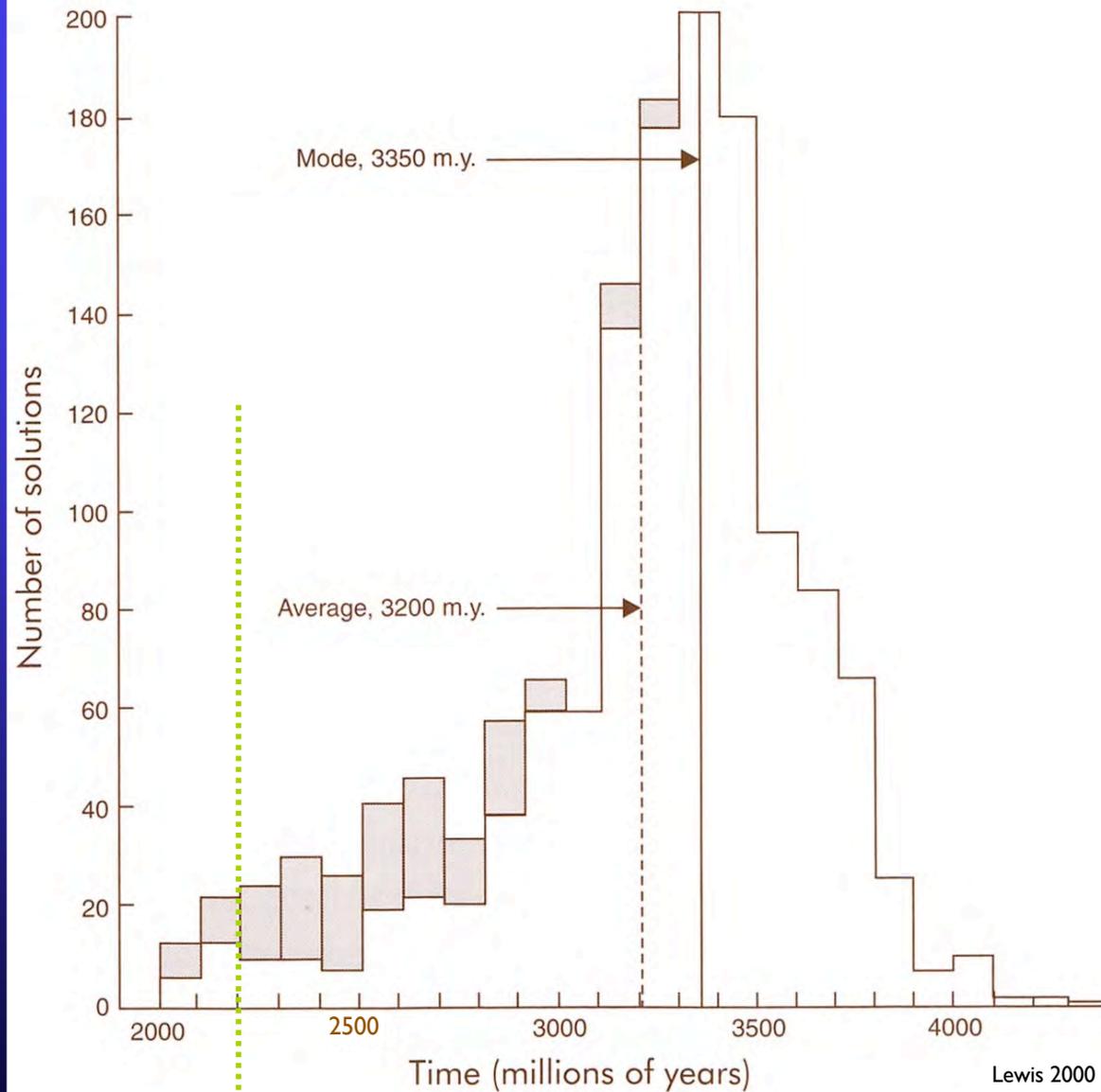
±1600 Archevêque Ussher (Irl) : Bible, création débuta en 4004 BC, le 22 octobre à 9h du matin
 1721 Henri Gautier (Igr Ponts et Chaussées): ablation relief... => 35 000 ans. En reprenant **SES** calculs
 => qq Ma! ==> Gautier aurait volontairement publié de 'faux âges'.... (Bible)
 1779 Jean Etienne 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...)



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

1953 - C. PATTERSON
 Météorite de Canyon Diablo
 AGE DE LA TERRE : 4,56 Ga ± 70Ma

CHRONOLOGIE ABSOLUE ou ISOTOPIQUE



2200

Méthode Pb/Pb
= 2 chronomètres internes

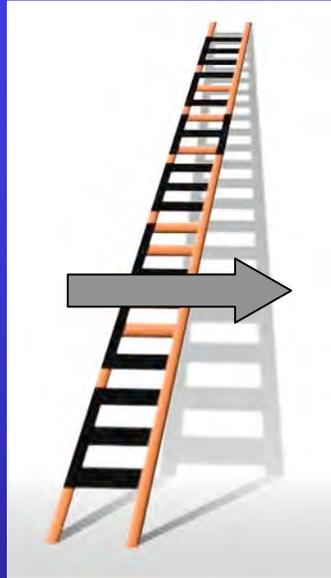
A. Nier
années 30'-40'
25 échantillons
pegmatite du Manitoba

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 STRATOTYPE



RELATIF



Un LIMITOTYPE

STRATOTYPE et/ou LIMITOTYPE GSSP Global Stratotype Section and Point

Jebel Mech Irdane (Erfoud, Anti-Atlas, Maroc)

[Conodontes, Goniatites, Trilobites ...]

391,8Ma ± 2,7Ma 2008

387,7Ma ± 0,8Ma 2014



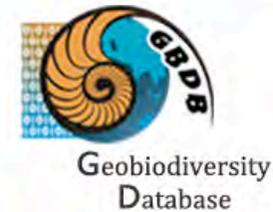


- [Home](#)
- [ICS Executive](#)
- [Subcommissions](#)
- [Chart/Time Scale](#)
- [GSSPs](#)
- [Archives](#)
- [Stratigraphic Guide](#)
- [Statutes & Guidelines](#)
- [ICS Prizes](#)
- [Discussions](#)
- [Publications](#)
- [Links](#)

The International Commission on Stratigraphy is the largest and oldest constituent scientific body in the International Union of Geological Sciences (IUGS). Its primary objective is to precisely define global units (systems, series, and stages) of the International Chronostratigraphic Chart that, in turn, are the basis for the units (periods, epochs, and age) of the International Geologic Time Scale; thus setting global standards for the fundamental scale for expressing the history of the Earth.

News & Meetings

- ▶ XVIII International Congress on Carboniferous and Permian (Kazan, Russia, August 7-15, 2015) [2014-07-19]
- ▶ Shell donates Euros 10,000 to ICS [2014-03-10]
- ▶ NSF awards ICS a grant of \$75,000 to support its activities [2014-03-10]
- ▶ IGCP 591 Field Workshop 2014 jointly with ISSS, ISOS and ISCS to be held in Kunming, China, 12-21 August, 2014 [2014-02-14]
- ▶ STRATI 2015 - 2nd International Congress on Stratigraphy to be held in Graz, Austria, 19-23 July 2015 [2014-02-12]
- ▶ January 2013 version of ICS International Chronostratigraphic Chart and explanatory article published in September 2013 issue of Episodes [2013-10-10]



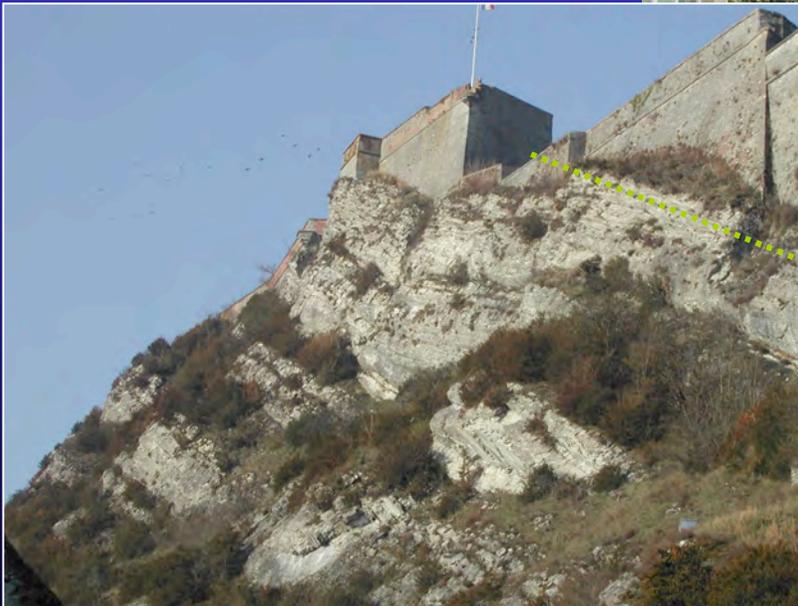
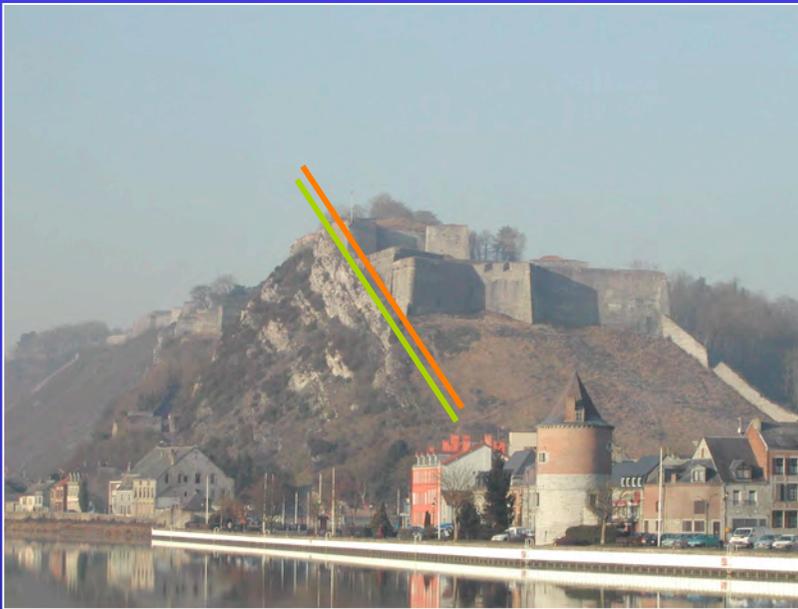
HISTORICAL STRATOTYPE



STRATOTYPE HISTORIQUE

Gosselet 1879

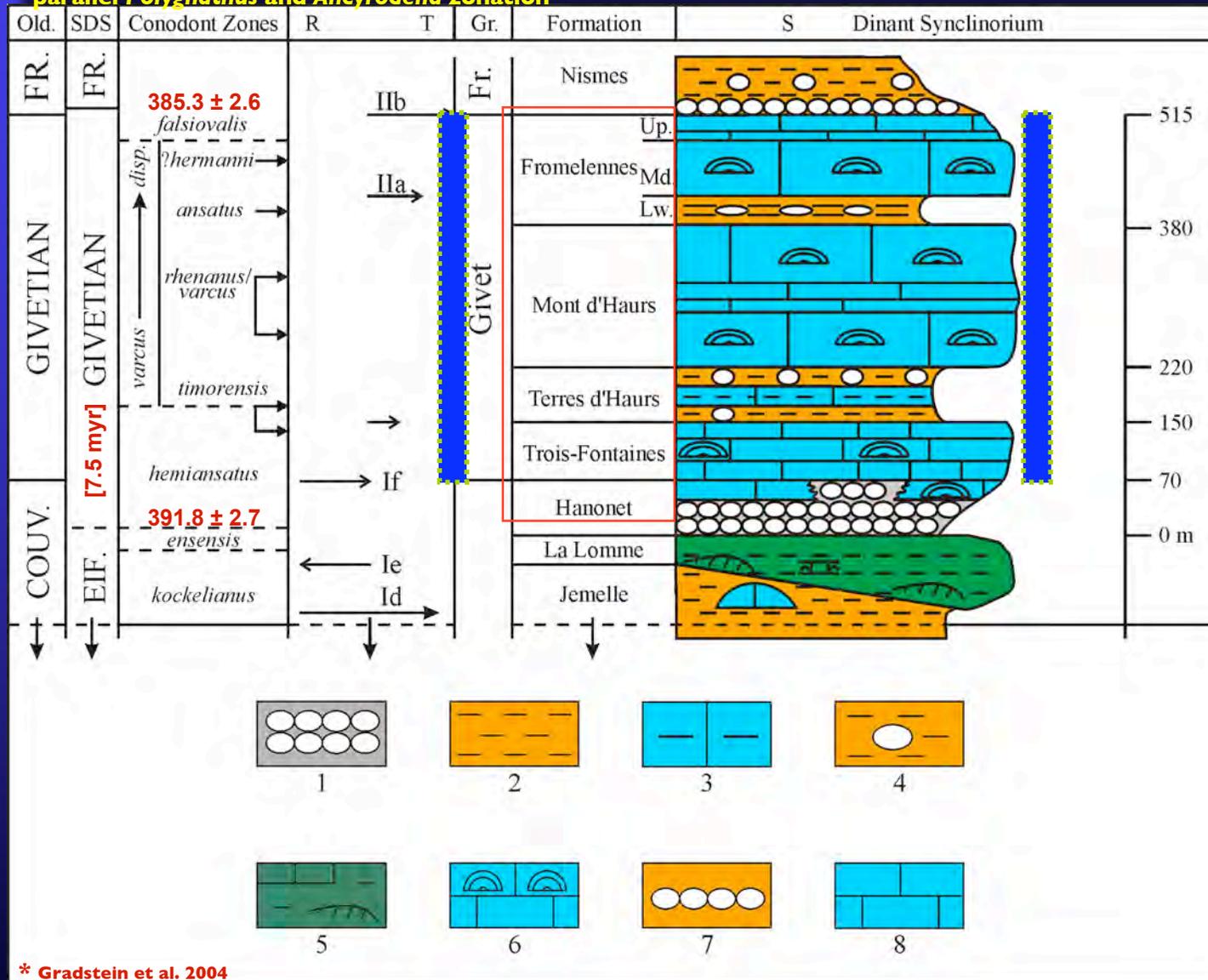
Finalement les lithologies sont presque toujours indépendantes des limites chronostratigraphiques ...



Std Zonation
AND

1879 - 2001

parallel *Polygnathus* and *Ancyrodella* zonation



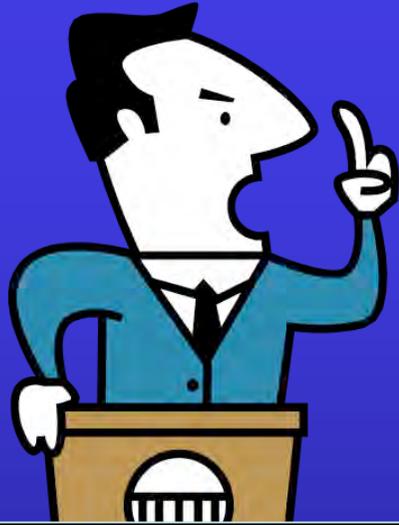
Late Middle

Early

Bultynck & Dejonghe 2001

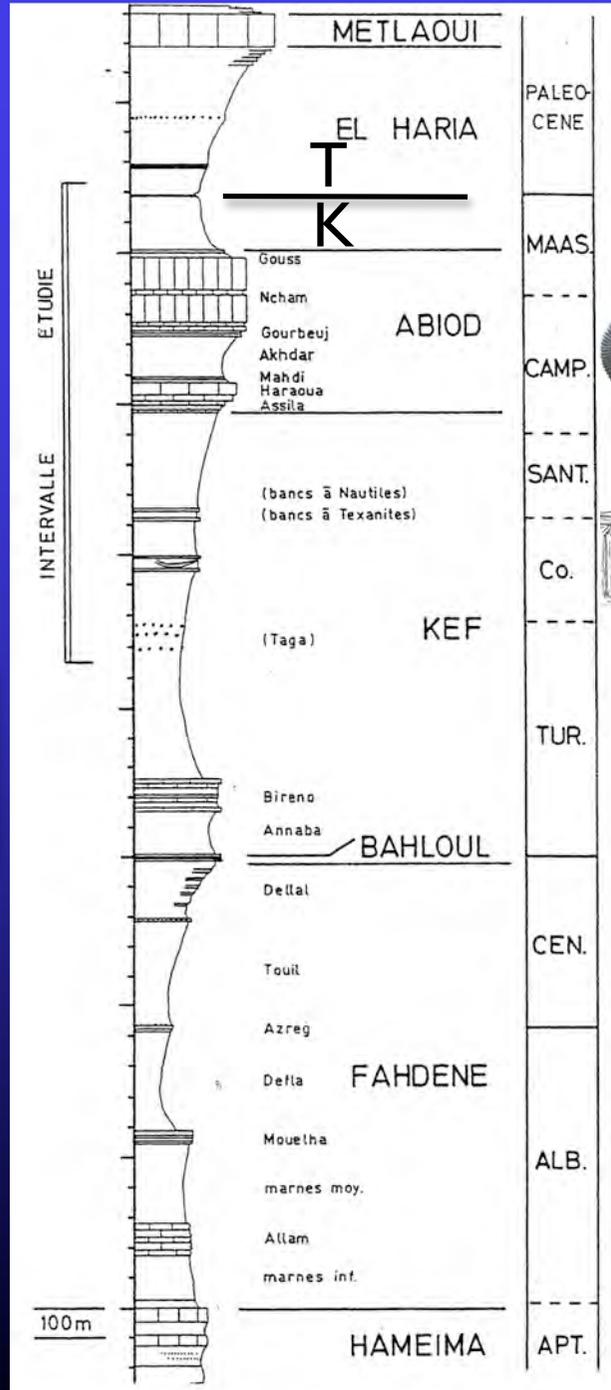
* Gradstein et al. 2004

VERY IMPORTANT
CONCLUSION



Fm subdivisions
Lithology > < Stratigraphy

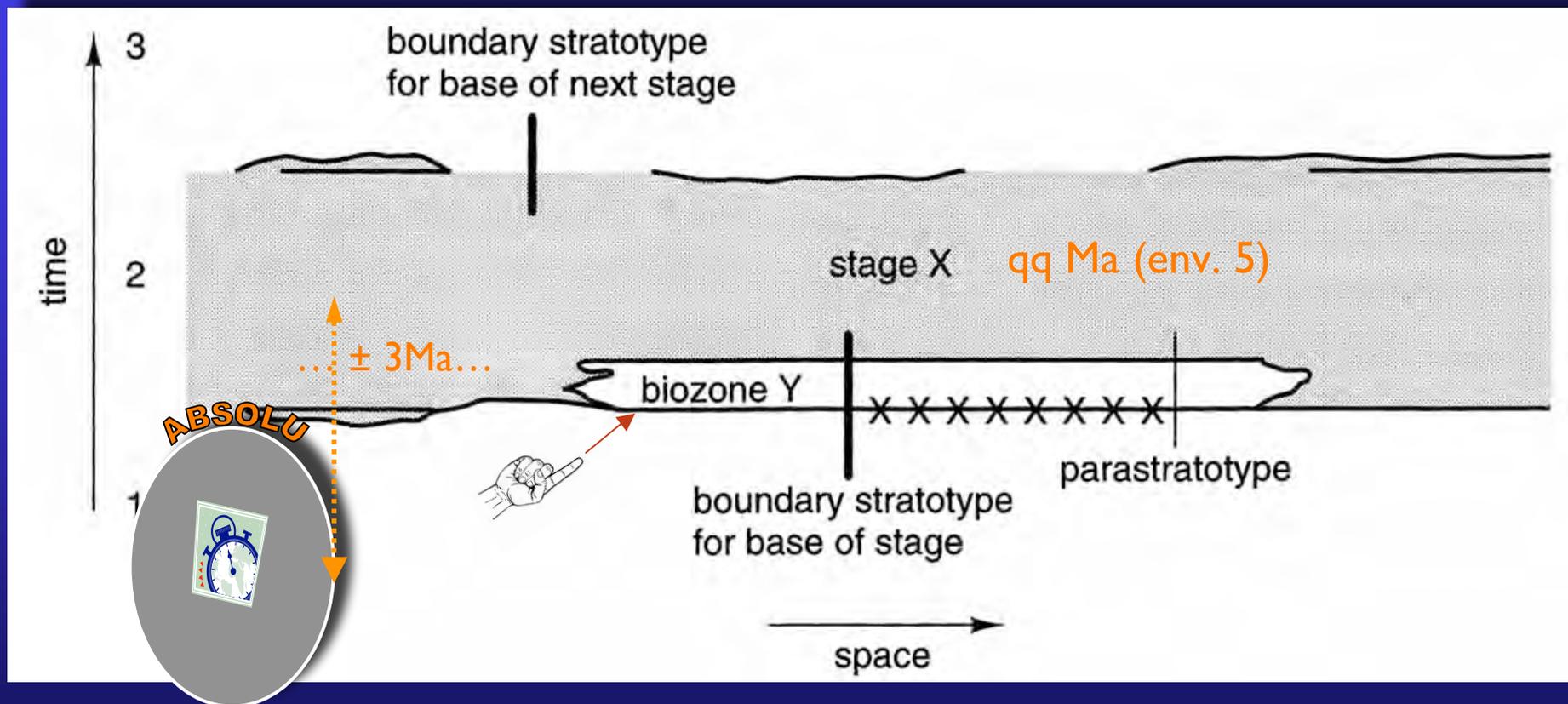
Here
1300m
Distal platform
Ammonites, Foraminifers,
Nannofossils ...



$$\frac{T}{K}$$

FROM
COMPOSITE
SECTIONS
± 50 myr

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



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)

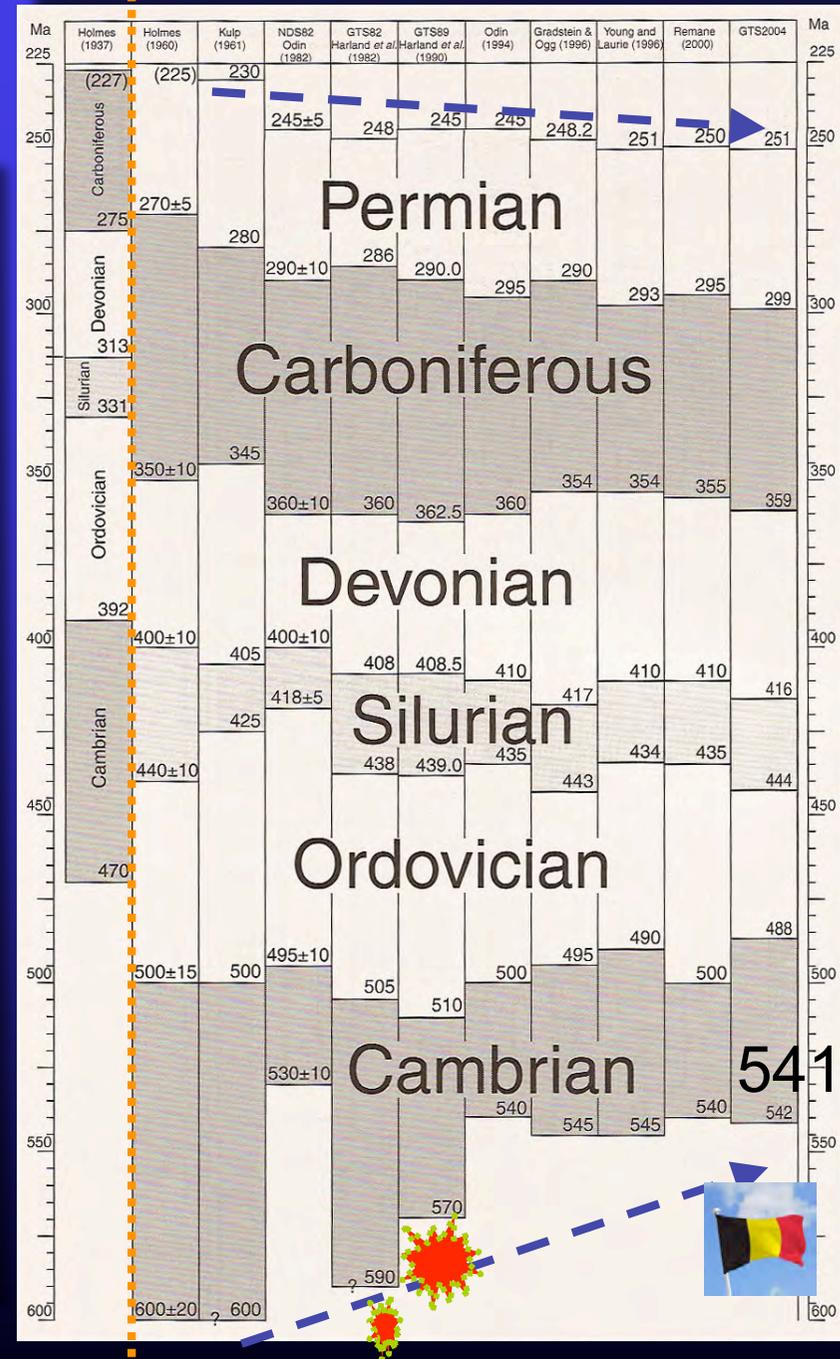
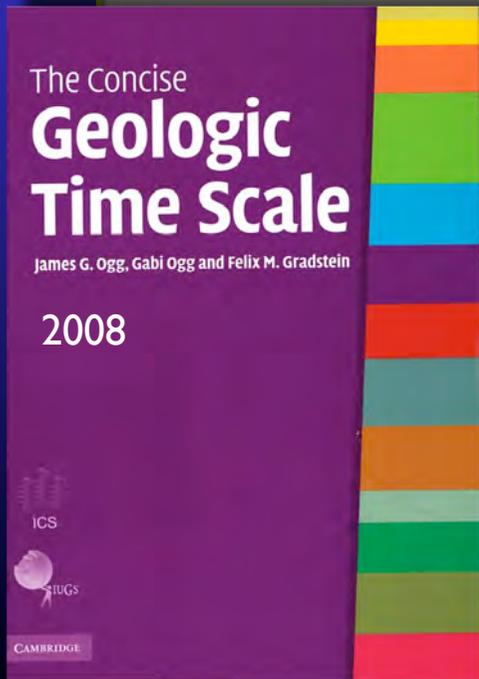
Finalement les lithologies sont presque toujours indépendantes des limites chronostratigraphiques... et la biostratigraphie de la radiochronologie...

www.stratigraphy.org

A Geologic Time Scale

2004

Felix Gradstein, James Ogg and Alan Smith



GTS août 2004 (2008)

INTERNATIONAL STRATIGRAPHIC CHART



Phanerozoic							Phanerozoic							Phanerozoic							Precambrian																																																		
Eonothem	Eon	Era	System	Series	Stage	Age	GSSP	Eonothem	Eon	Era	System	Series	Stage	Age	GSSP	Eonothem	Eon	Era	System	Series	Stage	Age	GSSP	GSSA																																															
			Period	Epoch	Age	Ma						Period	Epoch	Age		Ma				Period	Epoch	Age			Ma																																														
Phanerozoic	Cenozoic	Quaternary*	Holocene	Upper		0.0118	▶	Phanerozoic	Mesozoic	Jurassic	Upper	Tithonian		145.5 ± 4.0	▶	Phanerozoic	Paleozoic	Devonian	Upper	Famennian		359.2 ± 2.5	▶	Proterozoic	Ediacaran		542	▶	GSSA																																										
						150.8 ± 4.0								630																																																									
						155.7 ± 4.0								850																																																									
				Pleistocene	Middle							0.126	▶	Oxfordian							374.5 ± 2.6	▶				Cryogenian				850	▶	Tonian		1000																																					
					Lower							0.781								▶	Callovian									365.3 ± 2.6			▶	Stenian		1200																																			
												1.806															▶			Bathonian						391.8 ± 2.7	▶	Ectasian		1400																															
		Neogene	Pliocene		Gelasian					2.588	▶	Emsian							397.5 ± 2.7						▶										Calymmian				1600																																
										3.600								▶	Pragian																				407.0 ± 2.8	▶	Statherian		1800																												
										5.332																										▶			Lochkovian				411.2 ± 2.8	▶	Crosnian		2050																								
			Miocene			7.246				▶			Toarcian									418.0 ± 2.8				▶					Rhyacian											2300																													
						11.808								▶						Pliensbachian		418.7 ± 2.7										▶	Siderian									2500																													
						13.82															▶	Sinemurian								421.3 ± 2.6				▶			Neoproterozoic	Paleo-proterozoic					2800																												
				15.97	▶	Hettangian			422.9 ± 2.5		▶	Mesoproterozoic			Meso-proterozoic								3200																																																
				20.43			▶		Rhaetian									426.2 ± 2.4	▶				Archean	Eoarchean			3600																																												
				23.03													▶	Norian									428.2 ± 2.3	▶	Neoproterozoic	Paleo-proterozoic						3600																																			
	Tertiary*	Oligocene	Chattian							28.4 ± 0.1			▶												Ludlow		436.0 ± 1.9				▶				Archean	Eoarchean				3600																															
										33.9 ± 0.1				▶						Llandovery							439.0 ± 1.8					▶	Archean						Eoarchean		3600																														
										37.2 ± 0.1											▶	Aeronian					443.7 ± 1.5							▶			Archean	Eoarchean			3600																														
		Eocene	Priabonian		40.4 ± 0.2	▶				Rhuddanian		443.7 ± 1.5			▶											Archean	Eoarchean														3600																														
					48.6 ± 0.2		▶		Hirnantian			445.6 ± 1.5							▶				Archean	Eoarchean																	3600																														
					55.8 ± 0.2						▶	Katian						455.8 ± 1.6										▶	Archean	Eoarchean											3600																														
	Paleocene	Ypresian		58.7 ± 0.2	▶								Sandbian					460.9 ± 1.6							▶						Archean				Eoarchean					3600																															
				61.7 ± 0.2										▶			Darnwillian			468.1 ± 1.6												▶	Archean			Eoarchean				3600																															
				65.5 ± 0.3														▶		Floian		471.8 ± 1.6												▶			Archean	Eoarchean		3600																															
	Cretaceous	Upper	Maastrichtian			70.6 ± 0.6				▶					Tremadocian							478.6 ± 1.7				▶	Archean												Eoarchean		3600																														
						83.5 ± 0.7	▶		Stage 10												488.3 ± 1.7	▶	Archean	Eoarchean																	3600																														
						85.8 ± 0.7					▶	Stage 9									~ 492.0 *							▶	Archean	Eoarchean											3600																														
		Lower	Santonian		89.3 ± 1.0	▶							Paibian								501.0 ± 2.0				▶						Archean				Eoarchean						3600																														
					93.5 ± 0.8									▶			Stage 7				~ 503.0 *											▶	Archean			Eoarchean					3600																														
					99.6 ± 0.9													▶	Stage 5		~ 506.5 *													▶			Archean	Eoarchean			3600																														
	Mesozoic	Cretaceous	Upper	Turonian						93.5 ± 0.8					▶					Drunian						~ 510.0 *	▶												Archean	Eoarchean		3600																													
							112.0 ± 1.0		▶	Stage 4												~ 517.0 *	▶	Archean		Eoarchean																3600																													
					125.0 ± 1.0		▶	Stage 3				~ 521.0 *				▶					Archean	Eoarchean							3600																																										
Lower			Barremian		130.0 ± 1.5	▶					Stage 2		~ 534.6 *												▶			Archean	Eoarchean		3600																																								
					136.4 ± 2.0							▶	Stage 1				542.0 ± 1.0													▶	Archean	Eoarchean			3600																																				
					140.2 ± 3.0									▶			Archean	Eoarchean															3600	▶	Archean	Eoarchean		3600																																	
		145.5 ± 4.0	▶	Archean	Eoarchean														3600	▶							Archean						Eoarchean					3600																																	
Mesozoic	Triassic	Upper							Rupelian						28.4 ± 0.1				▶				Paleozoic	Permian		Lopingian												251.0 ± 0.4	▶	Paleozoic	Ordovician	Upper	Katian		455.8 ± 1.6	▶	Paleozoic	Silurian	Pridoli		418.0 ± 2.8	▶	Paleozoic	Devonian	Upper	Famennian		359.2 ± 2.5													
									33.9 ± 0.1	▶					Wuchiapingian						253.8 ± 0.7	▶															Ludlow						421.3 ± 2.6	▶	Devonian					Middle	Givetian						391.8 ± 2.7	▶	Devonian	Middle	Eifelian		391.8 ± 2.7								
								37.2 ± 0.1	▶		Changhsingian										260.4 ± 0.7				▶			Llandovery										439.0 ± 1.8					▶								Devonian					Lower	Emsian					397.5 ± 2.7	▶	Devonian	Lower	Emsian		397.5 ± 2.7			
								40.4 ± 0.2				▶	Wardian								265.8 ± 0.7								▶	Aeronian		443.7 ± 1.5						▶																			Devonian				Lower	Pragian					407.0 ± 2.8	▶	Devonian	Lower	Lochkovian
								48.6 ± 0.2						▶		Roadian		270.6 ± 0.7			▶										Rhuddanian			443.7 ± 1.5	▶	Devonian																										Lower				Pragian					407.0 ± 2.8
					55.8 ± 0.2	▶	Kungurian										275.6 ± 0.7	▶		Hirnantian												445.6 ± 1.5	▶	Devonian																																Lower	Pragian				
			61.7 ± 0.2	▶	Artinskian												284.4 ± 0.7							▶		Katian						455.8 ± 1.6									▶	Devonian						Lower	Pragian						407.0 ± 2.8												▶				Devonian
			65.5 ± 0.3					▶		Sakmarian							294.6 ± 0.8					▶					Sandbian										460.9 ± 1.6							▶	Devonian				Lower	Pragian					407.0 ± 2.8			▶	Devonian	Lower											
			70.6 ± 0.6						▶		Aselanian						299.0 ± 0.8								▶			Darnwillian									468.1 ± 1.6						▶							Devonian	Lower			Pragian		407.0 ± 2.8							▶	Devonian	Lower						
			83.5 ± 0.7									▶	Gzhelian				303.9 ± 0.9												▶	Floian							471.8 ± 1.6	▶																Devonian	Lower	Pragian					407.0 ± 2.8							▶	Devonian	Lower	
			85.8 ± 0.7											▶	Kasimovian		306.5 ± 1.0				▶										Tremadocian				478.6 ± 1.7	▶	Devonian																			Lower	Pragian					407.0 ± 2.8									
			89.3 ± 1.0			▶	Moscovian										311.7 ± 1.1	▶		Stage 10													488.3 ± 1.7	▶	Devonian																						Lower				Pragian					407.0 ± 2.8					
		93.5 ± 0.8	▶	Bashkirian												317.1 ± 1.3	▶		Stage 9					~ 492.0 *		▶						Devonian	Lower						Pragian		407.0 ± 2.8	▶				Devonian	Lower	Lochkovian					411.2 ± 2.8																		
		99.6 ± 0.9			▶			Serpukhovian								326.4 ± 1.6						▶	Stage 7				501.0 ± 2.0												▶	Devonian	Lower			Pragian				407.0 ± 2.8	▶			Devonian	Lower					Lochkovian		411.2 ± 2.8											
		112.0 ± 1.0							▶	Visean						345.3 ± 2.1								▶	Stage 5			~ 510.0 *															▶	Devonian	Lower			Pragian			407.0 ± 2.8							▶	Devonian	Lower	Lochkovian		411.2 ± 2.8								
		125.0 ± 1.0									▶	Tournaesian				359.2 ± 2.5											▶	Stage 4		~ 517.0 *								▶										Devonian		Lower	Pragian				407.0 ± 2.8						▶	Devonian	Lower	Lochkovian		411.2 ± 2.8					
		130.0 ± 1.5											▶	Tournaesian		359.2 ± 2.5					▶								Stage 3		~ 521.0 *					▶	Devonian														Lower			Pragian		407.0 ± 2.8								▶	Devonian	Lower	Lochkovian		411.2 ± 2.8		
		136.4 ± 2.0				▶	Tournaesian									359.2 ± 2.5		▶		Stage 2											~ 534.6 *			▶	Devonian																			Lower	Pragian		407.0 ± 2.8										▶	Devonian	Lower	Lochkovian	
		140.2 ± 3.0	▶	Tournaesian												359.2 ± 2.5	▶		Stage 1											542.0 ± 1.0	▶	Devonian	Lower									Pragian					407.0 ± 2.8								▶	Devonian	Lower													Lochkovian	
		145.5 ± 4.0			▶			Tournaesian								359.2 ± 2.5						▶	Stage 1							542.0 ± 1.0									▶	Devonian	Lower	Pragian					407.0 ± 2.8		▶			Devonian	Lower																	Lochkovian	

Quaternary*: Formal chronostratigraphic unit sensu joint ICS-INQUA taskforce (2005) and ICS.
Tertiary*: Informal chronostratigraphic unit sensu Aubry et al. (2005, Episodes 28/2).

This chart was drafted by Gabi Ogg. Intra Cambrian unit ages with * are informal, and awaiting ratified definitions.
Copyright © 2006 International Commission on Stratigraphy

Subdivisions of the global geologic record are formally defined by their lower boundary. Each unit of the Phanerozoic (~542 Ma to Present) and the base of Ediacaran are defined by a basal Global Standard Section and Point (GSSP), whereas Precambrian units are formally subdivided by absolute age (Global Standard Stratigraphic Age, GSSA). Details of each GSSP are posted on the ICS website (www.stratigraphy.org).

International chronostratigraphic units, rank, names and formal status are approved by the International Commission on Stratigraphy (ICS) and ratified by the International Union of Geological Sciences (IUGS).

Numerical ages of the unit boundaries in the Phanerozoic are subject to revision. Some stages within the Ordovician and Cambrian will be formally named upon international agreement on their GSSP limits. Most sub-Series boundaries (e.g., Middle and Upper Aptian) are not formally defined.

Colors are according to the Commission for the Geological Map of the World (www.egmw.org). The listed numerical ages are from 'A Geological Time Scale 2004', by F.M. Gradstein, J.G. Ogg, A.G. Smith, et al. (2004; Cambridge University Press).



1143p

THE GEOLOGIC TIME SCALE 2012

VOLUME 1



Epoch/Eon	Eon	Era	System	Series	Stage			
Epoch/Eon	Eon	Era	System	Series	Stage			
Phanerozoic	Cenozoic	Tertiary*	Quaternary*	Holocene				
				Pleistocene	Upper			
					Middle			
					Lower			
				Neogene	Gelasian			
			Pliocene		Piacenzian			
					Zanclean			
			Miocene		Messinian			
					Tortonian			
				Serravalian				
		Langhian						
		Burdigalian						
		Tertiary*	Paleogene	Oligocene	Chattian			
					Rupelian			
					Priabonian			
				Eocene	Bertonian			
					Lutetian			
					Ypresian			
					Thanetian			
			Paleocene	Selandian				
				Danian				
				Mesozoic	Cretaceous	Upper	Maastrichtian	
							Campanian	
							Santonian	
Coniacian								
Turonian								
Lower	Cenomanian							
	Albian							
	Aptian							
	Barremian							
	Hauterivian							
Valanginian								
Berriasian								

Quaternary*: Formal chronostratigraphic unit sensu joint
Tertiary*: Informal chronostratigraphic unit sensu Aubry et al.



135

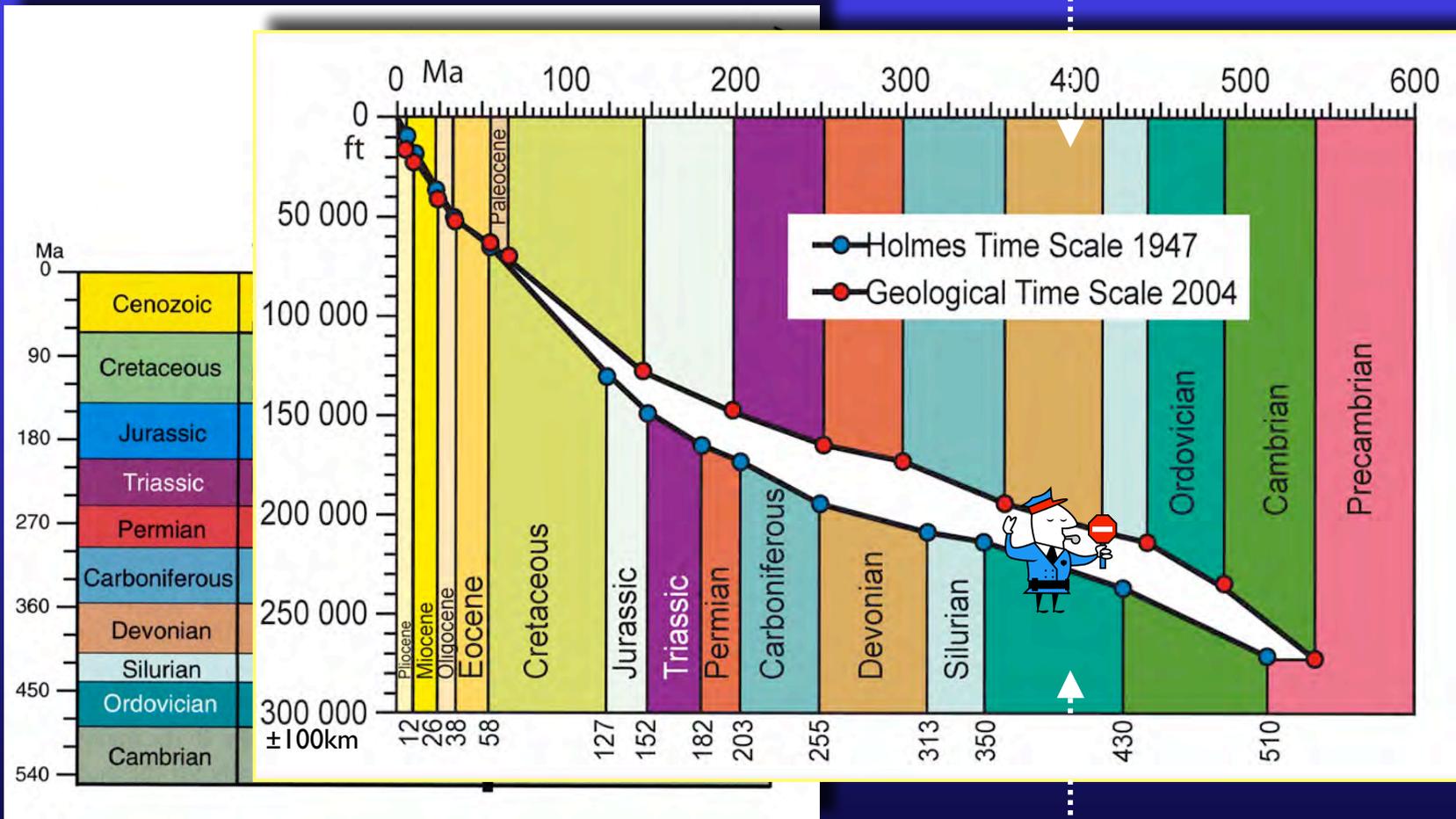
FELIX M. GRADSTEIN
JAMES G. OGG
MARK D. SCHMITZ
and GABI M. OGG



Epoch/Eon	Eon	Era	System	Age	GSSP	GSSA
Epoch/Eon	Eon	Era	System	Age	GSSP	GSSA
Proterozoic	Proterozoic	Neo-proterozoic	Ediacaran	542	📍	
			Cryogenian	~630		
		Meso-proterozoic	Tonian	850		
			Stenian	1000		
			Ectasian	1200		
			Callymian	1400		
		Paleo-proterozoic	Statherian	1600		
			Crosinian	1800		
			Rhyacian	2050		
			Siderian	2300		
Archean	Archean	Neoproterozoic	2500			
		Mesoarchean	2800			
		Paleoarchean	3200			
		Lower limit is not defined	3600			

Subdivisions of the global geologic record are formally defined by their lower boundary. Each unit of the Phanerozoic (~542 Ma to Present) and the Ediacaran are defined by a basal Global Standard Section and Point (GSSP), whereas Cambrian units are formally subdivided by their lower boundary (Global Standard Stratigraphic Age, GSSA). Details of each GSSP are posted on the website (www.stratigraphy.org). International chronostratigraphic units, ranks, and formal status are approved by the International Commission on Stratigraphy (ICS) and ratified by the International Union of Geological Sciences (IUGS). Numerical ages of the unit boundaries in the Phanerozoic are subject to revision. Some stages in the Ordovician and Cambrian will be formally defined upon international agreement on their GSSP. Most sub-Series boundaries (e.g., Middle Joppo, Aptian) are not formally defined. The listed numerical ages are from 'A Geologic Time Scale 2004', by F.M. Gradstein, J.G. Ogg, and G.M. Ogg, Jr. (2004; Cambridge University Press).

GTS août 2004 (2008)

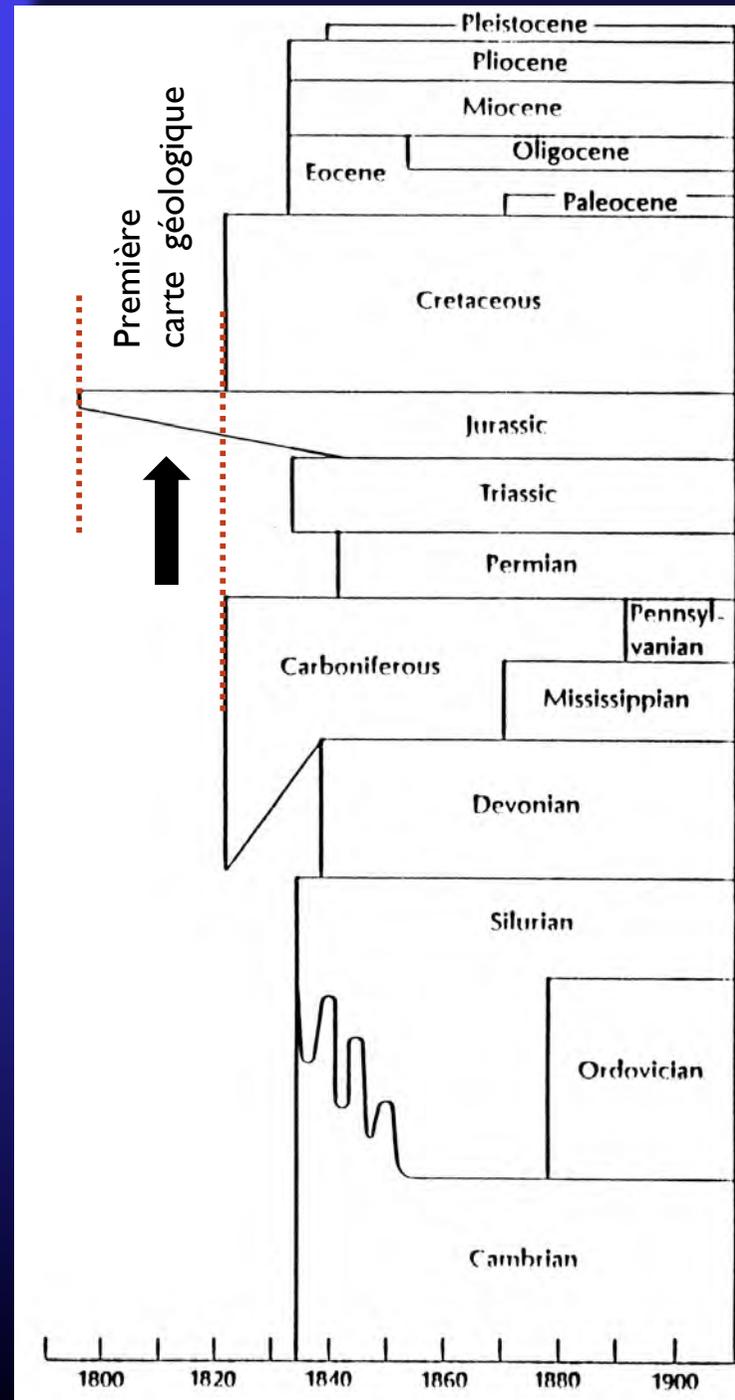
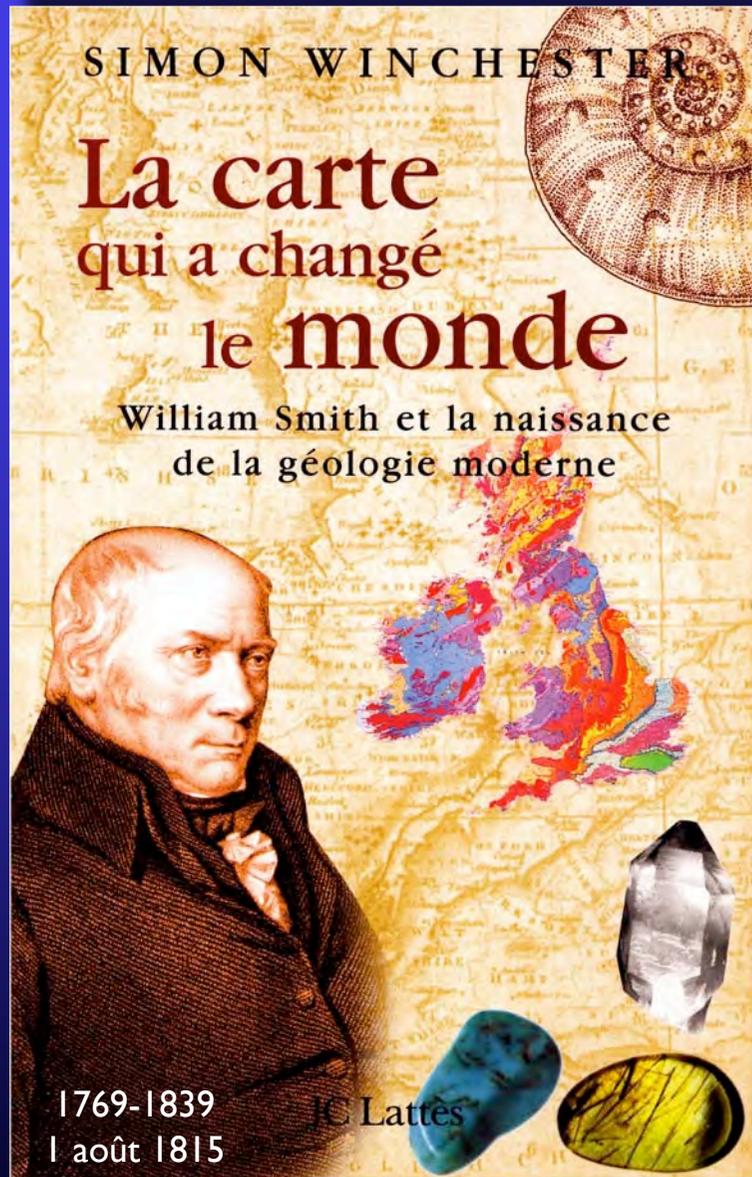


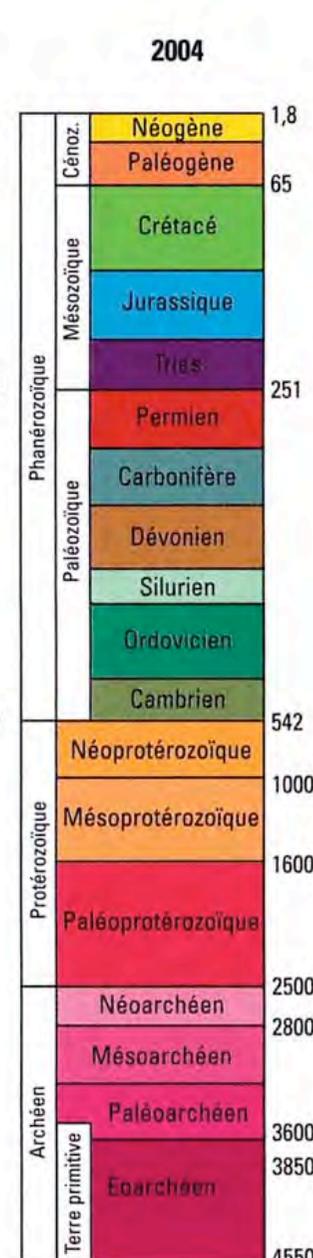
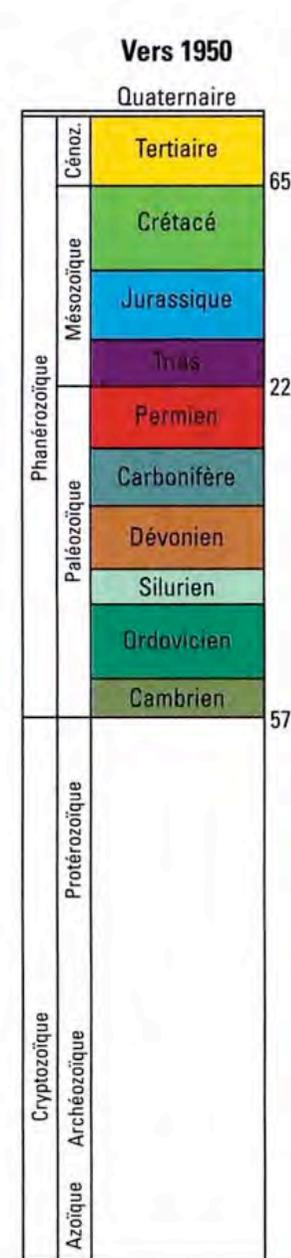
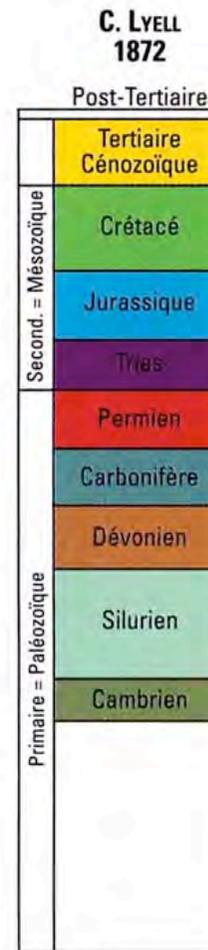
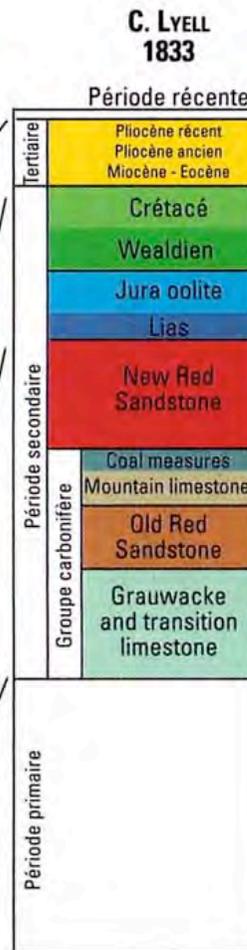
Le temps absolu ne peut servir pour fixer l'échelle des temps géologiques

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

		GTS1982	GTS1989	Odin 1994	Gradstein&Ogg 1996	Young&Laurie 1996	Remane2000	GTS2004-2008	2014	
Devonian	Devonian	360±10/5	Tournaisian 360	Tournaisian 360	Famennian 360	Famennian 360	Famennian 360	Famennian 360	360	
			Famennian 367	Famennian 367	L	Frasnian 364	Frasnian 364.5	Famennian 370	Famennian 367	362.5
			Frasnian 374	Frasnian 374		Givetian 370	Givetian 370	Frasnian 375	Famennian 375	375
			Givetian 380	Givetian 381	M	Eifelian 380	Eifelian 384	Givetian 380	Frasnian 385	377
			Eifelian 387	Eifelian 386		Emsian 391	Emsian 399.5	Eifelian 390	Givetian 392	385
			Emsian 394	Pragian 396	E	Pragian 400	Pragian 404.5	Pragian 410	Eifelian 398	387.8
			Siegenian 401	Lochkovian 408.5		Lochkovian 417	Lochkovian 410	Lochkovian 410	Emsian 407	400
			Gedinnian 408	Pridoli 410.7		Pridoli 419	Ludlow 420	Ludlow 425	Pridoli 419	410
			Pridoli 414	Ludlow 421	Pridoli 415	Ludlow 423	Wenlock 425	Wenlock 425	Ludlow 423	412
			Ludlow 421	Wenlock 422	Ludlow 425	Wenlock 425	Wenlock 425	Wenlock 425	Wenlock 425	415
Silurian	Silurian	400±10/5								
		418±5/10								

Comment arrive t'on à ces échelles?





Comment a t'on fait?

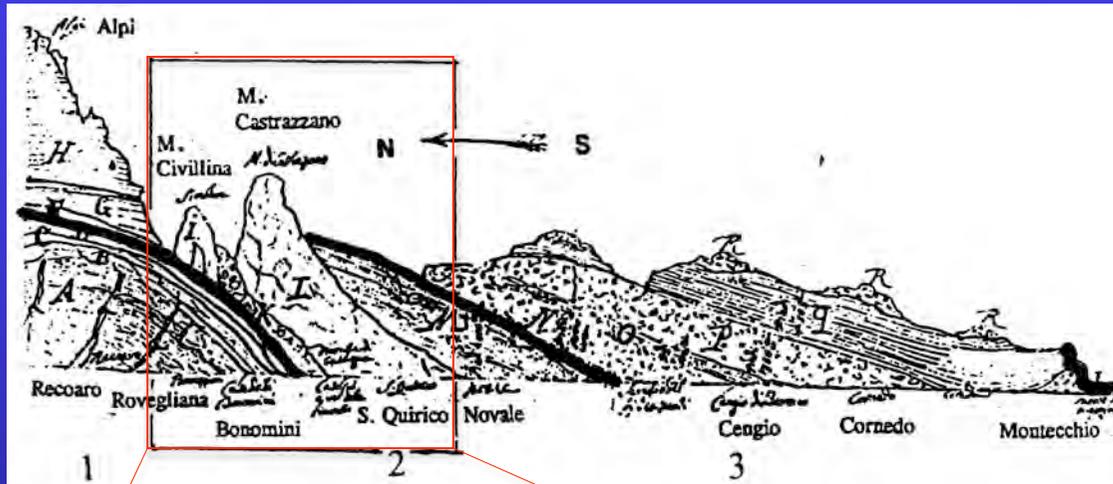
Grandes divisions stratigraphiques [simplifié d'après F. GRADSTEIN *et al.*, 2004]

ARDUINO'S LITHOSTRATIGRAPHICAL THEORY (1760-1775)

Units (<i>Ordini</i>)	Mountain type	Rock type	Causes
1	Basement/primeval rock (<i>roccia primigenia</i>)	Crystalline schist <i>schisto</i>	Fire Cooling of the original Earth surface
1	Primary or mineral mountains (<i>monti primari o minerali</i>) a. First subdivision b. Second subdivision	Granite, porphyry, and mineral-bearing crystalline rocks (<i>rocce vetrescibili</i>); sandstone and conglomerates without fossils	Fire, wind, and water a. Volcanism b. Volcanism and erosion due to wind and water
2	Secondary mountains (<i>monti secondari</i>)	Marbles and stratified limestones with fossils; stratified rocks like <i>vetrescibili</i> but without mineral veins	Water and fire Marine sedimentation and modifications due to the reprise of volcanism
3	Tertiary mountains (<i>monti terziari, colline</i>)	Gravel, clay, fossiliferous sand, volcanic material	Fire and water Volcanism and sedimentation within sea waters
4	Plains (<i>pianure</i>)	Alluvial deposits, sometimes stratified	Water Erosion caused by rain and rivers

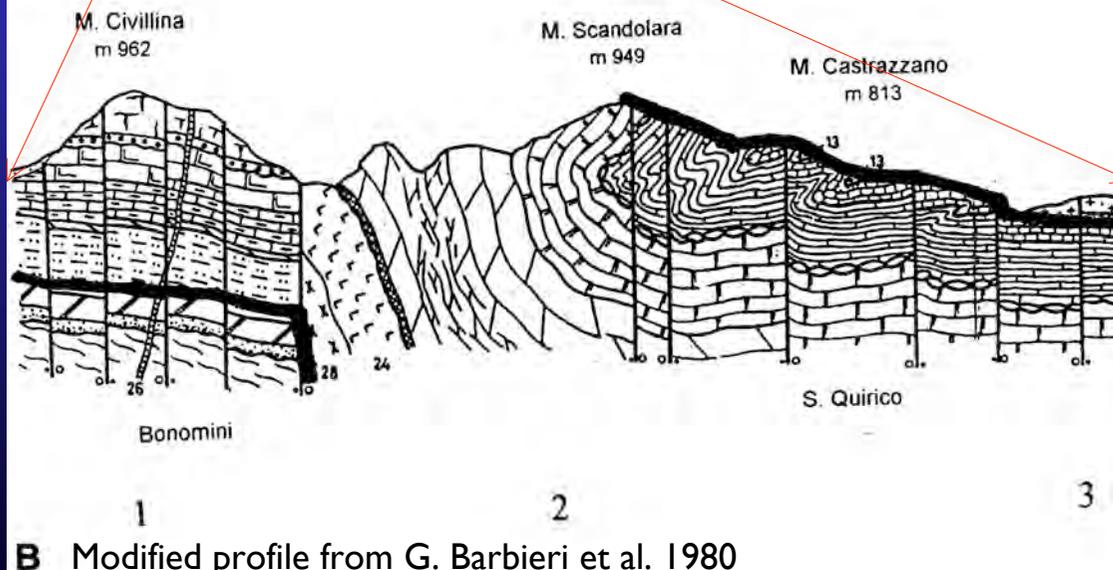
in Vaccari 2006

1780



A Modified profile from the sketch by G. Arduino

1980



B Modified profile from G. Barbieri et al. 1980

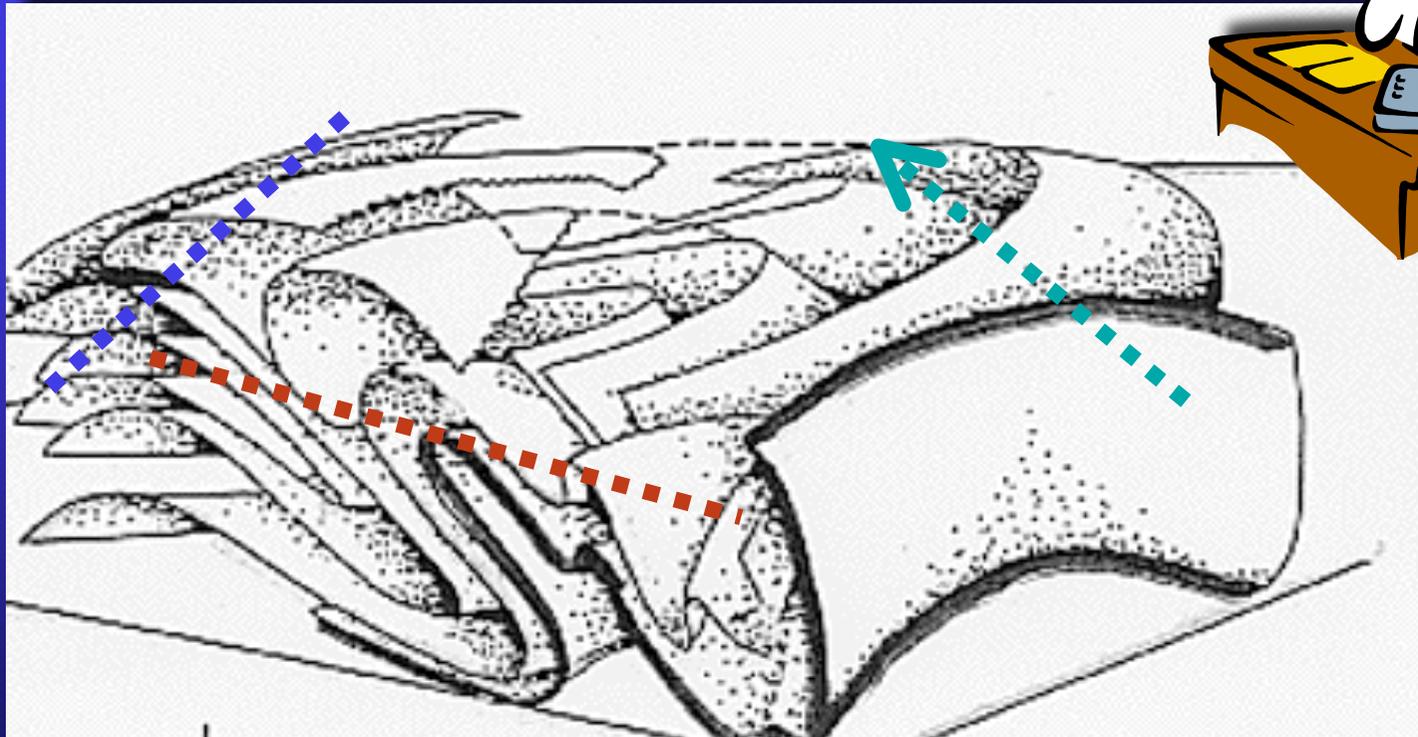
BUT

ETABLIR UNE CHRONOLOGIE OU CHRONOSTRATIGRAPHIE

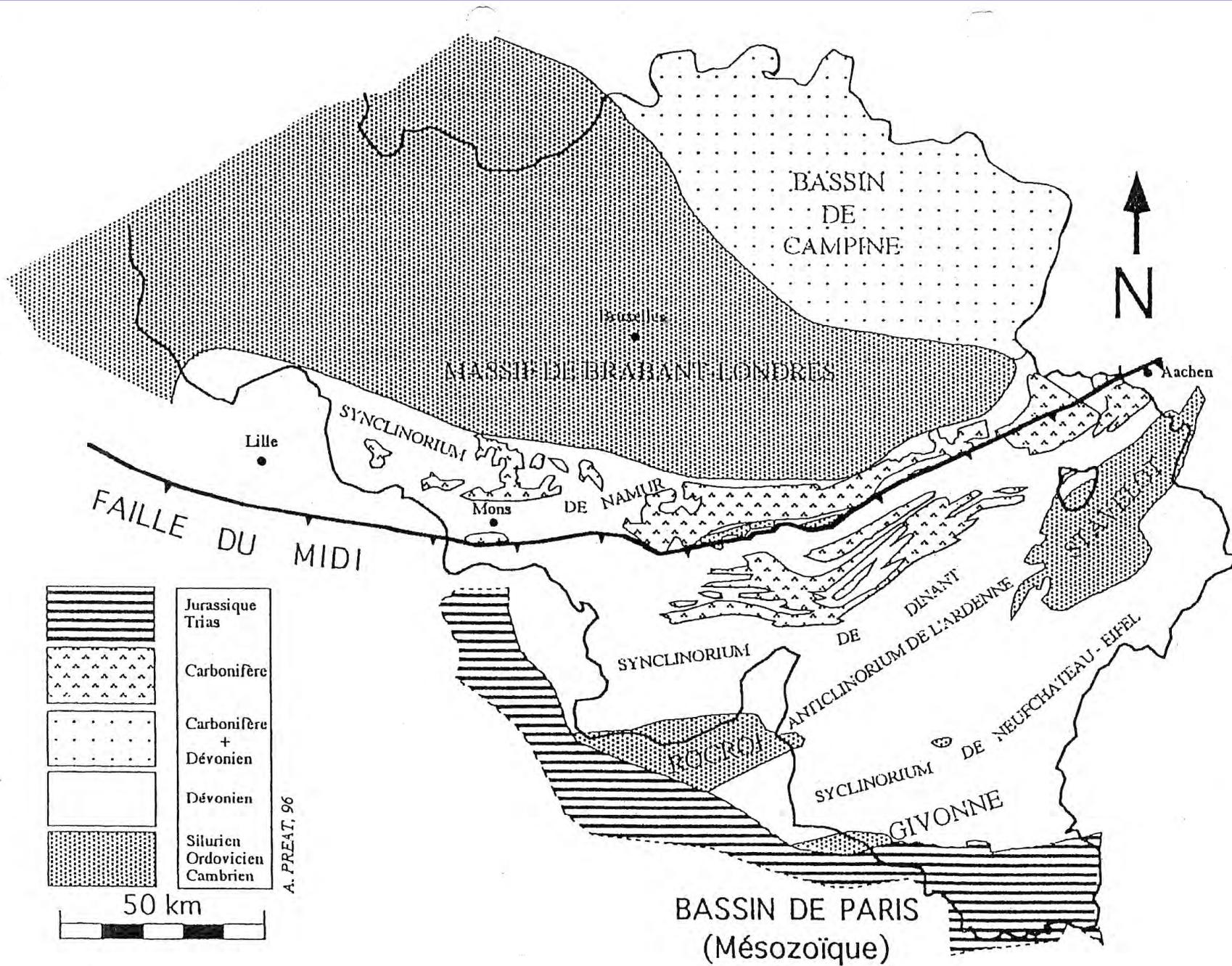
- = reconstituer la chronologie des événements ayant affecté la Terre
- = établir les synchronismes entre formations de même âge mais non reliées géographiquement et de caractères (lithologiques) souvent différents

AFFLEUREMENTS
= cahier plissé,
déchiqueté... = CARTO

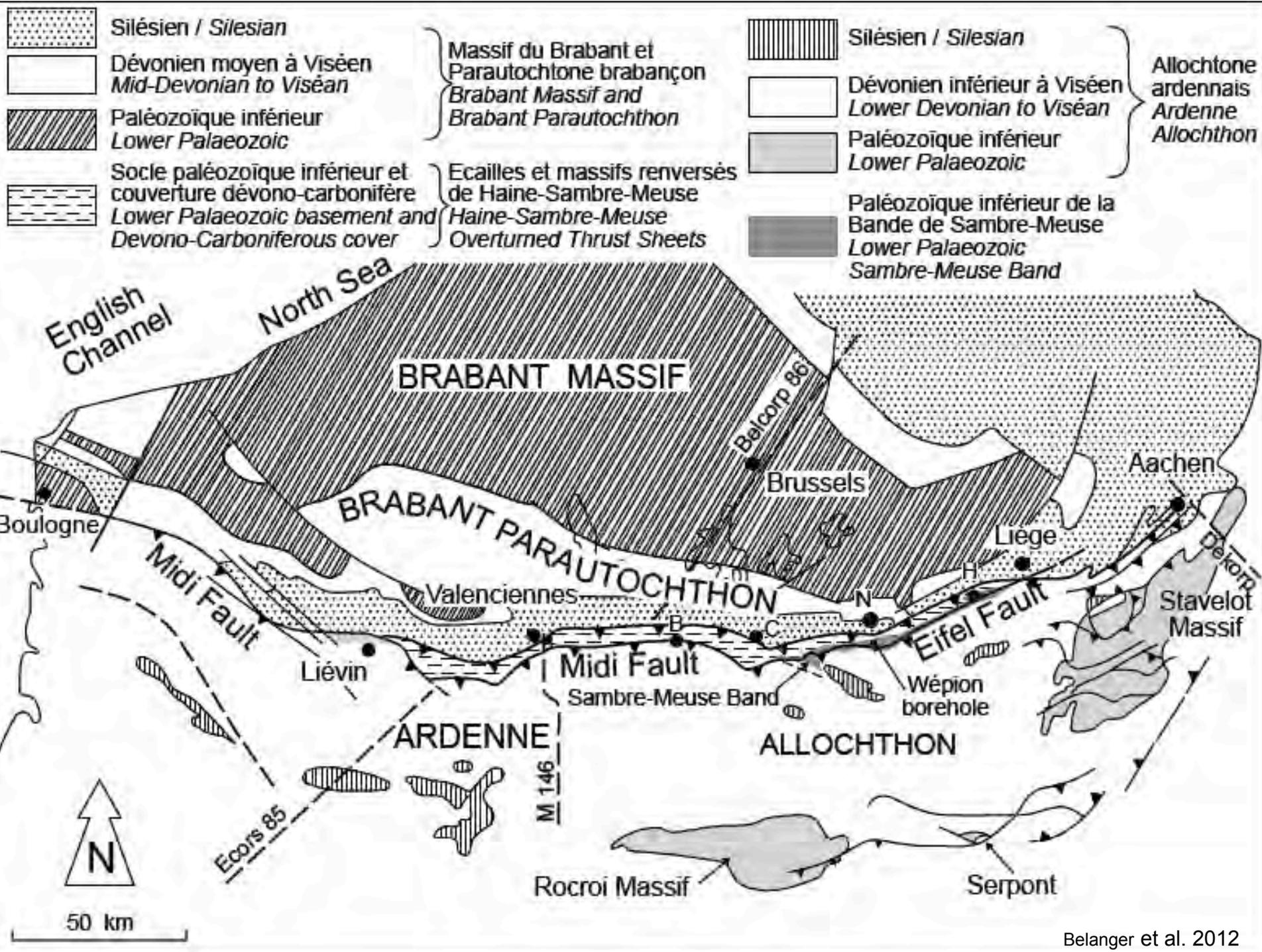
Affleurements = cahier plissé, déchiqueté
... cartographie en premier lieu = constat
déjà TRES incomplet à ce premier stade



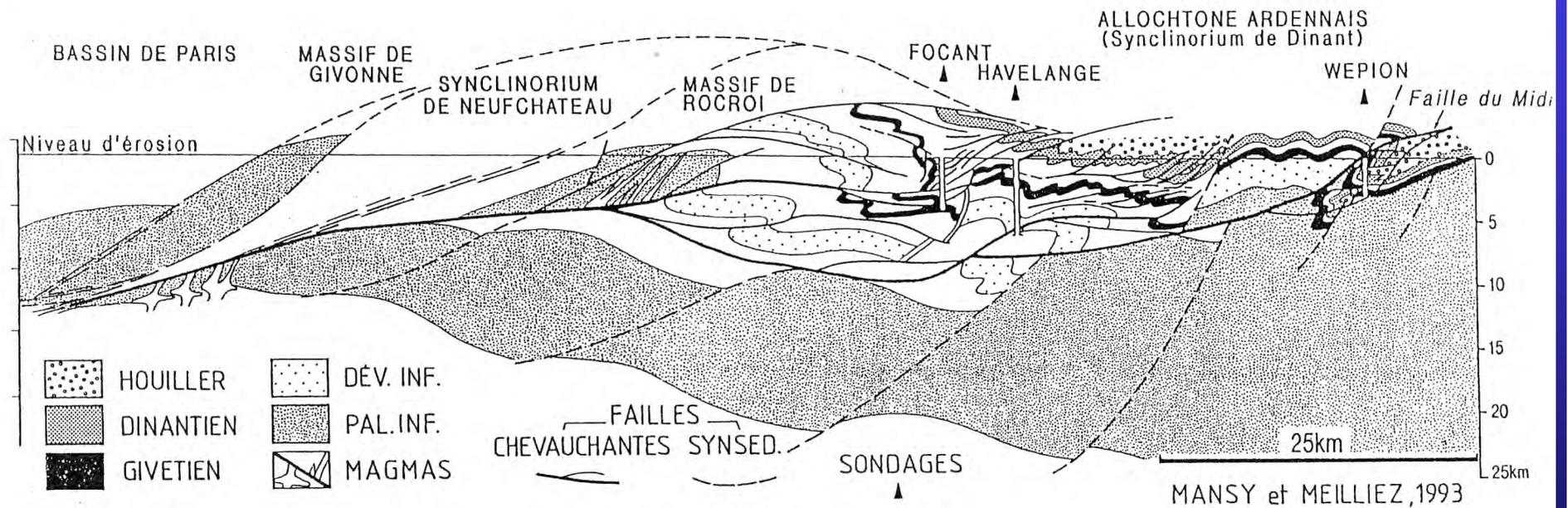
métamorphisme \Leftrightarrow compression
APPALACHES SUD (Caroline)
les plissements sont si souvent complexes
qu'il est difficile de les représenter
même sous forme de diagrammes!

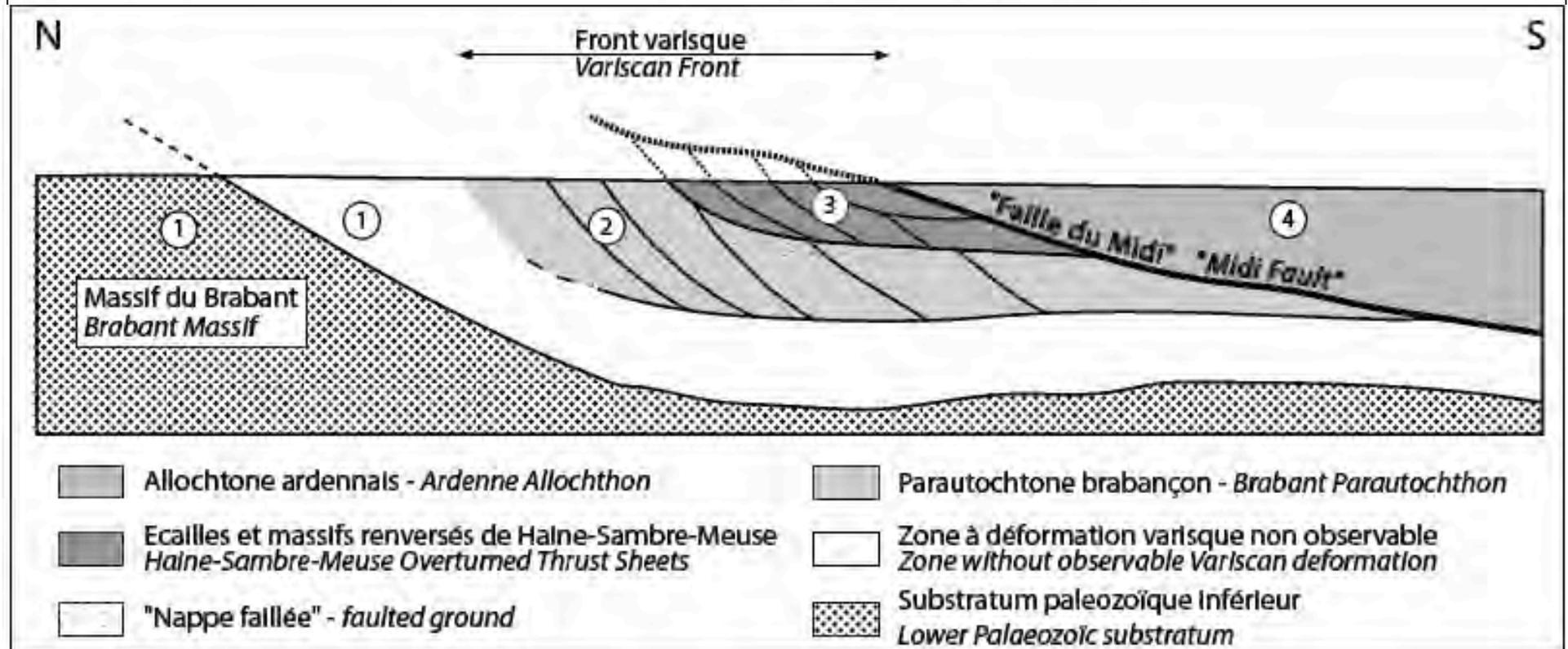
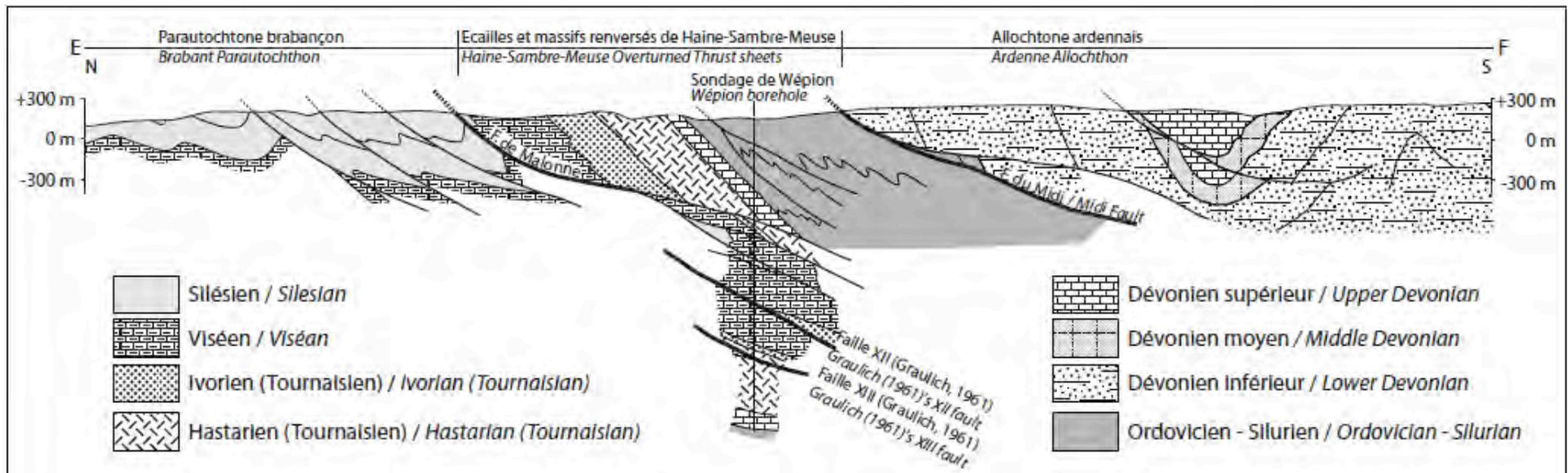


PRINCIPALES UNITES STRUCTURALES DU PALEOZOIQUE DE BELGIQUE



Exemple du 'calédonien' sur l'hercynien



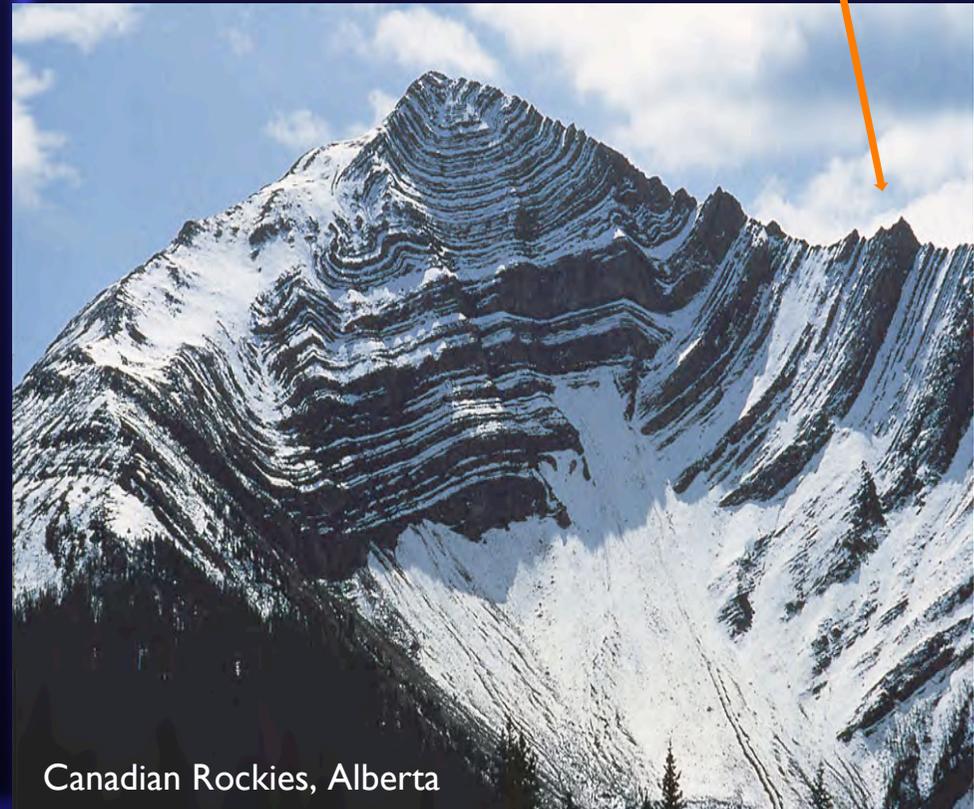


apparente
simplicité
...

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

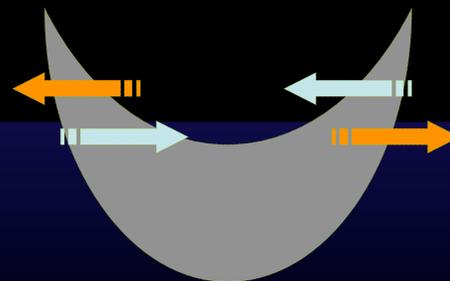


Principe de superposition (horizontalité d'origine)



+jeune +anc

Principe de superposition (horizontalité d'origine)

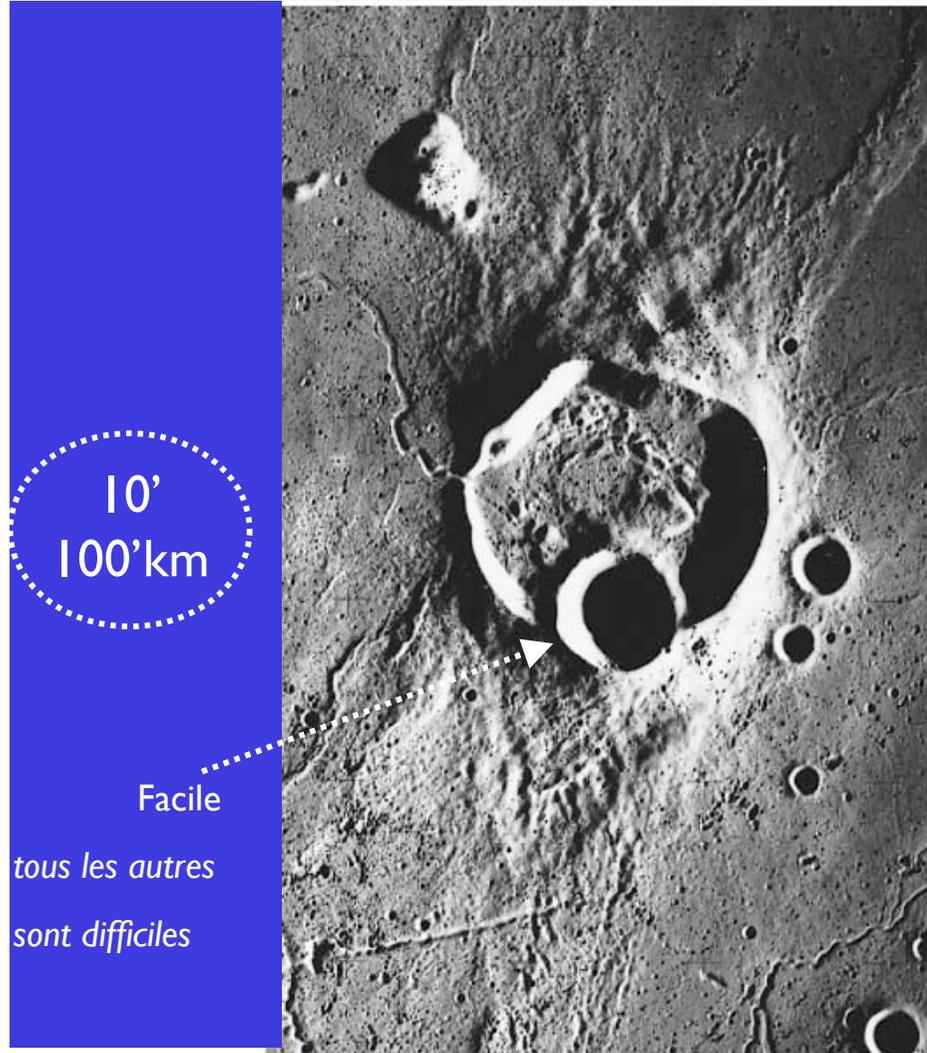


Principe de superposition (horizontalité d'origine)

Série renversée par la tectonique hercynienne



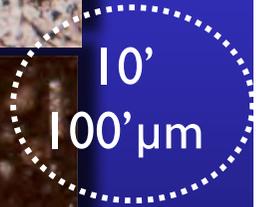
Principe de superposition valable à toutes les échelles



4

4'

3



5

4'

3

1-2

3
4

1 Principe de superposition

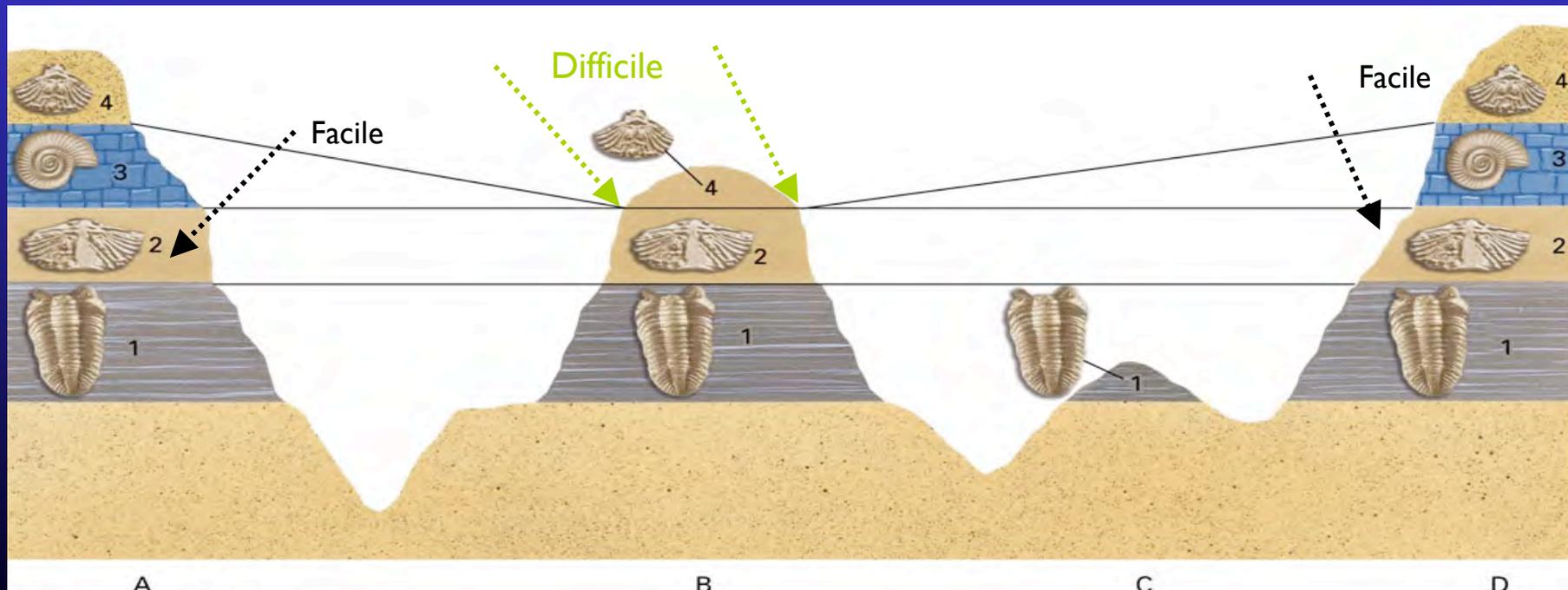
2 Principe de continuité

3 Principe d'identité paléontologique

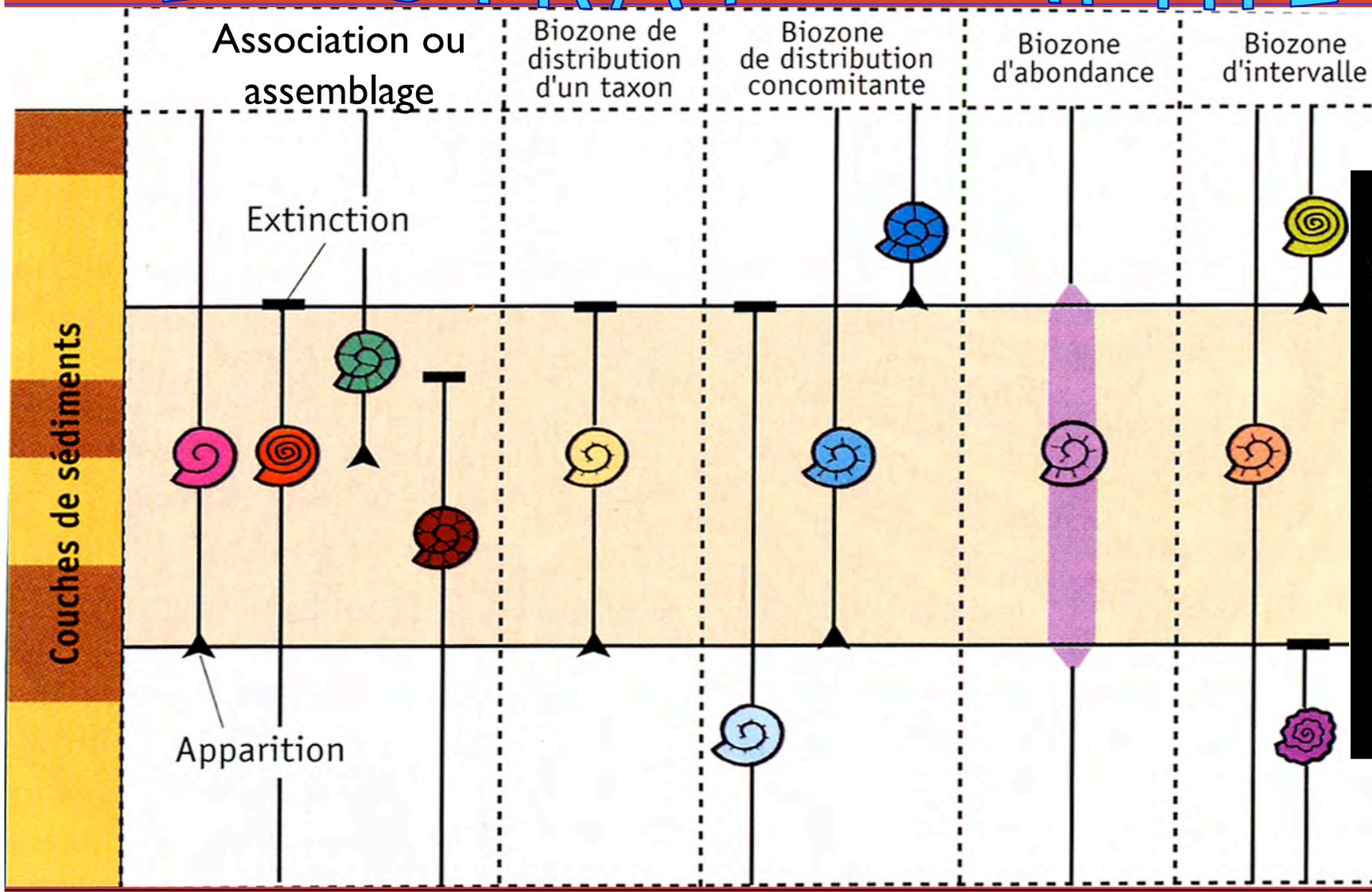
= 'Fossiles index'

Abondants (préservation) - Grande distribution géographique

Rapide évolution (tachytélie) - Facilement reconnaissables



BIOSTRATIGRAPHIE

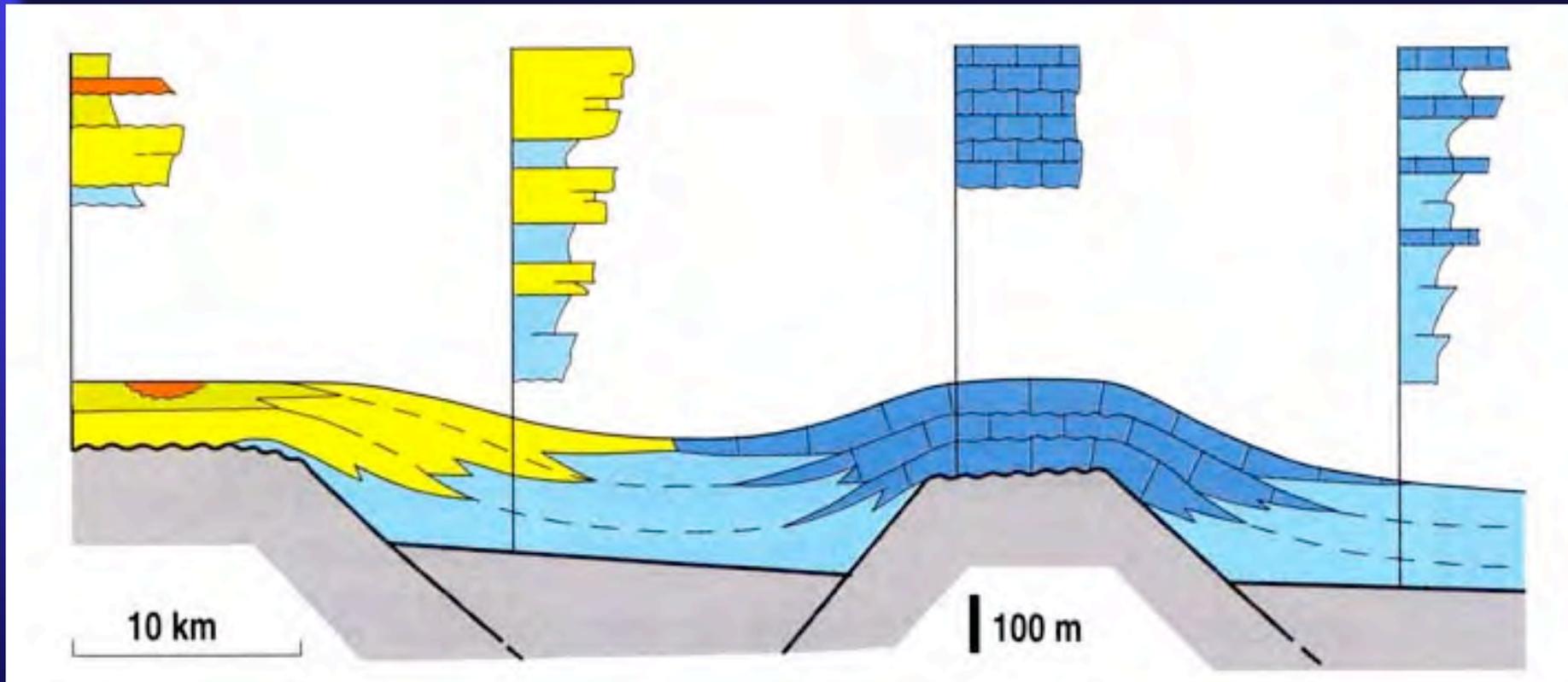


Un fossile 'seul' n'est d'aucune utilité.... (hélas...)

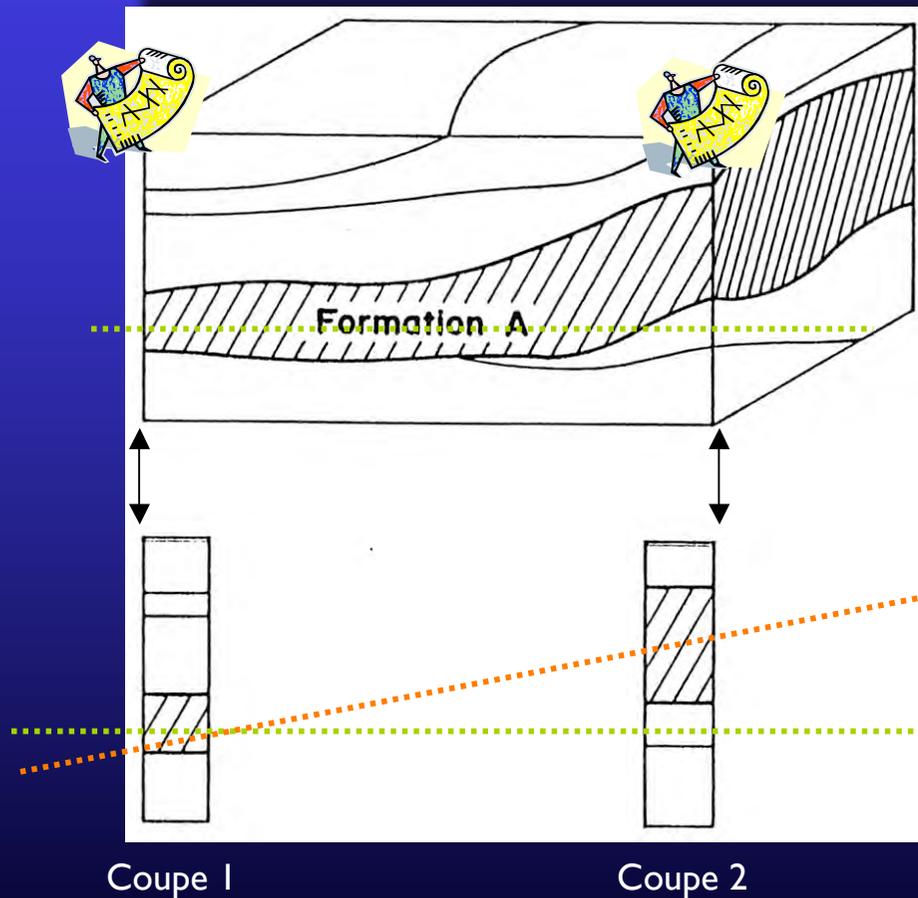


POURQUOI LE PRINCIPE DE SUPERPOSITION
(et les deux autres)
NE RESOUT-IL PAS IMMEDIATEMENT LES
PROBLEMES LIES AUX CORRELATIONS?

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



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



T => diachronisme
(cas d'une transgression lente)

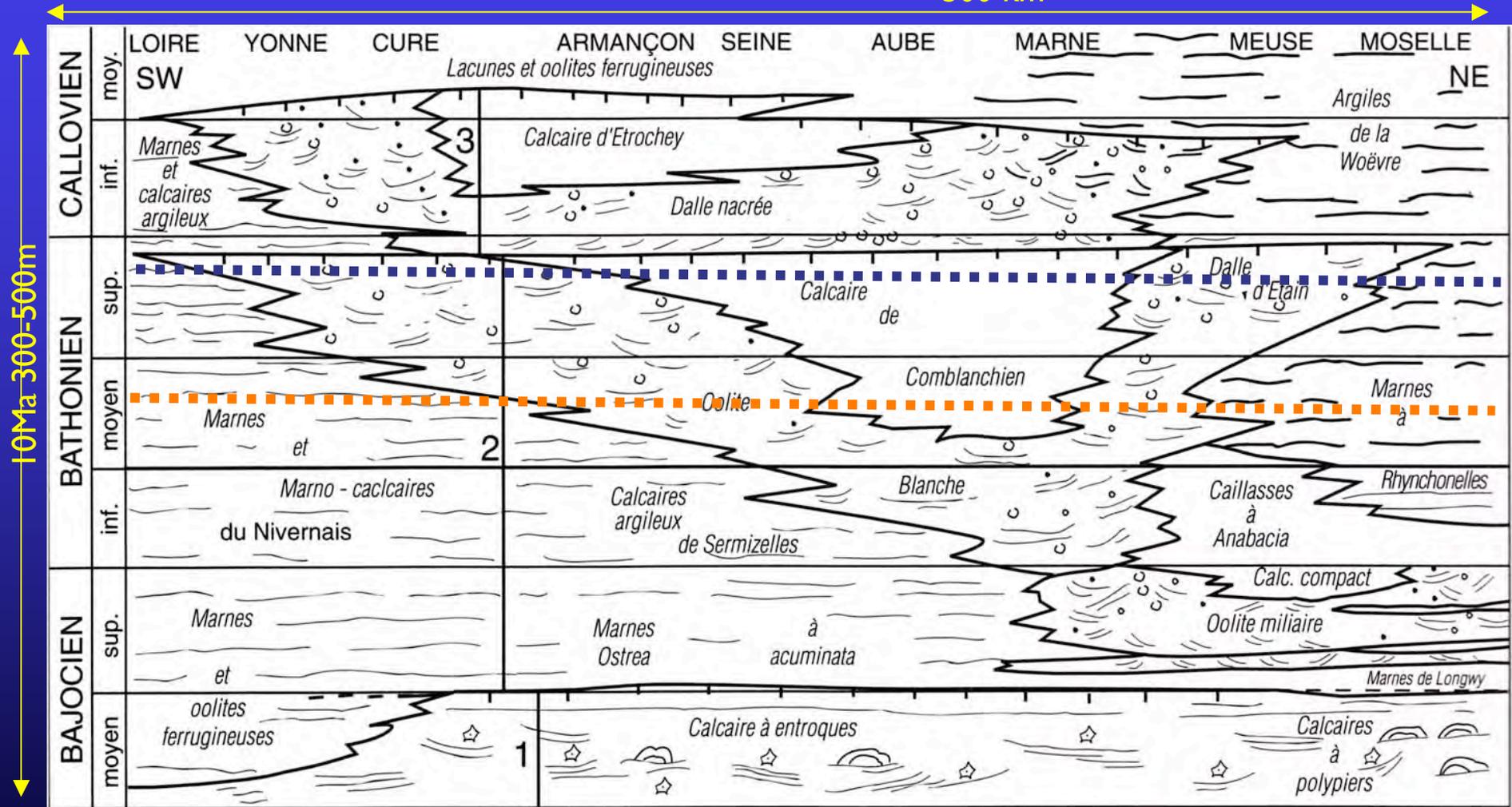
'mauvaise' corrélation

oui

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

2D 'reconstitué'

500 km



Cavelier et al 1980

DOGGER - BASSIN DE PARIS systèmes sédimentaires progradants

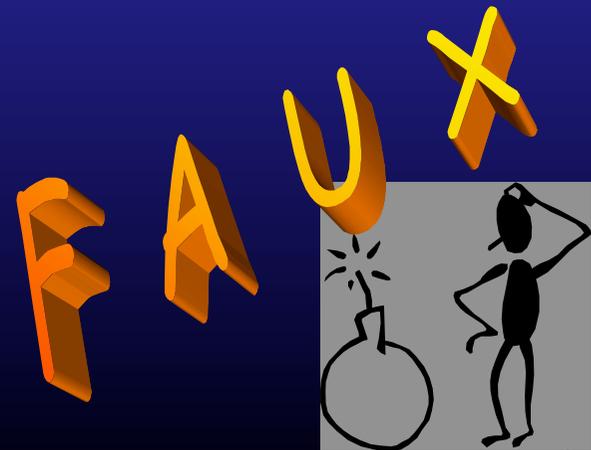
COMMENT FAIRE?



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 thicknesses of the strata are
proportional to the times of their formation »
=> 'one foot = 8616 years!....'

Soit un an = 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 discontinuités '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 SÉDIMENTATION N'EST PAS CONTINUE
ET IL Y A PLUS DE 'GAPS' QUE DE 'RECORDS'**

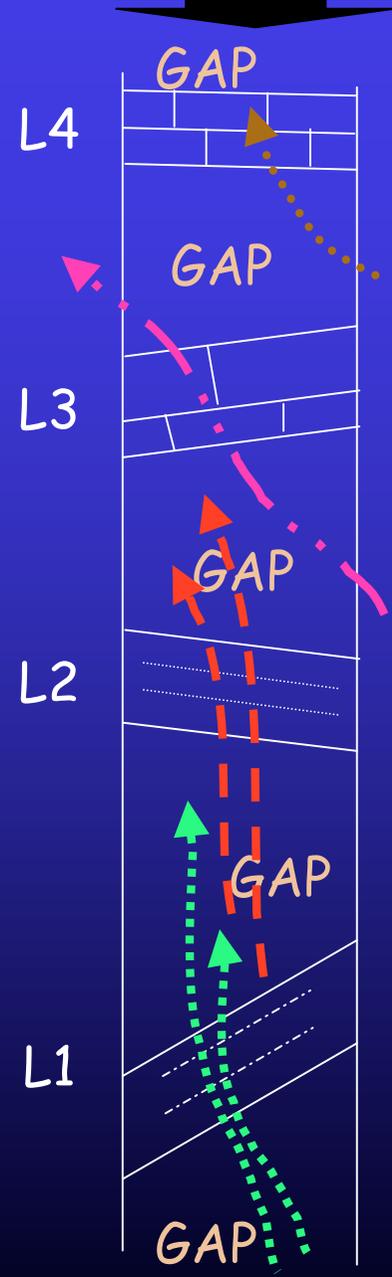
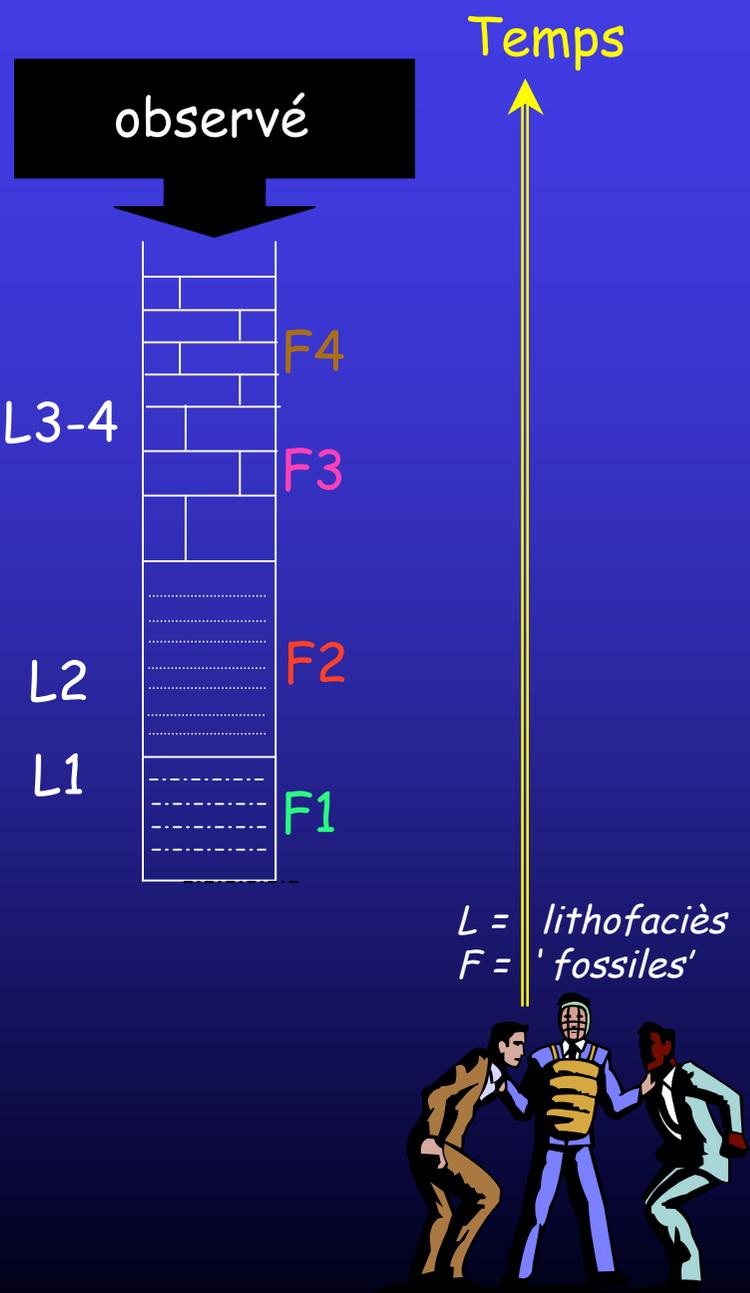
COMMENT FAIRE?

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

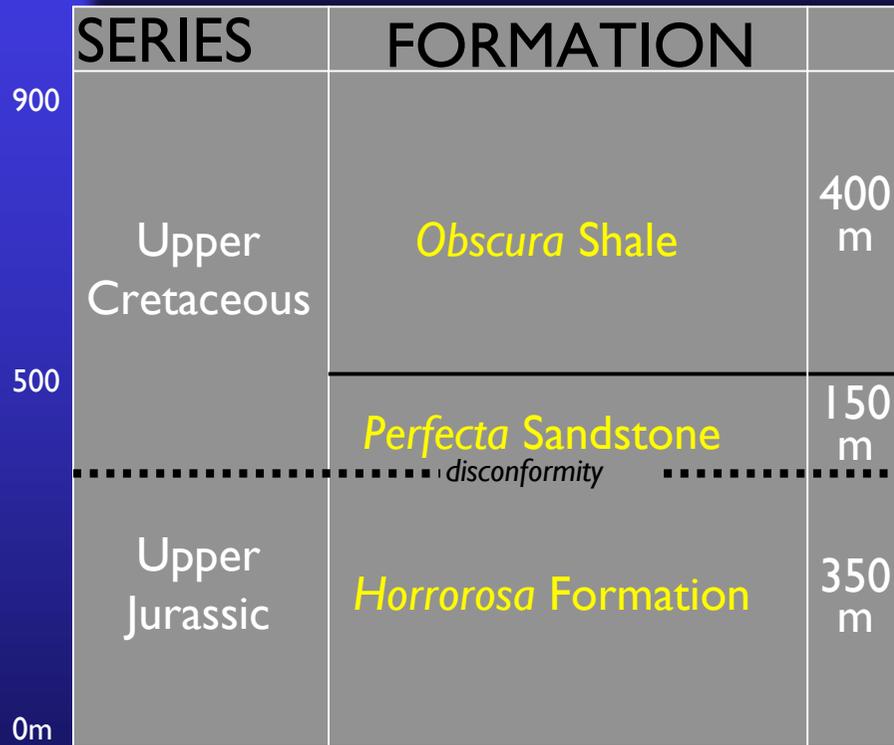


+ DÉCOMPACTION

NOMBREUSES CONSEQUENCES

Exemple de la représentation des diagrammes
(y compris le vocabulaire 'roche-temps')

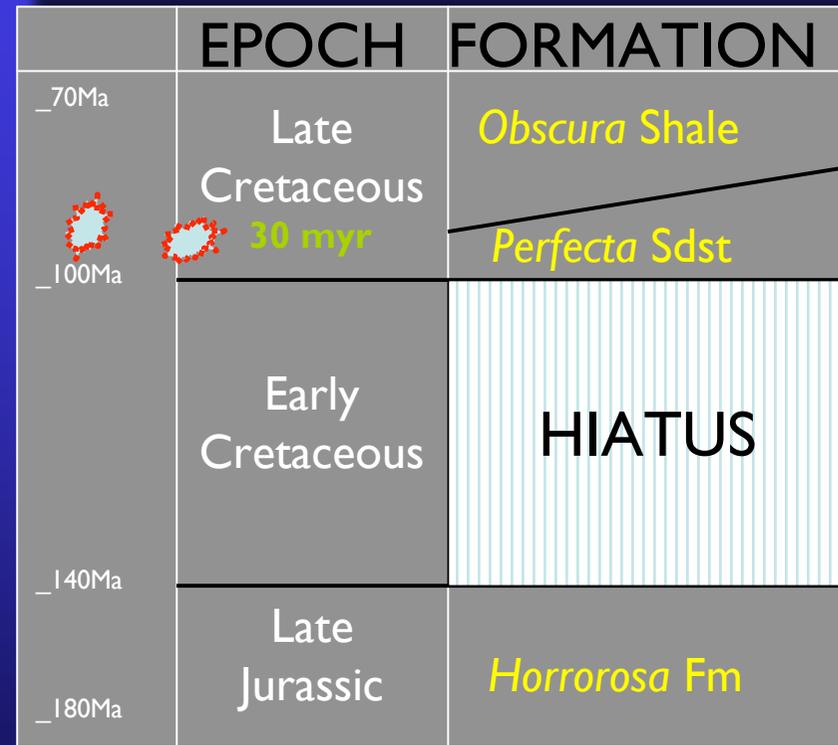
LITHOSTRATIGRAPHIE



New Mexico

observé

CHRONOSTRATIGRAPHIE

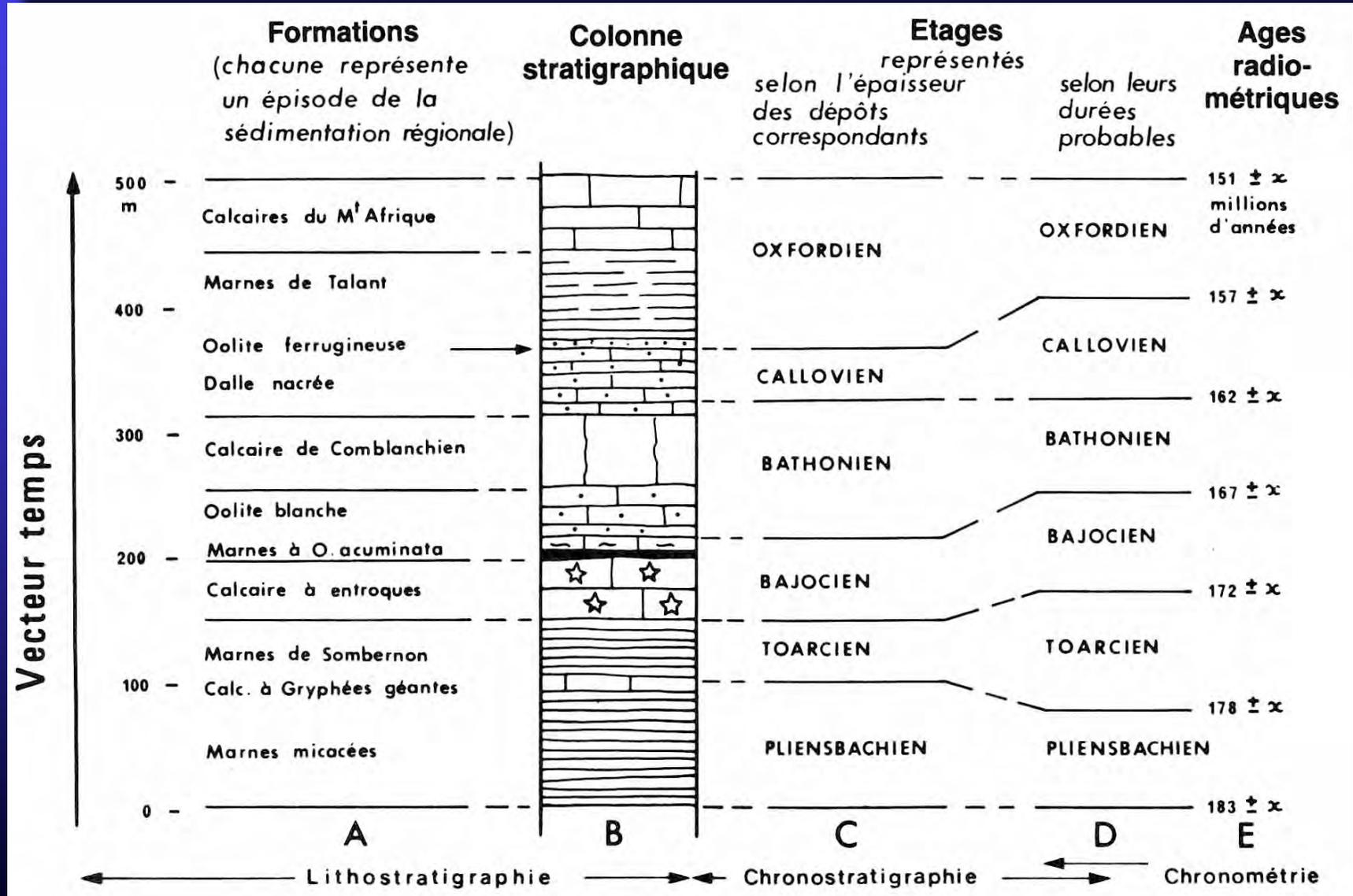


non observé

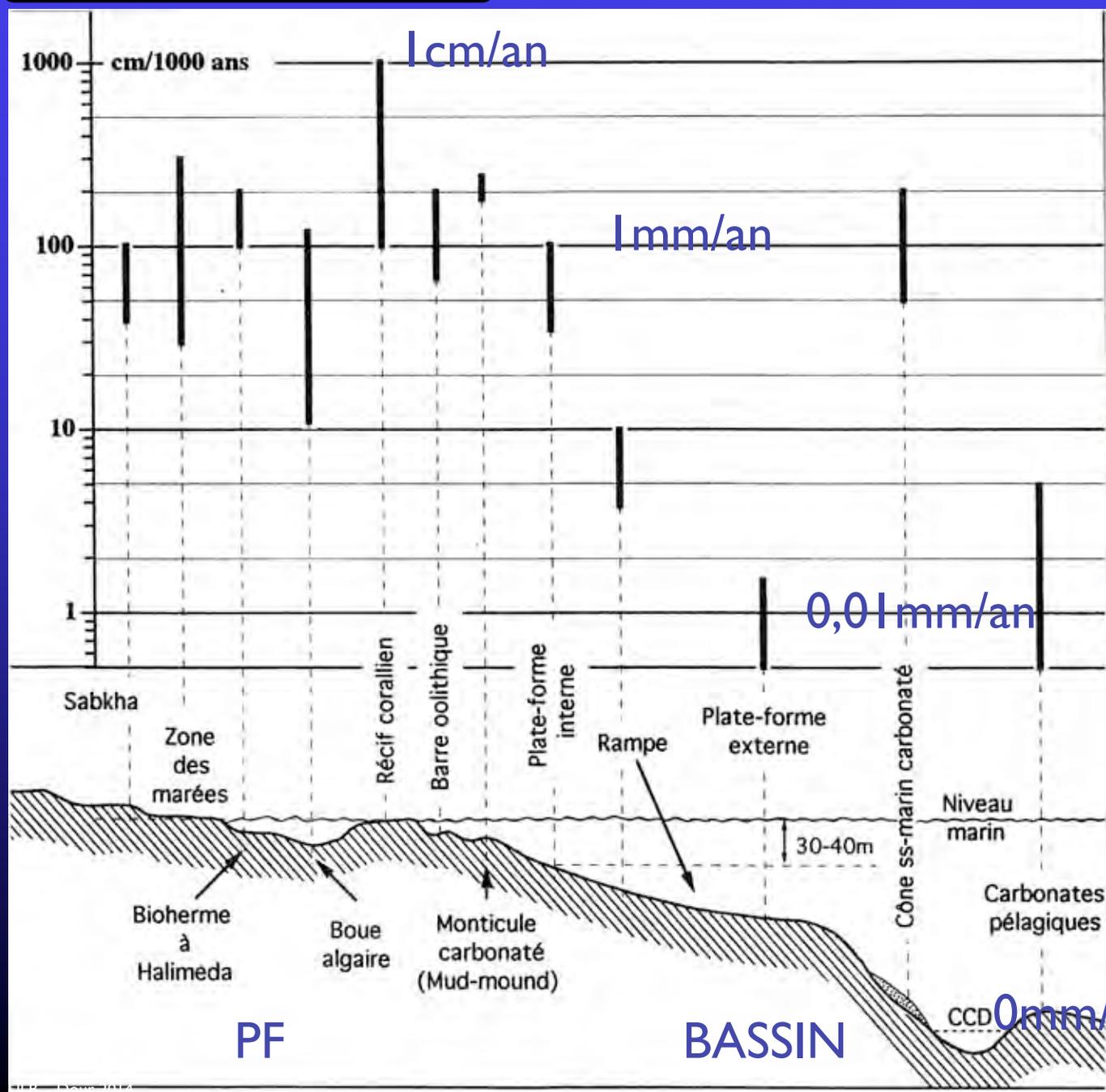
déduit

observation

'non-observation'



Pomerol et al | 1987



Taux de sédimentation
 1:1000
 +
 Non-dépôt
 +
 Erosion (syn-, post)



court terme
 VS
 long terme

Cojan et Renard 1997

BATHONIEN SUP
LUC-SUR-MER



NORMANDIE



12 m

(au lieu de 600m! min)
± 2% DU TEMPS GEOLOGIQUE

158,0



60 cm

158,5

159,0



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

158,5
159,0

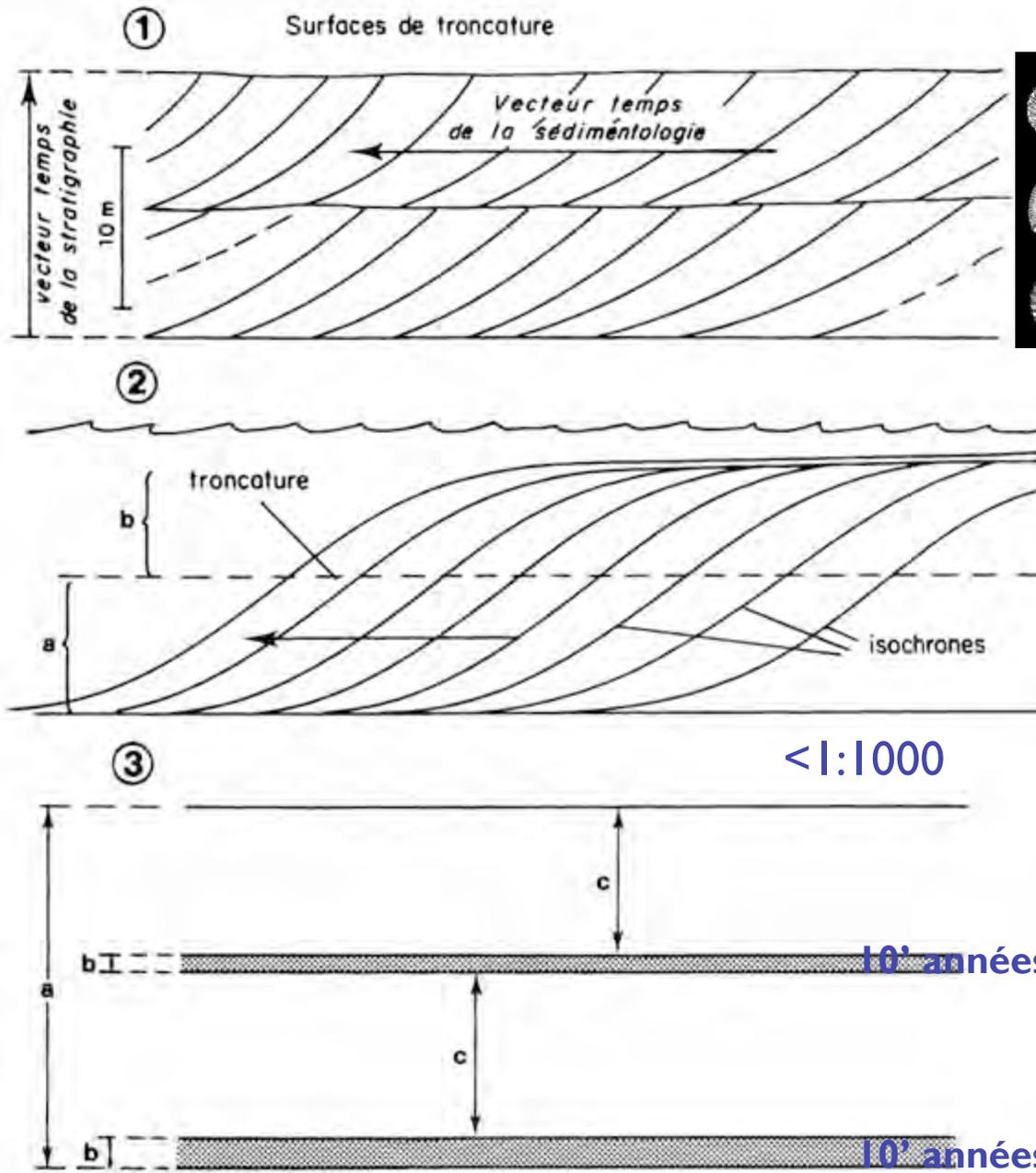
12m/500.000 ans = 0,02mm/an

= FAUSSE VALEUR = 1mm min

en est-on sûr...?

soit 0,01mm/an
pour 12,6m/1Ma

Calcaires crinoïdiques bajociens de Bourgogne



200 000 ans



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%

T_x'

Il manque donc 95 à 99,5% du temps

T_x

série géologique 'normale' et 'continue'

T_x

COMMENT LE PROUVER?

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

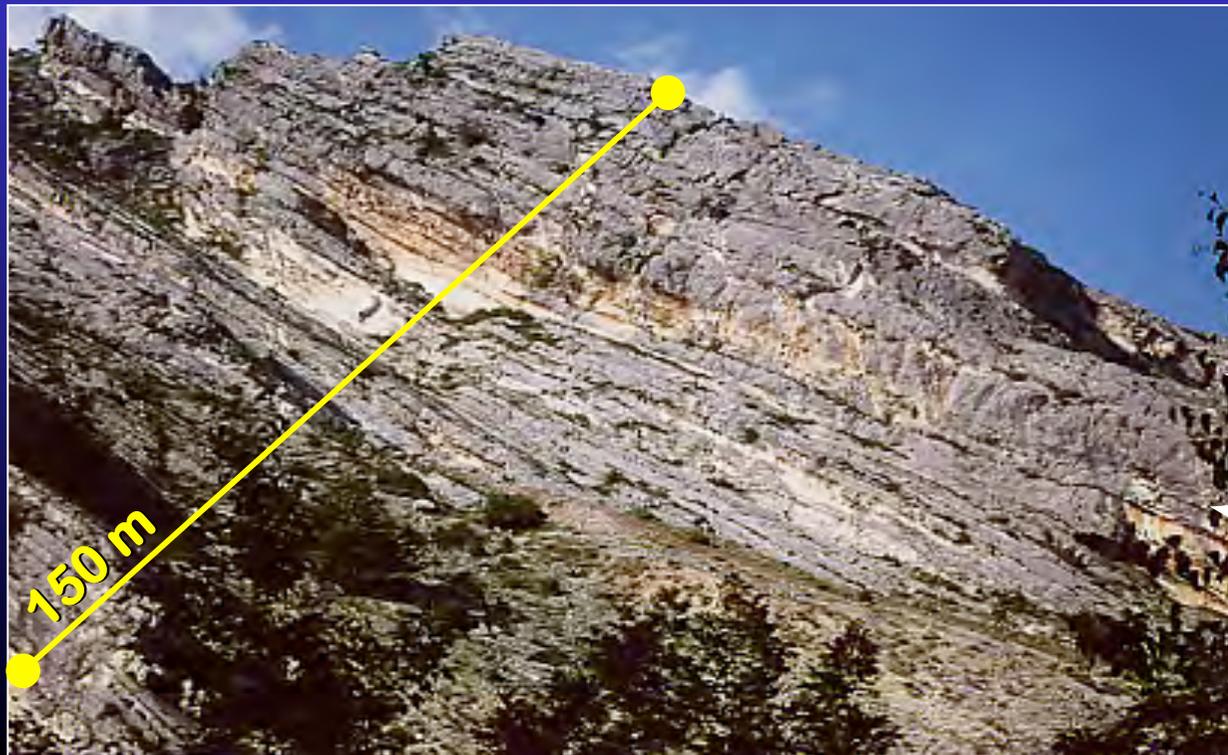
Crétacé
inférieur
Fara
San Martino



joints de
stratification
+

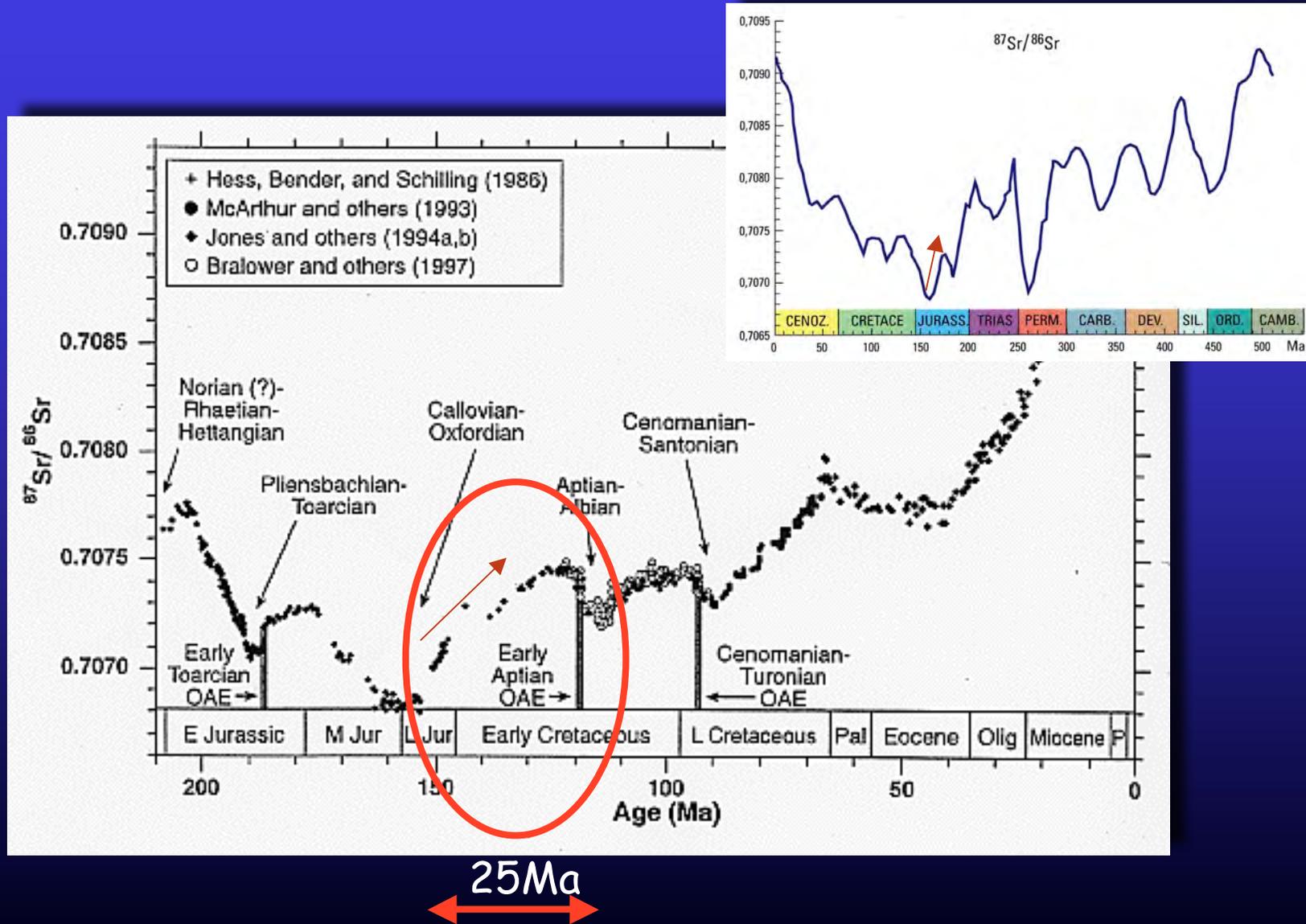
LOFERITES
(tidal flats)
0,3-3 mm/an

Maiella
Abruzzes



Utilisation des isotopes radiogeniques « stables »

CRETACE INFERIEUR D'ITALIE: PLATE-FORME CARBONATEE



CRÉTACÉ INFÉRIEUR Italie Centrale



0,4
à
4%

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



1000 ans

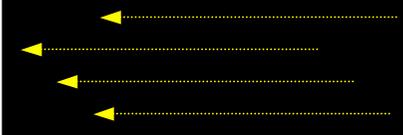
100 ans

0,3 mm ==> 300 m/Ma
soit 1 Ma/25Ma = 4%
[ou 0,4% si 3 mm]

LES SERIES NE SONT DONC PAS CONTINUES



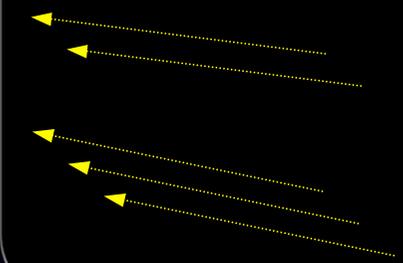
96 à 99.6%



joins 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

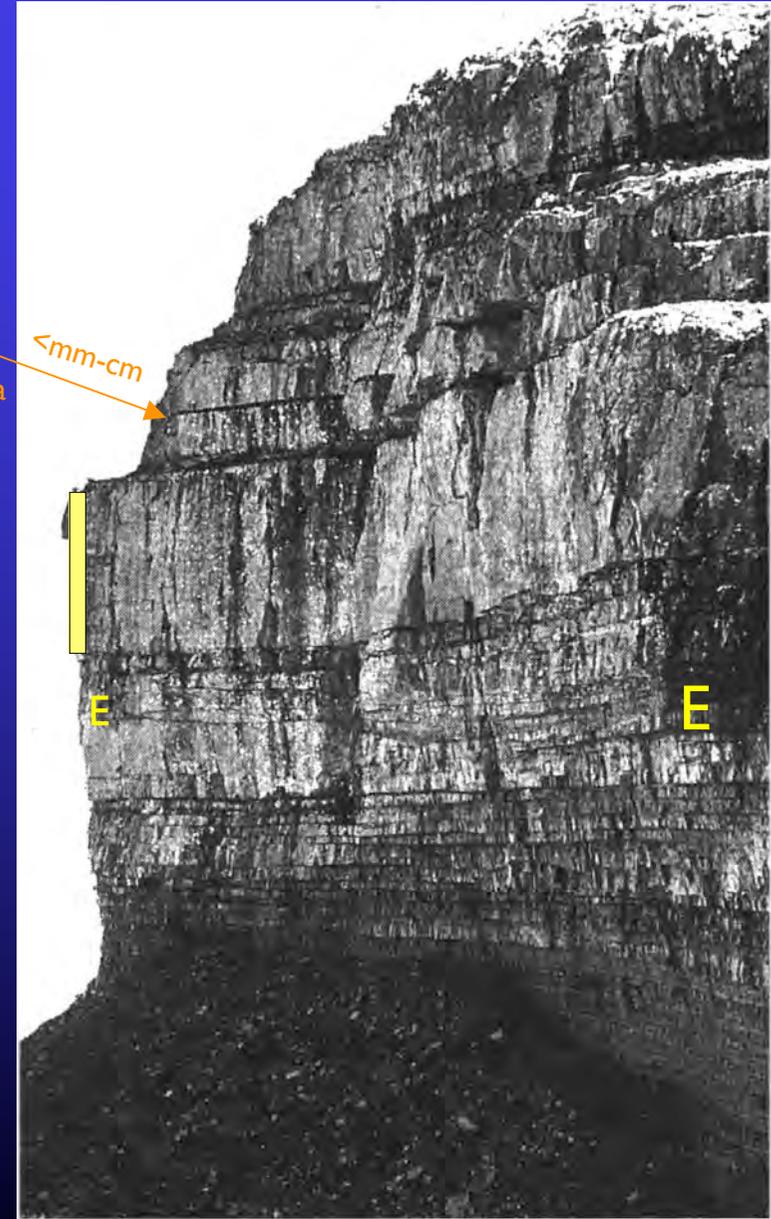


Jt
qq 10^3 a
à 10^5 a

<mm-cm

Bc
qq h/j

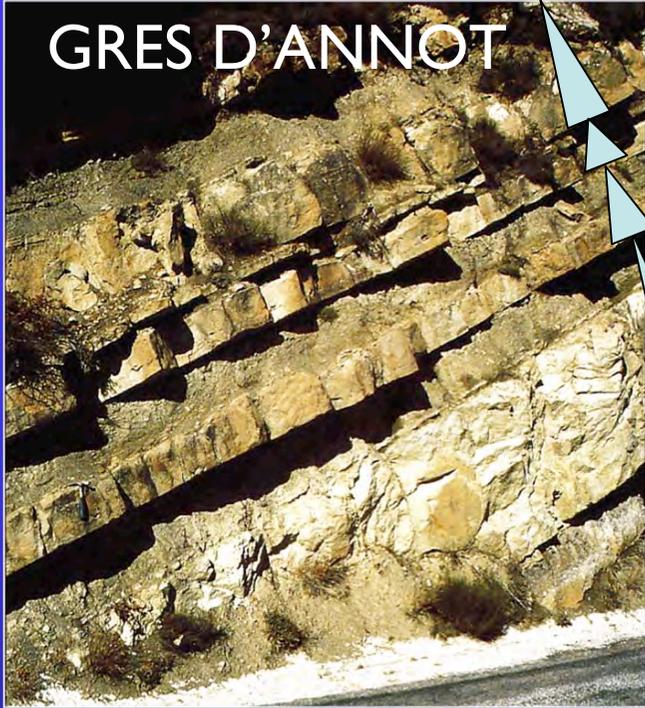
2 à 6m



De Wever et al 2005

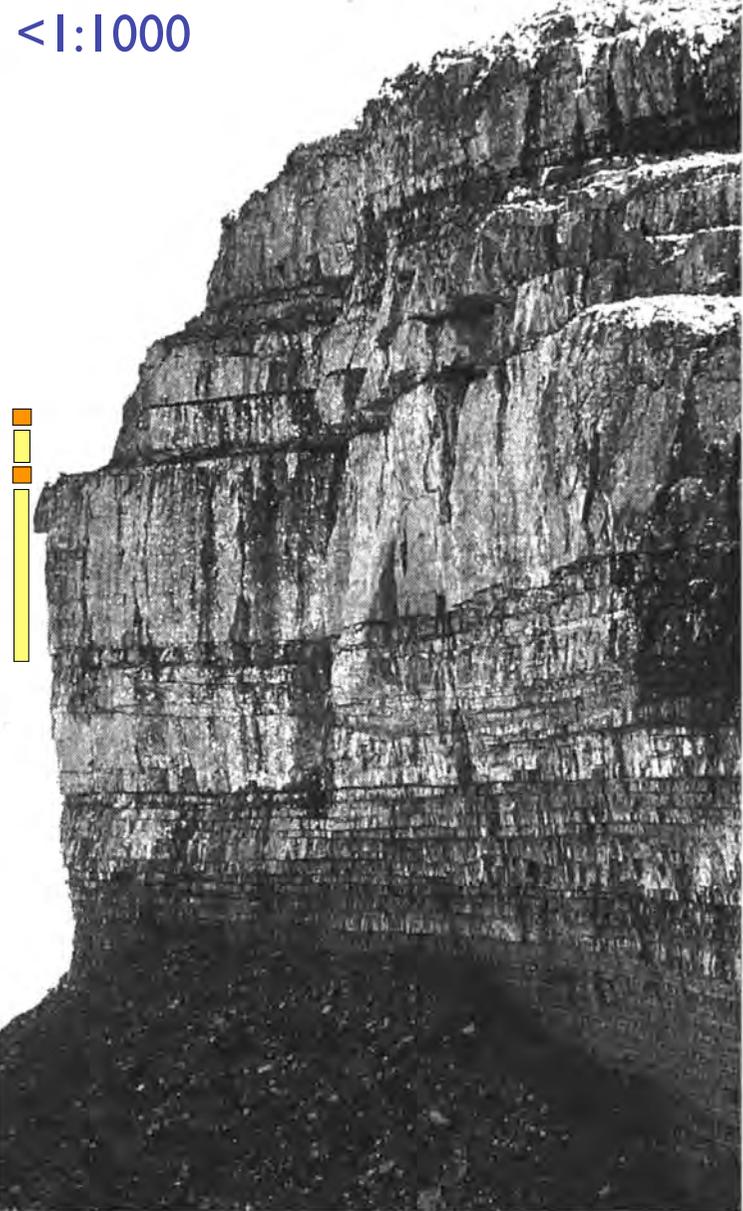
GRES D'ANNOT

4m



E
O
C
E
N
E

Oligocène 35Ma 250m max



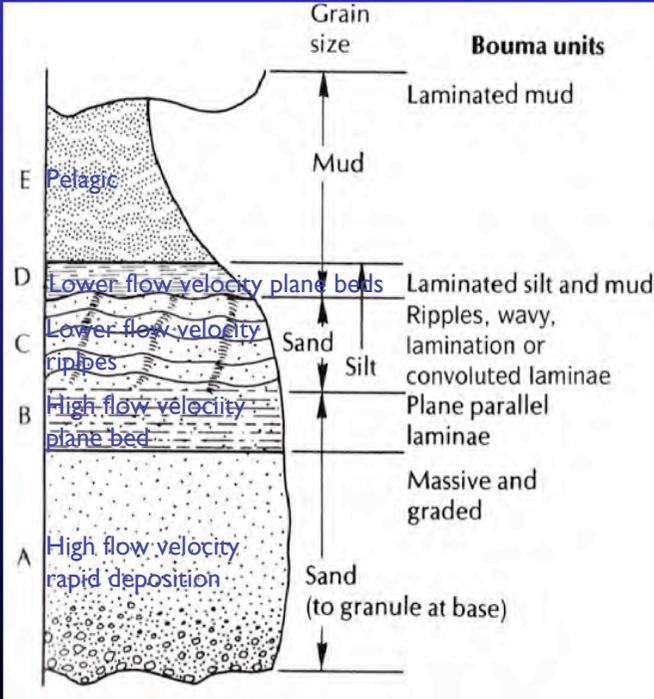
Jt
qq 10^3 a
à 10^5 a

Bc
qq h/j

Très lent

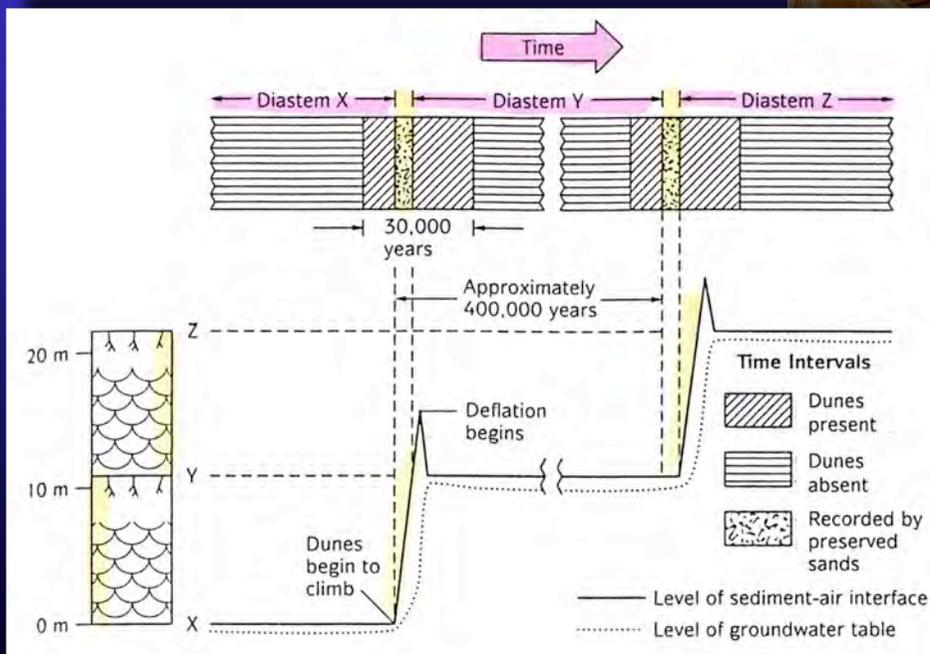
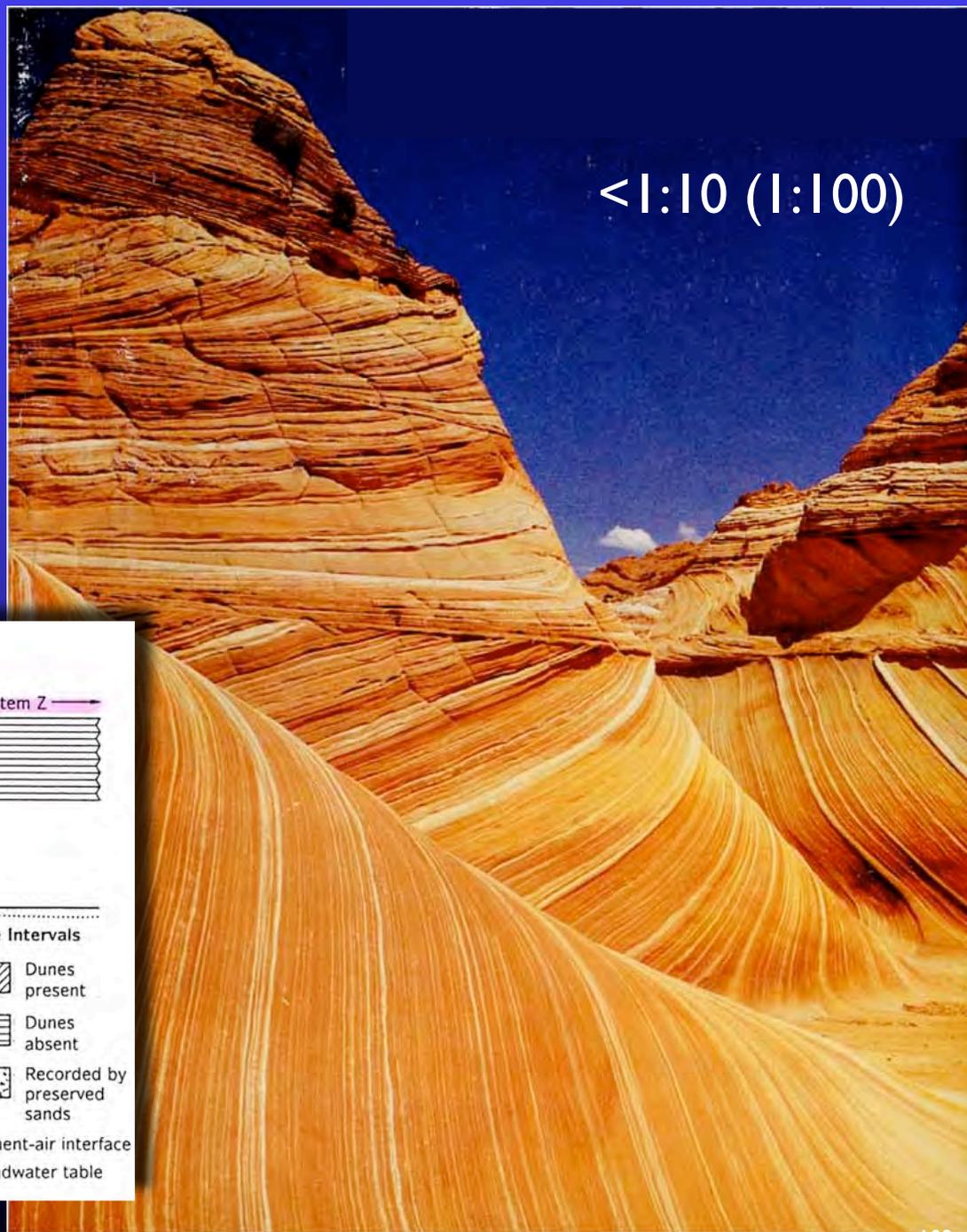
Très rapides

6Ma



De Wever et al 2005

Navajo Sdst,
Utah-Arizona
 $\pm 60.000\text{km}^2$,
600m épMAX,
35mMax - l dune
J, dunes éoliennes



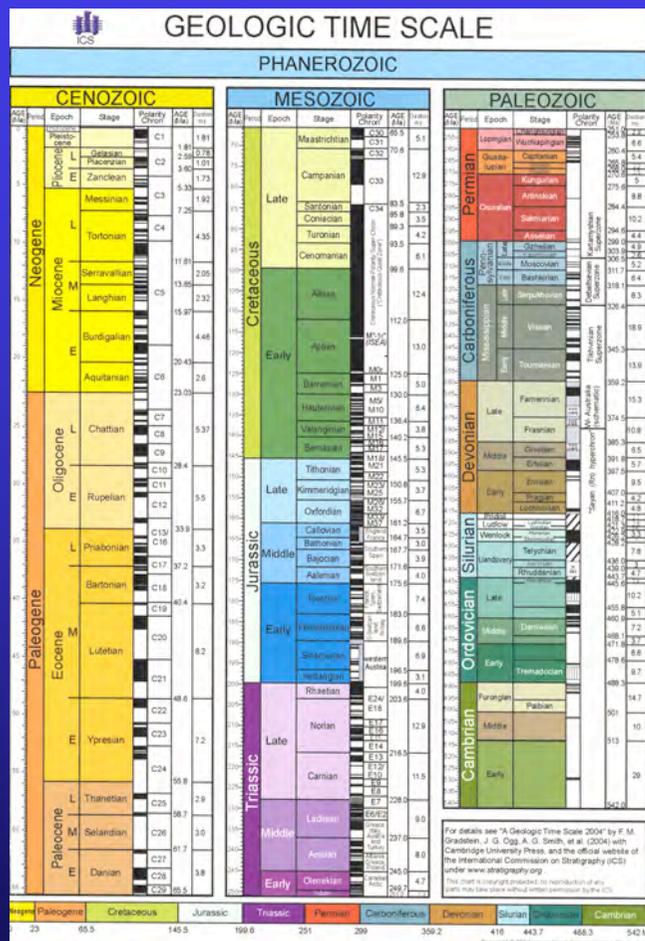
Loepe 1985

...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

QUE SERAIT UN 'BON' ENREGISTREMENT SEDIMENTAIRE ?

=> RAISONNEMENT PAS L'ABSURDE ... GEOPASLOGIQUE



PHANEROZOIQUE

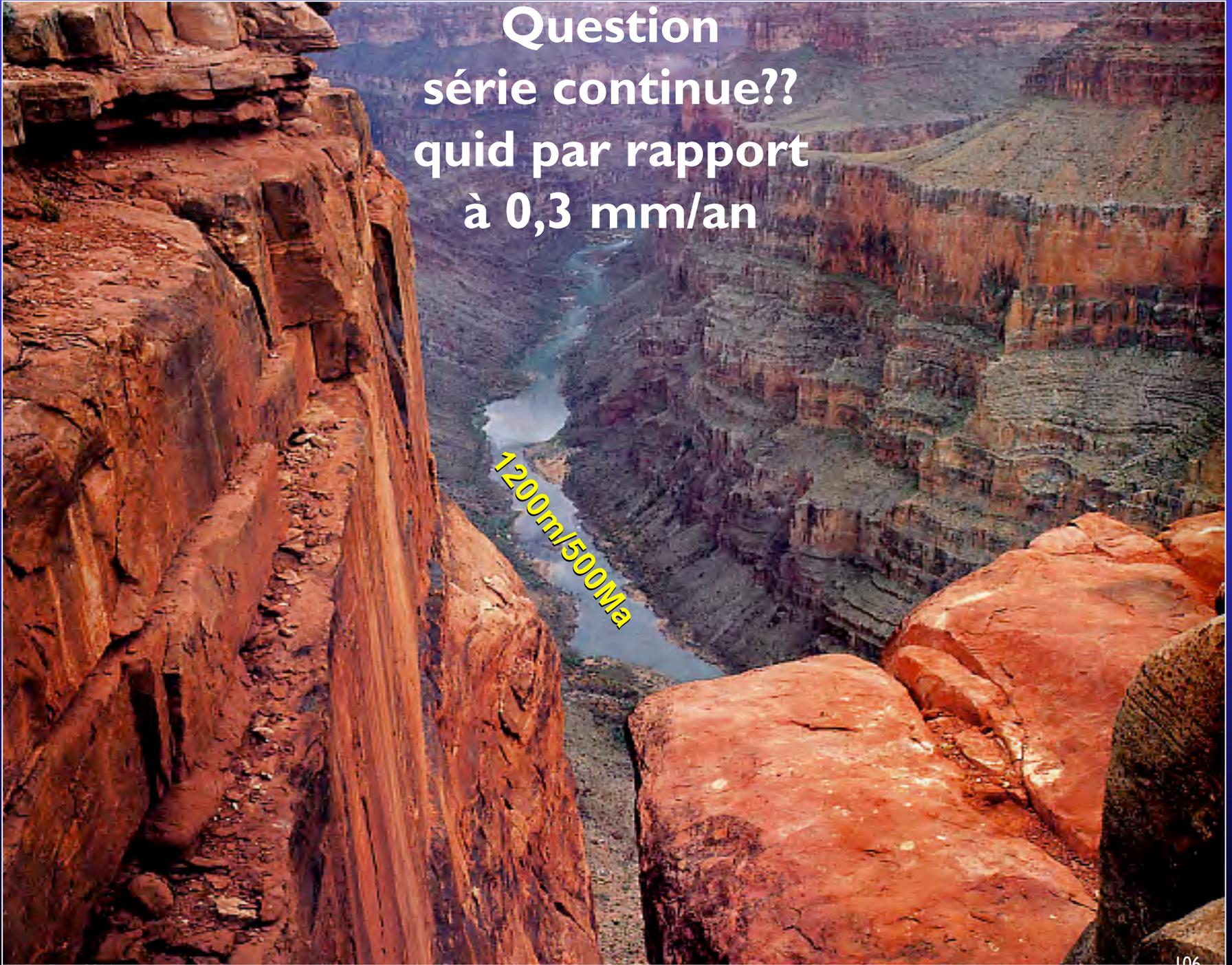
- (Holocène) ⁰
- (Pléistocène)
- Pliocène
- Miocène
- Oligocène
- Eocène
- Paléocène
- Crétacé 15.8km
- Jurassique
- Trias
- Permien
- Carbonifère
- Dévonien 11.7km
- Silurien
- Ordovicien 13.8km
- Cambrien 11.8km

M
A
X

$$154\text{Km} = 0,28 \text{ mm/an}$$

y compris 'gaps' et discontinuités
soit ± 0,3 mm/an
(au lieu de 1 mm/an)

GRAND CANYON



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

1200m/500Ma

M **PHANEROZOIQUE**

A **$154\text{km} = 0,28 \text{ mm/an}$**

X **y compris 'gaps' et discontinuités**

situation la plus réaliste

GD CANYON (USA)

$1,2\text{Km} = 500 \text{ Ma}$

$1\text{an} = 0,0024 \text{ mm}$ 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 ...



R
E
L
A
T
I
F

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

A
B
S
O
L
U

A
B
S
O
L
U

	1986	1990	1982	1989	2008
Famennien	13 Ma	10	7	13	15.3±2.5
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

G
T
S

359.2 Ma
416.0 Ma

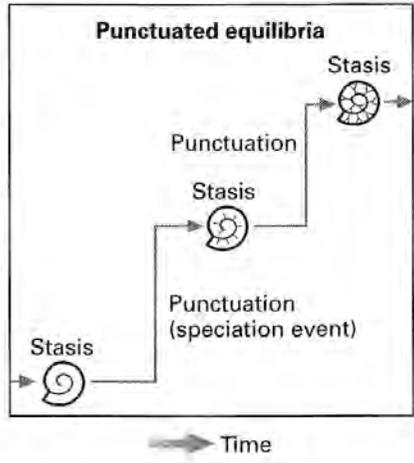
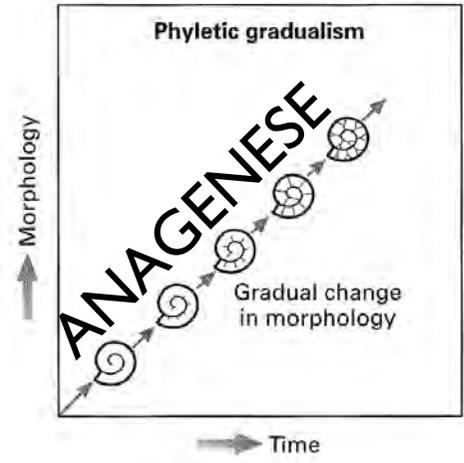
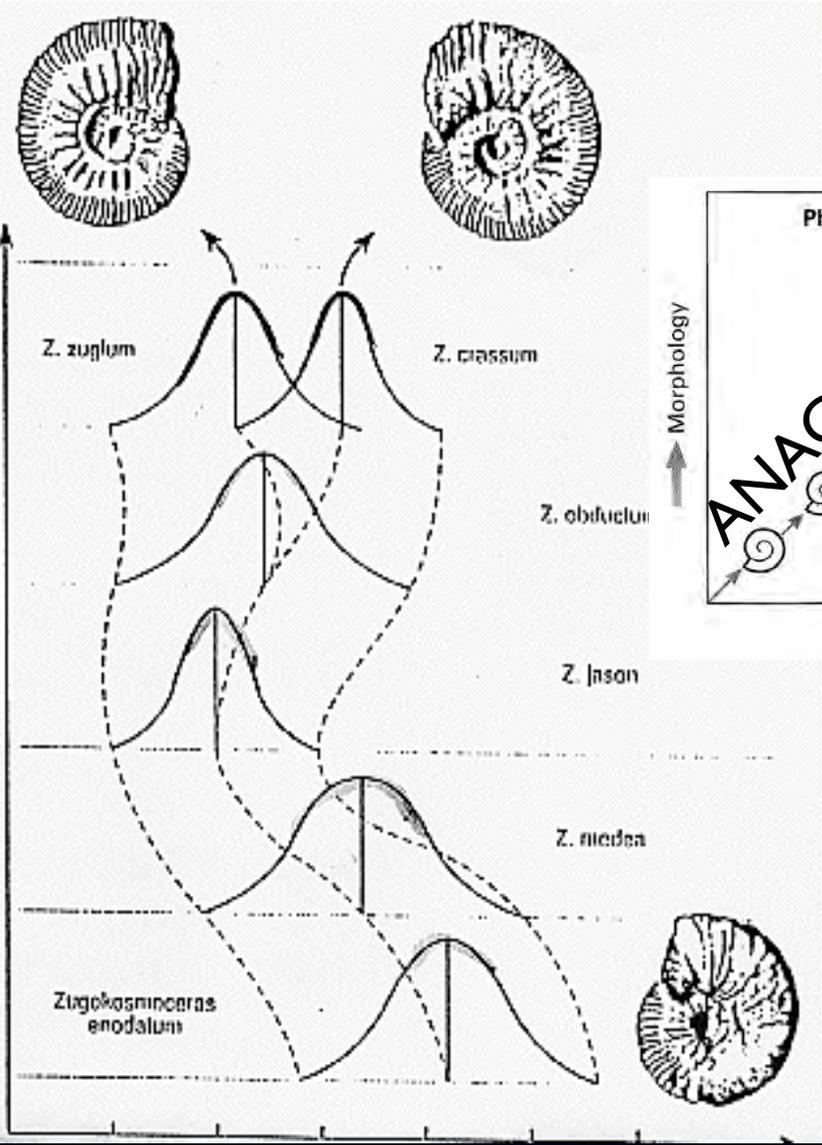
NOMBREUSES CONSEQUENCES

Exemple de l'évolution des espèces

cladogenèse quantitative
**EQUILIBRE
 PONCTUE**

sommet
 Callovien
 moyen

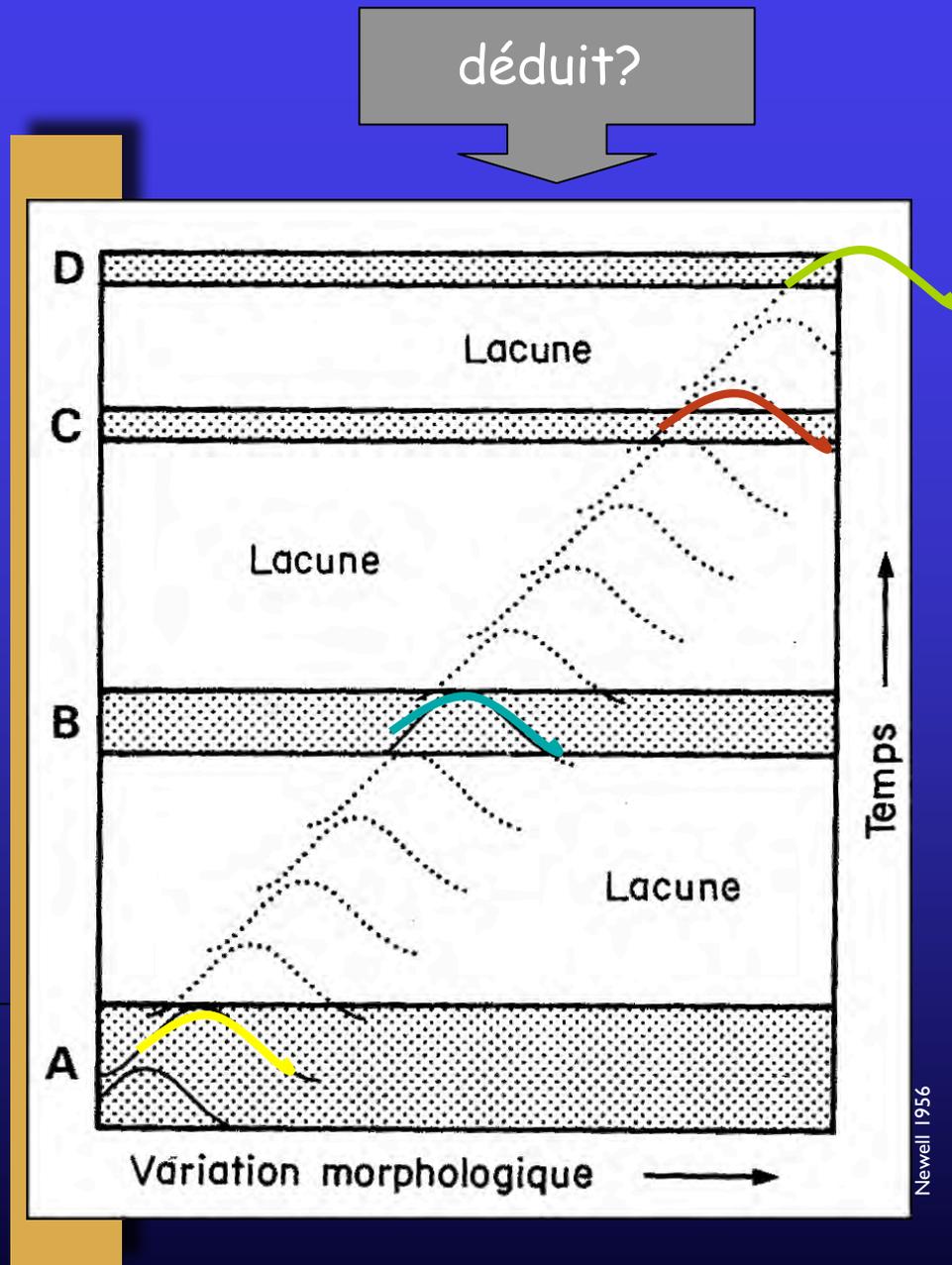
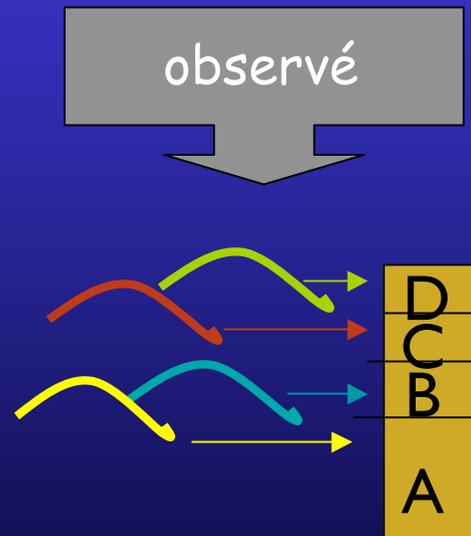
base
 Callovien
 moyen



Tintant 1963

Nichols 1999

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



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

SYNTHESE

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

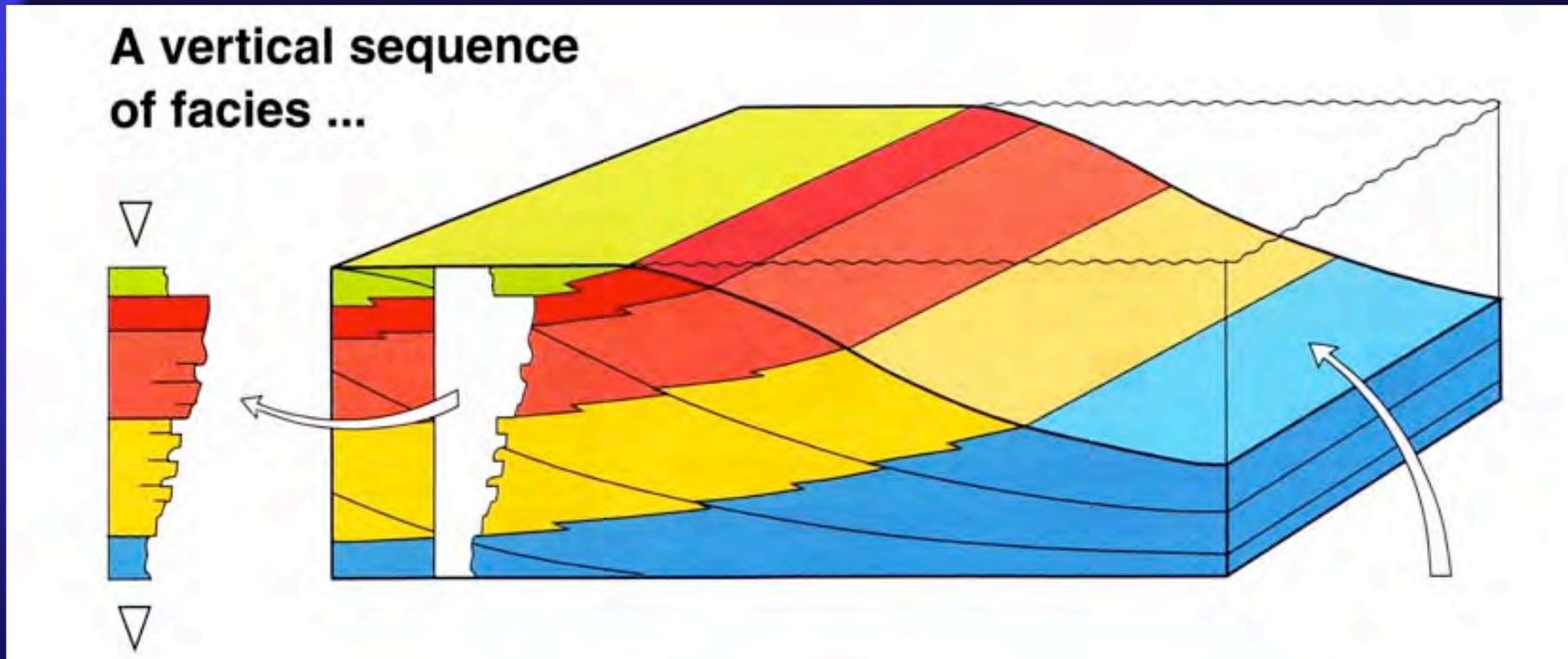
L'enregistrement temporel est l'exception... les séries sont des gruyères temporels

VITESSE-CINETIQUE

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

QUELQUES CONCLUSIONS...

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

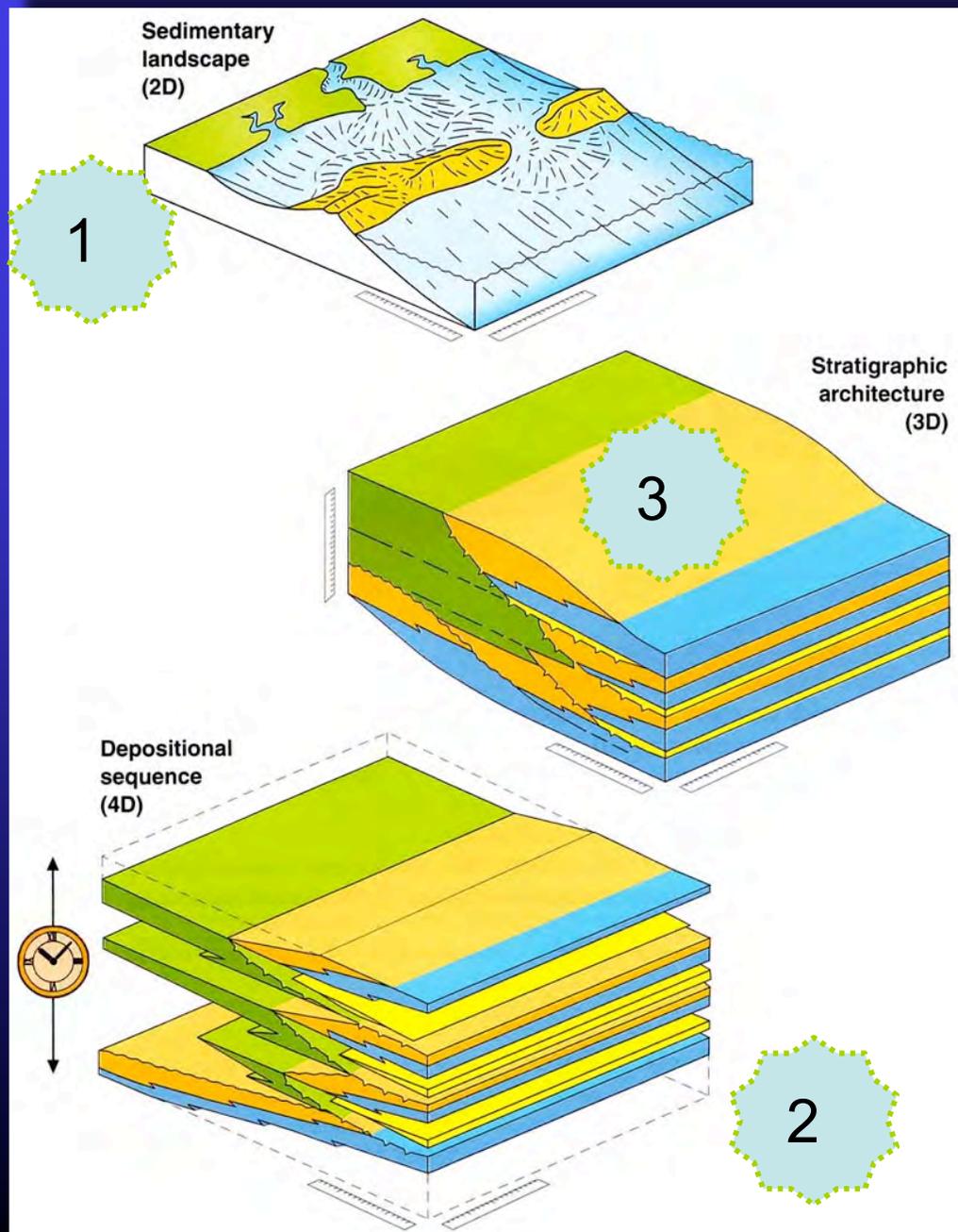


Homewood et al 2000

Terrain > < Sismique (+KISS?)

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

QUELQUES
CONCLUSIONS...



QUELQUES CONCLUSIONS...

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' – 100km)

LE TEMPS EN GEOLOGIE

l'intuition prise en défaut....

$T_{x'}$

T_x

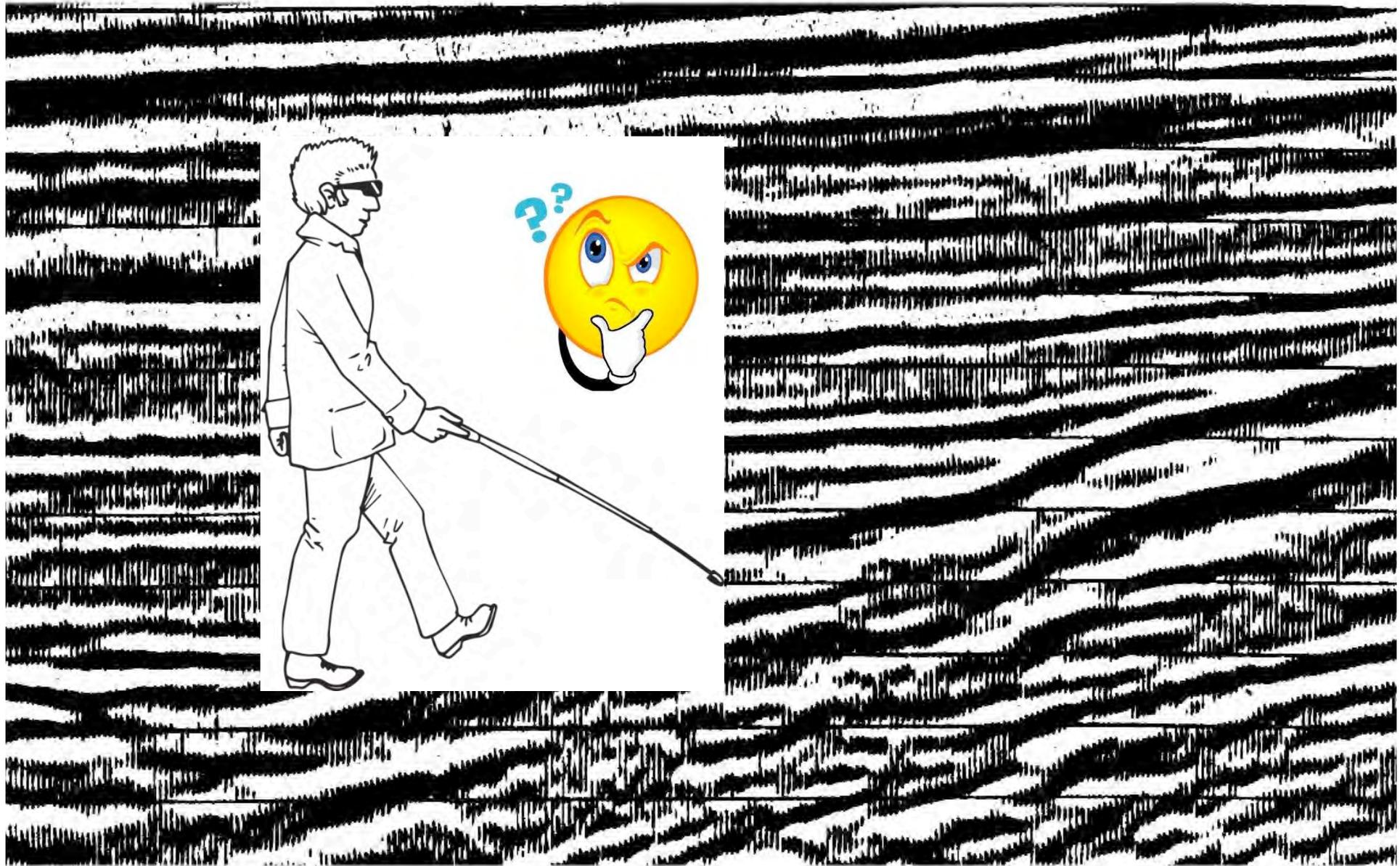


0,5
à
5%

Préat 2004

série géologique 'normale' et 'continue'

LA GRANDE CONCLUSION



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



A. Gale in Selley 1996